DIAGNOZA - GENEZA - PROGNOZA => PODSTAWA KAŻDEJ DECYZJI

Polskie
Towarzystwo
Diagnostyki
Technicznej

afiliowane przy

Wydziale Nauk
Technicznych
Polskiej Akademii Nauk

Diagnostyka

ISSN 641-6414

WSI - ATR 1951 BYDGOSZCZ

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA KMRiP BYDGOSZCZ

XII KONFERENCJA NAUKOWA

DIAGNOSTYKA MASZYN ROBOCZYCH I POJAZDÓW

23-25 czerwiec 2005
BYDGOSZCZ-BORÓWNO

VOL. 33
2005 r.

Rada programowa

Przewodniczący:

prof. dr hab. dr h.c. mult. **Czesław CEMPEL** *Politechnika Poznańska*

Redaktor Naczelny:

prof. dr hab. inż. **Ryszard MICHALSKI** *UWM w Olsztynie*

Członkowie:

prof. dr hab. inż. **Jan ADAMCZYK**
AGH w Krakowie
dr inż. **Roman BARCZEWSKI**
Politechnika Poznańska
prof. dr hab. inż. **Walter BARTELMUS**
Politechnika Wrocławska
prof. dr hab. inż. **Wojciech BATKO**
AGH w Krakowie
prof. dr hab. inż. **Lesław BĘDKOWSKI**
WAT Warszawa
prof. dr hab. inż. **Adam CHARCHALIS**
Akademia Morska w Gdyni
prof. dr hab. inż. **Wojciech CHOLEWA**
Politechnika Śląska
prof. dr hab. inż. **Zbigniew DĄBROWSKI**
Politechnika Warszawska
prof. dr hab. inż. **Marian DOBRY**
Politechnika Poznańska
dr inż. **Tomasz GAŁKA**
Instytut Energetyki w Warszawie
prof. dr hab. inż. **Jan KICIŃSKI**
IMP w Gdańsku
prof. dr hab. inż. **Jerzy KISILOWSKI**
Politechnika Warszawska
prof. dr hab. inż. **Wojciech MOCZULSKI**
Politechnika Śląska
prof. dr hab. inż. **Stanisław NIZIŃSKI**
UWM w Olsztynie
prof. dr hab. inż. **Stanisław RADKOWSKI**
Politechnika Warszawska
prof. dr hab. inż. **Tadeusz UHL**
AGH w Krakowie
prof. dr hab. inż. **Andrzej WILK**
Politechnika Śląska
prof. dr hab. inż. **Bogdan ŻÓŁTOWSKI**
ATR w Bydgoszcz

Obszar zainteresowania czasopisma to problemy diagnostyki, identyfikacji stanu technicznego i bezpieczeństwa maszyn, urządzeń, systemów i procesów w nich zachodzących.
Drukujemy oryginalne prace teoretyczne, aplikacyjne, przeglądowe i krótkie doniesienia z badań, innowacji i kształcenia w tych zagadnieniach.

NUMER PRZYGOTOWANY POD NADZOREM RADY PROGRAMOWEJ KONFERENCJI POD PRZEWODNICTWEM prof. dr. hab. Bogdana ŻÓŁTOWSKIEGO

Recenzenci nadesłanych prac:

prof. nadzw. dr hab. inż. **Piotr BIELAWSKI**
prof. dr hab. dr h.c. mult. **Czesław CEMPEL**
prof. nadzw. dr hab. inż. **Mariusz CHALAMOŃSKI**
prof. dr hab. inż. **Adam CHARCHALIS**
prof. nadzw. dr hab. inż. **Ryszard JEDLIŃSKI**
prof. nadzw. dr hab. inż. **Henryk KAŹMIERCZAK**
prof. dr hab. inż. **Jan KICIŃSKI**
prof. dr hab. inż. **Zbigniew KIKIEWICZ**
prof. dr hab. inż. **Jerzy LEWITOWICZ**
prof. dr hab. inż. **Ryszard MICHALSKI**
prof. dr hab. inż. **Janusz MYSŁOWSKI**
prof. dr hab. inż. **Stanisław NIZIŃSKI**
prof. dr hab. inż. **Stanisław RADKOWSKI**
prof. nadzw. dr hab. inż**. Michał STYP-REKOWSKI**
prof. nadzw. dr hab. inż. **Franciszek TOMASZEWSKI**
prof. nadzw. dr hab. inż. **Henryk TYLICKI**
prof. dr hab. inż. **Maciej WOROPAY**
prof. dr hab. inż. **Bogdan ŻÓŁTOWSKI**

WYDAWCA:
Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej
02-981 Warszawa, ul. Augustówka 5

REDAKTOR NACZELNY:
prof. dr hab. inż. Ryszard MICHALSKI

CZŁONKOWIE KOMITETU REDAKCYJNEGO:
dr inż. Paweł MIKOŁAJCZAK
mgr inż. Krzysztof LIGIER

SEKRETARZ REDAKCJI:
dr inż. Sławomir WIERZBICKI, tel.: (0-89) 523-37-51

REDAKCJA CZASOPISMA:
Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie,
Katedra Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
10-736 Olsztyn, ul. Oczapowskiego 11,
tel./fax: (0-89) 523-34-63
e-mail: diagnostyka@uwm.edu.pl

KONTO PTDT:
Bank Przemysłowo Handlowy S.A.
II O/ Warszawa
nr konta: 40 1060 0076 0000 3200 0046 1123

NUMER SPECJALNY – Materiały XII Międzynarodowej Konferencji „Diagnostyka Maszyn Roboczych i Pojazdów"

Spis treści

Przedmowa 8

Andrzej AMBROZIK, Dariusz KURCZYŃSKI, Piotr ŁAGOWSKI - Politechnika Świętokrzyska
Tomasz AMBROZIK - Wyższa Szkoła Telekomunikacji i Informatyki w Kielcach 9
Próba zastosowania analizy falkowej do oceny wskaźników cyklu pracy silnika o ZS
Attempt At Wavelet Analysis Application To The Assessment Of Self-Ignition Engine Working Cycle Indicators

Marcin BEDNAREK - Politechnika Rzeszowska, **Lesław BĘDKOWSKI**, **Tadeusz DĄBROWSKI** – WAT 13
Dozorowanie układu komunikacji w ujęciu potencjałowym
A Supervising Of A Communication System In A Potential Approach

Piotr BIELAWSKI, Tomasz BURNOS - Akademia Morska w Szczecinie 19
Diagnozowanie agregatów typu maszyna elektryczna – przekładnia – pędnik
Diagnosis Of Machine Sets Consist Of Electric Machine – Gear – Propeller

Janusz GARDULSKI, Łukasz KONIECZNY, Rafał BURDZIK - Politechnika Śląska 25
Diagnostyka stanu technicznego amortyzatora zabudowanego w pojeździe samochodowym z wykorzystaniem STFT
The Diagnostics Shock Absorbers Built In Car Whit Stft Used

Zbigniew DAMIJAN - Laboratorium Akustyki Strukturalnej i Inżynierii Biomedycznej 29
Zmiany wybranych parametrów biochemicznych i fizjologiczych organizmu po ekspozycji drganiami niskoczęstotliwościowym
Changes Of Selected Biochemical And Fizjological Under Low Frequency Vibration

Zbigniew DAMIJAN - Laboratorium Akustyki Strukturalnej i Inżynierii Biomedycznej 35
Zmiany wybranych parametrów densytometrycznych i wytrzymałościowych kości zwierząt po ekspozycji drganiami niskoczęstotliwościowymi
Changes Of Selected Densytometric Parameters And Strength Bones Of Rats Under Low Frequency Vibration

Stanisław GAD, Aleksander JASTRIEBOW, Grzegorz SŁOŃ, Dariusz KAŁWA - Politechnika Świętokrzyska 41
Analiza symptomów w diagnostyce elektrycznego wyposażenia samochodów
Analysis Of Measured Symptom Signals In Computer Diagnostic Of Cars' Electrical Equipment

Robert GUMIŃSKI, Stanisław RADKOWSKI - Politechnika Warszawska 48
Wykorzystanie związków uszkodzenie – symptom – zadanie funkcjonale w projektowaniu elementów układu napędowego
Using The Failure Symptom Function Relationships In Design Of The Unit Power Elements

Marek JANKOWSKI - Akademia Bydgoska im. Kazimierza Wielkiego 55
Wprowadzenie do pokładowego diagnozowania pojazdów samochodowych
Introducion Of Vehicles On Board Diagnosis

Piotr MENCHEN - ATR Bydgoszcz 60
Źródła sygnałów diagnostycznych w układach hydraulicznych
The Sources Of Diagnostic Signals In Hydraulic Systems

Ryszard JEDLIŃSKI - ATR Bydgoszcz 65
Diagnostyka w procesie wyceny wartości pojazdów samochodowych i ustalaniu przyczyn oraz następstw uszkodzeń
Diagnostics In Assessment Process Of Vehicle Value And Settlement Causes As Welle As Damage Repercussion

Krzysztof KALIŃSKI, Krzysztof JASIŃSKI - Politechnika Gdańska 71
Modelowanie i symulacja drgań układu nośnego manipulatora dla potrzeb sterowania modalnego przy energetycznym wskaźniku jakości
Modelling And Simulation Of The Structural Model Vibration Of Manipulator's Carrying System For A Use Of Modal Control At Energy Performance Index

Krzysztof KALIŃSKI, Marek GALEWSKI, Stefan SAWIAK - Politechnika Gdańska 77
Nadzorowanie stanu dynamicznego podczas frezowania szybkościowego smukłymi narzędziami
A Dynamic State Surveillance During High Speed Milling Using Slender Tools

Krzysztof KALIŃSKI, Marek CHODNICKI, Stefan SAWIAK, Marek GALEWSKI - Politechnika Gdańska 83
Modelowanie i symulacja procesu nadzorowania drgań w układzie hybrydowym na przykładzie frezowania przedmiotów podatnych
Modelling And Simulation Of Vibration Surveillance Of The Hybrid Systems On Example Of Milling Flexible Details

Henryk KAŹMIERCZAK, Jacek KROMULSKI, Tadeusz PAWŁOWSKI – PIMR Poznań 89
Energetyczne charakterystyki degradacji przyczepy
Energetistic Characteristics Of Trailer's Degradation

Wiktor KUPRASZEWICZ - Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Pile 95
Koncepcja systemu doradczego dla badań diagnostycznych obiektów technicznych
Conception Of Advisory System For Technical Objects Diagnostic Investigations

Tomasz LUBIEWSKI, Mikołaj MIKOŁAJCZYK, Tadeusz MIKOŁAJCZYK - ATR Bydgoszcz 101
Diagnostyka silnika spalinowego z zastosowaniem świecy zapłonowej z wziernikem
Aplication Of Picture Analyse To Combusting Process Observation

Bolesław PRZYBYLIŃSKI - ATR Bydgoszcz 106
Sposób eliminowania błędów osiowania układu przekazywania napędu pojazdu szynowego
Method Of Elimination Of Alignment Errors In The Drive Transmission System Of Rail Vehicles

Marcin ŁUKASIEWICZ - ATR Bydgoszcz 111
Próba odwzorowania modelu modalnego stanu technicznego silnika spalinowego w zastosowaniu do badań diagnostycznych
Representation Of Combustion Engine Technical State Modal Model In Use To Diagnostic Investigations

Maciej MATUSZEWSKI - ATR Bydgoszcz 117
Przydatność parametrów struktury geometrycznej powierzchni w diagnozowaniu stanu par kinematycznych
Usability Of Parameters Of Surface Geometric Structure In Diagnostic Process Of Kinematics Pair State

Tadeusz MIKOŁAJCZYK - ATR Bydgoszcz 123
Zastosowanie analizy obrazu w badaniach obiektów i procesów
Aplication Of Image Analyse In Object And Process Investigation

Volodymyr LIUBIMOV - Politechnika Rzeszowska, **Janusz MUSIAŁ, Michał STYP-REKOWSKI** - ATR Bydgoszcz 129
Diagnozowanie stanu struktury geometrycznej powierzchni o rozwiniętej rzeźbie
Diagnostics Of Surface Geometric Structure State With Developed Sculpture

Stanisław NIZIŃSKI, Arkadiusz RYCHLIK - UWM Olsztyn 135
Systemy rozpoznawania stanu maszyn
Identification System Of Machine State

Rafał PAWLETKO - Akademia Morska w Gdyni 141
Możliwości diagnozowania wybranych uszkodzeń aparatury wtryskowej silnika z zapłonem samoczynnym w oparciu o przebieg wykresu indykatorowego
The Use Of Indication Diagram To Diesel Engine Fuel Injection System Fault Diagnosis

Rolisław ROGUT, Włodzimierz KAWKA - Politechnika Łódzka 145
Badania diagnostyczne maszyn papierniczych
Diagnostic Investigations Of Paper Machines

Arkadiusz RYCHLIK, Sławomir WIERZBICKI – UWM Olsztyn 151
Budowa hybrydowego systemu ekspertowego wspomagającego diagnozowanie kombajnu do zbioru zbóż Bizon Z058
Building Of The Hybryd Expert System Aiding Diagnostics Of The Harvester Bizon Z058

Kazimierz SITEK - UNIMETAL Sp. z o.o. 157
Urządzenia rolkowe do kontroli działania hamulców
Roller Devices For Brakes Working Control

Damian SŁAWIK - Politechnika Śląska 163
Optymalizacja zbioru cech sygnałów diagnostycznych maszyny wirnikowej
Optimization Of Set Of Diagnostic Signal Features Of Rotating Machine

Mariusz ŻÓŁTOWSKI - Politechnika Szczecińska 168
Pomiary własności akustycznych materiałów
Acoustic Investigations Of Materials

Michał STYP-REKOWSKI - ATR Bydgoszcz 173
Diagnostyczne aspekty badania obrabiarek pracą
Diagnostic Aspects Of Testing By Machining Of Tool Machines

Henryk TYLICKI - ATR Bydgoszcz 179
Metodyka wyznaczania procedury diagnozowania stanu maszyn
The Methodics Of Machines Condition Diagnosis

Bogdan ŻÓŁTOWSKI - ATR Bydgoszcz 185
Sztuczna inteligencja w diagnostyce technicznej
Artificial Intelligence In Technical Diagnostics

Marzena BARTOL-SMARDZEWSKA - ATR Bydgoszcz 193
Zastosowanie sztucznej inteligencji w diagnostyce maszyn
Application Of Artifical Inteligence In Machine Diagnostics

Włodzimierz BAJKOW„ Janina KALINKA, , Czesław ŻDANOWICZ, Natalia BUTKIEWICZ - Białoruski Narodowy, Uniwersytet Techniczny w Mińsku 199
Analiza metodą polaryzacyjno – optyczną stanu naprężeniowo – deformacyjnego modelu elementu pneumatycznego gąsienicy maszyny roboczej
The Polarizations - Optical Method Of Tension's - Deformation State Analysis Of Machine - Engine Pneumatic Caterpillar's Element Model

Grażyna DĄBROWSKA-KAUF - Politechniki Wrocławskiej 203
Niezawodność dostaw energii elektrycznej jako miara efektywności diagnostyki technicznej w sieciach elektroenergetycznych
Reliability Of Electricity Supply As A Measure Of The Efficiency Of Technical Diagnostics In Distributed Power Networks

Piotr FOLĘGA, Andrzej WILK, Tomasz FIGLUS – Politechnika Śląska 209
Symulowanie rozwoju pęknięcia zęba koła z wykorzystaniem MEB w badaniach diagnostycznych przekładni
The Simulation The Development Of Crack Tooth Of Wheel With BEM In Investigations Diagnostic Gears

Janusz GARDULSKI, Rafał BURDZIK, Łukasz KONIECZNY - Politechnika Śląska 213
Transformata Wignera-Ville'a jako narzędzie diagnostyczne do identyfikacji uszkodzeń amortyzatorów samochodowych
Wigner-Ville Distribution As Diagnostic Tool For Shock Absorbers Defects Identification

Tadeusz GLINKA, Artur POLAK, Adam DECNER - Politechnika Śląska 217
Degradacja izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych pod wpływem czasu ich eksploatacji
Degradation Of Windings Insulation Of Electrical Machines Conditioned By The Time Of Exploiting

Piotr NOWAKOWSKI - ATR Bydgoszcz 223
Wykorzystanie rejestratorów pokładowych firmy ATM do diagnozowania urządzeń pokładowych statków powietrznych
Take Advantage Of On-Board Recorder Firm ATM To Diagnostics Devices Deck Aircrafts

Jan MONIETA, Przemysław ROKICKI - Akademia Morska Szczecin 229
Zastosowanie sygnałów prędkości drgań do diagnostyki wtryskiwaczy silników spalinowych
Application Of Signals Of The Velocity Vibration To Diagnostic Of Diesel Engine Injectors

Marek POTRZEBSKI - ATR Bydgoszcz 235
Ocena wybranych sposobów diagnozowania stanu technicznego wentylatorów
Estimation Of Chosen Diagnostics Methods Of Fans Technical State

Leszek SURÓWKA, Wiktor KUPRASZEWICZ - Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Pile 241
Koncepcja systemu do samodiagnozy układu hydraulicznego maszyny roboczej
Conception Of Self-Diagnostic System For Working Machines

Tomasz KAŁACZYŃSKI - ATR Bydgoszcz 245
Certyfikacja systemów zarządzania jakością drogą rozwoju polskiego przedsiębiorstwa
Certification The Systems Of Management The Quality The Road Of Development Of Polish Company

Tomasz KAŁACZYŃSKI - ATR Bydgoszcz 253
Cele i zakres auditu w firmie ubiegającej się o certyfikat jakości, rola certyfikatu w utrzymaniu jakości
The Aims And Range Verification The System Of Management The Quality In Applying About Certificate Of Quality Company, The Part Of Certificate In Maintenance The Quality

KARPOWICZ S., SORKO S. – Politechnika Białostocka, **DAINIAK I.** - Belarusian State University Minsk 259
Zintegrowany system nauczania
Integrated Teaching System

Zbigniew LOZIA - Politechnika Warszawska 263
Ocena testów diagnostycznych z wykorzystaniem modeli dynamiki i ruchu pojazdów
Assesment Of Diagnostic Tests Basing On Vehicle Dynamics And Motion Models

Roman STASZAŁEK - ATR Bydgoszcz 270
Analiza symulacyjna mechatronicznego wózka inwalidzkiego
Analysis Simulating Mehatronic Of Wheel Chair

Piotr MENCHEN - ATR Bydgoszcz 277
Analiza nierównomierności ruchu tłoka siłownika hydraulicznego
Analisys Of The Piston Motion Irregularity In Hydraulic Cylinders

Tadeusz MIKOŁAJCZYK - ATR Bydgoszcz 281
Diagnostyka powierzchni z zastosowaniem sieci neuronowych
Surface Diagnostics With Neural Net Use

Joanna WILCZARSKA, Henryk TYLICKI - ATR Bydgoszcz 285
Wykorzystanie aproksymacji i interpolacji modelu stanu maszyn w procesie genezowania
Using Approximation And Interpolation Of Model Of Machines Condition In Genesis

B.C. SZEWCZENKO L. KWAŚNIEWSKI - Narodowa Akademia Nauk Białorusi 290
Metody diagnozowania w systemach aktywnego zabezpieczenia niezawodności napędów hydraulicznych
Diagnostic Methods In Active Insuring Reliability Systems Of Hydraulic Machine Drives

Maciej WOROPAY, Adam BUDZYŃSKI, Wojciech BIENIASZEWSKI - ATR Bydgoszcz 295
Model numeryczny i symulacja pracy wybranej koncepcji silnika spalinowego pozbawionego wału korbowego
Numerical Geometry Model And Motion Analysis In The Case Of The Concept Combustion Engine That Is Devoid Of The Crankshaft

Janusz ZACHWIEJA - ATR Bydgoszcz 301
Analiza dynamiki wirnika pionowego wirówki acww1000 w aspekcie diagnozowania
The Numerical Modeling Of The Vertical Rotor Dynamics On The Example Of Acww1000 Centrifuge

Bogdan ŻÓŁTOWSKI - ATR Bydgoszcz 307
Ku wyżynom nauki - progi i bariery
Towards Uplands Of Science - The Sill Timbers And Barriers

Waldemar WINTER - Urząd Miasta Bydgoszczy, **Bogdan ŻÓŁTOWSKI** - ATR Bydgoszcz 314
Kształtowanie bezpieczeństwa ruchu drogowego pojazdów samochodowych
The Formation Of Automotive Vehicle Trafic Safety

Ireneusz BIELSKI - ATR Bydgoszcz 321
Diagnostyka jako źródło przewag konkurencyjnych w przemyśle maszynowym
Diagnostics As A Source Of Competitive Advantages In The Machine Industry

Agata ZAŁĘSKA-FORNAL, Marek ZELLMA – Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni 325
Opis sygnałów za pomocą hiperbolicznych funkcji sklejanych
Description Of Signals By Means Of Hyperbolic Splines

Agata ZAŁĘSKA-FORNAL, Marek ZELLMA – Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni 331
Zastosowanie hiperbolicznych funkcji sklejanych do identyfikacji parametrów silnika elektrycznego
Applying The Hyperbolic Splines In Identification Of Parameters Of An Electric Engine

Maciej WOROPAY, Piotr BOJAR - ATR Bydgoszcz 337
Ocena stopnia ryzyka w komunikacji miejskiej
Hazard Degree Evaluation In Public Transport

Ryszard MICHALSKI - UWM w Olsztynie 343
Diagnozowanie w fazie projektowania maszyn
Diagnostic In Machines Development Stage

Paweł MIKOŁAJCZAK, Krzysztof LIGIER - UWM w Olsztynie 349
Systemy informatyczne wspomagające utrzymanie ruchu maszyn
Information System Supporting Machine Maintenance

Anatoly A. DUBOV - "Energodiagnostika" Co. Ltd., Moscow, Russia 355
Przewodnik metodyczny dla przeprowadzenia inspekcji jednostek zasilających lokomotywy elektryczne z zastosowaniem metalowo magnetycznej pamięci.
Methodical Guideline For Inspection Of Electric Locomotive Power Units (Frog, Shaft And Spline Joints) Using The Metal Magnetic Memory

PRZEDMOWA

Materiały zawarte w tym wydaniu *DIAGNOSTYKI* są zbiorem recenzowanych publikacji zgłoszonych na XII Międzynarodową Konferencję *DIAGNOSTYKA MASZYN ROBOCZYCH I POJAZDÓW*, która odbyła się w Borównie k/Bydgoszczy w dniach 23-26 czerwca 2005r. Prezentowane prace zawierają wiele cennego poznawczo i aplikacyjnie materiału, będącego wynikiem wieloletnich badań diagnostycznych prowadzonych w różnych ośrodkach na rzeczywistych obiektach technicznych.

Pierwsze spotkanie tego typu odbyło się w 1979 r. w Tucznie z inicjatywy członków Zespołu Diagnostyki SPE KBM PAN i pracowników naukowych WOSS w Pile. To już 25 lat, jak co drugi rok w Pile i Kielcach, a ostatnio, co 3 lata w Borównie k/Bydgoszczy odbywają się te spotkania, unikalne w swej treści, nakierowane na nowoczesne metody diagnostyki pojazdów i maszyn roboczych.

Tematyka konferencji obejmuje problematykę diagnostyki technicznej maszyn roboczych i pojazdów, uwzględniająca dokonania zarówno od strony teorii, jak i zastosowań praktycznych**.** Konwencją charakterystyczną tych spotkań jest ich głównie szkoleniowy charakter oraz doniesienia z dokonań w tej dziedzinie.

Uczestnikami *KONFERENCJI* są przedstawiciele nauki i praktyki przemysłowej z kraju i z zagranicy, zajmujący się diagnostyką techniczną. Stanowią oni ukształtowanie już forum diagnostyczne dostawców i użytkowników teorii diagnostyki i technologii diagnozowania. Lata tradycji zintegrowanego środowiska tej konferencji i wiążących się z nią dokonań naukowych i wdrożeniowych stanowią o sile realizowanych spotkań i potrzebie ich kontynuacji.

Komitet Naukowy Konferencji od lat tworzą czołowi twórcy (krajowi i zagraniczni) dziedziny diagnostyki technicznej, wśród których warto zauważyć wielu wspaniałych naukowców tego obszaru wiedzy. Swoje dokonania prezentują oni często w ramach spotkań naukowych, w publikowanych w kraju i zagranicą pracach o tematyce diagnostycznej, czy też w postaci komunikatów o ruchu diagnostycznym i podaży usług diagnostycznych w kraju. Wymiernym efektem tej działalności są głównie promocje naukowe wielu naszych Kolegów, od lat uczestników obrad tej Konferencji. Jest, więc okazja, by w tym miejscu im wszystkim pogratulować i podziękować za ciężką i żmudną pracę.

Zintegrowane środowisko diagnostyczne, reprezentowane w dużej części i na tej *KONFERENCJI*, liczy już setki ludzi, znanych lub jakże często bezimiennych, głęboko oddanych diagnostyce. Notowane często ich sukcesy naukowe i wdrożeniowe z tego obszaru działalności są zawsze poprzedzone żmudną, wytężoną i wyczerpującą pracą. Praca ta, jakże często prowadzona jest w osamotnieniu, w oderwaniu od spraw życia codziennego, wykonywana najczęściej w nocy. Jakże często dokonania tej mozolnej pracy sprawiają satysfakcję twórcom jedynie podczas wystąpień w ramach spotkań naukowych, czy też po opublikowaniu swoich osiągnięć w znaczących naukowych czasopismach krajowych lub zagranicznych.

W podsumowaniu chciałbym podziękować wszystkim uczestnikom za włączenie się do prac środowiska diagnostycznego, życzyć dobrego zdrowia i dalszych wspaniałych sukcesów naukowych. Zespołowi organizatorów wyrażam gorące podziękowania za trud i wysiłek organizacyjny, który zawsze owocuje właściwym poziomem merytorycznym i organizacyjnym.

Bogdan ŻÓŁTOWSKI

PRÓBA ZASTOSOWANIA ANALIZY FALKOWEJ DO OCENY WSKAŹNIKÓW CYKLU PRACY SILNIKA O ZS

Andrzej AMBROZIK, Dariusz KURCZYŃSKI, Piotr ŁAGOWSKI

Zakład Silników Spalinowych i Maszyn Roboczych, Katedra Pojazdów i Sprzętu Mechanicznego, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, PL-25314 Kielce, fax: (041)34 24 340, email: silspal@tu.kielce.pl

Tomasz AMBROZIK

Zakład Elektroniki, Wyższa Szkoła Telekomunikacji i Informatyki w Kielcach, ul. Helenówek 2, fax: (041) 34 60 802, email: tambrozik@wp.pl

Streszczenie

W artykule podjęto próbę zastosowania prostych równań analizy falkowej do oceny wskaźników cyklu pracy silnika o zapłonie samoczynnym. Analizie poddano wykresy indykatorowe silnika AD3.152 pracującego wg zewnętrznej charakterystyki prędkościowej dla prędkości obrotowej odpowiadającej maksymalnemu momentowi obrotowemu n=1400obr/min i prędkości mocy nominalnej n=2000obr/min. W pracy przedstawiono rzeczywiste wykresy indykatorowe i po odfiltrowaniu zakłóceń. W artykule omówiono wpływ odfiltrowania przebiegu ciśnienia w cylindrze na charakterystyki wydzielania ciepła podczas procesu spalania.

Słowa kluczowe: silniki spalinowe, diagnostyka, wykres indykatorowy, wydzielanie ciepła, analiza falkowa

ATTEMPT AT WAVELET ANALYSIS APPLICATION TO THE ASSESSMENT OF SELF-IGNITION ENGINE WORKING CYCLE INDICATORS

Summary

The paper makes an attempt at applying simple equations of wavelet analysis to the assessment of self-ignition engine working cycle indicators. AD3.152 engine indicator diagrams are analysed. The engine operated in external speed characteristics regime for the rotational speed corresponding to the maximum torque n= 1400 rotations/min and power rating speed n=2000 rotations/min. Both real indicator diagrams and those obtained after interference filtration are presented in the paper. The impact of the filtration of pressure changes in the cylinder on heat release characteristics in combustion process is discussed

Keywords: combustion engines, diagnostics, indicator diagram, heat release, wavelet analysis

1. WSTĘP

Wykres indykatorowy jest jednym z dość łatwo uzyskiwanych i wiarygodnych źródeł informacji o przebiegu procesów zachodzących wewnątrz cylindra silnika spalinowego. Od przebiegu tego procesu silnie zależy emisja toksycznych składników spalin, która coraz ostrzej regulowana jest przez przepisy normatywne [1]. Wszystko to powoduje konieczność posiadania dokładnych i szybkich metod obliczeniowych, dzięki którym możliwa jest ocena stanu technicznego silnika.

Dość szybko rozwijającą się dziedziną w zakresie analizy wykresów indykatorowych jest falkowa analiza sygnałów. Jest to dziedzina dość młoda gdyż liczy sobie zaledwie 10 lat. Znajduje ona szerokie zastosowanie wszędzie tam, gdzie dokonywana jest analiza procesów przejściowych reprezentowanych przez sygnały będące wynikiem zmienności w czasie nieliniowych parametrów charakteryzujących analizowane zjawiska fizyczne [2]. Wykorzystuje się ją m. in. do filtracji sygnałów i kompresji
danych, jak również w obliczeniach numerycznych. Pozwala to na znaczne przyspieszenie w czasie realizacji obliczeń.

Reasumując, analizę falkową stosujemy do aproksymacji badanego zjawiska fizycznego, co umożliwia uwypuklenie istotnych charakterystyk danego zjawiska jak np. przebiegu procesu spalania w tłokowym silniku spalinowym, co postanowiono miedzy innymi wykorzystać w niniejszym artykule.

2. CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy jest próba zastosowania najprostszej analizy falkowej, wykresu indykatorowego. Niniejsza analiza ma na celu porównanie wartości wskaźników pracy silnika wyznaczonych w oparciu o rzeczywisty wykres indykatorowy, z wartościami tych wskaźników uzyskanych z wygładzonego wykresu indykatorowego sporządzonego zarówno dla otwartego jak i zamkniętego układu termodynamicznego.

3. METODYKA BADAŃ

Od postaci wykresu indykatorowego zależy szereg ważnych wskaźników i parametrów pracy silnika. Przebiegi ciśnienia (wykresy indykatorowe) należą do wielkości szybkozmiennych obarczonych zakłóceniami [3]. Dlatego też w pracy podjęto próbę zastosowania najprostszego filtru dolnoprzepustowego i górnoprzepustowego do analizy takiego wykresu. Równanie najprostszego filtru dolnoprzepustowego wg [2] ma postać:

$$p_{sri} = \frac{1}{2}p_i + \frac{1}{2}p_{i-1} \tag{1}$$

gdzie: p_i jest bieżącą wartością ciśnienia w cylindrze.

Wyjściem tego filtru jest wartość średnia z dwóch ostatnich wartości sygnału wejściowego, to znaczy generuje on tzw. średnią bieżącą. Filtrem bliźniaczym tego filtru jest filtr górnoprzepustowy, który generuje różnicę bieżącą z dwóch ostatnich wartości sygnału wejściowego i ma on postać [2]:

$$p_{ri} = \frac{1}{2}p_i - \frac{1}{2}p_{i-1} \tag{2}$$

Do analizy wykorzystano wykresy indykatorowe wyznaczone dla silnika o zapłonie samoczynnym typu Perkins AD3.152 z bezpośrednim wtryskiem paliwa do komory spalania usytuowanej w denku tłoka. Wykresy sporządzono przy rozwijaniu przez silnik maksymalnego momentu obrotowego M_o=168Nm przy n=1400obr/min i maksymalnej mocy N_e=34,5kW przy n=2000obr/min. Badania przeprowadzono przy zasilaniu silnika paliwem ONM City 50, którego właściwości fizykochemiczne podano w tabeli 1. Podstawowe parametry badanego silnika przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1
Podstawowe właściwości fizykochemiczne paliw silnikowych wykorzystanych w badaniach

Parametr	Olej napędowy miejski ONM City 50
Liczba cetanowa	51,7
Wartość opałowa [MJ/kg]	43,2
Gęstość w 20°C [g/cm^3], (15°C)	0,817
Lepkość kinematyczna [mm^2/s] (~40°C)	2,83
Napięcie powierzchniowe [N/m] (20°C)	3,64
Temperatura zapłonu [°C]	67
Przeciętny skład elementarny [%] - C - H - O	 87,2 12,7 0,002

Tabela 2.
Dane techniczne silnika Perkins AD3.152.

Wielkość	Symbol	Jednostka	Wartość
Ilość cylindrów	I	-	3
Średnica cylindra	D	mm	91,44
Skok tłoka	S	mm	127
Pojemność skokowa	V	dm^3	2,502
Maksymalna moc silnika, przy prędkości obrotowej	N n	kW obr/min	34,5 2250
Maksymalny moment obrotowy przy prędkości obrotowej	M_o n	Nm obr/min	168 1300÷1400
Stopień sprężania	ε	-	16,5
Kąt dynamicznego początku tłoczenia	α_t	°OWK	15
Kąt otwarcia zaworu dolotowego	α_{ozd}	°OWK	13 przed GMP
Kąt zamknięcia zaworu dolotowego	α_{zzd}	°OWK	43 za DMP
Kąt otwarcia zaworu wylotowego	α_{ozw}	°OWK	46 przed DMP
Kąt zamknięcia zaworu wylotowego	α_{zzw}	°OWK	10 za GMP

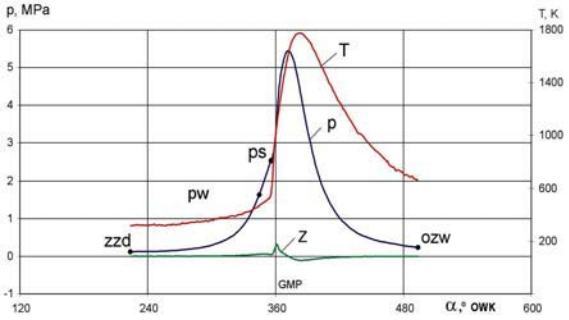
4. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wartości wskaźników pracy silnika oraz obliczeń względnych ilości ciepła wydzielającego się i wymienianego podczas procesu spalania x, x_i i x_{sc} otrzymane z obliczeń przeprowadzonych dla wykresów rzeczywistych i wygładzonych sporządzonych przy zamkniętym i otwartym układzie termodynamicznym przedstawiono w tabeli 3.

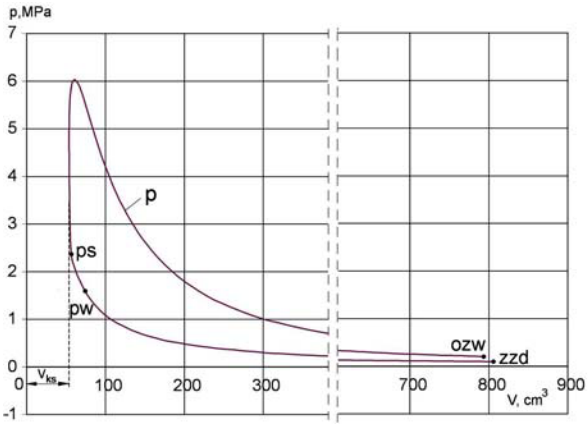
Tabela 3.
Wartości wskaźników pracy silnika uzyskanych z wykresów rzeczywistych i wygładzonych przy otwartym i zamkniętym układzie termodynamicznym

Układ otwarty				
-	Przebieg rzeczywisty	Przebieg wygładzony	Przebieg rzeczywisty	Przebieg wygładzony
n, obr/min	**1400**		**2000**	
L_i, J	713,874	739,643	710,677	734,371
p_i, MPa	0,856	0,887	0,852	0,881
η_i	0,481	0,498	0,485	0,502
N_i, kW	24,986	25,888	35,534	36,719
M_i, Nm	170,425	176,571	169,662	175,318
g_i, g/kWh	206,519	199,324	204,594	197,993
p_{max}, MPa	6,032	6,023	5,451	5,437
T_{max}, K	1769	1817	1779	1826
λ	1,306		1,696	
Układ zamknięty				
-	Przebieg rzeczywisty	Przebieg wygładzony	Przebieg rzeczywisty	Przebieg wygładzony
n, obr/min	**1400**		**2000**	
L_i, J	691,45	717,188	708,164	731,905
p_i, MPa	0,829	0,86	0,849	0,878
η_i	0,466	0,483	0,484	0,5
N_i, kW	24,201	25,102	35,408	36,595
M_i, Nm	165,071	171,216	169,062	174,73
g_i, g/kWh	213,217	205,565	205,32	198,66
p_{max}, MPa	6,032	6,023	5,451	5,437
T_{max}, K	1769	1817	1779	1826
λ	1,306		1,696	

Na rys. 1 przedstawiono przykładowy uśredniony przebieg ciśnienia i temperatury w cylindrze oraz odfiltrowane wartości ciśnienia otrzymane za pomocą filtru górnoprzepustowego, dla silnika pracującego przy: n=1400min^{-1}, M_e=150,21Nm, g_c=4,27·10^{-5}kg/cykl, oraz α_{ww}=15 °OWK przed GMP, gdzie: g_c - dawka paliwa przypadająca na cykl pracy silnika, α_{ww}- kąt wyprzedzenia wtrysku paliwa.

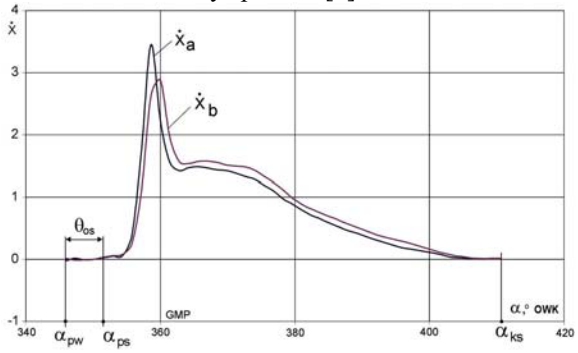


Rys.1. Przebieg ciśnienia i temperatury oraz odfiltrowanej wartości ciśnienia za pomocą filtru górnoprzepustowego w funkcji kąta obrotu wału korbowego silnika AD3.152 pracującego przy: n=1400 min^{-1}, M_e = 136Nm,g_c=4,27·10^{-5} kg/cykl, oraz α_{ww}=15 °OWK przed GMP, gdzie: zzd- zamknięcie zaworu dolotowego, ozw- otwarcie zaworu wylotowego, p_w – początek wtrysku paliwa, p_s- początek spalania,

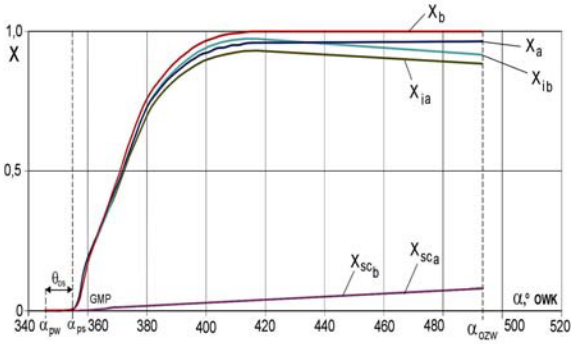


Rys.2. Przebieg zmiany ciśnienia „p" w funkcji zmiany objętości silnika AD3.152 pracującego przy: n=1400 min^{-1}, M_e = 136Nm,g_c=4,27·10^{-5}kg/cykl, oraz α_{ww}=15 °OWK przed GMP, oznaczenia jak na rys. 1

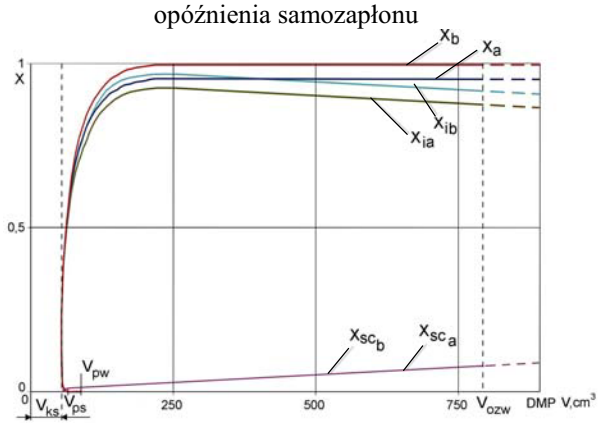
Na rysunkach 3, 4 i 5 przedstawiono charakterystyki wydzielania ciepła, które sporządzono dla rzeczywistych i wygładzonych wykresów indykatorowych. Charakterystyki te sporządzono przy założeniu, że proces całkowitego i zupełnego spalania został zakończony do chwili rozpoczęcia się procesu wylotu spalin z cylindra. Metoda ta uwzględnia zmianę ilości produktów spalania w czasie jego trwania, zależność ciepeł właściwych od składu i temperatury czynnika roboczego oraz konwekcyjną wymianę ciepła miedzy czynnikiem roboczym a ściankami komory spalania [1].



Rys.3. Przebieg zmiany prędkości względnej ilości wydzielającego się ciepła podczas procesu spalania $\dot{x}$ w funkcji kąta obrotu wału korbowego silnika AD3.152 pracującego przy: n=1400 min^{-1}, M_e = 136Nm, g_c=4,27·10^{-5}kg/cykl, oraz α_{ww}=15 °OWK przed GMP, gdzie: indeks dolny „a" dotyczy przebiegu zmiany prędkości $\dot{x}$ wyznaczonej na podstawie rzeczywistego wykresu indykatorowego, indeks dolny „b" dotyczy przebiegu zmiany prędkości $\dot{x}$ wyznaczonej na podstawie wykresu indykatorowego wygładzonego filtrem dolnoprzepustowym, θ_{os} - kąt opóźnienia samozapłonu



Rys.4. Przebieg względnej ilości wydzielającego się ciepła x, względnej indykowanej ilości wydzielającego się ciepła x_i oraz względnej ilości ciepła przekazywanego do ścianek komory spalania x_{sc}. Wielkości te wyznaczono w funkcji kąta obrotu wału korbowego silnika AD3.152 pracującego przy: n=1400 min^{-1}, M_e = 136Nm, g_c=4,27·10^{-5}kg/cykl, oraz α_{ww}=15 °OWK przed GMP, gdzie: indeks dolny „a" dotyczy wykresu wyznaczonego na podstawie rzeczywistego wykresu indykatorowego, indeks dolny „b" dotyczy wykresu wyznaczonego na podstawie wykresu indykatorowego wygładzonego filtrem dolnoprzepustowym, θ_{os} - kąt opóźnienia samozapłonu



Rys.5. Przebieg względnej ilości wydzielającego się ciepła x, względnej indykowanej ilości wydzielającego się ciepła x_i oraz względnej ilości ciepła przekazywanego do ścianek komory spalania x_{sc} wyznaczone w funkcji zmiany objętości cylindra silnika AD3.152 pracującego przy: n=1400 min^{-1}, M_e = 136Nm, g_c=4,27·10^{-5}kg/cykl, oraz α_{ww}=15 °OWK przed GMP, gdzie: gdzie: indeks dolny „a" dotyczy przebiegu wyznaczonego na podstawie rzeczywistego wykresu indykatorowego, indeks dolny „b" dotyczy wykresu wyznaczonego na podstawie wygładzonego wykresu indykatorowego filtrem dolnoprzepustowym, θ_{os} - kąt opóźnienia samozapłonu

5. WNIOSKI

Na podstawie analizy wyników badań można sformułować następujące wnioski:

- wygładzenie przebiegu ciśnienia filtrem dolnoprzepustowym zapewnia otrzymanie gładkiego przebiegu wiarygodnej, średniej wartości maksymalnego ciśnienia i temperatury maksymalnej cyklu, a zatem i łagodniejszy przebieg charakterystyk względnych ilości wydzielającego się ciepła dla kątów obrotu wału korbowego silnika znajdujących się w pobliżu GMP tłoka,
- wygładzony przebieg ciśnienia zapewnia otrzymanie wartości wskaźników indykowanych takich jak sprawność indykowana η_i, średnie ciśnienie indykowane p_i, średnie indykowane zużycie paliwa g_i itp. z błędem nie przekraczającym 4%,
- kąt opóźnienia samozapłonu wyznaczony wg metody [1] zarówno dla rzeczywistego jak i wygładzonego przebiegu ciśnień przyjmował prawie takie same wartości liczbowe

LITERATURA

[1] Ambrozik A.: Wybrane zagadnienia procesów cieplnych w tłokowych silnikach spalinowych. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2003.
[2] Ambrozik A., Łagowski P.: Wpływ wybranych charakterystyk wydzielania ciepła w silnikach ZS na jego wskaźniki indykowane. Kraków, Zeszyty Nr 26-27, 2003, s.23-32.

Dr hab. inż. Andrzej Ambrozik jest profesorem na Wydziale Modelowania i Zarządzania Komputerowego Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach

Mgr inż. Tomasz Ambrozik jest pracownikiem Zakładu Elektroniki Wyższej Szkoły Telekomunikacji i Informatyki w Kielcach,

Mgr inż. Dariusz Kurczyński jest asystentem w Zakładzie Silników Spalinowych i Maszyn Roboczych Katedry Pojazdów i Sprzętu Mechanicznego Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach

Mgr inż. Piotr Łagowski jest asystentem w Zakładzie Silników Spalinowych i Maszyn Roboczych Katedry Pojazdów i Sprzętu Mechanicznego Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach

DOZOROWANIE UKŁADU KOMUNIKACJI W UJĘCIU POTENCJAŁOWYM

Marcin BEDNAREK[**], Lesław BĘDKOWSKI[*], Tadeusz DĄBROWSKI[*]

[*]Instytut Systemów Elektronicznych, Wydział Elektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna, ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, fax (22) 6839125,
e-mail: lbedkowski@wel.wat.edu.pl, tdabrowski@wel.wat.edu.pl
[**]Katedra Informatyki i Automatyki, Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechnika Rzeszowska, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, fax (17) 8542910, e-mail: bednarek@prz.rzeszow.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono układ komunikacji w ujęciu potencjałowym. Krótko scharakteryzowano komunikację pomiędzy komputerem nadrzędnym (stacją operatorską) a sterownikiem (stacją procesową). Omówiono obiekty wielozadaniowe sekwencyjne. Podano potencjałowe kryterium zdatności układu komunikacji. Całość artykułu uzupełnia przykład wykorzystania nadmiaru czasowego.

Słowa kluczowe: układ komunikacji, potencjał, potencjalność

A SUPERVISING OF A COMMUNICATION SYSTEM IN A POTENTIAL APPROACH

Summary

A communication system in a potential approach is presented in the article. A communication between a host computer (an operator station) and a controller (a process station) is briefly characterized. Sequential multitask objects are described as well. The communication system potential fitness criterion is given. The article is suplemented with an example of time redundancy utilization.

Keywords: communication system, potential, potentiality

1. WPROWADZENIE

W referacie rozpatrywana jest komunikacja pomiędzy komputerem nadrzędnym (stacją operatorską prowadzącą działania z zakresu diagnozowania, akwizycji danych i wizualizacji procesu) a sterownikiem obiektowym (stacją procesową realizującą procesy sterowania). Urządzenia te należą do rozproszonego systemu sterowania. Połączone są magistralą komunikacyjną i zwykle stanowią fragment większego systemu. Oprócz nich, w tego typu systemie, funkcjonują również inne urządzenia (m.in. stacje procesowe). Komunikujące się stacje korzystają z odpowiednio dobranego protokołu komunikacyjnego, zapewniającego w warunkach przemysłowych, przede wszystkim, ściśle określony czas dostarczenia wartości zmiennych. Szczegółowe przykłady i techniczne opisy przytoczone w niniejszej pracy dotyczą komunikacji polegającej **na cyklicznym** „odpytywaniu" (*pooling*) sterowników (urządzeń podrzędnych, które samodzielnie nie inicjują wymian informacji) przez komputer nadrzędny wg zasady *master-slave*. Przykładem takiego typu „porozumiewania się" urządzeń jest protokół Modbus [10], w którym komputer nadrzędny (*master*) odpytuje urządzenia podrzędne – sterowniki (*slave*). Wiele szczegółowych informacji na ten temat można znaleźć w [7, 8, 11]. Większość spośród podanych tu rozwiązań można rozszerzyć także na inne sposoby komunikacji.

Elementami składowymi układu komunikacji są w szczegółowym ujęciu: interfejs komunikacyjny komputera nadrzędnego z driverem komunikacyjnym wymieniającym informacje z aplikacjami wg pewnej kolejności, magistrala komunikacyjna z protokołem komunikacji (zapewniającym odpowiednie mechanizmy niezawodnościowe), interfejs komunikacyjny stacji procesowej i zadanie obsługujące komunikację. W szerszym znaczeniu układ komunikacji obejmuje komunikujące się urządzenia połączone magistralą komunikacyjną.

Potencjałowe ujęcie procesu komunikacji pomiędzy stacją operatorską a stacją procesową, uwzględniające obecność w otoczeniu innych – przyłączonych do wspólnej magistrali komunikacyjnej – urządzeń, jest przedmiotem niniejszego opracowania.

2. UJĘCIE POTENCJAŁOWE UKŁADU KOMUNIKACJI

Ujęcie potencjałowe układu komunikacji opiera się na następujących podstawowych założeniach:

- zadaniową miarą możliwości eksploatacyjnych (użytkowych i obsługowych) systemu jest potencjał eksploatacyjny,
- zadaniową miarą skutków eksploatacyjnych działania systemu jest efekt eksploatacyjny [1].

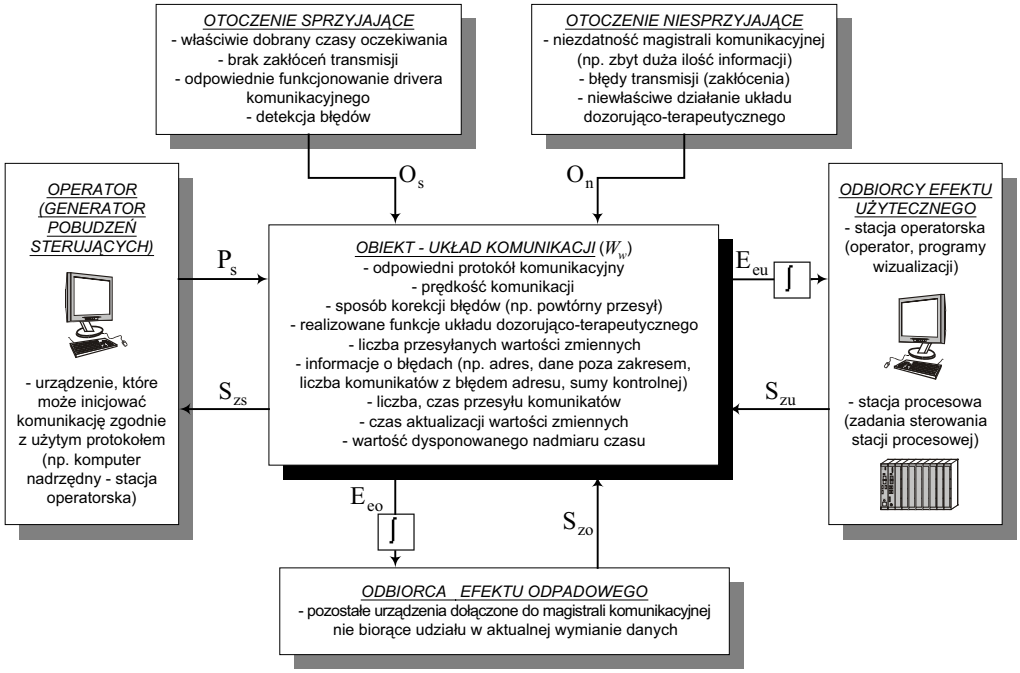
Analogicznie do przedziałowych miar możliwości i skutków działania systemu istnieją jego miary chwilowe, czyli odpowiednio: potencjalność i efektywność.

Na rys. 1 przedstawiony jest model układu komunikacji (*UK*) w ujęciu potencjałowo-efektowym z uwzględnieniem relacji z otoczeniem [2]. Wielkości opisujące stan układu komunikacji (zarówno zewnętrzne, jak i wewnętrzne w stosunku do systemu) tworzą następujący zbiór L_{UK}:

$$L_{UK} = \{W_w, P_s, O_s, O_n, S_{zs}, S_{zu}, S_{zo}\} \quad (1)$$

gdzie:

- W_w - wartości wielkości wewnętrznych opisujących strukturę układu (rys. 1),
- P_s - pobudzenia sterujące,
- O_s - sprzyjające oddziaływanie otoczenia,
- O_n - niesprzyjające oddziaływanie otoczenia,
- S_{zs} - zwrotne oddziaływanie układu na generator pobudzeń sterujących,
- S_{zu} - zwrotne oddziaływanie na układ odbiorcy efektu użytecznego,
- S_{zo} - zwrotne oddziaływanie na układ odbiorcy efektu użytecznego.



Rys. 1. Model układu komunikacji w ujęciu potencjałowo-efektowym

Potencjalność i efektywność układu komunikacji można zapisać jako:

$$E_p(t) = f_p\left(L_{UK}(t)\right) \quad (2)$$

oraz:

$$E_e(t) = f_e\left(L_{UK}(t)\right) \quad (3)$$

Efekt i potencjał jest funkcją (dokładniej: całką) odpowiednio: efektywności i potencjalności systemu:

$$F_E = f_E\left(E_e, \Delta t\right) \quad (4)$$

$$F_P = f_P\left(E_p, \Delta t\right) \quad (5)$$

Ze względu na główną funkcję układu komunikacji tj. realizację zadań użytkowych (wymianę informacji pomiędzy stacjami), dalsze rozważania są przeprowadzone dla wielkości dotyczących efektu użytkowego i potencjału użytkowego.

Rys. 2. przedstawia układ łączący stację operatorską i procesową. Można tu wyróżnić 2 przypadki:

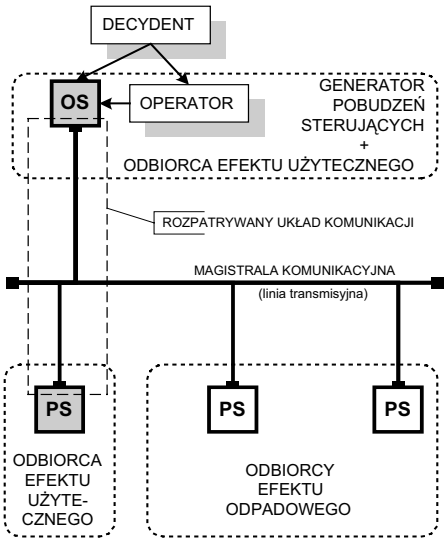
- Przy pomocy układu komunikacji informację wymieniają tylko 2 stacje (komputer nadrzędny – OS i sterownik – PS). Wtedy odpadowy efekt użytkowy układu komunikacji jest zerowy. Informacji przesyłanych magistralą komunikacyjną nie odbiera żadne inne urządzenie (brak odbiorcy efektu odpadowego):

$$F_{Eo}=0. \quad (6)$$

- Oprócz „pary" OS-PS (ciemny kolor – por. rys. 2) wymieniającej informację, do magistrali komunikacyjnej przyłączone są również inne stacje (PS). Wszystkie komunikaty przesyłane poprzez układ komunikacji pomiędzy parą OS-PS trafiają też do pozostałych urządzeń. Każda stacja (niezależnie, czy to właśnie ona uczestniczy w procesie komunikacji, czy też należy jedynie do otoczenia) może odebrać informację. Można –

w tym przypadku – mówić o równości efektu odpadowego i użytecznego UK:

$$F_{Eo}=F_{Eu}. \quad (7)$$



Rys. 2. Rola elementów układu komunikacji w ujęciu potencjałowym
Oznaczenia: OS – stacja operatorska (*Operator Station*), PS – stacja procesowa (*Process Station*)

Tę własność (7) wykorzystuje się w przypadku wysyłania informacji do kilku urządzeń (nadawanie rozgłoszeniowe). Przykładem może być komunikat zawierający zerowy adres urządzenia docelowego w protokole Modbus. Otrzymują go wszystkie stacje dołączone do układu komunikacji (właściwa – odbiorca efektu użytecznego i pozostałe z otoczenia – odbiorcy efektu odpadowego).

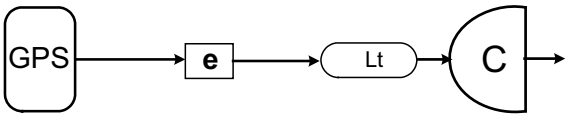
Podobną metodę można zastosować do celów dozorowania układu komunikacji. Przyłączone do magistrali urządzenie dozorujące – UD (np. w miejsce jednej ze stacji PS) może zbierać informacje przesyłane po magistrali (efekt odpadowy) [6]. Jeśli zostanie mu dodatkowo przyporządkowany adres, to po zwróceniu się o przekazanie informacji statystycznych dotyczących komunikacji, diagnozer (np. oprogramowanie stacji operatorskiej) na podstawie odpowiedzi UD będzie mógł podjąć działania uruchamiające czynności terapeutyczne. Czynności te mogą polegać np. na powtórnym przesłaniu uszkodzonych części komunikatu.

3. UKŁAD KOMUNIKACJI JAKO OBIEKT WIELOZADANIOWY

Układ komunikacji można traktować jako obiekt *wielozadaniowy, sekwencyjny, jednotorowy, o destrukcyjnych procesach średniozmiennych*.

Cechy takiego obiektu są następujące:

- wykonanie zadania globalnego polega na wykonaniu ***n*** zadań cząstkowych;
- procesy destrukcyjne nie są wykrywane w trakcie rozwoju, co uniemożliwia ich przerywanie;
- skutki procesów destrukcyjnych są wykrywane na podstawie diagnozowania zadań cząstkowych;
- możliwe jest szybkie wykrycie efektu wadliwego i jego korekta przez powtórne uruchomienie (powtórną transmisję); oznacza to, że proces destrukcyjny należy do **procesów średniozmiennych;**
- nadmiar czasu pozwala na uzupełnienie uszkodzonych (błędnie wykonanych) zadań cząstkowych przed upływem wymaganego czasu wykonania zadania globalnego;
- występuje jeden tor wykonawczo-transmisyjny, który sekwencyjnie realizuje zadania cząstkowe (rys. 3);
- elementy $\mathbf{e_i}$ pracują sekwencyjnie (tj. przesyłają efekty cząstkowe do zasobnika C sekwencyjnie w czasie); w zasobniku jest przeprowadzana synteza efektu globalnego.



Rys.3. Model obiektu wielozadaniowego, sekwencyjnego, jednotorowego
Oznaczenia: GPS – generator pobudzeń sterujących (zadań); **e** – element (moduł) realizujący zadanie cząstkowe; Lt – linia transmisyjna; C – zasobnik zbierający efekt realizacji zadań cząstkowych (suma arytmetyczna lub iloczyn logiczny – por. tab. 1)

Układ komunikacji można porównać do obiektu typu „iloczyn logiczny" (tab. 1).

Tab. 1. Podział obiektów ze względu na sposób gromadzenia efektu cząstkowego

Typ obiektu	*suma arytmetyczna*	*iloczyn logiczny*
Sposób gromadzenia efektu cząstkowego	Zadanie globalne jest sumą arytmetyczną zadań cząstkowych z_i $Z = \sum_{i=1}^{i=n} z_i$	Zadanie globalne jest iloczynem logicznym zadań cząstkowych z_i $Z = \bigwedge_{i=1}^{i=n} z_i$
Uwagi	**Z** – zadanie globalne ***n*** – liczba wymaganych zadań cząstkowych $\mathbf{z_i}$	

Główne założenia takiego modelu są następujące:

- zadania cząstkowe mają różne treści (np. przesłanie zbioru komunikatów cząstkowych zawierających wartości zmiennych, w całości tworzących zadanie globalne); częściowe wykonanie takiego zadania **nie może** być uznane za jego **zrealizowanie** jeśli złożenie tylko części

odebranych zmiennych nie ma wartości użytkowej – zbiór zmiennych musi być kompletny;
- niezdatności elementów występujące w czasie realizowania zadania (np. wskutek zakłóceń) mają charakter zanikający;
- występuje brak możliwości wykrywania symptomów procesów destrukcyjnych w elementach; zatrzymanie procesów destrukcyjnych przed wystąpieniem niezdatności i przed zniszczeniem efektu cząstkowego nie jest możliwe;
- **niezdatność polega na wadliwym produkcie cząstkowym**;
- suma produktów cząstkowych wykonanych poprawnie może być uznawana za wykonanie części zadania globalnego (zakłada się wówczas zapamiętywanie przez zasobnik zbierający efekt realizacji zadań cząstkowych błędnie przesłanych komunikatów; ilustracją takiej sytuacji jest opisany dalej przykład wykorzystania nadmiaru czasowego – por. p.4 oraz rys.5).

Dla układu komunikacji traktowanego jako obiekt wielozadaniowy, sekwencyjny, z uwzględnieniem średniozmiennych procesów destrukcyjnych, można zdefiniować kryterium zadaniowej zdatności użytkowej (8). W przypadku gdy występuje nadmiar potencjału destrukcyjnego część zadań cząstkowych zostaje zniszczona.

Kryterium zdatności przyjmuje postać:

$$F_{P\,uż\,dys} \geq F_{P\,uż\,nzb} + F_{P\,uż\,nad} \tag{8}$$

gdzie:

$$F_{P\,uż\,nad} = F_{P\,destr} - F_{P\,pdestr} = n' \tag{9}$$

$F_{P\,uż\,nad}$ - nadmiar potencjału użytkowego, niezbędny dla odtworzenia zniszczonego efektu (komunikatów), wyrażony liczbą dodatkowych zadań cząstkowych $\boldsymbol{n'}$ (komunikatów), które należy uruchomić;

$$F_{P\,uż\,dys\,gr} = F_{P\,uż\,nzb} + F_{P\,uż\,nad} \tag{10}$$

$F_{P\,uż\,dys\,gr}$ - wartość graniczna użytkowego potencjału dysponowanego, przy której możliwe jest zrealizowanie wymaganego zdania globalnego (uzyskanie wymaganego efektu);

$F_{P\,uż\,dys}$ - użytkowy potencjał dysponowany wyrażony liczbą $n_{uż\,dys}(t_{wym\,glob})$ zadań cząstkowych, które można wykonać w sesji roboczej i w wymaganym czasie ($t_{wym\,glob}$);

$F_{P\,uż\,nzb}$ - niezbędny (wymagany) potencjał użytkowy wyrażony liczbą $\boldsymbol{n}$ zadań cząstkowych, zamówionych przez stacje systemu;

$F_{P\,destr}$ - potencjał destrukcyjny wyrażony liczbą zniszczonych zadań cząstkowych (np. błędnie przesłanych komunikatów) zamówionych przez stacje systemu (w najgorszym przypadku można założyć, że „celem" systemu destrukcji jest zniszczenie wszystkich $\boldsymbol{n}$ zadań);

$F_{P\,pdestr}$ - potencjał przeciwdestrukcyjny wyrażony liczbą $\boldsymbol{n_{zre}}$ zadań cząstkowych zrealizowanych w czasie sesji transmisyjnej;

$F_{P\,destr} - F_{P\,pdestr} = n_{nzre}$ - nadmiar potencjału destrukcyjnego wyrażony liczbą $\boldsymbol{n_{nzre}}$ niezrealizowanych zadań cząstkowych.

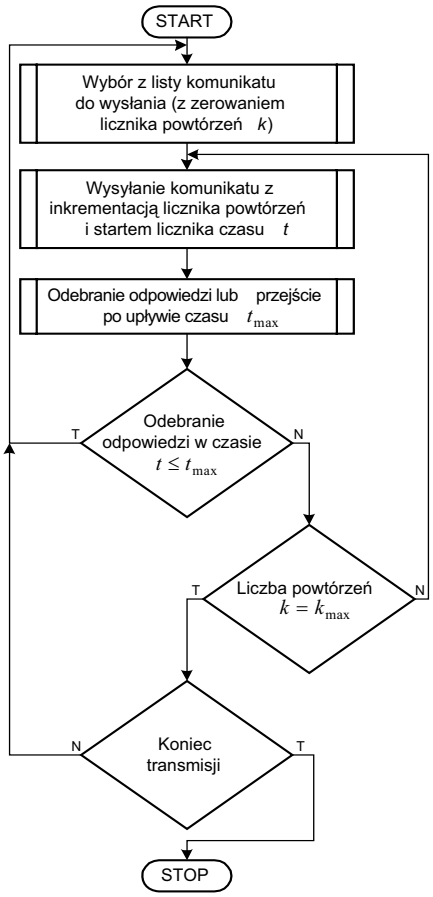
Kryterium (8) oznacza, że dysponowany potencjał użytkowy nie może być mniejszy od sumy wymaganego potencjału użytkowego i nadmiaru potencjału użytkowego.

W przypadku błędnego przesłania w czasie podstawowej sesji części zadań cząstkowych (komunikatów) powinny następować dodatkowe, powtórkowe sesje, zawierające brakujące komunikaty (efekty cząstkowe), aż do wykonania wszystkich zadań cząstkowych. Wydłuża to czas zrealizowania zadania. Zatem powtarzanie sesji jest dopuszczalne tylko wtedy, gdy istnieje nadmiar czasowy wykonania zdania globalnego [9].

4. PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA REZERWY CZASOWEJ

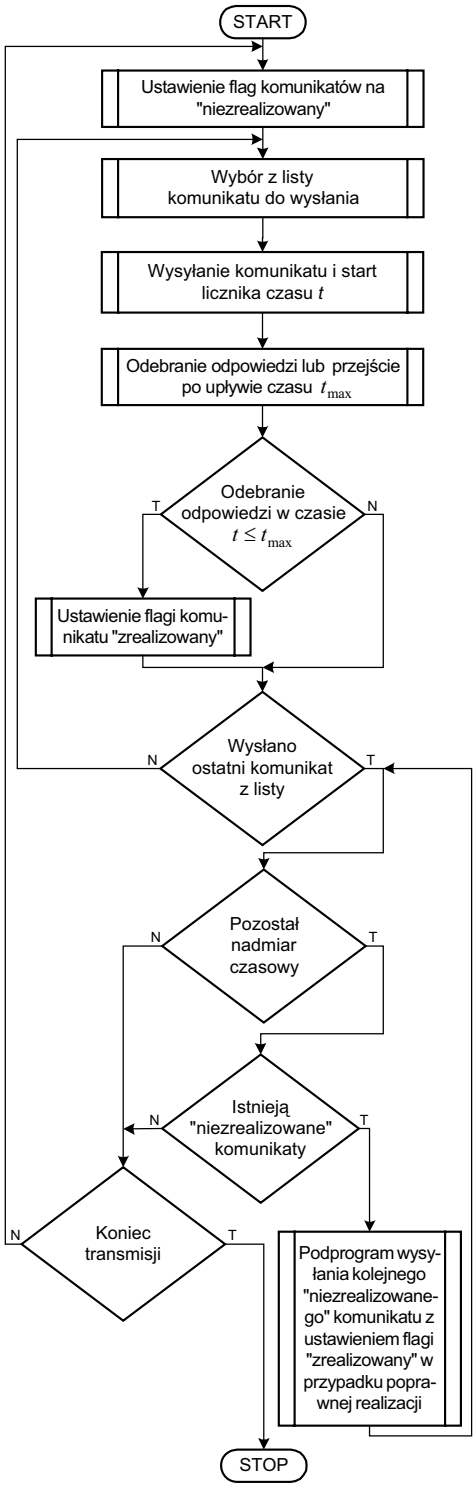
Standardowe działanie driver'a komunikacyjnego komputera nadrzędnego jest podobne do przedstawionego na rys. 4 (Modbus). Polega ono na cyklicznym wysyłaniu komunikatów i oczekiwaniu na odpowiedź od urządzenia podrzędnego. W razie niezdatności spowodowanej brakiem odpowiedzi (w założonym czasie t_{max}) lub błędem, transmisja jest powtarzana. Stosowany jest tu parametr krotności powtórzeń - k_{max}. Repetycja (w najgorszym przypadku kilkakrotna) wysyłania komunikatu, powinna doprowadzić do uzyskania poprawnej odpowiedzi. Konsekwencją „uporczywego" dopytywania się o wartość zmiennej jest, z drugiej strony, opóźnienie w dostarczeniu następnych, pozostałych wiadomości z wcześniej ustalonej listy.

Modyfikacją funkcjonowania aplikacji komputera nadrzędnego wykorzystującą nadmiar czasu do przesłania *komunikatów-pytań*, na które nie uzyskano odpowiedzi podczas pierwotnej sesji wysyłania, jest algorytm przedstawiony na rys. 5 (dla uproszczenia schematu przedstawiono przypadek wysyłania komunikatów z jednym cyklem).



Rys. 4. Schemat algorytmu standardowego wysyłania komunikatów przez komputer nadrzędny

Realizacja zmodyfikowanego procesu wysyłania komunikatów nie podlega kryteriom krotności i natychmiastowych powtórek. Podczas kolejnych sesji „odpytywania" flaga poprawnie zrealizowanych zadań cząstkowych (komunikatów z poprawną odpowiedzią) jest ustawiana na „zrealizowany". Błędnie wykonane zadania cząstkowe pozostają w stanie „niezrealizowane". Po zakończeniu każdej sesji sprawdzany jest warunek istnienia nadmiaru czasu, który pozostał do następnej sesji. Jeśli rezerwa czasu istnieje, wykonywane są kolejne próby wysyłania (selektywnej retransmisji [3]) niezrealizowanych komunikatów, do chwili poprawnej realizacji całego zadania globalnego [4]. Zakończenie dodatkowych repetycji następuje także z chwilą wyczerpania dostępnego czasu.



Rys. 5. Propozycja schematu algorytmu wykorzystania nadmiaru czasu do powtórnego wysyłania komunikatów

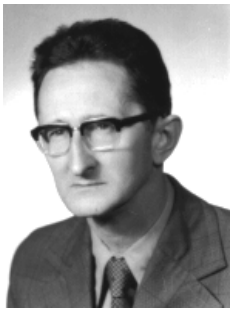
5. PODSUMOWANIE

W referacie przedstawiono wstępną charakterystykę układu komunikacji jako obiektu wielozadaniowego sekwencyjnego, jednotorowego o średniozmiennych procesach destrukcyjnych. Rozwinięciem przedstawionego ujęcia układu

komunikacji oraz procesu wnioskowania eksploatacyjnego na podstawie potencjałowego, przedziałowego kryterium zdatności, może być propozycja wskaźników potencjałowych: potencjału destrukcyjnego i potencjału przeciwdestrukcyjnego np. w postaci wartości oczekiwanych liczb niezrealizowanych i zrealizowanych – w kolejnych próbach (sesjach) – zadań. Realizacja cząstkowych zadań nadmiarowych (niezrealizowanych wcześniej) w przypadku braku nadmiaru strukturalnego (obiekt jednotorowy) może nastąpić dopiero w trakcie przeznaczonego do tego celu nadmiaru (rezerwy) czasu.

LITERATURA

[1] Dąbrowski T.: Diagnozowanie systemów antropotechnicznych w ujęciu potencjałowo-efektowym. Rozprawa habilitacyjna. WAT, Warszawa 2001.
[2] Będkowski L., Dąbrowski T.: Podstawy eksploatacji. Część I. Podstawy diagnostyki technicznej. WAT, Warszawa 2000, rozdział 3.
[3] Simmonds A.: Data Communications and Transmission Principles An Introduction. Macmillan Press LTD, 1997 (Wprowadzenie do transmisji danych, WKiŁ, Warszawa 1999), rozdział 7.
[4] Baran Z. (red.): Podstawy transmisji danych, WKiŁ, wyd. 1, Warszawa 1982, rozdział 10.
[5] Seidler J.: Nauka o informacji. Sygnały niosące informację i jej odtwarzanie. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, tom II, wyd. 1, Warszawa 1983.
[6] Bednarek M., Trybus L.: Sterownik modemu dla rozproszonego systemu sterowania. Materiały XIII KKA. Opole, 21÷24.09.1999, t.2, str. 67-72.
[7] Będkowski L., Dąbrowski T., Bednarek M.: Wpływ systemu dozorująco-terapeutycznego na właściwości układu komunikacji systemu wielofunkcyjnego. Materiały XXXII Ogólnopolskiego Sympozjum „Diagnostyka Maszyn", Węgierska Górka, 28.02÷05.03.2005.
[8] Bednarek M., Będkowski L., Dąbrowski T.: Procedury przeciwdestrukcyjne układu komunikacji w ujęciu wieloprocesowym. Materiały XXXII Ogólnopolskiego Sympozjum „Diagnostyka Maszyn". Węgierska Górka, 28.02÷5.03.2005.
[9] Będkowski L., Dąbrowski T.: Wskaźniki niezawodnościowe w aspekcie skuteczności procesu diagnozowania. Materiały XXXII Ogólnopolskiego Sympozjum „Diagnostyka Maszyn", Węgierska Górka, 28.02÷05.03.2005.
[10] Modicon Modbus Protocol Reference Guide. PI-MBUS-300 Rev. J, Modicon Inc., June 1996.
[11] Dokumentacja Wonderware Factory Suite



Prof. dr hab. inż. **Lesław Będkowski** jest absolwentem Wydziału Elektrycznego Szkoły Inżynierskiej w Szczecinie Od 1951 roku pracuje jako nauczyciel akademicki w Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Dorobek naukowy Profesora skupia się głównie wokół następujących problemów: teoria diagnostyki technicznej, optymalizacja procedur diagnostycznych, diagnostyka systemów antropotechnicznych, diagnostyka w ujęciu potencjałowo-efektowym, teoria użytkowania w ujęciu wieloprocesowym, wielopoziomowe systemy dozorująco-terapeutyczne, diagnostyka bezpieczeństwa. Dorobek ten wyraża się liczbą ok. 180 różnych publikacji.

Dr hab. inż. **Tadeusz Dąbrowski**, prof. WAT – absolwent Wydziału Elektroradiotechnicznego WAT. Obecnie pełni funkcję prodziekana ds. kształcenia w Wydziale Elektroniki WAT. Zainteresowania naukowe Tadeusza Dąbrowskiego koncentrują się w obszarze teorii eksploatacji – głównie na diagnostyce technicznej. Do ważniejszych zagadnień, którymi się zajmuje należą: diagnostyka systemów antropotechnicznych; optymalizacja procesów diagnostyczno-obsługowych; komputerowe wspomaganie procesu diagnostyczno-obsługowego; diagnozowanie obiektów technicznych. Jego dorobek naukowy obejmuje m. in. ponad 100 artykułów i referatów, 8 skryptów akademickich, ok. 30 opracowań naukowo-badawczych nie publikowanych.

Mgr inż. **Marcin Bednarek** jest absolwentem Wydziału Elektrycznego Politechniki Rzeszowskiej. W 1995 roku uzyskał dyplom magistra inżyniera z wyróżnieniem. Pracuje na stanowisku asystenta w Katedrze Informatyki i Automatyki Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Głównym obszarem jego zainteresowań jest diagnostyka systemów, komunikacja w sieciach komputerowych oraz wizualizacja procesów.

DIAGNOZOWANIE AGREGATÓW TYPU MASZYNA ELEKTRYCZNA – PRZEKŁADNIA – PĘDNIK

Piotr BIELAWSKI, Tomasz BURNOS

Akademia Morska w Szczecinie, Instytut Nauk Podstawowych Technicznych
ul. Podgórna 51/53, 70-205 Szczecin, e-mail: pbielaws@am.szczecin.pl, tomaszburnos@wp.pl

Streszczenie

Przedstawiono obecny obraz zastosowań agregatów typu maszyna elektryczna – przekładnia – pędnik oraz ich przewidywany obszar zastosowania w technice wodorowej. Poruszono problemy eksploatacyjne w zastosowaniach okrętowych, ze szczególnym uwzględnieniem silników elektrycznych, przekładni zębatych kątowych śrub nastawnych i uszczelnień wału śrubowego. Omówiono zagadnienie diagnozowalności agregatów i dokonano analizy symptomów diagnostycznych w stanach ustalonych oraz nieustalonych. Poruszono problem uwzględnienia rzeczywistego obciążenia, przedstawiono koncepcję realizacji eksperymentu biernego i przykładowe uzyskane wyniki.

Słowa kluczowe: układy napędowe, diagnozowanie maszyn wirnikowych, technika wodorowa

DIAGNOSIS OF MACHINE SETS CONSIST OF ELECTRIC MACHINE – GEAR – PROPELLER

Summary

The present applications of machine sets consist of electric machine – gear – propeller there are enumerated and forecast field of using them in hydrogen technology was made. Some marine exploitation problems are pointed, with special consideration to electric machines, gears, controlled pitch propellers and shaft seal. There is also pointed a problem of real machine load. The conception of making active and passive experimental researches is presented.

Keywords: propulsion systems, diagnosis of rotation machines, hydrogen technology

1. WSTĘP

Obawa przed wyczerpaniem paliw kopalnianych, strach przed energią atomową oraz obawa przed efektem cieplarnianym powoduje poszukiwanie odpowiednio zasobnych źródeł energii takiej, której wykorzystywanie jest bezpieczne i nie wiąże się z emisją CO_2. Dotyczy to głównie transportu, w szczególności żeglugi (ze względu na bardzo duże ilości zużywanego paliwa) gdzie konieczny jest transport paliwa wraz z pojazdem. Wprowadzanie nowego rodzaju paliwa zdeterminowanego źródłem energii pociąga za sobą zmianę konstrukcji okrętowych systemów napędowych i budowę odpowiedniej infrastruktury paliwowej. Należy spodziewać się zatem wzrostu cen paliw i wzrostu kosztów eksploatacji, głównie kosztów wykonywania zadań transportowych. Istotne znaczenie będą nadal miały koszty obsługiwania. Ponieważ koszty obsługiwania dają się optymalizować konieczne jest jak najwcześniejsze pozyskanie potrzebnych do tego celu informacji. Niektóre z nich można uzyskać dopiero po pewnym czasie eksploatacji danego systemu napędowego. Celem optymalizacji kosztów obsługiwania przyszłych systemów napędowych konieczna jest:

- analiza źródeł energii i analiza paliw i ich ocena do wykorzystania w żegludze,
- przygotowanie scenariuszy przyszłych systemów napędowych,
- podjęcie badań na maszynach podobnych do tych jakie będą stosowane w przyszłych systemach napędowych,
- budowa systemów obsługiwania przydatnych do obsługiwania obecnych jak i przyszłych okrętowych systemów napędowych.

2. PALIWA DLA TANSPORTU MORSKIEGO

Paliwa dla transportu zwane również nośnikami energii zaliczane są do energii wtórnej. Energia ta powstaje przez przetworzenie z dużym nakładem energii tzw. energii pierwotnej. Źródłami energii pierwotnej są naturalne nośniki energii (paliwa kopalniane) i odnawialne źródła energii.

Kopalniane paliwa w formie ciekłej lub gazowej (istniejące rezerwy ropy i gazu) może wystarczą jeszcze na 40 lat [6].

Celem zwiększenia rezerw sięga się między innymi po paliwa kopalniane położone pod dnem morza, poprawia stopień wykorzystania źródła. Przewiduje się, że wydobywanie ropy i gazu z dna przybrzeży mórz nabierze w przyszłości dużego znaczenia.

Za odnawialne źródła uważa się biomasę (paliwa roślinne), energię słoneczną, energię wiatrową i energię wód rzek i oceanów.

Z biomasy wytwarzać można bezpośrednio lub w drodze syntezy paliwa stałe, ciekłe i gazowe. W tego rodzaju paliwach dwutlenek węgla jest neutralny – tyle dwutlenku się wytwarza przy spalaniu ile jest wyłapywane przez rośliny wchodzące później w skład biomasy [6].

Przykładowo paliwo z biomasy „Bio-Diesel" dostępne jest już na niektórych stacjach benzynowych w Niemczech podobnie jak gaz. Paliwa syntetyczne powstają w procesie odgazowania biomasy. Jako biomasę wykorzystuje się tutaj nie tylko nasiona, tak jak w paliwach z rzepaku, ale całe rośliny. Paliwa syntetyczne składają się z C, H, O. Nie zawierają w odróżnieniu od paliw kopalnianych siarki i aromatycznych węglowodorów. Przykładowo paliwo „Öko-Diesel" po spaleniu daje 50% mniej sadzy i 15% mniej tlenku azotu [6].

Z pozostałych odnawialnych źródeł energii można wytwarzać energię elektryczną. Energię elektryczną można zamienić w energię paliw ciekłych lub gazowych. Do tego celu najlepszym pod względem ochrony środowiska nośnikiem energii jest wodór; produktem spalania jest jedynie para wodna.

Obecnie w żegludze jako jednostki napędowe stosuje się prawie wyłącznie silniki Diesla spalające oleje napędowe i resztkowe.

Zasadniczo silniki Diesla mogą być zasilane innymi płynnymi i gazowymi paliwami. Wypróbowano już (Kohlen-Slurry) zawiesinę węglową, LNG (Liquified Natural Gas) oraz wodór [6].

Biopaliwa najczęściej nie wykazują samozapłonu. Konieczny jest zapłon pomocniczy. Należy oczekiwać powstania i realizacji obiegu termodynamicznego pośredniego między obiegiem Otto i Diesla. Należy oczekiwać powstania koncepcji nowego paliwa dla takiego silnika [6].

Ograniczyć emisję gazów bez stosowania katalizatorów spalając dowolne paliwo można wykorzystując przełomowy rozwój stacjonarnych palników umożliwiających spalanie prawie wolne od szkodliwych substancji. Spalanie i reakcje termiczne realizowane są w porowatym prostopadłościennym palniku. Rozwiązaniem dla transportu jest zatem także tłokowy silnik parowy wyposażony w zamknięty układ parowy ze spalaniem zewnętrznym [5].

Wodór pozyskiwany jest zawsze przy dużym nakładzie energii z innych materiałów. W chwili obecnej jest to bardzo drogie. Wodór może być w idealny sposób zastosowany jako paliwo w ogniwach paliwowych (wodorowych). Takie ogniwa jak dotąd mają niewystarczająco małą moc. Zamiana energii zawartej w wodorze w energię elektryczną w ogniwach następuje jednak z bardzo dużą sprawnością, bez hałasu i drgań, co czyni ten proces szczególnie atrakcyjnym w pojazdach podwodnych (łodziach podwodnych); potrzebny do procesu tlen może być dostarczany bezpośrednio w formie ciekłej [6, 9]

Przewiduje się, że w żegludze w zbliżających się dziesięcioleciach podstawową jednostką napędową pozostanie silnik Diesla. Rodzaj zastosowanego paliwa będzie wpływał jedynie na systemy przygotowania paliwa (np. podgrzania i czyszczenia). Silnik przyszłości będzie silnikiem co najmniej dwupaliwowym (patrz również HANSA 4/2003, S. 38). W przyszłości za 30 – 50 lat paliwem może być wodór przy prawie nie zmienionych systemach napędowych (silnikach i innych maszynach napędowych). Do tego czasu (jako okres przejściowy) stosowane będą paliwa kopalniane i biopaliwa [6].

W dalszej przyszłości możliwe są dwa główne systemy napędowe:

1) paliwo + silnik cieplny + konwencjonalny system napędowy,
2) wodór + ogniwo paliwowe + napęd elektryczny. Możliwe są trzy wersje: napędy POD (gondolowe), napędy typu ster strumieniowy, napęd klasyczny z silnikiem elektrycznym.

Niezależnie od rodzaju paliwa najważniejszymi maszynami okrętowych systemów napędowych będą pędniki, wały i uszczelnienia wałów, sprzęgła przekładnie. Silniki elektryczne zwiększą swój udział a silniki spalinowe zachowają znaczącą pozycję przez następne dziesięciolecia.

3. WIELKOŚCI WPŁYWAJĄCE NA OBSŁUGIWANIE I KONCEPCJA MOGĄCA SIĘ PRZYCZYNIĆ DO OPTYMALIZACJI OBSŁUGIWANIA

Prawie codziennie dochodzi do wypadków z udziałem obiektów pływających, z czego wiele skutkuje uszkodzeniami ciała i utratą życia. Według statystyk ponad 60% wypadków to wypadki z udziałem systemów napędowych: silnik – pędnik – ster. Uszkodzenie jednego z wymienionych elementów na statku jednomotorowym powoduje utratę manewrowości statku i stanowi zagrożenie dla innych i dla środowiska [7]. Przeciwdziałania to z jednej strony podwyższanie niezawodności i polepszanie naprawialności z drugiej.

Podwyższanie niezawodności możliwe jest poprzez:

– podwyższanie jakości;
– redundancję: dodatkowe systemy manewrowe, napędy awaryjne;
– diagnozowanie.

Podwyższanie naprawialności możliwe jest poprzez:

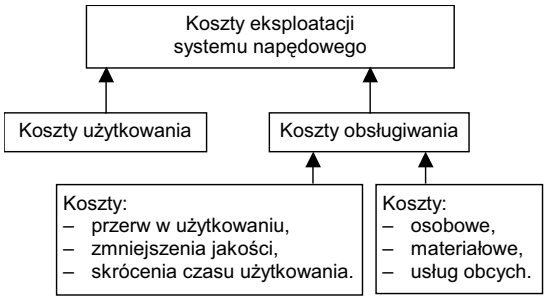
– lepsze technologie montażu,
– lepsze technologie napraw elementów,
– uwzględnienie napraw w konstrukcji maszyny.

Skutki uszkodzeń można w większości przypadków sprowadzić do wymiaru finansowego – kosztów. Rysunek 1 stanowi zestawienie kosztów eksploatacji systemu napędowego ze szczególnym uwzględnieniem kosztów obsługiwana. Koszty

przerw w użytkowaniu w przypadku statku obejmują głównie:

– kary wynikające z umów frachtowych,
– kary za przesunięcie usług portowych.

Skrócenie czasu użytkowania to tzw. stracone czynne dni jednostki.

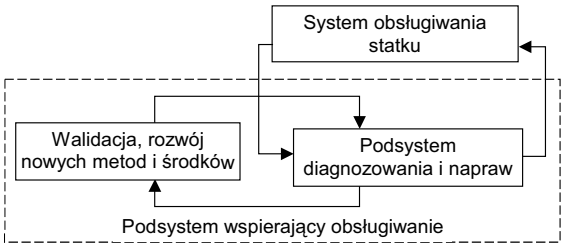


Rys. 1. Zestawienie składowych kosztów eksploatacji systemu napędowego

W wielu przypadkach działaniami składającymi się na optymalne obsługiwanie może być wprowadzanie diagnozowania i następujące rodzaje odnowy elementów:

– zamiast wymiany na nowy – naprawa lub wymiana na naprawiony lub regenerowany element,
– zamiast naprawy lub regeneracji w serwisie producenta daleko od miejsca eksploatacji – naprawa/regeneracja w regionie,
– zamiast wymiany na nowy/naprawiony/regenerowany szybka naprawa (krótki czas naprawy) podczas remontu (w czasie między demontażem i montażem).

W przypadku floty liniowej i regionalnej diagnozowanie i naprawy mogą być realizowane przez zewnętrzny podsystem wspierający obsługiwanie (rys. 2). Łączenie diagnozowania i napraw w jednym podsystemie ma szereg zalet. Możliwe lub łatwiejsze jest porównanie diagnozy ze stanem rzeczywistym, dokładne określenie wartości wielkości opisujących stan techniczny przed rozpoczęciem eksploatacji oraz przed i po naprawie [1, 2].



Rys. 2. Podsystem wspierający obsługiwanie statku

4. NAPĘDY ELEKTRYCZNE

Główną zaletą napędów elektrycznych jest rozdzielenie jednostek napędowych (silników, turbin spalinowych) od pędników i wyeliminowanie łączących je „linii wałów". Statek może mieć wtedy więcej pędników, między innymi zwiększających jego manewrowość, usytuowanych w miejscach niezależnych od usytuowania jednostek napędowych. Nadanie pędnikom możliwości zmiany położenia osi względem osi statku pozwala na przejęcie przez nie roli steru.

Jednak pomimo rosnącej liczby tych systemów ich obsługiwanie należy uznać za dalekie od optymalnego. Główną przyczyną jest to, że większość z nich są to pojedyncze egzemplarze nierzadko prototypowe.

Przykładem może być najnowocześniejszy i największy statek pasażerski świata Queen Merry 2. Już podczas pierwszej podróży komercyjnej uległ uszkodzeniu jeden z dwóch pędników azymutalnych. Nieplanowane wyłączenia z eksploatacji z powodu uszkodzeń tych urządzeń powtarzają się w dalszym ciągu, pomimo zastosowania najlepszych znanych systemów wspierania obsługiwania [8].

Każde wyłączenie statku z eksploatacji z powodu uszkodzenia takiego napędu pociąga za sobą straty finansowe. W przypadku niektórych jednostek koszty te przekraczają 100 000 $ dziennie (Hapaq-Loyd).

Najbardziej popularnymi spośród obecnie stosowanych napędów elektrycznych są stery strumieniowe, pełniące rolę napędów pomocniczych. Realizowaną na nich strategię obsługiwania można określić jako obsługiwanie według stanu ustalonego podczas przeglądów. Okres między kolejnymi przeglądami wynika z przepisów towarzystw klasyfikacyjnych i wynosi 5 lat. Statystyki uszkodzeń wskazują na konieczność wprowadzenia strategii z diagnozowaniem stanu. Według statystyk najczęściej uszkodzeniom ulegają uszczelnienia wałów (ok. 30%), nieco rzadziej łożyska przekładni (26 – 28%), układy sterowania śrubą nastawną (15 – 20%), koła zębate przekładni (10 – 15%), wały (8 – 10%), inne (1 – 2%). Dane statystyczne nie są jednoznaczne ze względu na brak rzetelnych informacji ze strony producentów.

Analizując budowę tego typu napędów oraz ich charakter pracy można wyszczególnić problemy i ograniczenia występujące przy ich diagnozowaniu, uniemożliwiające zastosowanie tradycyjnych metod stosowanych w podobnych rozwiązaniach lądowych, są to:

– duża moc, sięgająca 2 MW,
– skupienie kilku urządzeń na małej powierzchni,
– sztywne połączenia pomiędzy urządzeniami, (elementy kadłuba)
– wspólne źródło zasilania,
– krótki okres pracy (podczas manewrów),
– duża zmienność obciążeń,
– praca na granicy dwóch ośrodków woda-wnętrze kadłuba,
– brak dostępu od wnętrza statku,
– brak możliwości ingerencji w maszyny wchodzące w skład napędu bez zgody nadzorującego towarzystwa klasyfikacyjnego.

Zmusza to do poszukiwań metody lub zbioru metod diagnostycznych umożliwiających wykrycie zmian stanu napędu z uwzględnieniem wymienionych ograniczeń. Założenia, jakie powinien spełniać system bazujący na tych metodach można sformułować następująco:

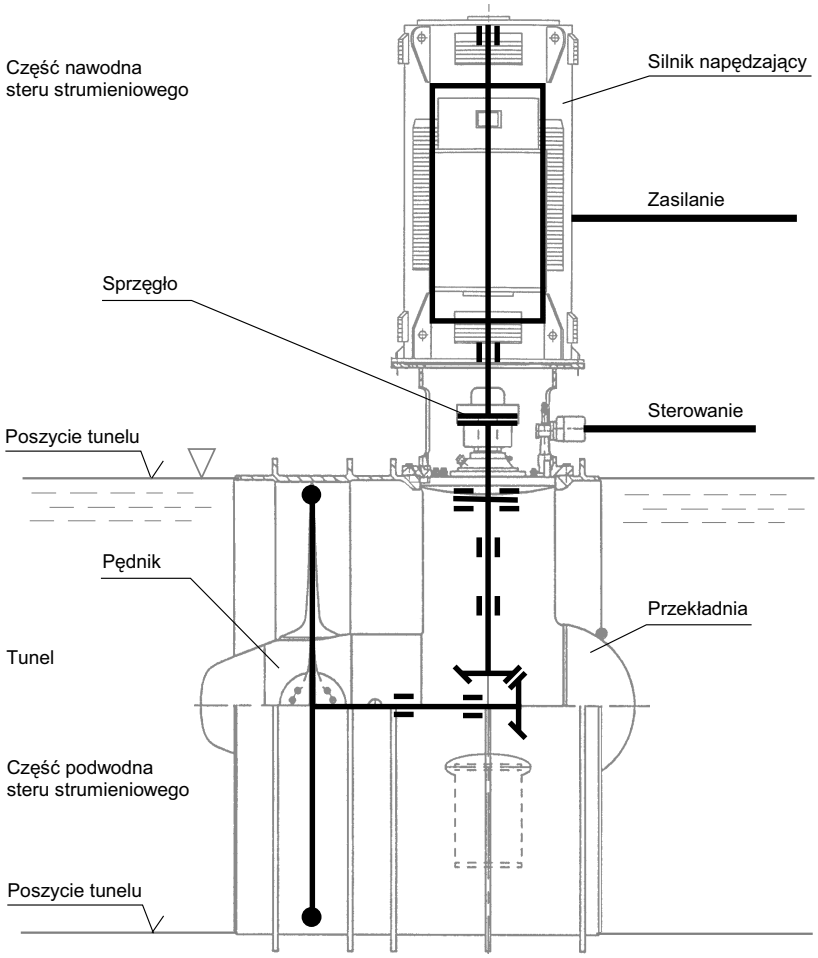
- pomiary powinny zbyć wykonywane bez ingerencji w poszczególne elementy steru strumieniowego;
- punkty pomiarowe powinny być wyznaczone na podstawie analizy budowy napędu i powinny być wykazane związki przyczynowo-skutkowe;
- należy wykorzystać możliwie jak największą liczbę rodzajów sygnałów diagnostycznych, w celu podniesienia trafności diagnozy;
- należy poszukiwać nowych metod analizy sygnałów w celu dokładniejszego określenia odpowiedzi na wymuszenia, zwłaszcza wymuszenia przejściowe;
- nowe metody powinny uwzględniać obciążenie chwilowe.

5. DIAGNOZOWANIE STERÓW STRUMIENIOWYCH

Ster strumieniowy składa się z maszyny napędzającej, którą w większości wypadków stanowi silnik elektryczny, połączonej sprzęgłem z zębatą przekładnią kątową, która napędza pędnik w postaci śruby najczęściej o nastawnym skoku. Schemat steru strumieniowego przedstawiono na rysunku 3.

Rozpatrując możliwości diagnozowania sterów strumieniowych przeanalizowano dostępne i rozwijane metody diagnostyczne. Potencjalnymi metodami są metody bazujące na:

- sygnałach drgań korpusu,
- cząsteczkach – produktach zużycia zawieszonych w oleju,
- sygnale nierównomierności prędkości obrotowej,
- sygnale emisji akustycznej,
- sygnale mocy pobieranej przez napęd,
- sygnale zmian natężenia przepływu przez kanały,
- sygnale zmian temperatury.

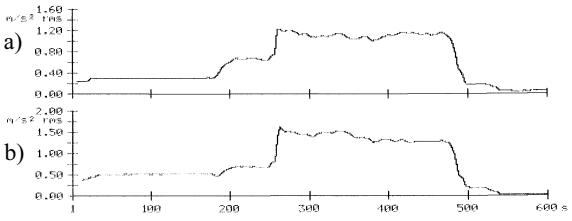


Rys. 3. Schemat steru strumieniowego

Metody bazujące na wymienionych sygnałach, poza wyjątkami, są najczęściej opracowane dla konkretnych obiektów.

Rozpatrując możliwość wykorzystania sygnału drganiowego to jego niewątpliwą zaletą jest duża ilość opracowań na temat jego zastosowań wynika-

jąca z popularności metod drganiowych, oraz duża dostępność systemów pomiarowych i systemów analizy drgań. W odniesieniu do sterów strumieniowych podstawowym problemem jest dostęp do poszczególnych elementów, na których powinny być zamontowane przetworniki zgodnie ze znanymi zaleceniami przy pomiarach drgań. Kolejnym utrudnieniem jest słabo tłumione przenoszenie drgań poprzez sztywne elementy kadłuba statku z innych urządzeń (rys. 4). Ograniczenia wynikają również z krótkiego czasu pracy, w ciągu którego parametry pracy praktycznie nie ulegają ustaleniu, a obciążenie zmienia się wielokrotnie (rys. 5).

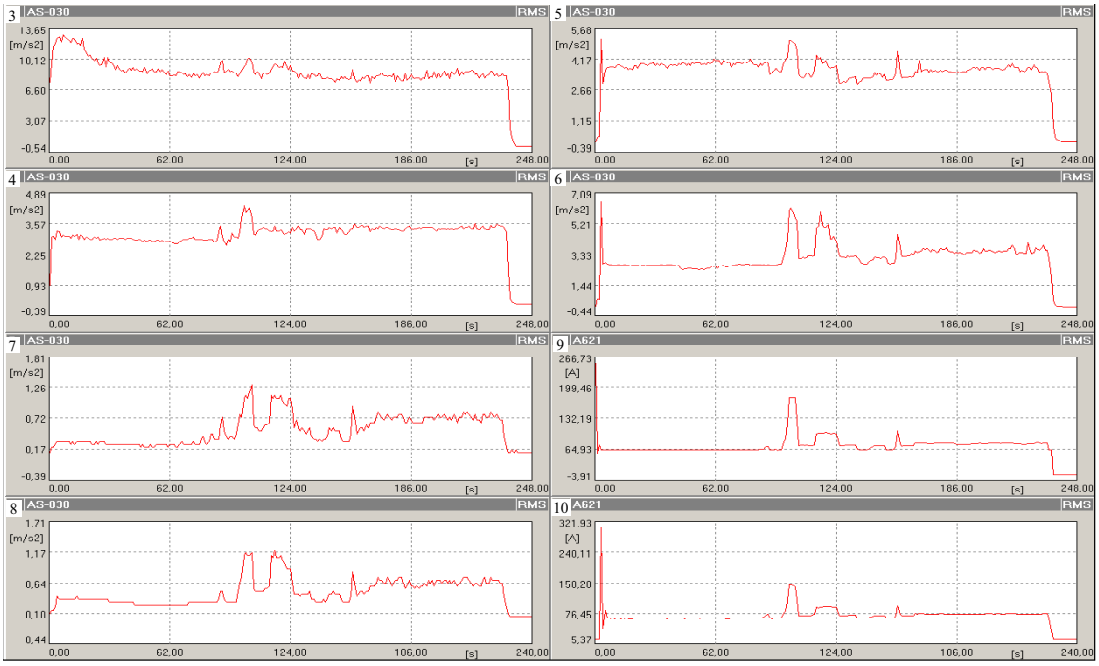


Rys. 4. Drgania rejestrowane na wyłączonym sterze strumieniowym: a) łożysko silnika elektrycznego od strony przekładni, b) łożysko silnika elektrycznego od wolnego końca

Podobną analizę można przeprowadzić dla pozostałych wymienionych sygnałów, jednak we wszystkich wypadkach można wyciągnąć wniosek, że ich wykorzystanie jest możliwe, ale wymaga specjalnego przystosowania. W niektórych przypadkach zastosowanie poszczególnych typów sygnałów wymaga stworzenia prawie od podstaw metodyki pomiarów i analizy sygnałów. Jest tak na przykład w przypadku przebiegu przyspieszeń kątowych.

Dla sygnałów przyspieszeń drgań, emisji akustycznej oraz natężenia prądu pobieranego przez silnik opracowano koncepcje torów pomiarowych, metod analizy oraz wnioskowania. W odniesieniu do sygnału drganiowego zorientowanego na uszkodzenia przekładni i pędnika koncepcja zakłada pomiar na elementach korpusu dostępnych bez demontażu przekładni. Miejsca zamontowania przetworników nie w pełni odpowiadają tym wyznaczonym na podstawie analizy konstrukcji urządzenia, tj. w miejscach wykazujących związki dynamiczne z miejscami generowania drgań. W przyszłości planuje się zamontowanie na stałe przetworników na diagnozowanych elementach, czyli na łożyskach przekładni. Pozwoli to na uzyskanie pełniejszych informacji o stanie wałów i kół zębatych przekładni.

Pomiar drgań na tak specyficznych obiektach jak stery strumieniowe wymaga również stworzenia nowych systemów pomiaru drgań, jednak istnieje możliwość wykorzystania niektórych elementów istniejących systemów, na przykład przetworników drgań. Problem dużej zmienności obciążeń oraz brak ustabilizowanych warunków pracy można rozwiązać poprzez uwzględnienie obciążenia chwilowego. Aby spełnić to założenie należy opracować system pozyskiwania informacji o obciążeniu chwilowym. Można w tym celu wykorzystać pomiar mocy



Rys. 5. Sygnały mierzone na elementach steru strumieniowego: 3 – przyspieszenia drgań górnego łożyska silnika, 4 – przyspieszenia drgań dolnego łożyska silnika, 5 – przyspieszenia drgań obudowy przekładni w pionie, 6 – przyspieszenia drgań obudowy przekładni w poziomie, 7 – przyspieszenia drgań obudowy przekładni w poziomie, 8 – przyspieszenia drgań tunelu, 9 – natężenie prądu pobieranego przez silnik – I faza, 10 – natężenie prądu pobieranego przez silnik – III faza

elektrycznej, lub wskaźnik obciążenia opracowany na podstawie innych sygnałów, mogą to być sygnały emisji akustycznej [4], sygnał zmian natężenia prądu [3], przebieg momentu skręcającego [3] lub również sygnał drganiowy (w przygotowaniu). Tak pozyskane sygnały drganiowe oraz wskaźniki obciążenia muszą zostać odpowiednio przetworzone w celu uzyskania informacji użytecznych diagnostycznie. Obecna mnogość istniejących i rozwijanych metod analizy sygnałów daje tu duże możliwości. Należy opracować taką metodę analizy, która pozwoli wyznaczyć prostą lub złożoną miarę sygnału drganiowego, która będzie niezależna od obciążenia lub będzie je uwzględniała. Zastosowanie mogą tu znaleźć zaawansowane czasowo – częstotliwościowe metody analizy sygnału nie stosowane dotychczas w diagnozowaniu sterów strumieniowych [4]. Sama analiza na podstawie stworzonych miar musi opierać się na modelach opisujących związki pomiędzy uszkodzeniami poszczególnych elementów a zmianą danej miary. Takie modele oraz bazujące na nich algorytmy wnioskowania dla poszczególnych elementów i układów steru strumieniowego mogą zostać wyznaczone na podstawie analizy uzyskanych wyników pomiarów, analizy konstrukcji oraz znanych modeli. Jeden z opracowanych modeli został przedstawiony w [4]. Opisuje on zależność pomiędzy oddziaływaniem pędnika w tunelu steru strumieniowego, a sygnałem emisji akustycznej mierzonej na poszyciu tunelu. Sygnał zarejestrowany na ścianie tunelu został poddany analizie falkowej, co umożliwiło wydzielenie z niego składowych przejściowych odpowiadających oddziaływaniu poszczególnych płatów śruby. Wielkość oddziaływania według teorii pracy śruby jest zależna również od stanu poszczególnych płatów. Podjęta zostanie próba wykorzystania tego modelu do diagnozowania stanu technicznego płatów śruby.

Celem uzyskania odpowiednich danych planuje się kontynuację eksperymentu biernego, polegającego na okresowych pomiarach wspomnianych sygnałów na czterech sterach strumieniowych promu „Polonia", konstruowaniu trendu czasowego, wyselekcjonowanych miar i określaniu stanu sterów strumieniowych podczas ich przeglądów i remontów.

6. PODSUMOWANIE

Na przykładzie sterów strumieniowych wskazano na możliwości i problemy występujące przy diagnozowaniu maszyn, które już w niedalekiej przyszłości stanowić będą jeden z głównych układów napędowych. O ile mnogość metod i środków diagnozowania istniejących podobnych maszyn lądowych pozwala przypuszczać, że jest to zadanie w dużej części zrealizowane, to konfrontacja ich z rzeczywistymi obiektami pokazuje, że wymagają one modyfikacji oraz konieczne jest tworzenie nowych metod. Jednym z największych utrudnień w procesie diagnozowania tych urządzeń jest brak dostępu i praca w warunkach zmiennego obciążenia. Wymaga to uwzględnienia każdorazowo chwilowego obciążenia maszyny lub stworzenia metody diagnozowania, której wynik w postaci diagnozy byłby niezależny od obciążenia.

LITERATURA

[1] Bielawski P.: Diagnostyka procesów zmęczeniowych łożysk ślizgowych i wałów korbowych tłokowych maszyn okrętowych. Przegląd Mechaniczny, nr 4, 2003, s. 32 – 36.
[2] Bielawski P.: Identification in service & maintenance of marine generators. Jahrbuch der Schiffbautechnische Gesellschaft e.V., 2004 i Kurzreferat in „Schiffen und Haffen" 6/2004, S. 93.
[3] Burnos T.: Wykorzystanie sygnałów prądowych w diagnozowaniu sterów strumieniowych. XXXII Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka, marzec 2005.
[4] Burnos T.: Zastosowanie sygnałów emisji akustycznej w diagnozowaniu sterów strumieniowych. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, nr 5(77), Szczecin 2005, s. 155 – 166.
[5] Buschman u.a.: Der Dampfmotor – Entwicklungsstand und Marktchancen. MTZ 62(2001)5 S. 374 – 384.
[6] Energie für eine saubere Zukunft. HANSA 140.Jg-2003-Nr. 8, S. 26 – 30.
[7] Gragen U.: Sicherheit durch Manövrierfähigkeit. Hansa Nr. 9/2004 s. 156 – 157.
[8] MotorShip 05/2004, s. 28.
[9] Zukunft aus der Zelle. FTEinfo Nr.42 August 2004, Brussels, S. 7 – 11.

Dr hab. inż. Piotr Bielawski – profesor nadzw. AM jest kierownikiem Zakładu Diagnostyki i Remontów Maszyn Okrętowych Akademii Morskiej w Szczecinie.

Specjalista w dziedzinie nauk technicznych. Tematyka prac naukowych obejmuje metody i sposoby kontroli jakości elementów maszyn, montaż i sprawdzanie jakości montażu maszyn, diagnostykę montażową i obsługową maszyn okrętowych, obsługiwanie maszyn okrętowych.

Mgr inż. Tomasz Burnos jest asystentem w Zakładzie Diagnostyki i Remontów Maszyn Okrętowych Akademii Morskiej w Szczecinie.

Zajmuje się problemami obsługiwania maszyn okrętowych, w szczególności diagnozowaniem napędów elektrycznych.

DIAGNOSTYKA STANU TECHNICZNEGO AMORTYZATORA ZABUDOWANEGO W POJEŹDZIE SAMOCHODOWYM Z WYKORZYSTANIEM STFT

Janusz GARDULSKI, Łukasz KONIECZNY, Rafał BURDZIK

Katedra Budowy Pojazdów Samochodowych, Wydział Transportu, Politechnika Śląska
40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8, fax./tel. 6034109 gardulski@polsl.katowice.pl

Streszczenie

Referat przedstawia możliwości wykorzystania krótkoczasowej transformaty Fouriera (STFT) w diagnozowaniu stanu technicznego amortyzatora zabudowanego w samochodzie. Badania obejmowały usterki amortyzatora samochodu Skoda Fabia w postaci ubytku płynu amortyzatorowego oraz w postaci ubytku uszczelnienia tłoczka. Rejestrowanymi parametrami były przyspieszenia drgań mas: nieresorowanej i resorowanej pobudzanych do drgań wymuszeniem harmonicznym.

Słowa kluczowe: amortyzatory, diagnostyka

THE DIAGNOSTICS SHOCK ABSORBERS BUILT IN CAR WHIT STFT USED

Summary

The papers presents possibility used Short Time Fourier Transform (STFT) in diagnostics shock-absorber built in passenger car. Research range shock absorber built in Skoda Fabia passenger car with programmed fault form as loss throng seal and as loss shock absorber fluid. Record was accelerations of chosen parts of vibration signals.

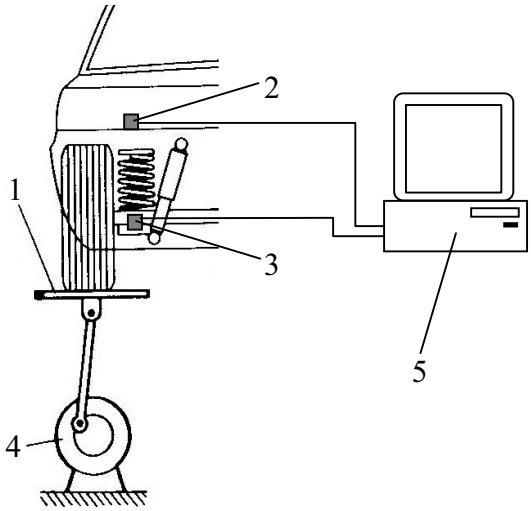
Keywords: shock-absorbers, diagnostics

1. WSTĘP

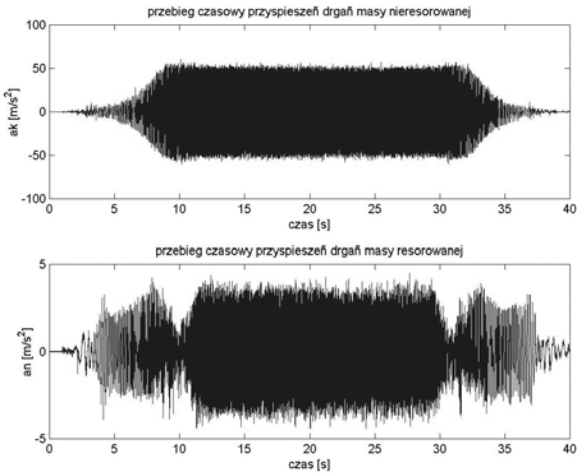
Diagnozowanie stanu technicznego amortyzatorów zabudowanych w zawieszeniach samochodowych jest zagadnieniem trudnym ze względu złożoność układu zawieszenia zawierającego elementy sprężyste i tłumiące o nieliniowych charakterystykach. Powszechnie stosowane metody badań stanu amortyzatorów metodami drgań wymuszonych umożliwiają klasyfikację stan technicznego amortyzatora, nie dostarczając informacji o rodzaju jego uszkodzenia.

2. METODA BADAŃ

Badania amortyzatorów zabudowanych w pojeździe przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym wyposażonym w wzbudnik drgań o ciągłej regulacji częstotliwości wymuszenia w zakresie 0÷30 [Hz]. Pomiar obejmował rozpędzanie, prace ze stałą częstotliwością wymuszenia oraz wygaszanie drgań. Rejestrowanymi parametrami były pionowe przyspieszenia drgań mas: resorowanej oraz nieresorowanej. Pojemnościowe czujniki przyspieszeń mocowane były w punkcie górnego mocowania amortyzatora oraz na wahaczu poprzecznym (rys1).



Rys.1. Schemat stanowiska badawczego.
1 – płyta najazdowa, 2 – czujnik przyspieszeń drgań nadwozia, 3 – czujnik przyspieszeń drgań koła, 4 – silnik elektryczny, 5 – układ rejestrujący (komputer klasy PC)



Rys.2. Przebiegi czasowe drgań mas: nieresorowanej i resorowanej

Sygnały z przetworników po zdyskretyzowaniu poddano dalszej obróbce wykorzystując środowisko obliczeniowe Matlab. Określano przyspieszenia względne obudowy i tłoczyska amortyzatora, jako różnice przyśpieszeń nadwozia i koła. Uzyskane w ten sposób sygnały różnicowe poddane zostały krótkoczasowej transformacie Fouriera.

Obiektem badań był samochód marki Skoda Fabia. W zawieszeniu tego samochodu zmieniano amortyzatory z zaprogramowanymi usterkami. Jedną z tych usterek był kontrolowany wyciek oleju określany jako zawartość procentowa płynu względem wartości nominalnej (co 10% w zakresie od 100% do 60%). Drugą usterką był ubytek uszczelnienia tłoczka amortyzatora (przyjmujący wartości 2%, 4% oraz 6 % ubytku na obwodzie uszczelki tłoczka względem średnicy nominalnej). Przedstawione wyniki dotyczą badań amortyzatorów przednich w których zaprogramowano kombinacje wymienionych powyżej usterek.

2. METODA ANALIZY

Jedną z metod analizy sygnałów niestacjonarnych jest krótkoczasowa transformata Fouriera (STFT - Short Time Fourier Transform) której rezultatem jest trójwymiarowe odwzorowanie zachowania się procesu, przedstawiające amplitudę w funkcji czasu i częstotliwości.

W analizie sygnałów niestacjonarnych ma ona postać:

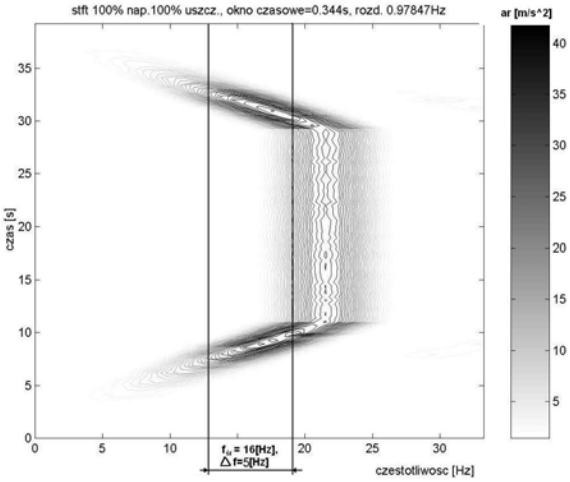
$$S(b,f)=\int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\cdot e^{-j2\pi ft}\cdot w(t-b)dt$$

W metodzie tej przeprowadza się analizę częstotliwościową kolejnych fragmentów analizowanego sygnału mnożonego przez funkcje okna o stałej szerokości: *w(t - b)=const*. Kolejne fragmenty analizowane są niezależnie, wiążąc składowe widma z czasem. Wadą tej metody jest stała szerokość okna lokalizującego. Ze względu na zależność pomiędzy szerokością okna a rozdzielczością częstotliwościową, przy zastosowaniu wąskiego okna czasowego, uzyskamy dobrą rozdzielczość czasową, jednak takie okno czasowe oznacza pogorszenie rozdzielczości częstotliwościowej. Tak więc dobór szerokości okna stanowi kompromis rozdzielczości w dziedzinach czasu i częstotliwości. Pewnym wyjściem umożliwiającym poprawę rozdzielczości częstotliwościowej w pojedynczej analizie FFT jest metoda uzupełniania zerami. Proces ten wymaga dodania do oryginalnego przebiegu próbek o zerowej wartości w celu zwiększenia całkowitej liczby próbek. Należy jednak rozważnie stosować to rozwiązanie, ponieważ obowiązuje przy nim prawo malejących zysków. Przy zastosowaniu okna prostokątnego występować będą przecieki widma. Zminimalizowanie ich uzyskuje się przez zastosowanie okien zmniejszających amplitudę (np. trójkątne, Hanninga, Hamminga itd.).

Zastosowanie tego typu okien pociąga za sobą stratę mocy sygnału ze względu na tłumienie na początku i na końcu zakresu objętego oknem. Metoda pozwalającą na minimalizację tego zjawiska to nakładanie się okien. Polega ona na poddaniu każdej próbki więcej niż jednej analizie FFT (np. dwukrotnie w przypadku okien nakładających się w 50% lub trzykrotnie w przypadku 75% nakładania się okien). W ten sposób próbki, które są całkowicie tłumione przez jedno okno, są wzmacniane przez następne okno.

Dla sygnałów różnicowych w analizie STFT zastosowano okno Hamminga o interwale czasowym Δt =0,34 s . Wycięte w ten sposób fragmenty czasowe wydłużono o 200% przez uzupełnienie ciągu wejściowego zerami i poddano analizie FFT. Okno czasowe przesuwano nakładając kolejne okna na siebie w 75%.

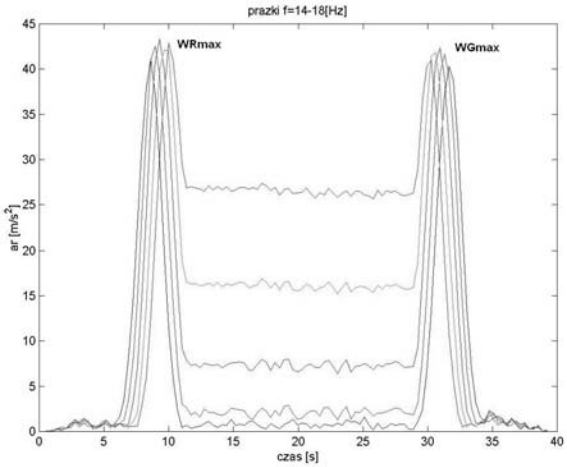
Uzyskano widma czasowo-częstotliwościowe o rozdzielczości częstotliwościowej rzędu 1 [Hz]. Przykładowe widmo przedstawia rys.2.



Rys.3. Przykładowe widmo STFT.

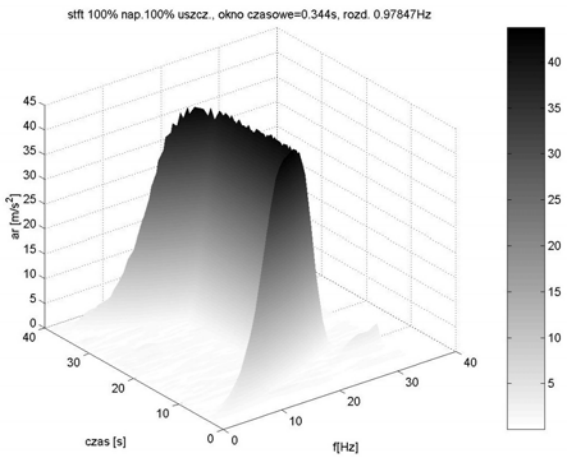
W widmie wyraźnie widoczne są maksymalne amplitudy dla częstotliwości

rezonansowej mas nieresorowanych (około 16 [Hz]). Określono średnie wartości maksymalnych przyśpieszeń dla mas nieresorowanych (prążki od 14[Hz] do 18 [Hz]) przy rozpędzaniu (WR_{max}) oraz przy wygaszaniu drgań (WG_{max}) i przyjęto estymator amplitudowy W stanowiący średnią arytmetyczną WR_{max} i WG_{max}. Przekroje czasowe dla tych prążków przedstawia rys 4.

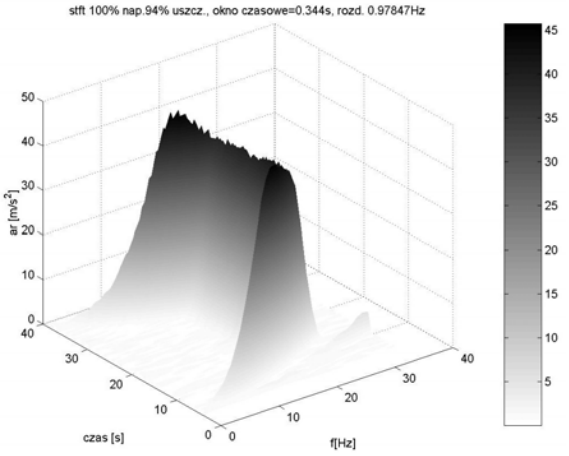


Rys.4. Przekroje czasowe dla prążków od 14[Hz] do 18 [Hz].

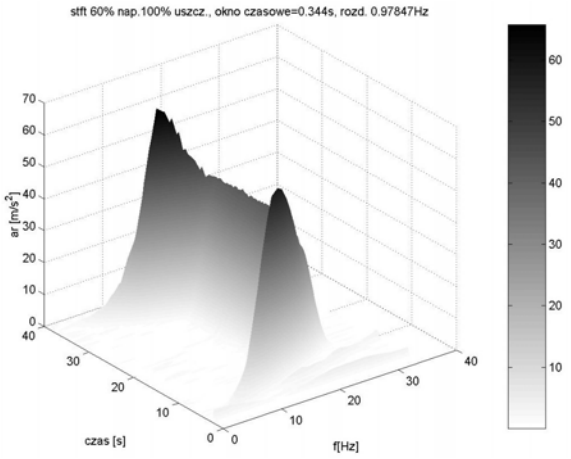
4. WYNIKI BADAŃ



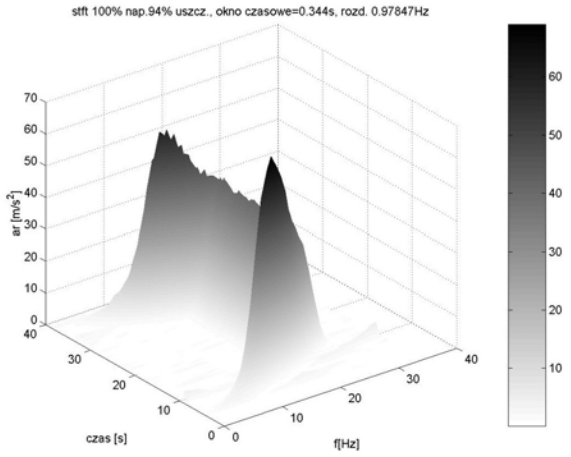
Rys.5. Widmo STFT dla amortyzatora bez usterek



Rys.6. Widmo STFT dla amortyzatora z 6% ubytkiem uszczelnienia

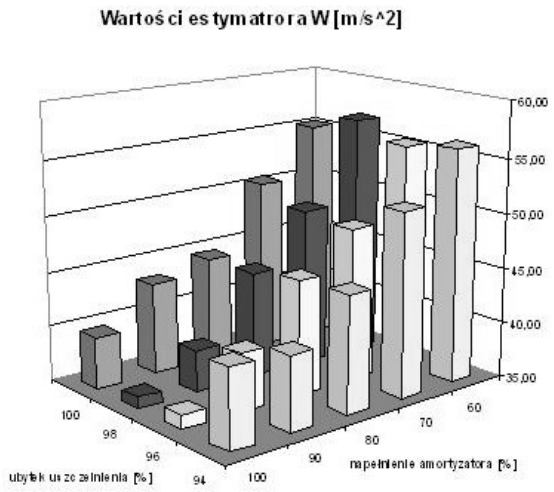


Rys.7. Widmo STFT dla amortyzatora z 60% napełnieniem płynem amortyzatorowym



Rys.8. Widmo STFT dla amortyzatora z 60% napełnieniem płynem amortyzatorwym oraz z 6% ubytkiem uszczelnienia

5. OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ



Rys.9. Zestawienie wartości estymatora W dla różnych kombinacji ubytku płynu amortyzatorowego oraz ubytku uszczelnienia.

Estymator W wskazuje wyraźną tendencję rosnącą w przypadku usterki w postaci ubytku płynu amortyzatorowego, niezależnie od stopnia uszkodzenia uszczelnienia stąd może być wykorzystany w diagnozowaniu tego rodzaju niesprawności amortyzatora:

- przy napełnieniu rzędu 80% wartości wskaźnika W wzrasta o około 10% w stosunku do wartości W dla amortyzatora sprawnego.
- przy napełnieniu rzędu 60% wartość wskaźnika W wzrasta o około 40% w stosunku do wartości W dla amortyzatora sprawnego.

W przypadku uszkodzenia amortyzatora zaprogramowanego w postaci ubytku uszczelnienia wybrany estymator nie wykazuje większych zmian przy tego rodzaju uszkodzeniu.

LITERATURA

[1] Gardulski J.: Bezstanowiskowa metoda oceny stanu technicznego zawieszeń samochodów osobowych. Radom 2003.
[2] Gardulski J., Warczek J.: Zastosowanie krótkoczasowej transformaty Fouriera w diagnostyce zawieszeń pojazdów samochodowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. S. Transport z. 44, nr 1562, 2002, str. 23-29.
[3] Gardulski J., Konieczny Ł., Burdzik R.: Wykorzystanie STFT w diagnostyce stanu technicznego amortyzatora zabudowanego w pojeździe samochodowym. XXXII Ogólnopolskie Sympozjum „Diagnostyka Maszyn", Węgierska Górka 2005.
[4] Lyons R.: Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów, WKiŁ Warszawa 1999.
[5] Reipell J., Betzler J.: Podwozia samochodów – podstawy konstrukcji. WKiŁ Warszawa, 2001,
[6] Swami A., Mendel J. M., Nikias Ch. L.: Higher-Order Spectral Analysis Toolbox. User's Guide.
[7] Zalewski A., Cegieła R.: Matlab PWN Warszawa 1996.

Prof. nz. dr hab. inż. Janusz Gardulski jest pracownikiem naukowym Katedry Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zainteresowania badawcze: diagnostyka wibroakustyczna, dynamika zawieszeń pojazdów samochodowych, modelowanie nieliniowych obiektów mechanicznych, minimalizacja hałasu i drgań w obiektach technicznych. Jest autorem i współautorem 3 monografii, książek i skryptów, ok. 70 artykułów opublikowanych w czasopismach i materiałach konferencyjnych. Członek PTPE, PTDT, oraz różnych sekcji Komitetu Budowy Maszyn i Komitetu Transportu PAN.

Mgr inż. Łukasz Konieczny jest doktorantem w Katedrze Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zainteresowania: diagnostyka maszyn, cyfrowe przetwarzanie sygnałów, komputerowe wspomaganie projektowania.

Mgr inż. Rafał Burdzik jest doktorantem w Katedrze Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zainteresowania: diagnostyka maszyn, cyfrowe przetwarzanie sygnałów, logistyka i spedycja.

ZMIANY WYBRANYCH PARAMETRÓW BIOCHEMICZNYCH I FIZJOLOGICZYCH ORGANIZMU PO EKSPOZYCJI DRGANIAMI NISKOCZĘSTOTLIWOŚCIOWYMI

Zbigniew DAMIJAN

Pracownia Akustyki Strukturalnej i Materiałów Inteligentnych,
Laboratorium Akustyki Strukturalnej i Inżynierii Biomedycznej
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30, fax: (012) 423-31-63, email: damijan@imir.agh.edu.pl

Streszczenie

Badania wpływu drgań niskoczęstotliwościowych odbyły się w Instytucie Biofizjologii Człowieka AWF w Krakowie. Eksperyment obejmował dziewiętnaście 20-minutowych ekspozycji drganiami (nazywanych dalej treningami), w kolejnych dniach roboczych o stałej porze dnia dla każdej osoby. W trakcie każdego treningu rejestrowano wytypowane parametry fizjologiczne przed i po treningu, prowadzono stały monitoring pulsu HR i saturacji SpO_2. Przed eksperymentem i po jego zakończeniu przeprowadzono badania biochemiczne.

Słowa kluczowe: drgania niskoczęstotliwościowe, ekspozycja drganiami, parametry biochemiczne i fizjologiczne

CHANGES OF SELECTED BIOCHEMICAL AND FIZJOLOGICAL UNDER LOW FREQUENCY VIBRATION

Summary

The effects of infrasound exposure were investigated at the Institute of Human Bio-physiology of the Academy of Physical Education in Kraków. The research program involved nineteen 20 min vibrations exposure sessions in the subsequent working days, at the same time of day for each participant. During each session selected physiological parameters were registered before and after the exposure, the heart beat rate HR and saturation levels SpO_2 were monitored on the constant basis. The research program was supported by the biochemical analysis before and after the experiments.

Keywords: low frequency vibration, eksposure under vibration, biochemical and fizjological parameters

1. WSTĘP

Badania i doniesienia literaturowe wskazują, że drgania mogą poprawiać przepływ krwi, ciśnienie parcjalne tlenu, wysycenie hemoglobiny tlenem i wykorzystanie tlenu przez tkanki. Działania te mogą wynikać m.in. z: rozszerzenia naczyń krwionośnych, poprawy przepływu krwi (szczególnie w zakresie mikrokrążenia), poprawy własności hydrodynamicznych krwi (w efekcie zmniejszenie ryzyka zakrzepowego). Poprzez zmianę tych parametrów może dochodzić do normalizacji potencjału błonowego na powierzchni komórki, wzrostu przemiany materii, usprawnienia i wzmocnienia sił obronnych organizmu. Za pośrednictwem różnorodnych mechanizmów sterujących może dochodzić do nasilenia syntezy białek, ułatwienia wydalania produktów przemiany materii oraz stymulacji układu odpornościowego [1, 3, 7, 11].

Celem pracy były badania i analizy wpływu drgań niskoczęstotliwościowych na wybrane parametry biochemiczne (H+ - stężenie molowe jonów wodorowych, pCO_2 - prężność dwutlenku węgla we krwi, HCO_3 - druga składowa buforu wodorowęglanowego, pO_2 - prężność tlenu we krwi, tCO_2 - saturacja krwi dwutlenkiem węgla, O_{2sat}, - saturacja krwi tlenem, NZ - suma stężeń anionów buforowych krwi, hemoglobina - Hb) oraz fizjologiczne (PS- ciśnienie skurczowe PR - ciśnienie rozkurczowe, T - temperatura ciała, PD - pałeczka Ditricha - czas reakcji).

Do wywołania cyklicznych zmian obciążeń kości zaproponowano zastosowanie drgań harmonicznych ogólnych (drgania mechaniczne przenoszone przez korpus człowieka poprzez nogi, miednicę, plecy) o częstotliwości biegu człowieka, jako najbardziej właściwej z fizjologicznego punktu widzenia. Założono, że drgania powinny być bezpieczne i nieuciążliwe.

Oczekiwano, że zmiany wytypowanych parametrów będą większe w warunkach ekspozycji bodźca, niż w sytuacji jego braku [2, 4 - 6, 8 - 10]. Uzasadnione było to założeniem, iż drgania będą stanowiły trening fizyczny dla organizmu człowieka. Ekspozycja drgań powinna wymuszać amortyzację przez układ mięśniowy i kostny, po-

wodować izometryczną pracę mięśni oraz działanie zmiennych sił na układ kostny człowieka.

2. METODOLOGIA BADAŃ

Eksperyment przeprowadzono w Zakładzie Biofizjologii Człowieka Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie. Badania trwały od 14.05.2002 do 7.06.2002, łącznie 25 dni, w czasie których przeprowadzono 19 treningów. Czas wpływu pojedynczego treningu 1800 s brutto, w tym 1200 s ekspozycja drgań. Każda osoba wykonywała trening codziennie (oprócz sobót i niedziel), w ustalonym, stałym dla niej czasie. W ciągu dnia badanych było 13 osób. Każdego dnia badania rozpoczynały się o godzinie 8.00, kończyły o 16.00. W doświadczeniu wykorzystano platformę wibracyjną zaprojektowaną i wykonaną dla potrzeb eksperymentu.

Podstawę stanowiska stanowi stalowa płyta na której zamocowano poręcze, podest wibrujący i układ napędowy. Układ napędowy stanowi silnik BESEL o mocy 0,18 kW sterowany falownikiem Hitachi L100, połączony za pomocą sprzęgła z wałem napędowym i krzywką. Krzywka pozwala na zamianę ruchu obrotowego na posuwisto-zwrotny. Płynna regulacja częstotliwości odbywa się w zakresie 0 - 3,5Hz za pomocą falownika. Poręcze wykonano ze stalowych giętych rur (rysunek 1).

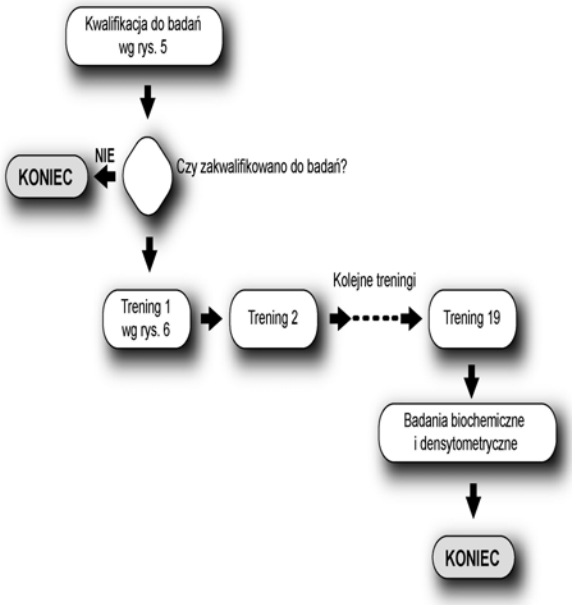
Kwalifikację uczestników (rys.4) przeprowadzano dzień przed rozpoczęciem eksperymentu. Następnego dnia rozpoczęto 19-dniowy trening. Po zakończonych treningach zarezerwowano jeden dzień na przeprowadzenie badań biochemicznych. Plan realizacji badań przedstawiono na rys. 2 i 3.

Osoby uczestniczące w badaniach zostały zapoznane z przebiegiem badań i wyraziły zgodę na uczestnictwo w eksperymencie. Po zakwalifikowaniu 13 osób zostały poddane wstępnym badaniom biochemicznym. Algorytm postępowania kwalifikacyjnego pokazano na rysunku 4.

Eksperyment polegał na wykonaniu opracowanych procedur. Obejmował on przygotowanie do treningu, badania właściwe oraz czynności końcowe. Do procedury przygotowawczej przystępowano po przeprowadzeniu wywiadu samopoczucia. Następnie mierzono temperaturę ciała oraz ciśnienie skurczowe i rozkurczowe.

Po wykonaniu testu sprawnościowego Ditricha osoba umieszczana była na platformie. Połączona była z systemem monitorowania akcji serca, pulsoksymetrii i tętna ELMED FX2000. Następnie sprawdzano czy sygnał jest prawidłowy. System sterowany był komputerowo umożliwiając stały monitoring i akwizycję uzyskanych danych.

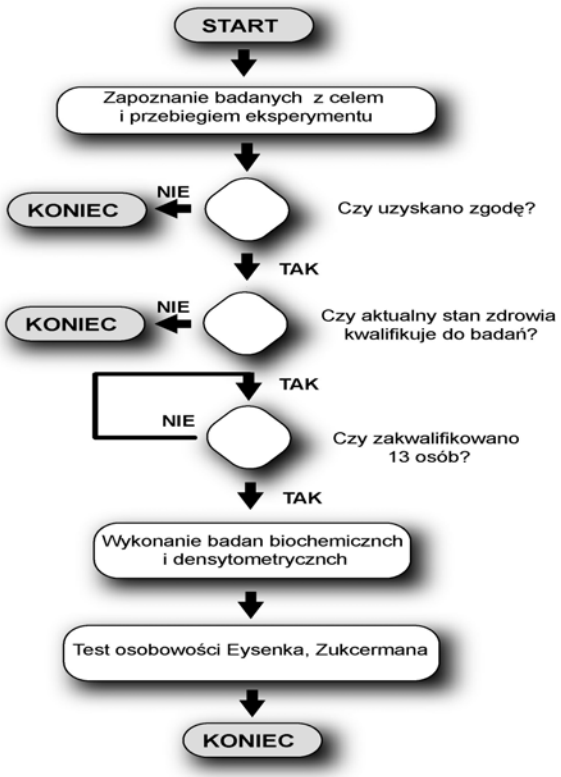
Rys.1. Platforma wibracyjna



Rys. 2. Algorytm czasowy eksperymentu

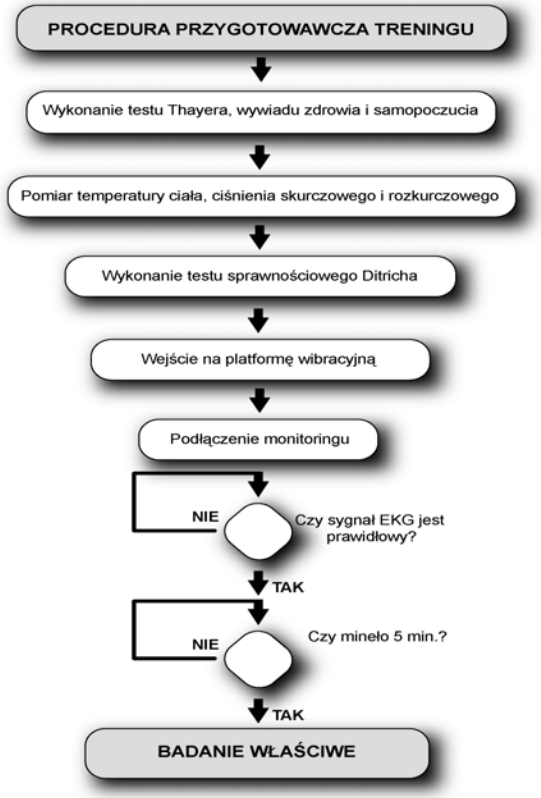
Wyniki analiz zmiennych zależnych nie omawiane w niniejszym artykule będą przestawione w późniejszych publikacjach. Schemat przebiegu treningu przedstawia rys.2.

Rys. 3. Algorytm przeprowadzenia treningów



Rys. 4. Algorytm kwalifikacji do eksperymentu

Procedura przygotowawcza treningu wykonywana była w przeciągu pięciu minut i obejmowała: przeprowadzenie wywiadu zdrowia i samopoczucia.



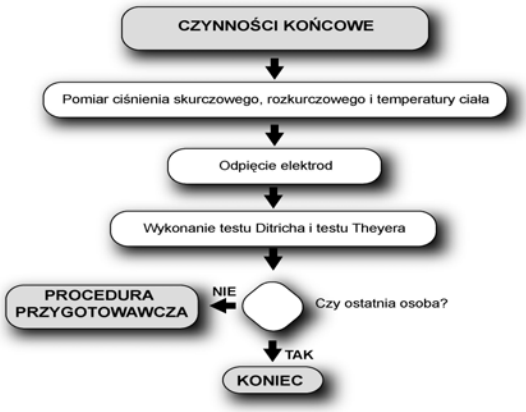
Rys. 5. Procedura przygotowawcza

W trakcie przygotowania dokonywano również pomiaru temperatury ciała, ciśnienia skurczowego i rozkurczowego. Osoba badana wykonywała test sprawnościowy Ditricha, po czym wchodziła na platformę wibracyjną. Podpinano elektrody do ciągłej analizy sygnału EKG i saturacji tlenem. Algorytm czynności przygotowawczych przedstawiono na rysunku 5. Po wykonaniu czynności przygotowawczych treningu przechodzono do badań właściwych.

W badaniach właściwych uczestników poddano 20 minutowej ekspozycji drganiami. Osoba badana stała na platformie wibracyjnej bez obuwia, (aby wykluczyć tłumienie podeszew obuwia). W sposób ciągły za pomocą kardiomonitora rejestrowano sygnał EKG, tętno i saturację krwi. Po wykonaniu czynności algorytmu badań właściwych wykonywano czynności końcowe. Algorytm badań właściwych przedstawiony został na rysunku 6.

Rys. 6. Algorytm badań właściwych

Czynności procedury końcowej obejmowały pomiar ciśnienia skurczowego, rozkurczowego, temperatury ciała, zdjęcie elektrod oraz wykonanie testu sprawnościowego Ditricha. Algorytm czynności końcowych przedstawiono na rysunku 7. Wykonanie algorytmu kończyło codzienny trening.



Rys. 7. Algorytm czynności końcowych

Rys. 8. Uczestnik eksperymentu w trakcie czynności końcowych

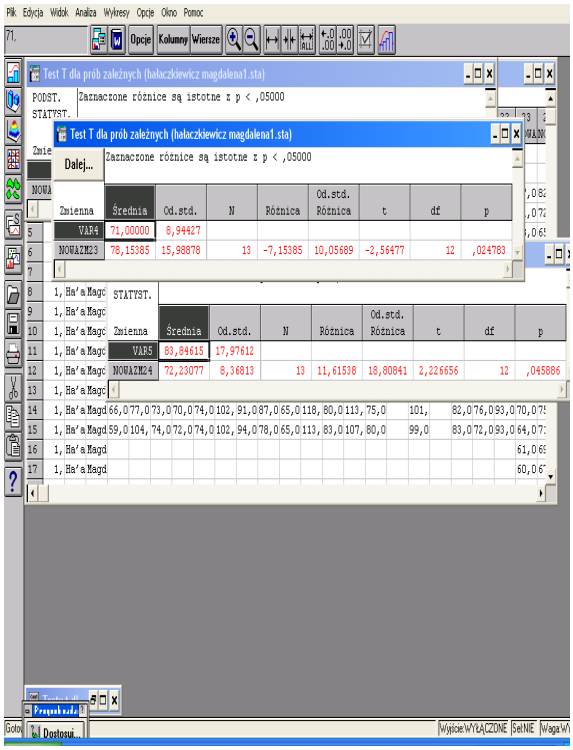
3. BADANIA BIOCHEMICZNE I FIZJOLOGICZNE

Przed oraz po zakończeniu treningu oznaczano w grupie badanej ciśnienie tętnicze krwi, czas reakcji (test Ditricha) oraz temperaturę ciała. Przed rozpoczęciem oraz po zakończeniu doświadczenia pobrano krew do następujących badań biochemicznych:

- oznaczenia stężenia hemoglobiny metodą Drabkina w krwi arterializowanej. Hemoglobinę badano używając spektrofotometru EPOL 20 z krwi żylnej pobranej do probówki „na skrzep";
- oznaczenia parametrów równowagi kwasowo-zasadowej na aparacie Corning 238 w krwi arterializowanej. Oznaczono stężenie molowe jonów H+ z dokładnością do 0,1 mmol/l, ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla pCO_2, tlenu pO_2, zawartość wodorowęglanu HCO_3, niedobór lub nadmiar zasad buforujących NZ oraz całkowity dwutlenek węgla tCO_2. Celem było prześledzenie ewentualnych potreningowych zmian parametrów równowagi kwasowo-zasadowej.

Analiza statystyczna wyników polegała na wykonaniu czynności wg algorytmu wnioskowania statystycznego. Po zbadaniu rozkładu zmiennych zależnych wybrano test statystyczny. Ustalono poziom istotności testu na - $p<0.05$. Na rysunku 9 przedstawiono przykład analizy statystycznej w środowisku Statistica 5.0.

Wyniki analiz statystycznych wpływu drgań nisko częstotliwościowych na wybrane parametry krwi obwodowej przedstawiono w tabeli 1 (równowaga kwasowo-zasadowa), hemoglobiny w tabeli 2. Zmiany wytypowanych parametrów fizjologicznych (ciśnienie skurczowe, rozkurczowe, temperatura, oraz czas reakcji) przedstawiono w tabeli 3, w tabeli 4 przedstawiono wpływ drgań na saturację tlenem oraz tętno badanych.



Rys. 9. Przykładowa analiza wyników

Tab.1.

Analiza statystyczna zmiennych krwi obwodowej

Frakcja spadku zmiennej	Zmienna	Jed.	Średnia	Od. std.	Różnica	t	p
0,46	H+ - przed	nmol/l	40,1	1,72	-0,046	-0,082	0,9352
	H+ - po		40,1	1,30			
0,92	pCO_2 - przed	mm Hg	43,0	3,39	3,153	5,588	**0,0001**
	pCO_2 - po		39,8	2,67			
0,62	pO_2 - przed	kPa	68,5	9,67	3,846	1,722	0,1106
	pO_2 - po		64,6	3,68			
0,85	HCO_3 -przed	nmol/l	26,5	1,56	1,985	5,754	**0,0000**
	HCO_3 - po		24,5	1,08			
0,85	tCO_2 - przed	nmol/l	27,8	1,67	2,100	5,835	**0,0000**
	tCO_2 - po		25,7	1,15			
0,85	NZ - przed	nmol/l	1,9	1,36	1,931	5,317	**0,0001**
	NZ - po		0,02	0,95			
0,85	O_{2sat} - przed	%	93,7	2,11	,7769	1,633	0,1283
	O_{2sat} - po		92,9	1,12			

(legenda: H+- stężenie molowe jonów wodorowych, pCO_2- prężność dwutlenku węgla we krwi, HCO_3- druga składowa buforu wodorowęglanowego, pO_2- prężność tlenu we krwi, tCO_2- saturacja krwi dwutlenkiem węgla, O_{2sat}- saturacja krwi tlenem, NZ- suma stężeń anionów buforowych krwi, frakcja- wskaźnik struktury zbiorowości. Stanowi ją stosunek liczebności części zbiorowości, która posiada interesującą nas cechę statystyczną, do liczebności całej badanej zbiorowości. Cecha statystyczna to właściwość którą posiadają i którą wyróżniają się jednostki wchodzące w skład zbiorowości statystycznej).

Na podstawie analizy wyników przedstawionych w tabeli 1 można stwierdzić, że ekspozycja drgań niskoczęstotliwościowych na organizm człowieka wywołuje istotnie statystycznie zmiany (na poziomie istotności p<0,01) dla: prężności dwutlenku węgla we krwi (pCO_2), drugiej składowej buforu wodorowęgloweo (HCO_3), saturacji krwi dwutlenkiem węgla (tCO_2), oraz sumy stężeń anionów we krwi. Ekspozycja drganiami nie powoduje zmian stężenia molowego jonów wodorowych, prężności dwutlenku węgla we krwi oraz saturacji krwi tlenem. Wyniki analiz statystycznych wpływu ekspozycji drgań niskoczęstotliwościowych na zmiany poziomu hemoglobiny we krwi przedstawiono w tab.2.

Tab.2. Badania istotności zmian poziomu hemoglobiny

Frakcja wzrostu zmiennej	Zmienna	Jedn.	Średnia	Od. std.	Różnica	t	p
0,85	Hb - przed	g/dl	12,6	2,25	-2,900	-4,79	**0,0004**
	Hb - po		15,5	2,80			

(legenda: Hb- hemoglobina).

Ekspozycja drgań na organizm człowieka powoduje statystycznie istotne wzrost poziomu hemoglobiny na poziomie istotności p<0,01.

Rezultaty badań fizjologicznych przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Badania istotności zmian ciśnienia skurczowego, rozkurczowego, temperatury oraz czasu reakcji

Frakcja spadku zmiennej	Zmienna	Jedn.	Średnia	Trend Zmiany	Od. std.	Różnica	t	p
0,77	PS_PRZED	mmHg	113,8	s	6,53	1,735	2,34	**0,037**
	PS_PO		112,0		7,18			
0,23	PR_PRZED	mmHg	67,6	w	5,51	-0,635	-0,690	0,503
	PR_PO		68,2		5,79			
0,54	T_PRZED	^{0}C	34,9	w	5,91	-1,63	-0,993	0,340
	T_PO		36,6		0,12			
0,46	PD_PRZED	s	16,3	w	1,79	-0,090	-0,408	0,689
	PD_PO		16,4		1,89			

(legenda: PS-ciśnienie skurczowe, PR- ciśnienie rozkurczowe, T- temperatura ciała, PD- pałeczka Ditricha - czas reakcji).

U 77% badanych można zaobserwować statystyczne istotny spadek ciśnienia skurczowego.

Tabela 4 przedstawia wyniki badań istotności zmian saturacji krwi tlenem oraz tętna.

Tab. 4. Badania istotności zmian saturacji tlenem oraz tętna

Frakcja wzrostu zmiennej	Zmienna	Jedn.	Średnia	Od. std.	Różnica	t	p
0,07	SpO_2 - przed	%	96,7	0,98	0,095	0,41	0,686
	SpO_2 - po		96,6	0,39			
0,69	HR - przed	1/s	91,5	9,59	-1,690	-2,39	**0,033**
	HR - po		93,27	8,64			

(legenda:SpO_2-saturacja tlenem, HR-tętno).

Na podstawie analizy danych można stwierdzić, że ekspozycja drganiami powoduje u 69% badanych istotny statystycznie wzrost tętna.

3. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i wykonanych analiz statystycznych można stwierdzić:

W badaniach krwi obwodowej (równowaga kwasowo-zasadowa) następuje:

- zmniejszenie poziomu dwutlenku węgla pCO_2 z wartości 43,00 ± 3,391 do wartości 39,84 ± 2,672 mm Hg u 92% badanych,
- spadek poziomu drugiej składowej buforu wodorowęglanowego z wartości 26,51 ± 1,566 do 24,53 ± 1,085 mmol/l dla 85% badanych,
- obniżenie poziomu sumy stężeń anionów buforowych krwi z 1,95 ± 1,363 do 0,02 ± 0,959 u 85% badanych,
- sadek poziomu saturacji krwi dwutlenkiem węgla z 27,89 ± 1,672 do 25,79 ± 1,152 dla 85% badanych.

W badaniach biochemicznych hemoglobiny stwierdzono znaczny wzrost z poziomu 12,66 ± 2,256 do 15,56 ± 2,806 g/dl u 85% grupy.

Analiza statystyczna badań fizjologicznych wykazuje istotne zmiany:

- spadek ciśnienia skurczowego z wartości 113,81 ± 6,533 do 112,07 ± 7,189 mm Hg dla 77% badanych,
- dla 69% badanych wystąpił wzrost tętna z wartości 91,58 ± 9,594 do 93,27 ± 8,646 1/s.

Przeprowadzone analizy parametrów równowagi kwasowo-zasadowej i kierunki ich zmian świadczą że ekspozycja drgań niskoczęstotliwościowych na organizm człowieka stanowi trening fizyczny.

Wzrost poziomu hemoglobiny u 85% badanych wskazuje, że prawdopodobnym może być stosowanie drgań niskich częstotliwości w rehabilitacji anemii.

Przedstawione badania i analizy statystyczne należy traktować jako pilotażowe które wymagają dalszych systematycznych badań. Badania wykonano w ramach Projektu Badawczego nr 3 T11E 006 26, oraz były częściowo sponsorowane przez Fundację Kościuszkowską, Amerykańskie Centrum na rzecz Kultury Polskiej, z funduszu zapewnionego przez Fundację Alfreda Jurzykowskiego.

LITERATURA:

[1] Belkin A., Efremov A., Poteriaeva E., Effects of vibration oncontents of micronuclein polychromatophilic erythrocytes of the rat bone marrow, PMID: 11530633 [PubMed - indexed for MEDLINE].

[2] Będziński R., Biomechanika inżynierska, PWN, Warszawa, 2000.

[3] Chen L., Han Z., Yang X., Experimental study of fracture healing promotion with mechanical vibration in rabbits, PMID: 4564212 [PubMed - indexed for MEDLINE].

[4] Damijan Z., Rumiński M., Wpływ drgań niskoczęstotliwościowych na parametry wytrzymałościowe kości szczurów, Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej, Z1-M/2004, s. 35-43, 2004.

[5] Damijan Z., Changes of selected biochemical parameters blood and strength bones of rats under low frequency vibration, Molecular and Qantum Acoustics, Volume 25, Gliwice, s. 69-78, 2004.

[6] Damijan Z., Kasprzak C., Panuszka R., Influence of low-frequency vibration on changes of biochemical parameters of living rats, The Journal of the Acoustical Society of America, 115, p. 2443, 2004.

[7] Engel Z., Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. PWN, Warszawa, 1993.

[8] Pawlikowski M., Niedźwiedzki T., Mineralogia kości, PAN, Kraków 2002

[9] Wolf J., Gesetz der Transformation der Knochen, Berlin, Yerlag von August Hirschwald, 1892.

[10] Wolf S., Augat P., Eckert-Hubner K., Laule A., Krischak G., Ciaes L., Effects of high-frequency, low-magnitude mechanical stimulus on bone healing, PMID: 11302314 [PubMed - indexed for MEDLINE].

[11] Żukowski P., Hałas i wibracje w aspekcie zdrowia człowieka. FOSZE, Rzeszów, 1996.

Dr inż. Zbigniew Damijan ur. 9.06.1957r. W 1982 ukończył WAT, Wydział Cybernetyki. Od 2000 - adiunkt WIMiR AGH. Wykształcenie - mechanik, cybernetyk, elektronik, specjalność automatyzacja systemów kierowania i zarządzania. Zainteresowania naukowe: diagnostyka biomedyczna, cyfrowe przetwarzanie sygnałów, bionika, cybernetyka, psychoakustyka, biometria. Inne zainteresowania: modelarstwo, turystyka, sport.

ZMIANY WYBRANYCH PARAMETRÓW DENSYTOMETRYCZNYCH I WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH KOŚCI ZWIERZĄT PO EKSPOZYCJI DRGANIAMI NISKOCZĘSTOTLIWOŚCIOWYMI

Zbigniew DAMIJAN

Pracownia Akustyki Strukturalnej i Materiałów Inteligentnych,
Laboratorium Akustyki Strukturalnej i Inżynierii Biomedycznej
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30, fax: (012) 423-31-63, email: damijan@imir.agh.edu.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu ekspozycji drgań niskoczęstotliwościowych na organizmy szczurów. Analizie poddano zmiany parametrów densytometrycznych i wytrzymałościowych kości. Do badań użyto 30 szczurów rasy Wistar, które losowo przydzielono do trzech grup doświadczalnych: pierwsza rozpoczynała ekspozycję w 20 dniu życia (oznaczone _20)(przed osiągnięciem dojrzałości płciowej), drugą obciążono ekspozycją od 70 dnia życia (_70) (po osiągnięciu dojrzałości płciowej), trzecią grupę stanowią szczury kontrolne (_K). W 135 dniu życia szczury (_20) i (_70) były poddane ponownej ekspozycji. W 145 dniu operacyjnie pobrano kość udową i wykonano badana densytometryczne i wytrzymałościowe kości.

Słowa kluczowe: drgania niskoczęstotliwościowe, densytometria, badania wytrzymałościowe kości

CHANGES OF SELECTED DENSYTOMETRIC PARAMETERS AND STRENGTH BONES OF RATS UNDER LOW FREQUENCY VIBRATION

Summary

The aim of the research is to analyze the changes of selected densytometric parameters and strength bones of rats under exposure to low-frequency vibrations. Experiments were run on 30 Wistar rats randomly divided into three groups: the first group was first exposed to vibrations when rats were 20 days old (_20)(before puberty), the second group was subjected to vibrations from the 70^{th} day on (_70)(after reaching puberty), the third is the control group (_K). On the 145^{th} day the rats' ((_20) and (_70)) bones were subjected to densytometric examination and strenght bones.

Keywords: low-frequency vibrations, densytometric, strenght bones

1. WSTĘP

Zależność pomiędzy ruchem, a przemianą materii jest znana od dawna. Badania wskazują na to, że ruch pobudza wzrost mięśni a także wzmacnia system odpornościowy. Z punktu widzenia trybu życia cywilizowany człowiek, w szczególności po 50 roku życia, cierpi na chroniczny niedobór ruchu. Odpowiednio dobrane, wibracje mechaniczne (prawdopodobnie o częstotliwościach biegu człowieka), mogą ten fizjologiczny deficyt wyeliminować [1].

Istota działania wibracji ogólnej może polegać na przywracaniu stanu równowagi zaburzonych procesów energetycznych, regeneracji ogólnej organizmu. Prawdopodobnie może być ona stosowana w rehabilitacji złamań kości, zaburzeniach gojenia się ran, w chorobach układu krążenia oraz niektórych zaburzeniach psychosomatycznych.

Ekspozycja drganiami na organizm człowieka powoduje, że reakcja układu krążenia ma charakter odruchowy i jest wyrazem aktywacji ośrodkowego układu nerwowego, ze szczególnym pobudzeniem układu wegetatywnego. Mięśnie zaangażowane są w sposób czynny w amortyzacji drgań. Amortyzacja drgań jest procesem złożonym, polegającym na współdziałaniu aferentnych i eferentnych dróg układu nerwowego. Zaangażowanie układu mięśniowego w czasie działania drgań doprowadzić może do zmian w czynności bioelektrycznej mięśni. Czynność ta uzależniona jest od parametrów drgań: częstotliwości, amplitudy i przyspieszeń. Krótkotrwałe działanie drgań o małych częstotliwościach aktywizuje czynność mięsni, długotrwałe działania mogą ją zahamować [2 - 7, 11, 12, 14, 16].

Tylko nieliczne doniesienia literaturowe wskazują, że krótkotrwałe wibracje ogólne mają wpływ na parametry densytometryczne i wytrzymałościowe

kości [8 - 10, 13, 15, 17]. Drgania mogą poprawić przepływ krwi, ciśnienie parcjalne tlenu, wysycenie hemoglobiny tlenem i wykorzystanie tlenu przez tkanki. Działania te mogą wynikać m.in.: z rozszerzenia naczyń krwionośnych, poprawy przepływu krwi (szczególnie w zakresie mikrokrążenia), poprawy właściwości hydrodynamicznych krwi (w efekcie zmniejszenie ryzyka zakrzepowego). Poprzez zmianę tych parametrów może dochodzić do normalizacji potencjału błonowego na powierzchni komórki, wzrostu przemiany materii, usprawnienia bilansu energetycznego komórek, co w końcowym efekcie daje wzrost ogólnej sprawności i wzmacnia siły obronne organizmu. Za pośrednictwem różnorodnych mechanizmów sterujących może dochodzić do nasilenia syntezy białek (poprawa regeneracji), ułatwienia wydalania produktów przemiany materii (odtruwanie organizmu) oraz stymulacji układu odpornościowego.

2. METODYKA EKSPERYMENTU

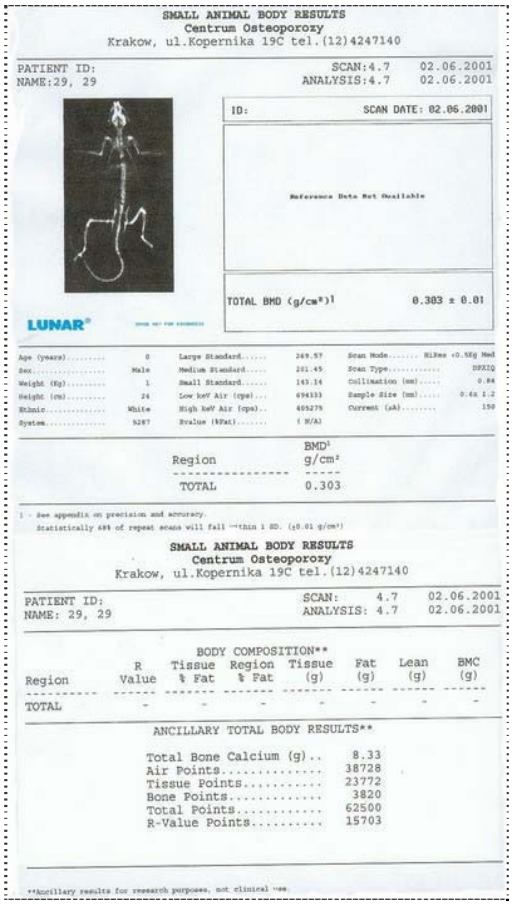
W pracy postawiono tezę, że ekspozycja niskoczęstotliwościowych drgań może mieć wpływ na wybrane parametry densytometryczne i wytrzymałościowe kości.

Do badań użyto 30 szczurów rasy Wistar pochodzących ze zwierzętarni UJ (rys.1.). W czasie doświadczenia zwierzęta przebywały w standardowych klatkach, otrzymywały paszę typu GLM w standardowej dawce, wodę wodociągową bez ograniczeń z dodatkiem preparatu witaminowego (polfamix Z). W pomieszczeniach zwierzętami dla wszystkich grup doświadczalnych utrzymywana była temperatura 21-23 ^{o}C, wilgotność 55% i automatycznie regulowany cykl świetlny (6.00-18.00 dzień i 18.00-6.00 noc). Zwierzęta podzielono na trzy równoliczne grupy doświadczalne: grupę rozpoczynającą ekspozycję przed osiągnięciem dojrzałości płciowej, tj. w 20 dniu życia, grupę rozpoczynającą ekspozycję w 70 dniu życia po osiągnięciu dojrzałości i grupę kontrolną (nie eksponowaną drganiami). Stanowisko doświadczalne zaprojektowano i wykonano dla potrzeb doświadczenia. Stanowisko składa się z toru generowania drgań oraz toru kontroli i analizy warunków fizycznych doświadczenia. W czasie ekspozycji drgań zwierzęta przebywały w klatce która wprawiana była w drgania przez wzbudnik drgań typu VEB RTF Messelektronic typ 11075, wysterowany przez generator funkcyjny MX 2020 oraz wzmacniacz mocy ELMUZ. Tor analizy składał się z analizatora dźwięku i drgań SVAN 912 (wykorzystywano wejście ładunkowe (z przedwzmacniaczem SV 04), impedancja 39Ω/220 pF; stała czasu całkowania 4,6 s.; 4 podzakresy pomiarowe 100 pC, 100 pC, 1 nC, 10 nC; zakres wartości mierzonego ładunku 0,01 pC - 25,9 nC (RMS); filtry górnoprzepustowy HP - 0,8 HZ z nachyleniem 6 dB/oktawę; filtr dolnoprzepustowy 1 kHz z nachyleniem 24 dB/oktawę, poziom szumów w torze - do 1,7x10^{-14} C, częstotliwość próbkowania 65536 Hz; przetwornik AC 14 bitowy; filtry antyaliasingowe (pasmo przepustowe: 0,3 dB dla 24 kHz lub 12 kHz; -1dB dla 25,6 lub 12,8 Hz; tłumienie w paśmie zaporowym > 80 dB; stabilność wskazań amplitudy ± 0,1 dB), oraz magnetometru URSZULA3 (8 zakresów pomiarowych: 100pT, 300pT, 1nT, 3nT, 10nT, 100nT, 300nT. Możliwość pomiarów i analiz w trzech pasmach częstotliwości: 50 Hz (filtr środkowo przepustowy Q=20); 1 - 20 Hz (filtr dolno przepustowy Czebyszewa 6 - rzędu o falistości 0,5 dB); 8 - 12 Hz (filtr środkowo przepustowy Q=4).

Zwierzęta poddawano ekspozycji w zwierzętarni Katedry Biofizjologii Zwierząt UJ.
W dwóch pierwszych etapach doświadczenia stosowano drgania o przyśpieszeniu 1.22 m/s^2 i częstotliwości 20 Hz. Ekspozycję powtarzano 7 - krotnie, po 3 godziny dziennie o jednakowej porze dnia. Towarzyszące pole magnetyczne dla częstotliwości 50 Hz posiadało indukcję o wartości 140 nT, a dla zakresu 1 - 20 Hz, 270 nT. W trzeciej fazie eksperymentu w 135 dniu, zwierzęta poddano ponownej ekspozycji. Zastosowano drgania o przyśpieszeniu 4,20 m/s^2 i częstotliwości 20 Hz. Ekspozycję powtarzano 10 - krotnie, po 3 godziny dziennie o jednakowej porze dnia. Towarzyszące pole magnetyczne dla częstotliwości 50 Hz posiadało indukcję o wartości 120 nT, a dla zakresu 1 - 20 Hz, 300 nT (warunki fizyczne w czasie eksperymentu były monitorowane w sposób ciągły przez urządzenia toru kontroli i analizy). W 145 dniu zakończono eksperyment pobraniem kości udowej, wykonano badania densytometryczne i wytrzymałościowe kości. Badania densytometryczne wykonano aparatem DPX-IQ LUNAR, wytrzymałościowe przeprowadzono metodą trójpunktowego łamania przyrządem INSTRON 4502. Wyniki badań i analiz przedstawiono na rysunkacj od 3do 13.

Gęstość mineralną kości oznaczano metodą DXA aparatem DPX-IQ LUNAR. Badania wykonano dla szkieletu szczura w projekcji AP oraz kości udowej.

Aparat DPX-IQ jest densytometrem rentgenowskim do pomiaru gęstości kości w obrębie całego szkieletu. Posiada rozbudowany system detekcji oraz jednoprzebiegowy skaner płaszczyznowy, wyposażony jest w źródło promieniowania X o stałym potencjale lampy RTG 38/70 KeV ze stabilizacją ±0,05 %, dwuenergetyczna wiązka promieniowania 2x36 KeV jest skolimowana do promienia o średnicy 0,01 m. System charakteryzuje krótki czas pomiaru (do 5 minut), mała dawka pochłanianego promieniowania (maksymalnie do 10 mR), automatyczny system ciągłej kalibracji zmniejsza błąd powtarzalności do 0,52 % zaś dokładność pomiaru gęstości mineralnej kości jest mniejsza od 1 %. Przykładowy wynik badania densytometrycznego przedstawiono na rysunku 1.



SMALL ANIMAL BODY RESULTS
Centrum Osteoporozy
Krakow, ul.Kopernika 19C tel.(12)4247140

PATIENT ID:
NAME:29, 29

SCAN:4.7 02.06.2001
ANALYSIS:4.7 02.06.2001

ID: SCAN DATE: 02.06.2001

Reference Data Not Available

TOTAL BMD (g/cm²)[1] 0.303 ± 0.01

LUNAR®

Age (years)	0	Large Standard	249.57	Scan Mode	Hires +0.5Sg Med
Sex	Male	Medium Standard	201.45	Scan Type	DPXIQ
Weight (Kg)	1	Small Standard	143.14	Collimation (mm)	0.84
Height (cm)	24	Low keV Air (cps)	694333	Sample Size (mm)	0.4x 1.2
Ethnic	White	High keV Air (cps)	405279	Current (uA)	150
System	5287	Svalue (kVAt)	(N/A)		

Region	BMD[1] g/cm²
TOTAL	0.303

[1] - See appendix on precision and accuracy.
Statistically 68% of repeat scans will fall +-thin 1 SD. (±0.01 g/cm²)

SMALL ANIMAL BODY RESULTS
Centrum Osteoporozy
Krakow, ul.Kopernika 19C tel.(12)4247140

PATIENT ID:
NAME: 29, 29

SCAN: 4.7 02.06.2001
ANALYSIS: 4.7 02.06.2001

BODY COMPOSITION**

Region	R Value	Tissue % Fat	Region % Fat	Tissue (g)	Fat (g)	Lean (g)	BMC (g)
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-

ANCILLARY TOTAL BODY RESULTS**

Total Bone Calcium (g)	8.33
Air Points	38728
Tissue Points	23772
Bone Points	3820
Total Points	62500
R-Value Points	15703

**Ancillary results for research purposes, not clinical use.

Rys. 1. Przykładowy wynik badania densytometrycznego

Badania wytrzymałościowe kości wykonano metodą trójpunktowego zginania z rozstawem podpór L = 22 mm, prędkością trawersy v_t = 2 mm/min, przy wilgotności powietrza ok. 50 % i temperaturze 23 °C, maszyną wytrzymałościową INSTRON 4502 (rys. nr 2) (obciążenie minimalne przy rozciąganiu/ściskaniu: 0,04 N (+/- 0,2 mN), obciążenie maksymalne przy rozciąganiu/ściskaniu: 10 kN, zakres prędkości przesuwu trawersy: 0,05 - 1000 mm/min, nominalne osiągi obciążeniowo-prędkościowe: 10 kN z prędkością do 500 mm/min, 4 kN z prędkością 500-1000 mm/min, prędkość powrotna trawersy: automatycznie dostosowywana do maksymalnej możliwej, standardowe prędkości sterowania ręcznego: duża - 1000 mm/min, mała - początkowo 50 mm/min z przyśpieszeniem do 3,33 mm/s^2, stabilność prędkości przesuwu trawersy w stanie ustalonym: 0,1 %, zakres przesuwu trawersy: 1000 mm, podatność maszyny: nominalna sztywność osiowa - 50 kN/mm (trawersa w pozycji centralnej), śruby prowadzące: chromowane, o średnicy 37 mm, z wstępnie obciążonymi podwójnymi nakrętkami kulkowymi i stożkowymi łożyskami wzdłużnymi, główny napęd: magnetoelektryczny silnik prądu stałego z niskoinercyjnym twornikiem obwodu drukowanego, z wbudowanym tachometrem do sterowania ze sprzężeniem zwrotnym prędkości, prowadzenie: cztery chromowane pręty przechodzące przez ruchomą trawersę, możliwe do przeprowadzenia próby: próba rozciągania, próba ściskania, próba zginania, próba ścinania oraz badanie wytrzymałości zmęczeniowej, moc: 500 VA korpus główny, 500 VA konsola, 250 VA przyłącze pomocnicze (w sumie 1250 VA), ciężar: 220 kg (korpus główny) + 30 kg (mikroprocesorowa jednostka sterująca) + 8 kg (konsola), wymiary: podstawa 737 x 745 mm, wysokość całkowita 1795 mm].

Przebieg zginania kontrolowany był cyfrowo za pomocą oprogramowania firmy Instron Corporation - Series IX Automated Materials Testing System 1.02C. Dla każdej próbki otrzymano krzywą zginania.

Przebieg próby zginania kontrolowany był cyfrowo, przy wykorzystaniu oprogramowania firmy Instron Corporation – Series IX Automated Materials Testing System 1.02C. Dla każdej próbki otrzymano krzywą zginania. Analizie statystycznej poddano wytypowane zmienne zależne:

- maksymalne obciążenie w próbie zginania - $\boldsymbol{F}$ [kN],
- przemieszczenie przy maksymalnym obciążeniu - $\boldsymbol{s}$ [mm],
- wytrzymałość na zginanie - $\boldsymbol{\sigma_g}$ [MPa],
- odkształcenie przy maksymalnym obciążeniu, rozumiane jako wydłużenie względne skrajnych rozciąganych włókien - $\boldsymbol{\varepsilon}$ [-],
- moduł sprężystości przy zginaniu - $\boldsymbol{E_g}$ [MPa],
- wartość energii do momentu osiągnięcia maksymalnego obciążenia - ***EYP*** [J],
- wartość energii do momentu całkowitego rozdzielenia - ***EBP*** [J].

Na podstawie wykonanych badań i pomiarów geometrii kości, maksymalnego obciążenia w próbie zginania oraz przemieszczenia przy maksymalnym obciążeniu, wyznaczono, za pomocą standardowych wzorów, wytrzymałość na zginanie (σ_g), moduł sprężystości przy zginaniu ($\boldsymbol{E_g}$) oraz odkształcenie przy maksymalnym obciążeniu ($\boldsymbol{\varepsilon}$).

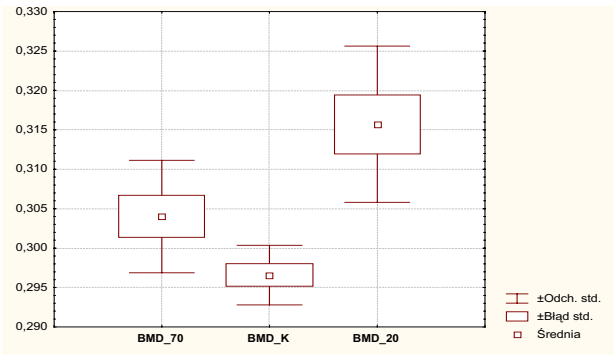
Parametry energetyczne (***EYP*** i ***EBP***) obliczano drogą planimetrowania odpowiednich pól pod krzywą zginania.

Analizy statystyczne otrzymanych wyników polegały na sprawdzeniu, czy zmienne mają rozkłady normalne (test Shapiro-Wilka) oraz na badaniu ich statystyk opisowych. Analizy zmian średnich i wariancji zmiennych wytrzymałościowych przedstawiono na rysunkach od 7 do 13.

Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono na poziomie istotności $p < 0{,}05$ testem t-Studenta oraz Cochrona-Coxa dla prób niezależnych.

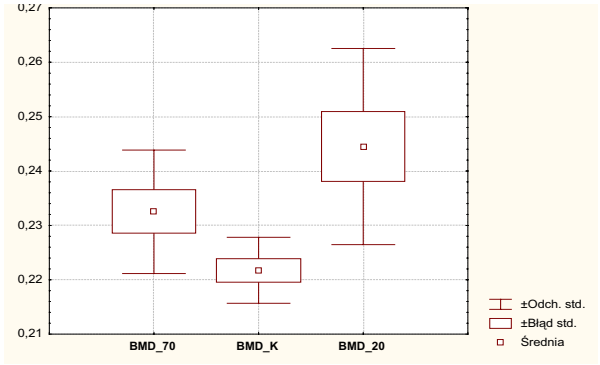
Rys. 2. Maszyna wytrzymałościowa INSTRON 4502 - widok stanowiska badawczego

BMD [g/cm^2]



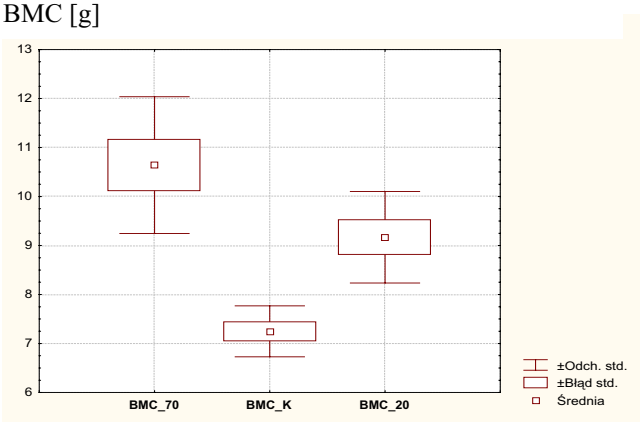
Rys. 3. Wpływ drgań na BMD szczura

BMD kości [g/cm^2]



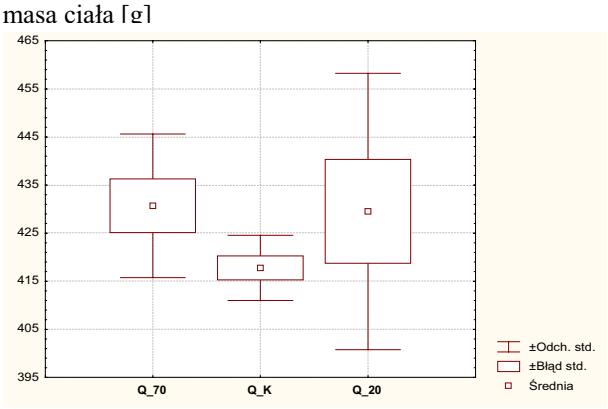
Rys. 4. Wpływ drgań na BMD kości

BMC [g]



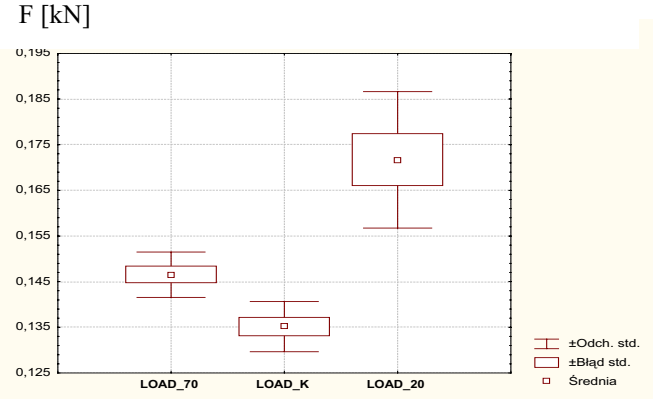
Rys. 5. Wpływ drgań na BMC

masa ciała [g]



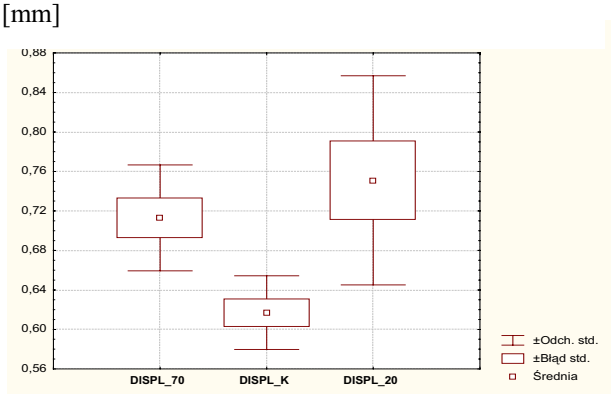
Rys. 6. Wpływ drgań na masę ciała

F [kN]



Rys. 7. Wpływ drgań na maksymalne obciążenie w próbie zginania

s [mm]

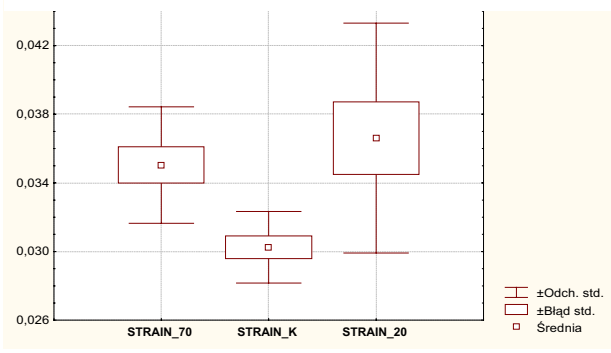


Rys. 8. Wpływ drgań na przemieszczenie przy maksymalnym obciążeniu

σ_g [MPa]

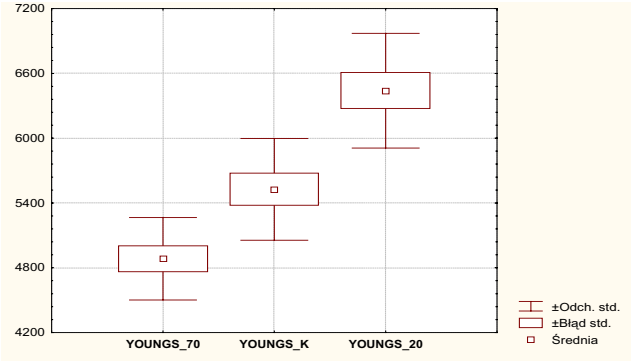
Rys. 9. Wpływ drgań na wytrzymałość na zginanie

ε [-]



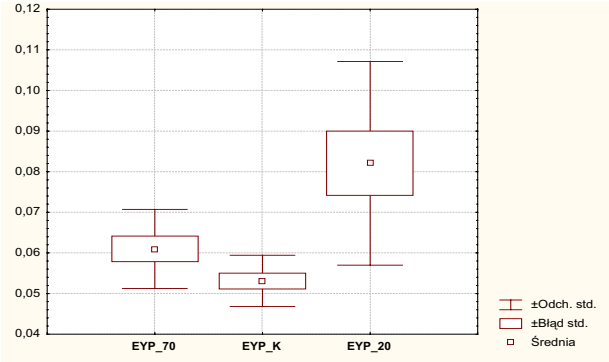
Rys. 10. Wpływ drgań na odkształcenie przy maksymalnym obciążeniu

E [MPa]



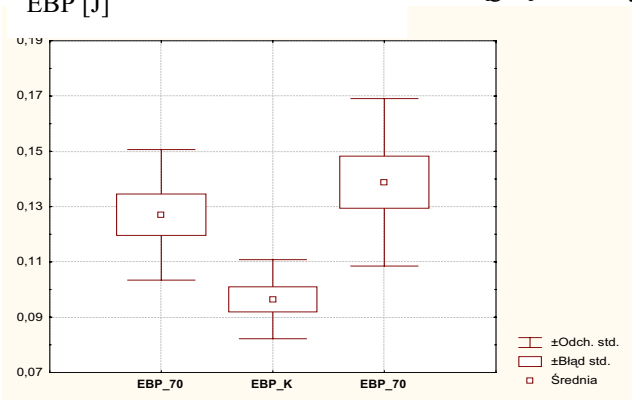
Rys. 11. Wpływ drgań na moduł sprężystości przy zginaniu

EYP [J]



Rys. 12. Wpływ drgań na wartość energii do momentu osiągnięcia maksymalnego obciążenia

EBP [J]



Rys. 13. Wpływ drgań na wartość energii do momentu całkowitego rozdzielenia

3. WNIOSKI

Na podstawie wykonanych badań, po przeprowadzeniu analiz można stwierdzić, że ekspozycja drganiami niskoczęstotliwościowymi powoduje:

- istotny statystycznie wzrost wartości gęstości kości BMD dla grup eksponowanych drganiami, w porównaniu do grupy kontrolnej, badania prowadzono dla całego organizmu szczura i po uzyskaniu kości udowej, na podstawie analiz można zauważać podobne trendy zmian,
- w grupach eksponowanych można obserwować statystycznie istotny wzrost wskaźnika BMC,
- istotny statystycznie wzrost wartości maksymalnego obciążenia w próbie zginania (ozn. LOAD) w grupach eksponowanych,
- dla grupy R_70 statystycznie istotny wzrost wartości przemieszczenia przy maksymalnym obciążeniu kości (DISPL), w porównaniu do grupy kontrolnej,
- wzrost wytrzymałości kości na zginanie (STRESS) w grupie B_20, w porównaniu do grupy kontrolnej oraz R_70,
- odkształcenie (STRAIN), rozumiane jako wydłużenie względne skrajnych rozciąganych włókien, jest statystycznie większe w grupach eksponowanych,
- moduł sprężystości przy zginaniu (YOUNGS) dla grupy B_20 przyjmuje większą wartość, w porównaniu do grupy kontrolnej. Dla grupy R_70, odwrotnie, mniejszą wartość, niż w grupie kontrolnej,
- parametry energetyczne, *EYP* oraz *EBP,* przyjmują większe wartości w grupach eksponowanych (aby złamać kość u zwierząt poddawanych ekspozycji, należy wykonać większą pracę),
- analiza zmian parametrów wytrzymałościowych kości pozwala na wysunięcie podsumowującego wniosku, że drgania niskoczęstotliwościowe mogą wzmacniać strukturę kości. Wzrost wartości przemieszczenia (przy maksymalnym obciążeniu) może świadczyć o wzroście ich sprężystości,
- najkorzystniejsze zmiany wartości parametrów wytrzymałościowych uzyskano dla grupy B_20, która rozpoczęła ekspozycję przed osiągnięciem dojrzałości płciowej.

Zrealizowane badania wstępne zachęcają do podjęcia dalszych systematycznych eksperymentów. Problem pozostaje otwarty. Badania wymagają zmiany częstotliwości, przyśpieszeń, jak i czasu ekspozycji. Czy wydłużenie czasu ekspozycji może powodować większe zmiany parametrów wytrzymałościowych kości? Na te pytania mogą dostarczyć odpowiedzi następne eksperymenty. Badania wykonano w ramach Projektu Badawczego nr 3 T11E 006 26, oraz były częściowo sponsorowane

przez Fundację Kościuszkowską, Amerykańskie Centrum na rzecz Kultury Polskiej, z funduszu zapewnionego przez Fundację Alfreda Jurzykowskiego.

LITERATURA:

[1] Będziński R., Biomechanika inżynierska, PWN Warszawa, 2000.
[2] Czajkowska A., Skierska E., Wysokińska B., Szwdyn J., Gajewski A.K., Morfometryczne parametry kości szczurów poddanych wysiłkowi fizycznemu w różnym wieku, Wychowanie Fizyczne i Sport, 1, 1995, 79-90.
[3] Damijan Z., Rumiński M., Wpływ drgań niskoczęstotliwościowych na parametry wytrzymałościowe kości szczurów, Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej, Z1-M/2004, s. 35-43, 2004.
[4] Damijan Z., Changes of selected biochemical parameters blood and strength bones of rats under low frequency vibration, Molecular and Qantum Acoustics, Volume 25, Gliwice, s. 69-78, 2004.
[5] Damijan Z., Kasprzak C., Panuszka R., Influence of low-frequency vibration on changes of biochemical parameters of living rats, The Journal of the Acoustical Society of America, 115, p. 2443, 2004.
[6] Delecluse C., Roelants M., Verschueren S., Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training, Medicine & Science in Sports & Exercise, 35(6):1033-41, 2003 Jun.
[7] Engel Z., Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem, PWN, Warszawa, 1993.
[8] Frost H.M., Bone mass and the mechanostat: a proposal, Anat. Rec., 219: 1-9, 1987.
[9] Frost H.M., Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): The hayline cartilage modeling problem, Anat. Rec., 226: 423-432, 1990.
[10] Iwamoto J., Takeda T., Ichimura S., Effect of exercise on tibial and lumbar vertebral bone mass in mature osteopenic rats: bone histomorphometry study, J. Orthop. Sci., 35, 257-263, 1998.
[11] Ivanov V.I., Ivanova I., Use of vibration in the rehabilitation of patients with sequelae of injuries of long tubular bones, Ortopediia Travmatologiia i Protezirovanie, (8):6-8, 1985 Aug.
[12] Lee J., Jang K.T., Kim J.W., Lee S.H., Hahn SH., Kim C.C., Effect of ultrasonic vibration on dentin bond strength and resin infiltration, American Journal of Dentistry, 16(6):40, 4-8, 2003 Dec.
[13] Milewski G., Równanie konstytutywne tkanki kostnej. Biomechanika 94, Politechnika Wrocławska, Seria Konf. 21, 1994.
[14] Oxlund BS., Ortoft G. Andreassen T.T., Oxlund H., Low-intensity, high-frequency vibration appears to prevent the decrease in strength of the femur and tibia associated with ovariectomy of adult rats, Bone, 32(1):69-77, 2003 Jan.
[15] Roelants M., Delecluse C., Goris M., Verschueren S., Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females, International Journal of Sports Medicine, 25(1):1-5, 2004 Jan.
[16] Trębacz H., Właściwości mechaniczne kończyn udowych dorosłych szczurów po unieruchomieniu kończyny, Materiały konferencyjne, Bionika, Biomechanika i Robotyka w Inżynierii Biomedycznej, Zakopane - Kraków, 2000.
[17] Wolf J., Gesetz der Transformation der Knochen. Berlin, Verlag von August Hirschwald, 1892.

dr inż. Zbigniew Damijan ur. 9.06.1957r. W 1982 ukończył WAT, Wydział Cybernetyki. Od 2000 - adiunkt WIMiR AGH. Wykształcenie - mechanik, cybernetyk, elektronik, specjalność automatyzacja systemów kierowania i zarządzania. Zainteresowania naukowe: diagnostyka biomedyczna, cyfrowe przetwarzanie sygnałów, bionika, cybernetyka, psychoakustyka, biometria. Inne zainteresowania: modelarstwo, turystyka, sport.

ANALIZA SYMPTOMÓW W DIAGNOSTYCE ELEKTRYCZNEGO WYPOSAŻENIA SAMOCHODÓW

Stanisław GAD, Aleksander JASTRIEBOW, Grzegorz SŁOŃ, Dariusz KAŁWA

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Al. Tysiąclecia P. P. 7, 25-314 Kielce, fax: (0-41) 34-24-218, e-mail: enegs@tu.kielce.pl

Streszczenie

Przedstawiono ogólny schemat obiektu diagnozowania w postaci wyposażenia elektrycznego współczesnego samochodu. Na podstawie wiedzy ekspertowej opisano wstępne zbiory uszkodzeń i sygnałów symptomowych. Wyznaczono macierze diagnostyczne. Przeanalizowano rozróżnialność uszkodzeń i informacyjność sygnałów symptomowych. Opisano układ pomiarowy.

Słowa kluczowe: diagnostyka, sygnały symptomowe, układ pomiarowy

ANALYSIS OF MEASURED SYMPTOM SIGNALS IN COMPUTER DIAGNOSTIC OF CARS' ELECTRICAL EQUIPMENT

Summary

General diagram of diagnosed object, in the form of modern car's electric and electronic equipment has been presented. On the basis of expert knowledge, initial sets of defects and symptom signals have been described. Diagnostic matrixes have been specified. Defects discrimination and symptom signals informativity have been analysed. Measuring system has been described.

Keywords: diagnostic, symptom signals, measuring system

1. WSTĘP

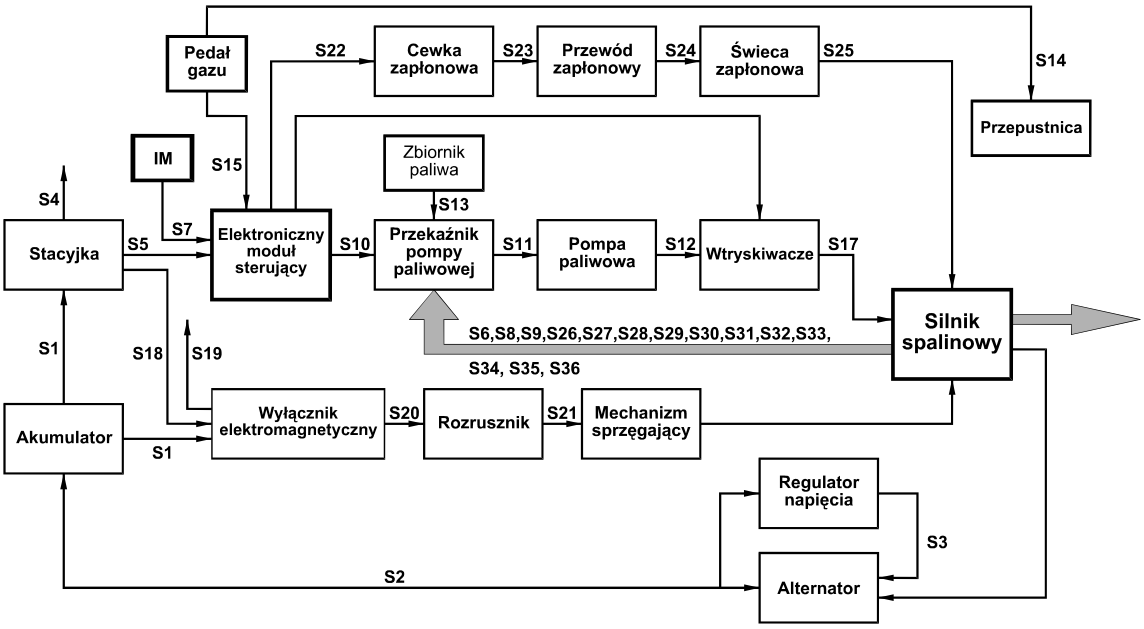
W komputerowej diagnostyce układów technicznych ważną rolę pełnią pomiary sygnałów symptomowych. Symptomy powinny mieć charakter informacyjny dla celów diagnozowania i rozróżniania istniejących w systemie uszkodzeń [1,2].

W pracy opisano wstępne zbiory podstawowych symptomów i odpowiadających im uszkodzeń, które mogą zaistnieć w wyposażeniu elektrycznym współczesnego pojazdu samochodowego. Opisano układ pomiarowy, zbudowany dla pomiarów sygnałów symptomowych, składający się z: samochodu marki Daewoo Nubira, skanera SCAN 100, oscyloskopu cyfrowego marki LG typ OS – 310 M oraz uniwersalnego miernika cyfrowego Metex – 3800. Charakterystyczną cechą przytoczonych badań pomiarowych jest prowadzenie analizy diagnostycznej nie tylko w stanie biegu luzem, ale także w trakcie rozruchu silnika samochodowego. Opracowano macierze diagnostyczne i informacyjne dla badanego układu [3]. Przy użyciu opracowanego komputerowego algorytmu przeanalizowano rozróżnialność wstępnego zbioru możliwych uszkodzeń na podstawie zbudowanej macierzy (diagnostycznej albo informacyjnej) [4]. Przedstawiono wybrane wyniki analizy rozróżnialności i informacyjności (analiza taka jest zwykle wykorzystywana przy wyborze odpowiednich inteligentnych komputerowych metod diagnozowania).

2. OBIEKT DIAGNOZOWANIA

Na rys. 1 przedstawiono ogólny schemat elektryczno – elektronicznego wyposażenia współczesnego samochodu.

W tabelach 1-3 zamieszczono wykaz typowych uszkodzeń i odpowiadających im symptomów oraz fizyczne wartości pomiarowe sygnałów symptomowych (dla rys. 1).



Rys. 1. Ogólny schemat diagnozowania elektrycznego wyposażenia samochodu

Tabela 1.
Możliwe uszkodzenia

MOŻLIWE USZKODZENIA
SILNIK
F_0 – poprawna praca
F_1 – uszkodzenie silnika spalinowego (silnik uszkodzony awaryjnie - zablokowany);
F_{30} – uszkodzenie silnika spalinowego (silnik zużyty);
F_2 – uszkodzenie immobilizera
F_3 – uszkodzenie czujnika położenia i prędkości wału korbowego CPS
UKŁAD ZASILANIA
F_4 – uszkodzenie alternatora;
F_5 – uszkodzenie regulatora napięcia;
F_6 – uszkodzenie akumulatora;
UKŁAD ZAPŁONOWY
F_7 – uszkodzenie stacyjki;
F_8 – uszkodzenie elektronicznego sterownika układu zapłonowego;
F_9 – uszkodzenie cewki zapłonowej;
F_{10} – uszkodzenie przewodu zapłonowego;
F_{11} – uszkodzenie świecy zapłonowej;
UKŁAD ROZRUCHU
F_{12} – uszkodzenie stacyjki;
F_{13} – uszkodzenie przewodu stacyjka- rozrusznik;
F_{14} – uszkodzenie wyłącznika elektromagnetycznego;
F_{15} – uszkodzenie rozrusznika;
F_{16} – uszkodzenie mechanizmu sprzęgającego rozrusznika;
UKŁAD ZASILANIA W PALIWO
F_{17} – uszkodzenie przekaźnika pompy paliwa;
F_{18} – uszkodzenie pompy paliwa;
F_{19} – uszkodzenie sterownika urządzenia wtryskowego;
F_{20} – uszkodzenie wtryskiwacza;
F_{31} – nieszczelności w kolektorze ssącym;
F_{32} – brak paliwa w zbiorniku;
UKŁAD CHŁODZENIA
F_{21} – uszkodzenie termostatu;
F_{22} – nieszczelność układu chłodzenia;
F_{23} – uszkodzenie wentylatora układu chłodzenia;
UKŁAD SMAROWANIA
F_{24} – uszkodzenie pompy olejowej;
F_{25} – zatkana magistrala olejowa;
F_{33} – brak ciśnienia w układzie smarowania;
UKŁAD WYDECHOWY
F_{26} – uszkodzenie zaworu recyrkulacji spalin;
F_{27} – uszkodzenie sondy λ1;
F_{28} – uszkodzenie sondy λ2;
F_{29} – uszkodzenie katalizatora.

Tabela 2.
Sygnały symptomowe

SYGNAŁY SYMPTOMOWE
S_1 – Napięcie na zaciskach akumulatora;
S_2 – Napięcie regulowane –wyjście z alternatora;
S_3 – Prąd wzbudzenia alternatora;
S_4 – Sygnał ze stacyjki pojazdu 1;
S_5 – Sygnał zapłonowy ze stacyjki pojazdu;
S_6 – Czujnik położenia i prędkości wału korbowego CPS;
S_7 – Sygnał immobilizera;
S_8 – Sygnał z czujnika spalania detonacyjnego;
S_9 – Sygnał z czujnika temperatury powietrza MAT;
S_{10} – Sygnał zasilania przekaźnika pompy paliwowej;
S_{11} – Sygnał zasilania pompy paliwa;
S_{12} – Strumień zasilania paliwem (ciśnienie paliwa);
S_{13} – Sygnał z czujnika poziomu paliwa;
S_{14} – Sygnał z czujnika położenia przepustnicy TPS;
S_{15} – Sygnał z czujnika położenia pedału gazu;

S_{16} – Sygnał wtryskiwacza;
S_{17} – Wtryskiwacz;
S_{18} – Sygnał ze stacyjki pojazdu załączający wyłącznik elektromagnetyczny rozrusznika
S_{19} – Sygnał prądowy zasilania uzwojeń rozrusznika;
S_{20} – Sygnał zwarcia rozrusznika;
S_{21} – Moment obrotowy wirnika rozrusznika;
S_{22} – Sygnał sterujący impulsem zapłonu elektronicznego;
S_{23} – Sygnał wn z cewki;
S_{24} – Sygnał wn na świecy;
S_{25} – Iskra zapłonowa;
S_{26} – Sygnał z czujnika temperatury silnika CTS;
S_{27} – Sygnał włączenia wentylatora chłodnicy I;
S_{28} – Sygnał włączenia wentylatora chłodnicy II;
S_{29} – Sygnał z czujnika ciśnienia w układzie chłodzenia;
S_{30} – Sygnał z czujnika temperatury oleju;
S_{31} – Sygnał z Sondy λ 1;
S_{32} – Sygnał z Sondy λ 2;
S_{33} – Układ recyrkulacji spalin;
S_{34} – Sygnał z czujnika ciśnienia w kolektorze ssącym MAP;
S_{35} – Sygnał z czujnika ciśnienia oleju;
S_{36} – Zawór zmiennej geometrii ukł. dolotowego VGIS.

Tabela 3.
Sygnały symptomowe i odpowiednie wartości pomiarowe

Wartość binarna	1	0
S_1	U < 13,5 V or U > 14,4 V	13,5 < U < 14,4 V
S_2	U < 13,8 V or U > 14,4 V	13,8 < U < 14,4 V
S_3	I < 0,5 A or I > 3 A	0,5 < I < 3 A
S_4	U < 10,5 V or U > 14,4 V	10,5 < U < 14,4 V
S_5	U < 10,5 V or U > 14,4 V	10,5 < U < 14,4 V
S_6	U <0,95 V or U > 1,2 V	0,95 < U < 1,2 V
S_7	U < 1,2 V	U > 1,2 V
S_8	F < 115 Hz or F > 150 Hz	115 < F < 150 Hz
S_9	R < 40 Ω or R > 80 Ω	40 < R < 80 Ω
S_{10}	U < 10,5 V or U > 14,4 V	10,5 < U < 14,4 V
S_{11}	U < 8,0 V	U > 8,0 V
S_{12}	P < 283 kPa	283 < P < 324 kPa
S_{13}	U < 8,0 V	U > 8,0 V
S_{14}	U < 0,4 V or U > 5,0 V	0,4 < U < 5,0 V
S_{15}	zarezerwowane do przyszłego wykorzystania	
S_{16}	R < 11,6 Ω or R > 13,5 Ω	11,6 < R < 12,4 Ω
S_{17}	U < 8,0 V	U > 8,0 V
S_{18}	U < 8,0 V	U > 8,0 V
S_{19}	U < 8,0 V	U > 11,5 V
S_{20}	U < 8,0 V	U > 11,5 V
S_{21}	M < 20 Nm	M > 20 Nm
S_{22}	U < 0,2 V	0,2 < U < 2,0 V
S_{23}	U < 15,0 kV	U > 15,0 kV
S_{24}	U < 15,0 kV	U > 15,0 kV
S_{25}	zarezerwowane do przyszłego wykorzystania	
S_{26}	U < 4,5 V or U > 5,5 V	4,5 < U < 5,5 V
S_{27}	T < 90°C or T > 94°C	90 < T < 93°C
S_{28}	T < 94°C	94 < T < 97°C
S_{29}	P < 900 hPa or P > 1000 hPa	900 < P < 1100 hPa
S_{30}	zarezerwowane do przyszłego wykorzystania	
S_{31}	U < 300 mV or U > 800 mV	300 < U < 800 mV
S_{32}	U < 300 mV or U > 800 mV	300 < U < 800 mV
S_{33}		R ≈ 0 Ω
S_{34}	U < 1,0 V or U > 5,0 V	1,0 < U < 2,0 V
S_{35}	P < 2000 hPa or P > 3500 hPa	2000 < P < 3500 hPa
S_{36}	R < 11,6 Ω or R > 12,4 Ω	11,6 < R < 12,4 Ω

3. UKŁAD POMIAROWY SYGNAŁÓW SYMPTOMOWYCH OBIEKTU DIAGNOZOWANIA

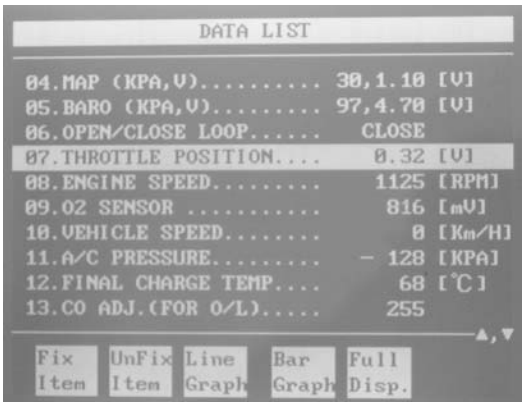
W pierwszej fazie badań przeprowadzono pomiary na laboratoryjnych stanowiskach badawczych Laboratorium Elektrotechniki Pojazdowej Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej. Otrzymane wyniki zweryfikowano z wykorzystaniem dwóch samochodów marki Daewoo Nubira z silnikami o pojemnościach: 1 597 cm^3 i 1 998 cm^3, korzystając ze skanera marki GM Daewoo typ SCAN 100 o numerze seryjnym 6909. Jako urządzenia pomocnicze wykorzystano: oscyloskop cyfrowy Marki LG typ OS – 310 M, uniwersalny miernik cyfrowy Metex – 3800 i laboratoryjny woltomierz analogowy.

Analizując otrzymane rezultaty, zarówno podczas prób stanowiskowych jak i na obiektach rzeczywistych uzyskano dużą ich zbieżność (identyczność), co świadczy o poprawności przyjętej metody. Na uwagę zasługuje fakt, że uzyskane wyniki badań (dla symulowanych i rzeczywistych uszkodzeń elementów wyposażenia elektrycznego i elektronicznego pojazdów), jak również parametry fizyczne sprawnych urządzeń znalazły potwierdzenie w danych ekspertowych.

Nie bez znaczenia pozostaje fakt, że wyniki badań prowadzonych na samochodach tej samej marki i typu w niektórych przypadkach znacznie różniły się od siebie. Parametrem takim jest między innymi napięcie czujnika położenia przepustnicy. Jako przykład można podać różniące się od ekspertowych napięcie ładowania akumulatora. W rzeczywistym obiekcie przewyższało ono o niemal 1 V dane określone w Polskich Normach. W takim przypadku znajduje swoje uzasadnienie zastosowanie do diagnostyki komputerowych metod opartych na sieciach neuronowo rozmytych.

Na rys. 2-5 przedstawiono skaner pomiarowy SCAN 100, obraz ze skanera, oscyloskop OS – 310 M oraz stanowisko badawcze.

Rys. 2. Skaner SCAN 100



Rys. 3. Obraz ze skanera.

Rys. 4. Oscyloskop OS – 310 M

Rys. 5. Stanowisko pomiarowe

W tabeli 4 zamieszczono przykład pomiaru symptomowego sygnału S_1 (napięcie na zaciskach akumulatora) w dwóch stanach pracy silnika: podczas rozruchu i na biegu luzem dla dwóch położeń spoczynkowych: przy załączonym i wyłączonym zapłonie. Przykład dotyczy stanu pracy normalnej (z uwzględnieniem konkretnego typu pojazdu).

Tab. 4. S_1 – napięcie na zaciskach akumulatora [V]

Nr pomiaru	Położenie spoczynkowe zapłon wyłączony	Położenie spoczynkowe zapłon włączony	Podczas rozruchu	Na biegu luzem 900 min^{-1}
1	13,30	12,81	10,78	14,49
2	13,29	12,77	10,92	14,51
3	13,31	12,74	10,88	14,46
4	13,33	12,69	10,51	14,47
5	13,28	12,68	10,63	14,46
6	13,31	12,76	10,56	14,45
7	13,32	12,74	10,54	14,50
8	13,31	12,66	10,48	14,49
9	13,31	12,88	10,54	14,48
10	13,31	12,71	10,56	14,47
11	13,29	12,83	10,55	14,49
12	13,29	12,66	10,53	14,49
13	13,31	12,79	10,80	14,49
14	13,28	12,62	10,46	14,51
15	13,30	12,61	10,58	14,49
16	13,31	12,70	10,57	14,52
17	13,30	12,78	10,45	14,51
18	13,29	12,92	10,56	14,48
19	13,28	13,01	10,71	14,49
20	13,30	12,76	10,54	14,50
21	13,29	12,75	10,56	14,48
22	13,28	12,78	10,55	14,47
23	13,29	12,69	10,57	14,47
24	13,28	12,76	10,56	14,48
25	13,30	12,76	10,55	14,49
26	13,28	12,68	10,54	14,48
27	13,31	12,63	10,48	14,51
28	13,30	12,80	10,51	14,52
29	13,28	12,79	10,45	14,51
30	13,31	12,82	10,49	14,49

4. ANALIZA ROZRÓŻNIALNOŚCI I INFORMACYJNOŚCI POMIAROWYCH SYGNAŁÓW SYMPTOMOWYCH

Poniżej przedstawiono wybrane badania według zbudowanego komputerowego algorytmu i programu analizy rozróżnialności sygnałów symptomowych odpowiadających macierzom binarnym (tabele 5-7) opracowanym na bazie wiedzy ekspertowej [3-4].

Tabela. 5.
Wstępna macierz binarna dla schematu z rys.1.

F/S	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{16}	S_{17}	S_{18}	S_{19}	S_{20}	S_{21}	S_{22}	S_{23}	S_{24}	S_{26}	S_{27}	S_{31}	S_{32}	S_{33}
F_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
F_{30}	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
F_2	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
F_3	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
F_4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F_7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F_8	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
F_9	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1
F_{10}	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
F_{12}	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
F_{13}	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
F_{14}	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
F_{15}	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
F_{16}	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
F_{17}	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
F_{18}	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
F_{19}	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
F_{20}	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
F_{32}	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
F_{21}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_{22}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_{23}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
F_{33}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
F_{27}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
F_{28}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
F_{29}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Po wstępnej analizie ogólna macierz binarna (tab. 5) została zredukowana do postaci, odpowiadających dwóm stanom pracy silnika – rozruchu i podczas biegu luzem, które przedstawiono w tabelach 6 i 7.

Tabela 6.
Macierz binarna – stan pracy silnika podczas rozruchu

F/S	S_1	S_4	S_5	S_6	S_7	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{16}	S_{17}	S_{18}	S_{19}	S_{20}	S_{21}	S_{22}	S_{23}	S_{24}	S_{35}
F_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0
F_{30}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
F_2	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0
F_7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0
F_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
F_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
F_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
F_{12}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F_{13}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F_{14}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
F_{15}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
F_{16}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
F_{17}	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_{18}	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_{19}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
F_{20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
F_{32}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 7.
Macierz binarna – stan pracy silnika podczas pracy na biegu luzem

F/S	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_8	S_9	S_{14}	S_{16}	S_{17}	S_{27}	S_{31}	S_{32}	S_{35}
F_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_{21}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
F_{23}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
F_{33}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
F_{27}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
F_{28}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
F_{29}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

W tabelach 8-10 przedstawiono wyniki wstępnego badania rozróżnialności uszkodzeń (na podstawie macierzy binarnych z tabel 5-7).

Tabela 8.
Wynik wstępnego badania rozróżnialności.

Uszkodzenie	Sygnatura
F_0	0
F_1	50 344 423
F_{30}	100 663 303
F_2	103 219 207
F_3	104 870 119
F_4	100 663 296
F_5	67 108 864
F_6	268 435 455
F_7	134 213 887
F_8	100 663 535
F_9	100 663 407
F_{10}	100 663 343
F_{12}	104 873 967
F_{13}	104 871 919
F_{14}	104 871 919

Uszkodzenie	Sygnatura
F_{15}	104 870 895
F_{16}	104 870 383
F_{17}	100 859 919
F_{18}	100 728 847
F_{19}	100 675 599
F_{20}	100 667 407
F_{32}	100 761 607
F_{21}	1 048 576
F_{22}	1 048 592
F_{23}	1 048 600
F_{33}	1
F_{27}	4
F_{28}	2
F_{29}	2

Tabela 9.
Wynik badania rozróżnialności podczas rozruchu silnika.

Uszkodzenie	Sygnatura
F_0	0
F_1	66334
F_{30}	1
F_2	47104
F_3	66318
F_7	524046
F_8	14
F_9	6
F_{10}	2
F_{12}	66559

Uszkodzenie	Sygnatura
F_{13}	66559
F_{14}	895
F_{15}	66367
F_{16}	66335
F_{17}	14336
F_{18}	6144
F_{19}	768
F_{20}	256
F_{32}	3328

Tabela 10.
Wynik badania rozróżnialności podczas pracy silnika na biegu luzem.

Uszkodzenie	Sygnatura	Uszkodzenie	Sygnatura
F_0	0	F_{33}	1
F_5	12288	F_{27}	4
F_6	16384	F_{28}	2
F_{21}	264	F_{29}	2
F_{23}	270		

W tabelach 8-10 sygnatury są liczone wg następującej zależności [3-4]:

$$bd_i = \sum_{j=1}^{m} z_{i,j} \cdot 2^{m-j} \quad , \quad (i = 1,2, ..., l). \qquad (1)$$

gdzie: m – liczba sygnałów symptomowych, l – liczba uszkodzeń (dla tab. 8 $m = 28$, $l = 29$)

Przy tym, każdy element $z_{i,j}$ macierzy binarnej jest opisany następująco:

$$z_{i,j} = \begin{cases} 0 & dla \quad S_{j\min} \le S_j \le S_{j\max} \\ 1 & dla \quad (S_j < S_{\min}) \vee (S_j > S_{j\max}) \end{cases} \qquad (2)$$

(S_{jmin}, S_{jmax}) – graniczne wartości j-ego sygnału symptomowego (0 – normalna praca, 1 – uszkodzenie); (i = 1,2, ..., l; j = 1, 2, ..., m) (tab. 3)

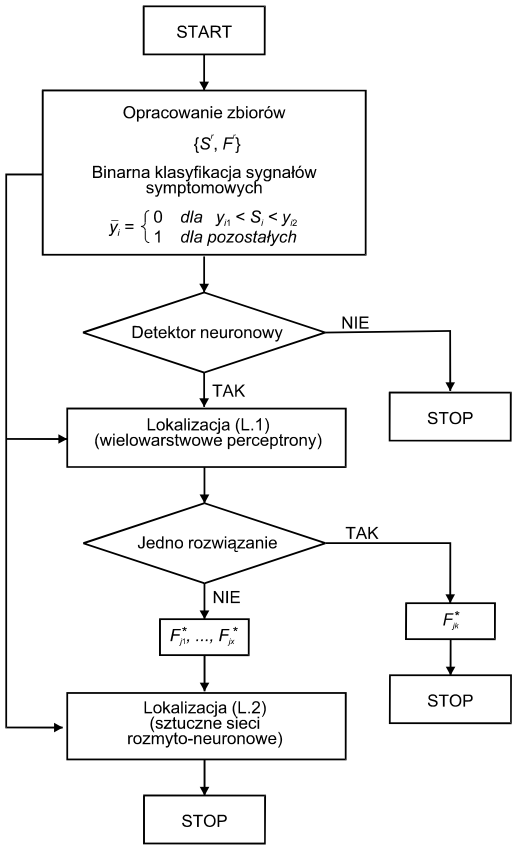
Przy tym dwa uszkodzenia są uważane za rozróżnialne, przy danej informacji, jeżeli posiadają różne sygnatury.

Wstępne badanie rozróżnialności uszkodzeń wykazuje:
– nierozróżnialność dwóch grup uszkodzeń: F_{13} i F_{14} oraz F_{28} i F_{29} (wg tab. 8).
– nierozróżnialność dwóch uszkodzeń: F_{12} i F_{13} (wg tab. 9).
– nierozróżnialność dwóch uszkodzeń: F_{28} i F_{29} (wg tab. 10).

Pozostałe uszkodzenia będą rozróżnialne. Dla analizy nierozróżnialnych uszkodzeń potrzebna jest dodatkowa wiedza ekspertowa lub zastosowanie odpowiednich metod diagnozowania z rozmytymi granicami parametrów symptomowych.

5. SCHEMAT KOMPUTEROWEGO INTELIGENTNEGO ALGORYTMU DIAGNOZOWANIA

Poniżej przedstawiono schemat komputerowego hierarchicznego algorytmu diagnozowania opartego na modelach sztucznej inteligencji (rys. 6), zawierający detektor neuronowy oraz neuronowy (L.1) i neuronowo-rozmyty (L.2) lokalizatory uszkodzeń. Przy tym, do modelowania powyższych sztucznych sieci wybrano wielowarstwowe perceptrony. Jeżeli na L.1 zostanie zlokalizowane tylko jedno uszkodzenie (szybka diagnostyka), to następuje koniec pracy systemu diagnozowania. Jeżeli nie, to system przechodzi do etapu L.2 – diagnozowania za pomocą rozmytych sieci neuronowych (dokładniejsza lokalizacja). Trzeba zauważyć, że przy użyciu sieci neuronowo rozmytych, poprzez wybór odpowiednich kształtów funkcji przynależności oraz wymiarów zbiorów rozmytych można poprowadzić dokładniejsze analizy diagnozowania nierozróżnialnych początkowo uszkodzeń. Na tym polega możliwość dokładniejszej analizy lokalizacji uszkodzeń na etapie L.2



Rys. 6. Schemat hierarchicznego komputerowego systemu diagnozowania

6. WNIOSKI

Opisano obiekt diagnozowania, składający się z wyposażenia elektryczno-elektronicznego współczesnego samochodu osobowego. Na podstawie wiedzy ekspertowej opracowano wstępne zbiory sygnałów symptomowych i odpowiednich uszkodzeń. Przedstawiono fizyczne obszary zmian sygnałów diagnostycznych. Zaprezentowano opracowany układ pomiarowy sygnałów symptomowych. Opracowano diagnostyczną macierz binarną oraz, na podstawie zbudowanego algorytmu, przeanalizowano rozróżnialność uszkodzeń i zamieszczono wybrane wyniki tej

analizy. Celem badań było przeanalizowanie możliwych sygnałów symptomowych dla potrzeb ich zastosowania w komputerowej diagnostyce uszkodzeń opartej na metodach inteligentnych.

LITERATURA

[1] Wang K. Intelligent condition monitoring and diagnosis systems. Amsterdam, IOS Press 2003.
[2] Kościelny J., M. Bezwarunkowa i warunkowa rozróżnialność uszkodzeń przy wielowartościowej ocenie residuów. Materiały VI Krajowej Konferencji Naukowo - Technicznej, Diagnostyka Procesów Przemysłowych DPP'2003, Władysławo 2003, str. 55-60.
[3] Jastriebow A., Gad S., Słoń G., Zawadzki A., Pawlak M. Sygnały diagnostyczne w diagnozowaniu wyposażenia elektrycznego samochodów, Diagnostyka Vol. 32, Warszawa 2004 139-142.
[4] Jastriebow A., Gad S., Słoń G., Zawadzki A., Łaskawski M. Analiza rozróżnialności uszkodzeń przy diagnozowaniu samochodowych urządzeń elektrycznych, Diagnostyka Vol. 32, Warszawa 2004 135-138.

Prof. dr hab. inż. Aleksander Jastriebow jest profesorem nadzwyczajnym w Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach. Jest specjalistą w dziedzinie matematyki i informatyki stosowanej. Opublikował ponad 160 prac naukowych z zakresu automatyki, identyfikacji, diagnostyki oraz sztucznej inteligencji.

Dr hab. inż. Stanisław Gad jest pracownikiem naukowym Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Jest członkiem Sekcji Podstaw Eksploatacji KBM Polskiej Akademii Nauk. Zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia diagnostyki urządzeń pojazdowych oraz elektrotechniki i elektroniki pojazdów samochodowych. Ma w swoim dorobku 90 publikacji naukowych.

Dr inż. Grzegorz Słoń jest adiunktem w Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach. Zajmuje się elektrotechniką teoretyczną, informatyką stosowaną, elektrotechniką i elektroniką pojazdową oraz wykorzystaniem sztucznej inteligencji w diagnostyce. Jest autorem i współautorem ponad 30 prac naukowych.

Mgr inż. Dariusz Kałwa jest absolwentem Politechniki Świętokrzyskiej oraz Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Kielcach. Jest rzeczoznawcą samochodowym. Zajmuje się diagnostyką pojazdową. Jest współautorem 2 prac naukowych.

WYKORZYSTANIE ZWIĄZKÓW USZKODZENIE – SYMPTOM – ZADANIE FUNKCJONALE W PROJEKTOWANIU ELEMENTÓW UKŁADU NAPĘDOWEGO

Robert GUMIŃSKI, Stanisław RADKOWSKI

Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska
ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa, (022) 660 86 22, rgumin@simr.pw.edu.pl, ras@simr.pw.edu.pl

Streszczenie

Użycie w trakcie projektowania informacji o uszkodzeniach ma decydujący wpływ na zapobieganie uszkodzeniom. Aby podczas projektowania nowych wyrobów ocenić ich funkcjonowanie potrzebna jest wcześniej zdobyte wiedza, doświadczenie i możliwości diagnostyczne. W artykule wykorzystano podobieństwo istniejące między różnymi rodzajami uszkodzeń pod względem wykrywalności i funkcjonalności elementu. Metoda ta została wykorzystana do elementów przekładni zębatej by przedstawić uszkodzenia i metody diagnostyczne które można wykorzystać przy spełnianiu wymogów bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: Zapobieganie uszkodzeniom w projektowaniu, diagnostyka

USING THE FAILURE SYMPTOM FUNCTION RELATIONSHIPS IN DESIGN OF THE UNIT POWER ELEMENTS

Summary

Using failure mode information during design is a crucial task for failure prevention. When new products are being designed the prior knowledge and experience as well possibility of diagnostic information detection might help designers to estimate the products lifetime. This paper makes use of similarities that exist between different failure modes based on the detectability and functionality of component. The method is applied to gearbox components and is proposed as a means to account power unit failure modes and diagnostic, addressing stringent safety and performance requirements for high risk applications.

Keywords: Failure prevention in design, diagnosis

1. WPROWADZENIE

Identyfikacja zagrożeń związanych z wystąpieniem możliwych uszkodzeń jest decydującym elementem analizy ryzyka na etapie projektowania oraz w procedurach podejmowania decyzji eksploatacyjnych. Niezawodność, zakres obsługi i naprawy, a przede wszystkim satysfakcjonująca realizacja zadań funkcjonalnych wytworu w znacznym stopniu zależy od zrozumienia, zdolności detekcji i wynikających stąd sposobów eliminacji mechanicznych uszkodzeń jak i doboru sposobów prewencji. Mechaniczne uszkodzenie obejmuje zmiany rozmiarów i kształtu, zmiany właściwości materiałów, węzłów, struktury elementów, podzespołów i zespołów maszyn oraz maszyn, które objawiają się w postaci niezdolności do właściwej realizacji wyznaczonych funkcji [1]. W nowoczesnym ujęciu projektowania przyjmuje się [13], że dla osiągnięcia założonych celów niezbędnym jest rozpoznanie i ocenienie krytyczności wszystkich potencjalnych rodzajów uszkodzeń już na koncepcyjnym etapie projektowania. Sposób zaproponowany w [13] jest rozszerzeniem metody podobieństwa funkcjonalności różnych wytworów [11] na analizę podobieństwa rodzajów uszkodzeń, które mogą wystąpić w ciągu ich funkcjonowania, w określonej rodzinie składowych i wytworów.

Odpowiednio wektor rodzajów uszkodzeń jest definiowany na podstawie standardowych rodzajów uszkodzeń, opracowanych przez Collinsa i zaprezentowanych w pracy [1]. Sposób określania kategorii i podkategorii uszkodzeń według Collinsa przytoczono w tabeli 1. Zgodnie z przedstawioną metodologią, należy przede wszystkim określić wektor rodzajów uszkodzeń $F(n)$, zwykle występujących w rozważanym obszarze aplikacji.

W podobny sposób określa się wektor wszystkich elementarnych zadań funkcjonalnych *E(r)*, które powinny być realizowane przez składowe projektowanego wytworu.

Tabela 1. Podstawowe kategorie uszkodzeń

Główne kategorie	**Podkategorie**	**Główne kategorie**	**Podkategorie**
Elastyczne deformacje	Wywołane siłą	Uderzenie	Pęknięcie
	Wywołane temperaturą		Deformacja
Ugięcie			Zużycie
			Fretting
Plastyczne zerwanie			Zmęczenie
Kruche pęknięcie		Fretting	Zmęczenie
Zmęczenie	Wysoko cyklowe		Zużycie
	Nisko cyklowe		Korozja
	Cieplne	Pełzanie	
	Powierzchniowe	Relaksacja termiczna	
	Uderzeniowe	Naprężeniowe pęknięcie, zerwanie	
	Korozja	Wstrząs termiczny	
	Fretting	Zacieranie i zakleszczenie	
Korozja	Aktywność czynnika chemicznego	Łuszczenie	
	Galwaniczna	Szkodliwe promieniowanie	
	Pitting	Wyboczenie	
	Międzyziarnowa	Wyboczenie pełzające	
	Wypłukiwanie	Korozja naprężeniowa	
	Erozja	Zużycie korozyjne	
	Kawitacja	Zmęczenie korozyjne	
	Szkodliwy wpływ wodoru	Pełzanie i zmęczenie	
	Biologiczna		
	Naprężenie		
Zużycie	Adhezyjne		
	Ścierne		
	Korozyjne		
	Zmęczenie powierzchniowe		
	Deformacja		
	Uderzenie		
	Fretting		

Następnie uwzględniając zbiór elementów wytworu tworzone są macierze *CF(m×n)* oraz *EC(r×m)*, które odpowiednio ujmują związki pomiędzy zbiorem składowych i zbiorem uszkodzeń (macierz uszkodzeń składowych) oraz zbiorem składowych i zbiorem elementarnych zadań funkcjonalnych (funkcjonalna macierz składowych)

Tabela 2. Macierz uszkodzeń składowych(CF)

	F1: zużycie	F2: zmęczenie	F3: korozja	F4: fretting	F5: uderzenie
C1: koła	1	1	0	1	1
C2: łożyskowanie	1	0	1	1	0
C3: wałek	0	1	0	0	1

Tabela 3. Funkcjonalna macierz składowych (EC)

	koła	łożyskowanie	wałek
E1: zmiana energii mechanicznej	1	0	0
E2: kierowanie energii mechanicznej	1	0	1
E3: przenoszenie energii mechanicznej	1	0	1
E4: pozycjonowanie energii mechanicznej	0	1	0
E5: stabilizowanie energii mechanicznej	0	1	0

Macierz *EC* jest konstruowana jako macierz binarna, gdzie wartość *1* oznacza, że określony element realizuje pewne zadanie funkcjonalne, natomiast wartość *0* wskazuje na brak takiego związku. Macierze *CF* i *EC* są wykorzystywane do analizy związków pomiędzy poszczególnymi zadaniami funkcjonalnymi a rodzajami uszkodzeń dla analizowanego zbioru składowych wytworu w zadanym zakresie aplikacyjnym.

$$EF(r\times n)=EC(r\times m)\times CF(m\times n) \quad (1)$$

Tabela 4. Funkcjonalna macierz uszkodzeń (EF)

	F1	F2	F3	F4	F5
E1	1	1	0	1	1
E2	1	2	0	1	2
E3	1	2	0	1	2
E4	1	0	1	1	0
E5	1	0	1	1	0

Każdy element funkcjonalnej macierzy uszkodzeń ef_{ij}, wskazuje czy określony element realizujący zadanie *i* może być zniszczony przez rodzaj uszkodzenia *j*.

Tak otrzymana macierz *EF(r×n)* jest podstawą do wyznaczenia potencjalnych rodzajów uszkodzeń dla analizowanej składowej wytworu, natomiast bezpośrednio dostarcza informacje odnośnie skorelowania określonych funkcji z analizowanymi rodzajami uszkodzeń.

2. WYKORZYSTANIE USZKODZENIOWO ZORIENTOWANYCH PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Zauważmy, że w przedstawionej metodzie milcząco zakłada się, że przyjęta zasada podobieństwa odnośnie rodzajów uszkodzeń, może być traktowana jako tożsama z zadaniem detekcji, identyfikacji i lokalizacji uszkodzeń. Przyjęcie takiego założenia w praktyce oznacza możliwość pominięcia problematyki diagnozowania rozwoju uszkodzeń.

Niestety, jak wskazuje praktyka przemysłowa, próby pominięcia procedur diagnozowania procesów degradacyjnych i zmęczeniowych w wielu przypadkach doprowadziły do awarii z katastroficznymi konsekwencjami. Równocześnie diagnozowanie wczesnych faz rozwoju tego typu uszkodzeń, mino rozwoju metod diagnozowania i zastosowania wysublimowanych środków diagnostycznych w dalszym ciągu nie jest zadaniem trywialnym.

Jednym z podstawowych celów diagnostyki jest odpowiednio wczesne podanie informacji o osiągnięciu przez uszkodzenie stanu zagrażającego realizacji zadań funkcjonalnych bądź możliwości wystąpienia uszkodzenia katastroficznego.

We wstępnym okresie rozwoju diagnostyki wibroakustycznej podstawą do sformułowania diagnozy był, przeprowadzony na obudowie łożyska, pomiar wartości skutecznej drgań, obliczonej dla całego pasma częstotliwości. Jako następny etap rozwoju diagnostyki przekładni zębatych Smith [12] wyróżnia okres, w którym zastosowano pasmową analizę częstotliwości, stanowiącą podstawę do estymacji kurtozy i będącej podstawą do prowadzenia analiz porównawczych z rozkładem Gaussa, przyjmowanym jako rozkład referencyjny.

Obecnie w literaturze można spotkać przykłady zastosowań w diagnostyce przekładni różnych narzędzi i metod analizy sygnału poczynając od widma mocy, synchronicznych uśrednień w dziedzinie czasu, analizy falkowej, sieci neuronowych, analizy widma wyższego rzędu, demodulacji i innych, jednak często opracowane na ich podstawie sygnały ostrzegawcze przychodzą za późno lub wcale, bądź liczba fałszywych alarmów jest tak duża, że operatorzy układów napędowych tracą resztki zaufania do zainstalowanych systemów diagnostycznych.

Jednym z głównych powodów wspomnianych trudności i wielu rozczarowań jest przekonanie, że warunkiem osiągnięcia wiarygodnej diagnozy stanu technicznego przekładni zębatej jest dostęp do nowoczesnych metod analizy sygnału. W rzeczywistości jest to warunek konieczny, ale nie wystarczający. Okazuje się, że głównym problemem jest taki dobór metod i środków diagnostycznych, aby możliwa była detekcja informacji uszkodzeniowo zorientowanej, zarówno jeśli chodzi o typ uszkodzenia jak i fazy jego rozwoju.

Podstawą takiego działania jest zrozumienie i określenie wpływu poszczególnych uszkodzeń na zachowanie się przekładni i związany z tym proces generacji sygnału wibroakustycznego. Takie ujęcie pozwoli w następnym kroku wykorzystać tak uzyskaną informację diagnostyczną do modyfikacji modeli niezawodnościowych. Dla przybliżenia tego sposobu rozwiązania zadania diagnostycznego w pierwszej kolejności przeanalizujmy rodzaje głównych uszkodzeń występujących w przekładni zębatej.

Jako przykład takiego sposobu podejścia rozpatrzymy problem diagnozowania uszkodzeń zębów pary kół zębatych traktując, że diagnozowanie łożysk tocznych jest z tego punktu widzenia łatwiejsze [9]. Przede wszystkim zauważmy, że podstawowe składowe widma sygnału wibroakustycznego w pasmach niskich i średnich częstotliwości są związane z oddziaływaniem wymuszeń oraz są funkcją głównych parametrów geometrycznych przekładni oraz jakości wytwarzania elementów przekładni oraz jakości jej montażu. Natomiast powstawanie i rozwój eksploatacyjnych uszkodzeń oraz ewolucja degradacyjnych procesów w przekładni będzie mieć wpływ na zmianę modulacyjnych charakterystyk zarówno w pasmach związanych z drganiami własnymi jak i wymuszonymi przekładni. Przyjmując za podstawę wyniki analizy związku pomiędzy uszkodzeniami powierzchni kontaktowych a zaburzeniami warunków współpracy zębów wzdłuż odcinka przyporu, rozważmy wynikające stąd możliwe zaburzenia procesu generacji sygnału wibroakustycznego, modele zmian struktury widma oraz związany z tym dobór koniecznego sposobu obróbki sygnału.

Według danych zamieszczonych w literaturze [2], do najważniejszych uszkodzeń eksploatacyjnych zębów należą: zmęczeniowe wykruszenie warstwy wierzchniej współpracujących profili zębów (pitting), zmęczeniowe i doraźne złamania zębów, zatarcie współpracujących powierzchni, zużycia cierne. Odnośnie krytyczności zagrożeń związanych z różnymi uszkodzeniami w literaturze można spotkać bardzo zróżnicowane opinie. Na przykład za najbardziej niebezpieczne Niemann [6] uważa zjawisko pittingu. Zwraca przy tym uwagę na konieczność rozpoznawania i interwencji już w początkowych stadiach rozwoju tego typu uszkodzenia, szczególnie w obiektach których awaria zagrożona jest dużymi konsekwencjami. Natomiast Gienkin i Sokolowa [3] największe

ryzyko awarii przypisują zjawisku zatarcia. Przede wszystkim zwracają uwagę na lawinowy rozwój zacierania, praktycznie od momentu powstania uszkodzenia.

Analizując zmiany warunków współpracy kół zębatych wywołanych zjawiskami pittingu, zacierania lub rozwojem pęknięć można zauważyć, że w każdym przypadku wystąpienie uszkodzenia prowadzi do zaburzenia warunków przyporu, przy czym rodzaj zaburzeń jest jakościowo różny.

Pitting jest zjawiskiem zmęczeniowym i objawia się w postaci drobnych wykruszeń powierzchniowych, które są następstwem cyklicznie powtarzających się nacisków stykowych w miarę wchodzenia w przypór i przemieszczania się punktu przyporu. Proces zmęczeniowego uszkadzania powierzchni rozpoczyna się zwykle u podstawy zęba, w strefie ujemnego poślizgu i ma bezpośredni wpływ na wielkość odkształceń zęba w punkcie przyporu. Wynika to z faktu, że wypadkowe odkształcenie zęba zależy zarówno od deformacji w punkcie kontaktu jak od odkształceń giętnych całego zęba [5]. Przy założeniu, że proces zmęczeniowego uszkadzania rozpoczyna się od pojedynczego zęba, raz na obrót wału nastąpi odpowiednio większe przesunięcie punktu przyporu względem jego hipotetycznego, teoretycznego położenia. Wywoła to efekt zmodulowania okresu podziałki zasadniczej z częstotliwością równą częstotliwości obrotów wału lub wałów, powodując tym samym występowanie dodatkowych składowych w pasmach wokół odpowiednich częstotliwości nośnych.

Z uszkodzeniem typu pitting związane jest okresowe zaburzenie warunków przyporu, zgodne z obrotem wału na którym osadzone jest koło z uszkodzonym zębem. Wchodzenie w przypór zęba z uszkodzoną powierzchnią boku generuje cykliczne zaburzenie, w którego detekcji i analizie skuteczną pomoc stanowi synchroniczne uśrednianie sygnału, zgodnie z częstotliwością obrotową odpowiedniego wału.

W fazie rozwiniętego pittingu, gdy uszkodzenie w postaci kilkudziesięciu jam obejmuje 80-90% powierzchni boku u podstawy zęba, zmiana warunków zaburzeń jest bardziej skomplikowana i może prowadzić z jednej strony do wystąpienia ustalonego ugięcia na wszystkich zębach z drugiej strony do wystąpienia częstotliwości pitting jako efektu multiplikacji częstotliwości zazębienia przez liczbę jam pittingowych. Wywołane w ten sposób wysokoczęstotliwościowe zaburzenie jest słabo mierzalne na obudowach łożyska wału, ze względu na efekt tłumienia dynamicznego oraz dominujące zjawisko odbicia krótkotrwałych impulsów zarówno przez łożyska ślizgowe jak i toczne [12].

Pierwszy efekt dodatkowego odkształcenia zębów prowadzi do przesunięcia punktu kontaktu zębów na odcinku przyporu wywołując efekt uderzeniowego wejścia w przypór. Skutki tego typu współpracy zębów można obserwować analizując strukturę obwiedni wąskopasmowego procesu wibroakustycznego.

Złamanie zęba może nastąpić wskutek gwałtownego przeciążenia lub jako efekt zmęczenia materiału. Zmęczeniowe złamanie zęba następuje w miejscu największej koncentracji naprężeń i jest wynikiem powtarzających się wielokrotnie cykli naprężeń w niebezpiecznym przekroju zęba. Pierwszy rodzaj złamania jest trudny do przewidzenia, bowiem samo zjawisko przeciążenia ma przeważnie charakter czynnika zewnętrznego (awaria innych zespołów, błąd sterowania). Drugi rodzaj złamania może być prognozowany na podstawie zmian zarówno przebiegu czasowego jak i struktury częstotliwościowej widma. W tym przypadku, oprócz zaobserwowanego przy pittingu zaburzenia warunków przyporu, wystąpi dodatkowo zakłócenie okresu przyporu [10] oraz efekt zmodulowania częstotliwości drgań własnych zębów. Jeżeli przyjmiemy, że podobnie jak poprzednio, tylko jeden ząb został uszkodzony to analizowana funkcja modulująca będzie miała częstotliwość odpowiadającą obrotom wału [3].

Głównym efektem powstawania pęknięcia u podstawy zęba jest zmniejszenie jego sztywności giętnej. W skrajnym przypadku można mówić o zaniku sztywności do tego stopnia, że ząb nie jest w stanie przejąć na siebie żadnej części obciążenia. Zauważmy, że jest to sytuacja powtarzająca się okresowo z każdym wejściem zęba w przypór, co podkreśla skuteczność operacji uśredniania sygnału w detekcji informacji o rozwijającym się procesie zmęczeniowego uszkadzania zęba.

Trzecią główną kategorią uszkodzeń zęba jest zjawisko zacierania, występuje na boku zęba. Zatarcie zębów występuje wówczas, gdy dochodzi do metalicznego styku i mikrospajania współpracujących zębów w warunkach wysokiej temperatury, niedostatecznego smarowania oraz nadmiernych nacisków powierzchniowych. Względny ruch współpracujących powierzchni zębów powoduje ich zniszczenie przez rysowanie, mikroskrawanie i bruzdowanie. W odróżnieniu od pittingu i zmęczeniowego złamania zęba zatarcie jest uszkodzeniem doraźnym, które może być zapoczątkowane nawet przez krótkotrwałe przeciążenie. Wyróżnia się kilka faz rozwoju zatarcia: I – początkową fazę zatarcia, II – rozcieranie, III – fazę progresywnego zatarcia, IV – zatarcie z odkształceniami plastycznymi.

Ze względu na lawinowy charakter rozwoju tego typu uszkodzenia, głównym celem diagnozowania

staje się w tym przypadku rozpoznanie fazy początkowej i uniemożliwienie osiągnięcia, grożących awarią przekładni faz III i IV.

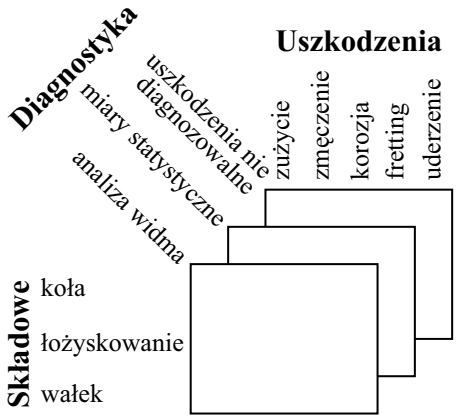
Zjawisko zatarcia nie jest powtarzalne okresowo, szczególnie w I i II fazie procesu. Poszczególne strefy przycierania mogą praktycznie co kilka obrotów przemieszczać się po powierzchni zęba a nawet zanikać, by po pewnym czasie pojawiać się na nowo. Oznacza to, że operacja uśredniania przez dużą liczbę obrotów będzie prowadzić do wygładzenia sygnału, a jej skutkiem będzie usuwanie z sygnału zaburzeń wywołanych efektem zacierania. W podobny sposób będą zanikać, w trakcie operacji uśredniania, efekty zaburzeń warunków przyporu związane z występowaniem w oleju przekładniowym zanieczyszczeń i opiłków żelaza, bowiem w tym przypadku zaburzenie ma charakter impulsowy i nie regularny. Stąd diagnozowanie początkowych faz uszkodzeń, których losowy charakter związany jest nie tylko z amplitudą ale także z okresem ich występowania, wymaga zastosowania specjalnych metod analizy sygnału. Jako jedną z możliwych Gienkin i Sokolowa [3] wskazuje na badanie rozkładu prawdopodobieństwa chwilowych wartości wąskopasmowego sygnału wibroakustycznego, w wybranym paśmie częstotliwości drgań wymuszonych. W tym przypadku równie efektywną może okazać się analiza modulacji częstotliwościowej. W pasmach modulowanych będą również widoczne zmiany warunków smarowania przez zwiększenie poziomu szumu, parametrem diagnostycznym tych zaburzeń może okazać się wzrost wariancji i wyższych momentów obwiedni.

Ścieranie zębów jest szczególnie intensywne w momencie rozruchu przekładni, kiedy pomiędzy współpracującymi powierzchniami zębów smarowanie jest niewystarczające lub w ogóle go nie ma. Niemann [6] wprowadza cztery fazy zużycia zębów, następujące stopniowo po sobie, wraz z wydłużeniem się okresu eksploatacji. Wynika stąd, że zaawansowane zużycie ścierne zębów spowoduje wzrost luzu międzyzębowego; w efekcie uderzeniową pracę przekładni, objawiającą się wzmocnieniem wyższych harmonicznych częstotliwości zazębienia oraz podniesieniem ogólnego poziomu widma, praktycznie w całym zakresie częstotliwości [3 i 4]

Szczegółowy opis procesu ścierania jak i innych typów uszkodzeń zębów w przekładni zębatej przedstawiono podczas jednej z poprzednich konferencji Diagnostyka Maszyn Roboczych i Pojazdów [8].

3. ANALIZA PODOBIEŃSTWA USZKODZENIE – PARAMETR DIAGNOSTYCZNY

Warto by przedstawioną na początku analizę poszerzyć o aspekt detekcji uszkodzenia w funkcji fazy rozwoju i rodzaju uszkodzenia. Biorąc pod uwagę informacje na temat diagnozowania kół zębatych i łożysk tocznych rozbudowano dwuwymiarową macierz CF o wymiar diagnostyczny i w ten sposób powstała trójwymiarowa macierz CFD wiążąca składowe i rodzaje uszkodzeń z metodami diagnozowania.



Rys 1. Schematyczne przedstawienie macierzy CFD

Tabela 5. Macierz CFD – kolejne warstwy

D1: analiza widma	F1: zużycie	F2: zmęczenie	F3: korozja	F4: fretting	F5: uderzenie
C1: koła	1	2	0	1	0
C2: łożyskowanie	1	0	1	1	0
C3: wałek	0	1	0	0	1

D2: miary statystyczne	F1: zużycie	F2: zmęczenie	F3: korozja	F4: fretting	F5: uderzenie
C1: koła	1	0	0	0	0
C2: łożyskowanie	0	0	0	0	0
C3: wałek	0	0	0	0	0

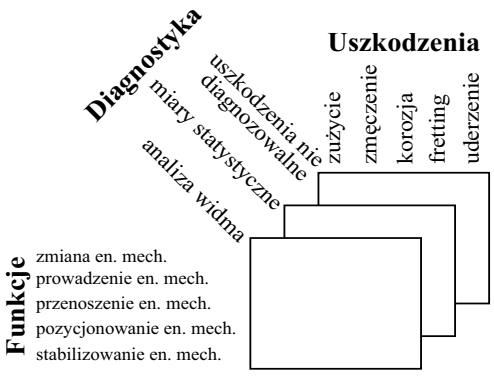
D3: uszkodzenia nie diagnozowalne	F1: zużycie	F2: zmęczenie	F3: korozja	F4: fretting	F5: uderzenie
C1: koła	0	0	0	0	1
C2: łożyskowanie	0	0	0	0	0
C3: wałek	0	0	0	0	1

Każdy element macierzy cfd_{ijk} oznacza ile uszkodzeń kryjących się pod głównym rodzajem uszkodzenia *j* mogących wystąpić w składowej *i* może być diagnozowanych przy użyciu metody *k*. Nie możemy się tu posługiwać tylko głównymi rodzajami uszkodzeń, ponieważ nawet dla tej samej składowej mogą być różnie diagnozowane zależnie od postaci uszkodzenia. Przykładowo jeśli mówimy o zmęczeniowym uszkodzeniu koła może to być pitting ale może to być też zmęczeniowe wyłamanie zęba, w tym przypadku oba uszkodzenia mogą być diagnozowane przez analizę widma sygnału wibroakustycznego. Natomiast jeśli rozpatrujemy zużycie koła zębatego może to być ścieranie wykrywane przez analizę widma ale może to być również zacieranie, które może być diagnozowanie przez analizę statystyczną sygnału wibroakustycznego. Dlatego też nie zawsze dla głównych rodzajów uszkodzeń można jednoznacznie wyznaczyć metody diagnozowania i dlatego jesteśmy zmuszeni korzystać z szczegółowego podziału uszkodzeń.

Należy zwrócić uwagę, że w analizie powinny być uwzględnione wszystkie występujące rodzaje uszkodzeń, ponieważ nie możemy z góry założyć, że określony rodzaj uszkodzenia nie wystąpi. Natomiast dążymy do ograniczenia metod diagnozowania, jeśli występuje kilka metod umożliwiających wykrycie danego rodzaju uszkodzenia dla określonego elementu w analizie uwzględniamy tylko jedną, wybieramy metodę dla nas korzystniejszą (dostępność sprzętu, znajomość metodyki itp.).

Wymnażając macierz EC przez wszystkie warstwy macierzy CFD otrzymujemy macierz EFD, która wiąże funkcje i uszkodzenia z metodami diagnostycznymi.

$$EFD = EC \times CFD \qquad (2)$$



Rys 2. Schematyczne przedstawienie macierzy EFD

Tabela 6. Macierz EFD – kolejne warstwy

D1: analiza widma

	F1	F2	F3	F4	F5
E1	1	2	0	1	0
E2	1	3	0	1	0
E3	1	3	0	1	0
E4	1	0	1	1	0
E5	1	0	1	1	0

D2: miary statystyczne

	F1	F2	F3	F4	F5
E1	1	0	0	0	0
E2	1	0	0	0	0
E3	1	0	0	0	0
E4	0	0	0	0	0
E5	0	0	0	0	0

D3: uszkodzenia nie diagnozowalne

	F1	F2	F3	F4	F5
E1	0	0	0	0	1
E2	0	0	0	0	2
E3	0	0	0	0	2
E4	0	0	0	0	0
E5	0	0	0	0	0

Aby macierz CFD budować w określonym standardzie, celowym wydaje się uporządkowanie metod diagnozowania podobnie jak uczyniono to z rodzajami uszkodzeń. Problemom diagnozowania jest poświeconych wiele publikacji np. [14]. Spotyka się różne propozycje podziału metod diagnozowania, jedna z nich zawarta w [7] (tabela 7), wydaje się że może być przyjęta za podstawę opracowania takiej systematyki.

Tabela 7. Metody diagnozowania uszkodzeń

• modelowo wsparta diagnostyka	• modele wpływu zaburzeń – modele zaburzonego funkcjonowania (badanie zmian sygnału)	• model propagacji zaburzeń • jakościowe grafy procesu przyczynowego
	• modele normalnego funkcjonowania (generowanie residuów)	• funkcjonalna dekompozycja modelu • modele strukturalne • jakościowe modele funkcjonalne
• diagnostyka symptomowa	• metody statystyczne • metody analizy trendów • metody rozpoznawania obrazów z wykorzystaniem sztucznej inteligencji	

4. WNIOSKI

W nowoczesnych metodach projektowania coraz częściej podejmuje się próby włączenia informacji o rodzajach i konsekwencjach występujących uszkodzeń do procedur decyzyjnych w trakcie projektowania. Wydaje się, że istotnym rozszerzeniem tego podejścia mogło by być włączenie informacji o możliwości detekcji rodzajów i faz rozwoju uszkodzeń z wykorzystaniem metod diagnozowania w szczególności metod wibroakustycznych. Wymaga to dalszych prac nad zagadnieniem systematyzacji metod diagnozowania odwołującej się do fizykalnej strony rozwoju uszkodzenia i ich związków z składowymi i funkcjami wykonywanymi przez te składowe.

LITERATURA

[1] Collins J. A.: Failure of materials in mechanical design: analysis, prediction, prevention, Wiley Interscience 1993.
[2] Dziama A., Michniewicz M., Niedźwiecki A.: Przekładnie zębate, Warszawa PWN, 1989
[3] Gienkin M. D.,. Sokolova A. G, Vibroakusticheskaya Diagnostika Mashin i Mekhanizmov, Mashinostrojenije, Moscow 1987.
[4] Kiyobiko U., Kouji H., Hiroshi K., Hiroyuki K.: On a Prognosis of Gear Surface Failure Using Sound of Gears, Bulletin of the JSME, 29 (203), 1982, str. 834–841.
[5] Niemann G., Baethge J.: Drehwegfehler, Zahnfederhärte und Geräusch bei Stirnrädern, VDI – Zeitschrift, 112 (4), 1970 str. 205–214.
[6] Niemann G., Winter H.: Machinenelemente Band II. Getriebe allgemein, Zahnradgetriebe – Grundlagen, Stirnradgetriebe, Berlin, Springer-Verlag,. 1983.
[7] Papadopoulos Y., McDermid J. A.: Automated Safety Monitoring: A Review and Classification of Methods, Comadem International, 2001.
[8] Radkowski S.: Wykorzystanie sygnału wibroakustycznego w wykrywaniu uszkodzeń przekładni zębatej, Diagnostyka maszyn roboczych i pojazdów '99 Bydgoszcz – Borówno 1999.
[9] Radkowski S.: Diagnozowanie łożysk tocznych, Inżynieria diagnostyki maszyn cz. 2 Edytorzy Zółtowski B., Cempel Cz., ITE Radom 2004.
[10] Radkowski S., Samsonowicz J.: Modelowanie i symulacja komputerowa częstotliwości przyporu w ewolwentowych przekładniach zębatych, Przegląd Mechaniczny, 3, 1993.
[11] Stone R. B., Wood K. L.: Development of a functional basis for design Journal of Mechanical Design 122 (4) 2000, str. 359-370
[12] Smith J. D: Gear noise and vibration, Marcel Dekker, Inc. New York, Basel 1999.
[13] Tumer T. Y.,. Stone R. B: Mapping Function to Failure Mode During Component Development ASME Design for Manufacturing Conference vol. DETC 2001/DFM – 21173,Pittsburgh USA 2001.
[14] Zółtowski B., Cempel Cz., Inżynieria diagnostyki maszyn cz. 2, ITE Radom 2004

Mgr inż. **Robert Gumiński** uczestnik studiów doktoranckich na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.

Prof. **Stanisław Radkowski** profesor Instytutu Podstaw Budowy Maszyn PW, kierownik zespołu Diagnostyki Technicznej i Analizy Ryzyka. Prezes Polskiego Towarzystwa Diagnostyki Technicznej.
W pracy naukowej zajmuje się diagnostyką wibroakustyczną i analizą ryzyka technicznego.

WPROWADZENIE DO POKŁADOWEGO DIAGNOZOWANIA POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

Marek JANKOWSKI

Instytut Techniki, Akademia Bydgoska im. Kazimierza Wielkiego
ul. Chodkiewicza 30, 85-064 Bydgoszcz, e-mail: jankowski@werther.pl

Streszczenie

W artykule scharakteryzowano, na przykładzie silnika spalinowego, sterowanie pracą zespołów samochodu z uwzględnieniem kryteriów ekologicznych i bezpieczeństwa. Przedstawiono istotę modułu samodiagnozowania oraz cechy funkcjonalne zewnętrznych urządzeń wspomagających diagnozowanie. Podano podstawowe kierunki rozwojowe w aspekcie unifikacji i prędkości przekazywania informacji.

Słowa kluczowe: diagnozowanie pokładowe, pojazdy samochodowe, OBD, protokoły transmisji

INTRODUCION OF VEHICLES ON BOARD DIAGNOSIS

Summary

Using the example of the combustion engine, the article discusses how the operation of car systems is controlled, including environmental and safety criteria. The general idea of a self-checking module and functionalities of external support devices are presented. Key trends in information unification and communication speed are presented as well.

Keywords: on board diagnosis, vehicle, OBD, data protocols

1. WSTĘP

Pojazd samochodowy jest obiektem technicznym złożonym, o stosunkowo dojrzałej konstrukcji i wykonywany w zaawansowanych technologiach, gwarantujących stosunkowo dużą niezawodność funkcjonowania i trwałość.

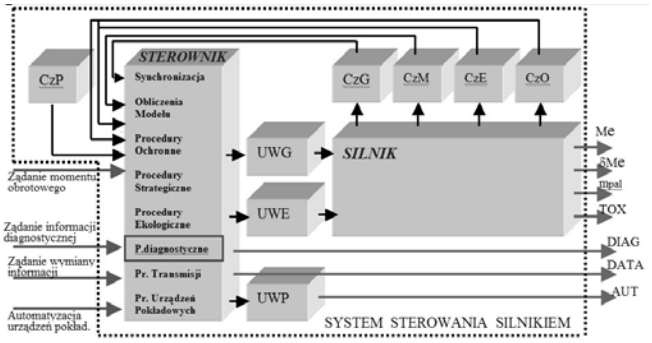
Rozwój konstrukcji silników spalinowych, które stanowią podstawowy rodzaj napędu, związany jest z coraz bardziej rygorystycznymi normami ograniczającymi emisję substancji toksycznych do otoczenia.

W budowie pojazdów zaimplementowano elektroniczne, inteligentne układy sterujące jego pracą. Wymagania dotyczące nadzoru stanu technicznego obwarowane są przede wszystkim względami ekologicznymi i bezpieczeństwa. Przykładowy schemat struktury sterownika, wraz z oznaczeniem modułu diagnostycznego i złączami komunikacyjnymi przytoczono na rys.1. Pojazdy samochodowe doczekały się pokładowych systemów diagnozowania (On Board Diagnosis).

2. ROZWÓJ UKŁADÓW SAMODIAGNOZY

Gwałtowny rozwój motoryzacji i odejście od gaźnikowych układów zasilania postawiły producentów pojazdów przed koniecznością stosowania elektronicznych sterowników zespołów mechanicznych. Zaczęto wprowadzać układy elektroniczne sterujące pracą silnika (ECU, z ang. Electronic Control Unit). Nastąpiła również konieczność budowy instrumentów służących do diagnozy i naprawy takich układów. Każdy z producentów zastosował własne niezależne protokoły komunikacyjne i sterowniki co w znacznym stopniu uniemożliwiało dostęp do informacji. Do usystematyzowania metod i środków diagnozowania przyczyniły się szczególnie względy ekologiczne, a dokładnie Kalifornijska Rada ds. Zasobów Powietrza (ang. California Air Resources Board, w skrócie CARB). Wprowadziła ona przepisy zakładające przeprowadzanie przez pojazd własnej diagnozy pokładowej (ang. On Board Diagnosis, w skrócie OBD). Podstawowym celem diagnozowania pokładowego była kontrola emisji toksycznych składników spalin. Te znormalizowane przepisy nazywane są obecnie normą OBD 1. Wszystkie auta podlegające homologacji od 1988 roku w USA musiały posiadać układ diagnozowania pokładowego standardu OBD 1. W roku 1994 norma ta została zastąpiona OBD 2. Szczegółowe wymagania dotyczące protokołów transmisji, wymiany danych czy nawet miejsce montażu złącza diagnostycznego zostały określone przez SAE (ang. Society of Automobile Engineers – Stowarzyszenie Inżynierów Techniki Samochodowej). Nowa norma wprowadziła dodatkową kontrolkę na desce rozdzielczej pojazdu sygnalizującą

nieprawidłowości w układzie zespołu napędowego (tzw. MIL z ang. malfunction indicator led), wprowadziła funkcje kontrolujące emisje szkodliwych składników spalin powyżej wartości dopuszczalnych, rejestracje warunków pracy w momencie wystąpienia usterki i zapisanie kodów usterek w sterowniku. Od roku 1996 wszystkie samochody homologowane w USA, napędzane silnikiem ZI musiały być wyposażone w OBD, zaś od 1997 także pojazdy z silnikami o ZS. W roku 2000 wprowadzono standard europejski EOBD. System EOBD jest odpowiednikiem amerykańskiego OBD II.



Rys. 1. Schemat sterowania silnikiem ZI; UWG- podstawowe układy wykonawcze (wtrysk, zapłon, napełnianie), UWE - grupa układów wykonawczych odpowiedzialnych za ograniczenie emisji substancji toksycznych (zawór recyrkulacji spalin, zawór upustu par paliwa ze zbiornika z węglem aktywowanym, pompa powietrza dodatkowego oraz zawór powietrza dodatkowego), UWP - grupa pokładowych układów wykonawczych (przeznaczonych do automatyzacji układów silnikowych lub obsługi wybranych urządzeń pokładowych), CzG – czujniki synchronizacji sygnałów sterujących (GMP), CzP – czujniki pozasilnikowe, CzM – czujniki modelowe (przepływomierz powietrza, czujnik temperatury powietrza, cieczy chłodzącej, itd.), CzE – czujniki dostarczające informacji ułatwiających sterowanie urządzeniami proekologicznymi (czujniki składu spalin, czujnik ciśnienia par paliwa), CzO czujniki dostarczające informacje o chronionych elementach (czujnik spalania stukowego, czujnik temperatury spalin), Me – moment użyteczny silnika, σMe - odchylenie standardowe momentu użytecznego silnika, m_{pal} - masa paliwa zużywana podczas trwania kolejnego cyklu obliczeniowego, TOX - poziom emisji toksycznych składników spalin, AUT - sygnały sterujące urządzeniami grupy UWP, DATA - sygnały wymieniane z pozostałymi uczestnikami sieci pokładowej, DIAG - informacje diagnostyczne do lampki ostrzegawczej i warsztatowych urządzeń zewnętrznych.

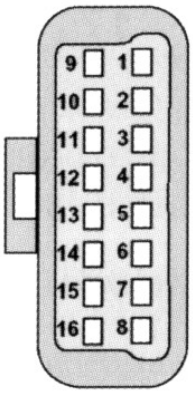
W praktyce system OBD II (EOBD) obowiązkowo posiadają auta z silnikiem o zapłonie iskrowym:

- sprzedawane po 1 stycznia 1996 roku w USA
- sprzedawane po 1 stycznia 2001 roku w UE
- sprzedawane po 1 stycznia 2002 roku w Polsce

oraz auta z silnikiem o zapłonie samoczynnym sprzedawane po 1 stycznia 2003.

3. ZŁĄCZA I PROTOKOŁY

W systemach diagnostyki pokładowej stosowana jest szeroka gama gniazd do połączenia z zewnętrznym skanerem. Standard OBD II/ EOBD znormalizował budowę takiego gniazda zgodnie z tab.1. Przyjęto stosowanie transmisji cyfrowej szeregowej.



Rys.2. Układ styków gniazda OBDII/EOBD

Tab.1. Znaczenie styków gniazda diagnostycznego OBDII/EOBD

Nr pin	Opis
7 i 15	Transmisja danych wg normy ISO 9141-2 K i ISO/DIS 14230-4
2 i 10	Transmisja danych wg normy SAE J1850
1,3,8,9,11,12,13	Indywidualne zastosowanie producentów
4	Masa nadwozia samochodu
5	Masa sygnałowa
6	Transmisja danych wg. normy ISO 11898 – sygnał CAN „wysoki"
14	Transmisja danych wg. normy ISO 11898 – sygnał CAN „niski"
16	Napięcie z zacisku „+" akumulatora

Do styków o numerach 1, 8, 9, 13 mogą być dołączane przewody linii K lub L innych sterowników nie związanych z silnikiem, np. poduszek powietrznych, ABS. Styki 3,11,13 przyjęto wykorzystywać jako miejsca przyłączenia sterowników wymieniających ze sobą informacje.

Norma ISO określa 5 dopuszczalnych protokołów transmisji. Poszczególne modele i marki aut zaimplementowany mają jeden z nich. Czasami w jednym modelu pojazdu można spotkać kilka różnych protokołów w zależności od zastosowanego sterownika.

Tab.2. Protokoły komunikacyjne EOBD

Nazwa	Norma	Prędkość transmisji	Używane piny	Marki pojazdów
PWM	SAE J1850	41,6 kB/s	2,4,5,10,16	Ford
VPW	SAE J1851	10,4 kB/s	2,4,5,16	GM, Chrysler
ISO 9141-2	ISO DIS 9141-2		4,5,7,15,16	Europejskie Azjatyckie
KWP 2000	ISO 14230-4		4,5,7,15,16	Europejskie
CAN	ISO DIS 15765-4	250kB/S 500kB/s	4,5,6,14,16	

4. TRYBY EOBD

Tryby pracy zewnętrznego urządzenia testującego jak i sposób prezentacji danych ściśle określa norma ISO 15031-5. Są to kolejno:

4.1. Tryb 1

W tym trybie urządzenie diagnostyczne odczytuje bieżące wartości parametrów zespołu napędowego.

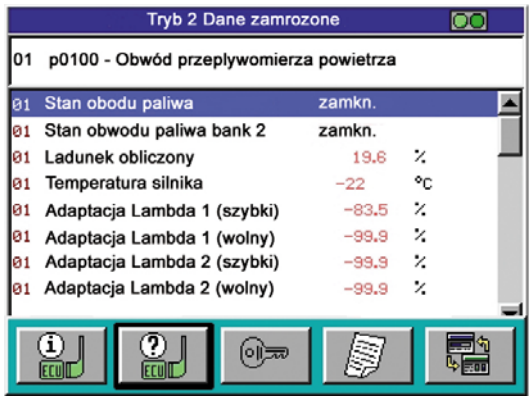
Rys.3. Przykładowa prezentacja danych w trybie1

4.2. Tryb 2

Określa warunki pracy zespołu napędowego w momencie wystąpienia usterki. Tzw. błędy zamrożone. Sterownik silnika pojazdu pamięta kod pierwszej usterki i warunki pracy pojazdu podczas jej wystąpienia. Bardziej zaawansowane systemy potrafią zapamiętać kilka usterek.

4.3. Tryb 3

Odczyt kodów usterek. Sterownik informuje o potwierdzonych usterkach mających wpływ na wzrost emisji toksycznych składników spalin. Oznaczenie kodu usterki składa się 5 znaków. Pierwsza litera określa miejsce usterki:
B – (z ang. body) nadwozie;
C – (z ang. chasis) podwozie;
P – (z ang. powertrain) zespół napędowy;
U – sieć wymiany danych.
Kolejny znak to cyfry 1-4 identyfikujące typ kodu usterki. Kody zaczynające się oznaczeniem P0 określone są przez normy ISO 15031-6 i SAE J2012 i dzięki temu identyczne dla wszystkich marek pojazdów. Pozostałe kody nie są ustandaryzowane i w przypadku różnych marek informują o różnych uszkodzeniach.



Rys.4. Przykładowa prezentacja danych w trybie 2

4.4. Tryb 4

W trybie 4 diagnoskop kasuje kody usterek oraz informacje z nimi związane. Niektóre kody usterek wygaszane są przez sterownik automatycznie po wykonaniu pewnej ilości cyklów jezdnych.

4.5 Tryb 5

Odczyt wartości sygnału sondy lambda

Rys. 5. Przykładowa prezentacja danych trybu 5

Testery wyższej klasy potrafią same porównać przebieg z wzorcowy z rzeczywistym podając niezgodne parametry.

4.6. Tryb 6

Odczyt wyników testów okresowych przeprowadzanych przez sterownik. Specyfika zależy od producenta.

4.7. Tryb 7

Odczyt usterek wątpliwych. W przypadku wystąpienia niewielkiego uszkodzenia powodującego wzrost emisji toksycznych składników spalin sterownik określa prawdopodobne miejsce wystąpienia usterki.

4.8. Tryb 8

Test elementów wykonawczych. Ilość i rodzaj dostępnych testów zależy od producenta pojazdu. Test zespołów wykonawczych pozwala na:

- programowe wymuszanie pracy elementów typu: elektrozawory (wtryskiwacz), układ zapłonowy (generacja zapłonów), sterowanie silników krokowych,
- obserwację prawidłowości pracy sterowanych zespołów i kontrolę obwodów elektrycznych.

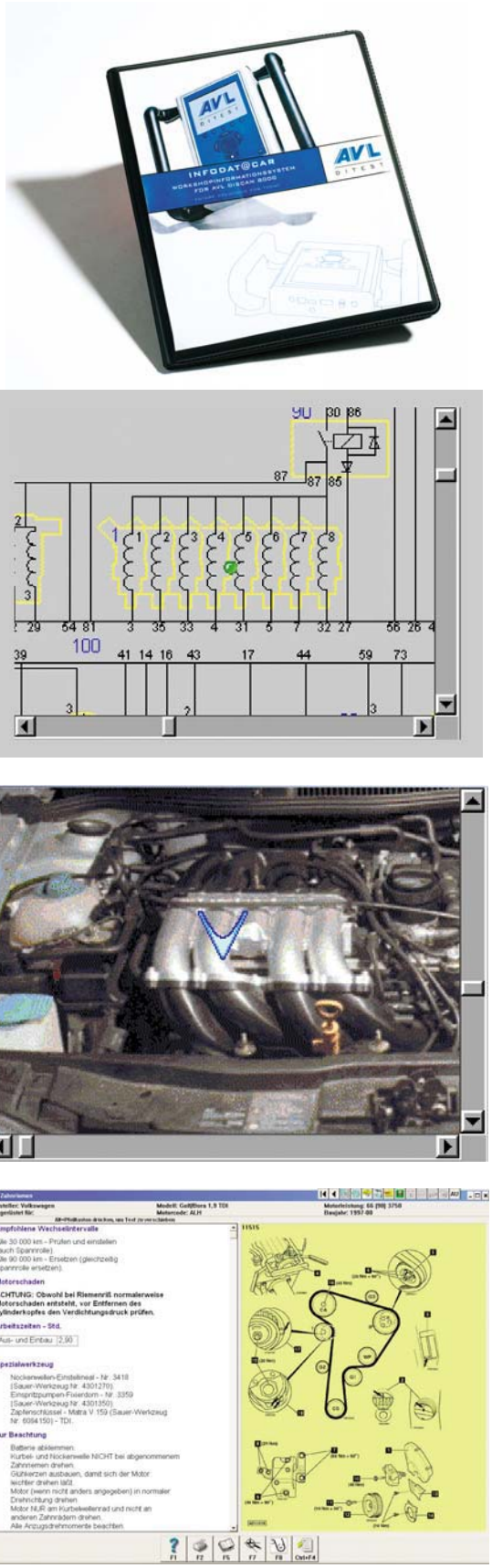
4.9. Tryb 9

Pozwala na odczyt informacji o pojeździe zakodowanych w sterowniku. Są to w zależności od producenta numery fabryczne pojazdu, numery kluczyków, faktyczny przebieg pojazdu itd.

4.10. Dodatkowe możliwości

Pomimo informacji jakie daje standardowa diagnoza EOBD jest zdecydowanie niewystarczająca dla potrzeb diagnostyki pojazdowej. Diagnoza pod kątem emisji spalin nie pozwala na „głębszą" ingerencję w sterownik jak i diagnozowanie poszczególnych układów i elementów wykonawczych. Ponadto znakomitą większość aut poruszających się po drogach stanowią obecnie pojazdy wyprodukowane przed 2001 rokiem, w których nie został zaimplementowany standard EOBD, gdyż nie było stosownych przepisów. Z tych właśnie powodów do niedawna konieczne było posiadanie drogich testerów fabrycznych obsługujących jedną markę pojazdów. Powstanie testerów uniwersalnych i współpraca na linii producenci aut – producenci sprzętu diagnostycznego pozwoliła na włączenie usług stacjom nieautoryzowanym przez producentów samochodów. Funkcje diagnostyczne daleko wykraczające poza EOBD pozwoliły na naprawę aut starszych oraz innych systemów jak ABS, kontrola trakcji, klimatyzacja itd. Do tego celu jednak nie wystarcza prosty przewód EOBD. Do samochodów starszych stosuje się szereg wtyczek pozwalających podpiąć się pod specyficzne złącza diagnostyczne danej marki zaś diagnozę wszystkich nowszych aut umożliwia specjalny układ przełącznika elektronicznego kluczujący linie sygnałowe podczas komunikacji.

5. ROLA INFORMACJI W DIAGNOSTYCE POJAZDOWEJ



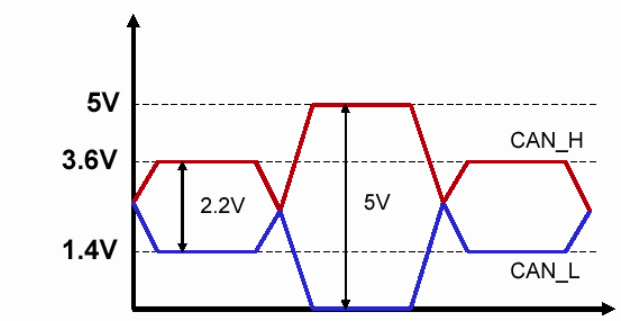
Rys. 6. Oprogramowanie AVL Infodata

Bardzo ważną rolę w systemach diagnostycznych pełni zintegrowany system informacyjny pozwalający na dostęp do szczegółowych danych na temat diagnozowanego układu. Diagnoskopy zaawansowane potrafią współpracować także z oprogramowaniem innych producentów. Przykładowo firmma AVL DiTest implementując w swych urządzeniach struktury sieci informatycznej pozwalającej na współpracę wszystkich urządzeń diagnostycznych w warsztacie ze sobą i z oprogramowaniem biznesowym. Taka filozofia ma na celu szybką wymianę informacji, archiwizację i dostęp do danych oraz korzystanie przez urządzenia diagnostyczne z odległych baz danych za pośrednictwem Internetu.

W skanerze ręcznym AVL DiScan 8000 oprogramowanie Infodata zawiera dane porównawcze, nastawcze, techniczne oraz opisy, schematy, zdjęcia, i wzorcowe przebiegi w ujęciu elementarnym jak i całościowym wszystkich obsługiwanych systemów. Oprogramowanie dostarczane jest na karcie pamięci SMART kompatybilnej z czytnikami stosowanymi w komputerach PC. Rozwiązanie to pozwala na łatwą wymianę danych pomiędzy diagnoskopem a komputerem oraz odciąża zasoby pamięciowe diagnoskopu. Oprogramowanie Infodata można także (podobnie jak oprogramowanie diagnostyczne) uaktualniać poprzez Internet podłączając urządzenie do komputera PC za pomocą przewodu szeregowego lub USB.

6. PRAWDOPODOBNE ROZWIĄZANIA PRZYSZŁOŚCIOWE

Historia stosowania protokołów komunikacyjnych przedstawia się bardzo różnorodnie w zależności od roku i marki, przykład tab. Trendy na przyszłość jak i nowe przepisy zmierzają w kierunku całkowitego ujednolicenia. Od roku 2008 wszystkie auta będą wyposażone w diagnostykę CAN. Idea tego protokołu powstała w późnych latach 80 tych. Jako pierwsza uzyskała licencje i zaprezentowała sieć CAN w roku 1987 roku firma Intel. Pierwszym pojazdem wyposażonym w sieć CAN był Mercedes klasy S z 1991 roku. Tego samego roku powstała także nowa specyfikacja ISO 11898-2 zakładająca dwa rodzaje protokołów ze standardowym nagłówkiem 11 bitowym i z nagłówkiem rozszerzonym 29 bitowym. Komunikacja CAN odbywa się za pomocą jednego nie ekranowanego przewodu z prędkością 33,3 kB/s lub 83,33 kB/s (tzw. high speed). Maksymalna długość takiej szyny to 40 m co w pełni wystarcza na okablowanie pojazdu. Nowa specyfikacja CAN zakłada dwa poziomy logiczne niski (CAN_L) odpowiada napięciu 1,4 V zaś wysoki (CAN_H) 3,6 V. W praktyce jednak poziomy napięć 0 –2,2 V traktowane są jako stan niski a od 2,2 V do 5V jako stan wysoki. Ta cecha charakteryzuje CAN jako sieć bardzo odporna na zakłócenia co przy tych prędkościach transmisji ma istotne znaczenia.



Rys.7. Poziomy logiczne CAN

Kolejnym krokiem ma być standard OBD3. Obecnie w Kalifornii CARB testuje nowy system. W wydzielonym obszarze zainstalowano przydrożne odbiorniki komunikujące się z pojazdami. Testy komunikacji wykazały że jeden nadajnik potrafi sczytywać dane z pojazdów jadących ośmioma pasami z prędkością 160 km /h w odległości 10 cm jeden od drugiego. Są też koncepcje wykorzystania sieci GSM lub przekazu satelitarnego. Nowy system pozwalałby na kontrolę pojazdów przejeżdżających ulicą i informowanie służb porządkowych. Wprowadzenie takich rozwiązań w życie blokują jednak przepisy dotyczące wolności obywatelskich.

LITERATURA

[1] Merkisz J., Mazurek S.: Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych. WKŁ, Warszawa 2004.
[2] Lupini A.,C.: Multiplex Bus Progression. SAE Technical Paper Series 2003-01-0111
[3] Stephenson S.: The future of diagnostic tools. Motor Age. Feb, 2004.
[4] AVLDiTest. Materiały informacyjne. Graz 2005.

ŹRÓDŁA SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH W UKŁADACH HYDRAULICZNYCH

Piotr MENCHEN

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Wydział Mechaniczny
Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów
85-796 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7; e-mail: menchen@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

Stan techniczny układu hydrauliki siłowej w maszynie roboczej można określić na podstawie sygnałów diagnostycznych generowanych przez elementy tego układu. W artykule przedstawiono źródła sygnałów diagnostycznych w elementach układów hydraulicznych oraz model generowania tych sygnałów.

Słowa kluczowe: sygnał diagnostyczny, układ hydrauliki siłowej

THE SOURCES OF DIAGNOSTIC SIGNALS IN HYDRAULIC SYSTEMS

Summary

The technical condition of force hydraulic system in working machines is been possible to qualify on basis of diagnostic signals generated in this system. In this report there are introduced the sources of diagnostic signals in elements of hydraulic systems and the model of generating these signals.

Keywords: diagnostic signal, force hydraulic system

1. WSTĘP

Ocena stanu technicznego elementów układu hydrauliki siłowej może być dokonana bezpośrednio lub pośrednio. Metody bezpośrednie polegają na badaniu poszczególnych elementów lub współdziałania elementów, co wymaga najczęściej czasochłonnego i kosztownego demontażu układu. Metody pośrednie oceny stanu oparte są na obserwacji sygnałów lub procesów związanych z działaniem układu hydraulicznego, na podstawie których wnioskuje się o stanie diagnozowanego układu.

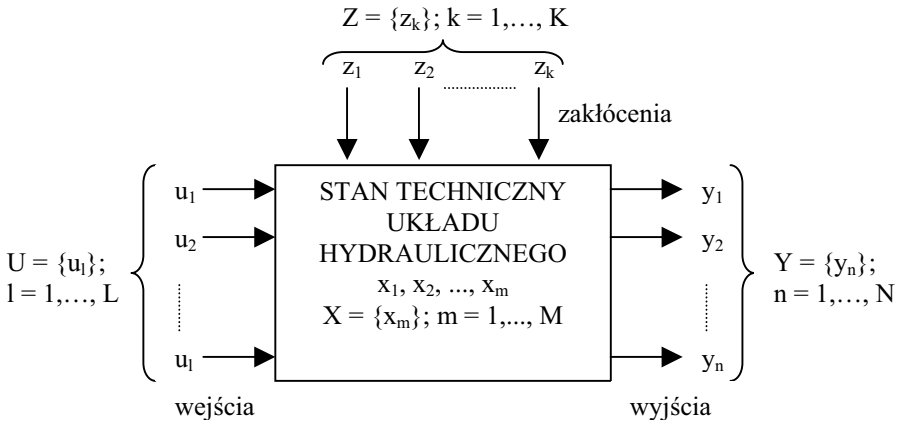
Sygnałem diagnostycznym nazywamy dowolny nośnik materialny, charakteryzujący zmiany wielkości fizycznej, umożliwiającej przenoszenie w czasie i przestrzeni wiadomości o stanie technicznym układu [2]. Opis sygnału diagnostycznego dokonywany jest za pomocą zbioru charakterystycznych cech, które mogą być przedstawione w postaci liczbowej lub za pomocą funkcji algebraicznych. Działanie, którego wynikiem jest zbiór cech charakteryzujących sygnał nazywamy analizą sygnału diagnostycznego.

2. SYGNAŁY DIAGNOSTYCZNE W UKŁADZIE HYDRAULICZNYM

Losowy charakter procesu eksploatacji oraz złożoność układów hydrauliki maszynowej powodują, iż bezpośrednie przewidywanie relacji pomiędzy cechami sygnałów diagnostycznych i cechami stanu układu hydrauliki siłowej jest utrudnione, a czasami niemożliwe. Mierzalne sygnały wyjściowe Y (sygnały diagnostyczne) zależą bowiem od zbioru U zmiennych wejściowych (wymuszenia) i zbioru X cech stanu układu hydrauliki maszynowej. Na układ wpływa równocześnie zbiór Z zmiennych zakłóceń (rys. 1).

Zbiór zmiennych wejściowych U określa oddziaływania urządzeń diagnostycznych lub warunki pracy układu hydrauliki siłowej (zasilanie i sterowanie) podczas diagnozowania. W badaniach diagnostycznych zakłada się niezmienność zbioru U, aby przyczyną wszelkich zmian sygnałów diagnostycznych były zmiany zachodzące w układzie hydraulicznym. W układach hydraulicznych maszyn roboczych do zbioru zmiennych wejściowych U można zaliczyć następujące parametry:

- Obroty pompy hydraulicznej,
- Wydatek pompy hydraulicznej,
- Wartości ciśnienia oleju hydraulicznego po stronie tłocznej pompy,
- Wartości ciśnienia nastawione na zaworach przelewowych lub bezpieczeństwa,
- Stopień dławienia na zaworach dławiących,
- Napięcie zasilające cewki magnetyczne zaworów elektrohydraulicznych,
- Poziom oleju hydraulicznego w zbiorniku.



Rys. 1. Powiązania zbiorów wielkości opisujących układ hydrauliki siłowej [1][3]

Zbiór zmiennych zakłóceń Z w przypadku układów hydraulicznych obejmuje:

- Warunki otoczenia, których dokładne określenie w chwili badania diagnostycznego nie jest możliwe, tj. wilgotność, temperatura, stopień czystości powietrza atmosferycznego;
- Warunki diagnozowania, których utrzymanie na stałym poziomie w chwili badania diagnostycznego jest niemożliwe, tj. temperatura oleju hydraulicznego, obciążenie elementów wykonawczych takich jak siłowniki hydrauliczne;
- Cechy stanu układu hydraulicznego, które nie zostały uwzględnione w prowadzonych badaniach diagnostycznych;
- Błędy urządzeń diagnostycznych, zainstalowanych czujników pomiarowych, błędy dopasowania czujników do wartości mierzonych parametrów itp.

Zbiór X zmiennych stanu układu hydrauliki siłowej maszyny roboczej opisuje aktualny stan badanego układu hydraulicznego. Stan badanego układu jest określony wtedy, jeżeli znane są wartości wszystkich, istotnych względem kryterium decyzyjnego, niezależnych cech stanu. Zbiór niezależnych cech stanu jest zbiorem minimalnym, ponieważ nie zawiera cech zbędnych, nie wnoszących istotnych informacji o stanie układu hydraulicznego.

Zbiór Y zmiennych wyjściowych przedstawia zbiór sygnałów wyjściowych traktowanych w diagnostyce technicznej jako sygnały diagnostyczne.

W diagnostyce technicznej układów hydrauliki siłowej informacje o stanie diagnozowanego układu uzyskuje się poprzez obserwację procesów roboczych zachodzących w układzie oraz procesów towarzyszących, będących wtórnym efektem procesów podstawowych. Podstawowe procesy zachodzące w układach hydrauliki siłowej oraz ich parametry, które mogą być sygnałami diagnostycznymi przedstawiono w tabeli 1.

Przytoczony podział ułatwia wybór nośników informacji diagnostycznej o dużej pojemności informacyjnej i dużej podatności diagnostycznej. Stan techniczny elementów układów hydraulicznych określa się najczęściej za pomocą następujących parametrów:

- ciśnienie mierzone w różnych punktach układu (MPa),
- różnica ciśnień pomiędzy dwoma punktami układu Δp (MPa),
- pulsacja ciśnienia Δp (MPa),
- objętościowe natężenie przepływu cieczy roboczej w określonych punktach układu hydraulicznego (dm^3/min),
- przecieki wewnętrzne w elementach układu (dm^3/min),
- temperatura cieczy roboczej (^{o} C),
- dynamika wzrostu temperatury elementów układu (^{o}C/min);
- klasa czystości cieczy roboczej,
- charakterystyka zanieczyszczeń cieczy roboczej (analiza spektralna),
- czasy trwania ruchów roboczych elementów wykonawczych (s),
- prędkości obrotowe lub liniowe elementów wykonawczych (min^{-1}; m/s),
- natężenie prądu elektrycznego (A),
- napięcie prądu elektrycznego (V),
- poziom hałasu (w pompach i silnikach hydraulicznych) (dBA),
- amplitudy − ciśnienia, drgań elementów układu itp.

Tabela 1.
Procesy zachodzące w układach hydrauliki siłowej i ich podstawowe parametry [1]

PROCESY ROBOCZE		**PROCESY TOWARZYSZĄCE**	
Przetwarzanie energii chemicznej w energię mechaniczną	Podciśnienie, parametry pulsacji ciśnienia, ciśnienie sprężania, max. ciśnienie spalania, temp. spalania, skład spalin, moc efektywna, prędkość obrotowa, moment obrotowy, zużycie paliwa	**Procesy termiczne**	Temperatura, dynamika zmian temperatury, obraz rozkładu temperatury
Przetwarzanie energii elektrycznej w energię mechaniczną	Spadki napięć, natężenie prądu elektrycznego, moment i prędkość obrotowa, moc, napięcie	**Starzenie**	Lepkość cieczy roboczej, wskaźnik lepkości, gęstość, zawartość wody, stan uszczelnień spoczynkowych
Przetwarzanie energii mechanicznej w energię ciśnienia	Ciśnienie, parametry pulsacji ciśnienia, obroty pompy, moc efektywna pompy, natężenie przepływu, temperatura pompy	**Zaburzenia przepływu**	Spadek ciśnienia, przecieki wewn. i zewnętrzne, spadek siły i momentu obrotowego
Przenoszenie energii	Ciśnienie, spadek ciśnienia, temperatura, natężenie przepływu	**Procesy wibroakustyczne**	Miary w dziedzinie czasu, amplitud i częstotliwości
Zamiana energii ciśnienia na energię mechaniczną	Moc, moment obrotowy, chłonność, droga, siła, prędkość, przyspieszenie, obroty	**Procesy zużycia**	Klasa czystości cieczy roboczej, stan uszczelnień ruchowych, przecieki wewnętrzne

3. MODEL GENEROWANIA SYGNAŁU DIAGNOSTYCZNEGO

Ocena stanu układu hydraulicznego maszyny roboczej za pomocą generowanych przez nie procesów fizycznych wymaga jednoznacznego skojarzenia parametrów funkcjonalnych układu ze zbiorem miar i ocen procesów wyjściowych wykorzystywanych w diagnostyce. Aby w pełni wykorzystać informacje o stanie technicznym diagnozowanego układu zawarte w emitowanych sygnałach wyjściowych należy poznać mechanizm ich generowania.

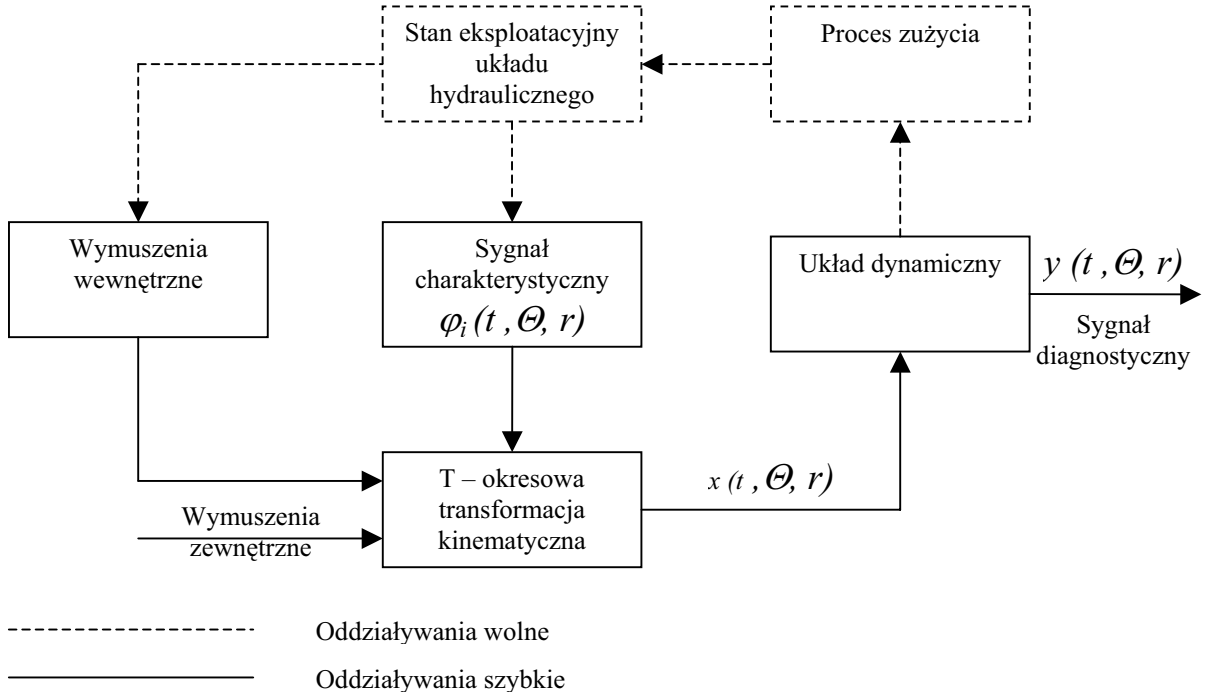
Podczas pracy, na skutek występowania szeregu czynników zewnętrznych (wymuszeń), w maszynie roboczej i jej układach następują zaburzenia stanów równowagi, które rozchodzą się w ośrodku sprężystym (materiale, z którego zbudowana jest maszyna). Zaburzenia te mają charakter dynamiczny i zachowują warunki równowagi pomiędzy stanami: bezwładności, sprężystości, tłumienia i wymuszenia. Zaburzenia rozchodzą się od źródeł w postaci fal w sposób zależny od własności fizycznych oraz granic konfiguracji, wymiarów i kształtu elementów składowych układu hydraulicznego. Wyodrębniając podczas analizy stanu dynamicznego układu hydrauliki siłowej procesy wejściowe, strukturę układu oraz procesy wyjściowe, należy pamiętać o ich losowym charakterze. Wejście wewnętrzne, traktowane jako zbiór wielkości wymuszających i określających strukturę układu hydraulicznego oraz sposób współpracy elementów składowych układu jest kształtowane w sposób losowy w trakcie procesu wytwarzania i ujawnia się własnościami losowymi w czasie eksploatacji.

Wejście zewnętrzne, określające warunki współpracy podsystemu, w skład którego wchodzą układy hydrauliczne, z pozostałymi podsystemami maszyny roboczej (np. podsystem napędowy) ma również charakter losowy. Charakter tych wymuszeń oraz sposób, w jaki przebiegają generowane przez nie procesy stanowią z reguły o własnościach losowych wykorzystywanych w diagnostyce procesów wyjściowych, prowadząc do budowy deterministyczno - probabilistycznych modeli diagnostycznych. Składowa deterministyczna modelu przedstawia idealną strukturę niezbędną do realizacji zadania i pozostającą niezmienną w czasie eksploatacji. Składowa probabilistyczna przedstawia

indeterminizm uwzględniający rzeczywistość - odchyłki od stanu idealnego na skutek losowości struktury i zdarzeń w procesie eksploatacji.

Duże prawdopodobieństwo zaistnienia losowości oraz zakłóceń wymaga poczynienia dodatkowych założeń dotyczących wejść oraz zachodzących transformacji stanów układu hydrauliki maszynowej.

W rezultacie istnienia wejścia i realizacji transformacji stanów reprezentujących procesy zachodzące w układzie hydraulicznym powstaje szereg dających się mierzyć objawów charakterystycznych zawartych w procesach wyjściowych z układu. Procesy te stanowią podstawę budowy modelu generacji sygnałów, determinującego sposób budowy, funkcjonowania i zmian stanu diagnozowanego układu hydraulicznego.



Rys. 2. Model generowania sygnału diagnostycznego w elementach hydraulicznych o ruchu okresowym [1][4]

Dla elementów układu hydraulicznego, takich jak pompy i silniki hydrauliczne, o stałym ruchu okresowym T i losowych zakłóceniach, model generowania sygnałów diagnostycznych (rys. 2) posiada następujące cechy [4]:

- Stan elementu jest jednoznacznie określony przez charakterystyczny sygnał φ(t,Θ) generowany oddzielnie przy każdym obrocie wału pompy lub hydraulicznego silnika obrotowego (suwie w przypadku silników liniowych). Sygnał ten ulega zmianom w czasie dynamicznym t oraz ewolucji w czasie wolnym Θ.
- Sygnał charakterystyczny składa się z procesu zdeterminowanego φ_0 i przypadkowego n, a jego intensywność i dynamika zmian charakteryzują stan elementu układu hydraulicznego. Podczas i-tego obrotu (suwu) generowany jest sygnał φ_i.

$$\varphi_i(t,\Theta) = \varphi_0(t,\Theta) + n_i(t,\Theta),$$
$$t \in (\Theta, T)$$

- Ruch okresowy elementu układu hydraulicznego przekształca sygnał charakterystyczny przez transformację kinematyczną na sygnał x(t,Θ). W pierwszym przybliżeniu transformację tę traktujemy jako T – okresowe powtarzanie sygnału okresowego:

$$x(t,\Theta) = \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i(t - iT, \Theta)\ u(t - iT) =$$
$$= \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i(t,\Theta) * \delta(t - iT)$$

gdzie:

$$u(q) = \begin{cases} 0, q \le 0 \\ 1, q > 0 \end{cases}$$
$$(*) - operacja\ splotu$$
$$\delta(t - iT) - okresowa\ dystrybucja\ Diraca$$

- Przekształcony sygnał charakterystyczny będący odwzorowaniem oddziaływań

dynamicznych jest odbierany jako y(t,Θ) i w najprostszym przypadku jest odpowiedzią układu dynamicznego o charakterystyce impulsowej h(t,Θ) na wymuszenie x(t,Θ). Po uwzględnieniu rozległości przestrzennej r elementu układu hydraulicznego otrzymujemy:

$$y(t,\Theta,r)=\sum_{i=1}^{\infty}\varphi_i(t,\Theta,r)*h(t,\Theta,r)\cdot\delta(t-iT)$$

- Procesy wyjściowe z elementów układu hydrauliki maszynowej wpływają zwrotnie na procesy zużyciowe występujące w tych elementach i w dalszej kolejności na stan eksploatacyjny układu przez dodatnie, destrukcyjne sprzężenie zwrotne, zniekształcając sygnał $\varphi_i(t,\Theta)$.
- Dla ustalonej wartości czasu eksploatacji wszystkie obiekty dynamiczne traktowane są jako liniowe, stacjonarne układy, których własności opisuje jednoznacznie odpowiedź impulsowa h(t,Θ,r) albo jej transformaty: operatorowa Laplace'a H(p,Θ) lub widmowa Fouriera H(jω,Θ).

Z analizy oddziaływań wolnych i szybkich przedstawionych na rysunku 2 wynika, że przy założeniach liniowości i stacjonarności układu dynamicznego h(t,Θ,r) sygnał diagnostyczny y(t,Θ,r) będzie T-okresowy, co może być wykorzystane do orzekania o okresowości funkcjonowania maszyn roboczych.

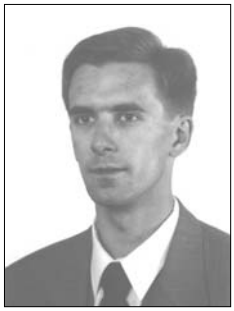
Przedstawiony model generacji sygnału diagnostycznego w elementach układów hydraulicznych jest w ogólnym przypadku oddziaływań okresowych prawdziwy, lecz nie zawsze prosty. W większości przypadków układy hydrauliki maszynowej są złożone i mamy wówczas do czynienia z dużą ilością zdarzeń elementarnych, przy czym najczęściej nie mają one wspólnego okresu T, lecz zawsze będą w liniowej zależności od pewnego okresu podstawowego T_0 ($T = \alpha T_0$, $0<\alpha<\infty$).

4. PODSUMOWANIE

Dla prawidłowej i jednoznacznej oceny stanu technicznego elementów układów hydraulicznych maszyn roboczych metodami diagnostyki technicznej niezbędny jest wybór odpowiednich sygnałów diagnostycznych. Pomocna przy tym jest znajomość źródeł tych sygnałów oraz procesów ich generowania w rozpatrywanych elementach hydraulicznych.

LITERATURA

[1] Chalamoński M., Diagnozowanie układów hydraulicznych maszyn roboczych, Wyd. Uczelniane ATR, Bydgoszcz, 2000.
[2] Chalamoński M., Menchen P., Analiza diagnostyczna układów hydrauliki maszynowej, Materiały XIII Konferencji CYLINDER 2003, Szczyrk, 2003.
[3] Menchen P., Sygnały diagnostyczne w elementach układów hydrauliki siłowej, Materiały Jubileuszowej Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Rozwój budownictwa, budowy maszyn, techniki rolniczej oraz edukacji technicznej", Olsztyn, 2004.
[4] Żółtowski B., Podstawy diagnostyki maszyn, Wyd. Uczelniane ATR, Bydgoszcz, 1996.
[5] Żółtowski B., Badania dynamiki maszyn, Wydawnictwo Markar – B.Ż., Bydgoszcz, 2002.



Piotr MENCHEN - mgr inż., jest asystentem w Katedrze Maszyn Roboczych i Pojazdów Wydziału Mechanicznego ATR w Bydgoszczy. Członek PTDT i SIMP. Głównym obszarem zainteresowań naukowych autora są zagadnienia eksploatacji oraz diagnostyki układów hydraulicznych maszyn roboczych.

DIAGNOSTYKA W PROCESIE WYCENY WARTOŚCI POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH I USTALANIU PRZYCZYN ORAZ NASTĘPSTW USZKODZEŃ

Ryszard JEDLIŃSKI

Akademia Techniczno – Rolnicza w Bydgoszczy
Wydział Mechaniczny
Katedra Techniki Cieplnej i Metrologii
85-796 Bydgoszcz, tel/fax: (0-52) 3408654, e-mail: jedlin@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W ostatnim okresie obserwuje się gwałtowny rozwój rynku wtórnego pojazdów (zakup i sprzedaż pojazdów używanych), odczuwalny szczególnie po wejściu Polski do Unii Europejskiej. Przyczyniło się to do wzrostu liczby sprowadzanych pojazdów często powypadkowych, poddawanych przed przekroczeniem granicy pośpiesznym naprawom, których stan techniczny jest trudny do oszacowania dla potencjalnego nabywcy. Opisywana sytuacja wymaga odpowiedniego przygotowania kadry rzeczoznawców, którzy będą posiadać niezbędne predyspozycje fachowe i dysponować podstawową aparaturą diagnostyczną.

Słowa kluczowe: pojazd samochodowy, zużycie, badania diagnostyczne, wycena, aparatura

DIAGNOSTICS IN ASSESSMENT PROCESS OF VEHICLE VALUE AND SETTLEMENT CAUSES AS WELLE AS DAMAGE REPERCUSSION

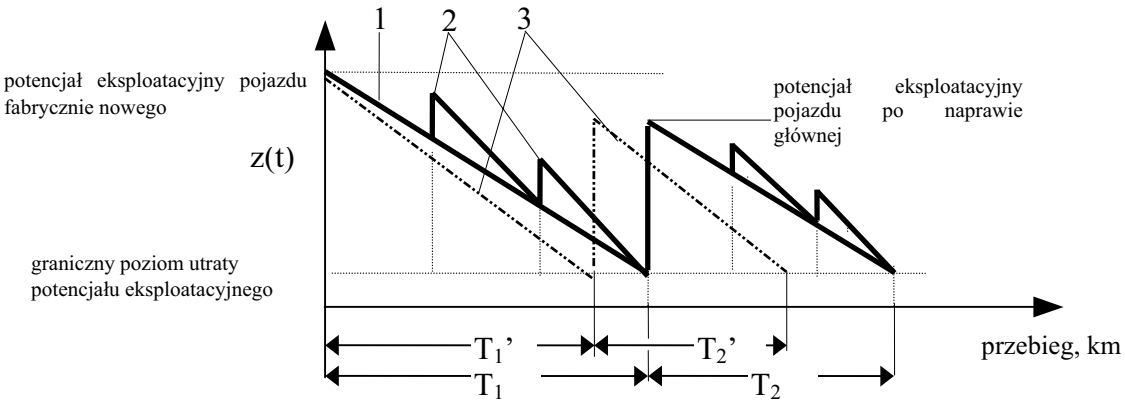
Summary

Nowadays, we had seen fast development of vehicles secondary market (the purchase and sale of used vehicles), perceptible particularly after entry of Poland to European Union. This contributed to growth of vehicles imported number, often seriously damaged, subjected before crossing border hasty resuscitative repairs, which technical state is difficult to estimation for potential buyer. Described situation requires responsibly preparation of experts' personnel that will possess indispensable professional predispositions and will dispose basic diagnostic apparatus.

Keywords: cars, technical waste, diagnostics investigations, assessment process, equipment

1. PROCESY ZUŻYWANIA SIĘ POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH I ICH ELEMENTÓW

Dowolny nowy obiekt techniczny wykonany zgodnie z wymaganiami zawartymi w dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej posiada pełny potencjał eksploatacyjny (rys.1). W miarę użytkowania i wykonanej przez obiekt pracy potencjał ten ulega obniżeniu [2]. Następuje to w efekcie zmian fizyko - chemicznych elementów: zużycia par trących, zmęczenia materiału, procesów korozyjnych. Opisywane zmiany powodują wzrost luzów, obciążeń dynamicznych i drgań, wpływających na obniżenie mocy, zmniejszenie wydajności, podwyższenie zużycia paliwa, oraz podwyższenie uszkadzalności. Niewykonywa nie okresowych czynności polegających na wymianie olejów, wkładów filtrów paliwa i filtrów oleju, uszczelek, regulacji: sprzęgła, hamulców, zaworów, wtryskiwaczy, utrzymywaniu właściwego ciśnienia w ogumieniu kół jezdnych, prowadzi w konsekwencji do wzrostu intensywności oddziaływań destrukcyjnych czynników wymuszających i przyspieszonej utraty potencjału eksploatacyjnego (linia 3 na rysunku 1). Aby móc ocenić stopień wykorzystania potencjału eksploatacyjnego niezbędna jest szczegółowa informacja o przebiegu procesu eksploatacji pojazdów: dokumentacja eksploatacyjna - książki pracy i uszkodzeń, książki serwisowe oraz kartoteki środków trwałych. Brak takiej informacji stanowi poważne utrudnienie w realizacji wyceny wartości maszyny.



Rys. 1. Zmiana potencjału eksploatacyjnego pojazdu w czasie eksploatacji: 1- charakter zmiany potencjału eksploatacyjnego pojazdu prawidłowo użytkowanego i obsługiwanego, 2 – czynności okresowego obsługiwania technicznego, 3- charakter zmiany potencjału eksploatacyjnego pojazdu, w którym nie są wykonywane okresowe czynności obsługowe

2. METODY WYCENY WARTOŚCI POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH ORAZ OCENY PRZYCZYN I SKUTKÓW USZKODZEŃ

2.1. METODY WYCENY WARTOŚCI POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

W czasie, kiedy nie funkcjonował w naszym kraju normalny rynek maszyn i pojazdów wycenę wykonywano zgodnie z wytycznymi zawartymi w Zarządzeniu Nr 308/72 Państwowej Komisji Cen z dnia 18.08.1972 wykorzystując zależność:

$$W = W_b \cdot \left(1 - \frac{S\%}{100}\right) \cdot K \cdot R \qquad (1)$$

gdzie

- W - cena sprzedażna pojazdu,
- W_b - wartość bazowa (początkowa) pojazdu fabrycznie nowego),
- S% - ogólny stopień zużycia fizycznego pojazdu,
- K - współczynnik nowoczesności konstrukcji pojazdu,
- R - współczynnik podaży i popytu zależny od aktualnej sytuacji rynkowej.

Przyjmując za podstawę wskazówki dla rzeczoznawców realizujących wyceny oraz oceny techniczne pojazdów i ciągników [6] wydane przez Zespół Ośrodków Rzeczoznawstwa i Postępu Technicznego „ZORPOT” w procesie wyceny posługiwano się wskaźnikami zużycia, których wartość przyjmowano w zasadzie według uznania dokonującego wycenę. Przykładowo dla pojazdu nowego S% przyjmowano równe 5…10 %, dla pojazdu kwalifikującego się do przeglądu, regulacji, lub naprawy bieżącej 45…50%, niezdatnego do użytkowania, gdy dokonywanie napraw było technicznie i ekonomicznie nieuzasadnione 89…90%. Jeżeli zespół lub cały pojazd był bezpośrednio po naprawie głównej, przyjmowano od razu jego stopień zużycia nie mniejszy niż 40%.

Wartość współczynnika nowoczesności przyjmowano w granicach od 0,3 do 1,0 w sposób niejednokrotnie subiektywny, gdyż nie było wiadomo czy ocenę nowoczesności odnosić do porównywalnych obiektów krajowych, czy też również zagranicznych. Współczynnik podaży i popytu w zależności od sytuacji rynkowej kształtował się w granicach 0,7…1,2. **Opisywany sposób wyceny nazywany jest wyceną metodą odtworzeniową.**

Wycena wartości pojazdu metodą rynkową polega na założeniu, że jest on wart tyle ile zamierza za niego zapłacić nabywca. Stosując metodę rynkową podczas wyceny pojazdu wykorzystuje się zależność (2), w której ustalanie wartości rynkowej pojazdu rozpoczyna się od przyjęcia wartości bazowej a następnie przeprowadza się korekty tej wartości odpowiednio do różnic pomiędzy wycenianym konkretnym pojazdem a pojazdem bazowym.

$$W = \left(W_b \cdot k_w + K_r\right) \cdot k_p \cdot k_x \pm K_n + K_g \qquad (2)$$

gdzie:

W- ustalana wartość rynkowa pojazdu,
W_b- wartość bazowa pojazdu,
k_w- współczynnik korekty dotyczącej wyposażenia,
Kr- wartość korekty dotyczącej daty pierwszej rejestracji,
kp- współczynnik korekty dotyczącej przebiegu,
kx- współczynnik korekt różnych,
Kn- wartość korekty z tytułu koniecznej naprawy,
Kg- wartość korekty dotyczącej stanu ogumienia.

Dla potrzeb rzeczoznawców przeprowadzających wyceny została opracowana

metodyka jej przeprowadzania [4], uaktualniane co miesiąc katalogi wartości rynkowych pojazdów samochodowych [5], oraz odpowiednie programy komputerowe.
Współczynniki korekcyjne (tab.1) obejmują wszystkie podstawowe czynniki mające istotny wpływ na wartość pojazdu (podwyższenie lub obniżenie tej wartości w stosunku do wartości bazowej).

Tabela 1. Współczynniki korekcyjne

Oznaczenie	Wyszczególnienie
kw	Korekta dotycząca wyposażenia
Kr	Korekta dotycząca daty pierwszej rejestracji
kp	Korekta dotycząca przebiegu
kx	Korekty różne dotyczące cech pojazdu: korekta ze względu na **stan utrzymania i dbałość** o pojazd, korekta ze względu na **szczególny charakter eksploatacji**, korekta z tytułu wcześniej wykonanych **napraw powypadkowych** i eksploatacyjnych, korekta ze względu na **liczbę właścicieli** pojazdu, korekta ze względu na **brak aktualnych badań technicznych,** korekta ze względu na **niewłaściwe serwisowanie pojazdu**, korekta ze względu na lokalną **sytuację rynkową,** korekta z uwagi na **nieoryginalność numerów identyfikacyjnych** lub brak dokumentów, korekta za niefabryczny montaż pojazdu (**składak**)
Kn	Korekta dotycząca napraw
Kg	Korekta dotycząca stanu ogumienia

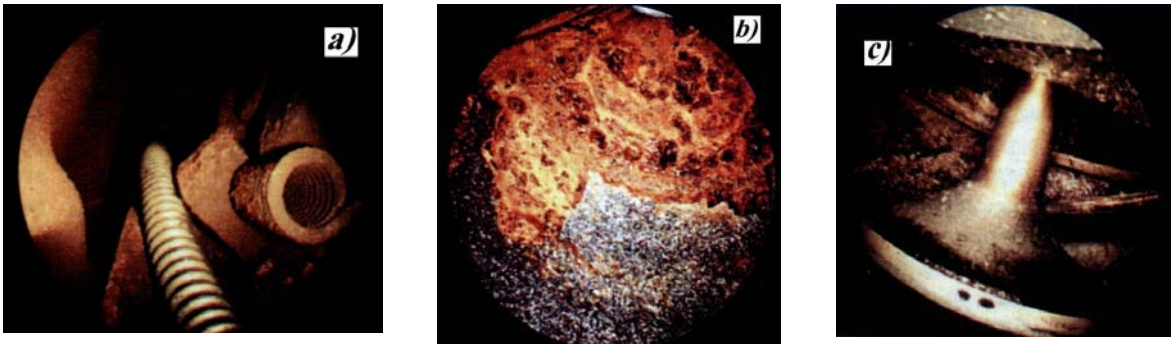
Częstokroć w procesie wyceny w miarę występujących potrzeb lub na życzenie zainteresowanych wykonywane są specjalne badania i pomiary. Są one realizowane szczególnie w przypadku podejrzenia wykonywania przez zbywającego napraw powypadkowych. Samochodowy **tester** grubości lakieru (rys. 2) jest elektronicznym przyrządem umożliwiającym szybkie dokonanie pomiaru grubości lakieru metodą porównawczą. Metoda ta polega na przyrównaniu otrzymanego wyniku pomiaru do wartości odpowiadającej grubości fabrycznej warstwy lakieru danego modelu samochodu.

Rys. 2. Pomiar grubości powłoki lakierowej przy pomocy testera

Tester mierzy także grubość warstwy kitu szpachlowego i umożliwia stwierdzenie, czy samochód posiada oryginalny lakier, czy też był lakierowany lub pod lakierem znajduje się warstwa kitu szpachlowego, który posiada przy nadmiernej grubości, słabe własności i mechaniczne i jest podatny na pękanie i odpadanie. Najczęściej spotykamy się z pokryciami zbyt grubymi, które powstają w wyniku nakładania kolejnych warstw lakieru na warstwę wykonaną przez producenta.
Endoskop warsztatowy [1] nadaje się idealne do odczytywania numerów silnika, oraz oceny stanu technicznego elementów pojazdów niedostępnych bez wykonania czynności demontażowych. Endoskopy (rys. 3) oparte na nowoczesnej technologii optycznej pozwalają na kontrolę i diagnozowanie usterek w silnikach pojazdów samochodowych drzwiach samochodowych, progach oraz innych trudno dostępnych miejscach.

Rys. 3. Ogólny widok endoskopu

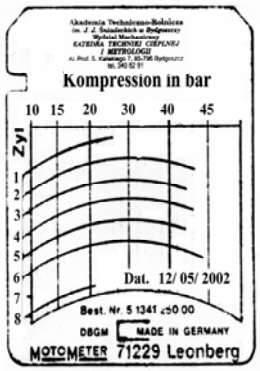
Przykładem może być ocena (rys. 4) stanu głowicy silnika i gniazd zaworowych, elementów układu hamulcowego lub ocena stanu profili zamkniętych nadwozia [1]. Praktyka wykazała, że częstokroć pięknie polakierowany pojazd posiada kompletnie skorodowane profile wewnętrzne nadwozia w których jako wypełniacze stosuje się zupełnie nieoczekiwane materiały.



Rys. 4. Zarejestrowany przy pomocy endoskopu widok: a) - wnętrza bębna hamulcowego, b) - skorodowanej powierzchni blachy zamkniętego profilu drzwi samochodu osobowego, c) - otwarty zawór wydechowy- widoczny nagar na ściankach zaworu

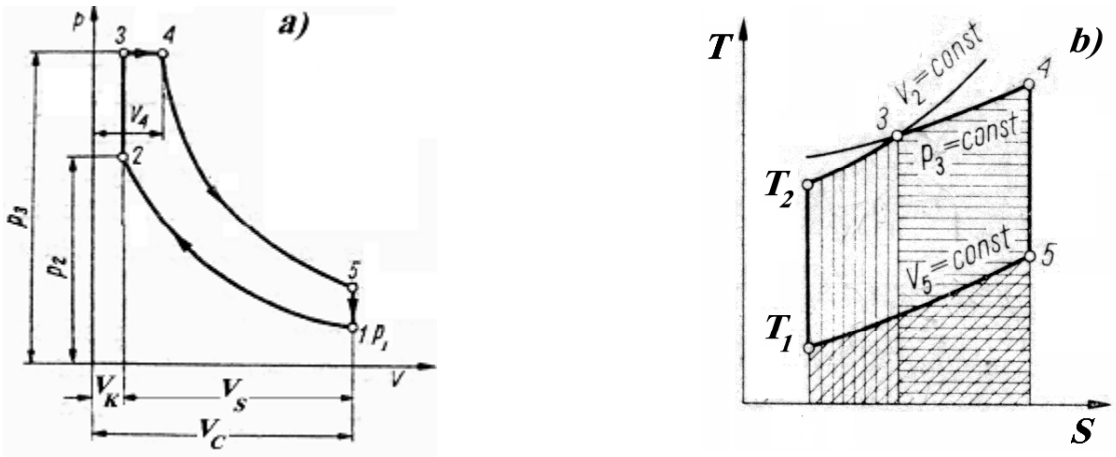
2.2. PRZYKŁAD OCENY STANU TECHNICZNEGO SILNIKA I USTALENIA GENEZY JEGO USZKODZENIA

W ramach działalności jako rzeczoznawca zetknięto się z przypadkiem, w którym należało ustalić przyczynę nieprawidłowej pracy silnika ZS pojazdu samochodowego. Objawami niewłaściwej pracy były trudności w uruchomieniu silnika, obniżona moc, czarne spaliny, oraz stuki pochodzące z obszaru układu korbowo- tłokowego. Po zapoznaniu się z przebiegiem eksploatacji silnika (karty pracy, rejestr uszkodzeń, rejestr wykonanych czynności obsługowych) wykonano pomiar ciśnienia sprężania w poszczególnych cylindrach. Wynik pomiaru (rys. 5) wykazał jednoznacznie zbyt niskie ciśnienie sprężania w I cylindrze badanego silnika. Brak takiego przyrządu jak endoskop uniemożliwił przeprowadzenie oceny stanu technicznego tłoka (czy nie ma uszkodzenia górnej powierzchni), oraz tulei cylindrowej.



Rys. 5. Wyniki pomiaru ciśnienia sprężania w cylindrach badanego silnika

Wykorzystując wyniki przeprowadzonych badań oraz równania opisujące przebieg procesów zachodzących w czasie pracy silnika podjęto próbę oceny analitycznej w celu ustalenia, jakie konsekwencje dla pracy silnika powoduje obniżona w tak znacznym stopniu wartość ciśnienia sprężania. Dla ustalenia przyczyn i następstw uszkodzenia posłużono się metodą dedukcji. Dedukcja jest to rodzaj rozumowania logicznego mającego na celu dojście do określonego wniosku na podstawie założonego wcześniej zbioru przesłanek.



Rys. 6. Wykres obiegu teoretycznego (Seiligera) silnika ZS: a – w układzie p - V, b - w układzie T - s

Wykorzystując znane zależności [3] dla obiegu teoretycznego silnika (rys. 6) postanowiono obliczyć i sprawdzić realną wartość stopnia sprężania oraz temperaturę w końcu suwu sprężania w badanym silniku w odniesieniu do cylindra I i cylindra VI:

$$p_2 = p_1 \cdot \varepsilon^n \qquad (1)$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{n-1} \qquad (2)$$

W tabeli 2 przedstawiono wartości przyjętych do obliczeń danych wyjściowych oraz wyniki obliczeń.

Tabela 1. Zestawienie wyników obliczeń

Wyszczególnienie	Cylinder I	Cylinder VI
Ciśnienie sprężania p2, MPa	26	44
Ciśnienie początku suwu sprężania p1, MPa	1,1	1,1
Wartość politropy sprężania, n	1,27	1,27
Temperatura świeżego ładunku, T1, K	420	420
Tempera gazów w końcu suwu sprężania T2, K	830	922
Stopień sprężania ε	12,7	18,45

Z analizy danych zawartych w tabeli 3 wynika, że stwierdzona nieprawidłowa wartość ciśnienia sprężania w I cylindrze wpływa w sposób ujemny na przebieg procesów cieplnych zachodzących w czasie pracy silnika. Zmniejszona wartość ciśnienia sprężania jest powodem tego, że temperatura powietrza w końcu suwu sprężania nie osiąga wymaganej wartości ok. 900 K [3]. Tym można tłumaczyć trudność w uruchomieniu silnika, oraz dużą ilość sadzy w gazach spalinowych.

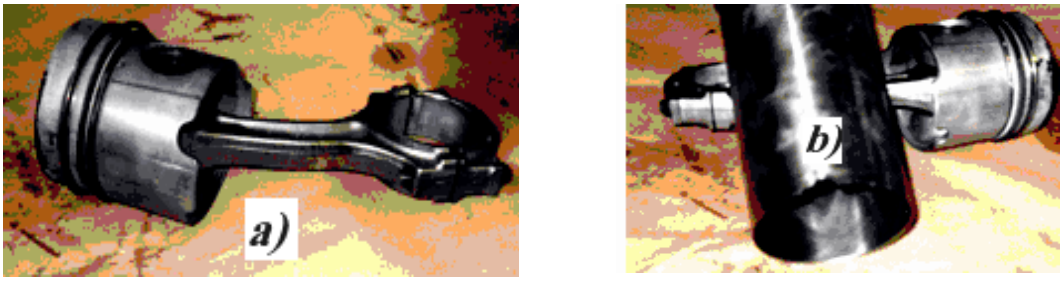
Przyjmując za podstawę wyniki obliczeń uzyskano zaskakującą informację, że stopień sprężania w I cylindrze wynosi jedynie 12,7. Po głębokiej analizie wyników obliczeń, dokumentacji eksploatacyjnej, oraz przeprowadzonym wywiadzie technicznym podjęto decyzję o wymontowaniu korbowodu i tłoka I cylindra. Potwierdziły się przypuszczenia co do postaci uszkodzenia - skrzywienie korbowodu (wyboczenie), oraz uszkodzenie dolnej części tulei cylindrowej (odgłosy tarcia korbowodu o tuleję sygnalizowali kierowcy). Widok uszkodzonego korbowodu i tulei przedstawiono na rysunku 7.

W następstwie skrzywienia korbowodu zwiększyła się objętość komory sprężania i obniżyła wartość stopnia sprężania opisywana zależnością (5):

$$\varepsilon = \frac{V_S + V_K}{V_K} \qquad (5)$$

Przyjęto hipotezę, że przyczyną powstania uszkodzenia silnika było nieprzestrzeganie wymagań procesu technologicznego w czasie wykonywania oceny stopnia zużycia układu korbowo-tłokowego silnika (pomiar szczelności) w zapleczu serwisanta.

Wlany na czas pomiaru do I cylindra olej silnikowy nie został usunięty przed zamontowaniem wtryskiwacza i uruchomieniem silnika co spowodowało uderzenie hydrauliczne i odkształcenie (wyboczenie) korbowowodu w tym właśnie cylindrze.



Rys. 1. Widok uszkodzonego: a) korbowodu; b) tulei cylindrowej

Dalsze czynności kontrolne polegały na sprawdzeniu czy w wyniku zaistniałego zdarzenia nie został skręcony wał korbowy silnika.

Gdyby istniała możliwość obejrzenia elementów układu korbowo- tłokowego przy pomocy endoskopu, decyzję o wymianie uszkodzonych elementów można było podjąć o wiele wcześniej, unikając kosztów związanych z wieloma opiniami i czynnościami regulacyjnymi. Wydaje się, że konstruktorzy pojazdów powinni podjąć prace mające na celu przystosowanie pojazdów do badań diagnostycznych z wykorzystaniem endoskopii. W ostatnim okresie wprowadzono do sprzedaży tanie endoskopy

realizujące podstawowe funkcje, które można nabyć w cenie poniżej 2000 zł. Daje to możliwość zakupu tych urządzeń przez stacje obsługi samochodów, stowarzyszenia rzeczoznawców, oraz osoby prywatne.

2. WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzona analiza literatury dotyczącej zużycia i uszkodzeń elementów pojazdów oraz wyceny ich wartości i oceny szkód powypadkowych, jak również wyników przeprowadzonych rozważań własnych daje podstawy do sformułowania następujących wniosków końcowych:

Stosowana nieraz w praktyce metoda odtworzeniowa wyceny jest niezgodna z aktualnymi przepisami w tym zakresie i wymaganiami Unii Europejskiej. W aktualnej rzeczywistości jedyną metodą wyceny zgodną z ustaleniami odpowiednich władz jest metoda rynkowa.

Dla potrzeb rzeczoznawcy dokonującego wycenę powinny być dostępne podstawowe przyrządy diagnostyczne wykorzystanie których sprzyja obiektywizacji wyceny.

Ustalenie genezy powstania niezdatności pojazdu samochodowego jest w wielu przypadkach możliwe na drodze analitycznej poprzez analizę na przykład procesów termodynamicznych których zakłócenie objawia się obniżeniem mocy, zwiększeniem zużycia paliwa i toksyczności spalin.

LITERATURA

[1] Bogdański J.: Endoskop warsztatowy. Auto Moto Serwis – 1/2002, str.22.

[2] Jedliński R.: Kryteria i metody oceny jakości i nowoczesności ciągników i maszyn rolniczych i ich wpływ na wycenę. Materiały Konferencji Szkoleniowej dla Rzeczoznawców. Łódź-Arturuwek, 2002.

[3] Wajand A.: Silniki o zapłonie samoczynnym. WNT, Warszawa 1980.

[4] Instrukcja określania wartości pojazdów Nr 1/2000 z dnia 18.05.2000 roku (zatwierdzona do stosowania w Stowarzyszeniu Rzeczoznawców Techniki Samochodowej i Ruchu Drogowego i w Komputerowym Systemie INFO-EKSPERT).

[5] Praca zbiorowa: Pojazdy samochodowe – wartości rynkowe. Wydawnictwo INFO – EKSPERT, Warszawa 2005.

[6] Praca zbiorowa: Wskazówki dla rzeczoznawców realizujących oceny techniczne pojazdów samochodowych i ciągników. Wydana przez Zespół Ośrodków Rzeczoznawstwa i Postępu Technicznego „ZORPOT"`

Dr hab. inż. Ryszard JEDLIŃSKI, profesor nadzw. ATR w działalności naukowej zajmuje się ogólnie rozumianą problematyką konstrukcji i eksploatacji pojazdów samochodowych. Jego dorobek to około 100 publikacji w tym 3 pozycje książkowe (własne i współautorskie). Recenzent prac naukowych doktorskich realizowanych w kraju i za granicą. Organizator cyklicznych międzynarodowych konferencji naukowych „Zagadnienia jakościowe, energetyczne i eksploatacyjne maszyn cieplnych". Jednostka którą kieruje współpracuje z Uniwersytetem Technicznym we Lwowie (Ukraina), Politechniką Łódzką Instytut Papiernictwa i Poligrafii, Komunalnym Przedsiębiorstwem Energetyki Cieplnej w Bydgoszczy. Rzeczoznawca Dyplomowany SIMP.

MODELOWANIE I SYMULACJA DRGAŃ UKŁADU NOŚNEGO MANIPULATORA DLA POTRZEB STEROWANIA MODALNEGO PRZY ENERGETYCZNYM WSKAŹNIKU JAKOŚCI

Krzysztof KALIŃSKI, Krzysztof JASIŃSKI

Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów
80-952 Gdańsk ul. Narutowicza 11/12, fax. (0-58) 347-29-29, email kkalinsk@o2.pl, kkjasinski@o2.pl

Streszczenie

W pracy rozważa się drgania modelowanego dyskretnie niestacjonarnego układu nośnego manipulatora IRb–6 metodą sztywnych elementów skończonych. Do nadzorowania drgań wykorzystano algorytm sterowania modalnego przy energetycznym wskaźniku jakości. Uwzględnia on zmianę w czasie, względem trajektorii ruchu zadanego, energii potencjalnej, kinetycznej oraz energii sygnału sterującego. Przedstawiono zmodyfikowany model dyskretny, uwzględniający podatność połączenia przegubowego między ramionami robota. Model obliczeniowy został zweryfikowany za pomocą eksperymentalnej analizy modalnej.

Słowa kluczowe: roboty, modelowanie, sterowanie, symulacja

MODELLING AND SIMULATION OF THE STRUCTURAL MODEL VIBRATION OF MANIPULATOR'S CARRYING SYSTEM FOR A USE OF MODAL CONTROL AT ENERGY PERFORMANCE INDEX

Summary

Here is considered vibration of modified discrete model of non-stationary carrying system of manipulator IRb-6. For a use of vibration surveillance, an algorithm of modal control at energy performance index has been applied. It comprises changes with time, along trajectory of given motion, of potential, kinetic and control energies. Modification of the discrete model allows us to include flexibility of a joint between robot arms. The model is well-verified by experiments.

Keywords: robots, modelling , control, simulation

1. WSTĘP

Skuteczną metodę nadzorowania drgań układów niestacjonarnych za pomocą sterowania optymalnego przy uzmiennionym w czasie energetycznym wskaźniku jakości przedstawiono w pracy [1], ale wykorzystanie tego sposobu wymaga zmian wzmocnień regulatora w trybie *on–line*. Zaproponowano zatem uproszczony sposób nadzorowania drgań w układzie niestacjonarnym, który polega na tymczasowym założeniu jego stacjonarności. Podejście to pozwala na wyznaczenie optymalnego sygnału sterującego postaciami drgań swobodnych w układzie zachowawczym.

W dalszej kolejności, wyznaczonym w ten sposób optymalnym sygnałem sterującym oddziałuje się na układ niestacjonarny.

2. STEROWANIE MODALNE DRGANIAMI ROBOTA PRZY ENERGETYCZNYM WSKAŹNIKU JAKOŚCI [2]

W pracy [1] wykazano, że macierzowe równanie dynamiki sterowanego układu niestacjonarnego we współrzędnych uogólnionych ma postać:

$$\mathbf{M}^*\ddot{\mathbf{q}}^* + \mathbf{L}^*\dot{\mathbf{q}}^* + \mathbf{K}^*\mathbf{q}^* = \mathbf{f}^* + \mathbf{B}_u^*\mathbf{u}. \qquad (1)$$

przy czym symbole $\mathbf{M}^*$, $\mathbf{L}^*$, $\mathbf{K}^*$, $\mathbf{B}_u^*$, $\mathbf{q}^*$, $\mathbf{f}^*$ i $\mathbf{u}$ reprezentują kolejno macierze bezwładności, tłumienia, sztywności i sterowań, oraz wektory przemieszczeń uogólnionych, sił uogólnionych i sygnałów sterujących w układzie.

Energetyczny wskaźnik jakości, który uwzględnia zmianę w czasie energii kinetycznej i potencjalnej układu względem trajektorii ruchu zadanego, a także chwilową energię sygnału sterującego zapisujemy jako [1]:

$$J(t)=\frac{1}{2}\left(\dot{\mathbf{q}}^{*}-\dot{\bar{\mathbf{q}}}\right)^{T}\mathbf{Q}_1\mathbf{M}^{*}\left(\dot{\mathbf{q}}^{*}-\dot{\bar{\mathbf{q}}}\right)+ \\ +\frac{1}{2}\left(\mathbf{q}^{*}-\bar{\mathbf{q}}\right)^{T}\cdot\mathbf{Q}_2\mathbf{K}^{*}\left(\mathbf{q}^{*}-\bar{\mathbf{q}}\right)+\frac{1}{2}\mathbf{u}^{T}\mathbf{R}\mathbf{u} \quad (2)$$

gdzie:

$\mathbf{Q}_1, \mathbf{Q}_2$ – macierze bezwymiarowych współczynników wpływu,

$\mathbf{R}$ – macierz efektu sygnału sterującego.

W dalszych rozważaniach zakładamy symetrię macierzy $\mathbf{M}^{*}$, $\mathbf{K}^{*}$, $\mathbf{R}$, $\mathbf{Q}_1$ i $\mathbf{Q}_2$.

Optymalny sygnał sterujący $\mathbf{u}$, który minimalizuje wskaźnik jakości (2), wyznaczamy po przyjęciu tymczasowego założenia o stacjonarności układu ($\mathbf{M}^{*}$=const., $\mathbf{K}^{*}$=const.) oraz pominięciu efektu rozproszenia energii ($\mathbf{L}^{*}=\mathbf{0}$). Rozważamy więc równanie dynamiki układu zachowawczego:

$$\mathbf{M}^{*}\ddot{\mathbf{q}}^{*}+\mathbf{K}^{*}\mathbf{q}^{*}=\mathbf{f}^{*}+\mathbf{B}_u^{*}\mathbf{u}\,. \quad (3)$$

Po dokonaniu transformacji do współrzędnych modalnych, można wyznaczyć optymalny sygnał sterujący [2]:

$$\mathbf{u}=-\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}_u^{*T}\boldsymbol{\Psi}\left\{\mathbf{S}(t-t_0)\boldsymbol{\Psi}^{T}\mathbf{M}^{*}\mathbf{Q}_1\left(\dot{\mathbf{q}}^{*}-\dot{\bar{\mathbf{q}}}\right)+ \right. \\ \left.+\left[\mathbf{I}-\mathbf{C}(t-t_0)\right]\boldsymbol{\Omega}^{-2}\boldsymbol{\Psi}^{T}\mathbf{K}^{*}\mathbf{Q}_2\left(\mathbf{q}^{*}-\bar{\mathbf{q}}\right)\right\} \quad (4)$$

gdzie:

$$\mathbf{C}(t)=diag\left[\cos\left(\omega_{0\alpha}t\right)\right],\quad \alpha=1,\ldots,i_m,$$

$$\mathbf{S}(t)=diag\left[\omega_{0\alpha}^{-1}\sin\left(\omega_{0\alpha}t\right)\right],\quad \alpha=1,\ldots,i_m,$$

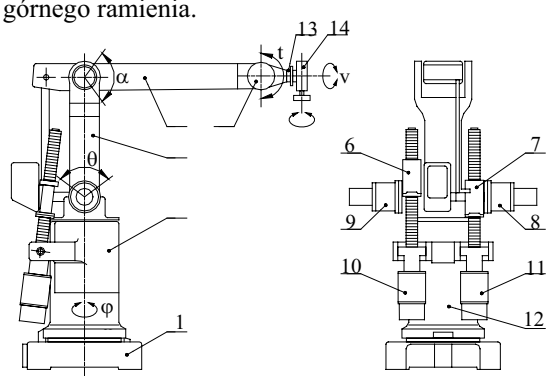
$\boldsymbol{\Psi}=\left[\boldsymbol{\Psi}_1\ \boldsymbol{\Psi}_2\ \ldots\ \boldsymbol{\Psi}_{i_m}\right]$, $\boldsymbol{\Psi}_\alpha$ - wektor postaci nr α.

Podczas sterowania układu niestacjonarnego opisanego równaniem (1) za pomocą sygnału (4) wykorzystuje się zmienne wzmocnienie regulatora, wyznaczane w trybie *off–line* na podstawie znanych okresowych funkcji czasu.

3. OBIEKT BADAŃ [2]

Przedmiotem rozważań jest układ nośny robota IRb-6. Robot IRb–6 składa się (rys. 1) z manipulatora, mocowanego sztywno do podłoża i układu sterowania. W części manipulacyjnej można wyróżnić podstawę (1), korpus (2), ramię dolne (3), ramie górne (4) oraz zespół przegubów (5) z końcówką kołnierzową (13), służącą do mocowania chwytaków lub narzędzi. Budowa robota IRb–6 zapewnia mu pięć stopni swobody, zaznaczonych na rysunku 1 odpowiednio, jako kąty φ, θ, α, t, v.

Ruchy poszczególnych elementów realizowane są przez zespoły napędowe, na które składają się zespoły silników i odpowiednie przekładnie mechaniczne. W skład każdego zespołu silnika wchodzi silnik prądu stałego, transformator położenia kątowego i prądnica tachometryczna. W podstawie (1) umieszczony jest zespół silnika (12) wraz z przekładnią falową, generujący ruch obrotowy korpusu (2). Napędy ruchów dolnego (3) i górnego ramienia (4), składające się z zespołu silnika (10) (11) i przekładni śrubowej tocznej oraz napędy ruchów zespołu przegubu (5), złożone z zespołu silnika i przekładni falowej, zamocowane są na korpusie manipulatora. Ramię dolne jest osadzone obrotowo we wsporniku korpusu. Obrót dolnego ramienia odbywa się za pomocą dźwigni napędzanej przez przekładnię śrubową (6) za pośrednictwem nakrętki. Ramię górne jest osadzone obrotowo w górnej części ramienia dolnego. Ruch obrotowy silnika jest przekazywany za pomocą przekładni śrubowej tocznej (7) na dwa pręty połączone przegubowo z nakrętką przekładni i tworzące razem z górnym i dolnym ramieniem równoległobok przegubowy, wywołujący obrót górnego ramienia.



Rys. 1. Manipulator robota IRb-6

Tabela 1 Dane techniczne robota IRb–6

Obrót dokoła podstawy φ	340 °
Obrót dokoła ramienia dolnego θ	± 40 °
Obrót dokoła ramienia górnego α	- 40 ° … 25 °
Pochylenie przegubu t	± 90 °
Skręcenie przegubu v	± 180 °
Wysokość korpusu	700 mm
Długość ramienia dolnego	450 mm
Długość ramienia górnego	670 mm
Dopuszczalne obciążenie	6 kg
Masa części manipulacyjnej	125 kg

Za pośrednictwem przekładni falowych i zespołów złożonych z tarcz obrotowych i cięgien umieszczonych po obu stronach zespołu ramion przekazywany jest ruch silników (8) (9) osi i do końcówki zespołu przegubu. Realizacja ruchu w ostatnim członie, nadającym ruch końcówce

kołnierzowej, odbywa się za pomocą przekładni stożkowej.

Układ sterowania umożliwia programowanie robota, pracę ręczną, pracę automatyczną krok po kroku oraz cykliczną, wpisywanie programu z pamięci wewnętrznej robota do zewnętrznej pamięci kasetowej lub pamięci PC i odwrotnie oraz synchronizację robota, tzn. sprowadzenie każdej osi robota do położenia przyjętego za zerowe.

4. MODEL OBLICZENIOWY[3]

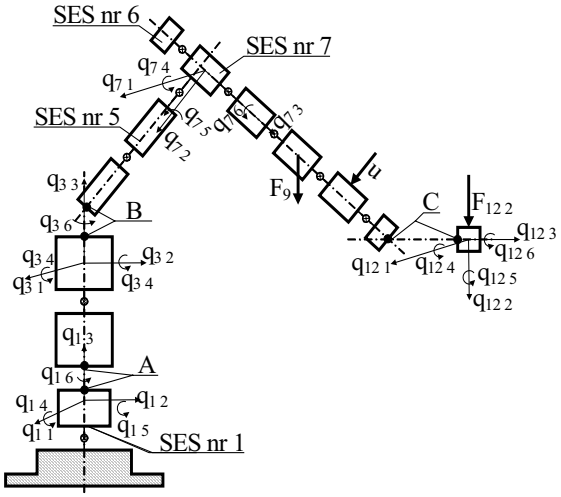
Model dyskretny manipulatora robota IRb–6 (rys. 2) utworzono metodą sztywnych elementów skończonych [4, 5], przyjmując następujące założenia.

1. W strukturze podstawy manipulatora wyodrębniono jeden sztywny element skończony (SES) nr 1. Został on połączony z podłożem za pomocą elementu sprężysto–tłumiącego (EST) nr 1. Przemieszczenia uogólnione SES nr 1 w ruchu drgającym (tj. $q_{1,1}$, $q_{1,2}$, $q_{1,3}$, $q_{1,4}$, $q_{1,5}$, $q_{1,6}$) opisano w jego lokalnym układzie współrzędnych. SES nr 1 jest obciążony siłą ciężkości $F_{1,3}$ (nie zaznaczono jej na rysunku). W obrębie SES nr 1 wyodrębniono punkt *A*, który należy również do korpusu manipulatora (SES nr 2).

2. W strukturze korpusu manipulatora:

– dokonano podziału na 2 sztywne elementy skończone (SES nr 2 i 3). Przemieszczenia uogólnione tych SES w ruchu drgającym opisano w ich lokalnych układach współrzędnych głównych centralnych osi bezwładności (np. dla SES nr 3 $q_{3,1}$, $q_{3,2}$, $q_{3,3}$, $q_{3,4}$, $q_{3,5}$, $q_{3,6}$). Ponadto, w SES nr 3 wyodrębniono punkt *B*, który jest także wspólny dla SES nr 4 (tj. należy do ramienia dolnego manipulatora). Siły zewnętrznego oddziaływania na wymienione SES stanowią siły ciężkości $F_{2,3}$, $F_{3,3}$ (nie zaznaczono ich na rysunku).

– własności sprężysto–tłumiące korpusu skupiono w jednym punkcie uzyskując w ten sposób EST nr 2, który łączy SES nr 2 z SES nr 3.



Rys. 2. Model dyskretny robota

3. W strukturze ramienia dolnego:

– wyodrębniono 2 sztywne elementy skończone (SES nr 4 i 5). Przemieszczenia uogólnione tych SES w ruchu drgającym opisano w lokalnych układach współrzędnych (np. dla SES nr 5 $q_{5,1}$, $q_{5,2}$, $q_{5,3}$, $q_{5,4}$, $q_{5,5}$, $q_{5,6}$). Połączenie SES nr 5 z nr 7, wymagało modyfikacji w stosunku do poprzednio zaproponowanego modelu [2]. Modyfikacja polegała na uwzględnieniu sztywności skrętnej pary kinematycznej obrotowej, poprzez połączenie SES nr 5 z 7 elementem sprężysto-tłumiącym nr 9. Siły zewnętrzne wymienionych SES stanowią składowe sił ciężkości $F_{4,2}$, $F_{4,3}$, $F_{5,2}$, $F_{5,3}$ (nie ma ich na rysunku).

– własności sprężysto-tłumiące ramienia dolnego skupiono w jednym punkcie. Uzyskano w ten sposób EST nr 3, który łączy SES nr 4 i 5.

4. W strukturze ramienia górnego:

– wyodrębniono 6 sztywnych elementów skończonych (SES) nr 6 – 11. Przemieszczenia uogólnione tych SES w ruchu drgającym opisano w lokalnych układach współrzędnych (np. dla SES nr 11 $q_{11,1}$, $q_{11,2}$, $q_{11,3}$, $q_{11,4}$, $q_{11,5}$, $q_{11\ 6}$). Ponadto, w obrębie SES nr 11 wyodrębniono punkt *C*, który jest także wspólny dla SES nr 12 (tj. należy do zespołu przegubu). Siły zewnętrzne wymienionych SES stanowią składowe sił ciężkości $F_{6,2}$, $F_{6,3}$, $F_{7,2}$, $F_{7,3}$, $F_{8,2}$, $F_{8,3}$, $F_{9,2}$, $F_{9,3}$, $F_{10,2}$, $F_{10,3}$, $F_{11,2}$, $F_{11,3}$.

– własności sprężysto–tłumiące ramienia górnego skupiono w 5 punktach uzyskując w ten sposób elementy sprężysto–tłumiące (EST) nr 4 – 8,które łączą poszczególne SES.

– do SES nr 10 dołączono wzbudnik drgań, którego siłę oddziaływania oznaczano na rysunku jako *u*, zaś jego położenie względem środka masy SES nr 10 wyznacza współrzędna $s_{10,2}$.

5. W strukturze zespołu przegubu:

– wyodrębniono 1 sztywny element skończony SES nr 12. Przemieszczenia uogólnione tego elementu drgającego opisano w lokalnych układach współrzędnych $q_{12,1}$, $q_{12,2}$, $q_{12,3}$, $q_{12,4}$, $q_{12,5}$, $q_{12,6}$. Siłę zewnętrzną działającą na ten SES stanowi siła ciężkości $F_{12,2}$.

Przemieszczenia uogólnione w ruchu drgającym SES nr 2, 4, 7, 12 potraktowano jako przemieszczenia w ruchu zależnym $\mathbf{q}_d$, zaś przemieszczenia uogólnione pozostałych elementów skończonych przyjęto jako niezależne $\mathbf{q}_i$.

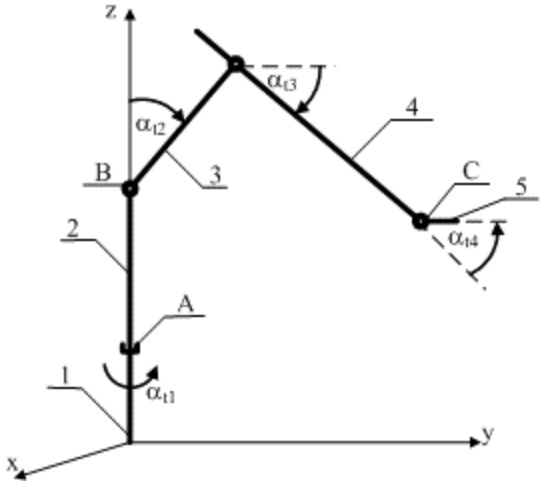
Dzięki wprowadzeniu między współrzędnymi zależnymi $\mathbf{q}_d$ i niezależnymi $\mathbf{q}_i$ równania więzów [1, 2]:

$$\mathbf{W}_i\mathbf{q}_i=\mathbf{W}_d\mathbf{q}_d \tag{5}$$

można sformułować równania dynamiki niestacjonarnego modelu manipulatora w postaci (1).

5. WYNIKI OBLICZEŃ

Uruchomiono w języku FORTRAN pakiet programów komputerowych do wyznaczania częstości i postaci drgań własnych wybranych konfiguracji manipulatora IRb-6.



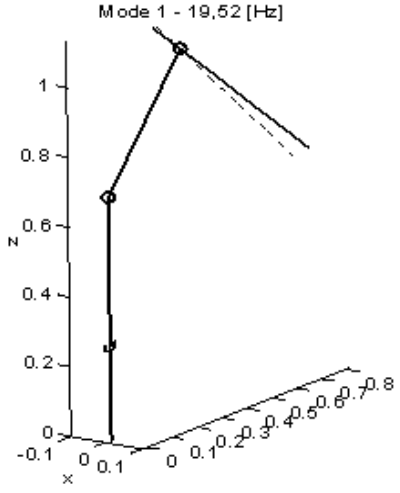
Rys. 3. Schemat kinematyczny robota IRb-6

Wykonano obliczenia dla wyznaczonych wcześniej wartości parametrów modelu dyskretnego. Przedstawiono graficznie postacie drgań własnych manipulatora odpowiadające czterem pierwszym częstościom (rys. 4) w przypadku, gdy wzajemne położenie jego członów opisują kąty $\alpha_{t1} = 0^0$, $\alpha_{t2} = \alpha_{t3} = \alpha_{t4} = 40^0$ (rys. 3).

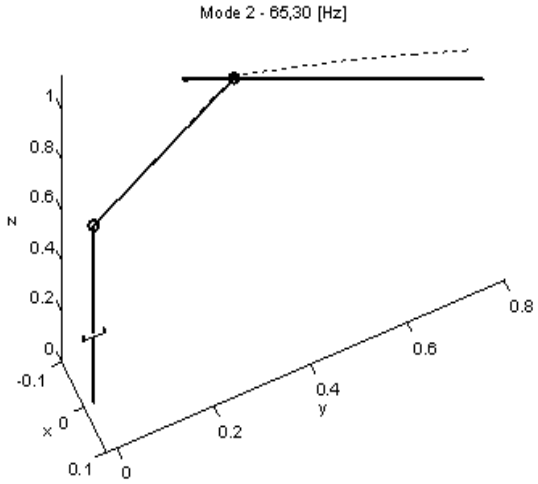
6. WERYFIKACJA EKSPERYMENTALNA MODELU OBLICZENIOWEGO [3]

W czasie prac nad opracowaniem modelu modalnego robota IRb-6 zbudowano na Katedrze Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów Politechniki Gdańskiej stanowisko badawcze do pomiaru drgań manipulatora robota (rys. 5).

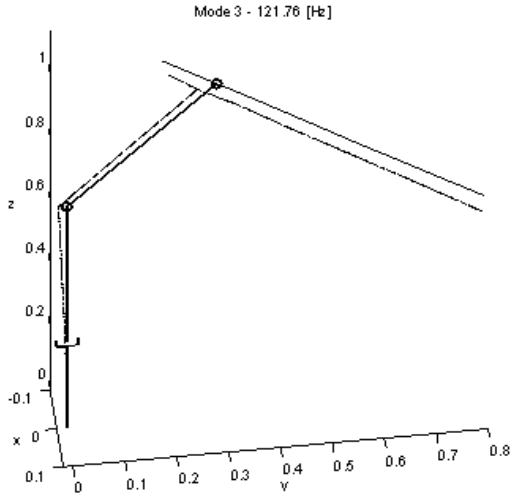
a)



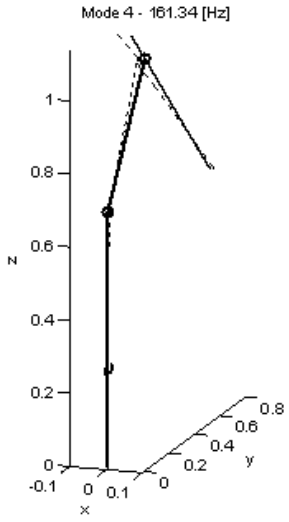
b)



c)



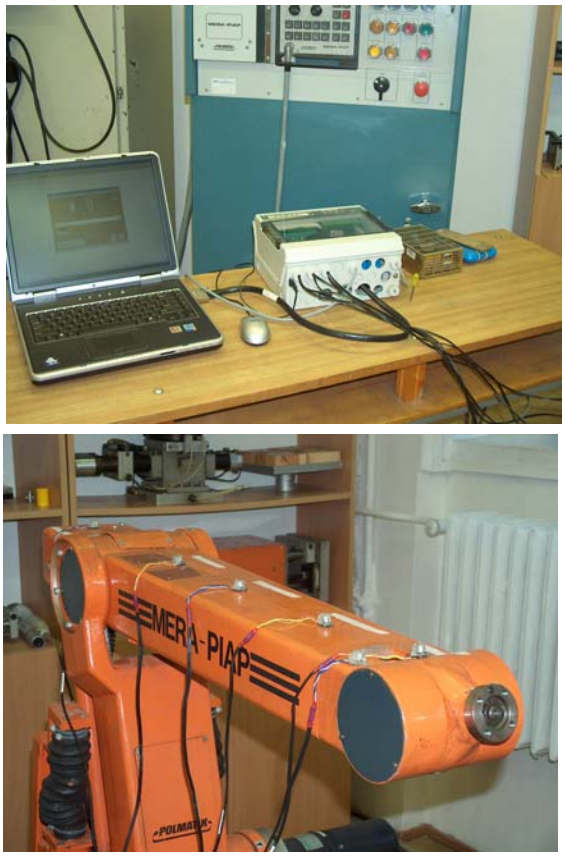
d)



Rys. 4. Cztery pierwsze postacie drgań własnych robota IRb-6

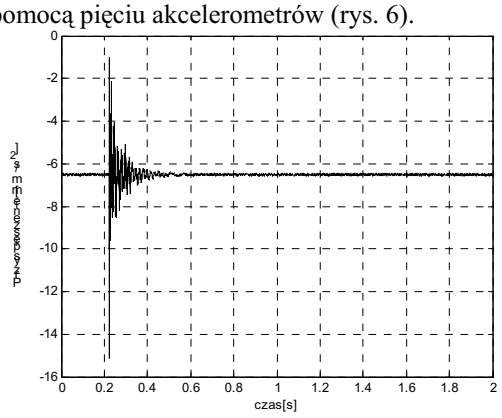
W skład stanowiska wchodzi między innymi komputerowy system przetwarzania danych, wzmacniacz z filtrami oraz sześć akcelometrów

piezoelektrycznych. Docelowo stanowisko po doposażeniu we wzbudniki piezoelektryczne, będzie wykorzystywane do nadzorowania drgań układu nośnego manipulatora.



Rys. 5. Stanowisko badawcze

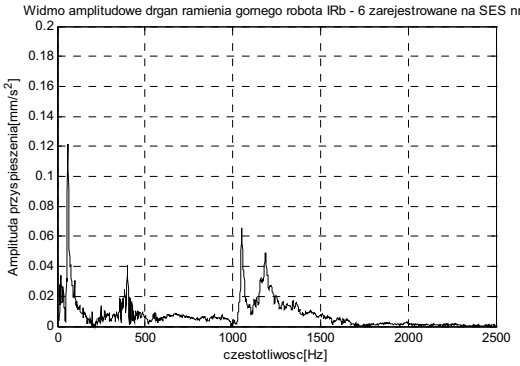
W celu weryfikacji poprawności opracowanego nominalnego modelu obliczeniowego przeprowadzono eksperyment modalny, polegający na wzbudzeniu do drgań ramienia górnego manipulatora i pomiarze amplitudy jego przyspieszeń drgań. Podczas badań rejestrowano przebieg czasowy przyspieszeń, mierzonych za pomocą pięciu akcelerometrów (rys. 6).



Rys. 6. Przebieg czasowy przyspieszeń zarejestrowany w miejscu odpowiadającym SES nr 8

Akcelerometry zamocowano w punktach odpowiadających położeniom SES modelu dyskretnego.

Należy zwrócić uwagę (rys. 6), że duże rozproszenie energii powoduje szybkie tłumienie drgań ramienia górnego manipulatora. Mimo, że czas pomiaru wynosił 2 s., do dalszej analizy należało wziąć próbki z okresu około 0,4 s, w którym w sposób wyraźny można zaobserwować drgania ramienia. Z tego, powodu uzyskiwane widma amplitudowe drgań charakteryzowały się małą rozdzielczością, pomimo dużej częstotliwości próbkowania 10 000 Hz (rys 7.)



Rys. 7. Widmo amplitudowe drgań zarejestrowanych w miejscu odpowiadającym SES nr 8

W związku z małą rozdzielczością widma amplitudowego, w celu zwiększenia dokładności przeprowadzono estymację parametrów modalnych w dziedzinie czasu, równolegle dwiema metodami.

Tabela 2 Zestawienie uzyskanych częstości drgań

Obliczenia numeryczne (dla modelu modyf.)	
I częstość drgań własnych	19,52 [Hz]
II częstość drgań własnych	65,30 [Hz]
Eksperymentalna analiza modalna	
I częstość drgań własnych	19,53 [Hz]
II częstość drgań własnych	59,82 [Hz]

Metodą Ibrahima (ITD. – ang. *Ibrahim Time Domain*) pozwalającą na wyznaczenie częstości, postaci drgań własnych, współczynników tłumienia oraz metodą aproksymacji przebiegów czasowych funkcji eksponencjalnych (LSCE – ang. *Polyreference Least Squares Complex Exponencial*), która oprócz możliwości określenia częstości drgań własnych umożliwia wyznaczenie logarytmicznego dekrementu tłumienia. W tabeli 2 przedstawiono wyznaczone eksperymentalnie częstości drgań własnych ramienia górnego manipulatora.

Na podstawie wyznaczonych wektorów postaci drgań własnych ramienia dokonano oceny zgodności (walidacji) modelu obliczeniowego z modelem uzyskanym z zastosowaniem eksperymentalnej analizy modalnej. Wykorzystano

w tym celu współczynnik zgodności modalnej MAC (ang. *Modal Assurance Criterion*) opisany zależnością [6]:

$$MAC^{e-a}(i,j) = \frac{\left(\boldsymbol{\Psi}_i^{aT} \cdot \boldsymbol{\Psi}_j^{e}\right)^2}{\left(\boldsymbol{\Psi}_i^{aT} \cdot \boldsymbol{\Psi}_i^{a}\right) \cdot \left(\boldsymbol{\Psi}_j^{eT} \cdot \boldsymbol{\Psi}_j^{e}\right)} . \quad (6)$$

gdzie:

$\boldsymbol{\Psi}_i^a$ - wektor obliczeniowych postaci drgań,

$\boldsymbol{\Psi}_i^e$ - wektor eksperymentalnych postaci drgań.

Tabela 3 Wartości współczynnika MAC

Numer postaci model obl.	Numer postaci model eksp.	MAC
1	1	0,97
1	2	0,39
2	2	0,92
2	2	0,38

W tabeli 3 przedstawiono obliczone wartości współczynników MAC dla porównywanych modeli. Uzyskana wartość współczynnika MAC (powyżej 0,9) pozwala stwierdzić, że oba modele są zgodne, zaś model obliczeniowy może być użyty do symulacji procesu prognozowania drgań i nadzorowania drgań robota IRb-6.

7. WNIOSKI

Wykazano możliwość zastosowania sterowania modalnego do nadzorowania drgań w trybie *on–line* niestacjonarnego układu nośnego robota IRb–6 modelowanego dyskretnie metodą sztywnych elementów skończonych. Dokonano identyfikacji modelu modalnego (częstotliwości i postaci drgań własnych) manipulatora, dla określonej konfiguracji położeń jego członów.

W perspektywie dalszych badań, przewiduje się przeprowadzenie symulacji komputerowej oraz realizację procesu nadzorowania drgań w układzie rzeczywistym robota.

LITERATURA

[1] Kaliński K., Nadzorowanie drgań mechanicznych modelowanych dyskretnie: Wyd. Pol. Gdańskiej, 2001, Seria Monografie nr 22.

[2] Zagadnienia analizy modalnej konstrukcji mechanicznych (Red. T. Uhl), (Kaliński K., Jasiński K., 15 – Nadzorowanie drgań układu nośnego robota przemysłowego IRb–6 za pomocą sterowania modalnego przy energetycznym wskaźniku jakości, ss. 115–122): Kraków, Kated. Robotyki i Dynam. Masz. AGH, 2003.

[3] Zagadnienia analizy modalnej konstrukcji mechanicznych (Red. T. Uhl), (Kaliński K., Jasiński K., 14 – Modification of the structural model of manipulator's carrying system for a use of modal control at energy performance index, ss. 103–111): Kraków, Wydawnictwo Instytutu Technologii PIB, 2004.

[4] Kruszewski J., Gawroński W., Wittbrodt E., Najbar F., Grabowski S., Metoda sztywnych elementów skończonych: Warszawa, Arkady, 1975.

[5] Kruszewski J., Sawiak S., Wittbrodt E., Metoda sztywnych elementów skończonych w dynamice konstrukcji: Warszawa, WNT, 1999.

[6] Uhl T, Komputerowo wspomagana identyfikacja modeli konstrukcji mechanicznych: Warszawa, WNT, 1997.

Dr hab. inż. Krzysztof J. Kaliński urodził się 1956 r. Od 1981 r jest zatrudniony w Katedrze Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej. Tytuł magistra inżyniera uzyskał w 1980 r., doktorat – w 1988 a habilitację–w 2002 r.

W pracy naukowej zajmuje się nadzorowaniem drgań maszyn i urządzeń technologicznych, opisem kinematyki i dynamiki manipulatorów, sterowaniem robotami mobilnymi, analizą modalną oraz zastosowaniem metody sztywnych elementów skończonych do modelowaniu układów mechanicznych.

Jest autorem lub współautorem 91 publikacji naukowych, 65 niepublikowanych sprawozdań i referatów oraz 26 programów komputerowych. W chwili obecnej opiekuje się 4 doktorantami, z których 2 otworzyło przewody doktorskie, oraz 3 magistrantami.

Mgr inż. Krzysztof Jasiński urodził się w 1977 r. Od 2003 r. jest słuchaczem Środowiskowego Studium Doktoranckiego przy wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej. Tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2004 r., zaś przewód doktorski otworzył w 2005 r. W pracy naukowej zajmuje się problemami nadzorowania drgań manipulatorów, opisem kinematyki i dynamiki robotów mobilnych oraz analizą modalną.

Jest współautorem 5 publikacji naukowych.

NADZOROWANIE STANU DYNAMICZNEGO PODCZAS FREZOWANIA SZYBKOŚCIOWEGO SMUKŁYMI NARZĘDZIAMI

Krzysztof KALIŃSKI, Marek GALEWSKI, Stefan SAWIAK

Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk, kkalinsk@pg.gda.pl, marg@mech.pg.gda.pl, ssawiak@pg.gda.pl

Streszczenie

W pracy opisano proces nadzorowania drgań wirujących narzędzi w nowoczesnych obrabiarkach. Przedmiotem rozważań jest proces frezowania szybkościowego smukłym frezem kulistym. Zjawiskiem dynamicznym o istotnym znaczeniu są drgania względne narzędzie–przedmiot obrabiany, których rozwój, przy określonych warunkach, może doprowadzić do utraty stabilności oraz do wystąpienia drgań samowzbudnych typu *chatter*. Rezultaty zmodyfikowanej metody nadzorowania drgań za pomocą sterowania optymalno-liniowego prędkością obrotową dowodzą, że można uzyskać redukcję drgań *chatter* poprzez zmiany prędkości obrotowej wrzeciona. Przeprowadzono badania eksperymentalne podczas frezowania na nowoczesnej maszynie Alcera Gambin 120CR, których przykładowe wyniki zamieszczono w pracy. Uzyskane wyniki wykazały praktyczne uzasadnienie stosowanej strategii nadzorowania.

Słowa kluczowe: obrabiarki, drgania narzędzia, nadzorowanie drgań, badania eksperymentalne

A DYNAMIC STATE SURVEILLANCE DURING HIGH SPEED MILLING USING SLENDER TOOLS

Summary

A process of vibration surveillance of rotating tools in modern working machines is described. Here is considered the high speed slender ball end milling process. Tool-workpiece relative vibration means to be a significantly important dynamic phenomenon. Hence it may lead to a loss of stability and then – generate self-excited chatter vibration. Based upon a modified method of vibration surveillance by the linear-optimal spindle speed control it is found out, that spindle speed changes significantly reduce chatter vibration. Results of the milling experiments being performed on modern production machine Alcera Gambin 120CR are explained. The obtained results disclosed a practical meaning of applied strategy of surveillance.

Keywords: machine tools, tool vibration, vibration surveillance, experimental investigation

1. WSTĘP

Frezowanie smukłymi narzędziami jest często stosowane w nowoczesnych centrach obróbkowych i wynika z konieczności dokładnego (obróbka „na gotowo") wykonywania elementów o złożonych kształtach geometrycznych. Światowa tendencja zwiększania w obróbce mechanicznej prędkości skrawania oraz prędkości posuwu, pozwala uzyskać dużą jej wydajność przy małych naddatkach. W takich warunkach, zjawiskiem dynamicznym o istotnym znaczeniu są drgania względne narzędzie–przedmiot obrabiany. Przy określonych warunkach ich rozwój może doprowadzić do utraty stabilności oraz do wystąpienia drgań samowzbudnych typu *chatter* [1]. Mogą one wystąpić nawet przy małych głębokościach skrawania.

Jednym ze sposobów redukcji drgań *chatter* jest sterowanie programowe oraz sterowanie optymalne prędkością obrotową wrzeciona [2, 3, 4].

W pracy proponuje się zmodyfikowaną metodę nadzorowania drgań za pomocą sterowania optymalno-liniowego prędkością obrotową wrzeciona, dzięki czemu można uniknąć nadmiernego wzrostu wartości prędkości obrotowej.

2. DYNAMIKA PROCESU SKRAWANIA

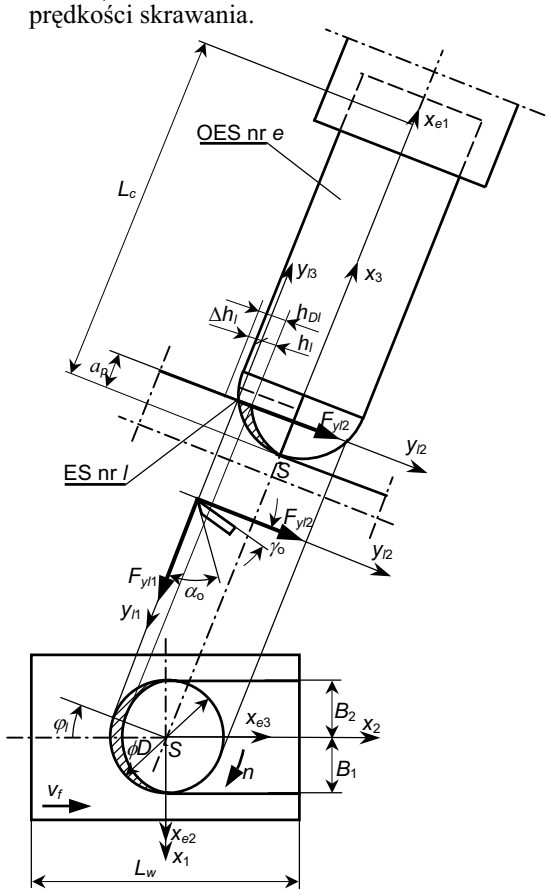
Przeprowadzono analizę dynamiki procesu skrawania smukłym frezem kulistym, przyjmując następujące założenia [2].

– W strukturze obrabiarki wyodrębniono wrzeciono wraz z narzędziem i stół z przedmiotem, jako podukłady wykonujące zadane ruchy względne.
– Uwzględniono jedynie podatność narzędzia.
– Do modelowania procesu skrawania przyjęto elementy sprzęgające (ES).
– Efekt przejścia bieżącego ostrza narzędzia wzdłuż warstwy skrawanej powoduje sprzężenie

proporcjonalne, zaś efekt przejścia ostrza poprzedniego – dodatkowo sprzężenie opóźniające.

Jako rezultat modelowania dyskretnego procesu frezowania otrzymano układ (rys. 1) składający się z elementu skończonego (OES) nr e typu belkowego o długości L_c (długość czynna freza) oraz ES, których położenie odpowiada chwilowym położeniom ostrzy freza. Ponadto oznaczono:

- kąt natarcia γ_0 oraz kąt przyłożenia α_0, jako elementy geometrii ostrza,
- grubość warstwy skrawanej h_l, zaś siłę działającą w jej kierunku – F_{yl2},
- głębokość skrawania a_p,
- siłę F_{yl1} działającą w kierunku nominalnej prędkości skrawania.



Rys. 1. Schemat frezowania frezem kulistym

Dla umownego punktu styku ostrza z przedmiotem obrabianym (ES nr l) przyjęto model proporcjonalny dynamiki skrawania [1, 2]. Otrzymano:

$$F_{yl1}(t)=\begin{cases} k_{dl}a_p\left[h_{Dl}(t)-\Delta h_l(t)+\Delta h_l(t-\tau_l)\right] \\ \quad dla \quad h_{Dl}(t)-\Delta h_l(t)+\Delta h_l(t-\tau_l)>0, \\ 0 \\ \quad dla \quad h_{Dl}(t)-\Delta h_l(t)+\Delta h_l(t-\tau_l)\le 0, \end{cases} \tag{1}$$

$$F_{yl2}(t)=\begin{cases} \mu_l k_{dl}a_p\left[h_{Dl}(t)-\Delta h_l(t)+\Delta h_l(t-\tau_l)\right] \\ \quad dla \quad h_{Dl}(t)-\Delta h_l(t)+\Delta h_l(t-\tau_l)>0, \\ 0 \\ \quad dla \quad h_{Dl}(t)-\Delta h_l(t)+\Delta h_l(t-\tau_l)\le 0, \end{cases} \tag{2}$$

$$F_{yl3}(t)=0 \tag{3}$$

gdzie:

- k_{dl} – dynamiczny opór skrawania powierzchniowy właściwy,
- $h_{Dl}(t)$ – nominalna grubość warstwy skrawanej; $h_{Dl}(t)\cong f_z\cos\varphi_l(t)$,
- $\Delta h_l(.)$ – dynamiczna zmiana grubości warstwy skrawanej,
- μ_l – współczynnik siły skrawania (iloraz siły F_{yl2} przez siłę F_{yl1}),
- τ_l – czas pomiędzy identycznymi położeniami ES nr l oraz ES nr l-1,

Po transformacji przemieszczeń do układu współrzędnych x_1, x_2, x_3 otrzymano równanie dynamiki niestacjonarnego modelu procesu frezowania [2]:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}}+\mathbf{L}\dot{\mathbf{q}}+\mathbf{K}^*\mathbf{q}=\mathbf{f}^*, \tag{4}$$

gdzie:

$$\mathbf{K}^*(t)=\mathbf{K}+\sum_{l=1}^{i_l}\mathbf{T}_l^T(t)\mathbf{D}_{Pl}\mathbf{T}_l(t),$$

$$\mathbf{f}^*=\sum_{l=1}^{i_l}\mathbf{T}_l^T(t)\mathbf{F}_l^0(t)+\sum_{l=1}^{i_l}\mathbf{T}_l^T(t)\mathbf{D}_{Ol}\Delta\mathbf{w}_l(t-\tau_l),$$

zaś:

- $\mathbf{q}$ – wektor przemieszczeń uogólnionych układu,
- $\mathbf{M}$, $\mathbf{L}$, $\mathbf{K}$ – macierze bezwładności, tłumienia oraz sztywności układu mechanicznego,
- $\mathbf{F}_l^0(t)$ – wektor sił oddziaływania ES nr l,
- $\mathbf{D}_{Pl}$, $\mathbf{D}_{Ol}$ – macierze sprzężeń proporcjonalnych oraz sprzężeń opóźniających ES nr l,
- $\Delta\mathbf{w}_l(t-\tau_l)$ – wektor odkształceń ES nr l dla chwili czasu t-τ_l,
- i_l – liczba „aktywnych" elementów sprzęgających.

Macierz transformacji $\mathbf{T}_l(t)$ jest funkcją czasu, ponieważ w wyniku ruchu wrzeciona i przedmiotu obrabianego ostrza freza zmieniają swoje położenie.

3. NADZOROWANIE DRGAŃ ZA POMOCĄ STEROWANEJ PROGRAMOWO PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ WRZECIONA

Rozważmy proces skrawania realizowany przy zmiennej prędkości obrotowej wrzeciona $n = n(t)$. Czas opóźnienia τ_l dla ostrza nr l jest wówczas funkcją chwilowej prędkości obrotowej, tj. $\tau_l = \tau l(n)$. W wyniku chwilowej zmiany prędkości obrotowej δ_n, równanie dynamiki (4) przyjmie postać:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}}+\mathbf{L}\dot{\mathbf{q}}+\mathbf{K}^*(t)\mathbf{q}=$$
$$=\sum_{l=1}^{i_l}\mathbf{T}_l^T(t)\mathbf{F}_l^{(0)}(t)+\sum_{l=1}^{i_l}\mathbf{T}_l^T(t)\mathbf{D}_{Ol}\Delta\mathbf{w}'_l\left(t-\int_{\varphi_l-\varphi_{0l}}^{\varphi_l}\frac{60}{2\pi}\cdot\frac{d\varphi}{n(\varphi)}\right). \tag{5}$$

W pracy [2] wykazano, że proces skrawania przy zmiennej prędkości obrotowej wrzeciona opisuje równanie dynamiki układu sterowanego:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{L}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}^*(t)\mathbf{q} = \mathbf{f}^* + \mathbf{B}_u\mathbf{u}, \qquad (6)$$

gdzie macierz sterowań

$$\mathbf{B}_u(t) = \sum_{l=1}^{i_l} \mathbf{T}_l^T(t)\mathbf{D}_{Ol}\Delta\dot{\mathbf{w}}_l\left(t - \int_{\varphi_l-\varphi_{0l}}^{\varphi_l} \frac{60}{2\pi}\cdot\frac{d\varphi}{n(\varphi)}\right)\cdot\left[-\frac{\Delta t}{n(\varphi_l)}\right] \qquad (7)$$

zaś wektor (jednowymiarowy) sygnałów sterujących

$$\mathbf{u} \equiv \delta n \qquad (8)$$

Zdefiniujemy teraz uzmienniony w czasie energetyczny wskaźnik jakości [2]:

$$J(t) = \frac{1}{2}\left(\dot{\mathbf{q}} - \dot{\bar{\mathbf{q}}}\right)^T \mathbf{Q}_1\mathbf{M}\left(\dot{\mathbf{q}} - \dot{\bar{\mathbf{q}}}\right) + \frac{1}{2}\left(\mathbf{q} - \bar{\mathbf{q}}\right)^T \mathbf{Q}_2\mathbf{K}^*\left(\mathbf{q} - \bar{\mathbf{q}}\right) + \frac{1}{2}\mathbf{u}^T\mathbf{R}\mathbf{u}, \qquad (9)$$

przy czym:

$\mathbf{Q}_1, \mathbf{Q}_2$ – macierze bezwymiarowych współczynników wagowych,

$\mathbf{R}$ – macierz efektu sygnałów sterujących.

Optymalny sygnał sterujący otrzymany po minimalizacji wskaźnika energetycznego ze względu na chwilową zmianę prędkości δn ma postać [2, 4]:

$$\mathbf{u} \equiv -\mathbf{R}^{-1}\int_{t_0}^{t}\left[\mathbf{B}_u^T(\tau) \quad \mathbf{0}\right]\mathbf{\Phi}^T(t,\tau)d\tau \cdot \cdot\left\{\mathbf{T}_1^T\mathbf{M}^T\mathbf{Q}_1^T\dot{\mathbf{q}} + \frac{1}{2}\mathbf{T}_2^T\left(\mathbf{K}^*\mathbf{Q}_2^T + \mathbf{Q}_2\mathbf{K}^{*T}\right)\left(\mathbf{q} - \mathbf{K}^{*-1}\mathbf{f}_0\right)\right\} \qquad (10)$$

gdzie:

$\mathbf{\Phi}(t,t_0)$ – rozwiązanie równania

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(t)\mathbf{x},\ \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{I},$$

$\mathbf{A}(t)$ – macierz stanu układu.

Sterowanie optymalne prędkością obrotową wrzeciona polega na generowaniu optymalnego sygnału sterującego w postaci chwilowych zmian δn prędkości obrotowej $n(t)$. Po uzyskaniu w wyniku tego sterowania prędkości maksymalnej n_{max}, zmianę prędkości do wartości nominalnej n_0 opisuje zależność:

$$n(t) = n_{max} - (n_{max} - n_0)\cdot\frac{t - t_j}{T_O}, \quad t_j \le t \le (t_j + T_O), \qquad (11)$$

przy czym:

T_O – czas opadania,

t_j – czas początku opadania nr j.

Ponieważ realizacja idealnego przebiegu optymalno-liniowego programu zmiennej prędkości obrotowej nie jest możliwa na każdej maszynie, zaproponowano jego realizację przybliżoną.

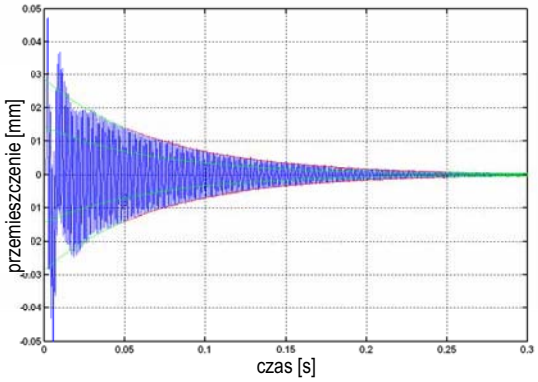
4. BADANIA EKSPERYMENTALNE

W celu wykonania badań doświadczalnych na frezarce Alcera Gambin 120CR (ENIM,Metz) zainstalowano aparaturę pomiarową, w której skład weszły m.in.:

- 2 sondy wiroprądowe, umożliwiające pomiar przemieszczeń poprzecznych wirującego narzędzia,
- układ optyczny pomiaru prędkości obrotowej,
- uchwyt do mocowania czujników pomiarowych,
- układ kondycjonowania sygnałów,
- komputer przenośny wraz z kartą pomiarową A/C i autorskimi programami akwizycji i analizy danych.

Mierzono drgania poprzeczne wirującego narzędzia w kierunku prostopadłym do prędkości posuwu.

Przeprowadzono testy modalne narzędzia. Na podstawie wyników pomiarów drgań narzędzia wymuszonych impulsem siły zidentyfikowano parametry modelu modalnego freza. Wyniki jednego z eksperymentów przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Drgania narzędzia przy wymuszeniu siłowym sygnałem impulsowym

Wyniki identyfikacji parametrów będą wykorzystywane do symulacji komputerowej nadzorowania procesu frezowania.

Przeprowadzono pomiary prędkości obrotowej wrzeciona i drgań narzędzia podczas procesu skrawania. Wykonano próby przy frezowaniu pełnym, współbieżnym i przeciwbieżnym próbki z brązu BA1032 i stali 45, przy stałej i zmiennej prędkości obrotowej [5]. Wyniki pomiarów dla frezowania pełnego przedstawiono w tabeli 1 i 2 oraz na rysunkach 3 i 4.

Skrawanie przeprowadzono przy następujących parametrach:

dla brązu BA1032:

głębokość skrawania a_p = 0.3 mm

prędkość posuwu v_f = 3000 mm/min

dla stali 45:

głębokość skrawania a_p = 0.2 mm

prędkość posuwu v_f = 3000 mm/min

Frezowano z prędkością stałą 15000 oraz 16500 obr/min, a także ze zmiennymi liniowo (przebieg trójkątny) prędkościami obrotowymi.

Wyniki pomiarów dla stałej prędkości obrotowej wykazały, że skrawanie pełne z głębokością a_p = 0,3 mm (dla brązu BA1032) i a_p = 0,2 mm (dla stali 45) powoduje rozwinięte drgania *chatter* (rys. 3).

Tabela 1. Wartości skuteczne przemieszczeń narzędzia (RMS) i amplitudy drgań chatter q_{ch} przy frezowaniu pełnym brązu BA1032

Realizowany przebieg prędkości obrotowej	*RMS* [mm]	q_{ch} [mm]
Stała prędkość obrotowa n = 15000 obr/min (rys. 3)	0,033240	0,02513
Stała prędkość obrotowa n = 16500 obr/min (rys. 4)	0,038213	0,04380
Prędkość zmienna, zmiany co 0,4 s n = 15000 + 1500 obr/min (rys. 5)	0,035350	0,01687
Prędkość zmienna, zmiany co 0,5 s n = 15000 + 1500 obr/min (rys. 6)	0,033459	0,01502

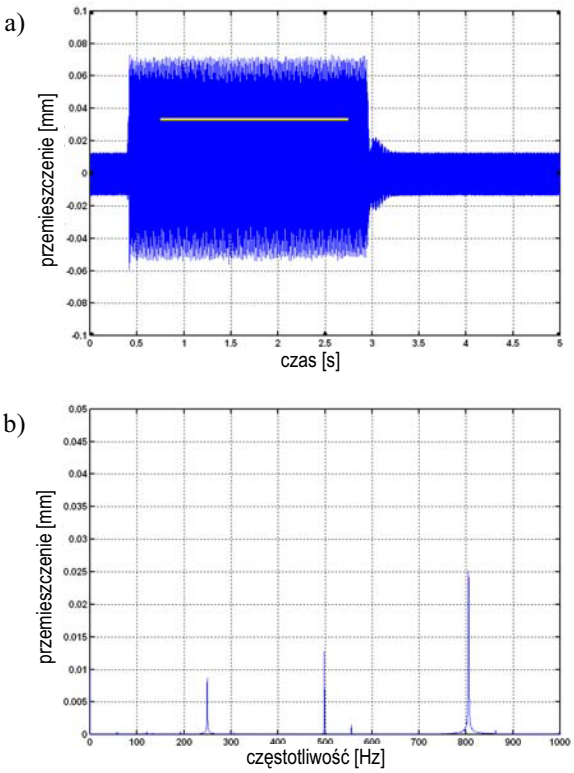
Tabela 2. Wartości skuteczne przemieszczeń narzędzia (RMS) i amplitudy drgań chatter q_{ch} przy frezowaniu pełnym stali 45

Realizowany przebieg prędkości obrotowej	*RMS* [mm]	q_{ch} [mm]
Stała prędkość obrotowa n = 15000 obr/min	0,032535	0,03253
Stała prędkość obrotowa n = 16500 obr/min	0,037754	0,04049
Prędkość zmienna, zmiany co 0,4 s n = 15000 + 1500 obr/min	0,033621	0,01193
Prędkość zmienna, zmiany co 0,5 s n = 15000 + 1500 obr/min	0,032207	0,00928

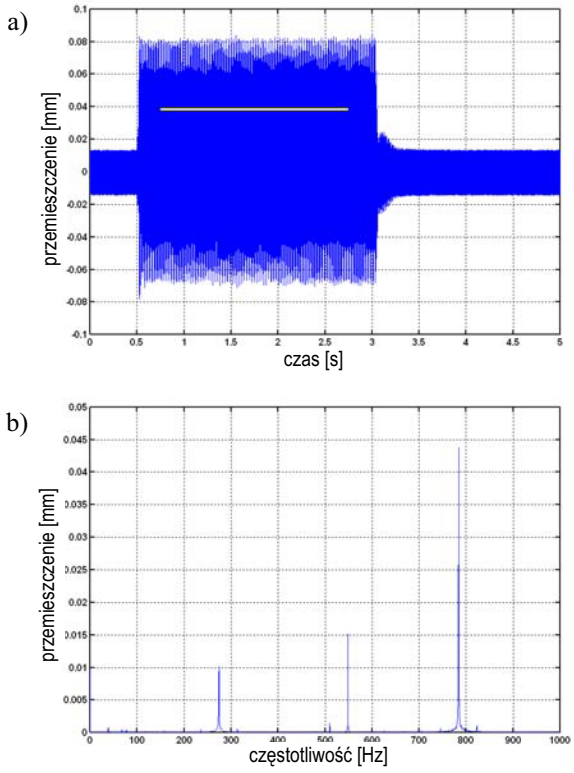
5. WNIOSKI

W wyniku nadzorowania drgań z zastosowaniem programów zmiennej prędkości obrotowej wrzeciona zredukowano wartości RMS do 12% oraz amplitudy drgań *chatter* do 66% (w porównaniu z przypadkiem skrawania ze stałą prędkością 16500 obr/min).

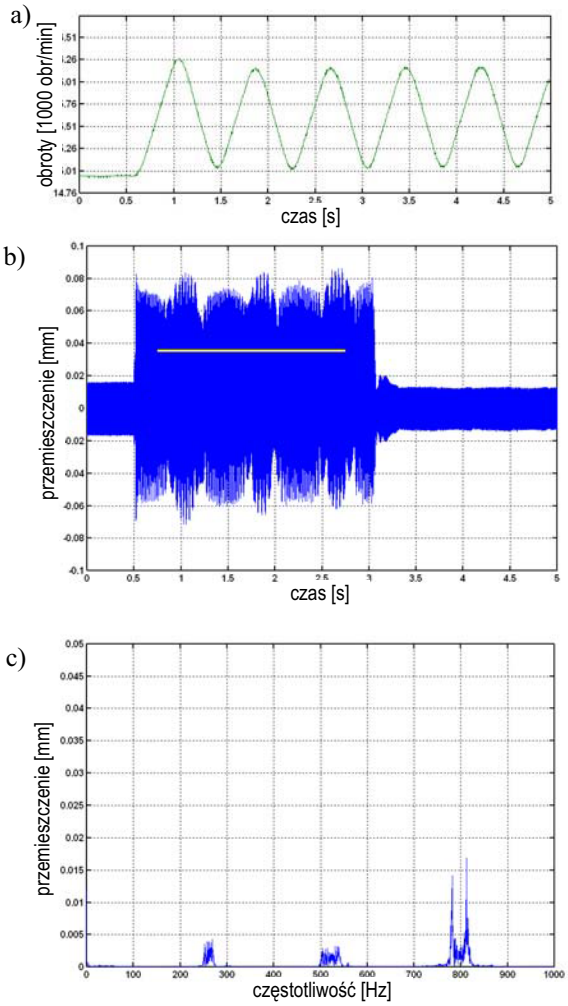
Również pomiary drgań podczas frezowania współbieżnego i przeciwbieżnego wykazały jakościowo podobne rezultaty, jak w przypadku frezowania pełnego.



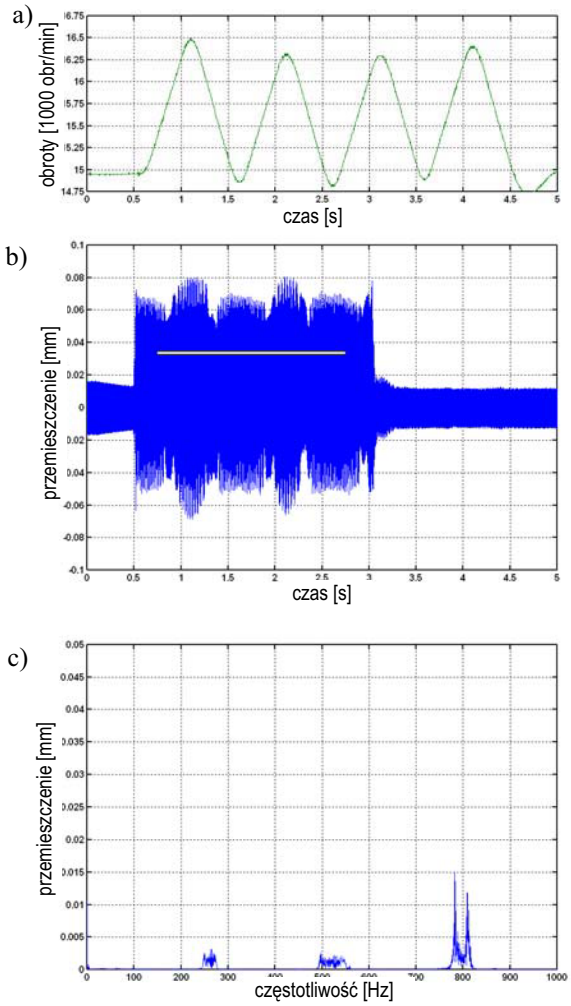
Rys. 3. Przemieszczenie narzędzia (a) i widmo amplitudowe (b) przy frezowaniu pełnym brązu BA1032 ze stałą prędkością 15000 obr/min



Rys. 4. Przemieszczenie narzędzia (a) i widmo amplitudowe (b) przy frezowaniu pełnym brązu BA1032 ze stałą prędkością 16500 obr/min



Rys. 5. Prędkość obrotowa (a), przemieszczenie narzędzia (b) i widmo amplitudowe (c) przy frezowaniu pełnym brązu BA1032 ze zmienną prędkością obrotową od 15000 do 16500 obr/min, zmiany co 0,4 s



Rys. 6. Prędkość obrotowa (a), przemieszczenie narzędzia (b) i widmo amplitudowe (c) przy frezowaniu pełnym brązu BA1032 ze zmienną prędkością obrotową od 15000 do 16500 obr/min, zmiany co 0,5 s

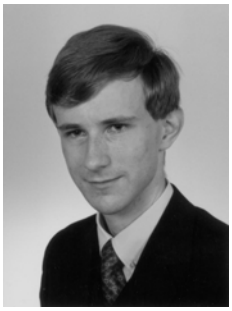
LITERATURA

[1] Tomków J.: Wibrostabilność obrabiarek, Warszawa, WNT, 1997
[2] Kaliński K.: Nadzorowanie drgań układów mechanicznych modelowanych dyskretnie, Wyd. Pol. Gdańskiej, 2001
[3] Kaliński K.J., Kucharski T., Sawiak S.: A new method for suppression of chatter vibration by programmed spindle speed control, Metz: Ecole Nationale d'Ingenieurs de Metz, 2001
[4] Kaliński K.J.: The spindle speed optimal control as a mean of chatter vibration surveillance. Int. J. Mech. Prod. Systems Eng., Metz: ENIM 2003, Avril 2003, ss. 30–40
[5] Kaliński K., Galewski M: Nadzorowanie drgań procesów obróbkowych z wykorzystaniem optymalno-liniowego sterowania prędkością obrotową wrzeciona, Teoria maszyn i mechanizmów. Red. J. Wojnarowski, T. Uhl. Kraków: Katedra Robotyki i Dynam. Masz. AGH, 2004, t. 2, s. 71-76

Dr hab. inż. Krzysztof J. Kaliński urodził się 1956 r. Od 1981 r jest zatrudniony w Katedrze Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej. Tytuł magistra inżyniera uzyskał w 1980 r., doktorat – w 1988 r., a habilitację – w 2002 r.

W pracy naukowej zajmuje się nadzorowaniem drgań maszyn i urządzeń technologicznych, opisem kinematyki i dynamiki manipulatorów, sterowaniem robotami mobilnymi, analizą modalną oraz zastosowaniem metody sztywnych elementów skończonych do modelowaniu układów mechanicznych.

Jest autorem lub współautorem 91 publikacji naukowych, 65 niepublikowanych sprawozdań i referatów oraz 26 programów komputerowych. W chwili obecnej opiekuje się 4 doktorantami, z których 2 otworzyło przewody doktorskie, oraz 3 magistrantami.



Mgr inż. Marek Galewski urodził się w 1978 r. Od 2003 r. zatrudniony w Katedrze Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej. Tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2002 r., zaś przewód doktorski otworzył w 2005 r. W pracy naukowej zajmuje się problemami nadzorowania procesów dynamicznych, w szczególności frezowania szybkościowego, metodami pomiarów drgań, projektowaniem mechatronicznym oraz analizą modalną.
Jest współautorem 5 publikacji naukowych.

Dr inż. Stefan Sawiak urodził się 1949 r w Sopocie. Od 1976 r jest zatrudniony w Katedrze Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej. Tytuł magistra inżyniera uzyskał 1974 r., doktorat – w 1979 r. W pracy naukowej zajmuje się dynamiką maszyn, ze szczególnym uwzględnieniem drgań okrętowych układów napędowych, zastosowaniem metody sztywnych elementów skończonych do modelowaniu układów mechanicznych.

Jest autorem lub współautorem 52 publikacji naukowych, 56 niepublikowanych sprawozdań i referatów oraz kilkunastu programów komputerowych.

MODELOWANIE I SYMULACJA PROCESU NADZOROWANIA DRGAŃ W UKŁADZIE HYBRYDOWYM NA PRZYKŁADZIE FREZOWANIA PRZEDMIOTÓW PODATNYCH

Krzysztof KALIŃSKI, Marek CHODNICKI, Stefan SAWIAK, Marek GALEWSKI

Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów
80-952 Gdańsk ul. Narutowicza 11/12, fax. (0-58) 347-29-29, e-mail: kkalinsk@sunrise.pg.gda.pl,
marek_chodnicki@o2.pl,marg@mech.pg.gda.pl, ssawiak@pg.gda.pl

Streszczenie

Praca dotyczy nadzorowania drgań niestacjonarnych układów mechanicznych za pomocą sterowania optymalnego przy energetycznym wskaźniku jakości. W układzie drgającym wyodrębniono podukład modalny, podukład strukturalny oraz podukład łączący. Dynamikę układu sterowanego opisano we współrzędnych hybrydowych. Przedstawiono przykład nadzorowania drgań podczas skrawania przedmiotów podatnych frezem kulistym.

Słowa kluczowe: obrabiarki, drgania przedmiotu, układy hybrydowe, nadzorowanie drgań, analiza modalna

MODELLING AND SIMULATION OF VIBRATION SURVEILLANCE
OF THE HYBRID SYSTEMS ON EXAMPLE OF MILLING FLEXIBLE DETAILS

Summary

The paper concerns vibration surveillance of non-stationary mechanical systems by the optimal control at energy performance index. There are separated from vibrating system following subsystems: modal, structural and connective. Dynamics of controlled system is described in hybrid co-ordinates. Here is explained vibration surveillance during ball end milling of flexible details and considering assurance of parameters of a modal subsystem.

Key words: machine tools, workpiece vibration, hybrid systems, vibration surveillance, modal analysis

1. WSTĘP

Najczęściej podejmowane dotychczas próby nadzorowania drgań układów stacjonarnych polegały na sformułowaniu minimalno–całkowym problemu sterowania optymalnego (problem Lagrange'a), a następnie na doborze regulatora wraz z obserwatorem w wyniku rozwiązania algebraicznego równania *Riccatiego*. W przypadku nadzorowania drgań układów niestacjonarnych, otrzymuje się różniczkowe równanie *Riccatiego*, które należy rozwiązywać „wstecz" przy znanym warunku końcowym, co nie pozwala na zastosowanie trybu *on–line*. Pomimo opracowania skutecznej metody nadzorowania drgań za pomocą sterowania optymalnego przy uzmiennionym w czasie energetycznym wskaźniku jakości [1], optymalny sygnał sterujący wyznaczony tą metodą jest funkcją wszystkich współrzędnych uogólnionych układu. Fakt ten utrudnia syntezę sterowania w układach o dużej liczbie stopni swobody. Aby tego uniknąć, w pracy proponuje się metodę sterowania optymalnego w układzie hybrydowym.

2. STEROWANIE OPTYMALNE PRZY ENERGETYCZNYM WSKAŹNIKU JAKOŚCI W UKŁADZIE HYBRYDOWYM [2]

Rozważmy równanie dynamiki niestacjonarnego układu sterowanego we współrzędnych uogólnionych [1]:

$$\mathbf{M}^*\ddot{\mathbf{q}}^* + \mathbf{L}^*\dot{\mathbf{q}}^* + \mathbf{K}^*\mathbf{q}^* = \mathbf{f}^* + \mathbf{B}_u^*\mathbf{u}\,. \qquad (1)$$

Symbole $\mathbf{M}^*$, $\mathbf{L}^*$, $\mathbf{K}^*$, $\mathbf{B}_u^*$, $\mathbf{q}^*$, $\mathbf{f}^*$ i $\mathbf{u}$ oznaczają odpowiednio macierze bezwładności, tłumienia, sztywności i sterowań, a także wektory przemieszczeń uogólnionych, sił uogólnionych oraz sygnałów sterujących układu.

Dalsze rozważania dotyczą podziału układu sterowanego na podukłady.

1. Podukład modalny, którego ruch opisano we współrzędnych uogólnionych $\mathbf{q}_m$. Odpowiednie macierze bezwładności, tłumienia i sztywności to: $\mathbf{M}_{mm}$, $\mathbf{L}_{mm}$, $\mathbf{K}_{mm}$, zaś wektor sił uogólnionych – $\mathbf{f}_m$. Własności tego podukładu definiują:

$$\mathbf{\Omega}_m = diag\left[\omega_{01} \quad \omega_{02} \quad \dots \quad \omega_{0mod}\right]$$

– częstości kołowe drgań swobodnych nietłumionych ω_{0k}, k=1, ..., mod,

$$\mathbf{\Psi}_m = \left[\mathbf{\Psi}_1 \quad \mathbf{\Psi}_2 \quad \dots \quad \mathbf{\Psi}_{mod}\right]$$

– postacie drgań własnych $\mathbf{\Psi}_k$ odpowiadające częstościom kołowym drgań swobodnych nietłumionych podukładu ω_{0k}, i=1, ..., mod,

$$\mathbf{Z}_m = diag\left[\zeta_1 \quad \zeta_2 \quad \dots \quad \zeta_{mod}\right]$$

– bezwymiarowe współczynniki tłumienia odpowiadające postaciom k=1, ..., mod,

mod – liczba uwzględnionych postaci drgań własnych.

Stąd, spełnione są następujące zależności:

$$\mathbf{q}_m = \mathbf{\Psi}_m \mathbf{a}_m,\ \mathbf{\Psi}_m^T \mathbf{M}_{mm} \mathbf{\Psi}_m = \mathbf{I}_m,$$
$$\mathbf{\Psi}_m^T \mathbf{L}_{mm} \mathbf{\Psi}_m = 2\mathbf{Z}_m \mathbf{\Omega}_m,\ \mathbf{\Psi}_m^T \mathbf{K}_{mm} \mathbf{\Psi}_m = \mathbf{\Omega}_m^2. \quad (2)$$

2. Podukład strukturalny, którego ruch drgający opisano we współrzędnych uogólnionych $\mathbf{q}_s$.
3. Podukład łączący, którego ruch opisano we współrzędnych uogólnionych $\mathbf{q}_c$. Są to współrzędne zależne.

Zakładamy istnienie więzów reonomicznych–holonomicznych między współrzędnymi uogólnionymi podukładu modalnego $\mathbf{q}_m$ oraz podukładu łączącego $\mathbf{q}_c$. Równania tych więzów przyjmą postać:

$$\mathbf{W}_c \mathbf{q}_c = \mathbf{W}_m \mathbf{q}_m \text{ albo } \mathbf{q}_c = \mathbf{W}\mathbf{q}_m, \quad (3)$$

przy czym:

$$\mathbf{W} = \left(\mathbf{W}_m \mathbf{W}_c\right)^{-1} \mathbf{W}_m = \mathbf{W}(t).$$

Więzy określone powyższymi zależnościami są zatem jawnymi funkcjami czasu.

Niestacjonarny układ sterowany, po oswobodzeniu z więzów staje się układem stacjonarnym. Stąd, równanie dynamiki układu swobodnego przyjmie postać:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_{mm} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}_{cc} & \mathbf{M}_{cs} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}_{sc} & \mathbf{M}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{q}}_m \\ \ddot{\mathbf{q}}_c \\ \ddot{\mathbf{q}}_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{L}_{mm} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{L}_{cc} & \mathbf{L}_{cs} \\ \mathbf{0} & \mathbf{L}_{sc} & \mathbf{L}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{q}}_m \\ \dot{\mathbf{q}}_c \\ \dot{\mathbf{q}}_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{mm} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_{cc} & \mathbf{K}_{cs} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_{sc} & \mathbf{K}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{q}_m \\ \mathbf{q}_c \\ \mathbf{q}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{f}_m \\ \mathbf{f}_c \\ \mathbf{f}_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{um} \\ \mathbf{B}_{uc} \\ \mathbf{B}_{us} \end{bmatrix} \mathbf{u}. \quad (4)$$

Po uwzględnieniu równania reakcji więzów:

$$\mathbf{R}_m + \mathbf{W}^T \mathbf{R}_c = \mathbf{0}, \quad (5)$$

otrzymamy równanie dynamiki układu sterowanego z więzami:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_{mm} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}_{cc} & \mathbf{M}_{cs} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}_{sc} & \mathbf{M}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{q}}_m \\ \ddot{\mathbf{q}}_c \\ \ddot{\mathbf{q}}_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{L}_{mm} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{L}_{cc} & \mathbf{L}_{cs} \\ \mathbf{0} & \mathbf{L}_{sc} & \mathbf{L}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{q}}_m \\ \dot{\mathbf{q}}_c \\ \dot{\mathbf{q}}_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{mm} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_{cc} & \mathbf{K}_{cs} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_{sc} & \mathbf{K}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{q}_m \\ \mathbf{q}_c \\ \mathbf{q}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{f}_m \\ \mathbf{f}_c \\ \mathbf{f}_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{R}_m \\ \mathbf{R}_c \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{um} \\ \mathbf{B}_{uc} \\ \mathbf{B}_{us} \end{bmatrix} \mathbf{u}. \quad (6)$$

Uwzględnienie równań więzów oraz ich pochodnych względem czasu:

$$\begin{cases} \mathbf{q}_c = \mathbf{W}\mathbf{\Psi}_m \mathbf{a}_m \\ \dot{\mathbf{q}}_c = \dot{\mathbf{W}}\mathbf{\Psi}_m \mathbf{a}_m + \mathbf{W}\mathbf{\Psi}_m \dot{\mathbf{a}}_m \\ \ddot{\mathbf{q}}_c = \ddot{\mathbf{W}}\mathbf{\Psi}_m \mathbf{a}_m + 2\dot{\mathbf{W}}\mathbf{\Psi}_m \dot{\mathbf{a}}_m + \mathbf{W}\mathbf{\Psi}_m \ddot{\mathbf{a}}_m \end{cases} \quad (7)$$

daje opis dynamiki niestacjonarnego układu sterowanego we współrzędnych hybrydowych $\boldsymbol{\xi}$ w postaci:

$$\mathbf{M}_\xi \ddot{\boldsymbol{\xi}} + \mathbf{L}_\xi \dot{\boldsymbol{\xi}} + \mathbf{K}_\xi \boldsymbol{\xi} = \mathbf{f}_\xi + \mathbf{B}_{u\xi} \mathbf{u}, \quad (8)$$

gdzie:

$$\mathbf{M}_{\xi}=\begin{bmatrix}\mathbf{I}_m+\boldsymbol{\Psi}_m^T\mathbf{W}^T\mathbf{M}_{cc}\mathbf{W}\boldsymbol{\Psi}_m & \boldsymbol{\Psi}_m^T\mathbf{W}^T\mathbf{M}_{cs}\\ \mathbf{M}_{sc}\mathbf{W}\boldsymbol{\Psi}_m & \mathbf{M}_{ss}\end{bmatrix},$$

$$\mathbf{L}_{\xi}=\begin{bmatrix}2\mathbf{Z}_m\boldsymbol{\Omega}_m+2\boldsymbol{\Psi}_m^T\mathbf{W}^T\mathbf{M}_{cc}\dot{\mathbf{W}}\boldsymbol{\Psi}_m+\boldsymbol{\Psi}_m^T\mathbf{W}^T\mathbf{L}_{cc}\mathbf{W}\boldsymbol{\Psi}_m & \boldsymbol{\Psi}_m^T\mathbf{W}^T\mathbf{L}_{cs}\\ 2\mathbf{M}_{sc}\dot{\mathbf{W}}\boldsymbol{\Psi}_m+\mathbf{L}_{sc}\mathbf{W}\boldsymbol{\Psi}_m & \mathbf{L}_{ss}\end{bmatrix},$$

$$\mathbf{K}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{\Omega}_m^2+\boldsymbol{\Psi}_m^T\mathbf{W}^T\mathbf{M}_{cc}\ddot{\mathbf{W}}\boldsymbol{\Psi}_m+\boldsymbol{\Psi}_m^T\mathbf{W}^T\mathbf{L}_{cc}\dot{\mathbf{W}}\boldsymbol{\Psi}_m+ & \\ +\boldsymbol{\Psi}_m^T\mathbf{W}^T\mathbf{K}_{cc}\mathbf{W}\boldsymbol{\Psi}_m & \boldsymbol{\Psi}_m^T\mathbf{W}^T\mathbf{K}_{cs}\\ \mathbf{M}_{sc}\ddot{\mathbf{W}}\boldsymbol{\Psi}_m+\mathbf{L}_{sc}\dot{\mathbf{W}}\boldsymbol{\Psi}_m+\mathbf{K}_{sc}\mathbf{W}\boldsymbol{\Psi}_m & \mathbf{K}_{ss}\end{bmatrix},$$

$\boldsymbol{\xi}=\begin{bmatrix}\mathbf{a}_m\\ \mathbf{q}_s\end{bmatrix}$ – współrzędne hybrydowe układu,

$\mathbf{f}_{\xi}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{\Psi}_m^T\left(\mathbf{f}_m+\mathbf{W}^T\mathbf{f}_c\right)\\ \mathbf{f}_s\end{bmatrix}$ – siły „hybrydowe" układu,

$\mathbf{B}_{u\xi}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{\Psi}_m^T\left(\mathbf{B}_{um}+\mathbf{W}^T\mathbf{B}_{uc}\right)\\ \mathbf{B}_{us}\end{bmatrix}$ – macierz sterowań układu hybrydowego.

Definiujemy ponownie energetyczny wskaźnik jakości [1], ale tym razem we współrzędnych hybrydowych:

$$J(t)=\frac{1}{2}\left(\dot{\boldsymbol{\xi}}-\dot{\overline{\boldsymbol{\xi}}}\right)^T\mathbf{Q}_{1\xi}\mathbf{M}_{\xi}\left(\dot{\boldsymbol{\xi}}-\dot{\overline{\boldsymbol{\xi}}}\right)+\frac{1}{2}\left(\boldsymbol{\xi}-\overline{\boldsymbol{\xi}}\right)^T\mathbf{Q}_{2\xi}\mathbf{K}_{\xi}\left(\boldsymbol{\xi}-\overline{\boldsymbol{\xi}}\right)+\frac{1}{2}\mathbf{u}^T\mathbf{R}_{\xi}\mathbf{u}, \quad (9)$$

gdzie:

$\mathbf{Q}_{1\xi}$, $\mathbf{Q}_{2\xi}$ – macierze bezwymiarowych współczynników wagowych,
$\mathbf{R}_{\xi}$ – macierz efektu sygnału sterującego.

Optymalny sygnał sterujący we współrzędnych hybrydowych wyznaczono w sposób analogiczny, jak w przypadku układu sterowanego we współrzędnych uogólnionych [1]. Otrzymano zatem:

$$\mathbf{u}=-\left(\mathbf{R}_{\xi}+\mathbf{R}_{\xi}^T\right)^{-1}\int_{t_0}^{t}\mathbf{B}_{\xi}^T(\tau)\boldsymbol{\Phi}_{\xi}^T(t,\tau)d\tau\left\{\mathbf{T}_{1\xi}^T\left(\mathbf{M}_{\xi}^T\mathbf{Q}_{1\xi}^T+\mathbf{Q}_{1\xi}\mathbf{M}_{\xi}\right)\left[\dot{\boldsymbol{\xi}}-\dot{\overline{\boldsymbol{\xi}}}\right]+\mathbf{T}_{2\xi}^T\left(\mathbf{K}_{\xi}^T\mathbf{Q}_{2\xi}^T+\mathbf{Q}_{2\xi}\mathbf{K}_{\xi}\right)\left(\boldsymbol{\xi}-\overline{\boldsymbol{\xi}}\right)\right\} \quad (10)$$

Opis we współrzędnych hybrydowych znacznie zmniejsza wymiar układu sterowanego, co nie jest bez znaczenia z punktu widzenia zastosowań praktycznych do obliczeń układów o dużej liczbie stopni swobody.

Z zależności (8) – (10) wynika, że w celu zrealizowania sterowania optymalnego we współrzędnych hybrydowych potrzebna jest m.in. znajomość macierzy częstości drgań własnych $\boldsymbol{\Omega}_m$ oraz odpowiadających im postaci drgań $\boldsymbol{\Psi}_m$ podukładu modalnego. Są one niezmienne z uwagi na stacjonarność tego podukładu. Do ich wyznaczenia można zatem wykorzystać:

– programy obliczeń częstości i postaci drgań własnych układów modelowanych dyskretnie. W praktyce mamy do czynienia z modelami obliczeniowymi o dużej liczbie stopni swobody, utworzonymi metodą elementów skończonych;
– metody eksperymentalnej (doświadczalnej) analizy modalnej.

3. DYNAMIKA PROCESU SKRAWANIA PRZEDMIOTÓW PODATNYCH SMUKŁYM FREZEM KULISTYM

Frezowanie przedmiotów podatnych smukłymi frezami kulistymi jest często stosowane w przypadku nowoczesnych centrów obróbkowych, zaś uzasadnienie technologiczne wynika z konieczności dokładnego wykonywania złożonych geometrycznie wiotkich konfiguracji (np. łopatki turbin).

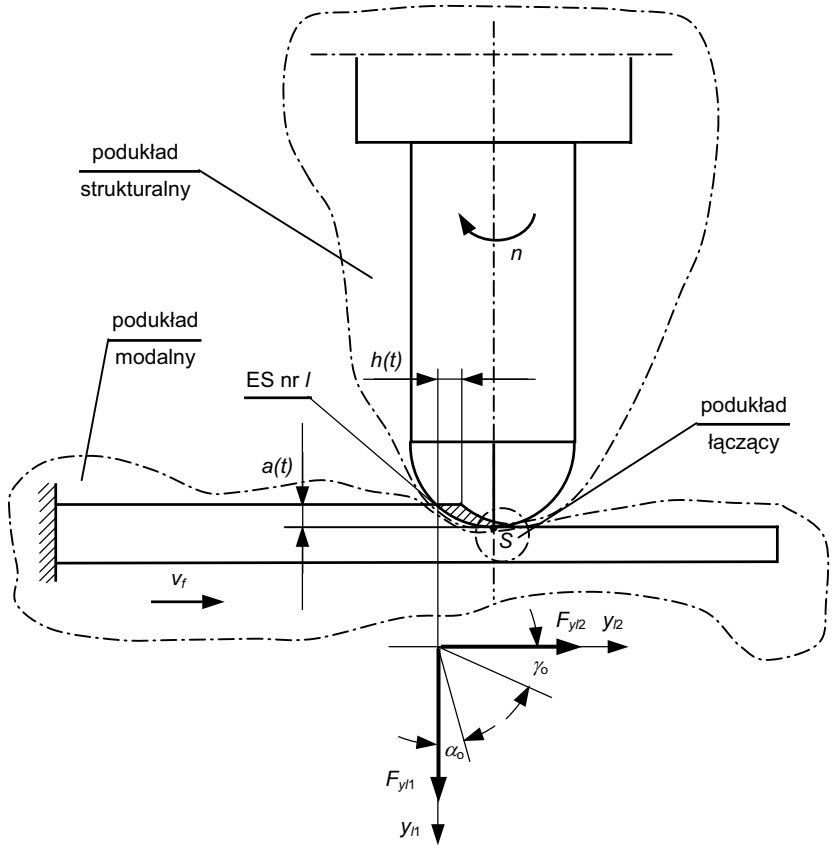
Niestacjonarny model obliczeniowy procesu obróbkowego utworzono przyjmując następujące założenia.

– W strukturze obrabiarki wyodrębniono wrzeciono z zamocowanym w uchwycie narzędziem wieloostrzowym oraz stół z przedmiotem obrabianym, jako podukłady wykonujące zadane ruchy względne.
– Uwzględniono podatność narzędzia oraz podatność przedmiotu obrabianego. Do ich modelowania przewiduje się wykorzystanie mieszanej metody elementów skończonych [3].
– Uwzględniono efekt procesu skrawania, zaś do jego modelowania przyjęto elementy sprzęgające (ES) [4]. Ich położenie odpowiada chwilowym położeniom ostrzy freza.

– Efekt przejścia bieżącego ostrza narzędzia wzdłuż warstwy skrawanej powoduje sprzężenie proporcjonalne, zaś efekt przejścia ostrza poprzedniego – dodatkowo sprzężenie opóźniające.

Jako rezultat modelowania procesu frezowania otrzymano układ hybrydowy, w którym wyodrębniono (rys. 1):

– podukład modalny stanowiący stacjonarny model dyskretny jednostronnie utwierdzonej płytki podatnej, przemieszczającej się z prędkością posuwu v_f,
– podukład strukturalny będący niestacjonarnym modelem dyskretnym freza kulistego (prędkość obrotowa n) wraz z procesem skrawania. Oznaczono również kąt natarcia γ_o oraz kąt przyłożenia α_o, jako elementy geometrii ostrza, zmienną w czasie grubość warstwy skrawanej $h_l(t)$, zaś siłę działającą w kierunku jej zmiany – F_{yl2}, zmienną w czasie głębokość skrawania $a(t)$ oraz siłę F_{yl1} działającą w kierunku prędkości skrawania.
– podukład łączący – umowny punkt styku narzędzia z przedmiotem S.

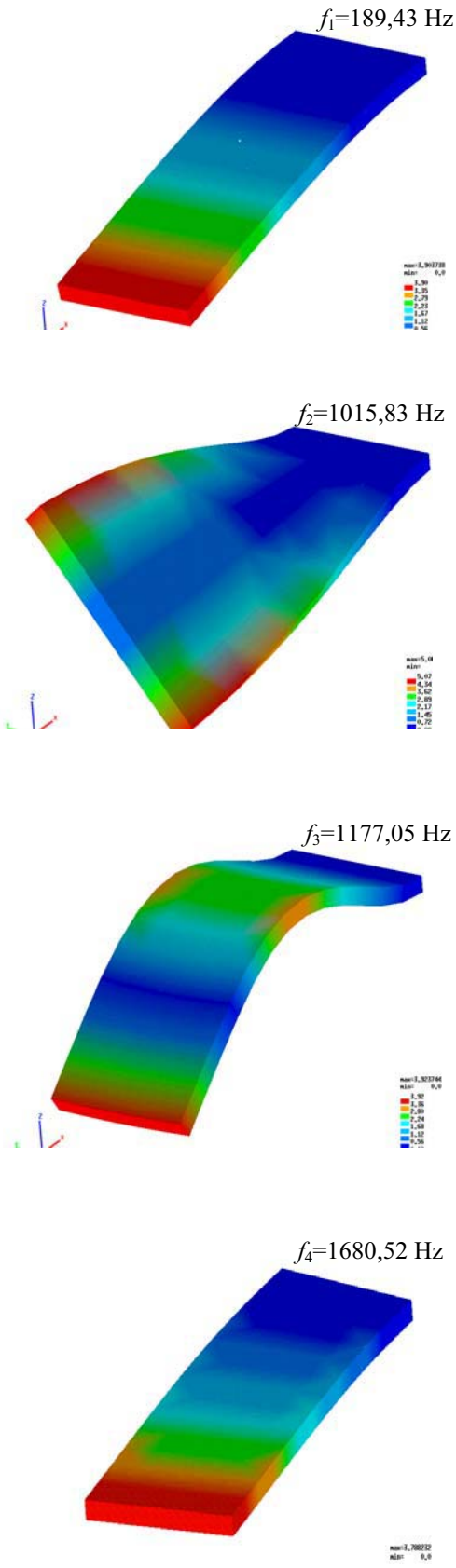


Rys. 1. Schemat procesu frezowania jednostronnie utwierdzonej płytki podatnej smukłym frezem kulistym

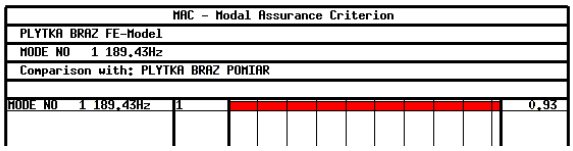
4. WYNIKI OBLICZEŃ

Dla jednostronnie utwierdzonej płytki o wymiarach 135×50×5, wykonanej z brązu BA1032, obliczono za pomocą programu MSC NASTRAN częstości i postaci drgań własnych. Przedstawiono graficznie postacie drgań własnych odpowiadające czterem pierwszym częstościom drgań własnych płytki (rys. 2).

Ponieważ w kontekście nadzorowania drgań przedmiotu obrabianego istotna jest jedynie pierwsza postacie drgań własnych (o częstotliwości mniejszej od 1000 Hz), dokonano identyfikacji modelu modalnego płytki metodą eksperymentalnej analizy modalnej dla tej postaci. Następnie, na podstawie wartości współczynnika *MAC* (ang. *Modal Assurance Criterion)*, dokonano oceny zgodności modalnej modelu obliczeniowego z obiektem rzeczywistym. Do tego celu wykorzystano pakiet *FeGraph*. Stwierdzono dobrą zgodność modelu z wynikami badań doświadczalnych (wartość współczynnika *MAC* równa 0,93, rys. 3).



Rys. 2. Częstości i postacie drgań własnych płytki prostokątnej wykonanej z brązu BA1032



Rys. 3. Wyniki obliczeń współczynnika zgodności modalnej (MAC) dla płytki z brązu BA1032

5. WNIOSKI

Wykazano przydatność sterowania w układzie hybrydowym do nadzorowania drgań dużych układów niestacjonarnych modelowanych dyskretnie. Synteza układu sterowania podczas obróbki przedmiotów podatnych frezem kulistym wymaga identyfikacji parametrów podukładu modalnego (tj. częstotliwości oraz postaci drgań własnych). Wartość współczynnika *MAC* potwierdziła dobrą zgodność modelu obliczeniowego z obiektem rzeczywistym.

W perspektywie dalszych badań, przewiduje się przeprowadzenie symulacji komputerowej oraz realizację procesu nadzorowania drgań w rzeczywistym procesie obróbkowym.

LITERATURA

1. Kaliński K., Nadzorowanie drgań układów mechanicznych modelowanych dyskretnie, Wyd. Pol. Gdańskiej, 2001, Seria Monografie nr 22
2. Zagadnienia analizy modalnej konstrukcji mechanicznych (Red. T. Uhl), (Kaliński K., 14 – Vibration surveillance in the hybrid system using optimal control at energy performance index, ss. 107–114). Kraków: Kated. Robotyki i Dynam. Masz. AGH, 2003
3. Metoda elementów skończonych w dynamice konstrukcji, Gawroński W., Kruszewski J., Ostachowicz W., Tarnowski J., Wittbrodt E, Warszawa: Arkady, 1984
4. Kaliński K.: The finite element method application to linear closed loop steady system vibration analysis. Int. J. Mech. Science 1997 Vol. 39 nr 3, ss. 315–330.

Dr hab. inż. Krzysztof J. Kaliński urodził się 1956 r. Od 1981 r jest zatrudniony w Katedrze Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej. Tytuł magistra inżyniera uzyskał w 1980 r., doktorat – w 1988 r., a habilitację – w 2002 r.
W pracy naukowej zajmuje się nadzorowaniem drgań maszyn i urządzeń technologicznych, opisem kinematyki i dynamiki

manipulatorów, sterowaniem robotami mobilnymi, analizą modalną oraz zastosowaniem metody sztywnych elementów skończonych do modelowaniu układów mechanicznych.

Jest autorem lub współautorem 91 publikacji naukowych, 65 niepublikowanych sprawozdań i referatów oraz 26 programów komputerowych. W chwili obecnej opiekuje się 4 doktorantami, z których 2 otworzyło przewody doktorskie, oraz 3 magistrantami.

Mgr inż. Marek Galewski urodził się w 1978 r. Od 2003 r. zatrudniony w Katedrze Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej. Tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2002 r., zaś przewód doktorski otworzył w 2005 r.
W pracy naukowej zajmuje się problemami nadzorowania procesów dynamicznych, w szczególności frezowania szybkościowego, metodami pomiarów drgań, projektowaniem mechatronicznym oraz analizą modalną. Jest współautorem 5 publikacji naukowych.

Dr inż. Stefan Sawiak urodził się 1949 r w Sopocie. Od 1976 r jest zatrudniony w Katedrze Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej. Tytuł magistra inżyniera uzyskał 1974 r., doktorat – w 1979 r.
W pracy naukowej zajmuje się dynamiką maszyn, ze szczególnym uwzględnieniem drgań okrętowych układów napędowych, zastosowaniem metody sztywnych elementów skończonych do modelowaniu układów mechanicznych.

Jest autorem lub współautorem 52 publikacji naukowych, 56 niepublikowanych sprawozdań i referatów oraz kilkunastu programów komputerowych.

ENERGETYCZNE CHARAKTERYSTYKI DEGRADACJI PRZYCZEPY

Henryk KAŹMIERCZAK
Jacek KROMULSKI
Tadeusz PAWŁOWSKI
Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
60-961 Poznań, ul. Starołęcka 31, e-mail:kazmhenr@pimr.poznan.pl

Streszczenie

Przedstawiono ideę energetycznej metody analizy procesu degradacji węzłów zawieszenia przyczepy, poddawanej wymuszeniom kinematycznym na stanowisku badań przyśpieszonych.

Słowa kluczowe: degradacja, trwałość, stanowisko, moc, rozpływ energii, przyczepa.

ENERGETISTIC CHARACTERISTICS OF TRAILER'S DEGRADATION

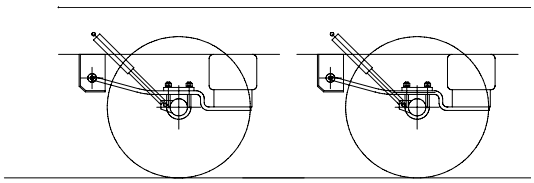
Summary

There is presented an idea of energetistic method of suspension node degradation process of trailer subjected to kinematic forcing on the station for accelerated tests.

Key words: degradation, durability, station, power, energy flow, trailer.

1. STANOWISKO BADAŃ TRWAŁOŚCIOWYCH PRZYCZEPY

Celem badań było uzyskanie informacji o występowaniu procesów destrukcji, prowadzących do obniżenia trwałości węzłów konstrukcyjnych przyczepy.



Rys. 1.Schemat systemu zawieszenia pneumatyczno-sprężystego przyczepy (lewa strona)

Uzyskane dane pozwolą na prognozowanie czasu bezawaryjnej pracy przyczepy. Badania trwałościowe przyczepy przeprowadzono na stanowisku badań wytrzymałościowych. Stanowisko składało się z następujących elementów: silnik elektryczny, układ hydrauliczny, bębny z progami.
Podczas badań trwałościowych przyczepa umieszczona była na dwóch obracających się ze stałą prędkością obrotową bębnach z zamontowanymi progami symulującymi przejazd przez dziury, przełomy i koleiny. Wymuszane były bezpośrednio koła jednej z osi przyczepy. Wymuszano kolejno obie osie zmieniając co 15 godzin ich położenie na bębnach.
Podczas badań na stanowisku prób trwałościowych przyczepa była obciążona. Obciążenie stanowiły betonowe płyty umieszczone równomiernie na powierzchni podłogi przyczepy (masa całkowita przyczepy – 3 tony).
Parametry stanowiska badań wytrzymałościowych przyczep:

-średnica bębna: 800 mm,
-obwód bębna: 2,513 m,
-częstość obrotowa bębna stanowiska: 0,387 obr/s,
-częstość obrotowa koła przyczepy: 0,97 obr/s,

2. IDEA METODY BADANIA ENERGETYCZNYCH CHARAKTERYSTYK TRWAŁOŚCI UKŁADU AMORTYZUJ-JĄCEGO PRZYCZEPY

Elementy przyczepy ulegają zużyciu z różną intensywnością. Jest to odzwierciedlane w charakterystykach dynamicznych i wartościach mocy obciążeń przenoszonych i obciążeń, których skutki degradacyjnego działania akumulowane są w tych podzespołach.
W tym referacie przedstawiono ideę energetycznej metody analizy procesu degradacji węzłów – pneumatyczno - sprężystych zawieszenia skrzyni ładunkowej przyczepy, poddawanej wymuszeniom kinematycznym na stanowisku do badań przyspieszonych.
W układzie fizycznym przyczepy jedną wspólną, nierozłączną całość tworzą zarówno jej parametry fizyczne jak również wzajemne oddziaływania i zewnętrzne wymuszenia. Rozważmy przyczepę o charakterystyce dynamicznej $\mathbf{H}_{ik}(j\omega,\Theta)$, poddaną wymuszeniu wielowejściowemu (wektor sił wymuszających $\mathbf{F}(\omega,\Theta)$):

$$\mathbf{F}^{Tr}(\omega,\Theta)=\left[F_1(\omega,\Theta),F_2(\omega,\Theta)...,F_n(\omega,\Theta)\right] \quad (1)$$

r - wymiarowy wektor odpowiedzi ma postać:

$$\mathbf{X}^{Tr}(\omega,\Theta)=\{x_1(\omega,\Theta),x_2(\omega,\Theta),...,x_n(\omega,\Theta),x_I(\omega,\Theta),x_{II}(\omega,\Theta),...,x_r(\omega,\Theta)\} \quad (2)$$

Przyjmując wyznaczalność wektora wymuszeń $\mathbf{F}_k(t,\Theta)$ i wektora prędkości drgań $\mathbf{V}_i(t,\Theta)$, będącego wektorem odpowiedzi w punktach i = 1, 2,...r systemu, zdefiniowano macierz rozkładu mocy obciążeń [2]:

$$\mathbf{N}_{ik}(t,\Theta)=\mathbf{V}_i(t,\Theta)\mathbf{F}_k^{Tr}(t,\Theta), \quad i\geq k \quad (3)$$

Tr – symbol transformowania wektora (macierzy).
W dziedzinie częstotliwości macierz widmowego rozkładu mocy obciążeń dynamicznych jest wyznaczana przez macierz charakterystyk dynamicznych systemu i macierz gęstości widmowych mocy elementów wektora wymuszeń [2]:

$$\{G_{N_{ik}}(j\omega,\Theta)\}=\mathbf{H}_{V_{ik}}(j\omega,\Theta)\cdot\mathbf{G}_{F_kF_k}(j\omega,\Theta) \quad (4)$$

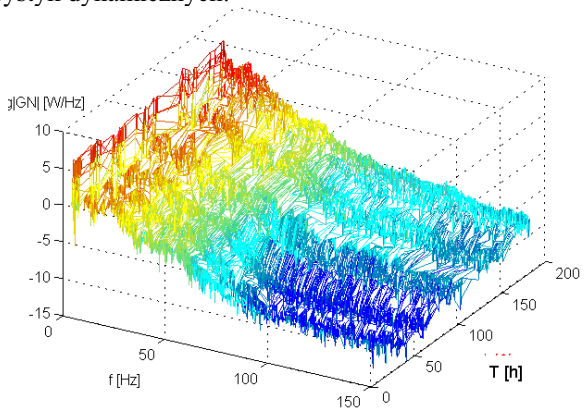
gdzie:
$\mathbf{H}_{V_{ik}}(j\omega,\Theta)$ – macierz mobilności dynamicznej systemu, $\mathbf{G}_{F_kF_k}(j\omega,\Theta)$ – macierz gęstości widmowych wymuszeń.
Elementy macierzy charakterystyk dynamicznych:

$$\mathbf{H}_{ik}(j\omega,\mathbf{D}(r,\Theta))=\begin{Bmatrix} H_{11}[j\omega,D_{11}(\Theta)] & \dots & H_{1n}[j\omega,D_{1n}(\Theta)] \\ H_{n1}[j\omega,D_{n1}(\Theta)] & \dots & H_{nn}[j\omega,D_{nn}(\Theta)] \end{Bmatrix} \quad (5)$$

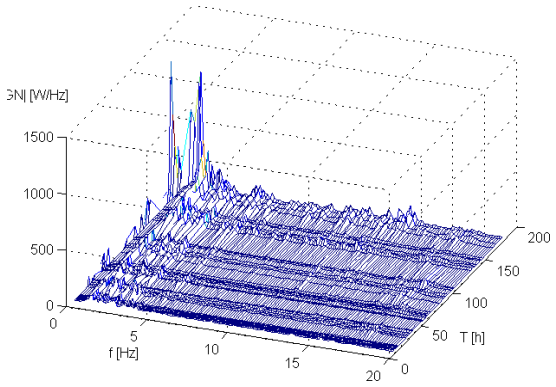
są funkcjami przestrzennej miary degradacji elementów przyczepy.

3. WYNIKI BADAŃ

Realizowano badania przyczepy poddawanej wymuszeniom kinematycznym, zadawanym kolejno na koła przedniej osi przyczepy, a następnie na koła tylnej osi. Poniżej, na rysunku 2 zamieszczono moduły gęstości widmowych mocy GN obciążeń dynamicznych ramy przyczepy (siła wymuszająca i przyspieszenia drgań pionowych), wyznaczone w różnych stanach jej degradacji przy zadawaniu wymuszenia na stanowisku badań przyspieszonych

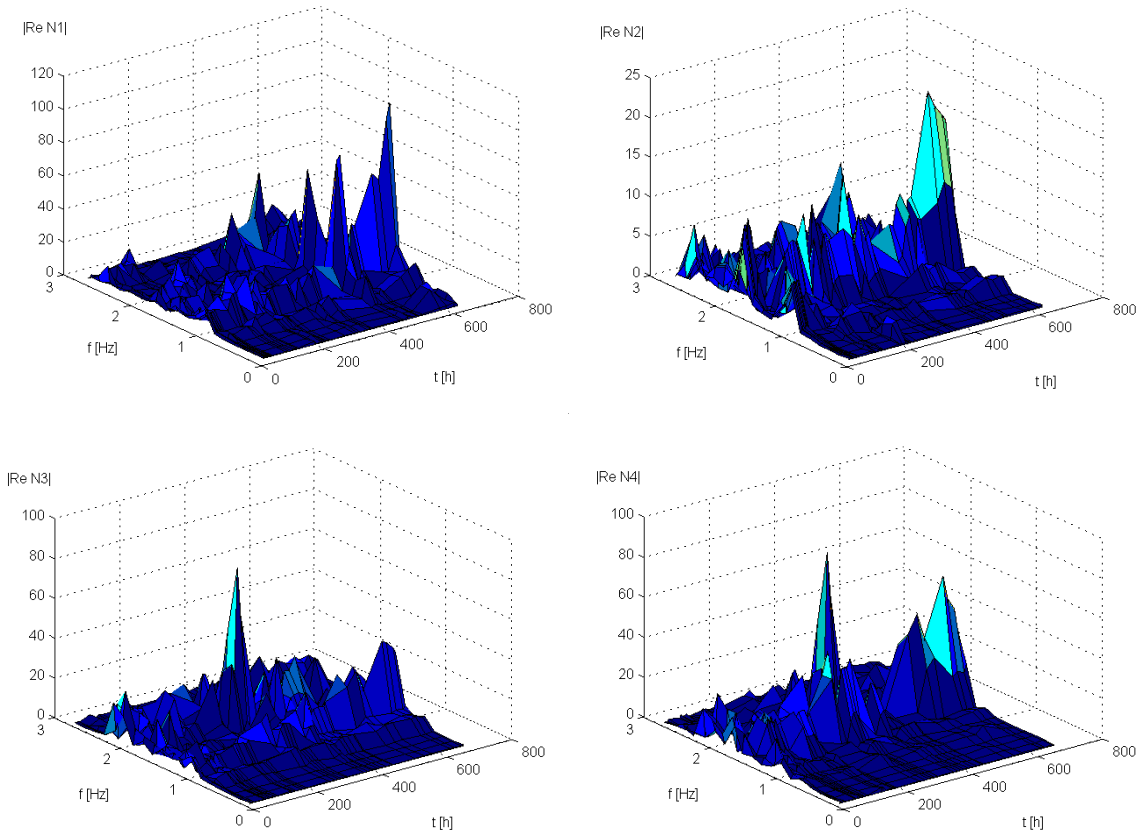


Rys. 2. Logarytm widm gęstości widmowych mocy w funkcji czasu zadawania obciążeń zmęczeniowych



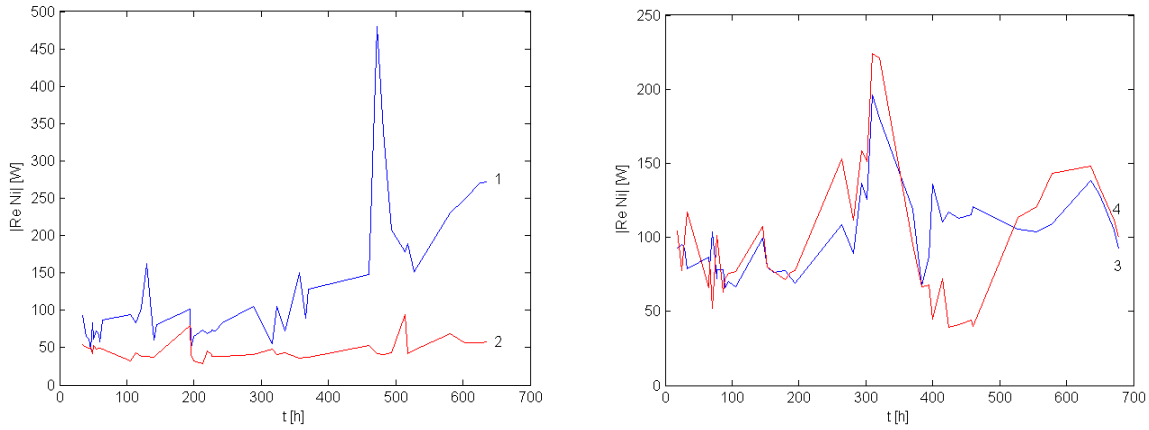
Rys.3. Widma gęstości widmowych mocy GN w funkcji czasu zadawania obciążeń zmęczeniowych

Wzrost składowych mocy obciążeń dynamicznych o częstotliwościach 1,17 i 3,2 Hz (rys. 3) wystąpił w końcowej fazie eksperymentu. Stanowić to może symptom inicjacji procesu degradacji badanego węzła konstrukcyjnego.
Wyznaczono części rzeczywiste mocy obciążeń dynamicznych węzłów amortyzujących przyczepy, będące miarą ich degradacji i części urojone. Części rzeczywiste mocy obciążeń dynamicznych opisują stan degradacji węzłów amortyzujących w funkcji czasu badań trwałościowych na stanowisku. Analizując trójwymiarowe wykresy części rzeczywistych mocy sił w funkcji częstotliwości (w poszczególnych zakresach częstotliwości) i w funkcji czasu (rys. 4) obserwuje się duże zmiany (maksimów) w przebiegu tych funkcji, a szczególnie różne wartości maksimów tych funkcji dla poszczególnych amortyzatorów.. Oznacza to, iż w badanych węzłach wystąpiły procesy degradacyjne o różnej intensywności. Szczególnie w końcowej fazie badań wystąpił wzrost procesów degradacyjnych amortyzatorów.

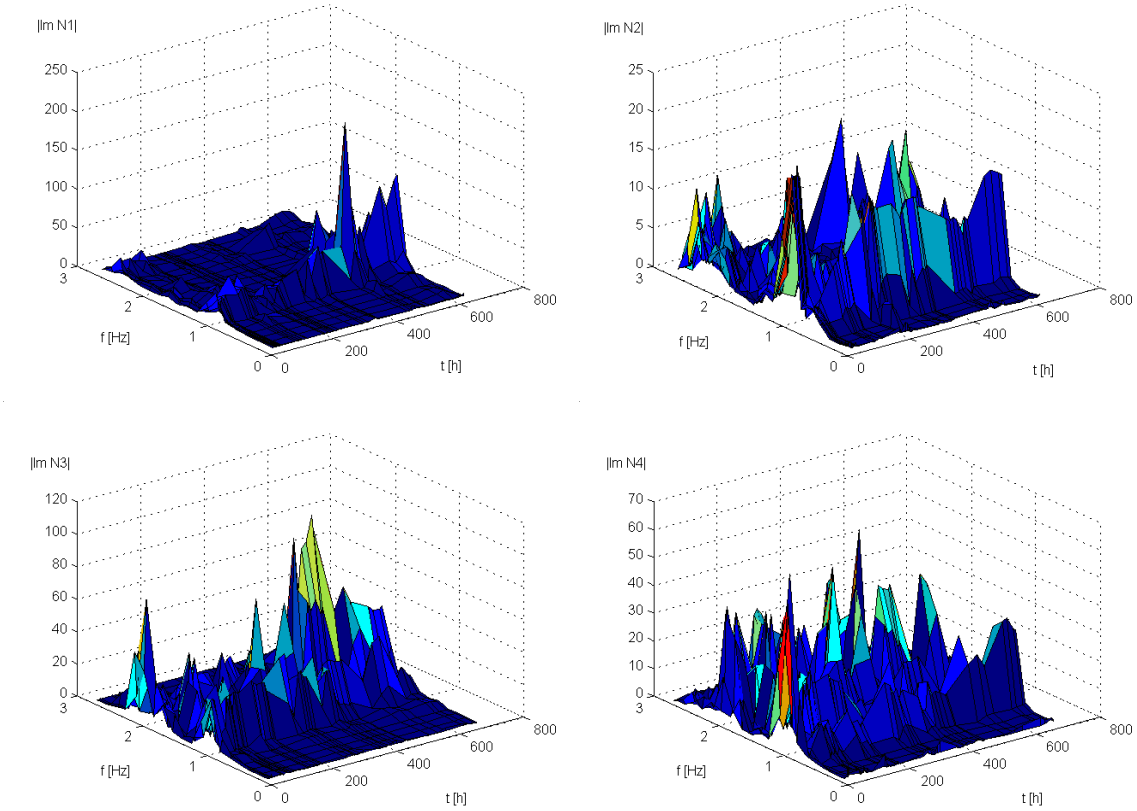


Rys. 4. Widma części rzeczywistych mocy obciążeń dynamicznych węzłów amortyzujących przyczepy, (1, 2 – oś przednia,1 – lewy amortyzator; 3, 4 – oś tylna, 3 - lewy amortyzator)

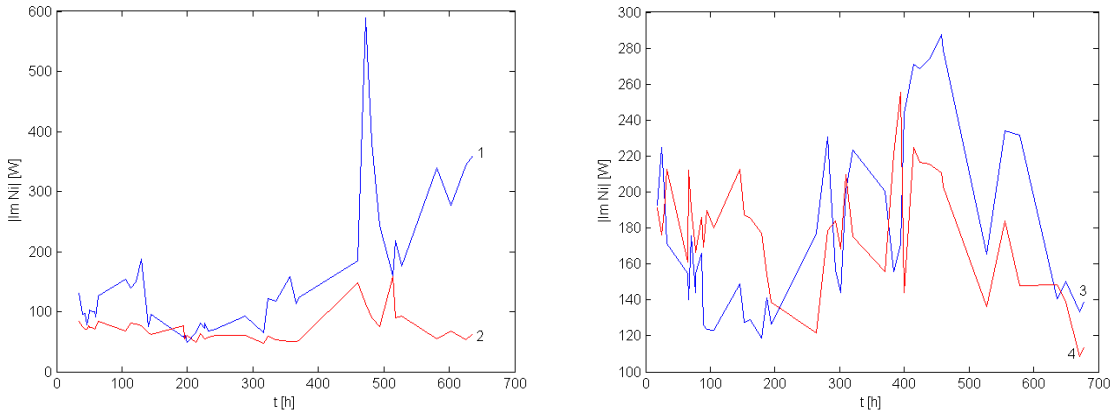
Z porównania wykresów (rys. 4) wynika, że najwyższe wartości mocy sil degradacji (o częstotliwości około 0,8 Hz) wystąpiły w lewym przednim amortyzatorze. Wykresy mocy sił degradacji węzłów amortyzujących przyczepy zamieszczono na rys. 5.



Rys. 5 Wykresy mocy sił degradacji węzłów amortyzujących przyczepy (1,2 – oś przednia, 3, 4 – oś tylna)



Rys. 6. Widma części urojonych mocy obciążeń dynamicznych węzłów amortyzujących przyczepy



Rys. 7. Wykresy mocy sił oddziaływań zwrotnych: węzeł amortyzujący przyczepy – stanowisko zadawania wymuszeń (1,2 – oś przednia, 3, 4 – oś tylna)

Części urojone mocy sił wymuszających są miarą wzajemnie przenoszonych mocy sił sztywności i sił bezwładności przez poszczególne amortyzatory na skrzynię ładunkową i stąd zwrotnie na stanowisko badawcze. Najwyższe wartości obciążeń zwrotnych występują między lewym przednim amortyzatorem i stanowiskiem (porównaj rys. 6 i 7).

Uwaga! Przy odczycie wykresów na rys. 4 i 6 należy uwzględnić rożne skale amplitud.

4. TRWAŁOŚĆ RESZTKOWA

Badając poszczególne elementy macierzy rozkładu mocy obciążeń $\overline{\mathrm{GN}}_{\mathrm{ik}}(\omega)$ wyznacza się stany poszczególnych węzłów konstrukcyjnych maszyn [1].Proces destrukcji odzwierciedla się przez wartości odpowiednich elementów macierzy mocy obciążeń $\overline{\mathbf{GN}}_{\mathrm{ik}}(\omega)$, umożliwiając lokalizację narastającej destrukcji w maszynie [4]. Pozwala to zidentyfikować najsłabsze ogniwa maszyny oraz określić czas jej życia i kierunki optymalizacji energetycznej [5]. Podczas użytko-

wania maszyny, w chwilach Θ_r ich użytkowania, nie powinny występować przekroczenia wartości dopuszczalnych mocy obciążeń w węzłowych punktach maszyny, tj. $\overline{N}_k(\Theta_r) \le \overline{N}_{dop.}$ (6)

Oznacza to, że chwilowe przeciążenia mogą osiągnąć wartości graniczne [8].

Wielkością fizyczną stanowiącą podstawę do określenia wielkości granicznych decydujących o zniszczeniu zmęczeniowym węzła konstrukcyjnego jest praca (energia) sił procesów destrukcji.

Zdefiniowano elementy macierzy wytężeń energetycznych węzła konstrukcyjnego[7]:

$$\overline{W}_{ik} = \frac{\int \overline{N}_{ik}(t)dt}{S_i} , \quad (7)$$

gdzie: $\overline{N}_{ik}$ są mocami obciążeń dynamicznych w punktach „*i*" wywołanych przyłożeniem sił w punktach „*k*", S_i – charakterystyka geometryczna (np. pole przekroju poprzecznego) węzła konstrukcyjnego (elementu maszyny) w pkt. „*i*", przy czym $\overline{N}_{ik}$ są średnimi mocami obciążeń przenoszonymi do punktu „*i*" maszyny z punktów „*k*" przyłożenia wymuszeń [2].

Obciążenia zmienne wywołują w materiale złożone procesy zależne od poziomu wymuszeń i sposobu ich zadawania. Przy dostatecznie dużych amplitudach wymuszeń wystąpią w materiale odkształcenia sprężyste - plastyczne. Zniszczenie zmęczeniowe powstaje głównie w wyniku odkształcenia sprężystego lub plastycznego na krawędziach wad materiału. Ilość energii dyssypowanej oraz dystrybucja w objętości materiału decydują o trwałości elementów [17]. Według kryterium wytrzymałości zmęczeniowej zaproponowanego przez F. Ellyin i D. Kujawskiego, miarą zniszczenia jest suma energii dyssypowanej i połowy iloczynu naprężenia i odkształcenia [5].

W wyniku cyklicznego obciążenia część energii drganiowej ulega nieodwracalnemu rozproszeniu. Jako parametr zniszczenia przyjmuje się (K. Gołoś) [5, 14] sumę odkształceń energii rozproszenia w cyklu wskutek powstania odkształceń plastycznych oraz gęstości energii sprężystej w pół cyklu rozciągania, powodującej tworzenie i rozwijanie się pęknięcia zmęczeniowego. Zatem miara stanu destrukcji maszyny $D = \frac{E_d(\Theta)}{E_{db}}$ [1],

gdzie E_{db} - jest jej pojemnością dyssypacyjną.

Dyssypowana moc sił destrukcji w chwili Θ wynosi [1]:

$$N_d(\Theta) = N_0(1 - D)^{-1} \quad (8)$$

gdzie $N_{d_0}(\Theta) = N_d(\Theta = 0)^{-1}$, jest mocą dyssypowaną w chwili początkowej 0.

Stąd resztkowy czas użytkowania maszyny:

$$1 - D = \frac{N_{d_0}}{N_d(\Theta)} \quad (9)$$

Do oceny trwałości elementów maszyn wymagana jest znajomość mocy dyssypowanej (części rzeczywistej wytężeń $Re W_{ik}(\Theta)$ i oddzielenie mocy sił sztywności dynamicznej $Im W_{ik}(\Theta)$) [5].

$$\int_{\Theta_0}^{\Theta_r} \mathrm{Re}\, N_{ik}(\Theta)d\Theta + \frac{1}{2}\int_{\Theta_0}^{\Theta_r} \mathrm{Im}\, N_{ik}(\Theta)d\Theta < L_{gr} \quad (10)$$

Aby wyznaczyć pracę sił procesu destrukcji należy znać funkcję podcałkową.

Na podstawie wykresów mocy sił degradacji węzłów amortyzujących (rys 5 i 7)wyznaczono pracę sił degradacji poszczególnych węzłów wg wzoru 10:

$(L_{Re} + ½ LIm)(1)=134,5$ kWh;

$(L_{Re} + ½ L_{Im})(2)=47$ kWh

Stąd, przyjmując charakterystyki węzła nr 2 jako wzorcowe, oszacowano trwałość resztkową węzła nr 1: 35%.

Przedstawiona wyżej metoda analizy rozkładu mocy obciążeń dynamicznych w zastosowaniu do badań trwałości zmęczeniowej maszyn pozwala zastosować energetyczne kryteria oceny trwałości i szacowania resztkowego czasu życia maszyny[10]. Do oceny trwałości elementów maszyn wymagana jest bowiem znajomość mocy dyssypowanej i oddzielenie mocy sił bezwładności i sztywności dynamicznej. Metoda ta może być zastosowana do prognozowanie resztkowego czasu życia odpowiedzialnych elementów obiektów technicznych. Metodę można głównie zastosować w badaniach przenoszenia mocy między subsystemami (układami złożonymi), w pracach z zakresu syntezy układów mechanicznych modelowanych energetycznie w dziedzinie częstotliwości [2], oraz do prac z dziedziny niezawodności symptomowej. Znajomość struktury systemu pozwala opisać jego zachowanie, a także zbudować model prognostyczny zachowań systemu w funkcji czasu ewolucji, oparty na energetycznym modelu badania symptomów [10, 19]

4. WNIOSKI

1. Wysokie wartości mocy sil degradacji wystąpiły w lewym przednim amortyzatorze przyczepy.
2. Podczas badań trwałościowych nie stwierdzono uszkodzeń konstrukcji ramy nośnej przyczepy.
3. Metoda analizy rozkładu mocy obciążeń dynamicznych umożliwia wyznaczenie charakterystyk procesu degradacji węzłów konstrukcyjnych maszyny, poddawanej obciążeniom dynamicznym.
4. Energetyczne kryteria oceny trwałości i szacowania resztkowego czasu życia maszyny, oparte o metodę analizy rozkładu mocy obciążeń dynamicznych, znajdują zastosowanie w badaniach trwałości zmęczeniowej maszyn na stanowisku badań przyspieszonych.

LITERATURA

[1] Cempel C., Modele systemów przetwarzania energii w teorii i inżynierii systemów. Promocja na Doktora Honoris Causa Politechniki Szczecińskiej, Politechnika Szczecińska, 1995.
[2] Kaźmierczak H., Analiza rozkładu mocy obciążeń dynamicznych w systemach mechanicznych, Rozprawy Nr 363, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001.
[3] Kaźmierczak H., Dynamic load power distribution in mechanical systems, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, Zeszyt 3(127),127-141, ITE Radom 2003.
[4]Kaźmierczak H., Badania trwałości zmęczeniowej maszyn metodą analizy rozkładu mocy obciążeń dynamicznych, Diagnostyka vol.26, 133-142, 2002, PTDT przy Wydziale Nauk Technicznych PAN.
[5] Kaźmierczak H., Energetic description of the destruction process of machine structural nodes, Machine Dynamics Problem, Vol. 27, No 3, 113-123, Warszawa 2003.
[6] Kaźmierczak H., Rola eksperymentu modalnego w badaniach trwałości struktur mechanicznych, w Zagadnienia Analizy Modalnej Konstrukcji Mechanicznych 131-137, AGH, Kraków 2003.
[7] Kaźmierczak H., Energetyczna ocena destrukcji maszyny, XXX, Jubileuszowe Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Politechnika Śląska, Katowice 2003.
[8] Kaźmierczak H., Analiza destrukcji maszyny metodą rozkładu mocy obciążeń dynamicznych, DIAGNOSTICS'2004 –3rd International Congress of Technical Diagnostics.
[9] Kaźmierczak H., Pawłowski T., Cempel C. Energy Flow Analysis of Vibration Loads of Machines, Eleventh International Congress on Sound and Vibration (ICSV 11), St. Petersburg 2004.
[10] Kaźmierczak H., Energetyczna Analiza Stanu Technicznego Maszyn w książce INŻYNIERIA DIAGNOSTYKI MASZYN, PTDT, Instytut Technologii Eksploatacji, Warszawa, Bydgoszcz, Radom 2004.
[11] Kiciński J., Non-Linear Vibrations as a New Diagnostic Tool – Crack Detection Example, 3rd International Congress of Technical Diagnostics, Poznań 2004
[12] Łagoda T., Energetyczne modele oceny trwałości zmęczeniowej materiałów konstrukcyjnych w warunkach jednoosiowych i wieloosiowych obciążeń losowych. Studia i monografie, z. 121. Politechnika Opolska, Opole 2001
[13] Natke H.G., Cempel C., Model-Aided Diagnosis of Mechanical Systems, Springer-Verlag, 1997.
[14] Osiński Z., Tłumienie drgań, PWN, Warszawa 1997.
[15] Szala J., Zmęczeniowe pękanie materiałów i konstrukcji – rozwój nauki i zastosowań praktycznych, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, zeszyt 2 (126) , vol. 36, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2001.
[16] Szala J., Szala G., Dwuparametryczne charakterystyki zmęczeniowe – sformułowanie problemu, Problemy Eksploatacji 3/2001(42), Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2001.
[17] Wegner T., Metody energetyczne w wytrzymałości materiałów, Hipoteza wytrzymałościowa stateczności równowagi wewnętrznej. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 81 stron, Poznań 1999.
[18] Żółtowski B., Podstawy diagnostyki maszyn, ATR Bydgoszcz, 1996.
[19] Żółtowski B.,Cempel C, INŻYNIERIA DIAGNOSTYKI MASZYN, PTDT, Instytut Technologii Eksploatacji, Warszawa, Bydgoszcz, Radom 2004.

Doc dr hab. **Henryk KAŹMIERCZAK** – absolwent fizyki na Wydziale Mat. Fiz. Chem. Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 1977r. na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej. Stopień doktora habilitowanego nauk technicznych z dziedziny mechanika uzyskał w 2002r. na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Jest autorem ponad 250 publikacji naukowych. Zajmuje się zagadnieniami z dziedziny dynamiki maszyn, diagnostyki technicznej, identyfikacji własności dynamicznych maszyn, w tym metodami analizy modalnej. Jest autorem prac i publikacji z dziedziny energetycznego modelowania obciążeń w maszynach oraz zastosowania opracowanej przezeń metody analizy rozkładu mocy obciążeń dynamicznych do badań procesów degradacji technicznej i trwałości maszyn. Jest członkiem krajowych i zagranicznych towarzystw naukowych.

KONCEPCJA SYSTEMU DORADCZEGO DLA BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Wiktor KUPRASZEWICZ

Instytut Politechniczny, Zakład Budowy i Eksploatacji Maszyn,
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Stanisława Staszica w Pile
64-920 Piła ul. Podchorążych 10, tel. (067) 352-26-12 wkupraszewicz@pwsz.pila.pl

Streszczenie

Zagadnienie oceny stanu obiektów technicznych nabiera szczególnego znaczenia głównie w fazie eksploatacji, ze względu na uwarunkowania ekonomiczne i ekologiczne. Stosowane obecnie urządzenia diagnozujące stan obiektów, takich jak pojazdy samochodowe, ograniczają się jedynie do pomiarów. Sprawy znacznie się komplikują, jeżeli chodzi o stan, w jakim był obiekt przed np. wypadkiem lub, jaka jest prognoza, co do dalszej jego eksploatacji. W artykule omówiono problematykę tworzenia systemu doradczego dla badań diagnostycznych obiektów technicznych.

Słowa kluczowe: systemy doradcze, badania diagnostyczne.

CONCEPTION OF ADVISORY SYSTEM FOR TECHNICAL OBJECTS DIAGNOSTIC INVESTIGATIONS

Summary

The problem of technical objects state gathers special meanings mainly in exploitation phase, with regard on economic and ecological conditions. Currently practical diagnostic mechanisms of objects state, such as car vehicles, restrain only to measurements. Matters become complicated considerably, about state, in which object was found before accident for instance, or how is prognosis, regarding its further exploitation. In this article the matter of problems of advisory system creation for diagnostic investigations of technical objects was under discussion.

Keywords: advisory systems, investigation diagnostics.

1. SZTUCZNA INTELIGENCJA – DEFINICJA, REPREZENTACJA WIEDZY I POSZUKIWANIE ROZWIĄZAŃ

Przez wiele dziesiątków lat próbowano zastosować komputery do rozwiązania problemów, które do tej pory uważano wyłącznie za rozwiązywalne przez ludzki umysł. Tak narodziła się sztuczna inteligencja. Pojęcie to pojawiło się już w latach pięćdziesiątych, a obecnie definicja sztucznej inteligencji przedstawia się następująco: **Sztuczna inteligencja** (angielskie *artificial intelligence, AI*), dział informatyki zajmujący się konstruowaniem maszyn i algorytmów, których działanie posiada znamiona inteligencji. Rozumie się przez to zdolność do samorzutnego przystosowywania się do zmiennych warunków, podejmowania skomplikowanych decyzji, uczenia się, rozumowania abstrakcyjnego itp.

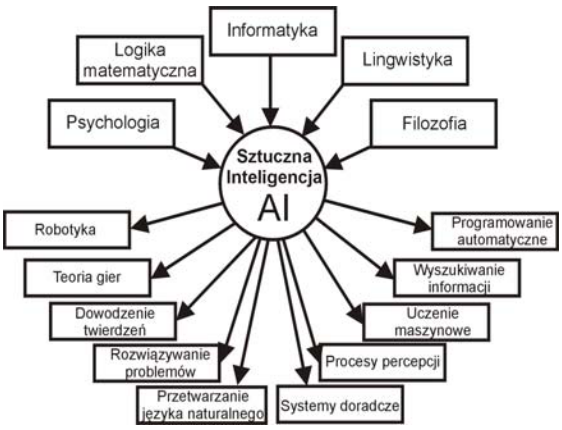
W badaniach nad sztuczną inteligencją wyróżniamy wiele nurtów. Maksymalny program, jaki stawia przed sobą ta dziedzina to stworzenie maszyn o inteligencji dorównującej, a nawet przewyższającej ludzką. Program minimalny to stworzenie algorytmów lub maszyn przejawiających tylko jakiś wąski aspekt inteligencji, np. grających w szachy lub rozpoznających obrazy czy automatycznie tworzących raporty lub ekspertyzy w wybranej dziedzinie wiedzy.

Sztuczna inteligencja jest dziedziną bardzo kontrowersyjną, jednak chętnie badaną przez wiele firm. Badacze tej dziedziny natrafili na szereg problemów. Najpoważniejszym jest to, że komputer jest jedynie maszyną, nie potrafi niczego sam wymyślić, ponieważ „nie myśli" w ludzkim znaczeniu tego słowa. Nie posiada intuicji, podświadomości, stanów emocjonalnych (to akurat można uznać za jedną z poważniejszych zalet komputerów). Komputer jednak ma szereg bardzo poważnych zalet dających mu przewagę nad człowiekiem. Jego podstawową zaletą jest szybkość dokonywanych obliczeń. W tym względzie człowiek nigdy nie doścignie maszyny. Jednak obliczenia te nie są twórcze, a jedynie przetwarzane z kodu programu, który został wprowadzony przez człowieka. Komputer musi, więc się jakoś komunikować z człowiekiem. Dzieje się to za pomocą programu. Człowiek wprowadza dane,

komputer analizuje je, wykonuje operacje i odpowiada. Można powiedzieć, że działa to na zasadzie dialogu, a więc powstaje wrażenie jakby obie strony przekazywały swoje myśli. Widzimy więc, że komputer sprawia wrażenie jakby myślał, miał inteligencję. To jest właśnie sztuczna inteligencja.

Do sprawdzenia, czy dany system (program) posiada inteligencję (oczywiście sztuczną) wykorzystuje się test Turinga, zwany inaczej testem nie rozróżnialności (indistinguishability test). Polega on na tym, że maszynę uważa się za inteligentną, jeśli bezstronny obserwator zadając pytania systemowi nie będzie w stanie stwierdzić, czy odpowiedzi pochodzą od człowieka czy od maszyny. Realizacją tego testu może być np. gra w szachy. Systemy sztucznej inteligencji określa się jako systemy oparte na wiedzy (knowledge based system), bowiem w metodach SI następuje przejście od przetwarzania danych do przetwarzania wiedzy.

Poniższy model (rys.1.) ukazuje powiązania różnych dziedzin, które korzystają lub tworzą sztuczną inteligencję.



Rys.1. Model wejściowo-wyjściowy sztucznej inteligencji

Cały zarys historyczny można podzielić ogólnie na cztery etapy.

Pierwszy etap obejmuje lata 1945 – 1955. W okresie tym powstały komputery oraz bardzo gwałtownie rozwinęła się dziedzina cybernetyki. Prekursorem tej dziedziny był N. Wiener, który napisał dzieło „Cybernetics". Powstawały również pierwsze prace z dziedziny sztucznej inteligencji, między innymi stworzony został wspomniany wcześniej test Turinga.

Drugi etap rozwoju sztucznej inteligencji obejmuje lata 1955 – 1970. W tym czasie rozwija się koncepcja sztucznej inteligencji, określa się jej przeznaczenie, rozwija się pojęcie robotyki i heurystyki, następuje gwałtowny rozwój komputerów. Na początku lat sześćdziesiątych powstaje program „rozwiązywania problemów ogólnych" (GPS – General Problem Solver). Pozwoliło to na zajmowanie się rozwiązywaniem prostych, nieskomplikowanych problemów, ale za to z niemal każdej dziedziny (ogólnikowo). Dzięki temu przedsięwzięciu rozwinęły się różnego rodzaju programy dla różnych gier, ale także programy do automatycznego dowodzenia twierdzeń – przykładem może być opracowanie programu gry w szachy, który wykorzystywał doświadczenie z przebytych już partii, aby działać jeszcze skuteczniej.

Drugi etap był również przełomowy ze względu na stworzenie w tym okresie podstawowych narzędzi programowych, między innymi znanego na całym świecie języka Lisp (List Processing Language). Jego twórcą jest J. McCarthy, a sam język oparty jest na przetwarzaniu struktur listowych. Głównym powodem stworzenia tego języka było odejście od przekształcania typu numerycznego, ogólnie przyjętego w informatyce na przekształcanie symboli. Z tego powodu język ten bardzo szybko znalazł zastosowanie przy tworzeniu programów równania symbolicznego, uproszczenia wyrażeń algebraicznych oraz do tworzenia programów dowodzenia twierdzeń i wnioskowania.

Kolejny trzeci etap w rozwoju sztucznej inteligencji przypada na lata 1970 – 1980. Był to bardzo ciężki okres w rozwoju tej dziedziny, zwłaszcza jej początkowe lata. Ludzie wiązali z tą dziedziną zbyt wielkie nadzieje i chcieli szybkich efektów, a przecież nie wszystko da się osiągnąć od razu, w bardzo szybkim czasie, zwłaszcza w tak trudnej dziedzinie. Zaczęła pojawiać się krytyka badań nad SI, między innymi raport Lighthill (1971 rok). Ludzie w porę jednak zrozumieli, ze błędem było ograniczenie badań wyłącznie do metod wnioskowania. Dlatego też większą uwagę zwracano teraz na metody reprezentacji wiedzy i powiązania jej z systemem, który zajmował się daną dziedziną. Zaczęły powstawać pierwsze systemy doradcze rozwiązujące problemy ze ściśle określonej dziedziny życia. Do programów (systemów doradczych), które powstały w tym okresie możemy zaliczyć: MYCIN, MACSYMA, EMYCIN. Ponadto w okresie tym stworzony został język programowania PROLOG (Programming In Logic), a wkład w jego powstanie mają również polscy naukowcy.

Po 1970 roku powstał nowy kierunek w dziedzinie sztucznej inteligencji - inżynieria wiedzy (knowledge engineering). Jej podstawowymi założeniami jest tworzenie metod programowania opisujących pozyskiwanie wiedzy pochodzącej od ekspertów, strukturalizowanie jej, dopasowywanie odpowiednich technik wnioskowania oraz tworzenie interfejsów, czyli komunikacji użytkownika z komputerem.

Ostatnim, czwartym etapem jest okres po 1980 roku. Jest to okres badań ukierunkowanych na bezpośrednie zastosowania sztucznej inteligencji. Obecnie w użytku jest bardzo dużo rozmaitych systemów doradczych. Sztuczna inteligencja jako dziedzina znalazła zastosowanie między innymi w robotyce, przy tworzeniu robotów reagujących na otoczenie (za pomocą mowy, analizy scen). Prym

w tej dziedzinie wiedzie Japonia. Interfejs użytkownika z systemem doradczym (komputerem) jest coraz bardziej naturalny i przyjazny.

Po 1980 roku wprowadzone zostały następujące projekty badawcze:

- projekt komputerów piątej generacji (Japonia),
- projekt zaawansowanej technologii informacji (Anglia),
- projekt ESPRIT (Europen Strategic Program for Research and Development In Information Technology),
- projekt MCC (Microelectronics Computer Technology Corporation - USA).

2. ARCHITEKTURA SYSTEMU

System ekspertowy (doradczy - SE) – program komputerowy, przeznaczony do rozwiązywania specjalistycznych problemów, które wymagają profesjonalnej ekspertyzy na poziomie trudności pokonywanych przez ludzkiego eksperta.

Dowolny program komputerowy może być systemem ekspertowym o ile na podstawie szczegółowej wiedzy „potrafi" wyciągać wnioski i używać ich podejmując decyzję, tak jak człowiek. Bardzo często zdarza się jednak, iż taki system, pracujący w czasie rzeczywistym, pełni swoją rolę lepiej niż człowiek (ekspert). Główną przewagą systemu ekspertowego nad człowiekiem jest szybkość oraz brak zmęczenia.

Systemy ekspertowe, ze względu na zastosowanie, możemy podzielić na trzy ogólne kategorie:

- systemy doradcze (advisory systems),
- systemy krytykujące (criticizing systems),
- systemy podejmujące decyzje bez kontroli człowieka.

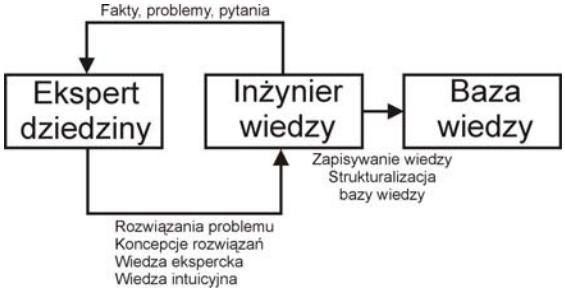
Pierwszy rodzaj - systemy doradcze, zajmują się doradzaniem, tj. wynikiem ich działania jest metoda rozwiązania jakiegoś problemu. Jeżeli rozwiązanie to nie odpowiada użytkownikowi, może on zażądać przedstawienia przez system innego rozwiązania, aż do wyczerpania się możliwych rozwiązań.

Odwrotnym działaniem do systemów doradczych charakteryzują się systemy krytykujące. Ich zadaniem jest ocena rozwiązania (danego problemu) podanego przez użytkownika systemowi. System dokonuje analizy tego rozwiązania i przedstawia wyniki w postaci opinii.

Ostatnim rodzajem systemów ekspertowych są systemy podejmujące decyzje bez kontroli człowieka. Działają one niezależnie. Pracują najczęściej tam gdzie udział człowieka byłby niemożliwy, same dla siebie są autorytetem.

Najszersze i najliczniejsze zastosowanie wśród systemów ekspertowych mają systemy doradcze. Budowane dziś systemy doradcze wykorzystują różne metody reprezentacji wiedzy: reguły, ramy, sieci semantyczne, rachunek predykatów, scenariusze. Najbardziej powszechną metodą jest reprezentacja wiedzy w formie reguł i przeważnie wielkość systemu określa liczba wpisanych reguł. Przyjęto, że system, który posiada poniżej 300 reguł nazywany jest zazwyczaj małym, średnim systemem ekspertowym, kiedy zawiera od 300 do 2000 reguł, zaś powyżej - systemem dużym [3].

Aby zbudować inteligentny program będący systemem ekspertowym należy go wyposażyć w dużą ilość prawdziwej i dokładnej wiedzy z dziedziny, jaką będzie zajmował się dany system. Ogólnie mówiąc wiedza jest informacją, która umożliwia ekspertowi podjęcie decyzji. Zasadniczym celem przy realizacji systemu ekspertowego jest pozyskanie wiedzy od ekspertów, jej strukturalizacja i przetwarzanie. Proces pozyskiwania wiedzy przedstawia rys.2.



Rys.2. Proces pozyskiwania wiedzy [4]

Wiedza jest pobierana przez inżyniera wiedzy od eksperta z danej dziedziny, w razie niejasności inżynier zwraca się z pomocą do eksperta. Następnie jest strukturalizowana do bazy wiedzy, skąd może być przetwarzana. Strukturalizacja bazy wiedzy polega na jej zapisywaniu w formie przyjętej do jej zapisywania tzw. reprezentacja wiedzy. Wiedza w systemach ekspertowych (doradczych) może być reprezentowana w postaci reguł, sieci semantycznych, ram, wykorzystujących elementy logiki rozmytej, rachunku prawdopodobieństwa, teorii zbiorów itp.

Problematyka reprezentacji wiedzy jest jednym z najważniejszych nurtów badań w dziedzinie sztucznej inteligencji. Systemy ekspertowe wykorzystują do rozwiązywania problemów jawnie wyrażoną wiedzę z określonej dziedziny. Wiedza ta musi być wcześniej opisana (sformalizowana) za pomocą tzw. języka reprezentacji wiedzy i wprowadzona do systemu. Kluczowym pojęciem jest tu wiedza, czyli w uproszczeniu zbiór wiadomości z określonej dziedziny.

W kontekście systemów ekspertowych wiedzę można określić jako informacje o świecie, umożliwiające ekspertom rozwiązywanie problemów i podejmowanie decyzji. Przez reprezentację wiedzy będziemy tu rozumieć sposób odwzorowania tej wiedzy w określony formalizm, który jest „zrozumiały" dla systemu ekspertowego. Oznacza to zdolność SE nie tylko do statycznego przechowywania fragmentu wiedzy (systemy statyczne) o świecie, ale również jej efektywne przetwarzanie w celu znalezienia rozwiązania

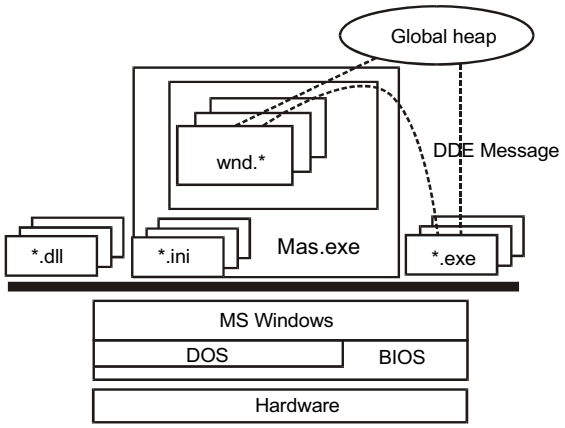
postawionego przed nim problemu. Efektywność systemu jest bardzo ważnym kryterium z punktu widzenia praktycznej realizacji systemów ekspertowych (doradczych).

Narzędzia programowe (expert system tool), które służą do tworzenia systemów ekspertowych, można podzielić na dwie grupy:

- języki programowania: języki systemów ekspertowych, języki sztucznej inteligencji, inne języki programowania,
- szkieletowe systemy ekspertowe (ang. *expert system shells* lub *skeletal systems*).

Opracowanie systemu ekspertowego, przy zastosowaniu pierwszego podejścia jest zadaniem bardzo pracochłonnym i wymaga zatrudnienia programistów o wysokich kwalifikacjach. Alternatywą jest zastosowanie systemu szkieletowego, zawierającego gotowy podsystem przetwarzania wiedzy. W takim przypadku zadanie twórcy systemu polega głównie na pozyskiwaniu i sformalizowaniu wiedzy ekspertów, co również jest zadaniem niełatwym. Do narzędzi umożliwiających realizację systemu ekspertowego (doradczego), w ramach drugiego podejścia należą systemy szkieletowe.

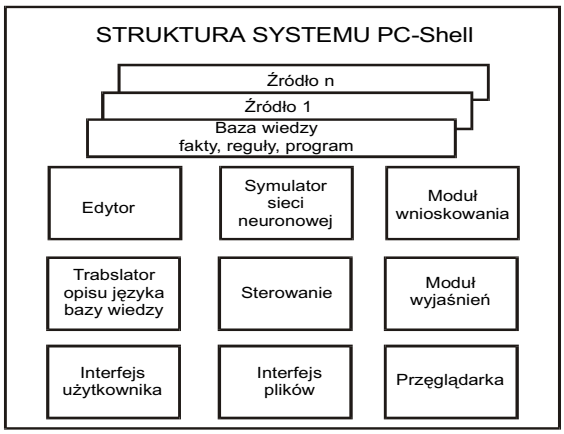
Znane są rozwiązania takich zastosowań. Do nich można zaliczyć system szkieletowy MAS (rys.3.)



Rys.3. Struktura systemu szkieletowego MAS [2,3]

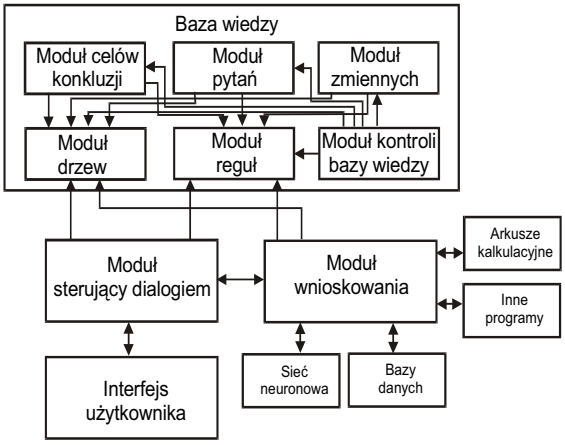
Program główny MAS (rys.3.) pozwala na uruchomienie innych programów, z którymi komunikuje się zgodnie z protokołem DDE (*Dynamic Data Exange*). W procesie dynamicznej wymiany danych program główny może występować w roli nadrzędnej (DDE klient) System MAS jest systemem otwartym, współdziała z innymi aplikacjami systemu Windows i bazami danych zgodnymi z formatem stosowanym przez program dBase IV.

Innym rozwiązaniem jest system szkieletowy PC Shell. System szkieletowy PC-Shell (rys.4.) jest narzędziem do tworzenia systemów ekspertowych z takich dziedzin wiedzy jak: ekonomia, diagnostyka, geologia, pracujących w systemie operacyjnym Windows 9x/NT.



Rys.4. Struktura systemu szkieletowego PC Shell [2]

System szkieletowy „Exsys" przeznaczony jest do budowy systemów doradczych, w których wiedza reprezentowana jest za pomocą reguł [1,2,3]. Edytor systemu „Exsys" składa się z kilku zasadniczych modułów: moduł zapisu konkluzji, moduł zapisu pytań (faktów), moduł zapisu zmiennych, moduł tworzenia drzew decyzyjnych, moduł tworzenia reguł i moduł kontroli poprawności bazy wiedzy (rys.5.).



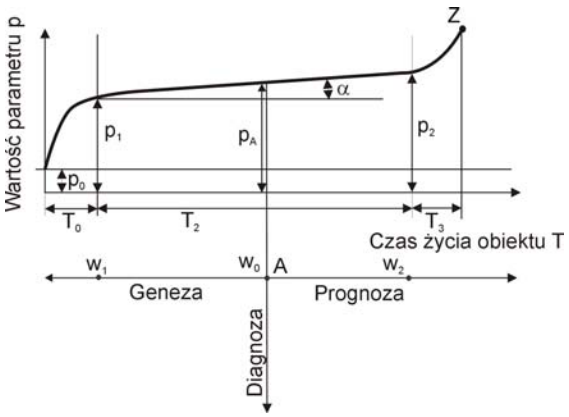
Rys.5. Struktura systemu szkieletowego Exsys [3]

Tworzenie systemu doradczego rozpoczyna się od wprowadzenia danych początkowych mających zasadniczy wpływ na budowę bazy wiedzy, a tym samym systemu doradczego. Dane początkowe systemu to: wybór pewności przedziału konkluzji, wybór metody przeszukiwania bazy wiedzy, wprowadzenie danych tekstowych o systemie, wybranie sposoby wyświetlania reguł, wybór komunikowania się z innymi aplikacjami (system otwarty). Rozpoczęcie tworzenia bazy wiedzy (zapisu reguł, symptomów, faktów) może być realizowane dwoma sposobami: przez tworzenie drzewa decyzyjnego lub zapisu reguł. Inżynier wiedzy podczas jej formalizowania ma możliwość zapisywania reguł prostych i złożonych. W przypadku wyboru graficznego zapisu drzew decyzyjnych reguły proste i złożone tworzone są

w sposób półautomatyczny (bloki reguł wybierane są w specjalnym oknie dialogowym [3].

3. KONCEPCJA SYSTEMU DORADCZEGO

Zaproponowana koncepcja systemu doradczego w swoim zakresie wnioskowania będzie obejmowała wszystkie rodzaje badań diagnostycznych [5,6,7]. Wraz z rozwojem sztucznej inteligencji i rozwojem informatyki, pojawiły się możliwości i potrzeba, ustalania historii eksploatacji obiektu technicznego, czyli ustalenia pewnych faktów, które doprowadziły obiekt do stanu w_0 (rys.6.).



Rys.6. Rodzaje badań diagnostycznych w powiązaniu z charakterystyką zużycia i parametrem stanu obiektu

Jeżeli posłużymy się przy określaniu stanu w_1, w_0 i w_2 , wartością parametru diagnostycznego p i przedstawimy to na rysunku określającym zmiany parametru diagnostycznego w zależności od czasu momentu życia obiektu, to otrzymamy ogólną charakterystykę, dającą się zastosować jako pewna zmienna dla systemu ekspertowego, którego zadaniem na podstawie diagnozy, będzie wyznaczenie genezy eksploatowanego obiektu lub prognozy, co do jego dalszej eksploatacji. Zależności te przedstawiono na rys.6.

W okresie T_0, który nazywamy okresem docierania następuje szybki wzrost zużywania się współpracujących części, a tym samym stabilizacja parametru diagnostycznego p_0 do wartości p_1, przy założeniu, że wartość początkowa parametru diagnostycznego była p_0.

Okres T_2, to okres właściwej eksploatacji obiektu technicznego i stały wzrost parametru diagnostycznego do wartości p_2 w czasie życia obiektu T_2. Okres trzeci T_3, to okres przyspieszonych zmian w strukturze obiektu, a tym samym intensywny wzrost parametru diagnostycznego, do wartości w punkcie Z, w którym następuje zniszczenie struktury i dalsza praca obiektu jest niemożliwa. Punkt Z jest punktem krytycznym, określanym jako awaria obiektu technicznego.

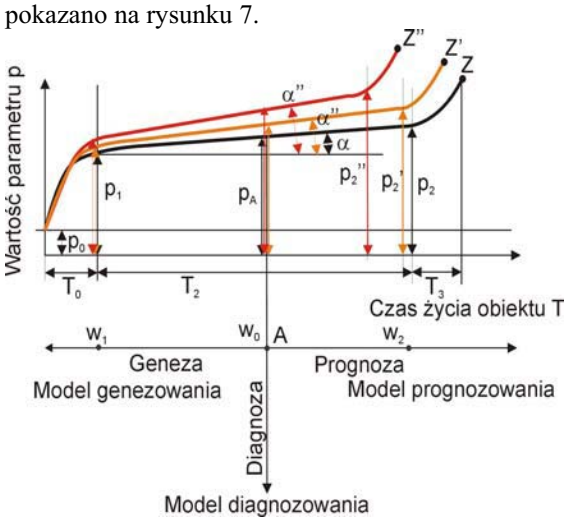
Istota budowy systemu doradczego opartego na charakterystykach przedstawionych na rysunku 6, polegać będzie na wyznaczaniu genezy i prognozy dla obiektu, dla którego postawiono diagnozę w punkcie A. Bardzo istotnym elementem tak przedstawionej charakterystyki jest przyrost parametru diagnostycznego p w czasie, wyrażony przy pomocy kąta α.

Wartość kąta α, wyznaczamy z równania 1:

$$tg\alpha = \frac{p_2 - p_1}{T_2} \qquad (1)$$

Wartość kąta α zasadniczo wpływa na przebieg charakterystyki życia obiektu, a zasadniczo na punkt krytyczny Z. Przebieg charakterystyki jest więc zależny przede wszystkim od warunków antopotechnicznych (układu człowiek, obiekt techniczny, środowisko), jak i warunków zewnętrznych (warunków eksploatacji).

Dla identycznych obiektów technicznych różnych, co do czynników wymienionych wyżej, otrzymamy różne charakterystyki życia obiektu, różne diagnozy, różne genezy jak i prognozy, co pokazano na rysunku 7.

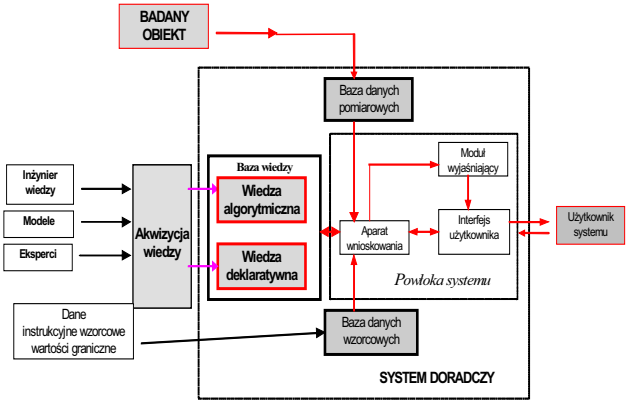


Rys.7. Charakterystyki życia obiektu w zależności od warunków antropotechnicznych i eksploatacyjnych

Pomimo, że w punkcie A otrzymamy zbliżone wartości parametrów diagnostycznych, które będą kwalifikować obiekt do stanu zdatności, to zarówno w genezie jak i prognozie, będą się one zasadniczo się od siebie różniły. Jak pokazano na rysunku 3, wartości parametrów diagnostycznych, charakterystycznych dla krzywych życia obiektu przesuwają się w kierunku osi rzędnych wpływając na zasadniczo na punkt Z, przesuwając go do punktu Z' i Z''.

W ostatnich latach intensywny rozwój sztucznej inteligencji, a w tym systemów ekspertowych (doradczych),stworzył możliwości zastosowania systemu doradczego do rozwiązania tego problemu, jakim jest ustalenie genezy np. sposobu eksploatacji obiektu technicznego, co nie jest bez znaczenia na

prognozę, a tym samym wyznaczenie czasu, T dla punktu Z. Strukturę takiego systemu w którym zostaną zastosowane charakterystyki życia obiektu (zespołów, podzespołów rysunek części) pokazuje rysunek 8.



Rys.8. Koncepcja systemu doradczego

Na podstawie tak przyjętych charakterystyk, jest możliwe opisanie stanu technicznego obiektu i wyznaczanie wszystkich trzech elementów badania diagnostycznego tj na podstawie wartości parametrów diagnostycznych w punkcie A, określanie genezy i prognozy, co do stanu obiektu w_1 i w_2, w określonych czasach wg rys.7.

Proces konstruowania systemu doradczego należy do zagadnień inżynierii wiedzy. Zasadniczym celem inżynierii wiedzy jest pozyskiwanie wiedzy (powinien to być proces ciągły), jej strukturalizacja, przetwarzanie zwane akwizycją wiedzy. Obiekt techniczny, który w przyszłości będzie podlegał takiemu badaniu powinien być już na etapie konstruowania „wyposażany" w tego typu, lub podobne charakterystyki oraz wartości parametrów stanów granicznych, co jest niezbędnym do prawidłowego działania systemu. Odrębny problemem jest wybór zespołu ekspertów o tak zwanej zgodnej opinii oraz cała metodologia związana z pozyskiwaniem i zapisywaniem wiedzy do systemu.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiona tu koncepcja systemu doradczego dla potrzeb badań diagnostycznych obiektów technicznych pokazuje, że zrealizowanie tego zadania jest zadaniem trudnym i wymaga zgromadzenia bardzo obszernej wiedzy o obiekcie technicznym, w zależności od wartości parametrów diagnostycznych, określonych na podstawie życia obiektu, czy zastosowanych modeli.

Jedynie zapisanie tej wiedzy w systemie doradczym (ekspertowym) opartym na wiedzy algorytmicznej bądź deklaratywnej, pozwoli w przyszłości na rozwiązywanie problemów w zakresie badań diagnostycznych dotyczących szczególnie genezowania i prognozowania.

LITERATURA

[1] Cholewa W., Pedrycz W.: „Systemy doradcze"; Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1447. Gliwice 1987.
[2] Cholewa W., Korbacz J., Kościelny J., Kowalczuk Z.: Diagnostyka procesów, WNT, Warszawa 2002 r.
[3] Kupraszewicz W.: Rozprawa doktorska „Budowa i egzemplifikacja systemu doradczego wybranego silnika wysokoprężnego"; ATR ,Bydgoszcz 2002 r.
[4] Mulawka J. J.: „Systemy ekspertowe" WNT Warszawa 1996 r.
[5] Niziński S.: „Elementy diagnostyki obiektów technicznych"; Uniwersytet Warmińsko-Mazurski. Olsztyn 2001 r.
[6] Żółtowski B. Tylicki H.: „Wybrane problemy eksploatacji maszyn"; Wyd. PWSZ, Piła 2004 r.
[7] Żółtowski B;Cempel Cz.: „Inżynieria diagnostyki maszyn"; Wyd. BPE, PTT i ITE-PIB, Radom 2004 r.

Dr inż. Wiktor KUPRASZEWICZ jest pracownikiem dydaktycznym Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Pile. Od roku 1996 współpracuje z Katedrą Maszyn Roboczych i Pojazdów, ATR w Bydgoszczy, gdzie bierze udział w różnych pracach naukowych, w zespole prof. dr hab. inż. Bogdana Żółtowskiego. Interesuje się metodami i środkami diagnozowania silników spalinowych z zastosowaniem techniki komputerowej, w tym sztucznej inteligencji w diagnostyce technicznej. W czasie wolnym interesuje się sportem, uprawia żeglarstwo i narciarstwo.

DIAGNOSTYKA SILNIKA SPALINOWEGO Z ZASTOSOWANIEM ŚWIECY ZAPŁONOWEJ Z WZIERNIKEM

Tomasz LUBIEWSKI*, Mikołaj MIKOŁAJCZYK*, Tadeusz MIKOŁAJCZYK**

ATR Bydgoszcz, *Koło Naukowe Mechaników, **Katedra Inżynierii Produkcji
85-796 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7, tami@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W Kole Naukowym Mechaników ATR Bydgoszcz opracowano stanowisko do obserwacji procesu spalania w silniku spalinowym o zapłonie iskrowym. Zastosowano w nim świecę zapłonową z wziernikiem, przez który filmowano proces spalania. Do rejestracji video i zapisu obrazów zastosowano aparat cyfrowy. Dla wybranych klatek procesu spalania zrealizowanych przy różnych jakościowych nastawach mieszanki dokonano z zastosowaniem specjalnie opracowanego programu analizy koloru emitowanego światła. Przeprowadzone próby wskazały na celowość prowadzenia prób doboru składu mieszanki z zastosowaniem świec z wziernikiem. Sposób ten umożliwia optymalizację składu mieszanki w czasie rzeczywistym.

Słowa kluczowe: spalanie mieszanki, analiza obrazu, zapis obrazu

APLICATION OF PICTURE ANALYSE
TO COMBUSTING PROCESS OBSERVATION

Summary

The stand to combusting process observation in spark ignition engine is presented in paper. In this stand was used ignition plug with sight-glass through which combusting process was filmed. For recording used digital camera. Picture of combusting process was analysed with special software use.

Keywords: combusting process, picture capture, picture analyse

1. WPROWADZENIE

Silniki spalinowe w tym z zapłonem iskrowym (ZI) są cały czas doskonalone [1,3]. Prace prowadzone są w kierunku rozwoju zarówno układów zasilania silników, w tym szczególnie układów wtryskowych jak i sposobów zapłonu mieszanki. Celem tych prac jest obniżenie zużycia paliwa i istotnej ze względów ekologicznych toksyczności spalin [1]. Badania prowadzone są w wyspecjalizowanych ośrodkach na drogiej aparaturze. Buduje się między innymi stanowiska do badań zjawisk zachodzących w procesie spalania [2], z zastosowaniem których możliwe jest bliższe poznanie przebiegu procesu spalania.

Celem pracy było opracowanie stanowiska do badań procesu spalania w silnikach z zapłonem iskrowym z wykorzystaniem dostępnych, niedrogich komponentów i wstępna weryfikacja możliwości diagnostyki procesu spalania z jego zastosowaniem.

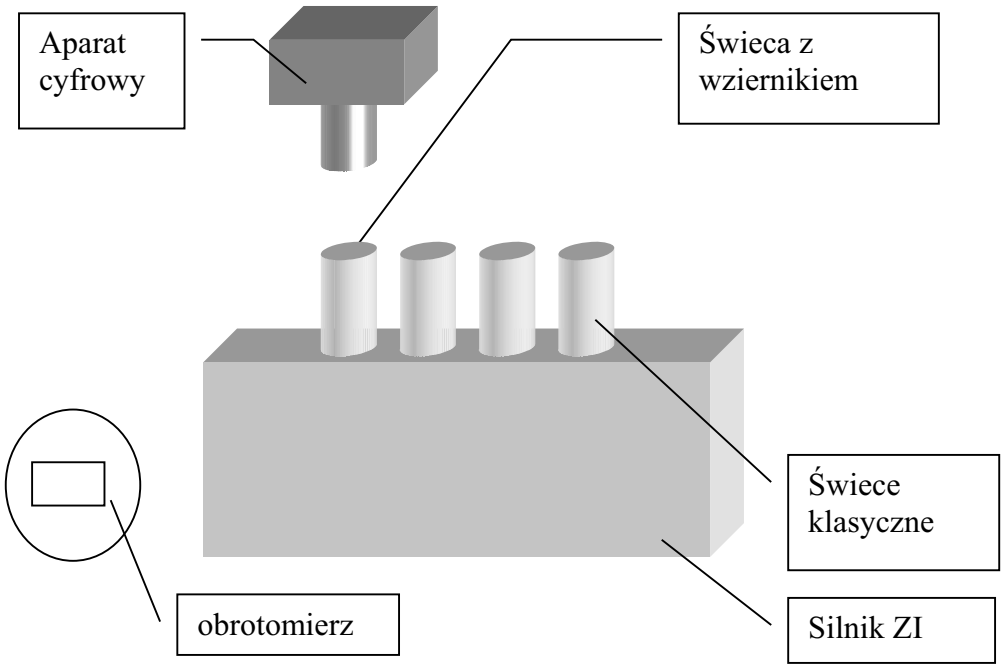
2. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

W badaniach zastosowano świecę zapłonową (produkcji rosyjskiej) o specjalnej konstrukcji (rys. 1 i 2). Świeca wyposażona jest we wziernik umożliwiający obserwację elektrody świecy oraz jej okolicy podczas pracy silnika. Dla zapewnienia bezpieczeństwa obserwacji wyposażona jest w dodatkowe lusterko, umieszczone przy nasadce świecy zapewniające bezpieczną obserwację wnętrza cylindra. Konstrukcja świecy umożliwia bezpieczną eksploatację przy prędkości obrotowej wału korbowego nie przekraczającej 1500 obr/min, przez co badania zostały ograniczone do pracy silnika na biegu jałowym.

Do celów badania spalania w silniku iskrowym opracowano stanowisko do wizualizacji tego procesu z zastosowaniem opisanej świecy przedstawione schematycznie na rys. 3. W prowadzonych badaniach rejestrowano widok wziernika świecy z zastosowaniem aparatu cyfrowego Olympus C-2100 (produkcji koreańskiej). Stosowano rejestrację video z prędkością próbkowania 12 klatek na sekundę. Migawka wynosi w zależności od oświetlenia 1/30 s do 1/10000 s.

Rys. 1. Widok świecy z wziernikiem

Rys. 2. Nasadka na świecę



Rys. 3. Schemat stanowiska do wizualizacji procesu spalania w silniku iskrowym

Zarejestrowane zdjęcia oraz sekwencje filmowe zapisywano w pamięci aparatu. Transmisja danych z pamięci aparatu do komputera może być prowadzona poprzez złącze USB lub przez wejście szeregowe, które jest jednak wolniejsze. Do budowy stanowiska wykorzystano silnik spalinowy o zapłonie iskrowym (Fiat 125p 1300). Silnik ten wyposażony jest w gaźnikowy układ zasilania i klasyczny aparat zapłonowy, co umożliwia łatwą zmianę parametrów eksploatacyjnych takich jak:

- kąt wyprzedzenia zapłonu,
- skład mieszanki (λ).

Do pomiaru kąta wyprzedzenia zapłonu i prędkości obrotowej wału korbowego zastosowano przyrząd SUS 9 (produkcji polskiej).

W celu rejestracji filmowej procesu spalania zastosowano z uwagi na możliwości stosowanej kamery interferencyjny zapis obrazu. Znając częstość zapisu klatek, wstępnie określono wpływ prędkości obrotowej silnika na zapis procesu spalania.

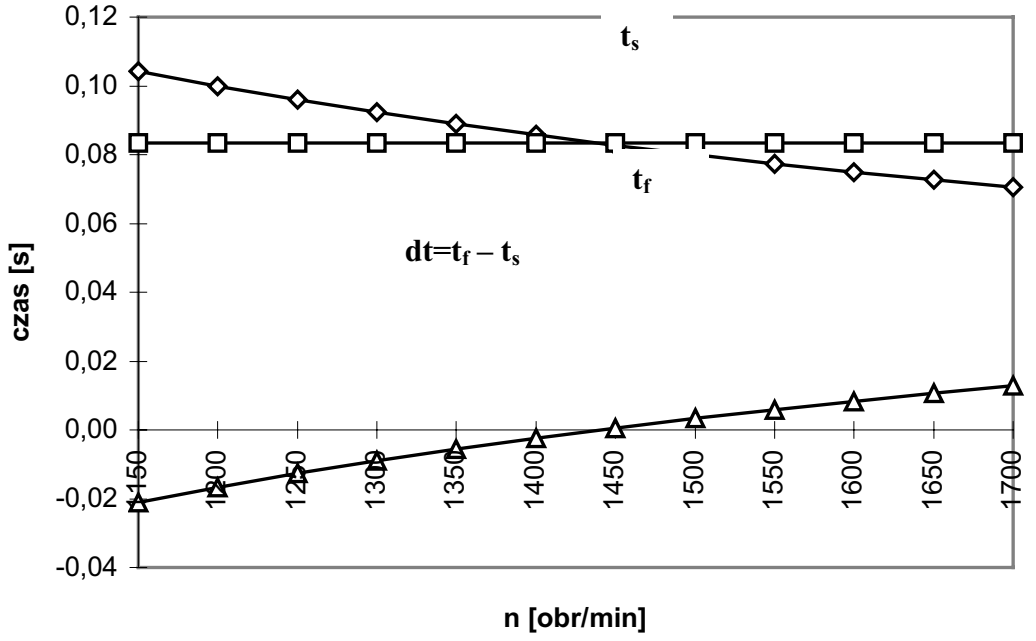
Celem określenia warunków filmowania procesu spalania w trakcie pracy silnika spalinowego obliczono czas cyklu pracy pojedynczego cylindra. Czas pełnego cyklu pracy czterosuwowego silnika spalinowego przy prędkości obrotowej n odpowiada dwóm obrotom wału silnika i wynosi:

$$t_s=2*60/n \qquad (1)$$

gdzie:

n – prędkość obrotowa w obr/min.

Dogodne do filmowania warunki występują, gdy czas pomiędzy poszczególnymi klatkami t_f jest większy od czasu t_s kolejnych cykli pracy. Czas pomiędzy poszczególnymi klatkami wynosi dla 12 klatek na sekundę t_f=0,0833 s. Analizę warunków filmowania umożliwiają, opracowane w arkuszu Excel wykresy, przedstawione na rys. 4.



Rys. 4. Wpływ prędkości obrotowej silnika na czas cyklu pracy t_s i różnicę czasu t_f oraz t_s przy stałym czasie t_f =0,0833 s

Wynika z niego, że przy prędkości obrotowej n wynoszącej około 1440 obr/min następuje synchronizacja wykonywania kolejnych klatek przy zapisie filmowym procesu spalania. Są to warunki niekorzystne, gdyż następuje wtedy synchroniczne filmowanie jednej (przypadkowej) fazy cyklu. Dla prędkości obrotowych powyżej tego zakresu występuje korzystny obszar do zapisu obrazu procesów w cylindrze silnika. Następuje filmowanie kolejnych faz pracy silnika w kolejności zgodnej z ich przebiegiem natomiast wielokrotnie zwolnionych. W zakresie prędkości poniżej tego zakresu, gdy $t_f<t_s$ następuje filmowanie kolejnych faz, ale z uwagi na przyspieszenie zapisu względem czasu cyklu następuje zapis faz w odwrotnej kolejności. Dla uzyskania prawidłowego przebiegu należy odtwarzać zapis w odwrotnym. Tak więc dostosowując prędkość obrotową silnika do określonej prędkości zapisu klatek filmu można dowolnie dobierać warunki interferencyjnego filmowania procesu. Zapis ten jest obarczony błędami wynikającymi z zapisu z pojawiania się w zapisie filmowym klatek z różnych suwów silnika. Współczesne niedrogie kamery cyfrowe stwarzają możliwość, szczególnie przy zmniejszeniu rozdzielczości obrazu uzyskania znacznie większej niż stosowano w badaniach częstotliwości zapisu klatek filmu, a wartość ta może być sterowana co umożliwia doskonalenie zapisu przy zadanej prędkości obrotowej silnika.

W trakcie prób stanowiska przeprowadzone badania wpływu składu mieszanki na proces spalania. Zmiany mieszanki prowadzono przez zmianę położenia wkrętu składu mieszanki (WSM) w gaźniku. Prowadzono obserwacje wizualne oraz filmowano proces spalania w celu weryfikacji możliwości zastosowania techniki video do rejestracji filmowej zjawisk w komorze spalania silnika z zapłonem iskrowym.

3. WYNIKI PRZEPROWADZONYCH PRÓB

Zarejestrowano przebiegi procesu spalania na biegu jałowym silnika przy prędkości obrotowej 600 i 1000 obr/min i temperaturze cieczy chłodzącej 85^o C oraz pozostałych parametrach zgodnych z zaleceniami producenta. Rejestrację przeprowadzono dla mieszanki normalnej, ubogiej oraz bogatej (według położenia wkrętu składu mieszanki - WSM). Przeprowadzone próby potwierdziły poprawność opracowanej koncepcji filmowania procesu spalania z wykorzystaniem efektu stroboskopowego. Uzyskano bardzo efektowny zwolniony zapis procesów spalania w komorze silnika, która była uzależniona od prędkości obrotowej silnika zgodnie z wykresem (rys. 4). Zapis klatek w warunkach badań przedstawiał proces w kierunku odwrotnym. Zmiana składu mieszanki, obserwowana już przy stosunkowo niedużych zmianach nastawy składu mieszanki (+-1/2 obrotu WSM) miała wpływ na zmianą koloru płomienia, co przedstawiają zdjęcia na rysunkach 5-7.

Rys. 5. Spalanie mieszanki normalnej

Rys. 6. Spalanie mieszanki ubogiej (+1/2 obrotu WSM)

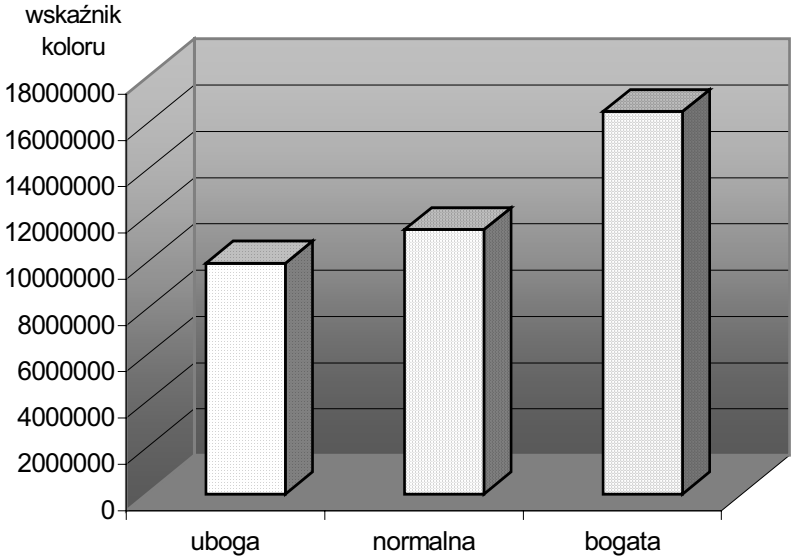
Rys. 7. Spalanie mieszanki bogatej (–1/2 obrotu WSM)

Mieszanka o składzie zalecanym przez producenta podczas spalania miała barwę pomarańczową. Przy spalaniu mieszanki wzbogaconej występował jaskrawo żółty kolor, natomiast przy spalaniu mieszanki zubożonej obserwowano barwę zbliżoną do fioletowej.

Do analizy zarejestrowanych obrazów opracowano w języku Visual Basic 6.0 specjalny program umożliwiający pomiar jasności wewnątrz komory spalania na podstawie importowanych obrazów (rys. 8). Pomiary przeprowadza się w różnych punktach obrazu Średnie wartości jasności zestawiono na wykresie (rys. 9). Przy zastosowaniu kamery cyfrowej podłączonej do komputera możliwa jest analiza obrazów on-line. Dokonane pomiaru jasności obrazu spalania (rys. 9) wskazują na możliwość ilościowego różnicowania obrazów spalania uzyskanych dla różnych nastaw składu mieszanki

Wyniki przeprowadzonych prób mają charakter wstępny. Celowe jest kontynuowanie badań na opracowanym stanowisku z użyciem kilku klatek filmu jak również z zastosowaniem oceny koloru RGB z uwzględnieniem parametrów HLS, które to mogą być określone na podstawie parametru pixela obrazu przedstawionego na formie programu (rys. 8). Jednak na podstawie przeprowadzonych prób można stwierdzić, że obserwując proces spalania przy pomocy zastosowanej świecy można zidentyfikować skład mieszanki i dokonać oceny procesu spalania. Metoda ta może stanowić uzupełnienie dotychczas stosowanych technik badań. Opracowana technika obserwacji po zastosowaniu kamery może umożliwić dokonywanie takich pomiarów w czasie rzeczywistym. Na przykład przy zastosowaniu kamery z matrycą CCD firmy Philips zapewniają rejestracją z prędkości 60 klatek na sekundę. Dla odizolowania kamery od drgań celowe jest zastosowanie światłowodów do przenoszenia obrazu ze strefy spalania.

Rys. 8. Ocena jasności obrazu spalania mieszanki bogatej z zastosowaniem opracowanego programu



Rys. 9. Średnie wartości wskaźnika koloru przy spalaniu mieszanki o różnym składzie

4. WNIOSKI

Analiza przedstawionej literatury oraz wyniki przeprowadzonych prób uzasadniają sformułowanie następujących wniosków.

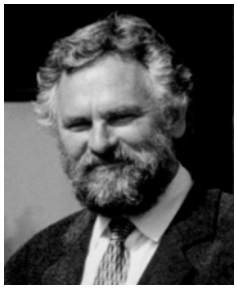
- stwierdzono możliwość zastosowania aparatu cyfrowego do filmowania procesu spalania,
- określono wpływ zmian składu mieszanki na barwę płomienia,
- opracowane oprogramowanie umożliwia ilościową ocenę jasności płomienia,
- celowe jest dalsze doskonalenia stanowiska.

LITERATURA

[1] Mamala J.: Sterowanie napełnieniem silnika ZI w aspekcie ekologicznym. Diagnostyka Pojazdów Samochodowych 2000, vol. 2, Katowice 2000, str. 125- 136.
[2] Szulc J.: Silnik do wizualizacji procesów wtrysku i spalania. XVI Międzynarodowe Sympozjum Naukowe Studentów i Młodych Pracowników Nauki tom III: Mechanika, Zielona Góra, kwiecień 1994, s. 177-181.
[3] Wajand J.A., Wajand J. T.: Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybko-obrotowe. WNT, Warszawa 2000.

Mgr inż. Tomasz Lubiewski ur. 1980 r. Zatrudniony w PESA Bydgoszcz, prezes Koła Naukowego Mechaników w 2003, Primus Inter Pares 2004.

Mikołaj Mikołajczyk, ur. 1980, student Wydziału Mechanicznego ATR w Bydgoszczy, prezes Koła Naukowego Mechaników 2004 – 2005. Zajmuje się programowaniem w języku VB.



Mikołajczyk Tadeusz, ur. 1951 r., dr inż., adiunkt w Katedrze Inżynierii Produkcji ATR Bydgoszcz, opiekun Koła Naukowego Mechaników. Autor prac z zakresu podstaw skrawania i konstrukcji narzędzi, jak też zastosowań mechatroniki w inżynierii produkcji.

SPOSÓB ELIMINOWANIA BŁĘDÓW OSIOWANIA UKŁADU PRZEKAZYWANIA NAPĘDU POJAZDU SZYNOWEGO

Bolesław PRZYBYLIŃSKI

Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno-Rolnicza, Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów
Bydgoszcz, Kaliskiego 7 (052) 3408206, przyb@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W pracy omówiono podstawowe problemy związane z osiowaniem układów przeniesienia mocy pojazdów samochodów i autobusów oraz pojazdów szynowych. Zaproponowano rozwiązanie techniczne osiowego ustawienia źródła napędu i układu jego odbioru.

Słowa kluczowe: układ przekazywania napędu, autobus szynowy

METHOD OF ELIMINATION OF ALIGNMENT ERRORS IN THE DRIVE TRANSMISSION SYSTEM OF RAIL VEHICLES

Summary

The study discusses basie problems connected with alignment of drive transmission systems of cars, buses and rail vehicles. It suggests a technical solution consisting of aligned setting of the prime mover and its reception system.

Keywords: drive transmission system, rail vehicles

1. WPROWADZENIE

Układy napędowe samochodów ciężarowych i autobusów oraz pojazdów szynowych zbudowane są z trzech głównych składowych: źródła napędu (silnika), układu przekazywania napędu oraz układu odbioru napędu (kół jezdnych w przypadku pojazdów drogowych i wózka kołowego w przypadku pojazdu szynowego).

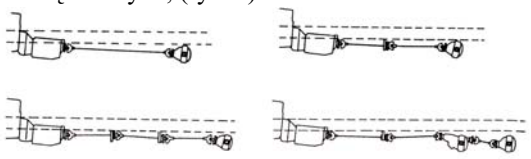
Kinematyka, dynamika i funkcjonalność układów przeniesienia napędu we współczesnych pojazdach użytkowych powodują, że układy te spełniać muszą wysokie wymagania związane ze zdolnością do przenoszenia określonego momentu obrotowego w warunkach statycznych i dynamicznych, musza zapewniać możliwość pracy przy różnych kątach i odległościach ustawienia silnika i układu odbioru napędu, zachowywać odpowiednią dla danego zastosowania trwałość węzłów łożyskowych w przegubach i łożyskach podporowych (pośrednich) oraz ogólną trwałość i niezawodność, charakteryzować się jak najniższym masowym momentem bezwładności oraz niewyrównoważeniem co umożliwić ma m.in. cichobieżną pracę, wymagać minimalnych czynności obsługowych, nie stwarzać problemów w montażu, transporcie i magazynowaniu.

Budowa nowych pojazdów drogowych (np. autobusy) i szynowych (np. tramwaje, szynobusy) produkowanych przez prywatne firmy powoduje, iż układy napędowe tych pojazdów charakteryzują się duża różnorodnością wykonania wynikającą z poszukiwań przez konstruktorów i technologów optymalnych (cenowo, trwałościowo, itd.) rozwiązań. Wdrożenie tych rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych do eksploatacji skutkuje potrzebą monitorowania ich montażu i eksploatacji.

2. OSIOWANIE UKŁADU PRZEKAZYWANIA NAPĘDU POJAZDU

Przeniesienie mocy pomiędzy silnikiem a układem odbioru realizowane jest za pomocą wału napędowego i łączników (sprzęgieł).

Wał napędowy jest urządzeniem służącym do przeniesienia momentu obrotowego na pewną odległość do kolejnych, oddalonych od siebie zespołów układu napędowego. W zależności od rodzaju pojazdu i jego przeznaczenia, stosuje się od jednego do kilku wałów jedno- lub wieloczęściowych, (rys. 1).



Rys. 1. Podstawowe układy wałów napędowych samochodów ciężarowych [1]

Ze względu na to, że źródło napędu (np. silnik, skrzynia biegów) połączone jest elastycznie z resorowaną ramą pojazdu lub nadwoziem samonośnym, a koła jezdne należą do masy nieresorowanej, charakterystyka drgań obu tych mas jest całkowicie odmienna. Powoduje to stałe

i nieregularne przemieszczenia obu mas, a zatem nie można połączyć ich sztywnym wałem napędowym.

Niezależne przemieszczanie się względem siebie obu wymienionych mas w pionie i poziomie w stosunku do podłoża oraz zmieniająca się odległość miedzy nimi powoduje konieczność konstruowania wałów umożliwiających kompensację długości.

Konieczne jest zastosowanie również odpowiednich przegubów, które podzielić można na dwie podstawowe grupy - proste albo nierównobieżne, asynchroniczne (np. przeguby Cardana i elastyczne) oraz równobieżne albo synchroniczne, homokinetyczne (przeguby Weissa, Rzeppa, Birfielda, trójramienne, zawiasowe).

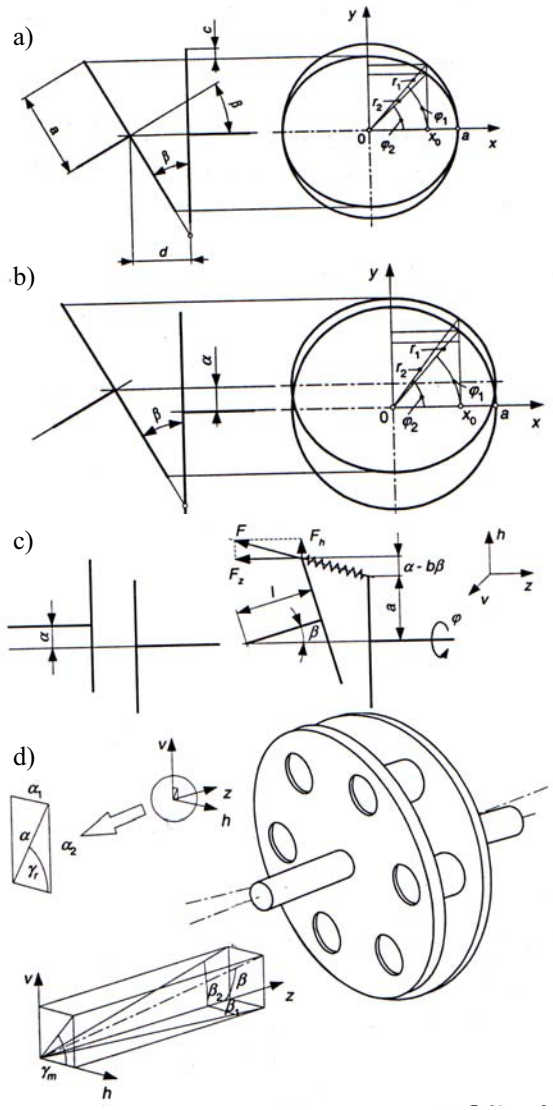
Różnica między przegubami asynchronicznymi a synchronicznymi polega na tym, że w pierwszym przypadku przy założonej stałej prędkości kątowej wału na wejściu przegubu, po załamaniu momentu obrotowego wał wyjściowy wykazuje zmienną sinusoidalnie prędkość kątową. W przypadku drugim, przy założonej stałej prędkości kątowej wału na wejściu przegubu, po załamaniu momentu obrotowego wał wyjściowy będzie w dalszym ciągu obracał się ze stałą prędkością kątową.

W układach napędowych samochodów ciężarowych, autobusów oraz pojazdów szynowych wykorzystuje się rurowe wały z przegubami Cardana (rys. 2).

Rys. 2. Wał z przegubami Cardana: 1-widełkowo-wielowpustowy wał rurowy, 2-krzyżak, 3-tarcza przegubu, 4- wideł-kowo-wielowypustowy wał pełny

Te rozwiązania spełniają większość wymagań dotyczących funkcjonalności wałów napędowych, mimo podstawowej wady przegubów Cardana, jaką jest nierównobieżność występująca wówczas, gdy o-sie wałów współpracujących są nachylone do siebie pod kątem (przekoszone) lub przesunięte (rys. 3).

Nierównomierność ma ujemny wpływ nie tylko na kinematykę przegubu, ale także na jego trwałość i cechy użytkowe. Stopień nierównobieżności przegubu Cardana zależy od kąta załamania wałów β oraz kąta obrotu wału napędzającego φ_1 (rys. 3a).

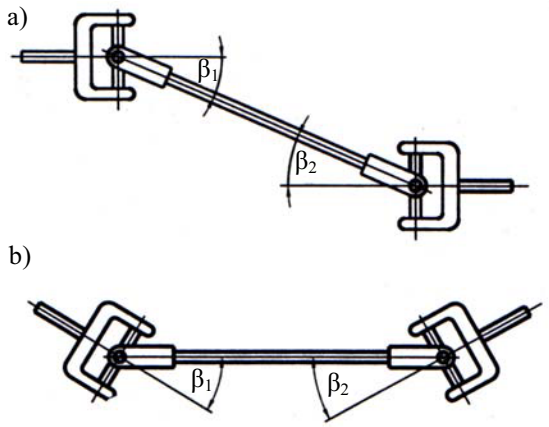


Rys. 3. Schemat połączenia dwóch wałów o osiach: a) przekoszonych o kąt β, b) przekoszonych o kąt β i przesuniętych o odległość α; c) przekoszonych niecentralnie; d) przekoszonych i przesuniętych w różnych płaszczyznach: α_1- przesunięcie równoległe osi wałów w płaszczyźnie poziomej, α_2- przesunięcie równoległe osi wałów w płaszczyźnie pionowej, α- mimośród niewspół-środkowości tarcz sprzęgła, β_1- kąt przekoszenia osi wałów w płaszczyźnie poziomej, β_2- kąt przekoszenia osi wałów w płaszczyźnie pionowej, β - przestrzen-ny kąt przekoszenia osi wałów [2]

Określa ją zależność miedzy prędkością wału napędzającego ω_{wej} a prędkością kątową wału napędzanego ω_{wyj}:

$$\omega_{wyj} = \omega_{wej} \frac{\cos\beta}{\sin^2\varphi_1 + \cos^2\varphi_1 \cos^2\beta} \qquad (1)$$

Nierównobieżność przegubu Cardana jest niwelowana poprzez odpowiedni dobór i montaż wałów, a podstawowymi technikami montażu wałów są: tzw. montaż „typu Z" oraz montaż typu W" (rys. 4).



Rys. 4. Techniki montażu wałów niwelujące nierównobieżność: a) montaż typu „Z", b) montaż typu „W" [1]

Obydwa sposoby powodują całkowite zniwelowanie zjawiska nierównobieżności przy jednoczesnym zachowaniu trzech warunków:
- $\beta_1 = \beta_2$
- widełki przegubów wału pośredniego pozostają w jednej płaszczyźnie,
- osie wału napędzającego i napędzanego pozostają w jednej płaszczyźnie.

W przypadku niespełnienia ostatniego z warunków (układ wałów przestrzenny) należy zadbać o to, aby wystąpiła równość kątów załamania w poszczególnych (wzajemnie prostopadłych) płaszczyznach.

Powyższe sposoby niwelowania nierównomierności prędkości kątowych dotyczą przypadków, gdy wały i przeguby są położone względem siebie niezmiennie. Dla pojazdów drogowych i szynowych taka sytuacja, ze względu na ugięcia elementów zawieszenia, nie występuje. Dlatego też, aby w jak najszerszym zakresie ugięć utrzymać nierównobieżność na możliwie niskim poziomie, istotny jest odpowiedni dobór wałów, zwłaszcza pod względem ich długości oraz liczby części i elementów (łożysk) podporowych. Istotne jest również minimalizowanie pola tolerancji współosiowości wałka odbioru mocy silnika (przekładni) i wałka układu jezdnego oddalonego od źródła napędu niekiedy o kilka metrów.

3. PRZYRZĄD DO WSPÓŁOSIOWEGO USTAWIANIA WAŁU POŚREDNIEGO Z SILNIKIEM I WÓZKIEM AUTOBUSU SZYNOWEGO

Autobus szynowy produkcji Pojazdy Szynowe PESA Holding S.A. w Bydgoszczy jest nowoczesnym kolejowym środkiem transportu pasażerskiego. Układ napędowy tego szynobusa przedstawia się następująco.

Silnik spalinowy autobusu szynowego napędza 4 koła jezdne, będące zblokowanymi w wózku, poprzez układ przeniesienia napędu (rys. 5) składający się z: wału sprzęgłowego zabudowanego w silniku 1 połączonego z tarczą przechodzącą z drugiej strony w widełki 2 obejmujące krzyżowy łącznik sprzęgła Cardana. Druga parę łącznika krzyżowego (sworznia zdwojonego) obejmują widełki tulei odbiorczej 3 połączonej ślizgowo wielowypustem z wałem 4 zakończonym widełkami obejmującymi kolejny zdwojony sworzeń. Drugą parę tego łącznika krzyżowego obejmują widełki 2 kolejnego łącznika zakończonego tarczą. Ta cześć układu przekazywania mocy składa się z elementów zakupionych u profesjonalnego producenta przegubów napędowych. Dalszy przebieg przekazywania mocy odbywa się za pośrednictwem wału pośredniego będącego oryginalnym rozwiązaniem producenta autobusu szynowego.

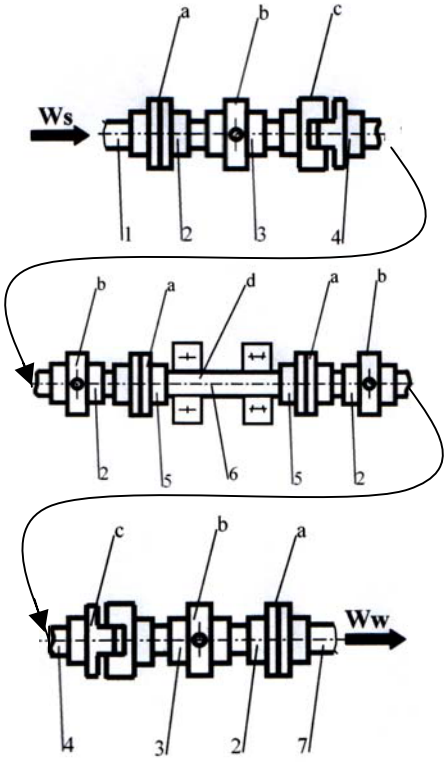
Pierwszym elementem wału pośredniego jest tarcza wału 5 ustalona z tarczą łącznika przegubu krzyżowego i połączona rozłącznie pasowanymi łącznikami śrubowymi. Tarcza wału osadzona jest połączeniem wielowypustowym na końcówce wału, która połączona jest w sposób nierozłączny (spawaniem) z rurą. Z drugą końcówką rury w sposób analogiczny połączona jest druga końcówka wału, na której osadzona jest tarcza wału, z którą połączona jest śrubami pasowanymi tarcza przegubu Cardana. Dalsze przekazywanie napędu odbywa się za pomocą profesjonalnych przegubów napędowych, z których ostatni element połączony jest z tarczą odbioru mocy 7 wózka jezdnego. Wspomniany wcześniej wał pośredni to zestaw części składający się z samego wału, łożysk tocznych oraz opraw łożysk z obudową. Wał pośredni o masie około 108 kg połączony jest ze wspornikami podwozia autobusu szynowego za pomocą 4 amortyzatorów.

Analiza konstrukcyjna układu napędowego autobusu szynowego wykazuje, że raczej niemożliwe jest osiągnięcie współosiowości wału wyjściowego z silnika Ws z wałem wejściowym wózka Ww (rys. 5). W praktyce wystąpić mogą (wynikające, np. z błędów montażu, na skutek normalnego zużycia czy też w wyniku awarii) różne przypadki niewspółosiowości.

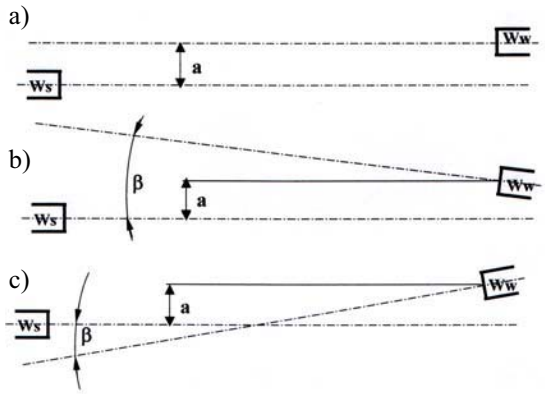
Na rys**.** 6 przedstawiono schematycznie trzy z nich (zakładając współosiowość wału silnika Ws z podłużnicą autobusu), które mogą wystąpić w płaszczyźnie poziomej. Podobnie można rozpatrzyć przypadki w płaszczyźnie pionowej i w sumie uzyskać przestrzenny układ niewspółosiowości wału silnika Ws i wału wózka Ww.

Niewspółosiowość wału silnika Ws i wału wózka Ww oraz zamontowanie jeszcze niewspółosiowo wału pośredniego skutkuje tym, że układ napędowy podlega dodatkowym momentom gnącym i siłom tnącym. Zastosowane wały przegubowe VOITH-a

nie w pełni te dodatkowe obciążenia niwelują. Z tego względu na etapie montażu poszczególnych zespołów układu napędowego autobusu szynowego należy dążyć do uzyskania ich współosiowości.



Rys. 5. Układ przeniesienia napędu autobusu szynowego: a) sprzęgło tarczowe rozłączne, b) sprzęgło Cardana, c) sprzęgło teleskopowe, d) wał pośredni; 1- wałek sprzęgłowy silnika, 2-tarczowo-widełkowy element przegubu Cardana, 3- tarczowo-tulejowy (wielowypustowy) element przegubu Cardana, 4- tarczowo-czopowy element przegubu Cardana, 5- tarcza wału, 6- wał rurowy z czopami wielowypustowymi, 7- tarcza wału

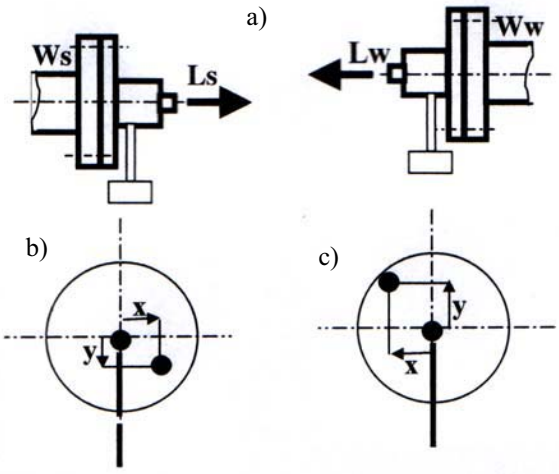


odbioru mocy (wózek)

Rys. 6. Schematyczne przedstawienie rzeczywistego ustawienia wałów silnika Ws i wózka Ww w płaszczyźnie poziomej: a) przesunięcie, b) i c) przesunięcie z przekoszeniem: a– wielkość przesunięcia, β- kąt przekoszenia

Dla tych celów przedstawiono poniżej laserowy przyrządu ustawczy (montażowy) LPU [3] do współosiowego ustawienia wału pośredniego z wałem silnika i wałem wózka, czyli przyrząd umożliwiający osiągniecie stanu a= 0 (rys. 6a).

Na etapie montowania tych zespołów, oddalonych od siebie o prawie 3,5 metra, koniecznym jest więc możliwość kontroli tej osiowości. Należy więc zarówno w płaszczyźnie poziomej jak i pionowej (po uruchomieniu autobusu szynowego i podniesieniu na poduszkach powietrznych) uzyskać „pokrywanie się" osi Ws i Ww. W proponowanym rozwiązaniu do takiej kontroli wykorzystano właściwości światła monochromatycznego (laserowego). Układ pomiarowy składa się z dwóch tarcz ze wskazówkami pionu osadzonych, jedna na wale wyjściowym silnika a druga na wale wejściowym wózka, z centralnie umieszczonym źródłem światła laserowego (czerwonego) o długości fali 650 nm i mocy 5 mW. Przy współosiowym wstawieniu Ws i Ww wiązki światła laserowego winny przebiegać po tej samej linii. W przeciwnym przypadku na tarczy zamontowanej na wale silnika pojawi się czerwona plamka wysłana z lasera wózka, a na tarczy zamontowanej na wale wózka pojawi się plamka wysłana przez laser silnika (rys. 7).

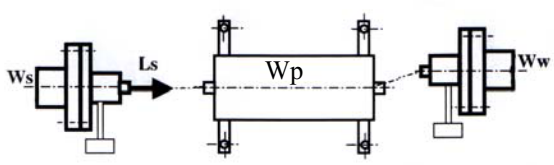


Rys. 7. Pomiar współosiowości wałków silnika Ws i wózka Ww: a) idea pomiaru, b) przykładowe położenie plamki na tarczy wózka od lasera zamontowanego na tarczy silnika, c) przykładowe położenie plamki na tarczy silnika od lasera zamontowanego na tarczy wózka; Ls – laser silnika, Lw – laser wózka

Dokonując pomiaru odległości plamki od pionu y lub poziomu x środka wału silnika lub wózka można określić wzajemne położenie w płaszczyźnie pionowej i poziomej osi tych wałów oraz dążyć do minimalnych (najlepiej zerowych) wartości parametrów x i y.

Poważną trudnością montażową jest ustalenie wału pośredniego w osi wałków silnika i wózka. Związane jest to z zapewnieniem odpowiedniego

położeniem osi otworów wsporników podwozia służących do mocowanie poprzez amortyzatory wał pośredni do podwozia autobusu szynowego (zakładając, że obudowa wału pośredniego jest prawidłowo wykonana, tj. belki wału pośredniego leżą w jednej płaszczyźnie, a osie otworów pod amortyzatory są wierzchołkami prostokąta).



Rys. 8. Idea wyznaczenia położenia otworów mocujących wał pośredni Wp do wsporników podwozia z wykorzystaniem modelu wału w płaszczyźnie poziomej

Ustawienie w płaszczyźnie poziomej wału pośredniego w linii łączącej wał silnika i wał wózka (rys. 8) wyznaczonej wiązką światła laserowego realizowane jest z wykorzystaniem specjalnego modelu symulującego wał pośredni pozwalający jednoznacznie wyznaczyć punkty wykonania otworów do osadzenia amortyzatorów we wspornikach podwozia.

4. PODSUMOWANIE

Przekazywanie napędu między silnikiem o mocy 500 kW a oddalonym od niego o kilka metrów wózkiem jezdnym autobusu szynowego realizowane jest za pomocą wałów napędowych Voith-a, przegubów i wału pośredniego. Takie rozwiązanie układu przekazywania napędu wymusza eliminowanie błędów jego osiowania. Jednym z warunków uniknięcia błędów jest zastosowanie odpowiedniego oprzyrządowania montażowego. Przydatnym w tym względzie jest przedstawiony wyżej laserowy przyrząd ustawczy LPU-1.

LITERATURA

[1] Zając M.: Układy przeniesienia napędu samochodów ciężarowych i autobusów. Warszawa, WKŁ, 2003.
[2] Dąbrowski Z.: Inżynieria diagnostyki maszyn. Diagnozowanie układów mechanicznych przeniesienia mocy. ITE, PTDT, Bydgoszcz, Warszawa, Radom, 2004.
[3] Przybyliński B.: Przyrząd do współosiowego ustawienia wału pośredniego z silnikiem i wózkiem autobusu szynowego LPU-1. Projekt techniczny, 2004.

Dr inż. Bolesław Przybyliński
Od 22.09.1980r do chwili obecnej pracuje w Akademii Techniczno - Rolniczej w Bydgoszczy. Interesuje się technologią budowy maszyn, trwałością regenerowanych elementów maszyn i pojazdów. Obecnie pracownik Zakładu Samochodów i Ciagników. Autor licznych publikacji z tej dziedziny. Współorganizator i uczestnik Konferencji Naukowo-Technicznych "Regeneracja ..". Zasłużony członek SIMP, posiada brązową (1991), srebrną (1994)i złotą (1996) odznakę tego stowarzyszenia, zdobywca zespołowej nagrody Wojewody (II-go stopnia 1989) i kilku nagród Rektora ATR (II-go stopnia). Prezes Stowarzyszenia Absolwentów ATR. Promotor ponad 40 prac dyplomowych.

PRÓBA ODWZOROWANIA MODELU MODALNEGO STANU TECHNICZNEGO SILNIKA SPALINOWEGO W ZASTOSOWANIU DO BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH

Marcin ŁUKASIEWICZ

Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów, Akademia Techniczno – Rolnicza w Bydgoszczy,
ul. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: kmrip@mail.atr.bydgoszcz.pl

W pracy przedstawiono metodę identyfikacji stanu silnika spalinowego metodą eksploatacyjnej analizy modalnej. W wyniku analizy modalnej otrzymuje się model modalny w postaci zbioru częstości własnych, postaci drgań oraz współczynników tłumienia. Dzięki modelowemu podejściu do obiektu mechanicznego, możliwe staje się śledzenie zmian parametrów modeli wraz ze zmianami stanu badanego obiektu, a tym samym wcześniejsze im przeciwdziałanie, w istotny sposób poprawiając bezpieczeństwo pracy i niezawodność.

Słowa kluczowe*:* identyfikacja stanów silnika spalinowego, wnioskowanie diagnostyczne, eksploatacyjna analiza modalna

REPRESENTATION OF COMBUSTION ENGINE TECHNICAL STATE MODAL MODEL IN USE TO DIAGNOSTIC INVESTIGATIONS

The paper contains application of operational modal analysis in use of combustion engine technical state identification. As a result of modal analysis we got the modal model understood as comprises the set of free vibration frequencies, damping coefficients and free vibration forms. Thanks to the model approach to the mechanical object, we are allowed to tracking the model modification connected with technical object possible damages, and so-earlier precautions can be taken to improving the safety of work and its reliability.

Keywords: combustion engine technical states identification, diagnostic inference, operational modal analysis

1. WSTĘP

Każde urządzenie techniczne w danej chwili znajduje sie w pewnym określonym stanie. Najogólniej stan maszyny, pojazdu można przedstawić jako zbiór wartości wszystkich parametrów określających dany obiekt w danej chwili czasowej t. Sekwencje czasową takich stanów można rozpatrywać jako czas istnienia urządzenia. Destrukcyjne oddziaływania wymuszających czynników zewnętrznych i wewnętrznych prowadzi nieuchronnie do zmiany stanu maszyny. Zastosowanie metod i środków diagnostyki technicznej a w szczególności diagnostyki wibroakustycznej umożliwia określenie stanu badanego obiektu- pojazdu lub maszyny w celu podjęcia decyzji dotyczących dalszego postępowania z maszyną.

Prace badawcze dotyczące diagnostyki pojazdów a w szczególności tłokowych silników spalinowych za pomocą sygnału wibroakustycznego koncentrują się wokół następujących problemów badawczych:

- kontrola procesu spalania w silniku;
- kontrola stanu elementów mechanicznych silnika;
- badania wpływu zmiennych czynników na wartość parametrów diagnostycznych sygnału wibroakustycznego [6].

Dotychczasowe badania przeprowadzone dla poszczególnych egzemplarzy silników tego samego typu, będących po jednakowym przebiegu wykazały, iż zachodzą znaczne różnice w stanach technicznych silników, wywołane głównie losową realizacją procesu starzenia. Zmusza to osoby prowadzące badania do każdorazowego wiązania symptomów wibroakustycznych z cechami stanu technicznego. Z dostępnych wyników badań eksperymentalnych silników spalinowych wynika, iż badając zjawiska wibroakustyczne zachodzące w silniku można na ich podstawie w dużym stopniu prawdopodobieństwa określić stan eksploatacyjny silnika i aktualną jakość regulacji poszczególnych układów.

Nowym podejściem do badania stanu technicznego silnika spalinowego jest zastosowanie eksploatacyjnej analizy modalnej jako jednego z narzędzi diagnostyki wibroakustycznej.

Eksploatacyjna analiza modalna stosowana w diagnozowaniu stanu konstrukcji umożliwia estymację modeli dynamicznych oraz ich analizę w oparciu o dane pomiarowe umożliwiające

estymację parametrów modelu modalnego, oraz syntezę odpowiedzi obiektu na zadane wymuszenie. Realizuje się ją w rzeczywistych warunkach pracy obiektu (przy wymuszeniach eksploatacyjnych). Stosuje się ją w przypadkach, gdy nie ma możliwości zastosowania zewnętrznego sterowanego wymuszenia oraz gdy nie można wyłączyć konstrukcji z normalnej eksploatacji. [1,3].

Ideą eksploatacyjnej analizy modalnej jest śledzenie zmian parametrów modelu modalnego, powstających na skutek rozregulowań, zużycia, uszkodzeń lub awarii, na podstawie bieżących obserwacji obiektu. W metodzie tej tworzy się model modalny w postaci zbioru częstości własnych, postaci drgań oraz współczynników tłumienia, dla obiektu bez uszkodzeń, jako wzorzec. Następnie w czasie eksploatacji identyfikuje się model modalny i bada jego korelację z modelem dla obiektu nieuszkodzonego. W przypadku, gdy korelacja taka występuje można stwierdzić, że obiekt jest w stanie zdatności. W przypadku braku korelacji obiekt jest w stanie niezdatności spowodowanym np.: uszkodzeniem.

2. TESTOWANIE MODALNE SILNIKA SPALINOWEGO

Do podstawowych zadań diagnostyki technicznej obiektów technicznych (pojazdu, silnika) należy ocena stanu technicznego obiektu. Konieczność oceny stanu technicznego jest uwarunkowana potrzebą podejmowania decyzji związanych z eksploatacją danego obiektu oraz sposobem dalszego postępowania z obiektem.

Ocena stanu realizowana jest na podstawie przeprowadzonych badań diagnostycznych, polegających na dokonaniu pomiarów i przeprowadzeniu analizy otrzymanych wyników. W celu przeprowadzenia badań diagnostycznych przyjmuje się modele obiektów diagnostyki, na podstawie, których generuje się algorytmy diagnostyczne.

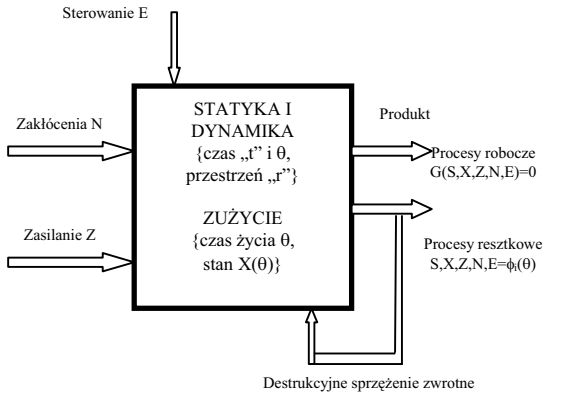
Ogólny model obiektu dla oceny stanu w ujęciu symptomowym przedstawiony jest na rys. 1. Stan techniczny obiektu możemy tutaj określić dokonując obserwacji jego funkcjonowania, tj. jego wyjście główne przekształconej energii (lub produktu) oraz wyjście dysypacyjne, gdzie obserwujemy różne typy procesów resztkowych.

Przedstawiony model obiektu dla potrzeb diagnostyki w ujęciu mechanicznym opisuje równanie wektorowe:

$$G(X,S,E,Z,N) = 0 \qquad (1)$$

gdzie:

G – operator funkcjonowania obiektu, X – wektor zmiennych cech stanu opisujący strukturę obiektu, S – wektor zmiennych wyjściowych (odpowiedź obiektu), przedstawiający zbiór zawierający przekształconą energię Z, może to być proces roboczy, względnie jakość produktu lub procesy resztkowe, E – wektor zmiennych wejściowych (wymuszenia), określa sposób sterowania obiektem oraz oddziaływania urządzeń diagnostycznych i warunki pracy, N – wektor zmiennych zakłóceń.



Rys. 1. Model obiektu diagnostyki [4]

Wektor stanu obiektu dla danego czasu eksploatacji θ określa się zależnością:

$$X = g(S,E,Z,N) \qquad (2)$$

gdzie:

g – operator wielkości składowych modelu.

Stosując uproszczenie dla potrzeb eksperymentu, zakłada sie stałość w sensie wartości średnich wektorów E, Z = 0, w wyniku, czego uzyskujemy uproszczony wzór stanu obiektu:

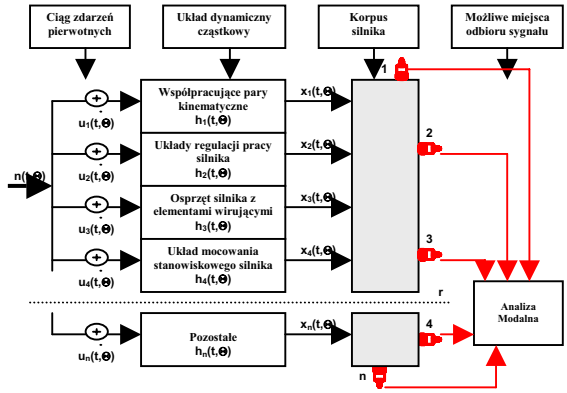
$$X = F(S)_{(E,Z = const)} + N \qquad (3)$$

Uwzględniając dziedziny poszczególnych wektorów tej relacji otrzymujemy podstawowe równanie stanu w następującej formule:

$$X(t,\theta,r) = A(r,)\, S(\theta,r) + N\,(\theta,r) \qquad (4)$$

Wektorowy opis struktury obiektu, jego wejść: zasilania, sterowania i zakłóceń oraz wyjść energetycznych (użytecznych i resztkowych) prowadzi do opisu możliwych relacji diagnostycznych.[4]

Podczas projektowania eksperymentu zaproponowano model generacji sygnału diagnostycznego silnika spalinowego, który przedstawiony został na rys. 2.



Rys. 2. Model generacji sygnału diagnostycznego zaproponowany dla silnika spalinowego [7]

Odbierane sygnały wyjściowe w dowolnym miejscu korpusu silnika są sumą odpowiedzi na wszystkie zdarzenia elementarne $u_n(t,\Theta)$, występujące w poszczególnych układach dynamicznych cząstkowych o impulsowej funkcji przejścia $h_n(t,\Theta)$. Oddziaływania te po przejściu przez właściwe układy dynamiczne sumują się na korpusie silnika, na którym w wybranych punktach umieszczono przetworniki drgań tak, by można było w wyniku przeprowadzonych pomiarów sygnałów wyjściowych i zastosowaniu eksploatacyjnej analizy modalnej wyznaczyć model modalny badanego silnika. Przez $n(t, \Theta)$, oznaczono tutaj przypadkowe oddziaływanie występujące z tytułu obecności mikrozjawisk dynamicznych takich jak tarcie itp.[5].

Ze względu na złożoność procesów zachodzących w silniku mamy dużą ilość ciągów zdarzeń elementarnych, które mają wpływ na wyniki prowadzonych badań.

Ocenę wpływu rozwijającego się uszkodzenia na parametry modelu modalnego można oszacować stosując teorię wrażliwości do modelu strukturalnego w postaci:

$$M\ddot{\chi}+C\dot{\chi}+K\chi = x(t) \qquad (5)$$

gdzie: M, C, K – macierze mas, tłumienia i sztywności, $\ddot{\chi}, \dot{\chi}, \chi$ - wektory przyspieszeń, prędkości i przemieszczeń, x(t) - wektor sił wymuszających [2,3].

Równanie można przekształcić do współrzędnych głównych, stosując transformację daną wzorem:

$$x(t) = \Psi q(t) = \sum_{r=1}^{n} \Psi_r q_r(t) \qquad (6)$$

gdzie: Ψ jest macierzą modalną, której kolumny są postaciami drgań własnych odpowiadających danej częstości własnej, q(t) jest współrzędna główną (modalną), [2,3]. W celu wyznaczenia parametrów modelu modalnego należy rozwiązać zagadnienie własne w postaci:

$$K\{\Psi_i\} - \Lambda_i M\{\Psi_i\} = \{0\} \qquad (7)$$

gdzie: Λ_i - wartości własne, $\{\Psi_i\}$ - wektory własne.

Po serii przekształceń uzyskano w efekcie zależność:

$$\frac{\partial f_i}{\partial p} = \frac{1}{8\Pi^2 f_i}\{\Psi_i\}^T \frac{\partial K}{\partial p}\{\Psi_i\} - \frac{f_i}{2}\Psi_i^T \frac{\partial M}{\partial p}\Psi_i \qquad (8)$$

Obiektem badań empirycznych był silnik spalinowy nr 138 C.2.048 o pojemności skokowej 1,4l, mocy 55 kW /75 KM powszechnie stosowany w modelu Fiat Uno 75i.e. Silnik wyposażony we wtrysk paliwa firmy Bosch typu L-Jetronic znajduje się na stanowisku badawczym laboratorium silników spalinowych i umożliwia prezentację generowanych sygnałów drganiowych oraz badanie wpływu jego rozregulowań na zmianę sygnałów wibroakustycznych.

W przeprowadzonych badaniach empirycznych, wykorzystano metodę LSCE, za pomocą, której aproksymuje się przebieg funkcji korelacji sumą zanikających wykładniczo funkcji harmonicznych.

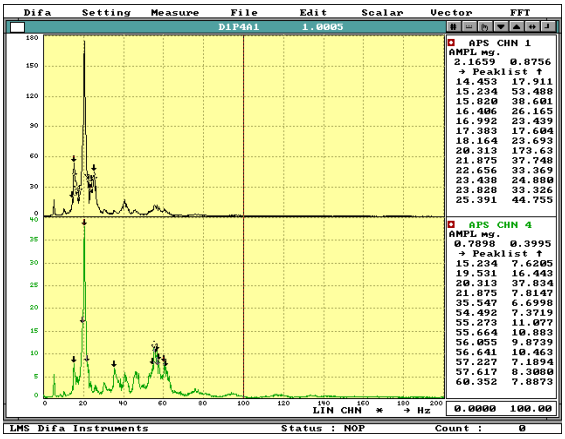
Metoda LSCE identyfikacji parametrów modelu modalnego jest realizowana w dziedzinie czasu, stosowana do odpowiedzi impulsowej układu jest dobrze znaną techniką w klasycznej eksploatacyjnej analizie modalnej dającą estymatory globalne biegunów układu w postaci częstości własnych i modalnych współczynników tłumienia [2,3,4,5].

Przeprowadzone badania polegały na wyznaczeniu miar drganiowych dla sprawnego silnika i porównaniu ich z miarami wyznaczonymi dla układu uszkodzonego (uszkodzona świeca zapłonowa, niesprawny wtryskiwacz) oraz dokonaniu oceny otrzymanych wyników metodami analizy modalnej.

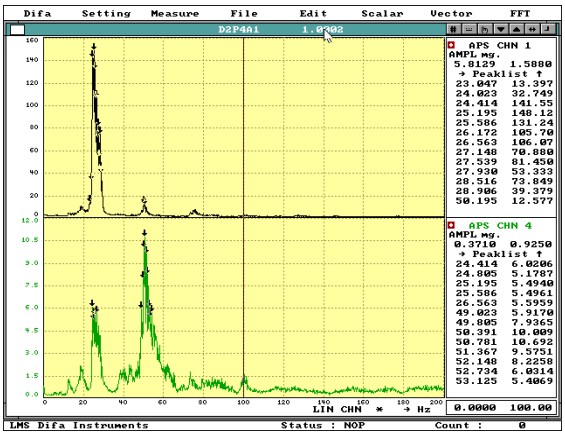
Dla potrzeb przeprowadzenia eksperymentu zasymulowano następujące modele stanu silnika:

- *Stan pierwszy (A)* - odpowiadał stanowi zdatności silnika;
- *Stan drugi (B)* - odpowiadał stanowi silnika, w którym założono, że w trakcie pracy silnika na jednym z cylindrów jest uszkodzona świeca zapłonowa;
- *Stan trzeci (C)* - odpowiadał stanowi silnika, w którym założono, że w trakcie pracy silnika na jednym z cylindrów jest uszkodzony wtryskiwacz.

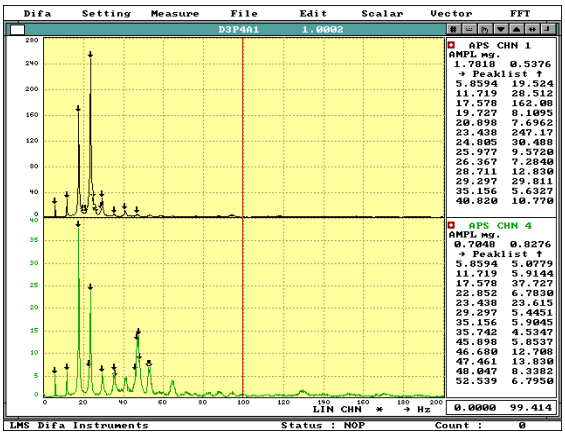
Przeprowadzono pomiary silnika dla prędkości obrotowej 900 obr/min – prędkość obrotowa biegu jałowego, w wybranych punktach na wymuszenia eksploatacyjne. Analizę dokonano dla zakresu częstości szerokości pasma od 0 – 200 Hz i liczbie próbkowania 2048. Dla tak założonych stanów silnika dokonano analizy charakterystyk amplitudowych, w celu stwierdzenia poprawności przyjętych założeń badawczych, które przedstawiono na rysunkach 3,4 oraz 5.



Rys.3. Charakterystyka amplitudowa sygnału dla stanu A silnika



Rys.4. Charakterystyka amplitudowa sygnału dla stanu B silnika



Rys.5. Charakterystyka amplitudowa sygnału dla stanu C silnika

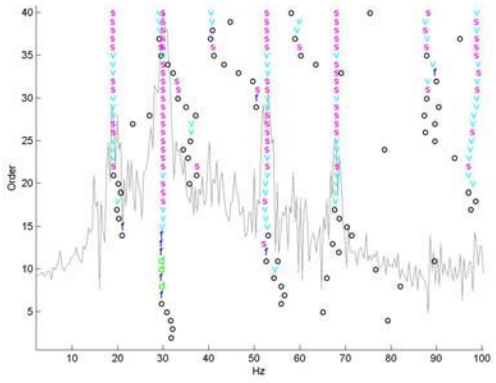
Na przedstawionych powyżej rysunkach uwzględniono charakterystyki amplitudowe 2 sygnałów – górny przebieg odpowiadał charakterystyce sygnału otrzymanego z punktu odbioru sygnału w pobliżu świecy zapłonowej, dolny z punktu odbioru sygnału w osi wałka rozrządu badanego silnika.

Zarejestrowane dane pomiarowe przetworzono za pomocą pakietu oprogramowania do analizy modalnej „Vioma". Do estymacji parametrów modelu modalnego wykorzystano metodę LSCE. Algorytm LSCE składa się z dwóch kroków: w pierwszym zidentyfikowane zostają bieguny układu, w drugim na ich podstawie estymowane są postacie drgań własnych układu.

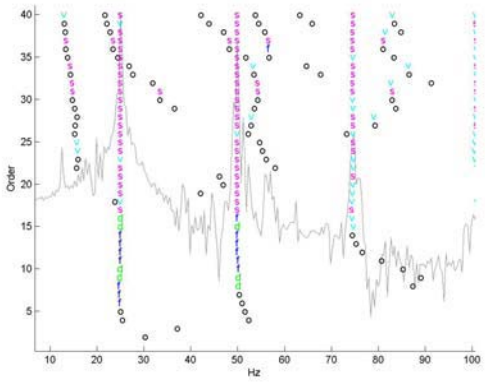
Badany obiekt został zamodelowany wielomianami o określonych rzędach: minimalnym 1 i maksymalnym 40 oraz krokiem estymacji 1. Zastosowanie tak wysokiego rzędu wielomianu pozwala na uzyskanie wyników zbliżonych do rzeczywistych, jednak ujemnym skutkiem tego jest uwzględnienie w modelu tzw.: obliczeniowych drgań własnych, które w obiekcie rzeczywistym nie występują i są skutkiem występowania błędów w danych eksperymentalnych.

Po estymacji uruchamiane jest narzędzie „Stabilisation Diagram", wyświetlające diagram stabilizacyjny i umożliwiający wybór biegunów badanego układu [3]. W wyniku przeprowadzonych pomiarów w eksperymencie uzyskano następujące diagramy stabilizacyjne dla założonych stanów silnika, przedstawione na rysunkach 6,7 oraz 8.

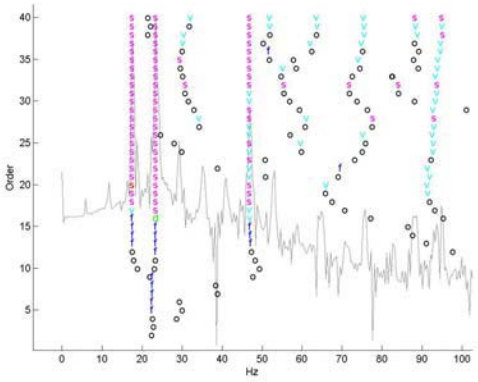
Na wykresach przyjęto następujące oznaczenia: o – bieguny niestabilne; f – biegun ma stałą częstość; v – biegun ma stałą częstość i wektor modalny; d – biegun ma stabilną częstość wibracji oraz tłumienie, s – biegun stabilny.[3]



Rys. 6. Diagram stabilizacyjny dla stanu A



Rys. 7. Diagram stabilizacyjny dla stanu B



Rys. 8. Diagram stabilizacyjny dla stanu C

Na podstawie tak przetworzonych informacji tworzymy model modalny układu dla założonych stanów silnika.

3. ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW

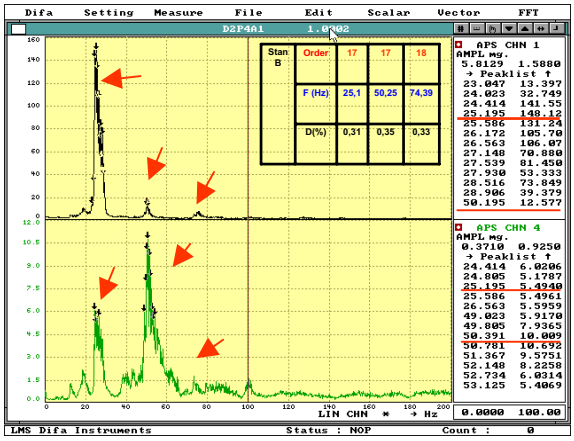
Na podstawie otrzymanych wyników pomiarowych stworzono model modalny silnika spalinowego dla założonych stanów dynamicznych. W modelu podano wielkości rzędu modalnego, częstości drgań własnych oraz współczynników tłumienia. Model modalny dla silnika otrzymany na podstawie diagramów stabilizacyjnych został przedstawiony w tablicy 1.

Tablica 1. Model modalny badanego silnika. Order – rząd modelu modalnego, F – wartość częstości własnych, D – współczynnik tłumienia

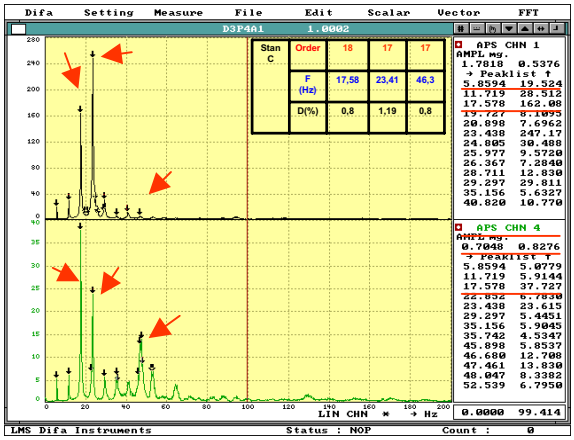
Stan A	Order	24	18	14	21	
	F (Hz)	19,40	29,85	54,06	68,26	
	D (%)	4,87	0,4	3,8	2,15	
Stan B	Order		17	17		18
	F (Hz)		25,1	50,25		74,39
	D (%)		0,31	0,35		0,33
Stan C	Order	18	17	17		
	F (Hz)	17,58	23,41	46,3		
	D (%)	0,8	1,19	0,8		

Tak utworzony model modalny zestawiono z charakterystykami amplitudowymi badanego sygnału, dzięki czemu zostały zidentyfikowane częstości charakterystyczne dla przyjętego stanu.

Przykładowe porównanie modelu modalnego z charakterystyką amplitudową przedstawiono na rysunkach 9 i 10 - w których przedstawiono zestawienie stanu B, w którym założono, że w trakcie pracy silnika na jednym z cylindrów jest uszkodzona świeca zapłonowa oraz stanu C, w którym założono, że w trakcie pracy silnika na jednym z cylindrów jest uszkodzony wtryskiwacz.



Rys. 9. Porównanie modelu modalnego z charakterystykami amplitudowymi – stan B silnika



Rys. 10. Porównanie modelu modalnego z charakterystykami amplitudowymi – stan C silnika

4. WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarowych, przedstawionych w tabelach, stwierdzamy, iż możliwym jest do wyznaczenia model modalny stanu technicznego badanego silnika a następnie na jego podstawie jesteśmy w stanie zidentyfikować aktualny stan techniczny badanego obiektu.

Otrzymane w eksperymencie parametry modalne oraz estymaty liczbowe wielkości sygnału drganiowego wskazują jednoznacznie, że założone w eksperymencie wybrane stany zdatności silnika spalinowego dały się odwzorować w parametrach modalnych oraz innych wielkościach charakteryzujących drgania i są możliwe do identyfikacji.

Obecne prace badawcze dla przedstawionej metody identyfikacji stanu technicznego silnika spalinowego przy zastosowaniu metod eksploatacyjnej analizy modalnej są w fazie badań wstępnych i dlatego założone stany są stanami,

które w gwałtowny sposób ingerują w poprawne funkcjonowanie silnika i co się z tym wiąże są dobrze odwzorowane w sygnale wibroakustycznym.

W zależności od tego jak dokładną informację o aktualnym stanie badanego obiektu chcemy otrzymać, musimy zbudować bardziej lub mniej skomplikowany model układu, wyznaczając do tego celu większą ilość punktów pomiarowych. Jak możemy zauważyć w tabeli, model modalny układu dla założonych stanów dynamicznych silnika po zestawieniu wyników różni się między sobą wartościami poszczególnych parametrów modalnych: częstości własnej, rzędu modelu modalnego i współczynników tłumienia, dzięki czemu jesteśmy w stanie określić aktualny stan techniczny obiektu w dowolnym punkcie pomiarowym.

Analiza rozmieszczenia punktów pomiarowych wykazuje, że w celu sporządzenia bardziej precyzyjnego opisu stanu badanego silnika koniecznym jest zwiększenie ilości punktów pomiarowych i referencyjnych, co w lepszym stopniu odwzorowałoby aktualny stan silnika.

Bazując na otrzymanych wynikach z silnika, dokonując pomiarów na innym obiekcie tego typu jesteśmy w stanie określić aktualny stan techniczny badanego obiektu, poprzez porównanie otrzymanych wyników z wynikami wzorcowymi i przypisaniu ich do konkretnego stanu wzorcowego, który odpowiada konkretnemu uszkodzeniu obiektu lub jego braku.

Przeprowadzone badania wskazują, iż nowoczesne oprogramowanie inżynierskie zapewnia wykorzystanie w pełni zalet wykonania pomiarów w warunkach normalnej eksploatacji maszyn, skraca czas zarówno pomiarów i analizy wyników oraz przyczynia się do precyzyjnego opisu aktualnego stanu dynamicznego badanego obiektu technicznego, a zastosowanie eksploatacyjnej analizy modalnej pozwala na zastosowanie tej nowoczesnej metody do analizy i opisu aktualnego stanu dynamicznego badanego silnika.

LITERATURA

[1] Łukasiewicz M.: „Zastosowanie analizy modalnej w badaniu stanu przekładni zębatych", Mechanika 53 ATR Bydgoszcz 2002.
[2] Uhl T.: „Komputerowo wspomagana identyfikacja modeli konstrukcji mechanicznych" WNT Warszawa 1997.
[3] Uhl T., Kurowski P.: „VIOMA – instrukcja użytkownika" AGH Kraków 2002.
[4] Żółtowski B.: „Elementy dynamiki maszyn", ATR Bydgoszcz 2002.
[5] Żółtowski B.: „Badania dynamiki maszyn", ATR Bydgoszcz 2002.
[6] Żółtowski B.: „Badania wibroakustyczne w pojazdach mechanicznych", Mechanika 33 ATR Bydgoszcz.
[7] Żółtowski B., Łukasiewicz M., Bas W.: „Próba odwzorowania modelu modalnego w miarach procesu drganiowego w zastosowaniu do badań diagnostycznych" Materiały konferencyjne XXXII Ogólnopolskie Sympozjum „Diagnostyka Maszyn", Węgierska Górka 2005.

Mgr inż. Marcin Łukasiewicz jest asystentem w Katedrze Maszyn Roboczych i Pojazdów Wydziału Mechanicznego ATR, członek SIMP. W pracy naukowej zajmuje się zagadnieniami wibroakustyki, analizy modalnej oraz zagadnieniami rozpoznawania i klasyfikacji stanów, aparaturą diagnostyczną. Autor kilkudziesięciu publikacji z zakresu wibroakustyki oraz analizy modalnej.

PRZYDATNOŚĆ PARAMETRÓW STRUKTURY GEOMETRYCZNEJ POWIERZCHNI W DIAGNOZOWANIU STANU PAR KINEMATYCZNYCH

Maciej MATUSZEWSKI

Zakład Obrabiarek i Robotów, Wydział Mechaniczny
Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy
al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: matus@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W pracy przeanalizowano przydatność oceny stanu warstwy wierzchniej elementów maszyn w procesie diagnozowania stanu obiektu technicznego. Omówiono parametry warstwy wierzchniej, które wyznaczają jej własności i właściwości. Przedstawiono również wyniki badań wstępnych przeprowadzonych na zaprojektowanym i wykonanym stanowisku badawczym. Dotyczą one wpływu parametrów kierunkowości struktury geometrycznej powierzchni (a więc jednego z czynników wyznaczających stan warstwy wierzchniej) na przebieg transformacji eksploatacyjnej warstwy wierzchniej elementów par kinematycznych ze stykiem konforemnym. Wyniki badań potwierdziły istotność badanych czynników na intensywność procesu zużywania.

Słowa kluczowe: warstwa wierzchnia, kierunkowość struktury, proces zużywania, diagnozowania

USABILITY OF PARAMETERS OF SURFACE GEOMETRIC STRUCTURE IN DIAGNOSTIC PROCESS OF KINEMATIC PAIR STATE

Summary

In this paper usability of state estimation of machine elements surface layer in diagnostic process of technical object state was analyzed. The parameters of surface layer which determine its characteristics and properties also were discussed. The results of initial investigations realized on test stand, designed and made for this aim, were presented too. These experiments concern influence of texture direction parameters of surface geometric structure on the run of service generated layer transformation of kinematical pair elements with conform contact. These parameters are important factors which determined surface layer state. Obtained results confirm significance of tested factors on intensity of wear.

Key words: surface layer, texture direction, wear, diagnostics

1. WPROWADZENIE

Powierzchnia rzeczywista elementów maszyn, która charakteryzuje się bardzo złożoną budową stereometryczną, stanowi zewnętrzną część warstwy materiału zwaną warstwą wierzchnią (WW). W dostępnej literaturze znaleźć można wiele jej definicji. Zgodnie z [1], jako warstwę wierzchnią rozumie się zbiór punktów materialnych zawartych między powierzchnią zewnętrzną a powierzchnią umowną będącą granicą zmian wartości cech strefy podpowierzchniowej, powstałych w wyniku wymuszeń zewnętrznych: nacisku, temperatury, czynników chemicznych, elektrycznych, bombardowania cząstkami naładowanymi i elektrycznie obojętnymi i innymi.

Pozostała część materiału przedmiotu poza warstwą wierzchnią – to rdzeń. W polskiej normie [6] warstwę wierzchnią zdefiniowano jako „warstwę materiału ograniczoną rzeczywistą powierzchnią przedmiotu, obejmującą tę powierzchnię oraz część materiału w głąb od powierzchni rzeczywistej, która wykazuje zmienione cechy fizyczne i niekiedy chemiczne w stosunku do cech tego materiału w głębi przedmiotu".

Warstwa wierzchnia elementów maszyn konstytuowana podczas procesu wytwarzania jest nazywana technologiczną warstwą wierzchnią (TWW). Jej cechy, tzn. struktura, własności i właściwości w największym stopniu zależą od rodzaju i parametrów stosowanej obróbki wykańczającej oraz od rodzaju tworzywa konstrukcyjnego, z którego wykonano współpracujące elementy.

Uzyskane cechy eksploatacyjne nie są stałe i pod wpływem wymuszeń zewnętrznych, tj. obciążenia, tarcia, oddziaływania środowiska itp., ulegają zmianom, a warstwa wierzchnia w tej fazie istnienia maszyny nazywa się eksploatacyjną warstwą wierzchnią (EWW). W literaturze brak jest jednoznacznych informacji jak należy zakwalifikować WW elementów w fazie magazynowania i transportu do EWW czy TWW. Z jednej strony nie oddziałują na nią jeszcze zewnętrzne wymuszenia eksploatacyjne nie ma więc podstaw do zaliczenia

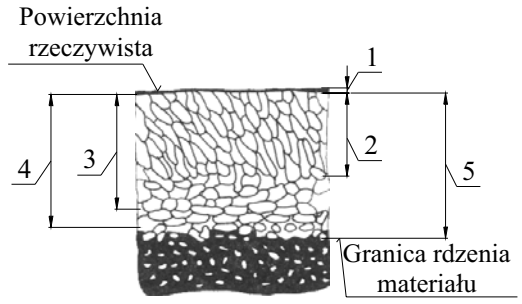
jej do EWW, z drugiej zaś - proces wytwórczy został już zakończony a więc nie jest to już TWW.

2. WARSTWA WIERZCHNIA

2.1. Budowa warstwy wierzchniej

Teoretyczne modele warstwy wierzchniej zakładają jej budowę strefową. Każda strefa jest częścią warstwy, a jej głębokość jest wyznaczana przez istnienie określonej cechy. Ze względu na trudność w opracowaniu ogólnego modelu budowy strukturalnej warstwy wierzchniej, w literaturze spotyka się wiele propozycji modeli warstwy wierzchniej składających się z różnej liczby stref.

Najprostszym modelem jest model 3-strefowy [4], a najbardziej rozwiniętym model 9-strefowy [2]. W modelach o większej liczbie stref, nowe powstały poprzez podzielenie stref istniejących lub wprowadzenie dodatkowych . Model ujęty w obowiązującej normie [6] jest modelem 5-strefowym. Jego postać graficzną przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1 Schemat 5-strefowego modelu warstwy wierzchniej (opis w tekście)

W modelu tym wyróżnia się następujące strefy:

- przypowierzchniową (1) - stanowi ona część warstwy wierzchniej przylegającą bezpośrednio do powierzchni rzeczywistej, nie ma charakterystycznej własnej struktury, zbudowana jest z zaadsorbowanych lub związanych chemicznie z podłożem jonów pochodzących z otaczającego ośrodka lub z elementów współpracujących z przedmiotem,
- ukierunkowaną (2) - leżącą pod strefą przypowierzchniowa, występuje w niej ukierunkowanie ziarn materiału, np. na skutek odkształceń plastycznych,
- efektów cieplnych (3) - jest to strefa, w której na skutek procesów cieplnych nastąpiły zmiany wielkości ziarn, przemiany fazowe, przemiany fizyczne, reakcje chemiczne itp.,
- steksturowania (4) – strefa, w której występuje tekstura krystaliczna,
- zgniotu (5) – strefa, w której nastąpiło odkształcenie plastyczne.

W większości przypadków granice poszczególnych stref nie są wyraźne, obserwuje się łagodne zanikanie cech jednej strefy przy jednoczesnym pojawianiu się cech drugiej.

2.2. Własności i właściwości warstwy wierzchniej

Stan warstwy wierzchniej, a więc jej własności i właściwości, wyznaczany jest przez zbiór cech, które można opisać parametrami: stereometrycznymi, fizykochemicznymi i stereometryczno-fizykochemicznymi [1,3].

O własnościach i właściwościach warstwy wierzchniej w największym stopniu decydują parametry opisujące strukturę stereometryczną powierzchni, nazywaną częściej strukturą geometryczną powierzchni (SGP). Strukturę tę tworzą nierówności powierzchni, czyli wzniesienia i wgłębienia będące śladami realizowanej obróbki lub skutkami procesu zużywania. W zależności od rozmieszczenia charakterystycznych elementów SGP powierzchnia może mieć charakter anizotropowy lub izotropowy. Jako podstawowe parametry opisujące strukturę geometryczną powierzchni przyjmuje się:

- chropowatość powierzchni
- falistość,
- kierunkowość śladów obróbki,
- defekty struktury geometrycznej powierzchni.

Do parametrów fizyko-chemicznych określających stan warstwy wierzchniej zalicza się wielkości opisujące następujące cechy:

- strukturalne materiału (budowa),
- mechaniczne (twardość, kruchość, naprężenia własne),
- chemiczne (skład chemiczny, adsorpcja chemiczna, absorpcja),
- fizyczne (adhezja, adsorpcja fizyczna),
- elektryczne (rezystancja, konduktywność),
- magnetyczne (korekcja, przenikalność).

Jako parametry stereometryczno-fizykochemiczne przyjmuje się: energię powierzchniową i napięcie powierzchniowe.

W każdej z wymienionych grup parametrów są wielkości w większym lub mniejszym stopniu istotne dla przebiegu i opisu procesu eksploatacji, a tym samym procesu zużywania. Poza tym ich znaczenie nie jest takie same w każdych warunkach pracy pary kinematycznej.

3. STAN WARSTWY WIERZCHNIEJ A PROCES DIAGNOZOWANIA

Znajomość podstaw fizycznych zjawisk starzeniowych i zużyciowych ułatwia poznanie i opis generowanych sygnałów diagnostycznych, umożliwiających śledzenie zmian stanu obiektu i przewidywanie uszkodzeń, co warunkuje skuteczność diagnostyki technicznej [11,12].

Wytrzymałość eksploatacyjna elementów maszyn, która jest uwarunkowana odpornością na zużywanie jest ściśle związana z właściwościami warstwy wierzchniej. Ponieważ procesy tarcia

i zużywania elementów zachodzą w warstwie wierzchniej, warstwie tej nadaje się właściwości zwiększające odporność na niszczące działanie wymuszeń podczas pracy maszyn i urządzeń.

Właściwości warstwy wierzchniej są kształtowane na etapie wytwarzania elementów maszyn. Zmieniając się w procesie eksploatacji obiektów technicznych są przyczyną zmiany stanu, prowadząc do ich uszkodzeń i niezdatności. Określenie aktualnego stanu maszyny jest jednym z zadań diagnostyki technicznej.

Znając mechanizmy i prawidłowości zużywania się pary trącej można tak pokierować procesami: technologicznym i eksploatacyjnym, aby zmiany w warstwie wierzchniej były minimalne i zapewniały jak najdłuższy okres pracy z niezmienionymi, założonymi konstrukcyjnie cechami pary kinematycznej.

Prawidłowo ukonstytuowana, w rezultacie zrealizowanych procesów technologicznych, warstwa wierzchnia elementów maszyn zapewnia maksymalną odporność na skutki procesu zużywania. a tym samym dużą trwałość współpracujących elementów maszyn i urządzeń.

W literaturze dotyczącej relacji między stanem warstwy wierzchniej a przebiegiem procesu zużywania jako parametry opisujące stan warstwy wierzchniej przyjmuje się w większości przypadków różne parametry chropowatości, np. [3, 10]. Są one bez wątpienia istotne zarówno dla konforemnego jak i niekonforemnego styku współpracujących powierzchni. Dla procesu zużywania istotnym elementem struktury geometrycznej powierzchni jest także jej kierunkowość, szczególnie dla styku konforemnego powierzchni współpracujących elementów par kinematycznych [5]. W tym przypadku uporządkowane rozmieszczenie śladów obróbki może być czynnikiem determinującym opory względnego ruchu współpracujących elementów oraz intensywność zachodzących procesów zużywania. Szczególnie istotne jest wzajemne usytuowanie śladów obróbki na obu powierzchniach.

W literaturze nie ma zbyt wielu publikacji dotyczących tego problemu, a więc nie jest jednoznacznie określony wpływ kierunkowości struktury geometrycznej powierzchni na proces zużywania, i związaną z nim zmianę stanu warstw wierzchnich skojarzonych elementów par kinematycznych.

Kierunkowość struktury geometrycznej powierzchni jest uwzględniana niekiedy w rozważaniach dotyczących zupełnie innych zagadnień, np. przy rozpatrywaniu wytrzymałości zmęczeniowej łożysk ślizgowych [7], procesu docierania par trących [8], czy też pracy siłowników hydraulicznych [9]. Wpływ kierunkowości struktury analizowany jest wówczas w ściśle określonych warunkach współpracy, a sformułowane wnioski odnoszą się do tych właśnie warunków.

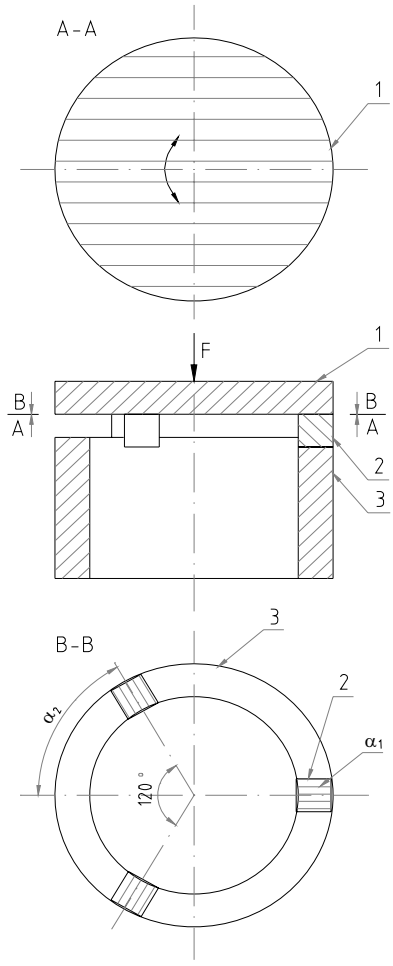
Aby tę hipotezę zweryfikować podjęto dalsze badania, które pozwolą rozszerzyć wiedzę z tego zakresu oraz potwierdzić i uogólnić rezultaty dokonanych już obserwacji.

Zaobserwowane zmiany w zakresie kierunkowości struktury geometrycznej powierzchni jako jednego z parametrów opisujących stan warstwy wierzchniej mogą być przydatne w procesie diagnozowania stanu obiektu technicznego.

4. BADANIA WŁASNE

4.1. Stanowisko badawcze

W celu określenia wpływu parametrów opisujących kierunkowość struktury geometrycznej współpracujących powierzchni na intensywność procesu zużywania, zaprojektowano i wykonano stanowisko badawcze. Zasada współpracy próbki i przeciwpróbki w trakcie badań przedstawiona jest na rys. 2.



Rys. 2. Schemat współpracy próbka – przeciwpróbka (na próbkach i przeciwpróbkach zaznaczono kierunkowość powierzchni)

Badane próbki (2) mocuje się w trzech rowkach wykonanych na czole tuleji (3) ustalającej próbki.

Na powierzchni czołowej tulei są wykonane różne kombinacje rowków, przez co uzyskuje się różne skojarzenia kątowe śladów obróbki na próbce i przeciwpróbce (1). Każda kombinacja zawiera trzy rowki rozmieszczone co 120°. Uzyskuje się w ten sposób pewny i równomierny, trój-powierzchniowy docisk współpracujących elementów realizowany za pomocą sprężyny.

Ponieważ na czole tulei ustalającej próbki można wykonać skończoną ilość rowków, ten element jest wymienny co umożliwia uzyskanie nieskończenie wielu wariantów skojarzenia próbki z przeciwpróbką. Wymiennym elementem jest ponadto przeciwpróbka, na której są ściśle określone ślady obróbki. Wymienność tego elementu umożliwia również zmianę skojarzenia kątowego śladów po obróbce próbki z przeciwpróbką.

Próbki umieszczone są w tulei nieruchomo a ruch względny, oscylacyjny wykonuje przeciwpróbka.

4.2. Metodyka badań

Założeniem pracy jest określenie wpływu kierunkowości struktury geometrycznej powierzchni na intensywność procesu zużywania. Istotnym elementem badań jest także wyznaczenie relacji między wybranymi parametrami kierunkowości SGP a wielkościami określającymi zużycie. Z tego powodu istotne jest aby przyjąć takie zbiory czynników badanych (wejściowych) i wynikowych (wyjściowych), które pozwolą osiągnąć założone cele.

Postać konstrukcyjna stanowiska umożliwia obserwację tego procesu przy następujących wielkościach tworzących zbiór zmiennych czynników wejściowych:

- kąt między śladami obróbki dla skojarzenia próbka – przeciwpróbka
- prędkość ruchu względnego,
- obciążenie,
- rodzaj tworzywa konstrukcyjnego skojarzenia próbka – przeciwpróbka,
- rodzaj środka smarującego.

Czynnikami wyjściowymi są następujące wielkości:

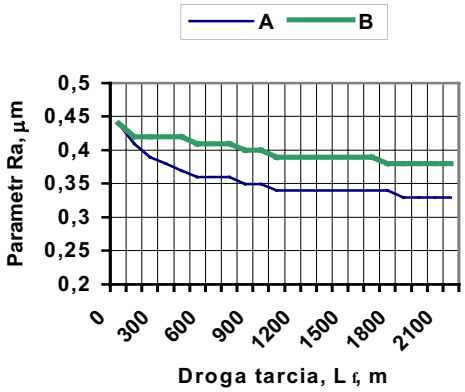
- parametry opisujące SGP,
- masa próbek (zmienna w czasie badań),
- wymiary (wysokość) próbek.

4.3. Wyniki badań wstępnych

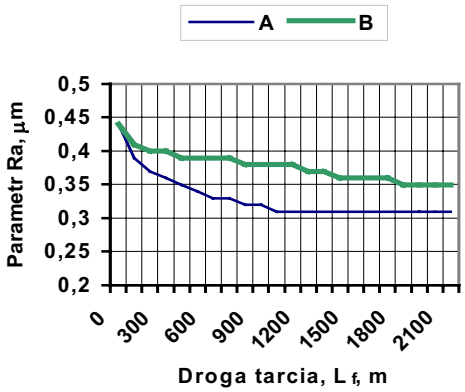
Badania przeprowadzono dla ulepszonej stali 45 o twardości 40 HRC, przeciwpróbka wykonana była ze stali NC 6 zahartowanej do twardości 60 HRC. Twardość przeciwpróbki zdecydowanie przewyższa (o 50 %) twardość próbek, aby zmiany stanu struktury geometrycznej powierzchni występowały przede wszystkim w warstwie wierzchniej próbek. Prędkość ruchu względnego podczas badań wynosiła 2,9 m/min (0,05 m/s), a próbki pracowały w ośrodku smarującym jakim był olej maszynowy.

Na rys. 3 w postaci wykresów przedstawiono wyniki badań wstępnych dla skojarzeń kątowych między charakterystycznymi śladami po obróbce wynoszącymi 0^o i 60^o.

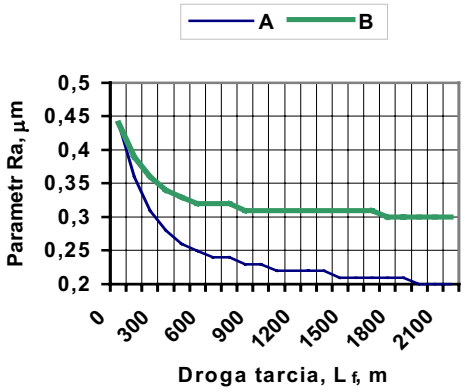
a)



b)



c)



Rys. 3. Wartości parametru chropowatości Ra w funkcji drogi tarcia dla kąta przecięcia charakterystycznych śladów po obróbce $\alpha_1 = 0°$ (A), $\alpha_2 = 60°$ (B) i dla następujących wartości sił nacisku: a) 300 N, b) 450 N, c) 600 N

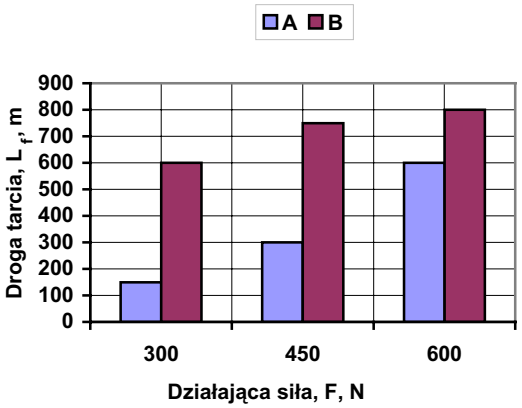
Zmianę stanu warstwy wierzchniej obserwowano dla trzech różnych obciążeń i dwóch skojarzeń kątowych między charakterystycznymi kierunkowościami struktury.

Obciążenie było realizowane dla następujących wartości sił docisku przeciwpróbki do próbek: 300 N, 450 N, 600 N, co odpowiada teoretycznym naciskom w strefie styku wynoszącym odpowiednio: 1,0 MPa; 1,5 MPa; 2,0 MPa.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zmiany wartości parametru Ra są uzależnione od wartości obciążenia. Im większa siła tym zmiana parametru Ra jest większa.

Na przedstawionych wykresach widać także, że zmiana parametru Ra jest również zależna od wartości kąta między charakterystycznymi śladami obróbki na powierzchniach współpracujących elementów. Zaobserwować można, że dla kąta współpracy 0° następuje większa zmiana wartości parametru Ra niż dla kąta 60°.

Z wykresów wynika również to, że w początkowym okresie współpracy następuje intensywna zmiana wartości parametru Ra, a w późniejszym okresie następuje stabilizacja. Jest to zgodne z założonym mechanizmem procesu zużywania. Na tej podstawie można sporządzić wykres (rys. 4) przedstawiający stabilizację procesu zużywania w funkcji działającego obciążenia, co z kolei może być wykorzystywane w procesie prognozowania stanu warstwy wierzchniej współpracujących elementów maszyn.



Rys. 4 Schemat stabilizacji procesu zużywania (mierzony zmianą parametru Ra) dla różnych sił: A - dla $\alpha_1 = 0°$, B - dla $\alpha_2 = 60°$

Z wykresów przedstawionych na rys. 3 dla kąta współpracy 0^o wynika, że się zanik zmian parametru Ra dla siły 300 N następuje już po drodze tarcia 150 m, a przy sile 600 N - dopiero po wykonaniu drogi tarcia równej 600 m. Dla kąta współpracy 60° droga tarcia wynosi odpowiednio 600 m dla siły 300 N i 800 m dla siły 600 N. Zjawisko to przedstawiono schematycznie na rys. 4. Z tego wykresu wynika również to, że na stabilizację warunków pracy dla kąta współpracy wynoszącego 0^o, w większym stopniu wpływa działająca siła, niż dla kąta wynoszącego 60^o.

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania doświadczalne wykazały, że badane czynniki są wzajemnie zależne od siebie. Stwierdzono także, że parametry kierunkowości mają istotny wpływ na intensywność procesu zużywania tribologicznego. Celowe więc będzie zrealizowanie pełnego cyklu badań, aby określić relacje ilościowe między badanymi czynnikami.

Przeprowadzone badania wstępne pozwoliły na zweryfikowanie postaci konstrukcyjnej stanowiska oraz przyjętej metodyki badań. Wykazały one prawidłowość działań w obydwóch fazach przygotowania badań.

Przyjęte czynniki badane pozwalają na obserwację procesu zużywania, w szerokim zakresie zmiennych niezależnych. Umożliwiają ponadto określenie wpływu poszczególnych badanych czynników na intensywność tego procesu. Przyczyni się to tym samym do poszerzenia wiedzy o jego przebiegu i mechanizmach.

Rozwiązanie konstrukcyjne stanowiska i przyjęte zbiory zmiennych niezależnych i zależnych pozwalają na przeprowadzenie badań, w wyniku których można będzie osiągnąć założone cele. Będzie można określić wpływ (lub jego brak) kierunkowości struktury geometrycznej powierzchni na proces zużywania tribologicznego elementów par kinematycznym ze stykiem konforemnym.

Wnioski z badań mogą być przydatne zarówno fazie projektowania i konstruowania oraz wytwarzania, ale również w czasie eksploatowania maszyn, w których pary kinetyczne o takim charakterze występują. Na każdym z tych etapów istnienia obiektu technicznego, chociaż w różnym zakresie proces diagnozowania występuje, więc wnioski z badań mogą być również wykorzystywane do tych procesów diagnostycznych.

LITERATURA:

[1] Burakowski T., Wierzchoń T.: Inżynieria powierzchni metali. WNT, Warszawa 1995.
[2] Duś-Sitek M.:Doświadczalne stwierdzenie istnienia strefy nadpowierzchniowej warstwy wierzchniej – modyfikacja modelu warstwy wierzchniej. Inżynieria Powierzchni nr 1/1999.
[3] Hebda M., Wachal A.: Trybologia. WNT, Warszawa 1980.
[4] Kolman R.: Mechaniczne wzmacnianie powierzchni części maszyn. WNT, Warszawa 1965.
[5] Matuszewski M., Styp-Rekowski M.: Significance Meaning of Texture Direction of Surfaces' Geometric Structure for Course of Wear Process. International Journal of Applied Mechanics and Engineering, vol. 9/2004, pp. 111-116.

[6] PN-87M-04250: Warstwa wierzchnia. Terminologia.
[7] Sikora J.: Studia nad metodyką badania wytrzymałości zmęczeniowej łożysk ślizgowych poprzecznych. Zeszyt naukowy nr 534 Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1996.
[8] Śliwiński W.: Proces docierania metalowych par trących w warunkach smarowania. Zeszyt naukowy nr 71 Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.
[9] Zakościelny St.: Wpływ kierunkowości śladów obróbki oraz sposobu wytwarzania na ścierność i ścieralność honowanej powierzchni na przykładzie siłowników hydraulicznych. Praca doktorska, Gliwice1981.
[10] Zwierzycki W., Grądkowski M. (redakcja): Fizyczne podstawy doboru materiałów na elementy maszyn współpracujących tarciowo. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2000.
[11] Żółtowski B., Cempel Cz. (redakcja): Inżynieria diagnostyki maszyn, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2004.
[12] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wyd. ATR, Bydgoszcz 1996.

Mgr inż. Maciej Matuszewski ukończył w 1998r. studia na Wydziale Mechanicznym Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Od 2000 roku jest pracownikiem tego wydziału zatrudnionym na stanowisku asystenta w Zakładzie Obrabiarek i Robotów funkcjonującego w strukturach Katedry Inżynierii Produkcji. W pracy naukowej zajmuje się badaniami stanu warstwy wierzchniej oraz transformacją warstwy wierzchniej. Prowadzi badania dotyczące wpływu kierunkowości SGP na proces zużywania elementów maszyn. Autor lub współautor kilku publikacji dotyczących tej tematyki.

ZASTOSOWANIE ANALIZY OBRAZU W BADANIACH OBIEKTÓW I PROCESÓW

Tadeusz MIKOŁAJCZYK

ATR Bydgoszcz, Katedra Inżynierii Produkcji
85-796 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7, tami@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono niektóre przykłady zastosowania analizy obrazu do badań obiektów i procesów zrealizowane w Katedrze Inżynierii Produkcji ATR Bydgoszcz. Przy użyciu kamery cyfrowej i specjalnie opracowanego oprogramowania dokonywano pomiarów obiektów na podstawie analizy ich obrazów. Uzyskiwana dokładność pomiaru była wystarczająca do identyfikacji obiektów, a także oceny wymiaru w warunkach warsztatowych. Z zastosowaniem procedur rozpoznawania obrazu dokonywano też oceny obrazów przedmiotów czy też twarzy w oparciu o obrazy zawarte w bazie danych. Przy użyciu sieci neuronowej poszukiwano na obrazie ostrza obrazu jego zużycia.

Słowa kluczowe: analiza obrazu, pomiary optyczne, rozpoznawanie obrazu

APLICATION OF IMAGE ANALYSE
IN OBJECT AND PROCESS INVESTIGATION

Summary

Aplications to image analyse was presented in this work. With use digital camera was measured the cutting angle of turning tool. Special recognizing procedure was used to object and human face recognize by compare with image in knowledge base. Was short presented special software to area of tool wear recognition with neural network use.

Key words: picture analyse, optical measure, picture recognition

1. WPROWADZENIE

Postępy w elektronice wywierają wpływ również na rozwój inżynierii budowy i produkcji maszyn. Nowe możliwości badań procesów inżynierii produkcji w tym zakresie stwarzają coraz powszechniejsze układy zapewniające zapis komputerowy obrazu. Współczesne kamery cyfrowe wyposażone, w dogodne do stosowania, złącze USB charakteryzują się znaczną rozdzielczością i częstotliwością zapisu obrazu przy niskiej stosunkowo cenie. Układy te wsparte odpowiednim oprogramowaniem umożliwiają realizację nowych jakościowo zadań opartych na analizie i rozpoznawaniu obrazu. Kamery cyfrowe znajdują zastosowanie w układach:

- rozpoznawania obrazu,
- układach pomiarowych.

Zakres zastosowania rozpoznawania obrazu jest bardzo szeroki i dotyczy między innymi układów analizy zużycia ostrza [3], układów wizyjne humanoidów, rozpoznawania twarzy, identyfikacji linii papilarnych, rozpoznawania tęczówki i siatkówki, analizy kształtu ucha [2].

Rozpoznawanie obrazu prowadzone jest najczęściej z zastosowaniem sieci neuronowych. W zagadnieniu rozpoznawania obrazu wyróżnia się szczególnie dwa procesy:

- wyodrębnianie obiektów,
- identyfikacja obiektów.

Wyodrębnianie obiektów polega na ich wykryciu na analizowanym obrazie. Wykonuje się przy tym kilka działań takich jak: wykrywanie krawędzi, wyznaczanie konturów, ocenę powierzchni. W realizacji tych zadania wygrywają sieci neuronowe w szczególności dzięki ich zdolności do funkcjonowania w warunkach zakłóceń. W odróżnieniu od pozostałych algorytmów analizy obrazów sieci neuronowe nie potrzebują wstępnej filtracji ("odszumiania") obrazów. Identyfikacja obiektów polega na wskazaniu, do której klasy obiektów należy obiekt.

Zaawansowana technika pomiarowa z zastosowaniem kamer cyfrowych nosi nazwę metody fotogrametrii inżynieryjnej. Stosowana jest w zakresie bliskiego zasięgu na przykład do pomiarów karoserii samochodu [4]

W pracy przedstawiono niektóre przykłady zastosowania analizy obrazu do badań obiektów i procesów zrealizowane w Katedrze Inżynierii Produkcji ATR Bydgoszcz. Przedstawione przykłady obejmują zastosowanie kamery do:

- identyfikacji ostrza na podstawie pomiarów kąta przystawienia noża tokarskiego,
- rozpoznawania obiektów,
- analizy zużycia ostrza.

2. WYBRANE ZAGADNIENIA Z POMIARÓW WIDEOOPTYCZNYCH

2.1. Charakterystyka kamer cyfrowych

We współczesnych kamerach stosuje się dwa typy matryc CMOS i CCD. Te drugie droższe cechują się większą czułością i jakością rejestrowanego obrazu.

Rozdzielczość współczesnych kamer cyfrowych dogodnych do podłączenia do komputera waha się w szerokich granicach. Z wyższa rozdzielczością kamery związana jest jej wyższa cena. Pomiarowe kamery cyfrowe o bardzo wysokiej rozdzielczości matrycy CCD (np, Zeiss – UMK HighSCAN 15.4K * 11K) [4], w których obraz jest sekwencyjnie skanowany, cechuje bardzo długi czas 5 - 330 sek. generowania obrazu. Cecha ta stanowi zasadnicze ograniczenie ich powszechnego zastosowania. Kamery z bezpośrednim cyfrowym zapisem posiadają czas akwizycji obrazu ≤ 2 sek., (np. Imetric – Icam 28 (7.2K * 4.1K, CCD digital) [4]. Rozwój układów cyfrowej akwizycji obrazu jest bardzo dynamiczny i współcześnie pojawia się szereg rozwiązań aparatów cyfrowych o dużej rozdzielczości matrycy powstałych na bazie lustrzanek jednoobiektywowych, które wyposażono w stabilny pod względem geometrycznym sensor CCD i krótkich czasach ekspozycji. Mogą znaleźć on zastosowanie w zagadnieniach analizy obrazu.

Zapis obrazu następuje bezpośrednio na wewnętrznych, wymiennych kartach pamięci. Transfer danych cyfrowych do komputera odbywa się za pomocą interfejsu typu LPT, SCSI, USB lub kart PCMCIA. Szczególnie dogodne jest zastosowanie kamer podłączanych do portu USB z uwagi na dużą prędkość transmisji jak i zastosowanie zasilania kamery bezpośrednio z portu USB. Zaletą tego rozwiązania jest możliwość zastosowania kamery w dowolnym komputerze wyposażonym w port USB.

2.2. Dokładność pomiarów

Dokładność zapisu obrazu związana jest przede wszystkim z kamerą. Podstawowymi cechami kamery są:

- rozdzielczość kamery,
- czułość,
- dokładność wykonania matrycy,

Dodatkowymi czynnikami mającymi wpływ na dokładność są układ optyczny jego powiększenie i dokładność. Dobór odpowiedniego powiększenia układu optycznego umożliwia zwiększenie dokładności układu poprzez dobór pola widzenia kamery do wielkości obserwowanego obiektu. Analiza obrazu zapewnia możliwość korekty błędów układu optycznego i matrycy poprzez zastosowanie w programach procedur korekty.
Dokładność D pomiaru określenia wybranych punktów związana jest z zastosowaną rozdzielczością matrycy. Można ją wyrazić poprzez stosunek wielkości liniowej mierzonego obrazu do rozdzielczości matrycy w wybranym kierunku pomiaru.

$$D = \frac{1}{R \cdot 1000} \tag{1}$$

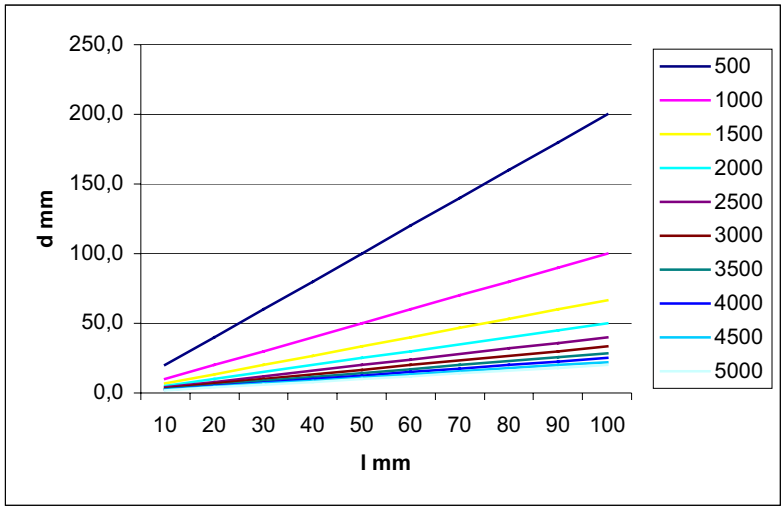
gdzie:

D- dokładność μm,
l- wymiar liniowy mm,
R- rozdzielczość w pixelach.

Dokładność pomiaru w zakresie rozdzielczości do 500 do 5000 pixeli zilustrowano na wykresie (rys. 1). Na podstawie wykresu można stwierdzić że przy pomiarze obiektów o wymiarze do 100 mm dokładność pomiaru przy rozdzielczości matrycy 2000 sięga 0,05 mm, natomiast dla matrycy o rozdzielczości 500 pixeli z taką dokładnością można mierzyć przedmioty o wielkości około 20 mm.

Metoda fotogrametrii inżynieryjnej, przy zastosowaniu odpowiedniego specjalistycznego oprogramowania, z uwzględnieniem bardzo precyzyjnej kalibracji kamery jak i wszystkich elementów układu pomiarowego, umożliwia w związku z zastosowaniem metod triangulacji, dokonywanie pomiarów ze znacznie większą dokładnością Niezbędny jest również pomiar wielkości kątowych z dokładnością 1" [4]. Uzyskiwana dokładność pomiaru jest na poziomie 1/50 pixela. Obserwowane obiekty można mierzyć z dokładnością 1:100000, a nawet 1:1000000. Metody te wymagają jednak odpowiedniej metodyki pomiaru i specjalnego oprogramowania. Technika ta stosowana jest zarówno on-line jak też off-line. Większe dokładności pomiaru uzyskiwane są w metodach off-line.

Współcześnie rozwija się również technika skaningu laserowego związanego również z cyfrowym zapisem obrazu. W wyniku pomiaru uzyskać można informacje o geometrii całego obiektu, czy też wykonać przekrój w dowolnym miejscu, a jednocześnie dostajemy zdjęcie cyfrowe mierzonego obiektu. Sam pomiar natomiast nie wymaga bezpośredniego kontaktu **z** obiektem, czy wcześniejszej sygnalizacji punktów.



Rys. 1. Dokładność pomiaru na poziomie rozdzielczości pixela w zależności od rozdzielczości matrycy i wielkości analizowanego obrazu

3. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA

W Katedrze Inżynierii Produkcji ATR Bydgoszcz od szeregu lat prowadzone są próby zastosowania techniki wizyjnej do badań możliwości identyfikacji cech obiektów i analizy procesów. Przedstawione przykłady obejmują zastosowania tej techniki do:

- pomiarów,
- rozpoznawania obrazów,
- analizy obrazu zużycia ostrza.

Zastosowanie kamery do badań strefy spalania silnika ZI z uwzględnieniem oceny składu mieszanki na podstawie koloru przedstawiono w innej pracy w tych materiałach.

3.1. Pomiar kątów przystawienia noża tokarskiego

Pomiar kątów przystawienia polega na określeniu na obrazie ostrza współrzędnych punktów przecięcia siecznych p1, p2 i krawędzi skrawających głównej i pomocniczej (rys. 2).

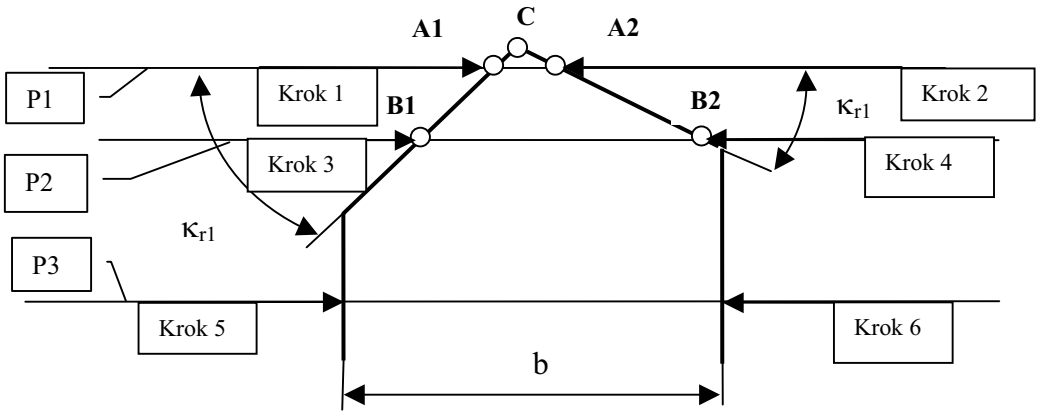
Na podstawie znajomości współrzędnych punktów A1, B1 oraz A2 i B2 można określić wartości kątów przystawienia κ_{r1} i κ_{r2}.

Szerokość trzonka wyznaczyć można jako różnicę współrzędnych przecięcia prostej p3 z trzonkiem noża z uwzględnieniem skali obrazu.

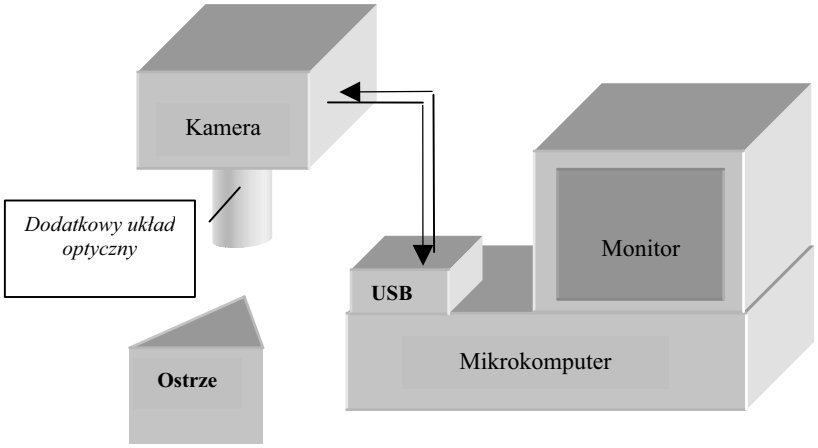
Do identyfikacji noża należy wyznaczyć odległość wierzchołka ostrza względem powierzchni bocznej noża – h. Opisane zależności zawarte są programie, a procedury pomiarowe realizowane są automatycznie.

W przyjętym postępowaniu zakłada się, że trzonek noża usytuowany jest w pozycji horyzontalnej pola widzenia kamery

Stanowisko pomiarowe przedstawiono na rysunku 3. Zawiera ona kamerę cyfrową FLASH 350FS firmy TRUST z matrycą CMOS o rozdzielczości 640*480 pixeli. Kamery o tej rozdzielczości są z powodzeniem stosowane w astronomii amatorskiej [1]. Kamera umożliwia zapis obrazu ze zwiększoną (interpolowaną) rozdzielczością 1280*800 pixeli. Ogranicza to jednak możliwości samoczynnej pracy stanowiska. Kamera podłączona jest do komputera poprzez złącze USB. Umożliwia to pomiar przy zastosowaniu innych komputerów wyposażonych w to złącze bez konieczności instalacji karty. Do obsługi stanowiska opracowano w języku Visual Basic 6.0. specjalne oprogramowanie umożliwiające transmisję obrazu z kamery, a nastepnie analizę obrazu w celu pomiaru Program zawiera trzy formy. Poza formą stanowiąca winietę programu opracowano formę podstawową służącą do dokonania pomiarów ostrza oraz formę za pomocą której dokonuje się skalowania stanowiska. Dodatkowo sporządzono formę, na której dokonuje się zmian nastaw kamery W układzie zastosowany jest standardowy układ optyczny kamery. W celu powiększenia pola widzenia dla wykorzystania rozdzielczości obrazu możliwe jest zastosowanaie dodatkowego układu optycznego. Pomiary przeprowadzano przy różnym usytuowaniu siecznych pomiarowych, które są sterowane suwakami umieszczonymi z boków obrazu narzędzia. Dla przykładowego noża dokonano pomiarów kąta przystawienia oraz szerokości ostrza i odległości wierzchołka ostrza od bazy. Uzyskane wyniki pomiarów wskazują, że opracowane oprogramowanie umożliwia pomiar katów przystawienia z dokładnością $+0{,}5^{o}$.. Dokładność pomiarów liniowych wynosi 0,1 mm. Po wyznaczeniu parametrów zarówno liniowych: szerokości – b oraz przemieszczenia wierzchołka - h jak i kątów przystawienia ostrza umożliwia to jednoznaczną identyfikację analizowanego noża tokarskiego przez porównanie z bazą narzędzi.



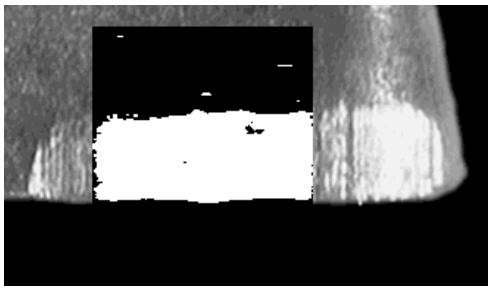
Rys. 2. Kolejność procedur pomiarowych przy wyznaczaniu parametrów geometrycznych ostrza w płaszczyźnie P_r



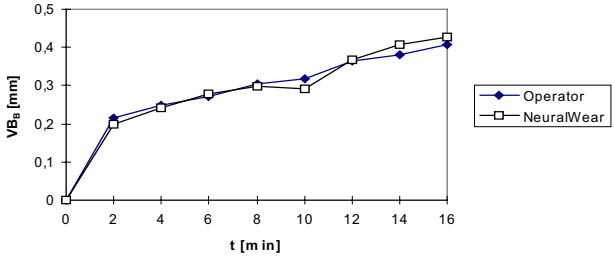
Rys. 3. Schemat stanowiska do identyfikacji noży tokarskich

3.2. Analiza zużycia ostrza siecią neuronową

Rozpoznawanie wielkości zużycia ostrza na podstawie obrazu jego zużycia prowadzono przy zastosowanie specjalnie opracowanego programu Neural Wear [3]. W programie określa się obszar, na którym następuje uczenie nienadzorowanej sieci typu SCBC widoku ostrza nie zużytego. Następnie sieć na podstawie analizy jasności pixeli obrazu z uwzględnieniem ich sąsiedztwa program dokonuje analizy stanu powierzchni zużycia określając automatycznie jego obszar poprzez zaznaczenie rozpoznanego obszaru kolorem białym (rys. 4). Na rozpoznanym obszarze zużycia ostrza zostaje określona liczba pixeli obszaru zużycia, którą można przeliczyć na wartość parametru zużycia powierzchni. W prowadzonych próbach pomiaru parametru VB_B zużycia ostrza stwierdzono różnice rzędu 8 % w stosunku do pomiarów dokonanych przez subiektywnego obserwatora. (rys. 5).



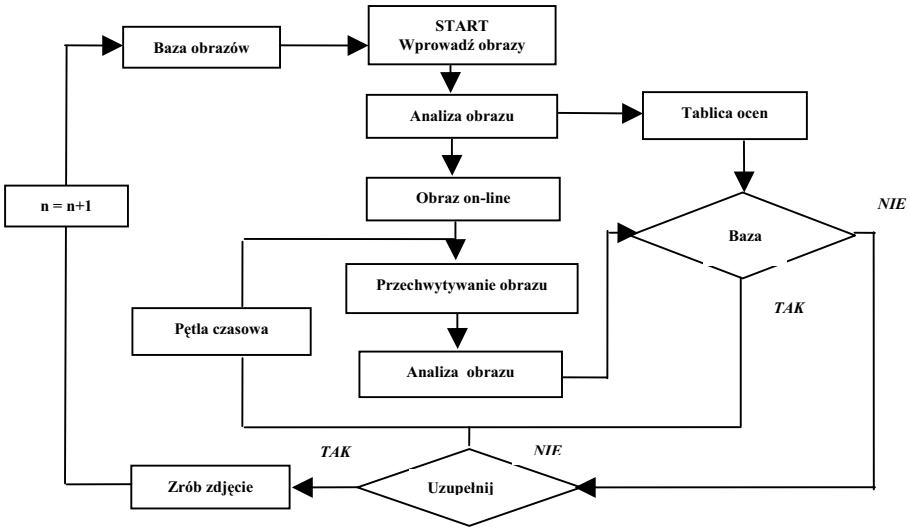
Rys. 4. Widok ostrza po analizie [3]



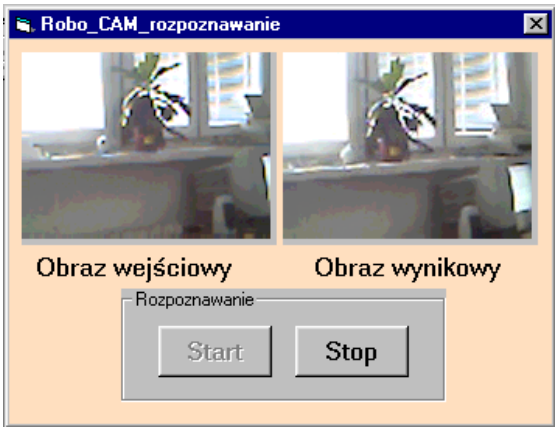
Rys. 5. Porównanie wyników pomiarów [3]

3.3. Rozpoznawanie obiektów

Rozpoznawanie obiektów zrealizowano z zastosowaniem oprogramowania opracowanego w języku VB. Wykorzystano w nim procedurę (rys. 6) porównującą obraz on-line z obrazami zawartymi w bazie wiedzy skojarzonej z programem. Oceny obrazów z bazy wiedzy opracowywane są przy uruchomieniu programu. W przypadku uzyskania zbieżności program potwierdza rozpoznanie obiektu. Opracowany program umożliwia uzupełnienie bazy o nowe obrazy. Zastosowana procedura jest uniwersalna, może rozpoznawać dowolne obiekty, w tym twarze, gdyż program analizuje jedynie podobieństwo graficzne bez wyróżnienia cech obrazu jak np. ma to miejsce w rozpoznawaniu twarzy. Program realizuje swoje zadania z dużą dokładnością, pod warunkiem zapewnienia zbliżonych warunków oświetlenia, przy sporządzaniu obrazów wzorcowych i pracy on-line. Przykład pracy programu przedstawia forma na rysunku 7, która przedstawia obraz on-line i rozpoznany obraz wzorcowy. Układ rozpoznawania zastosowany będzie w oprogramowaniu robota IRb 60.



Rys. 6. Schemat blokowy procedury rozpoznawania obrazu



Rys. 7. Przykład działania programu

Przedstawione przykłady wskazują na duże możliwości zastosowania kamer cyfrowych zarówno do celów pomiarowych jak i rozpoznawania obrazu. Rozdzielczość kamery, stosowanej w pracy, na poziomie VGA była wystarczająca do pomiarów cech geometrycznych noża tokarskiego w płaszczyźnie P_r z dokładnością umożliwiającą zidentyfikowanie narzędzia spośród innych. Uzyskana dokładność pomiaru była znacznie większa niż stosowany odstęp pomiędzy poszczególnymi odmianami noży. W procesie rozpoznawania obrazu ze względu na czas obliczeń celowe jest stosowanie obniżonej rozdzielczości kamery. Tak więc rozdzielczość VGA jest wystarczająca, a nawet celowe jest jej zmniejszenie, co jest możliwe poprzez zmianę nastaw kamery.

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych prób można sformułować następujące wnioski:

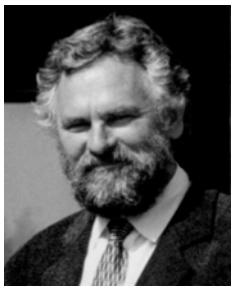
- Kamery cyfrowe o rozdzielczości VGA mogą zastosowane zarówno do pomiarów o dokładności rzędu 0,5 % jak i do rozpoznawania obrazu,
- Opracowane stanowisko może być stosowane do pomiarów geometrii ostrza może znaleźć zastosowanie praktyczne,
- Opracowany program rozpoznawania zużycia ostrza umożliwia automatyczne rozpoznanie obszaru zużycia z widoku ostrza, a następnie ocenę parametru

zużycia z dokładnością porównywalną z subiektywna oceną człowieka,

- Testowana procedura rozpoznawania obiektów umożliwia rozpoznawanie różnych obiektów zawartych w bazie wiedzy. Do rozpoznawania celowe jest stosowanie obniżonej rozdzielczości obrazu ze względu na szybkość działania programu i możliwość pracy on-line.
- Celowe jest prowadzenie prac w zakresie zastosowania kamer cyfrowych do pomiarów w procesie technologicznym z uwzględnieniem możliwości rozpoznawa-nia obiektów i analizy procesów. Szczególnie celowe jest wdrożenie procedur fotogrametrycznych przy pomiarach.

LITERATURA

[1] http://www.astrokrak.pl
[2]http://www.gpro.wi.ps.pl/(Zakład Przetwarzania i Rozpoznawania Obrazów Politechniki Szczecińskiej).
[3] Mikołajczyk T., Nowicki K.: Ocena obrazu zużycia ostrza z wykorzystaniem sieci neuronowych. Mechatronika, Warszawa, 1997, s. 829-833.
[4] Sawicki P., Fotogrametryczne systemy do pomiaru punktów w bliskim zasięgu**,** Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe pn. Fotogrametria i teledetekcja w społeczeństwie informacyjnym, AFKiT vol. 12, Białobrzegi k. Warszawy 2002.



Dr inż. Mikołajczyk Tadeusz, ur. w 1951 r. Adiunkt w Katedrze Inżynierii Produkcji ATR Bydgoszcz. Opiekun Koła Naukowego Mechaników. Autor prac z zakresu podstaw skrawania i konstrukcji narzędzi, jak też zastosowań mechatroniki w inżynierii produkcji.

DIAGNOZOWANIE STANU STRUKTURY GEOMETRYCZNEJ POWIERZCHNI O ROZWINIĘTEJ RZEŹBIE

Volodymyr LIUBIMOV[*], Janusz MUSIAŁ[**], Michał STYP-REKOWSKI[**]

[*] Politechnika Rzeszowska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technik Wytwarzania i Automatyzacji, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów
[**] Akademia Techniczno-Rolnicza, Wydział Mechaniczny, Zakład Obrabiarek i Robotów ul. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, jamusual@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W niniejszym opracowaniu przedstawiono pewien sposób oceny powierzchni, w którym wykorzystano metodę pomiaru geometrycznych cech wgłębień występujących w strukturze geometrycznej powierzchni roboczych łożysk tocznych. Wykorzystując specjalistyczną aparaturę pomiarową Talyscan, dla wgłębień i pików określono: powierzchnię objętość, maksymalną oraz średnią wartość głębokości lub wysokości.

Wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych świadczą o tym, że możliwe jest opisanie za pomocą proponowanej metody zmian, jakie zaszły w strukturze geometrycznej badanych powierzchni podczas procesu zużywania.

Słowa kluczowe: struktura geometryczna powierzchni, łożysko toczne, zużywanie, diagnozowanie

DIAGNOSTICS OF SURFACE GEOMETRIC STRUCTURE STATE WITH DEVELOPED SCULPTURE

Summary

In this paper some method of surface estimation was shown. To this aim measures geometric features of holes and pikes exist in geometric structure of tested surfaces of rolling bearings were used. Appilicating specialistic measuring Talyscan apparatus, for the holes and the pikes following quantities were obtained: area, volume, maximum and average values of depth or height, respectively.

The results of worked out experimental investigations confirm ability of description by mentioned method of the changes in geometric structure of tested surfaces which occur during wear processes. Thus, there are possibilities applications of these results in diagnostic processes.

Keywords: surface, geometric structure, rolling bearing, wear process, diagnostics

1. WPROWADZENIE

Warstwa wierzchnia elementów maszyn stanowi czynnik, który w głównej mierze determinuje ich własności, a skojarzenie warstw wierzchnich dwóch współpracujących elementów decyduje o właściwościach pary kinematycznej, jaką tworzą te elementy. Jedna z wielkości charakterystycznych warstwy wierzchniej jest struktura geometryczna powierzchni, która determinuje przebieg zużywania. Zmiany SGP powodują zmianę stanu danej pary kinematycznej, dlatego też monitorowanie tych zmian jest jednym z podstawowych działań w procesie diagnozowania [9].

Powyższe fakty świadczą jednocześnie o dużym znaczeniu warstwy wierzchniej, struktury geometrycznej powierzchni oraz podkreślają znaczenie oceny stanu WW w procesie diagnozowania. Dały też asumpt do zrealizowania przedstawionych w niniejszej pracy analiz i badań.

2. BADANIE STRUKTURY GEOMETRYCZNEJ POWIERZCHNI

Rozszerzenie wiedzy o ukształtowaniu struktury geometrycznej powierzchni (SGP) oraz opracowanie i stosowanie nowych sposobów jej oceny (ilościowej i jakościowej) stało się możliwe m.in. dzięki precyzyjnej, wspomaganej komputerowo aparaturze pomiarowej. Powstały nowe programowe możliwości analizy powierzchni w układzie przestrzennym (3D) co w połączeniu ze zwiększoną dokładnością narzędzi pomiarowych pozwala obserwować i mierzyć elementy SGP w skali nanometrycznej i opisać ją za pomocą wielu parametrów, nie tylko powierzchniowych lecz także objętościowych, przestrzennych, hybrydowych oraz funkcjonalnych [3,6].

W przypadku powierzchni o rozwiniętej rzeźbie, a więc takiej, w której występują duże mikronierówności (o dużej objętości) precyzyjne

lecz tradycyjne metody pomiaru (3D) nie są w pełni przydatne do ilościowego opisu SGP.

Rozwój profilometrii skaningowej przyczynił się do zwiększenia możliwości pomiarowych, np. prowadzenia badań we wstępnej fazie procesu zużywania, kiedy otrzymane wyniki za pomocą innych metod są obarczone dużym błędem (np. metoda wagowa) [5].

Analiza struktury geometrycznej powierzchni przy zastosowaniu profilometrii skaningowej dostarcza wiele informacji o rodzaju i charakterze zjawisk zachodzących w obszarze styku współpracujących powierzchni [4]. Wykorzystywana jest także do oceny przydatności środków smarowych stosowanych w węzłach tribologicznych [1].

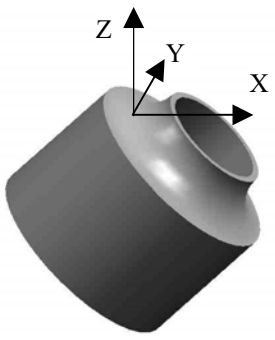
W niniejszym opracowaniu przedstawiono sposób oceny powierzchni, w którym wykorzystano metodę pomiaru wgłębień i pików (wierzchołków) występujących w strukturze geometrycznej badanych powierzchni.

Wykorzystując specjalistyczną aparaturę pomiarową Talyscan 150 firmy Taylor-Hobson z zastosowaniem programu Mountains Map Universal, określono maksymalną oraz średnią wartość głębokości lub wysokości odpowiednio: wgłębień lub wierzchołków oraz ich powierzchnię i objętość.

3. OBIEKT I METODA BADAŃ

Jako obiekt badań przyjęto skośne łożysko kulkowe. Wybrano ten typ łożyska gdyż, ze względu na postać konstrukcyjną i związaną z nią kinematyką jego elementów, duża jest intensywność zjawisk towarzyszących transformacji struktury geometrycznej powierzchni, co stwarza lepsze warunki obserwacji.

Ze względu na charakter obciążenia, kinematykę elementów łożyska i całą istotę jego działania w warunkach rzeczywistych w badanej tocznej parze kinematycznej większe zmiany zachodzą na bieżni na pierścieniu wewnętrznym, dlatego też pomiary i obserwacje przeprowadzano na tym elemencie łożyska. Postać konstrukcyjną obiektu badań wraz z przyjętym układem współrzędnych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Obiekt badań i przyjęty w badaniach układ współrzędnych

Obserwacji przebiegu zmian dokonywano na bieżni na nieruchomym pierścieniu wewnętrznym, w określonym miejscu, w którym kulka oddziałuje na bieżnię ze zdefiniowaną siłą, dlatego też istotne jest jednoznaczne zorientowanie tego pierścienia w przestrzeni badawczej [2].

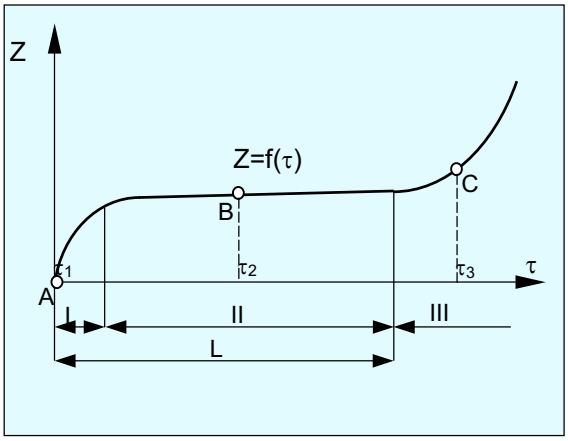
Wyniki badań rejestrowano dla trzech wartości czasu τ:

- na początku badań (początek I okresu), dla $\tau_1=0$ s,
- w okresie ustalonej intensywności zmian (mniej więcej w połowie II okresu), $\tau_2=2{,}1\cdot10^5$ s,
- w końcowym okresie zdatności łożyska (III okres), $\tau_3=3{,}9\cdot10^5$ s .

Przyjęcie punktów pomiarowych o powyższych współrzędnych wynikało z rezultatów kompleksowych badań skośnych łożysk tocznych opisanych w pracy [7].

Na rysunku 2 przedstawiono przebieg procesu zużywania. Wyraźne są w nim trzy okresy:

I – szybkiego wzrostu intensywności zużywania,
II – ustalonego poziomu lub niewielkich zmian zużycia,
III – ponownie szybkiego wzrostu intensywności zużywania.

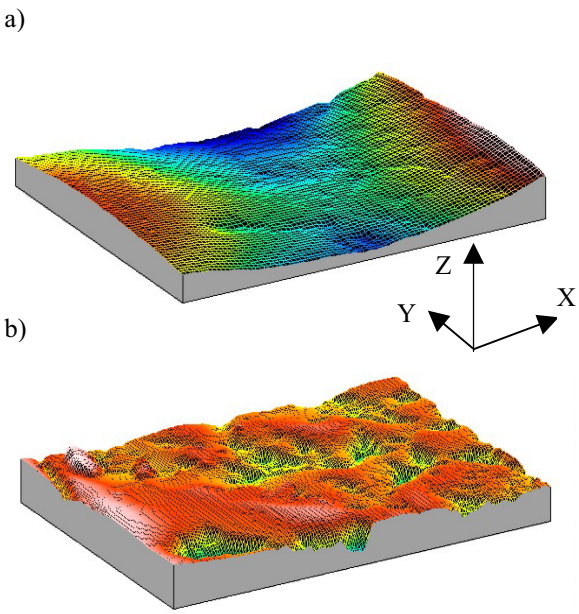


Rys. 2. Graficzny zapis typowego procesu zużywania

W tradycyjnym ujęciu przyjmuje się, że trwałość jest sumą I i II okresu. Na podstawie badań [7] stwierdzono, że przy kryterium trwałości w postaci poziomu oporów ruchu do okresu wyznaczającego granicę zdatności a więc jako trwałość łożysk można przyjąć jeszcze część okresu III, dlatego też w tym okresie przyjęto trzeci punkt, w którym obserwowano przebieg zmian. Współrzędne punktów pomiarowych: A, B, C, w których dokonywano pomiarów i obserwacji zaznaczono na rysunku 2.

Obraz 3D mierzonej powierzchni przedstawiony jest na rysunku 3a, natomiast powierzchnia po

odfiltrowaniu krzywoliniowego zarysu powierzchni teoretycznej na rysunku 3b.



Rys. 3. Mikrogeometria badanej powierzchni: a) obraz 3D mierzonej powierzchni, b) chropowatość powierzchni po odfiltrowaniu krzywoliniowej nominalnej powierzchni teoretycznej

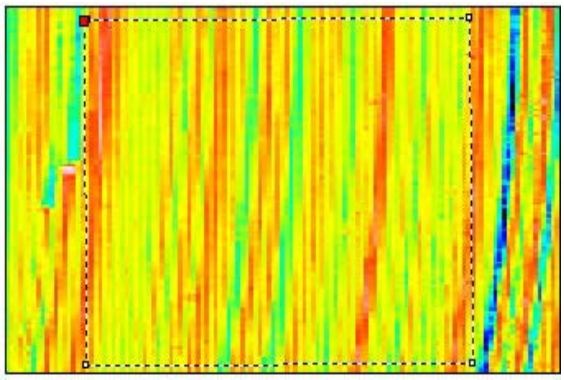
Ze względu na fakt, że badana była powierzchnia o zarysie krzywoliniowym (wklęsło-wypukła), wyznaczono teoretyczną powierzchnię jej krzywizny, a następnie poddano odfiltrowaniu otrzymując odwzorowanie obrazu na powierzchni płaskiej.

4. GRAFICZNA PREZENTACJA I ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki badań zostały przedstawione poniżej w formie graficznej. W badaniach pomiarów dokonywano na powierzchni o wymiarach 2mm x 2mm. Do oceny badanych powierzchni wykorzystano wielkości opisujące elementarne fragmenty struktury geometrycznej powierzchni: wgłębienia i wzniesienia jakie na powierzchni występują: Zbiór tych wielkości tworzyły:

- pole powierzchni, mm^2,
- objętość zagłębień i występów, μm^3,
- maksymalna wartość (odpowiednio: głębokości lub wysokości), µm,
- średnia wartość głębokości lub wysokości, µm.

Obraz badanej powierzchni dla czasu τ_1=0s, tzn. przed rozpoczęciem procesu eksploatowania, oraz wyniki pomiarów przyjętych wielkości przedstawiono na rysunku 4. Na badanej powierzchni widoczne są ślady obróbki, zaś z porównania parametrów dla wgłębień oraz wzniesień wynika, że wartości te są zbliżone – są tego samego rzędu. Świadczy to o tym, że początkowa struktura powierzchni bezpośrednio zależy od parametrów obróbki wykańczającej tego elementu łożyska oraz od geometrii ostrza narzędzia, za pomocą którego tę obróbkę realizowano.



	wgłębienie	*wzniesienie*
powierzchnia [mm^2]	*0,67*	*0,342*
objętość [μm^3]	*484262*	*190407*
max. wartość [µm]	*2,44*	*2,47*
średnia wartość [µm]	*0,723*	*0,557*

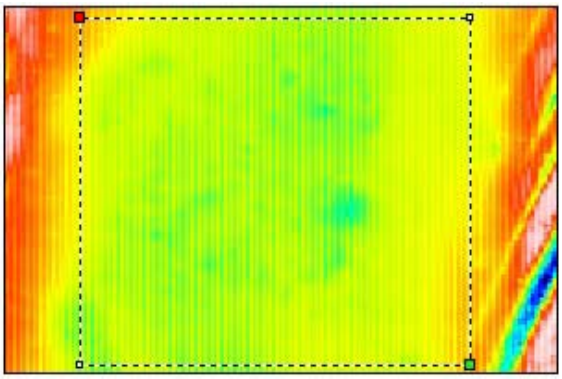
Rys. 4. Wyniki pomiarów w I okresie, dla τ_1=0 s

Następnie łożyska z pierścieniami wewnętrznymi eksploatowano przez czas $\tau_2=2{,}1\cdot10^5$ s. Wyniki pomiarów po tym czasie zostały przedstawione na rysunku 5.

Na podstawie wyników tego fragmentu badań można stwierdzić, że wartość parametrów dla wgłębień wzrosła, a dla wzniesień zmalała. Spowodowane jest to tym, że toczenie się obciążonych kulek po bieżni spowodowało wyrównanie badanej powierzchni na skutek trwałych odkształceń plastycznych.

Na tym etapie nie widać jeszcze wyraźnych oznak zużycia. Widoczne są nieznaczne skutki zużywania, które można zaliczyć do ubytków w wyniku ścierania oraz efektów brinellowania, spowodowanego obecnością twardych produktów zużywania w smarze. Nie stanowią one jeszcze podstawy do dyskwalifikacji powierzchni i uznania obserwowanego elementu jako niezdatnego do dalszego użytkowania.

W badaniach przyjęto, że łożyska toczne zostaną poddane pomiarom dla trzech czasów: na początku eksploatacji – punkt A, w okresie ustalonej intensywności zmian – punkt B oraz w końcowym okresie zdatności łożyska – punkt C. Wartości wielkości stanowiących podstawę oceny badanych powierzchni próbek w ostatnim okresie, dla czasu $\tau_3=3{,}9\cdot10^5$ s, zostały przedstawione na rysunku 6.

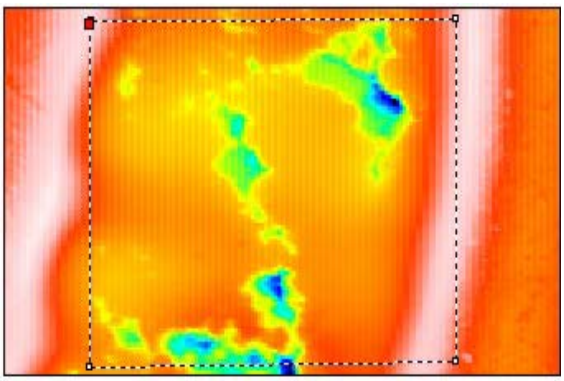


	wgłębienie	*wzniesienie*
powierzchnia [mm²]	*1,17*	*0,206*
objętość [μm³]	*1252306*	*91753*
max. wartość [μm]	*3,49*	*1,61*
średnia wartość [μm]	*1,07*	*0,445*

Rys. 5. Wyniki pomiarów w II okresie, dla $\tau_2=2{,}1\cdot10^5$ s

Znacznie większe zużycie obserwowane na powierzchniach przejawiało się w następujących formach:
- zużycia ściernego,
- odkształceń plastycznych,
- pittingu.

Zwiększona koncentracja produktów zużycia w środku smarowym powodowała także zwiększone występowanie tzw. brinellowania.



	wgłębienie	*wzniesienie*
powierzchnia [mm²]	*1,18*	*0,094*
objętość [μm³]	*7651355*	*133871*
max. wartość [μm]	*35,0*	*5,22*
średnia wartość [μm]	*6,5*	*1,43*

Rys. 6. Wyniki pomiarów w III okresie, dla $\tau_3=3{,}9\cdot10^5$ s

Porównując wartości badanych parametrów dla poszczególnych czasów, stwierdzić należy, że wraz ze wzrostem czasu eksploatowania badanych próbek wzrasta maksymalna głębokość występujących w strukturze wgłębień – od ok. 40% po czasie τ_2 do 1300% po czasie τ_3. Dzieje się tak przy niewiele zmieniającej się w przedziale czasu τ_2 - τ_3 ich powierzchni. Może to świadczyć o postępującej destrukcji powierzchni powodowanej oddziaływaniem zewnętrznych wymuszeń siłowych podczas eksploatacji.

Łączna objętość wgłębień po pierwszym okresie eksploatowania, a więc dla czasu τ_2 wzrasta 1,5-krotnie a po czasie τ_3 prawie 15-krotnie, co stanowi potwierdzenie intensywnego występowania wspomnianej destrukcji.

Inna sytuacja występuje w przypadku wzniesień. Ich maksymalna wysokość początkowo maleje (o ok. 35%) a następnie rośnie (o ponad 110%) w stosunku do wartości początkowej. Powierzchnia wzniesień w tym czasie zmniejsza się o ponad 70%. Taka zmiana świadczy o stopniowym wygładzaniu powierzchni w wyniku wielokrotnego przetaczania się po niej obciążonych elementów tocznych.

Objętość wzniesień w analizowanym czasie także maleje, lecz tylko o około 30%.

Dla celów diagnostycznych zakres parametrów opisujących strukturę geometryczna powierzchni rozszerzono o parametry objętościowe (odnoszą się one także do objętości wgłębień i wzniesień):
- Smmr – współczynnik objętości materiału, mm^3/mm^2,
- Smvr – współczynnik objętości pustek materiałowych, mm^3/mm^2.

Ze względu na rodzaj dominującego procesu zużywania (tribologiczne) w analizach diagnostycznych proponuje się uwzględnić kolejne parametry, które zaliczane są do grupy parametrów funkcjonalnych:
- Sci – wskaźnik zatrzymania płynu przez rdzeń,
- Svi – wskaźnik zatrzymania płynu przez wgłębienia.

Uwzględniono także podstawowy parametr chropowatości jakim jest średnie arytmetyczne odchylenie mikronierówności od linii średniej, a więc parametr Sa.

Wartości analizowanych wielkości dla poszczególnych czasów eksploatowania badanych łożysk zestawiono w Tablicy 1.

Tablica 1. Wartości analizowanych parametrów

Parametr \ Czas	τ_1	τ_2	τ_3
Smmr [mm^3/mm^2]	0,002	0,004	0,035
Smvr [mm^3/mm^2]	0,002	0,002	0,005
Sci	1,37	2,05	1,43
Svi	0,14	0,058	0,163

Sa [μm]	0,58	1,37	3,63

Na podstawie porównania dwóch pierwszych parametrów wnioskować można, że badana powierzchnia wykazuje największe rozwinięcie dla czasu τ_3. Taka ocena wynika z faktu, że w tym pomiarze największe są obydwa współczynniki objętości a spowodowane jest to tworzeniem się losowo rozłożonych, głębokich wgłębień o małym polu przekroju w wyniku oddziaływania wymuszeń zewnętrznych.

Najlepszymi cechami tribologicznymi, co przejawiało się największą wartością współczynnika Sci i najmniejszą współczynnika Svi, badana powierzchnia charakteryzowała się w punkcie B (dla czasu τ_2). Jest to czas właściwej eksploatacji, podczas którego następują najmniejsze zmiany w całym cyklu istnienia wytworu.

Obserwowana na tym tle zmiana parametru chropowatości Sa ma charakter zgodny z oczekiwaniami, tzn. w całym przedziale czasowym jego wartość rośnie.

5. PODSUMOWANIE

Występujące w warstwach powierzchniowych duże mikronierówności mogą być wynikiem przyjętej techniki obróbki lub zachodzącego procesu zużywania. Taki stan powierzchni niekoniecznie musi być dyskwalifikujący gdyż ubytki materiału lub zagłębienia mogą mieć oddziaływanie dychotomiczne. Z jednej strony, jako nieciągłość struktury stanowią one miejsca inicjacji pęknięć zmęczeniowych, z drugiej zaś – ich objętość może stanowić lokalny magazyn smaru poprawiający współpracę powierzchni.

Wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych świadczą, że stosując proponowaną metodę możliwe jest opisanie zmian jakie zaszły w strukturze geometrycznej badanych powierzchni podczas procesu zużywania, a więc przedstawić jej bieżący stan. Można tego dokonać także w przypadku gdy w strukturze geometrycznej ich powierzchni znajdują się duże zagłębienia lub występy. Przy tradycyjnych metodach oceny taka rozwinięta struktura powierzchni może powodować znaczne zniekształcenia oceny.

Można zatem przyjąć, że prezentowany sposób oceny stanowić będzie pewne uzupełnienie metod diagnostycznych stanu elementów maszyn a więc i całych obiektów technicznych.

LITERATURA

[1] Klimczak T.: Zastosowanie profilometrii skaningowej do pomiaru objętości ubytków materiału spowodowanych zużyciem. Materiały III Międzynarodowego Sympozjum INSYCONT, Kraków 1990r., s. 433-442.

[2] Musiał J.: Badania wpływu wybranych obciążeń zewnętrznych na zmiany geometrii powierzchni roboczych łożysk tocznych. Praca doktorska, Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz 2003r.

[3] Musiał J., Styp-Rekowski M.: Surface Layer Transformation under External Extortions. International Journal of APPLIED MECHANICS AND ENGINEERING. Zielona Góra 2004, pp. 123-128.

[4] Nyc R. : Możliwości zastosowania profilometrii skaningowej do interpretacji zużycia elementów maszyn. Problemy Eksploatacji nr 3/2000r, s.183-191.

[5] Nyc R., Szudrowicz M.: Zastosowanie profilometrii skaningowej do analizy śladów zużycia kulek z aparatu czterokulowego. Materiały XXIII Jesiennej Szkoły Tribologicznej, Zielona Góra 1999r., s. 171-176.

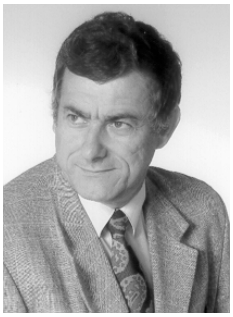
[6] Oczoś E. K., Liubimov V.: Struktura geometryczna powierzchni. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2003r.

[7] Styp-Rekowski M.: Znaczenie cech konstrukcyjnych dla trwałości skośnych łożysk kulkowych. Wydawnictwo Uczelniane ATR, seria Rozprawy, nr 103, Bydgoszcz 2001r.

[8] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wydawnictwo Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1996r.

Prof. dr hab. inż. Volodymyr LIUBIMOV – od 1996 roku profesor w Katedrze Technik Wytwarzania i Automatyzacji Politechniki Rzeszowskiej. Uprzednio pracował w Politechnice Kijowskiej. Zajmuje się problematyką technik obróbki ubytkowej, ze szczególnym uwzględnieniem metrologii warstwy wierzchniej materiałów kształtowanych różnymi metodami, w tym podczas skrawania z dużą prędkością, i obróbki powierzchni optycznych. Autor ponad 200 artykułów i 4 książek z zakresu obróbki skrawaniem oraz kształtowania warstwy wierzchniej. Członek Międzysekcyjnego Zespołu Inżynierii Powierzchni Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk.

Dr inż. Janusz MUSIAŁ – od 2004 roku adiunkt na Wydziale Mechanicznym Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się badaniem warstwy wierzchniej ze szczególnym uwzględnieniem struktury geometrycznej powierzchni elementów obiektów technicznych oraz transformacją technologicznej i eksploatacyjnej warstwy wierzchniej. Głównym obiektem tych badań są pary kinematyczne z tarciem tocznym. W 2003 roku obronił pracę doktorską dotyczącą powyższego zakresu. Jest autorem bądź współautorem ponad 25 opracowań opublikowanych w czasopismach naukowych oraz materiałach konferencyjnych.



Dr hab. inż. Michał STYP-REKOWSKI ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn PG. Od 1972 roku jest pracownikiem Wydziału Mechanicznego Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Aktualnie zatrudniony jest na stanowisku profesora nadzwyczajnego ATR jako kierownik Zakładu Obrabiarek i Robotów. Zajmuje się badaniem stanu obiektów technicznych oraz procesami zużywania tribologicznego maszyn i ich elementów, szczególnie zaś obrabiarek. W swoim dorobku ma ponad 100 publikacji z tego zakresu, zamieszczonych w źródłach krajowych i zagranicznych oraz 4 monografie a także szereg opracowań konstrukcyjnych wdrożonych w praktyce przemysłowej. Członek m.in. Polskiego Towarzystwa Tribologicznego Środowiskowego Zespołu Sekcji Podstaw Eksploatacji KBM PAN.

SYSTEMY ROZPOZNAWANIA STANU MASZYN

Stanisław NIZIŃSKI, Arkadiusz RYCHLIK
Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn Uniwersytet Warmińsko Mazurski
ul. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn, tel./fax (0-89) 523-34-63

Streszczenie

Istotnym elementem podsystemu diagnostycznego urządzeń technicznych są pokładowe i stacjonarne systemy rozpoznawania ich stanów. Niniejsza praca jest poświęcona klasyfikacji przeznaczeniu, budowie i funkcjonowaniu tych systemów.

Słowa kluczowe: diagnostyka, systemy diagnostyczne, systemy ekspertowe

IDENTIFICATION SYSTEM OF MACHINE STATE

Summary

The on-board and stationary systems identifying machines technical state are the essential elements of the technical devices diagnostic subsystem. The following work is dedicated to use classification, building and functioning of the systems.

Keywords: diagnostics, diagnostic systems, expert systems

1. WPROWADZENIE

Każdy system działania powinien posiadać zdatne obiekty techniczne. Degradacja stanu obiektów technicznych powoduje permanentnie pogarszanie się efektywności funkcjonowania systemów i może być istotną przyczyną ich upadku.

Narzędziem sterowania utrzymaniem obiektów technicznych w stanie zdatności funkcjonalnej i zadaniowej jest podsystem diagnostyczny jako element systemów utrzymania ruchu maszyn.

Istotnym elementem podsystemu diagnostycznego urządzeń technicznych są pokładowe i stacjonarne systemy rozpoznawania ich stanów. Niniejsza praca jest poświęcona klasyfikacji przeznaczeniu, budowie i funkcjonowaniu tych systemów.

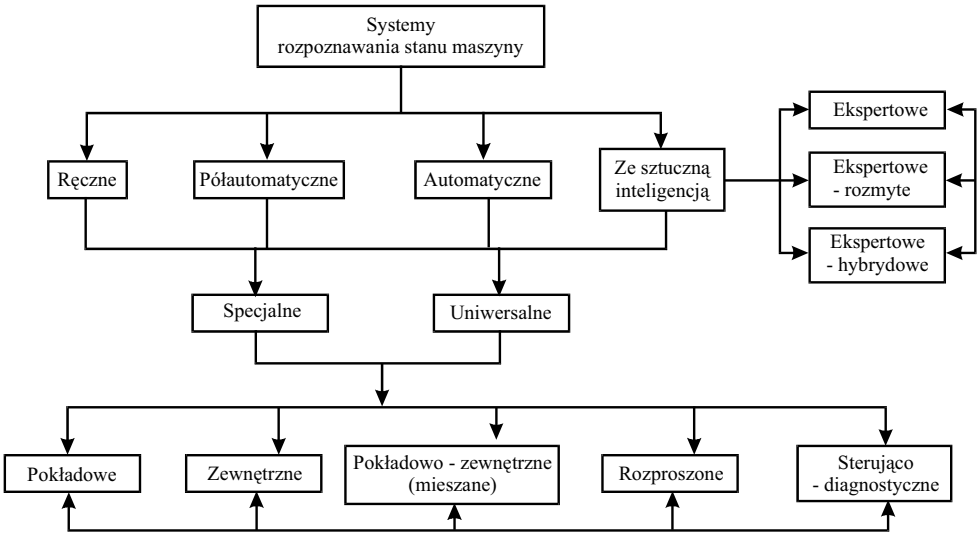
Stacjonarny system rozpoznawania stanu maszyn można zdefiniować następująco:

System rozpoznawania stanu maszyn jest zbiorem elementów pomiarowych, dopasowujących, obliczeniowych i programów, przeznaczonych do: wydobywania, zbierania, gromadzenia, przetwarzania i przedstawiani informacji o stanie obiektu technicznego.

Synonimami systemu rozpoznawani stanu maszyn są: system diagnostyczny, urządzenie diagnostyczne, środek diagnozy, środek diagnozowania.

Ze względu na stopień automatyzacji i zakresu wnioskowania o stanie obiektu technicznego, urządzenia diagnostyczne można podzielić następująco (rys. 1) [5]:

- ręczne,
- półautomatyczne,
- automatyczne,
- ze sztuczną inteligencją.



Rys. 1. Klasyfikacja systemów rozpoznawania stanu maszyn

2. WYBÓR SYSTEMÓW ROZPOZNAWANIA STANU MASZYN

System diagnostyczny pojazdu samochodowego [7] może spełniać oddzielnie lub łącznie następujące funkcje.

- kontrolę stanu;
- prognozowanie stanu;
- lokalizację uszkodzeń.

Spełnianie wymienionych funkcji jest możliwe następującymi sposobami:

1) realizacja algorytmu kontroli stanu, algorytmu prognozowania stanu obiektu, a w przypadku jego niezdatności algorytmu lokalizacji uszkodzeń odbywa się za pomocą oddzielnych urządzeń diagnostycznych. Diagnosta na podstawie zbioru wyników sprawdzeń podejmuje decyzje o stanie obiektu. W tym przypadku koszt badań diagnostycznych obiektu jest wysoki;
2) system diagnostyczny realizuje algorytm kontroli stanu, a w przypadkach koniecznych również algorytm lokalizacji uszkodzeń. Diagnosta bierze również udział w podejmowaniu decyzji o stanie obiektu. Istotne skraca się czas i koszty diagnozowania obiektu. Jednak jest wyższy koszt urządzenia diagnostycznego;
3) system diagnostyczny realizuje łącznie uprzednio wymienione trzy funkcje. Zatem do funkcji kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń dochodzi funkcja prognozowania stanu, w praktyce oznacza to wyznaczenie terminu następnego diagnozowania obiektu. Z racji spełnionych funkcji system można nazwać systemem uniwersalnym. Rola diagnosty sprowadza się do podjęcia ostatecznej decyzji o stanie obiektu i wykonaniu pewnych operacji pomocniczych. Zwiększa się wiarygodność diagnozy, zmniejsza się czas i koszt badań diagnostycznych obiektu, rosną koszty systemu.

Idealny system diagnostyczny to system pokładowy spełniający funkcje kontroli stanu, prognozowania stanu i lokalizacji uszkodzeń obiektu. W tym przypadku wzrasta koszt obiektu. W przypadku uszkodzenia elementu istnieje możliwość jego lokalizacji. Takiego rozwiązania pokładowego systemu diagnostycznego obiektu nie można wykluczyć, a w szczególności dla obiektów specjalnego przeznaczenia.

Rozwiązaniem mniej kosztownym jest pokładowy system diagnostyczny, który spełnia tylko funkcje kontroli stanu. W tym przypadku zewnętrzny system diagnostyczny może prognozować stan lub lokalizować uszkodzenia obiektu. Może to być system uniwersalny wykorzystywany do badań diagnostycznych różnych obiektów.

Innym rozwiązaniem jest zbudowanie i wykorzystanie, tylko zewnętrznego systemu diagnostycznego dołączanego do gniazd diagnostycznych obiektu na czas badań i oceny stanu lub/i prognozowania stanu. Może to być system uniwersalny lub specjalizowany z reguły wyłącznie do diagnostyki określonych obiektów.

3. OGÓLNA BUDOWA SYSTEMU ROZPOZNAWANIA STANU MASZYN

System rozpoznawania stanu maszyn można umownie opisać następującym wyrażeniem:

$$\mathbf{S_S=<O_T, S_P, S_R, S_M, S_Z, R_{TZ}>} \quad (1)$$

gdzie:

O_T – obiekt diagnozy; S_P – podsystem pomiarowy; S_R – podsystem rozpoznawani stanu; S_M – podsystem magistrali (adresy, dane, sterowanie); S_Z

– podsystem zobrazowania informacji; R_{TZ} – relacje.

Podsystem pomiarowy obejmuje (rys 2) zestaw czujników, przetworników A/C, wzmacniaczy, złącz układów dopasowujących w aspekcie zgodności informatycznej, metrologicznej i eksploatacyjnej sygnału, a także procesor sygnałów.

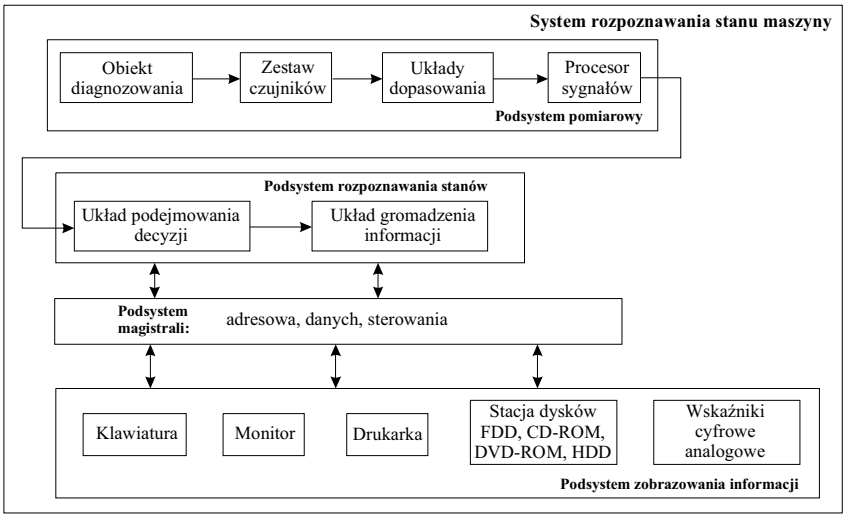
Procesor sygnałów – służy do przetwarzania sygnałów według określonych algorytmów celem uzyskania ich miar w dziedzinie amplitud czasu i częstotliwości.

Podsystem rozpoznawani stanu obejmuje układ podejmowania decyzji, która służy do ustalenia diagnozy, prognozy, genezy, czyli określenie stanu obiektu w chwili t, t+Δt i t-Δt, a także podsystem gromadzenia informacji.

Podsystem gromadzenia informacji zbiera dane dotyczące: miar sygnałów, wartości granicznych parametrów diagnostycznych i wzorów stanów i inne;

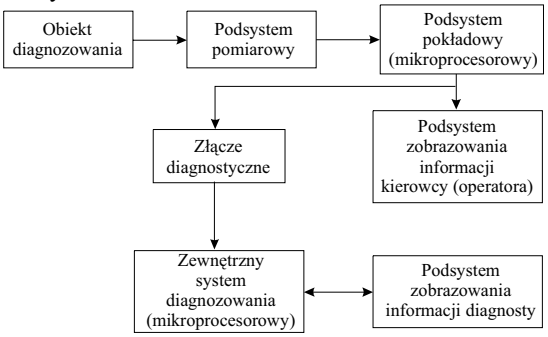
Podsystem magistrali obejmuje szynę: adresową danych i sterowania;

Podsystem zobrazowania informacji może zawierać elementy: klawiaturę, monitor, drukarkę, wskaźniki analogowe i cyfrowe.



Rys. 2. Ilustracja graficzna systemu rozpoznawania stanów maszyn w aspekcie funkcjonalnym

Na rys. 3 przedstawiono schemat pokładowo-zewnętrznego systemu rozpoznawania stanu maszyn.

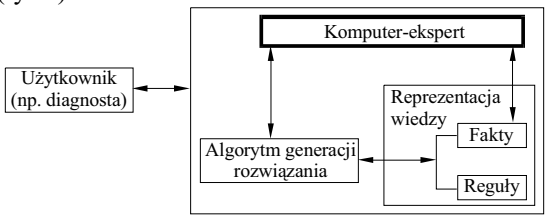


Rys. 3. Schemat pokładowego zewnętrznego systemu rozpoznawania stanu maszyn

4. SYSTEMY EKSPERTOWE

Urządzenia diagnostyczne ze sztuczną inteligencją stanowią nową generacje środków diagnozy obiektów technicznych. Podstawą funkcjonowania tych urządzeń są metody techniki systemów ekspertowych, sztucznych sieci neuronowych oraz logika rozmyta.

Komputerowy system ekspertowy (computer as on expert) rozwiązuje problemy z wykorzystaniem opisu (reprezentacji) wiedzy i procesu rozumowania (algorytmu generacji rozwiązania). System ten charakteryzują [4, 5] (rys 4):



Rys. 4. Schemat komputerowego systemu ekspertowego

5. EKSPERTOWY SYSTEM HYBRYDOWY ROZPOZNAWANIA STANU MASZYN

Ekspertowy system hybrydowy rozpoznawania stanu maszyn jest to system, który służy ustalenia stanu obiektu technicznego, z wykorzystaniem wiedzy regułowej i proceduralnej (rys. 5) [4].

Wiedza regułowa – jest to wiedza zidentyfikowana i zapisana w postaci faktu:

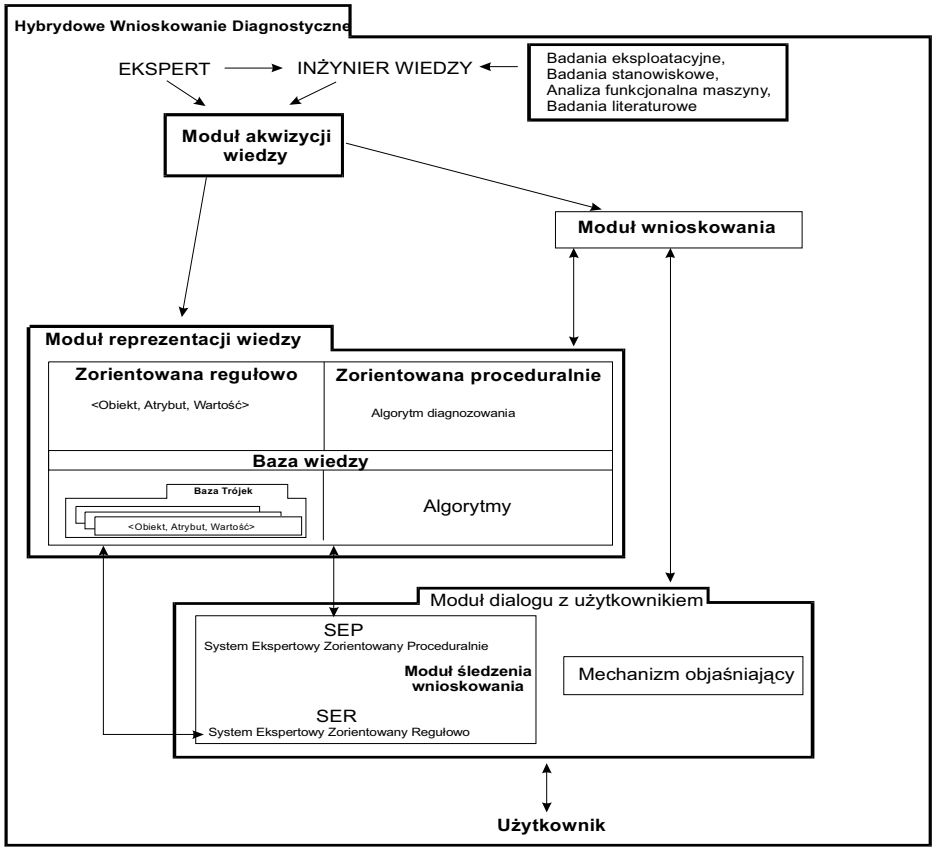
jeżeli przesłanka ***to*** konkluzja

Wiedza regułowa reprezentowana może być przez fakt w postaci trójki <O,A,W,> o następującej składni:

<Obiekt, Atrybut, Wartość>,

gdzie zidentyfikowane fakty są łączone w reguły za pomocą spójników logicznych (i, lub itp.).

Wiedza proceduralna jest zapisana w postaci modeli diagnostycznych obiektu, na przykład: analitycznych (strukturalnych, modalnych, odwrotnych) i symptomowych (regresyjnych, probabilistycznej macierzy diagnostycznej, binarnej macierzy diagnostycznej, diagnostyczno-niezawodnościowej, topologicznej) i algorytmów diagnozowania, prognozowania i generowania, czyli procedur postępowania w procesie rozpoznawania ich stanów.

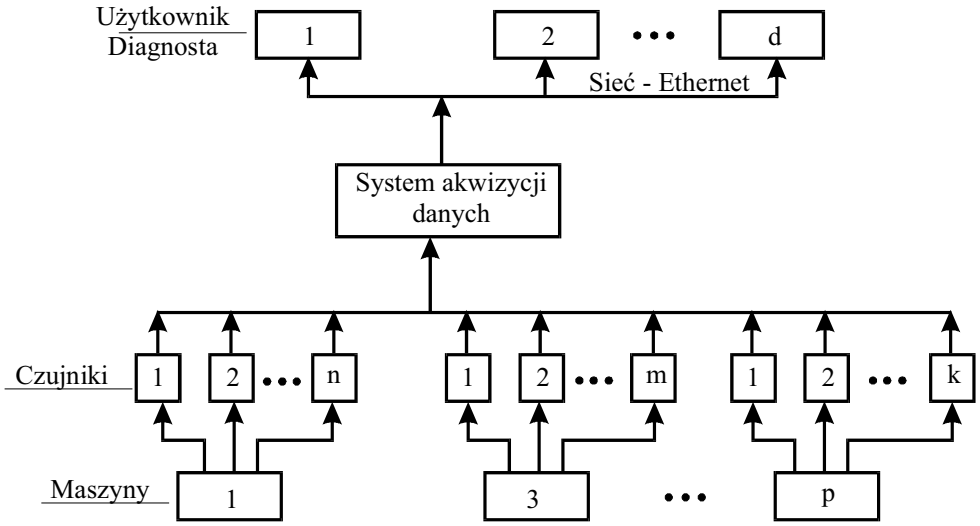


Rys. 5. Ekspertowy system hybrydowy rozpoznawania stanu maszyny [4]

6. ROZPROSZONE SYSTEMY ROZPOZNAWANIA STANU MASZYN

Rozproszony system rozpoznawania stanu maszyn określają następujące charakterystyczne cechy (rys. 6):

1) służy do ustalenia diagnozy, prognozy i genezy różnych maszyn na dużym obszarze działania przedsiębiorstwa;
2) możliwość zdalnego badania i oceny, a także sterowania stanem obiektów technicznych bez względu na to, gdzie w danej chwili znajduje się urządzenie technicznie i diagnosta;
3) możliwość korzystania z bazy wiedzy o stanie maszyn przez różnych uprawnionych użytkowników;
4) jest elementem w aspekcie źródła informacji zintegrowanego informatycznego systemu zarządzania dowolnym systemem działania, włączanym w komputerową sieć lokalną Ethernet firmy, miejską sieć komputerową i rozległą sieć komputerową (Internet).



Rys. 6. Schemat systemu zbierania informacji o stanie maszyn za pomocą systemu akwizycji danych i czujników inteligentnych (sporządzono na przykładzie [10])

System może mieć możliwość programowania wartości dopuszczalnych, wizualizację ich przekroczenia. W stacji roboczej na podstawie zarejestrowanych wielkości może być dokonywana analiza trendów sygnałów. Lokalny system diagnostyczny może pracować niezależnie od stacji roboczej. Z reguły lokalny układ diagnostyczny zawiera podukłady: kondycjonowania, wstępnego przetwarzania, rejestracji sygnałów, generowania alarmów i komunikacji.

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Reasumując pracę na temat pokładowego i stacjonarnego systemu rozpoznawania stanu maszyn należy stwierdzić, co następuje:

1) system rozpoznawania stanu maszyn może spełniać oddzielnie lub łącznie następujące funkcje: kontroli stanu, prognozowania stanu i lokalizacji uszkodzeń;
2) idealny system rozpoznawania stanu maszyn to pokładowe urządzenie diagnostyczne spełniające łącznie funkcje wymienione w punkcie 1;
3) przydatnym rozwiązaniem jest uniwersalny pokładowo-zewnętrzny system rozpoznawania stanu maszyn spełniający łącznie funkcje wymienione w punkcie 3;
4) obserwuje się wielką różnorodność w budowie i funkcjonowaniu zewnętrznych systemów rozpoznawania stanu maszyn dostosowanych do indywidualnych właściwości maszyn technologicznych, transportowych i energetycznych;
5) systemy rozpoznawania stanu maszyn ze sztuczną inteligencją stanowią nową generację środków diagnozowania. Należą do nich systemy ekspertowe, ekspertowe rozmyte i ekspertowe hybrydowe;
6) szczególnie przydatny do rozpoznawania stanu maszyn jest hybrydowy system diagnostyczny oparty na wykorzystaniu wiedzy regułowej i proceduralnej;
7) rozproszone systemy rozpoznawania stanu maszyn dają możliwości zdalnego badania i oceny stanu obiektów;
8) obserwuje się tendencje do integrowania podsystemu rozpoznawania stanu maszyn z innymi podsystemami obiektu, w jeden zintegrowany informatyczny system sterowania w aspekcie pojazdu inteligentnego;
9) zintegrowany informatyczny system sterowania scala i koordynuje pracę wszystkich elementów funkcjonalnych obiektu, a także przygotowuje syntetyczne dane potrzebne do podjęcia decyzji;

LITERATURA

1. Cholewa W.: Dynamiczne systemy doradcze w diagnostyce technicznej, Kongres Diagnostyki Technicznej, tom I ZD SPE KBM PAN, Gdańsk 1996.
2. Diagnostyka uszkodzeń maszyn roboczych, Pod redakcją R. Michalskiego. ITE, Radom 2004
3. Korbicz J.: Metody sztucznej inteligencji w diagnostyce maszyn, Kongres Diagnostyki Technicznej, tom I ZD SPE KBM PAN, Gdańsk 1996.
4. Michalski R.: Pokładowe systemy nadzoru maszyn ze sztuczna inteligencją, ART., Olsztyn 1997.
5. Mulawka J., J.: Systemy ekspertowe. WNT, Warszawa 1996.
6. Niziński S., Michalski R.: Diagnostyka obiektów technicznych. ITE, Radom 2002.

7. Niziński S.: Eksploatacja obiektów technicznych. ITE, Radom 2002.
8. Niziński S., Wierzbicki S.: Inteligentny pojazd mechaniczny a diagnostyka.
9. Niziński S., Wierzbicki S.: Zintegrowany system diagnostyczny sterowania pojazdów. Kongres Diagnostyki, Politechnika Poznańska, Poznań 2004.
10. Uhl T., Hanc A.: Rozproszone systemy monitoringu w diagnostyce maszyn. PTDT Diagnostyka, vol. 27, Olsztyn 2002.

Prof. dr hab. inż. Stanisław Niziński jest pracownikiem naukowym Katedry Budowy Eksploatacji Pojazdów i Maszyn UWM w Olsztynie oraz Wojskowego Instytutu Techniki Pancernej i Samochodowej w Sulejówku. Jest wieloletnim członkiem Sekcji Podstaw Eksploatacji KBM PAN oraz Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Diagnostyki Technicznej. Jego zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia dotyczące logistyki w systemach działania, eksploatacji i diagnostyki obiektów technicznych, szczególnie pojazdów mechanicznych. Jest autorem i współautorem wielu prac naukowych i dydaktycznych.

Mgr inż. Arkadiusz Rychlik absolwent Wydziału Mechanicznego ART w Olsztynie. Obecnie jest asystentem w Katedrze Budowy Eksploatacji Pojazdów i Maszyn na Wydziale Nauk Technicznych, UWM w Olsztynie. W pracy zajmuje się zagadnieniami eksploatacji pojazdów i maszyn.

MOŻLIWOŚCI DIAGNOZOWANIA WYBRANYCH USZKODZEŃ APARATURY WTRYSKOWEJ SILNIKA Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM W OPARCIU O PRZEBIEG WYKRESU INDYKATOROWEGO

Rafał PAWLETKO

Katedra Siłowni Okrętowych, Akademia Morska w Gdyni
ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, e-mail: pawletko@am.gdynia.pl

Streszczenie

Tematem publikacji jest określenie możliwości diagnozowania uszkodzeń aparatury wtryskowej silnika okrętowego w oparciu o przebieg wykresu indykatorowego. Algorytm wykrywania uszkodzeń został zbudowany z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych. Zastosowano sieci neuronowe perceptronowe z algorytmem wstecznej propagacji błędu. W celu weryfikacji algorytmu diagnostycznego przeprowadzono eksperyment czynny na okrętowym silniku spalinowym typu Sulzer 3Al 25/30 w zmiennych warunkach eksploatacji. Dane doświadczalne pozyskano przy pomocy indykatora elektronicznego Unitest 201.

Słowa kluczowe: diagnostyka układu wtryskowego, wykres indykatorowy, sieci neuronowe

THE USE OF INDICATION DIAGRAM TO DIESEL ENGINE FUEL INJECTION SYSTEM FAULT DIAGNOSIS

Summary

The paper presents the possibility of diagnosing the fuel injection system of a marine diesel engine basing on a indicator diagram. The algorithm of the faults detection was built with the use of neural networks. The experience data has been collected during the test at the Sulzer 3Al 25/30 engine. The indication diagram has been collected by electronic indicator Unitest 201.

Keywords: diagnosis of fuel injection system, indication diagram, neural networks.

1. WSTĘP

Do najbardziej złożonych urządzeń siłowni okrętowych należą silniki spalinowe. Ich eksploatacja związana jest z częstymi uszkodzeniami aparatury paliwowej. Stan techniczny tego układu wpływa na prawidłowy przebieg procesu spalania. Od prawidłowego przebiegu tego procesu zależą osiągi silnika oraz jego trwałość i niezawodność. Z drugiej strony stan układu wtryskowego jest bezpośrednio związany z emisją toksycznych związków spalania i wielkością zużycia paliwa. Aparatura wtryskowa należy do najbardziej zawodnych układów silników wysokoprężnych. Ponieważ uszkodzenia tego układu rzadko pociągają za sobą unieruchomienie silnika, stąd eksploatowane silniki w złym stanie technicznym aparatury wtryskowej cechują: zwiększone zużycie paliwa, zwiększona emisja gazów i cząstek toksycznych, kłopotliwe rozruchy, a także przyspieszone zużycie głównych układów tribologicznych silnika [4].

Na podstawie analizy istniejących metod diagnostycznych dotyczących aparatury paliwowej silnika spalinowego stwierdzono, że większość z nich bazuje na przebiegu ciśnienia paliwa w przewodzie wtryskowym między pompą, a wtryskiwaczem [3, 7, 9, 10]. Zasadnicza trudność zastosowania takiego rozwiązania w praktyce polega na tym, iż ciśnienie w przewodzie wtryskowym jest zwykle niedostępne w siłowni okrętowej (należy wyposażyć silnik w dodatkowe czujniki oraz aparaturę do rejestracji przebiegów ciśnienia). Zachodzi zatem konieczność opracowania algorytmu, który wykorzystywałaby inny sygnał diagnostyczny. Biorąc pod uwagę fakt, iż metoda diagnostyczna miałaby być tanią „alternatywą" dla kompleksowych systemów diagnostycznych, musi to być parametr stosunkowo łatwo dostępny pomiarowo, niosący możliwie dużą ilość informacji o stanie aparatury paliwowej.

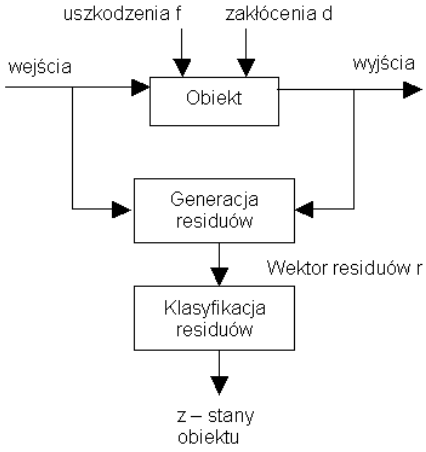
Uwzględniając przedstawione powyżej uwarunkowania, jako sygnał diagnostyczny wytypowano przebieg ciśnienia w cylindrze mierzonego za zaworem indykatorowym za pomocą indykatora elektronicznego. Liczne badania eksperymentalne dowodzą wpływu uszkodzeń układu wtryskowego na kształt wykresu indykatorowego.

2. PROPOZYCJA METODY DIAGNOTYCZNEJ

Koncepcja metody została oparta na diagnozowaniu z wykorzystaniem modelu zmian ciśnienia w cylindrze, który odwzorowywał zależność ciśnienia w cylindrze od obciążenia

silnika. Model ten służył do wyznaczenia wzorcowego przebiegu ciśnienia w cylindrze dla silnika bez uszkodzeń. Na podstawie przebiegu ciśnienia wzorcowego oraz ciśnienia zmierzonego obliczano sygnał residuum. Sygnał ten odzwierciedlał niezgodności pomiędzy nominalnymi (bez uszkodzeń), a wadliwymi stanami pracy układu wtryskowego. Przebieg sygnału residuum był następnie analizowany pod kątem oceny stanu technicznego aparatury wtryskowej.

Ogólną strukturę algorytmu diagnostycznego przedstawiono na rys. 1.



Rys.1. Ogólny schemat algorytmu diagnostycznego [6]

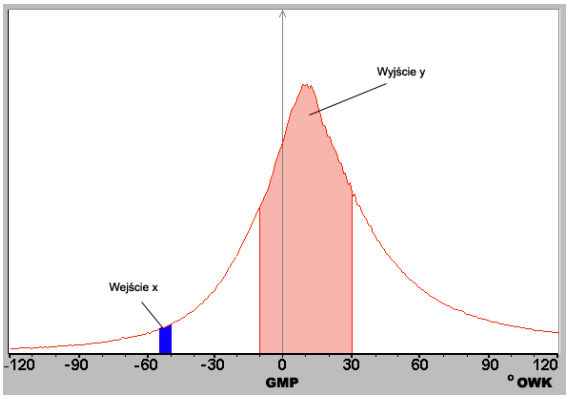
Algorytm przedstawiony na rys. 1 składał się z dwóch głównych bloków: generacji oraz klasyfikacji wartości residuów. Zadaniem bloku generacji było wyznaczenie sygnału zawierającego informacje o uszkodzeniach, poprzez porównanie sygnałów obliczonych za pomocą modelu przebiegu ciśnienia w cylindrze z wartościami zmierzonymi. Otrzymany sygnał residuum powinien być równy zeru podczas pracy układu w warunkach nominalnych, w przypadku wystąpienia uszkodzenia powinien być różny od zera. Zadaniem bloku klasyfikacji było rozpoznanie uszkodzeń aparatury wtryskowej na podstawie cech wyznaczonego wcześniej sygnału residuum.

Z powodu trudności związanych z modelowaniem analitycznym złożonych obiektów i procesów, zastosowano modelowanie z wykorzystaniem sieci neuronowych, które dzięki takim własnościom jak aproksymacja dowolnych, ciągłych, nieliniowych zależności oraz zdolność do uczenia i adaptacji, stanowią doskonałe narzędzie do modelowania obiektów nieliniowych i znane są ich liczne zastosowania w dziedzinie diagnostyki [6].

Zarówno do modelowania przebiegu ciśnienia w cylindrze, jak i klasyfikacji sygnałów residuum, wykorzystano sieci neuronowe perceptronowe z jedną warstwą ukrytą. Do nauki sieci wykorzystano algorytm wstecznej propagacji błędu.

Pierwszym etapem w opracowaniu metody diagnostycznej była budowa neuronowego modelu przebiegu ciśnienia w cylindrze. Model odwzorowywał przebieg wzorcowego ciśnienia za zaworem indykatorowym jako funkcję obciążenia silnika. Obciążenie silnika określano na podstawie przebiegu sprężania, wykorzystując zależność ciśnienia sprężania i obciążania, charakterystyczną dla silnika doładowanego turbosprężarką [13]. Wejścia modelu stanowiły ciśnienia sprężania w zakresie 55-50 ^{o}OWK przed GMP.

Ograniczono się do modelowania i analizy 40^{o} OWK (10^{o} przed GMP i 30^{o} po GMP - rys. 2).



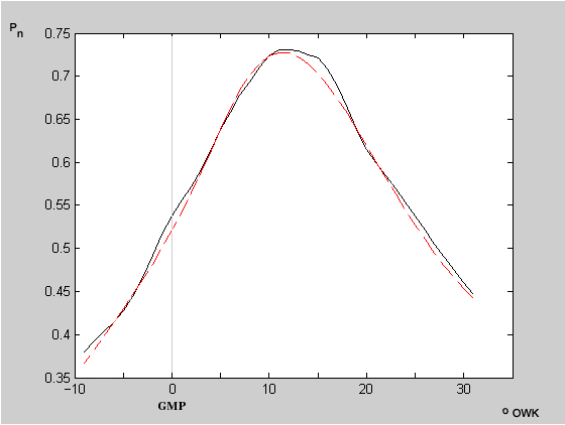
Rys. 2. Zakres wektora wejść i wyjść modelu neuronowego przebiegu spalania

Początek modelowanego przebiegu, wynikał z teoretycznego początku procesu spalania, koniec natomiast przyjęto arbitralnie. Nie stwierdzono bowiem, zwiększenia skuteczności klasyfikacji uszkodzeń w miarę zwiększania zakresu modelowanego przebiegu (ponad 40 ^{o} OWK).

Ostatnim zadaniem bloku generacji sygnału residuum, było wyznaczenie różnicy pomiędzy rzeczywistym przebiegiem ciśnienia w cylindrze, a ciśnieniem obliczonym na podstawie modelu neuronowego.
Tak pozyskany sygnał residuum był przekazany do bloku klasyfikacji residuów. Stanowiły go sieci neuronowe klasyfikujące, wytrenowane do rozróżniania poszczególnych uszkodzeń aparatury wtryskowej. W sytuacji wykrycia uszkodzenia, odpowiednia sieć powinna reagować sygnałem bliskim jedności. Na wyjściach sieci, które nie wykryły uszkodzenia, powinny pojawić się zera.
Klasyfikator składał się z banku sieci neuronowych. Każda z sieci odpowiedzialna była za rozpoznawanie innego stanu aparatury wtryskowej.

3. WYNIKI BADAŃ

Badania doświadczalne przeprowadzono na czterosuwowym silniku typu Sulzer 3Al 25/30 doładowanym turbosprężarką. Indykowanie silnika zrealizowano za pomocą indykatora elektronicznego Unitest 201, który umożliwiał pomiar ciśnienia w cylindrze co 1 ^{o} OWK. W celu częściowej eliminacji zakłóceń spowodowanych drganiami słupa gazów w kanale kurka indykatorowego, przebiegi ciśnień zostały wygładzone za pomocą wielomianów trzeciego stopnia.
Pierwszy etap badań miał na celu opracowanie modelu neuronowego przebiegu ciśnienia dla stanu nominalnego bez niesprawności. Na podstawie wykresów indykatorowych dla obciążeń w zakresie od 50 kW do 250 kW opracowano model wzorcowego przebiegu ciśnienia w cylindrze.
Model pozwalał obliczyć wzorcowy przebieg ciśnienia w zakresie 10 ^{o} OWK przed GMP do 30 ^{o} OWK po GMP. Porównanie przykładowego przebiegu ciśnienia, obliczonego na podstawie modelu neuronowego z przebiegiem rzeczywistym, przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Przykładowe przebiegi ciśnienia: linia przerywana obliczony przy użyciu modelu, linia ciągła zmierzony

W celu weryfikacji zaproponowanej metody diagnostycznej, przeprowadzono eksperyment czynny podczas, którego symulowano następujące uszkodzenia układu paliwowego:

a) spadek napięcia sprężyny wtryskiwacza
b) zużyta pompa wtryskowa
c) rozkalibrowany wtryskiwacz
d) zakoksowany wtryskiwacz

Podczas eksperymentu symulowano jeden poziom określonego uszkodzenia, następnie dokonywano pomiarów ciśnienia w cylindrze, w zakresie pracy silnika od 50 do 250 kW. Dla każdego symulowanego stanu silnika zarejestrowano 42 przebiegi ciśnienia. Doświadczenie nie uwzględniało występowania wielu uszkodzeń jednocześnie oraz różnego poziomu natężenia danego uszkodzenia.

Każda sieć w banku klasyfikatora, była trenowana w sposób następujący: zbiór przebiegów doświadczalnych był w sposób losowy dzielony na dwa podzbiory uczący i walidacyjny. Następnie trenowano sieć na podzbiorze uczącym. Proces uczenia zatrzymywano w momencie osiągnięcia minimalnego błędu w zbiorze walidacyjnym.

Tablica 1.
Symulowane uszkodzenia wraz z oznaczeniami

Symbol	Stan
K1	Stan wzorcowy bez uszkodzeń
K2	Spadek napięcia sprężyny wtryskiwacza
K3	Zużyta pompa wtryskowa
K4	Rozkalibrowany wtryskiwacz
K5	Zakoksowany wtryskiwacz

W celu weryfikacji działania poszczególnych sieci klasyfikujących, wyznaczano błędy względne oraz błędy niesłusznego zaliczenia [6].

Błąd względny określa liczbę przykładów należących do danej klasy, które zostały sklasyfikowane błędnie.

Błąd niesłusznego zaliczenia określa liczbę przykładów negatywnych dla danej klasy błędnie do niej klasyfikowanych.

Wyniki klasyfikacji przedstawiono w tabeli 2.

Tablica 2.

Wyniki klasyfikacji.

Sieć klasyfikująca	Liczba zakwalifikowań do klasy					Błąd względny	Błąd względny średni	Błąd niesłusznego zaliczenia	Błąd niesłusz. zaliczenia średni
	K1	K2	K3	K4	K5				
K2	2	**38**	4	5	2	10 %	**8 %**	6 %	**4 %**
K3	0	0	**39**	4	1	7 %		2 %	
K4	1	3	8	**37**	2	12 %		7 %	
K5	1	0	2	0	**41**	2 %		1 %	

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić:

1. Za pomocą zaproponowanej metody możliwe jest skuteczne wykrywanie (błąd względny klasyfikacji poniżej 15 %) wszystkich, rozważanych w pracy uszkodzeń aparatury wtryskowej, tj. spadku napięcia sprężyny wtryskiwacza, zużytej iglicy wtryskiwacza, rozkalibrowanego oraz zakoksowanego wtryskiwacza.

2. Przebieg wykresu indykatorowego niesie dużą ilość informacji o stanie technicznym aparatury wtryskowej. Sygnał ten jest również stosunkowo łatwo dostępny pomiarowo w warunkach siłowni okrętowej, przy pomocy indykatora elektronicznego. Może zatem stanowić podstawę algorytmów diagnozowania tego układu.
3. Dalsze prace powinny objąć badania w kierunku zastosowania innego typu sieci neuronowych, szczególnie na etapie klasyfikacji uszkodzeń oraz próbę wykrywania kilku uszkodzeń występujących w tym samym czasie.

LITERATURA

[1] Ambrozik A., Piasta Z.: Ocena pracy silnika spalinowego w oparciu o uogólnioną użyteczność jest wskaźników, Silniki Spalinowe Nr 4/1988.
[2] Hebda M., Niziński S., Pelc H.: Podstawy diagnostyki pojazdów samochodowych. WKŁ, Warszawa 1980.
[3] Jankowski M., Kwidzyński M.: Zastosowanie sieci neuronowej do automatycznej klasyfikacji stanu aparatury wtryskowej, Kongres Diagnostyki Technicznej. Gdańsk 1996.
[4] Jankowski M.: Ocena wrażliwości diagnostycznej sygnału pulsacji ciśnienia aparatury wtryskowej, Rozprawa doktorska, Akademia Techniczno Rolnicza w Bydgoszczy 1997.
[5] Kluj S.: Diagnostyka urządzeń okrętowych, Wydawnictwo WSM, Gdynia 1982.
[6] Korbicz J., Kościelny J, Kowalczuk Z., Cholewa W.: Diagnostyka procesów, WNT Warszawa 2002.
[7] Lotko W.: Diagnostyka aparatury wtryskowej, WSI Radom, Mechanika 20/1991.
[8] Lotko W.: Diagnozowanie aparatury wtryskowej na podstawie zmian ciśnienia w przewodach wtryskowych, Silniki Spalinowe nr 3/1987.
[9] Lotko W.: Współczesne metody diagnozowania silników spalinowych o zapłonie samoczynnym, Kongres Diagnostyki Technicznej, Gdańsk 1996.
[10] Lus T.: Badania diagnostyczne układów paliwowych i układów rozrządu silników okrętowych, Kongres Diagnostyki Technicznej, Gdańsk 1996.
[11] Sobieszczański M.: Bieżąca kontrola diagnostyczna aparatury wtryskowej silnika okrętowego, Silniki Spalinowe nr 1/1984.
[12] Bielawski P.: Możliwości rozwoju metod oceny stanu silników spalinowych, IV Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna Diagnostyka Procesów Przemysłowych, Kazimierz Dolny 1999.
[13] Piotrowski I., Witkowski K.: Okrętowe Silniki Spalinowe, Trademar Gdynia 1996.

Mgr inż. Rafał Pawletko jest asystentem w Katedrze Siłowni Okrętowych, Wydziału Mechanicznego Akademii Morskiej w Gdyni. Zajmuje się diagnostyką okrętowych silników spalinowych.

BADANIA DIAGNOSTYCZNE MASZYN PAPIERNICZYCH

Rolisław ROGUT, Włodzimierz KAWKA

Instytut Papiernictwa i Poligrafii Politechniki Łódzkiej
93-005 Łódź, ul. Wólczańska 223, fax 42 631 38 01, e-mail: rrogut@p.lodz.pl

Streszczenie

Przedstawiono metody i techniki pomiaru pulsacji masy w układzie doprowadzania masy do wlewu, parametrów mikroturbulencji masy we wlewie, zawartości powietrza w masie papierniczej, stężenia (suchości) formowanej wstęgi papieru wzdłuż części sitowej, profilu wilgotności filców prasowych i ich przepuszczalności.

Przedstawiono również przykładowe wyniki pomiarów wykonanych dla kilku różnych maszyn papierniczych wraz z ich interpretacją. Wyniki takich pomiarów dostarczają niezbędnych informacji dla usprawnienia pracy maszyn, oszczędności energii i poprawy jakości papieru.

Słowa kluczowe: badania, maszyna papiernicza, pulsacje, odwadnianie

DIAGNOSTIC INVESTIGATIONS OF PAPER MACHINES

Summary

In the paper are presented the techniques for measuring pressure variations in the stock approach system, microturbulence parameters within the headbox, air content in the paper stock, consistency (dryness) of the paper web being formed along wire part, moisture profile of press felts and their pearmeability.

Some results of such measurements made on a few diffrent paper machines are presented adequately. The analysis of these results supply the information required for improving the machine operation, energy saving and upgrading paper quality.

Keywords: investigation, paper machine, pulsations, dewatering

1. WSTĘP

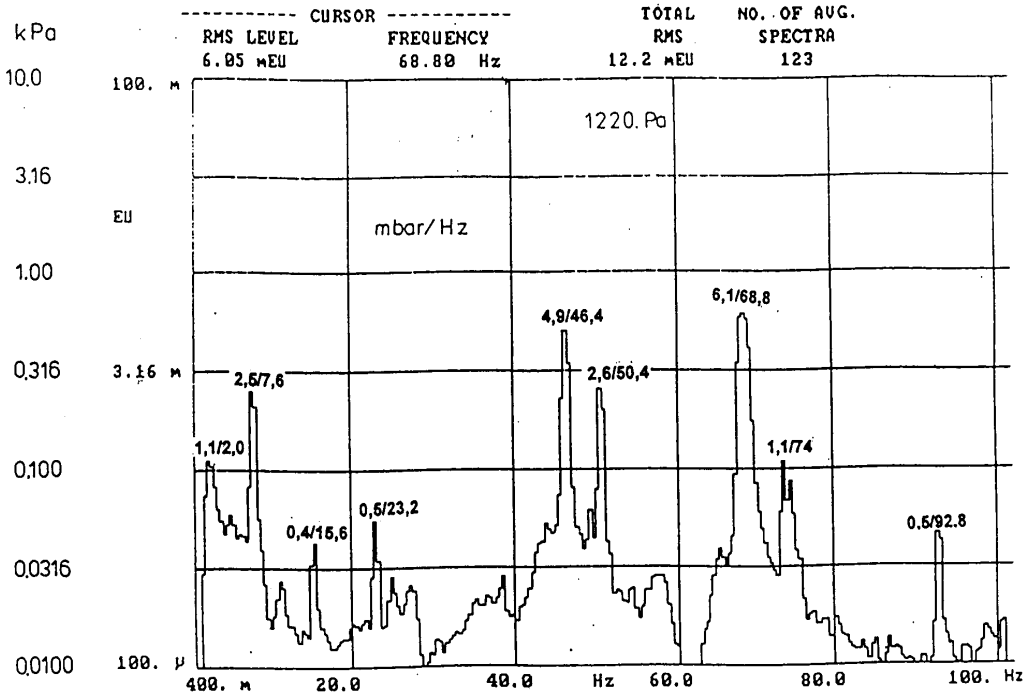
Badania diagnostyczne maszyn papierniczych stanowią ważne ogniwo w procesie ich prawidłowej eksploatacji. Wyniki badań dostarczają informacji niezbędnych do usprawnienia pracy maszyn i polepszenia jakości papieru. Analiza tych wyników stanowi podstawę do podejmowania wielu ważnych decyzji np. o potrzebie zmiany technologii lub modernizacji maszyny. Pomiary parametrów pracy są wykonywane również pod kątem zmiany lub rozszerzenia profilu produkcji na maszynie papierniczej. Konieczne są wreszcie w celu optymalizacji parametrów pracy maszyny.

2. UKŁAD DOPROWADZANIA MASY DO WLEWU I WLEW

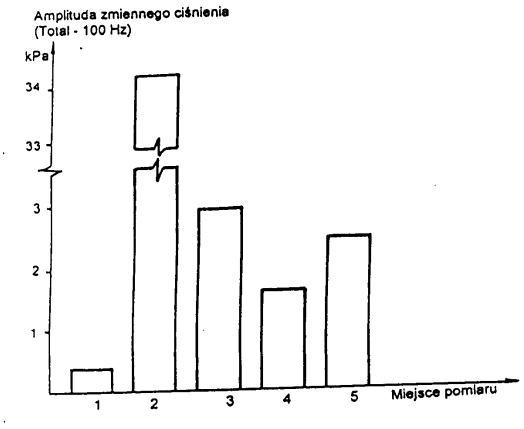
Wlewy hydrauliczne są wrażliwe na wahania ciśnienia wywołane w układzie doprowadzania masy, które mogą spowodować znaczne i trwałe wahania gramatury w kierunku wzdłużnym. W celu zidentyfikowania źródła zakłóceń lub ocenienia skuteczności zastosowanego systemu tłumienia należy przeprowadzić pomiary pulsacji masy w kilku miejscach w układzie doprowadzania masy do wlewu, np.:

- na rurociągu masy gęstej z kadki stałego poziomu do pompy mieszalnej,
- na rurociągu pierwszej wody podsitowej przed pompą,
- na rurociągu między pompą a hydrocyklonami,
- między drugą pompą a sortownikami,
- po sortownikach przed tłumikiem,
- po tłumiku przed wlewem,
- we wlewie.

Do tego typu pomiarów stosujemy zestaw pomiarowy składający się z czujników ciśnienia typu 601A f-my Kistler i analizatora drgań typu 2515 f-my Bruel & Kjaer. Wyniki pomiarów pulsacji przedstawiamy następnie na wykresach zmiennego ciśnienia w funkcji częstości. Przykładowy wykres w paśmie do 100 Hz z pomiarów wykonanych za pompą mieszalną w maszynie A przedstawiony jest na rys. 1 natomiast na rys. 2 przedstawiona jest amplituda zmiennego ciśnienia w pięciu punktach układu doprowadzania masy w maszynie A. Analiza tych wykresów łącznie z wykresem gramatury w kierunku wzdłużnym pozwala na zidentyfikowanie zakłóceń mających główny wpływ na wahania gramatury w tym kierunku. Za pomocą takich pomiarów możemy również ocenić działanie wlewu (pod względem wytwarzania odpowiedniej mikroturbulencji, niezbędnej dla właściwej deflokulacji masy).



Rys. 1. Charakterystyka widmowa pulsacji ciśnienia w punkcie pomiarowym 2-maszyna A



Rys. 2. Zmiana sumarycznej amplitudy zmiennego ciśnienia masy w różnych punktach układu doprowadzania masy do wlewu-maszyna A
1-rurociąg wody obrotowej przed pompą mieszalną, 2-za pompą mieszalną, 3-między hydrocyklonami a sortownikiem, 4-przed wyrównywaczem strumienia, 5-we wlewie

Wyniki pomiarów parametrów przepływu burzliwego we wlewie, przed szczeliną wypływową, przedstawiane są również w formie charakterystyki widmowej pulsacji ciśnienia (rys.3). Na wykresach tych oprócz skali częstotliwości, nanoszona jest również skala długości fal pulsacji ciśnienia. Długość fal pulsacji ciśnienia oblicza się z zależności:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

gdzie:
v – prędkość średnia masy w miejscu zamocowania czujnika, m/s;
f – częstotliwość, Hz.

W przypadku przedstawionym na rys.3 obszar korzystnych, ze względu na deflokulację mikroturbulencji występował w zakresie długości fal ok. 0,05 m.

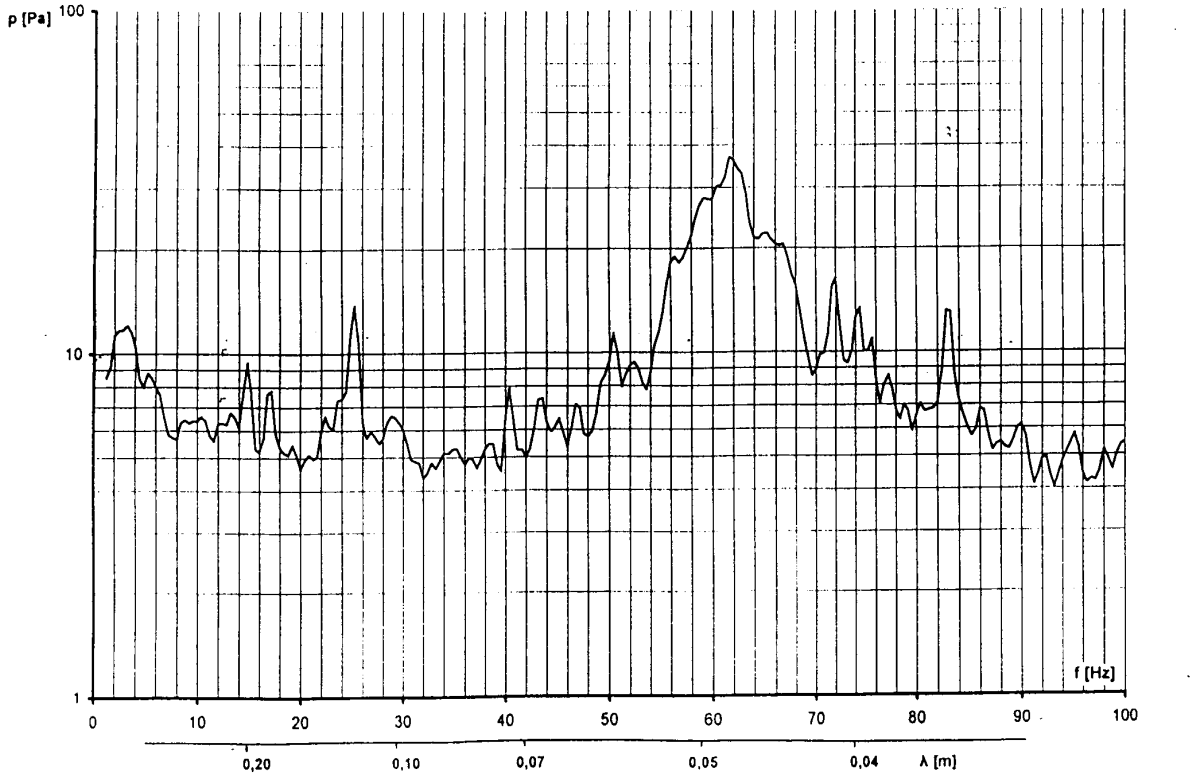
Również nadmierna zawartość powietrza w masie papierniczej może być przyczyną wielu zaburzeń technologicznych w procesie wytwarzania papieru, a także wpływa na jakość gotowego wytworu. Do pomiaru zawartości powietrza w masie stosowane są metody wagowe, optyczne, destylacyjne, ekspansyjne itp. Wszystkie te metody polegają na oznaczaniu zawartości powietrza w pobranych próbkach masy. Najszybciej można oznaczyć zawartość powietrza metodą ekspansyjną. My stosujemy do tego celu aparat Celleco Gas Tester – 3, który pozwala oznaczyć zawartość powietrza w czasie ok. 5 min. Przykładowe wyniki pomiarów zawartości powietrza w masie przed maszyną B przedstawione są na rys. 4.

3. CZĘŚĆ SITOWA

W celu dokonania analizy przebiegu odwadniania w części sitowej należy wykonać wykres „krzywej odwadniania". Do tego potrzebne są wyniki

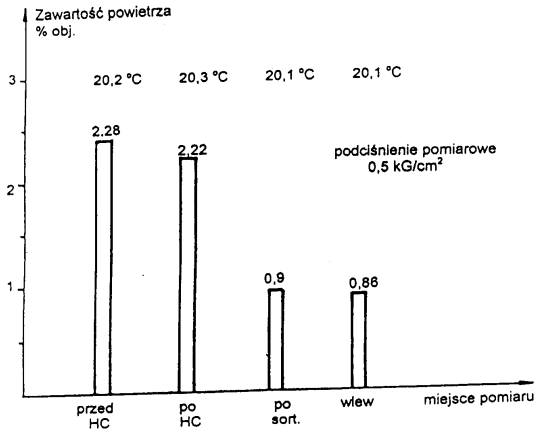
pomiarów stężenia (suchości) wzdłuż stołu sitowego. Pomiary te można wykonać za pomocą:

1. „Zdmuchiwania" próbek z różnych miejsc sita przy użyciu sprężonego powietrza.
2. Ultradźwiękowego miernika odwadniania np. f-my Unaform. Aparat ten umożliwia nam pomiar odwodnienia od stołu sitowego do linii suchej bez powodowania zrywów. Mierzy on właściwie grubość warstwy zawiesiny znajdującej się na sicie.
3. Miernika działającego na zasadzie tłumienia mikrofal. Mierzy on również grubość warstwy zawiesiny na sicie.
4. Miernika wykorzystującego promienie gamma do pomiaru gęstości zawiesiny (wstęgi). Można go stosować do pomiarów w całej części sitowej.



Rys.3. Wyniki pomiarów pulsacji ciśnienia we wlewie - maszyna B

Przykładowa krzywa odwadniania dla maszyny C przedstawiona jest na rys. 5. W tym przypadku przebieg odwadniania był nieprawidłowy, zbyt duży na początku zespołu rejestrowego, a za mały w dalszej części tego zespołu. Natomiast mokra skrzynka ssąca odprowadzała bardzo dużą ilość wody, co było spowodowane zbyt małą suchością wstęgi przed tą skrzynką. Również przebieg odwadniania w zespole skrzynek ssących był bardzo nieprawidłowy. Odwadnianie praktycznie zachodziło na pierwszych 5-6 skrzynkach a pozostałe powodowały jedynie niepotrzebne obciążenie układu próżniowego i duży opór napędu sita. Ten nieprawidłowy przebieg odwadniania spowodowany był niewłaściwym stopniowaniem podciśnienia w kolejnych skrzynkach ssących.

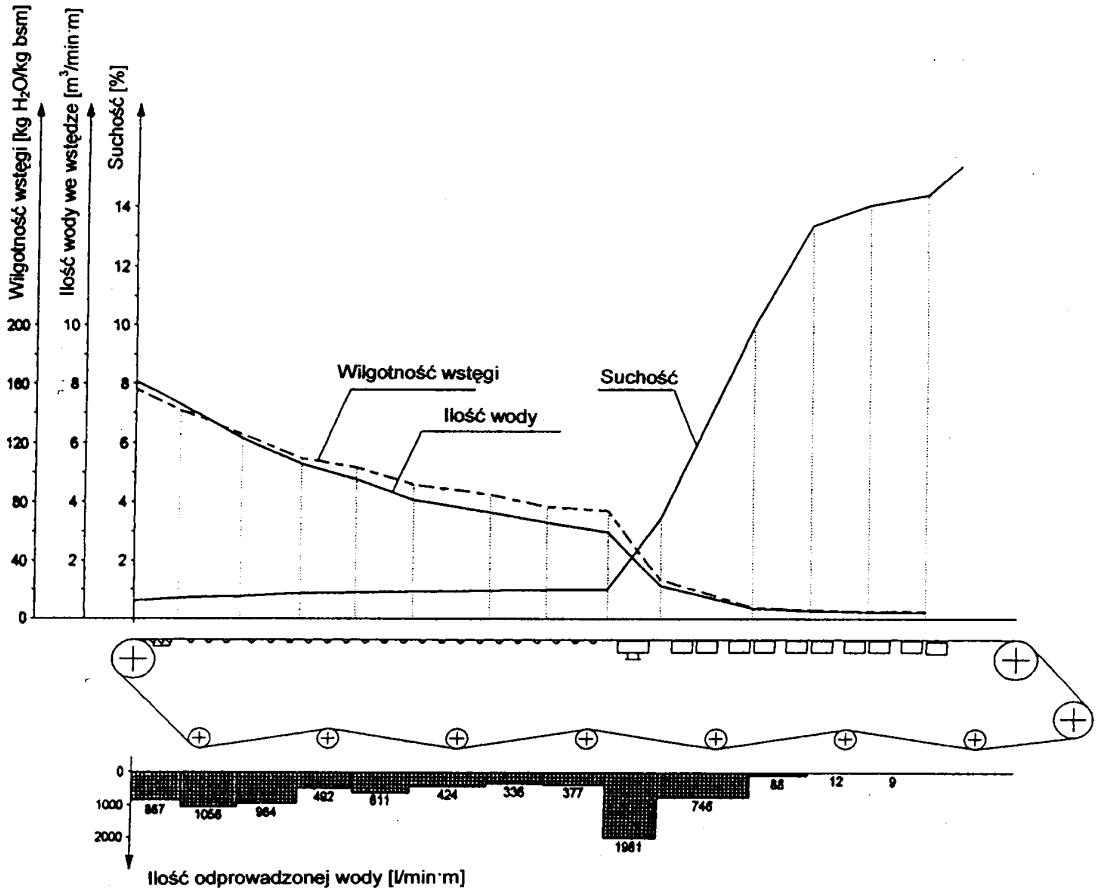


Rys. 4. Średnie wyniki pomiarów zawartości powietrza w masie w układzie doprowadzania i we wlewie

4. CZĘŚĆ PRASOWA

Na efektywność odwadniania wstęgi papieru w części prasowej wpływa wiele parametrów, wśród najważniejszych z nich można wymienić [1]:

- impuls prasowania (iloczyn ciśnienia i czasu docisku,
- rodzaj, ilość i stan filców,
- temperatura wstęgi,
- wtórne nawilżanie.



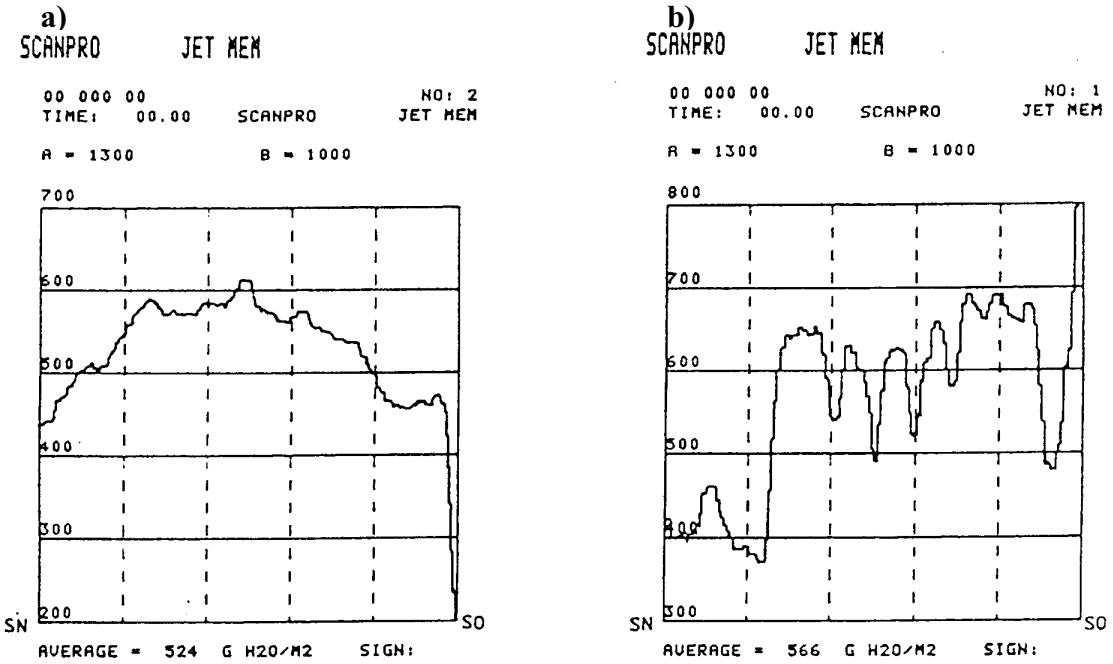
Rys. 5. Krzywe odwadniania wzdłuż stołu sitowego – maszyna C

Suchość wstęgi po prasie rośnie oczywiście wraz ze wzrastającym czasem prasowania i wzrastającym ciśnieniem prasowania, czyli ze wzrostem impulsu prasowania. Bardzo duży wpływ na suchość wstęgi po prasowaniu wywiera rodzaj i stan filców prasowych (ich wilgotność i przepuszczalność). Do oceny filców prasowych można wykorzystać następujące pomiary:

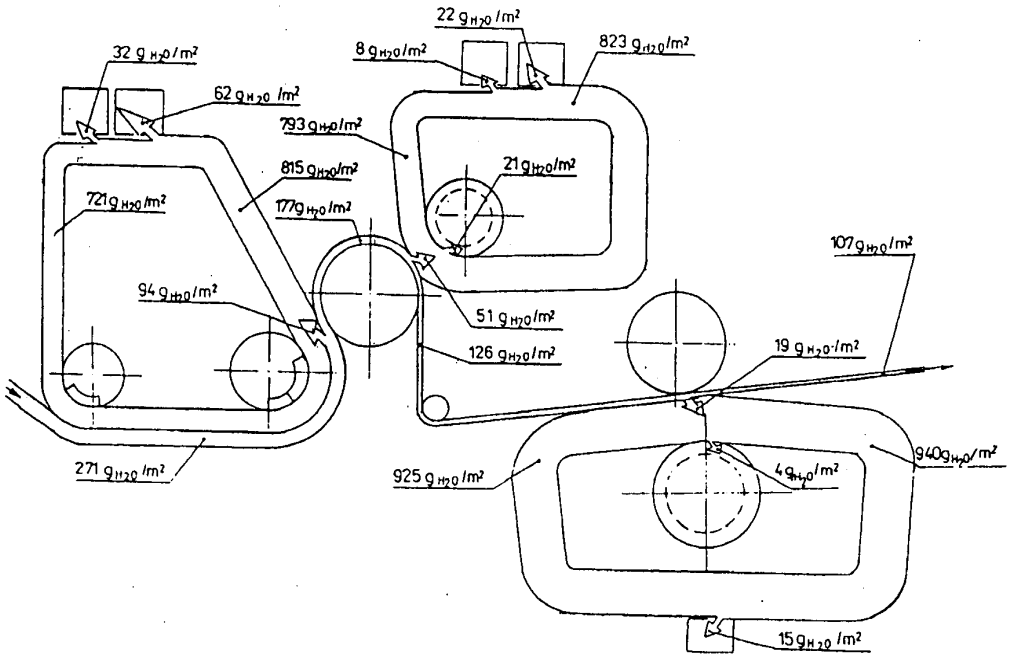
- wilgotności filców,
- podciśnienia w ssawkach,
- przepływu powietrza przez ssawki,
- przepuszczalności filców przy wykorzystaniu przepływu powietrza,
- przepuszczalności filców przy wykorzystaniu przepływu wody.

Do pomiaru wilgotności filców stosowany jest od wielu lat aparat Scanpro. W aparacie tym stosowane są mikrofale do oznaczania zawartości wody w filcu. Oprócz wilgotności średniej filców bardzo ważny jest profil rozkładu wilgotności filców na szerokości maszyny. Przesuwając głowicę tego aparatu na szerokości filcu możemy otrzymać rozkład zawartości (czy wilgotności w %) wody w kierunku poprzecznym maszyny. Natomiast trzymając głowicę w jednym miejscu możemy zmierzyć profil wilgotności w kierunku wzdłużnym. Mierząc wilgotność filcu w różnych miejscach jego pętli możemy również wykonać bilans wodny prasy. Przykłady profili poprzecznych wilgotności filców przedstawione zostały na rys. 6. W przykładzie przedstawionym na rys. 6a wilgotność filcu w środku szerokości jest dużo większa niż na brzegach. Oznacza to, że docisk na tej prasie jest nieodpowiedni w stosunku do nadanej bombiastości. Natomiast w przykładzie z rys. 6b oprócz dużej nierównomierności wilgotności na szerokości filcu, wykazuje on większą wilgotność po stronie obsługi niż po stronie napędu. Wskazuje to na nierównomierny docisk prasy po SO i SN. Na rys. 7 przedstawiony jest przykładowy bilans wodny całej części prasowej wykonany na podstawie pomiarów aparatem Scanpro. Z bilansu tego wynika, że III prasa

odprowadza zbyt mało wody ze wstęgi papieru a ponadto skuteczność działania ssawek, zwłaszcza II i III prasy, jest niezadowalająca. Ważnym parametrem filców jest ich przepuszczalność. Od przepuszczalności filców zależy opór przepływu wody ze wstęgi i dalej z filcu do przestrzeni magazynowych walców prasowych. Duży wpływ na profil odwadniania wstęgi papieru wywiera również równomierność przepuszczalności na szerokości filcu. Informacji o zmianach przepuszczalności filców w trakcie ich eksploatacji mogą dostarczyć systematyczne odczyty podciśnienia w ssawkach lub pomiary przepływu powietrza przez ssawki.



Rys. 6. Profil wilgotności filcu na szerokości
a) – maszyna D, b) – maszyna E

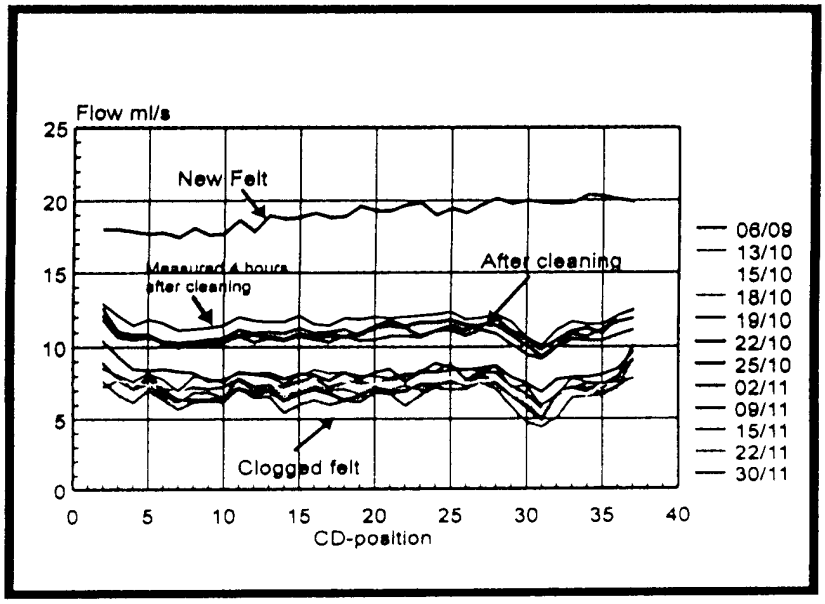


Rys. 8. Bilans wodny części prasowej

Do pomiarów przepuszczalności filców przy wykorzystaniu przepływu powietrza jest stosowany aparat Huyck-Smyth. Działanie tego aparatu polega na pomiarze spadku ciśnienia przy przepływie powietrza przez badany filc – przy określonej wartości podłączonego podciśnienia. Na podstawie tych pomiarów można określić współczynnik przepuszczalności filcu z poniższej zależności:

$$k_p = \frac{p_z - p_f}{p_z}$$

gdzie:
p_z – podciśnienie przy całkowicie zamkniętej pokrywie głowicy,
p_f – podciśnienie przy przepływie powietrza przez filc.



Rys. 8. Profile przepuszczalności filcu na szerokości[3]

Można np. śledzić zmiany tego współczynnika w czasie pracy filcu, od założenia nowego do czasu gdy na skutek zużycia i zanieczyszczenia trzeba go wymienić.

Do pomiaru przepuszczalności filców, przy wykorzystaniu przepływu wody, stosowany jest aparat FeltPerm[3]. Aparat ten mierzy ilość wody przepływającej przez filc (wypływającej z dyszy aparatu) w jednostce czasu. Za pomocą tego aparatu możemy również wykonać pomiar profilu przepuszczalności filcu na szerokości. Przykład takiego pomiaru jest przedstawiony na rys. 8.

Pomiary tym aparatem można np. przeprowadzić przed i po czyszczeniu filcu aby ocenić skuteczność czyszczenia i stan filcu.

Pomiary przepuszczalności filców prasowych są szczególnie pomocne do oceny skuteczności zastosowanego sposobu czyszczenia filców i wykrywania różnych usterek w pracy maszyny.

LITERATURA

[1] Kawka W., Ingielewicz H., Rogut R.: „Badania maszyn papierniczych jako droga do polepszenia jakości papieru i usprawnienia pracy maszyn", Przegl. Papiern.,50,1,23-28 (1994).
[2] Baker G.L., Eisert E.C.: „The Art. and Science of Press Felt Cleaning and Conditioning", Tappi J.,82,7,48-54(1999).
[3] Paper Testing and Process Optimization. Katalog 1995 i 2000 f-my Lorentzen a. Wettre.

Dr inż. Rolisław Rogut jest adiunktem w Instytucie Papiernictwa i Poligrafii Politechniki Łódzkiej. Zajmuje się teorią, budową i eksploatacją maszyn papierniczych.

Prof. dr hab. Włodzimierz Kawka kieruje Z-dem Maszyn Papierniczych i Płytowych w Instytucie Papiernictwa i Poligrafii PŁ. Jest autorem kilku podręczników i ponad 180 artykułów.

BUDOWA HYBRYDOWEGO SYSTEMU EKSPERTOWEGO WSPOMAGAJĄCEGO DIAGNOZOWANIE KOMBAJNU DO ZBIORU ZBÓŻ BIZON Z058

Arkadiusz RYCHLIK, Sławomir WIERZBICKI

Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, Wydział Nauk Technicznych,
Uniwersytet Warmińsko Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn,
tel. (0-89) 523-37-51, e-mail: rychter@uwm.edu.pl, slawekw@uwm.edu.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono budowę Hybrydowego Systemu Ekspertowego wspomagającego diagnozowanie kombajnu do zbóż. Zaprezentowano istotę diagnozowania, strukturę, cechy oraz funkcje programu. Opisany poniżej Hybrydowy System Ekspertowy jest statycznym systemem ekspertowym dla wiedzy regułowej oraz dynamicznym dla wiedzy proceduralnej. Zadaniem tego systemu jest identyfikacja stanów niezdatności maszyny samojezdnej z wykorzystaniem różnych środków reprezentacji wiedzy (w postaci reguł i algorytmów diagnozowania) oraz metod jej identyfikacji.

Słowa kluczowe: hybrydowy system ekspertowy, analiza obiektowa, wiedza regułowa i proceduralna

BUILDING OF THE HYBRYD EXPERT SYSTEM
AIDING DIAGNOSTICS OF THE HARVESTER BIZON Z058

Summary

Building of the hybrid expert system aiding diagnostics of the harvester Z058 was presented in the paper. The essence of diagnosing, software structure and system features were described. The hybrid expert system, presented below, is a static expert system for rule-based knowledge and a dynamic one for procedure-based knowledge. The purpose of this system is identification of non-operational states of self-propelled machines by use of different knowledge representation means (in the form of the rules and diagnosing algorithms) and their identification methods.

Keywords: hybrid expert system, object analysis, rule based and procedure-based knowledge

1. WPROWADZENIE

Współczesne maszyny rolnicze to głównie maszyny samojezdne posiadające złożone układy mechaniczne, zarówno pod względem konstrukcyjnym jak i funkcjonalnym. Przykładowo, w współczesnym kombajnie do zbioru zbóż czy ciągniku rolniczym, można wyróżnić elementy mechaniczne, elektryczne, elektroniczne, hydrauliczne, pneumatyczne, a cena takiej maszyny jest kilkakrotnie większa od ceny nowoczesnego samochodu.

Praktycznie wszystkie współcześnie produkowane samojezdne maszyny rolnicze posiadają wbudowane pokładowe lub pokładowo-zewnętrzne systemy rozpoznawania i kontroli stanu technicznego. Systemy te są zalecone przez normy bezpieczeństwa i zostały wprowadzone przez producentów początkowo w celu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń, a obecnie także w celu prognozowania stanu.

Starsze, powszechnie użytkowane w kraju maszyny rolnicze nie posiadają tego typu systemów. Wdrożenie ich w tych maszynach jest utrudnione ze względów konstrukcyjnych, oraz braku pełnej i precyzyjnej wiedzy o sygnałach i relacjach diagnostycznych lub jest nieopłacalne.

Systemem łączącym dwie generacje maszyn z punktu widzenia diagnostyki, może być system diagnozowania wspomagany metodami sztucznej inteligencji w postaci hybrydowych systemów ekspertowych, w których do procesu wnioskowania wykorzystuje się logikę formalną, a wiedza jest reprezentowana w postaci symbolicznej lub niesymbolicznej np.: za pomocą sieci neuronowych, algorytmów genetycznych lub określonych zindywidualizowanych procedur wnioskowania o stanie obiektu.

Istotnym elementem inteligentnego systemu diagnostycznego jest proces wnioskowania hybrydowego, wykorzystujący jednocześnie wiedzę regułową i proceduralną [2], przy czym system ten powinien umożliwiać, także niezależne funkcjonowanie różnych metod reprezentacji wiedzy.

Hybrydowy System Ekspertowy (HSE) w niniejszej pracy określono jako system łączący w jedną logiczną całość różne środki reprezentacji wiedzy, tzn.: wiedzę regułową i wiedzę proceduralną w wyniku czego powstaje nowa metoda reprezentacji wiedzy.

Wiedza regułowa to wiedza deklaratywna pozyskana w postaci faktów, w wyniku badań eksperymentalnych, którą zapisuje się w postaci Macierzy Wiedzy Diagnostycznej.

Pod pojęciem wiedzy proceduralnej rozumie się wiedzę, uzyskaną od ekspertów metodą przetwarzania, dyskusji panelowych lub metodą delficką, którą następnie zapisano w postaci algorytmów diagnozowania.

2. STRUKTURA HYBRYDOWEGO SYSTEMU EKSPERTOWEGO

Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy Hybrydowego Systemu Ekspertowego. Istotną cechą tego systemu jest możliwość przetwarzania symbolicznego i niesymbolicznego danych, co umożliwia diagnozowanie z wykorzystaniem relacji oraz procedur. Bazę wiedzy sterowaną i kontrolowaną przez moduł śledząco – wnioskujący podzielono na następujące bazy:

- wiedzę symboliczną, reprezentowaną przez wiedzę regułową zorientowaną na obiektową identyfikację stanu;
- wiedzę niesymboliczną, nazywaną wiedzą proceduralną, funkcjonującą w postaci algorytmów diagnozowania określonych układów kombajnu.

Proces wymiany informacji może także występować pomiędzy bazą wiedzy, a bazą danych diagnostycznych. Proces ten może być realizowany poprzez inżyniera wiedzy w celu porządkowania i klasyfikacji pozyskanej wiedzy.

W bazie danych prezentowanego systemu można gromadzić następujące informacje:

- notatki – w postaci wolnych uwag dołączanych do obiektów systemu;
- relacje – wprowadzane przez obsługę, przypisane konkretnemu obiektowi zidentyfikowanemu w powłoce systemu;
- dane wynikowe – tworzone na podstawie uzyskanych przez program danych stałych lub zmiennych (np. wyniki pomiarów, wyniki analiz itp.);
- dane n/n – wyniki niezidentyfikowanych przypadków (stanów) zarejestrowanych przez system.

W wyniku funkcjonowania systemu użycie określonej metody reprezentacji wiedzy zależy od użytkownika lub w zależności od sytuacji problemowej jest określone przez system.

3. ISTOTA METODY DIAGNOZOWANIA KOMBAJNU DO ZBIORU ZBÓŻ Z WYKORZYSTANIEM HYBRYDOWEGO SYSTEMU EKSPERTOWEGO

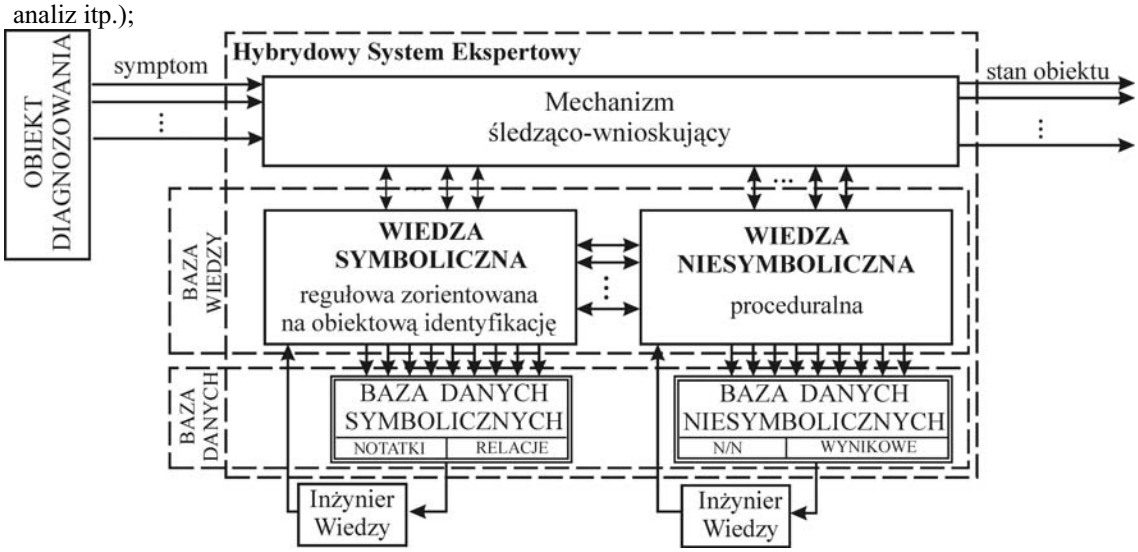
Podstawową funkcją HSE jest identyfikacja stanów niezdatności kombajnu Bizon Z058 na podstawie zaobserwowanych symptomów, zdefiniowanych w bazie wiedzy.

Istotą HSE jest identyfikacja niezdatności z wykorzystaniem różnych środków i metod reprezentacji wiedzy. HSE jest systemem o architekturze hybrydowej tj. łączący w sobie różne metody rozwiązywania problemów i reprezentacji wiedzy. Ważną właściwością HSE jest między innymi wbudowany w pełni zintegrowany analizator przebiegów czasowych ciśnienia. Inną istotną cechą pakietu HSE jest jego struktura tablicowa bazy wiedzy, co umożliwiło podzielenie dużej bazy wiedzy na mniejsze moduły – zorientowane tematycznie zgodnie z zasadami analizy obiektowej [1, 3].

Prezentowany system charakteryzuje się następującymi cechami:

1. W zakresie struktury systemu:

- elementy architektury tablicowej;
- elementy analizy obiektowej;
- pełna integracja w ramach systemu HSE procedur diagnozowania (Diag_proc i Diag_reg) oraz procedury analizy sygnału diagnostycznego (Oscylogram);
- narzędzia do pozyskiwania, gromadzenia i przeglądania wiedzy diagnostycznej;
- rozdzielenie baz wiedzy diagnostycznej od baz danych.



Rys. 1. Schemat blokowy Hybrydowego Systemu Ekspertowego

2. W zakresie reprezentacji wiedzy:
- deklaratywna reprezentacja wiedzy w formie reguł i faktów;
- proceduralna (algorytmiczna) reprezentacja wiedzy w formie programów komputerowych;
- pełne rozdzielenie wiedzy diagnostycznej od procedur sterownia;
- wiedza diagnostyczna zawarta jest w kilku bazach wiedzy;

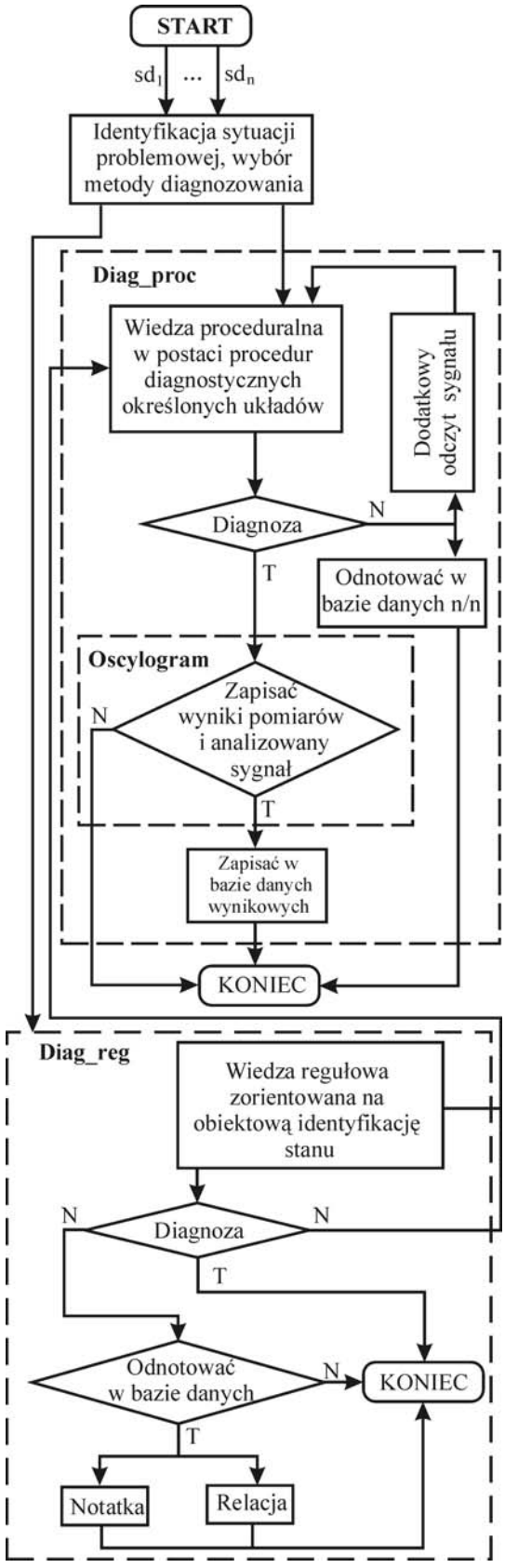
3. W zakresie działania systemu:
- statyczny dla wiedzy regułowej;
- dynamiczny dla wiedzy proceduralnej.

Na rys. 2 przedstawiono algorytm diagnozowania kombajnu do zbioru zbóż z wykorzystaniem HSE. Zgodnie z prezentowanym algorytmem w wyniku zidentyfikowanych symptomów diagnostycznych zostaje określona sytuacja problemowa. Ten etap procesu diagnozowania odbywa się na poziomie program – diagnosta i polega na sterowaniu obiegiem informacji.

W zależności od przyjętej metody diagnozowania dalszy proces odbywa się następująco:

1. Diagnozowanie regułowe – proces diagnozowania odbywa się zgodnie z algorytmem diagnozowania opracowanym na podstawie Macierzy Wiedzy Diagnostycznej z uwzględnieniem analizy obiektowej obiektu badań [3]. W przypadku, kiedy wystąpi brak identyfikacji stanu w określonych przypadkach procedura wiedzy regułowej zaleci dokonanie analizy z zastosowaniem wiedzy proceduralnej. Na każdym etapie funkcjonowania tej procedury istnieje możliwość gromadzenia wiedzy w postaci notatek, będących ogólnymi uwagami dotyczącymi działania systemu lub w postaci relacji dopisywanych do bazy danych relacji w celu późniejszego wprowadzenia do bazy wiedzy;
2. Diagnozowanie proceduralne – w wyniku przeprowadzonych badań i analiz generowana jest diagnoza poprzez algorytm diagnozowania opracowanego na podstawie pozyskanej wiedzy proceduralnej. Uzyskane wyniki można zapisać w bazie danych wynikowych systemu. Kiedy diagnoza nie jest możliwa dokonywany jest dodatkowy odczyt sygnału i ponownie jest on identyfikowany przez procedurę wiedzy proceduralnej. Gdy procedura nie jest w stanie zidentyfikować stanu niezdatności jest to odnotowywane w bazie danych niezidentyfikowanych przypadków.

Jak można zauważyć na podstawie przedstawionego algorytmu HSE (rys. 2) ważną rolę pełnią tu narzędzia do gromadzenia wiedzy. Jedną z podstawowych cech informatycznych systemów hybrydowych jest umiejętność pozyskiwania wiedzy. W przypadku prezentowanego systemu jest to element pozwalający na ciągłe doskonalenie zarówno bazy wiedzy jak i samego systemu.



Rys. 2. Algorytm diagnozowania w Hybrydowym Systemie Ekspertowym

4. OPIS FUNKCJONOWANIA HYBRYDOWEGO SYSTEMU EKSPERTOWEGO

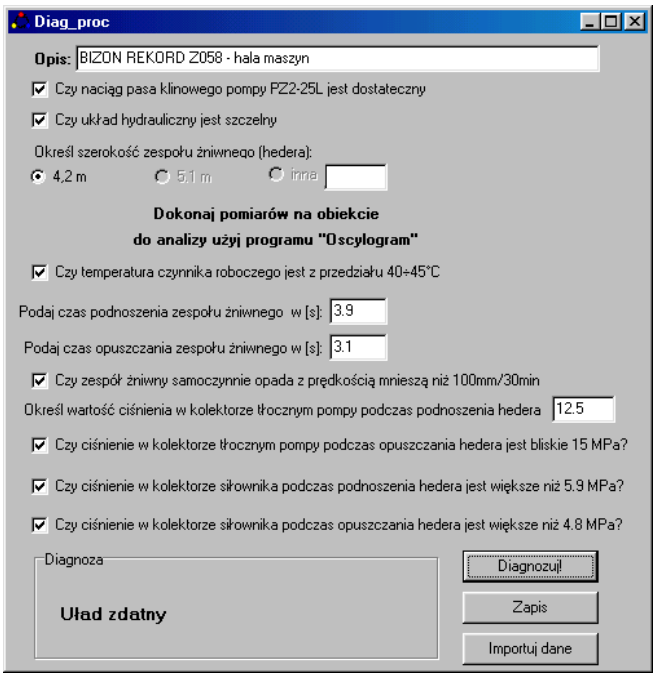
Prezentowany Hybrydowy System Ekspertowy kombajnu do zbioru zbóż Bizon Z058, to program komputerowy, utworzony z wykorzystaniem języka Delphi. Postawienie diagnozy przez program odbywa się na podstawie przeprowadzonego dialogu pomiędzy komputerem, a osobą diagnozującą kombajn, zgodnie z algorytmem przedstawionym na rys. 2. W zależności od uzyskanych odpowiedzi na zadane przez system pytania inicjowane są odpowiednie reguły diagnostyczne prowadzące do wniosku końcowego, który zawiera informację o możliwych uszkodzeniach kombajnu. Podana zostaje prawdopodobna przyczyna uszkodzenia oraz wskaźnik pewności zaistniałego faktu.

W przypadku, gdy obserwacja podstawowych parametrów i symptomów funkcjonowania jest niewystarczająca do jednoznacznego wskazania uszkodzenia system ekspertowy proponuje skorzystanie z procedury badań diagnostycznych, która jest integralną częścią Hybrydowego Systemu Ekspertowego.

Prezentowany HSE przeznaczony jest dla osób z systemu obsługi kombajnów do zbioru zbóż Bizon Z058. Pracownicy z dużym doświadczeniem mogą wykorzystywać HSE przy diagnozowaniu stanów niezdatności trudnych do zlokalizowania, których identyfikacja związana jest na ogół z demontażem obiektu badań. Natomiast dla personelu obsługi o niedużej wiedzy praktycznej na temat diagnozowania kombajnów do zbioru zbóż, program komputerowy może być pomocą w ustaleniu przyczyn niezdatności, niejednokrotnie związanych z błędami obsługi. Warunkiem koniecznym do skorzystania z programu jest znajomość podstawowych terminów, nazw układów i elementów kombajnu, umiejętność prawidłowego ustawienia parametrów funkcjonowania, oraz umiejętność korzystania z oprzyrządowania pomiarowego i komputera.

W skład pakietu HSE wchodzą następujące programy:

- **Diag_reg** – procedura umożliwiająca identyfikację stanów niezdatności kombajnu Bizon Z058 na podstawie zaobserwowanych objawów, a wiedza reprezentowana jest w postaci reguł diagnostycznych;
- **Diag_proc** – umożliwia identyfikację i weryfikację wyników dodatkowych badań diagnostycznych, przeprowadzonych zgodnie z oryginalnie opracowaną procedurą badań diagnostycznych układu hydraulicznego sterowania funkcjonowaniem zespołu żniwnego. Po uruchomieniu programu Diag_proc, użytkownik ma możliwość wprowadzania danych z klawiatury lub zaimportować je z pliku (utworzonego, za pomocą programu „Oscylogram"). Procedura Diag_proc przetwarza wprowadzone dane, a wynik diagnozowania zostaje podany w postaci analogicznej, jak przedstawiono na rys. 3;
- „**Oscylogram**" – identyfikuje podstawowe cechy sygnału diagnostycznego dla przebiegu ciśnienia w funkcji czasu, zarejestrowanych w układzie hydraulicznym kombajnu. Program ten ponadto, umożliwia wizualizację zarejestrowanych sygnałów, ich analizę i archiwizację. Widok okna głównego tego programu przedstawiono na rys. 4. Program „Oscylogram" jest uzupełnieniem programu Diag_proc i służy jako przeglądarka danych.



Rys. 3. Widok okna programu Diag_proc obrazujący wynik jego działania

Każdy z tych programów może funkcjonować niezależnie, a jako całość stanowią swego rodzaju platformę Hybrydowego Systemu Ekspertowego.

W programie Diag_reg zastosowano algorytm wnioskowanie w przód. Tego typu metoda wnioskowania znajduje zazwyczaj zbiór wszystkich konkluzji wynikających z bazy wiedzy i informacji otrzymanych od użytkownika.

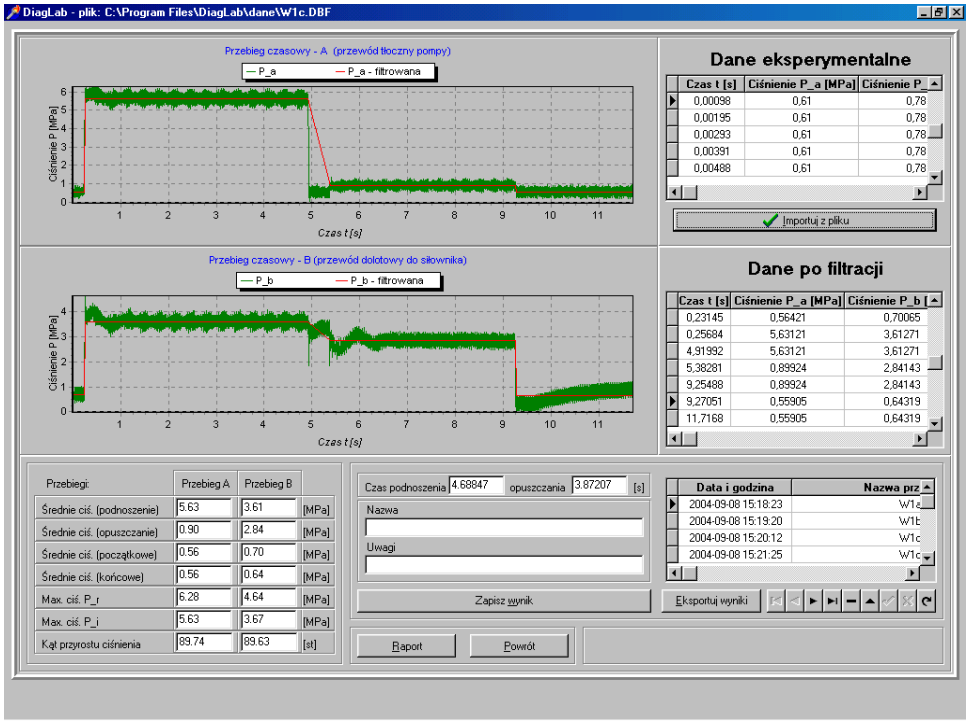
Każda sesja programu kończy się przedstawieniem wyników diagnozowania oraz możliwością ich zapisu.

Na rys. 5 przedstawiono przykładowy widok okna programu Dia_reg, pojawiającego się na etapie – wybór obiektu do diagnozowania, z kolei na rys. 6 okno programu na etapie dialogu z użytkownikiem. Rys. 7 przedstawia wynik działania programu w postaci okna, w którym wymienione zostają niezdatności kombajnu Bizon Z058.

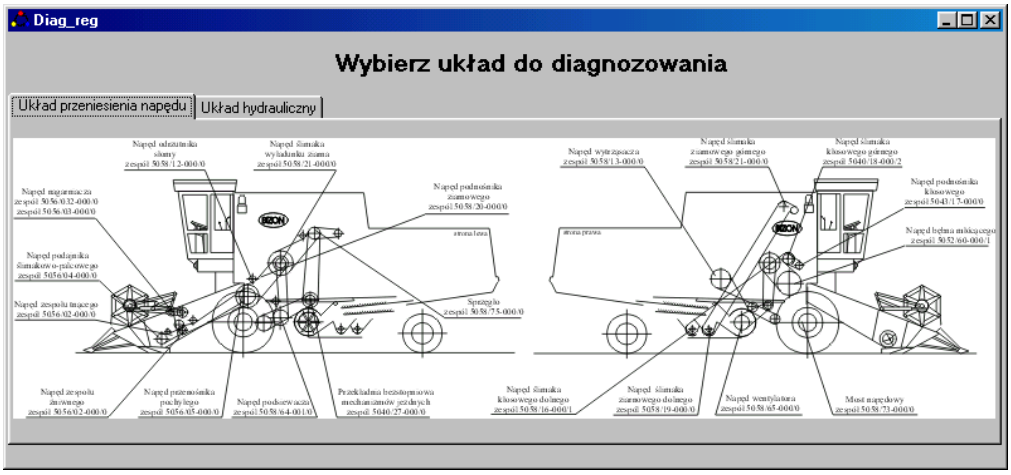
5. PODSUMOWANIE

Reasumując rozpatrzone zagadnienie dotyczące opracowanego Hybrydowego Systemu Ekspertowego kombajnu do zbioru zbóż można stwierdzić, że:

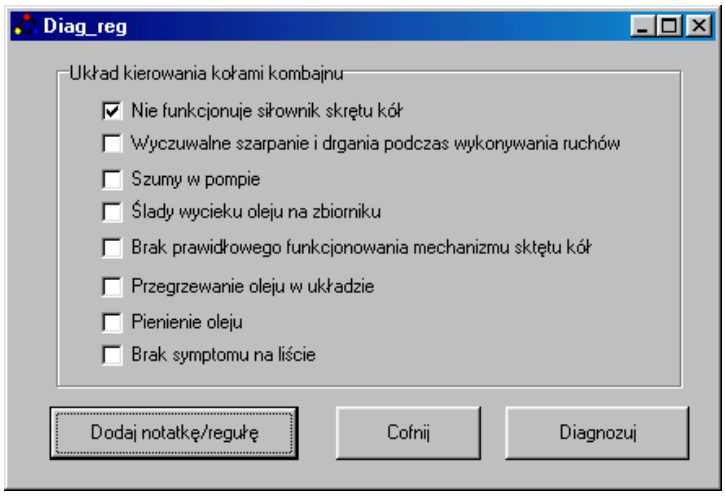
- przez HSE w niniejszej pracy określono system łączący w jedną logiczną całość różne środki reprezentacji wiedzy, wiedzę regułową i proceduralną;
- HSE jest to statycznym systemem ekspertowym dla wiedzy regułowej oraz dynamicznym dla wiedzy proceduralnej. Zadaniem tego systemu jest identyfikacja stanów niezdatności maszyny samojezdnej, z wykorzystaniem różnych środków reprezentacji wiedzy (w postaci reguł i algorytmów diagnozowania) oraz metod jej identyfikacji;



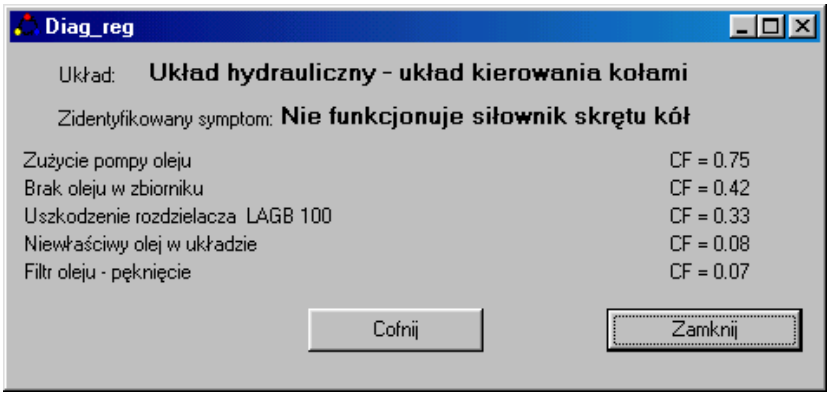
Rys. 4. Widok okna głównego programu „Oscylogram"



Rys. 5. Widok okna w programie Diag_reg na etapie wyboru obiektu do diagnozowania



Rys. 6. Okna programu Diag_reg na etapie dialogu programu z użytkownikiem



Rys. 7. Widok okna programu Diag_reg obrazujący wynik jego działania

- prezentowany HSE posiada w swojej strukturze narzędzia do identyfikacji, pozyskiwania i gromadzenia nowej zidentyfikowanej wiedzy w wyniku funkcjonowania systemu;
- do komputerowego zapisu HSE wykorzystano język Delphi, który w przeciwieństwie do programów szkieletowych, pozwala na pełną integrację reguł z analizą obiektową. Umożliwia to utworzenie narzędzi do gromadzenia wiedzy, zarówno deklaratywnej jak i proceduralnej, przy jednoczesnej pełnej kompatybilności i modułowości elementów składowych systemu;
- na podstawie przeprowadzonych badań sprawdzających, weryfikujących i testujących oceniono pozytywnie funkcjonowanie HSE w aspekcie poprawności diagnozowania stanu kombajnu do zbioru zbóż Bizon Z058.

LITERATURA

1. Kliszewski M.: Inżynieria oprogramowania obiektowego. Cz. 1, Analiza Obiektowa, Wyd. Książki Technicznej, RESPEKT, 1994
2. Michalski R. – pod redakcją: Diagnostyka maszyn roboczych. ITE Radom 2004.
3. Rychlik A.: Zastosowanie Hybrydowego Systemu Ekspertowego w diagnostyce maszyn samojezdnych. XXXII Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka 2005.

Mgr inż. Arkadiusz Rychlik absolwent Wydziału Mechanicznego ART w Olsztynie. Obecnie jest asystentem w Katedrze Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn na Wydziale Nauk Technicznych, UWM w Olsztynie. W pracy zajmuje się zagadnieniami eksploatacji pojazdów i maszyn.

Dr inż. Sławomir Wierzbicki pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn na Wydziale Nauk Technicznych, UWM w Olsztynie. W pracy zajmuje się zagadnieniami eksploatacji i diagnostyki pojazdów i maszyn. Jest autorem kilkunastu publikacji z tych zagadnień. Od 2004 roku pełni funkcję sekretarza czasopisma „Diagnostyka".

URZĄDZENIA ROLKOWE DO KONTROLI DZIAŁANIA HAMULCÓW

Kazimierz SITEK

UNIMETAL Sp. z o.o.
77-400 Złotów, ul. Kujańska 10, fax. (067)263 26 37, e-mail: technologia@unimetal.pl

Streszczenie

Opisano przeznaczenie i budowę urządzeń rolkowych do kontroli działania hamulców samochodów osobowych, ciężarowych i uniwersalne wytwarzanych przez firmę Unimetal. Przedstawiono podstawowe dane techniczne tych urządzeń. Podano mierzone i obliczane parametry diagnostyczne służące do oceny stanu układu hamulcowego. Wymieniono wyposażenie dodatkowe oferowane przez producenta oraz zasady zabudowy urządzeń na stanowiskach kontrolnych stacji diagnostycznych. Odniesiono się do metodyki badania układów hamulcowych w Polsce i innych krajach Unii Europejskiej.

Słowa kluczowe: układy hamulcowe, diagnozowanie, urządzenia rolkowe

ROLLER DEVICES FOR BRAKES WORKING CONTROL

Summary

The assignment and construction of Unimetal's roller devices for brakes working inspection of cars, trucks and universal have been described. The basic technical data of those devices has been presented. Measured and calculated diagnostic parameters for brake unit condition estimation have been given. Additional equipment offered by producer and devices' development rules on control stands of diagnostic inspection stations have been listed. It has been referred to brake unit control methodology in Poland and other European Union countries.

Keywords: braking systems, diagnosing, roller devices

1. WPROWADZENIE

Poglądy dotyczące badania skuteczności hamowania pojazdów są w wielu krajach zróżnicowane, co zostało uwzględnione w zapisach Dyrektywy UE nr 96/96/WE [1]. Z analizy tekstu tej dyrektywy wynika, że brak jest jednolitych zasad pomiarów skuteczności działania układów hamulcowych, w szczególności pneumatycznych. Zarówno metoda jednopunktowa, dwupunktowa, czy pomiar ciągły siły hamowania w funkcji ciśnienia powietrza w siłowniku jest dozwolony. Panuje powszechny pogląd, że obciążanie pojazdu podczas pomiaru jest znacznie lepszym sposobem wyznaczania wskaźnika skuteczności hamowania, niż ekstrapolacja dla nieobciążonego pojazdu.

Przykładowo we Francji określanie skuteczności hamowania dla pojazdów ciężkich odbywa się w warunkach pełnego obciążenia (z wyjątkiem autobusów). Metodyka badania stosowana w Niemczech opiera się na wyżej wymienionej dyrektywie. Dokonuje się pomiarów pojazdów nieobciążonych, skuteczność hamulców w stanie obciążonym jest liczona za pomocą metody ekstrapolacji 2-punktowej.

Sposób badania przyjęty do stosowania w Polsce jest również zgodny z Dyrektywą 96/96/WE. Pomiary wykonuje się dla pojazdu nieobciążonego i stosuje się metodę ekstrapolacji, podobnie do procedur niemieckich i szwedzkich.

Obowiązująca w Polsce instrukcja badania skuteczności działania hamulców [6] nakazuje określić wskaźnik skuteczności hamowania pojazdu zmierzony na podstawie pomiaru sił hamowania w odniesieniu do nacisku od dopuszczalnej masy całkowitej pojazdu. Dopuszczalną masę całkowitą pojazdu przyjmuje się na podstawie danych zawartych w dowodzie rejestracyjnym pojazdu, tabliczce znamionowej lub sumując masę własną i dopuszczalną ładowność pojazdu (dla ciągników siodłowych dopuszczalną ładownością jest dopuszczalny nacisk na siodło ciągnika).

Jeżeli zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania nie osiąga wymaganej wartości należy wyznaczyć obliczeniowy wskaźnik skuteczności hamowania (metodą ekstrapolacji) i porównać jego wartość z wymaganiami.

Dla pojazdów członowych obowiązujące w Polsce przepisy [6] dopuszczają określanie wskaźnika skuteczności hamowania (również obliczeniowego) pojedynczo dla każdej osi.

Poważnym problemem jest także badanie tzw. dopasowania układów hamulcowych w zespołach pojazdów złożonych z pojazdu samochodowego i naczepy lub przyczepy. W takim przypadku uruchomienie hamulca roboczego lub awaryjnego

powinno zapewnić odpowiednie ujednolicenie hamowania obu pojazdów w stosunku do ciśnienia powietrza na złączu sterującym tak, aby siła na sprzęgu pomiędzy obu pojazdami była bliska zeru.

Wydaje się słusznym pogląd [7], że w przypadku badania układów hamulcowych ciężkich pojazdów (z powietrznym uruchamianiem hamulców) pełniejszą informację diagnostyczną uzyskuje się określając wskaźnik skuteczności hamowania dla każdej osi oddzielnie. Wymaga to jednak wyposażenia urządzeń do badania sił hamowania w zespół wagi (nie wystarczy znajomość dopuszczalnej masy całkowitej z dowodu rejestracyjnego) oraz odpowiednią liczbę czujników do pomiaru ciśnienia w pneumatycznych układach przenoszących.

2. PODSTAWOWE DANE TECHNICZNE URZĄDZEŃ ROLKOWYCH

Firma Unimetal jest jednym z największych polskich producentów urządzeń diagnostycznych, stanowiących wyposażenie stacji kontroli i obsługi pojazdów, warsztatów samochodowych i baz transportowych. Firma zajmuje się również kompleksowym wyposażaniem stacji kontroli pojazdów. Producent zapewnia skuteczną obsługę serwisową, doradztwo w zakresie montażu i obsługi urządzeń oraz szkolenia techniczne.

W zakresie urządzeń do kontroli układu hamulcowego oferta firmy Unimetal obejmuje:

- urządzenia rolkowe do kontroli działania hamulców (odmiany: osobowa RHO-6, ciężarowa RH-30E, uniwersalna RHE-30/6S),
- urządzenie płytowe do kontroli działania hamulców (PTH),
- mierniki ciśnienia w instalacji pneumatycznej i siły nacisku na pedał hamulca,
- urządzenie dociążające oś pojazdu,
- rolki wolnobieżne.

W dalszej części bardziej szczegółowo opisano urządzenia rolkowe firmy Unimetal do kontroli działania hamulców.

W tabeli niżej przedstawiono podstawowe dane techniczne produkowanych przez firmę Unimetal urządzeń rolkowych do kontroli działania hamulców: w pojazdach o dmc do 3,5 t (RHO-6), w pojazdach o dmc powyżej 3,5 t (RH-30E) oraz w pojazdach o dmc do i powyżej 3,5 t – urządzenie uniwersalne RHE-30/6S.

Tabela 1.
Dane techniczne urządzeń rolkowych do kontroli działania hamulców firmy Unimetal [2,3]

Dane techniczne	RHO-6	RH-30E	RHE-30/6S
Max nacisk osi	20 kN	160 kN	160 kN
Zakres sił hamowania	0-6 kN	0-30 kN	0-6 kN, 0-30 kN
Układ pomiarowy	elektroniczny	hydrauliczny	elektroniczny
Rozstaw kół	900-2140 mm	950-2500 mm	900-2900 mm
Średnica obręczy koła:			
• samochody	12-16"	14-22,5"	12-22,5"
• motocykle	10-16"		
Zakres mierzonego ciśnienia		0-1 MPa	0-1 MPa
Zakres siły nacisku na pedał hamulca	0-1000 N	0-1000 N	0-1000 N
Moc silników napędowych	2 x 3 kW	2 x 7,5 kW	2 x 9,9 kW
Masa własna	640 kg	1300 kg	1000 kg
Średnica rolek	230 mm	250 mm	250 mm
Długość rolek	620 mm	865 mm	1000 mm
Rozstaw rolek	420 mm	450 mm	450 mm
Prędkość obwodowa rolek	5 km/h	2,67 km/h	2,54; 5,08 km/h
Różnica wzniosu rolek	30 mm	0 mm	50 mm
Współczynnik przyczepności rolek	0,7- 0,9	0,7- 0,9	0,7- 0,9
Temperatura pracy	5-40 ^{0}C	5-40 ^{0}C	5-40 ^{0}C
Układ przeciwpoślizgowy	elektroniczny (trzecia rolka)	elektroniczny (trzecia rolka)	elektroniczny (trzecia rolka)
Zasilanie	3x400 V/50 Hz	3x400 V/50 Hz	3x400 V/50 Hz
Tryb pomiaru	automatyczny /ręczny	automatyczny /ręczny	automatyczny /ręczny
Sterowanie	z pulpitu/zdalnie	z pulpitu/zdalnie	z pulpitu/zdalnie

3. URZĄDZENIA ROLKOWE DO BADANIA SAMOCHODÓW O DMC DO 3,5 T

Stanowisko rolkowe RHO-6 jest przeznaczone do kontroli działania hamulców w pojazdach o dmc do 3,5 t (również w ciągnikach rolniczych, motocyklach i przyczepach). Badanie motocykli odbywa się przy użyciu specjalnych nakładek. Urządzenie umożliwia także prowadzenie badań hamulców w pojazdach z nierozłączalnym napędem na cztery koła (opcja pozwalająca na odwracanie kierunku obrotów jednego zespołu napędowego). Istnieje możliwość wyboru automatycznego lub ręcznego trybu badań hamulców. Zakres pomiarowy sił hamowania wynosi 0-6 kN, dopuszczalny nacisk osi badanego pojazdu 20 kN, prędkość obwodowa rolek napędowych 5 km/h, a zakres średnic obręczy kół 12-16" (motocykle 10-16").

Urządzenie składa się z: dwóch zespołów napędowych, szafy przyłączeniowej (z komputerem, monitorem i drukarką), tablicy wskaźnikowej (opcja), przewodowego miernika do pomiaru siły nacisku na pedał hamulca i pilota zdalnego sterowania.

W zespołach napędowych, do pomiaru sił hamujących wykorzystano elektroniczny układ pomiarowy z czujnikami tensometrycznymi. Zastosowanie bezprzewodowego pilota zdalnego sterowania ułatwia obsługę i umożliwia badanie z miejsca kierowcy. W stanowisku zastosowano automatyczne włączanie napędu rolek po wjechaniu kół i wyłączanie po ich opuszczeniu oraz wspomaganie wyjazdu pojazdu z rolek napędowych. Urządzenie posiada układ przeciwpoślizgowy (rolka kontrolna sygnalizacji poślizgu).

Rozpoczęcie pomiaru następuje w chwili, gdy koła pojazdu znajdą się na rolkach urządzenia. Kolejno wykonywane są pomiary i obliczenia: oporów toczenia kół jezdnych, wartości sił hamujących, stabilności siły hamowania na każdym z kół pojazdu, wskaźnika skuteczności hamowania (dla hamulca roboczego i postojowego), rozdziału sił hamowania na strony oraz siły nacisku na pedał hamulca. Na ekranie monitora prezentowane są wyniki pomiarów sił hamowania koła lewego i prawego, różnicy sił hamowania oraz siły nacisku na pedał hamulca w postaci liczbowej i na wykresach słupkowych.

Wyposażenie dodatkowe oferowane wraz z urządzeniem rolkowym obejmuje: analogową tablicę wskaźnikową sił hamowania, nakładki do badania motocykli, bezprzewodowy miernik siły nacisku na pedał hamulca.

Po zakończeniu badań pojazdu uzyskuje się na ekranie monitora planszę zbiorczą z wynikami końcowymi pomiarów układu hamulcowego. Możliwe jest również sporządzenie protokołu (rys.1) z wykonanych badań wraz z oceną końcową stanu technicznego układu hamulcowego.

Urządzenie może funkcjonować samodzielnie lub stanowić element składowy linii diagnostycznej. Zespoły napędowe mogą być usytuowane na stanowisku kontrolnym z kanałem (rozwiązanie zalecane) lub bez kanału przeglądowego.

4. URZĄDZENIA UNIWERSALNE

Rozwój urządzeń rolkowych do kontroli działania hamulców zmierza między innymi w kierunku stosowania stanowisk uniwersalnych [5, 8], które umożliwiają badanie zarówno pojazdów osobowych, jak i ciężarowych (rozszerzenie zakresu badań).

Stanowisko rolkowe RHE-30/6S jest urządzeniem uniwersalnym, przeznaczonym do pomiaru sił hamujących i oceny skuteczności hamulców pojazdów (samochodów osobowych i ciężarowych, autobusów, ciągników rolniczych oraz ich przyczep) wyposażonych w hydrauliczne i pneumatyczne układy przenoszące. Po zamontowaniu specjalnej nakładki można wykonać kontrolę działania hamulców w motocyklach. Można także przeprowadzić pomiary sił hamowania z użyciem urządzenia dociążającego osie pojazdu. Urządzenie rolkowe może być stosowane do badania hamulców w stacjach kontroli pojazdów przed dopuszczeniem pojazdów do ruchu oraz do sprawdzania stanu hamulców podczas okresowych przeglądów technicznych i po naprawie.

Stanowisko rolkowe składa się z: jednostki sterującej (układ mikroprocesorowy, pulpit sterujący, drukarka, szafka), tablicy wskaźnikowej, dwóch zespołów napędowych, bezprzewodowego pilota zdalnego sterowania, miernika ciśnienia w instalacji pneumatycznej (zakres pomiarowy 0-1 MPa) i miernika siły nacisku na pedał hamulca (zakres pomiarowy 0-1 kN). W celu uzyskania uniwersalności urządzenia zastosowano dwa zakresy pomiarowe sił hamujących (0-6 kN i 0-30 kN) oraz dwa zakresy prędkości obwodowych rolek napędowych (2,54 km/h i 5,08 km/h). Maksymalny nacisk osi pojazdu wynosi 160 kN, zakres średnic obręczy kół 12-22,5".

W zespołach napędowych, do pomiaru sił hamujących wykorzystano elektroniczny układ pomiarowy z czujnikami tensometrycznymi. Zastosowanie bezprzewodowego pilota zdalnego sterowania ułatwia obsługę i umożliwia badanie z miejsca kierowcy. W stanowisku zastosowano automatyczne włączanie napędu rolek po wjechaniu kół i wyłączanie po ich opuszczeniu oraz wspomaganie wyjazdu pojazdu z rolek napędowych. Urządzenie posiada układ przeciwpoślizgowy (rolka kontrolna sygnalizacji poślizgu).

Tablica wyposażona jest w dwa rodzaje wskaźników sił hamujących: analogowy w postaci wskaźników zegarowych z dwuzakresową skalą oraz cyfrowy. Wyświetlacz cyfrowy oprócz pokazywania wartości sił hamujących i różnicy między nimi, służy do wyświetlania komunikatów związanych z inicjowaniem procedur pomiarowych. Inne wskaźniki informują o wielkości siły nacisku na pedał hamulca lub ciśnienia w instalacji pneumatycznej pojazdu.

PROTOKÓŁ ZBIORCZY KONTROLI POJAZDU

UNIMETAL Sp. z o.o.
ul. Kujańska 10, 77-400 Złotów
tel. +48 (prefiks) 67 263 22 71
tel./fax +48 (prefiks) 67 263 26 37
POLSKA DIAGNOSTYKA POJAZDOWA

Data/Czas: **2003-04-08, 13:35**

Rodzaj pojazdu:	**Osobowy/karetka**	Nr rejestracyjny:	**PZL E600**
Marka pojazdu:	**Fiat**	Data 1-ej rejestracji:	**1999-02-01**
Typ/model pojazdu:	**Marea 1.6LX**	Stan licznika:	**65500**
Nr nadwozia:	**FGF56456JKJK**	Dop. masa całkowita[kg]	**1800**

KONTROLA HAMULCÓW

Hamulec roboczy				
Opory toczenia[kN]	0,1	0,09	0,09	0,07
Wahania siły hamowania[%]	***	***	***	***
Maksymalna siła hamowania[kN]	1,95 P	1,86	1,38	1,21 P
Różnica sił hamowania[%]		5	13	
Nacisk na pedał hamulca[daN]		0	0	
Hamulec postojowy				
Maksymalna siła hamowania[kN]		1,54	1,22	
Hamulec awaryjny				
Maksymalna siła hamowania[kN]		***	***	

OCENA KOŃCOWA

HAMULCE	
Suma sił hamowania hamulca roboczego [kN]	**6,40**
Suma sił hamowania hamulca postojowego [kN]	**2,76**
Suma sił hamowania hamulca awaryjnego [kN]	***
Dopuszczalny nacisk na pedał hamulca [daN]	**50**
Wskaźnik skuteczności hamowania hamulca roboczego [%]	**>50**
Różnica sił hamowania hamulca roboczego [%]	**<30**
Wskaźnik skuteczności hamowania hamulca postojowego [%]	**>16**
Wskaźnik skuteczności hamowania hamulca awaryjnego [%]	***

Kontrolę przeprowadził: Jan Kowalski

KOŃCOWY WYNIK KONTROLI

Komunikat:

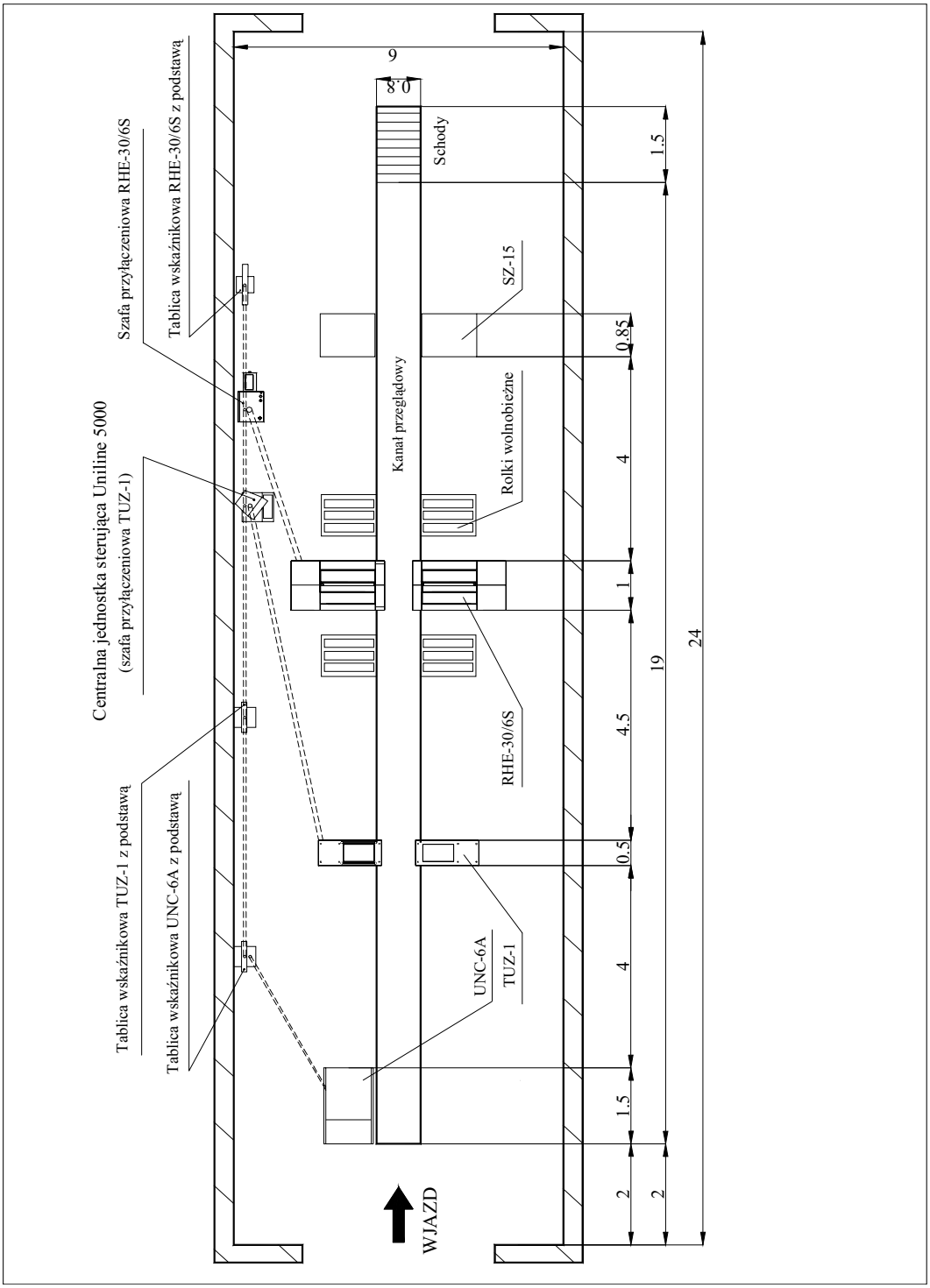
Rys.1. Przykładowy protokół z badań układu hamulcowego samochodu osobowego na urządzeniu rolkowym RHO-6

Po włączeniu urządzenia automatycznie realizowany jest test elektronicznego systemu pomiarowego. Badanie układu hamulcowego można wykonywać w cyklu automatycznym lub ręcznym.

Uniwersalne urządzenie rolkowe umożliwia wykonanie pomiarów i obliczeń: oporów toczenia kół jezdnych, wartości sił hamujących, wskaźników stabilności siły hamowania, wskaźników skuteczności hamowania, różnicy sił hamowania kół jednej osi, wartości ciśnień w instalacji pneumatycznej lub siły nacisku na pedał hamulca. Zapewnione jest sporządzenie protokołu zbiorczego z przeprowadzonych badań.

Wyposażenie dodatkowe stanowiska obejmuje: rolki wolnobieżne (umożliwiają badanie hamulców w pojazdach wieloosiowych), hydrauliczne urządzenie typu DR-120 dociążające osie pojazdu, układ wagowy, nakładki do badania motocykli, bezprzewodowe mierniki ciśnienia i siły nacisku na pedał hamulca.

Uniwersalne urządzenie rolkowe rozmieszcza się wzdłuż kanału przeglądowego. Stosuje się dzielone wykonanie zespołów napędowych, które zagłębia się w posadzce stanowiska. Urządzenie rolkowe może występować samodzielnie lub stanowić element składowy uniwersalnej linii diagnostycznej (rys.2).



Rys. 2. Usytuowanie urządzenia rolkowego RHE-30/6S (z rolkami wolnobieżnymi) w strukturze uniwersalnej linii diagnostycznej

5. URZĄDZENIA ROLKOWE DO BADANIA POJAZDÓW O DMC POWYŻEJ 3,5 T

Do badania hamulców w pojazdach o dmc powyżej 3,5 t przeznaczone jest urządzenie rolkowe RH-30E z hydraulicznym układem pomiarowym siły hamowania. Zakres pomiarowy siły hamowania wynosi 0-30 kN, maksymalny nacisk osi pojazdu 160 kN, prędkość obwodowa rolek napędowych 2,67 km/h, a zakres średnic obręczy kół 14-22,5".

Urządzenie rolkowe zbudowane jest z następujących elementów: zespoły napędowe, kolumna sterująco-wskaźnikowa, bezprzewodowy pilot zdalnego sterowania, konsola programatora, czujnik do pomiaru ciśnienia w instalacji pneumatycznej, miernik siły nacisku na pedał

hamulca i drukarka igłowa. W podstawie kolumny sterującej zamontowany jest układ elektroniczny (sterownik mikroprocesorowy, wzmacniacz) oraz odbiornik zdalnego sterowania. Na głowicy kolumny umieszczono zestaw trzech lamp sygnalizacji funkcji i lampę kontrolną włączenia napędów (rozpoczęcia pomiarów siły hamowania).

Wyposażeniem dodatkowym są rolki wolnobieżne umieszczane przed i za zespołami napędowymi urządzenia rolkowego. Umożliwiają badanie hamulców w pojazdach wieloosiowych.

Urządzenie umożliwia przeprowadzenie pomiarów i obliczeń: oporów toczenia kół, sił hamujących hamulca roboczego i postojowego, stabilności siły hamowania każdego koła, wskaźnika skuteczności hamowania, różnicy sił hamowania dla poszczególnych osi oraz ciśnienia (w pneumatycznym układzie hamulcowym) lub siły nacisku na pedał hamulca (w hydraulicznym układzie hamulcowym). Uzyskane wyniki pomiarów można przedstawić w postaci wydruku (raport końcowy z badań).

Zalecenia dotyczące zabudowy urządzenia rolkowego do badania samochodów ciężarowych są podobne, jak dla stanowisk uniwersalnych (urządzenie rozmieszcza się wzdłuż kanału przeglądowego i zagłębia w posadzce, stosuje się dzielone wykonanie zespołów napędowych).

Opisane wyżej urządzenia rolkowe do kontroli działania hamulców powinny być umieszczone w pomieszczeniu zamkniętym, ogrzewanym w okresie zimowym oraz wyposażonym w wyciąg spalin.

Firma Unimetal wytwarza również urządzenie płytowe do dynamicznych badań hamulców. Oferowane jest urządzenie dwupłytowe PTH do kontroli hamulców w pojazdach o dmc do 3,5 t (może stanowić element składowy linii diagnostycznej UNI-slim).

6. ZAKOŃCZENIE

Podczas badania hamulców na urządzeniach rolkowych należy zdawać sobie sprawę, że:

- Instrukcja dotycząca sposobu badania skuteczności działania hamulców [6] nie zwalnia diagnosty z myślenia, jeśli konstrukcja układu hamulcowego jest specyficzna i tego wymaga. Bardzo ważne są szczegółowe oględziny zewnętrzne układów hamulcowych i fakt przekroczenia wymaganej minimalnej wartości wskaźnika skuteczności hamowania przy podejmowaniu decyzji o dopuszczeniu pojazdu do ruchu;
- Wyniki pomiarów sił hamowania uzyskane na stanowiskach diagnostycznych są obarczone niedokładnością wynikającą z techniki pomiarowej nie uwzględniającej zjawisk dynamicznych występujących podczas hamowania w rzeczywistych warunkach na drodze (wg PIMOT różnice w stosunku do wyników badań homologacyjnych mogą osiągnąć 12-15%, inne źródła podają nawet większe wartości);
- Nie należy porównywać wprost wyników pomiarów sił hamowania uzyskanych na różnych urządzeniach stosowanych w stacjach diagnostycznych, ponieważ z różnych przyczyn wystąpi rozrzut wyników pomiarów i otrzymanych charakterystyk.

LITERATURA

[1] Dyrektywa 96/96/WE w sprawie zbliżenia ustawodawstw państw członkowskich dot. badań przydatności do ruchu drogowego pojazdów silnikowych i ich przyczep.
[2] Dokumentacja techniczno-ruchowa urządzeń rolkowych RHO-6, RH-30E i RHE-30/6S. Unimetal, Złotów 2005.
[3] Materiały informacyjne firm produkujących urządzenia diagnostyczne do kontroli działania hamulców.
[4] Praca zbiorowa (red. Bocheński C.): Badania kontrolne samochodów. WKŁ, Warszawa 2000.
[5] Praca zbiorowa (red. Niziński S.): Diagnostyka samochodów osobowych i ciężarowych. Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 1999.
[6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16.12.2003 r. w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach (Dz.U. Nr 227 z 2003r., z późn. zmianami).
[7] Sitek K.: Diagnostyka samochodowa. Układy odpowiedzialne za bezpieczeństwo jazdy. Wydawnictwo AUTO, Warszawa 1999.
[8] Sitek K.: Diagnostyka samochodowa u progu XXI wieku. Konferencja „Diagnostyka samochodowa 2002". SIMP-ZORPOT w Łodzi, Rydzyna 2002.

OPTYMALIZACJA ZBIORU CECH SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH MASZYNY WIRNIKOWEJ

Damian SŁAWIK

Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
ul. Konarskiego 18a, 44 - 100 Gliwice
e-mail: damian.slawik@polsl.pl

Streszczenie

W referacie opisano wyniki testów modeli diagnostycznych zidentyfikowanych na podstawie wartości cech sygnałów oraz informacji o stanie obiektu. Rozpatrzono dwa przypadki. W pierwszym do celów optymalizacji zbioru cech skorzystano z miar wrażliwości. W drugim przypadku uwzględniano wszystkie cechy sygnałów. Prowadząc badania, do określenia zbioru uczącego oraz testującego, skorzystano z metody leave one out.

Zaproponowana w referacie metoda optymalizacji zbioru cech sygnałów znajduje zastosowanie w wyborze cech sygnałów zawierających najwięcej istotnych informacji o stanie lub klasie stanu badanego obiektu. Wybierane za jej pomocą cechy mogą służyć do budowy prostszych, sprawniejszych i wydajniejszych systemów diagnostycznych.

Słowa kluczowe: selekcja cech, analiza wrażliwości, diagnostyka maszyn, model diagnostyczny

OPTIMIZATION OF SET OF DIAGNOSTIC SIGNAL FEATURES OF ROTATING MACHINE

Summary

The results of tests of diagnostics models are described in the paper. Those models are identified based on value signal feature and information of object state. Two cases were considered. The measures of sensitivities to optimization of signal features were used in the first case and all the signals features were considered in the second one. The 'leave one out' method was applied to the both cases.

Sensitivity analysis can be used in selection of signal features. Such the signal features contain the most important information about state or state class of researched object. Selected signal features may be used to design and perform simpler and more efficient diagnostic systems.

Keywords: features selection, sensitivity analysis, machinery diagnostics, diagnostics model

1. WSTĘP

Projektując różnego rodzaju maszyny dużą uwagę skupia się zarówno na ich niezawodności jak i na minimalizacji kosztów eksploatacji. Są one ściśle ze sobą związane. Chcąc zwiększyć niezawodność należy częściej przeprowadzać przeglądy i/lub remonty, co wiąże się z większymi wydatkami. Sposobem na rozwiązanie tego problemu, może być system diagnostyczny monitorujący stan maszyny. Dysponując system diagnostycznym można z pewnym wyprzedzeniem przewidzieć awarię oraz przeprowadzić remont. Można także uniknąć sytuacji, w których maszyna jest wyłączana z ruchu i poddawana przedwczesnemu, niepotrzebnemu przeglądowi. Rozwiązanie takie jest stosowane w przypadku, gdy zyski wynikające z działania takiego systemu są większe od kosztów jego wdrożenia oraz utrzymania.

Redukując do minimum liczbę wchodzących w skład systemu diagnostycznego czujników będących źródłem sygnałów diagnostycznych można obniżyć koszt samego systemu. Przykładem może być hipotetyczny system autodiagnostyki wentylatora składający się z jednego akcelerometra oraz układu elektronicznego realizującego zadania związane z przetwarzaniem sygnału oraz klasyfikacją stanu.

Uproszczenie systemu diagnostycznego niestety może pociągać za sobą pogorszenie jakości klasyfikacji stanu diagnozowanego obiektu. Chcąc zaradzić temu zaproponowana została metoda selekcji wrażliwych cech sygnałów optymalizująca zbiór dostępnych cech.

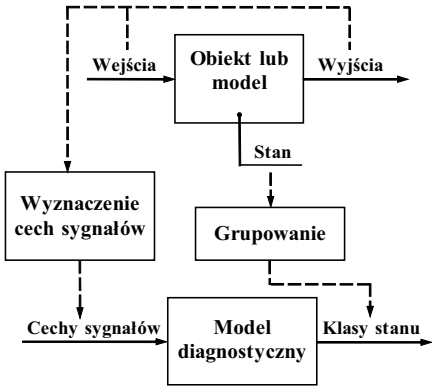
2. MODEL DIAGNOSTYCZNY

Załóżmy, że chcemy zbudować prosty system diagnostyczny. Będzie się on składał z jednego lub kilku czujników, dostarczających informacje o stanie badanego obiektu za pośrednictwem sygnałów diagnostycznych. Chcąc wydobyć tą informację o stanie obiektu z sygnałów wyznaczamy wartości cech sygnałów. Postępowanie takie jest uzasadnione, ponieważ cechy sygnałów często będąc

[1] Opracowano częściowo w ramach grantu promotorskiego KBN 8 T07B 030 27 pod kierunkiem W. Cholewy

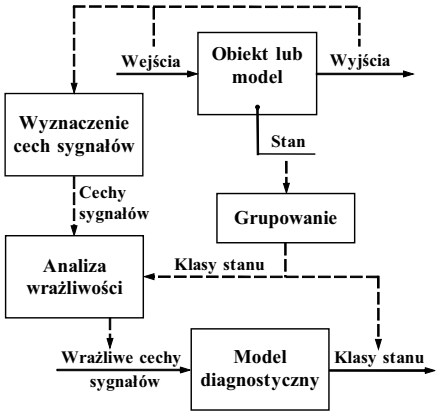
estymatorami nieobciążonymi, minimalizują wpływ wszelkiego rodzaju zakłóceń i zwiększają stosunek sygnału do szumu. Dodatkowo wyznaczenie większej liczby cech sygnałów, przy obecnych możliwościach obliczeniowych, jest tańsze, niż zwiększenie liczby mierzonych sygnałów diagnostycznych.

Mając do dyspozycji wartości cech sygnałów i posiadając wiedzę na temat związanych z nimi stanów identyfikujemy model diagnostyczny (rys.1). Może on być zarówno zestawem prostych reguł, zestawem reguł przybliżonych, jak i wyuczoną siecią neuronalną. Tak otrzymany model diagnostyczny będący integralną częścią systemu diagnostycznego dostarcza informacji o stanie na podstawie przesyłanych do niego wartości cech sygnałów.



Rys. 1. Identyfikacja modelu diagnostycznego

Pamiętając, że naszym celem jest zbudowanie prostego systemu diagnostycznego, oraz przyglądając się rysunkowi (rys. 1), można przypuszczać, iż jest to możliwe poprzez zmniejszenie do minimum liczby cech na wejściu modelu diagnostycznego. Ograniczając, zgodnie z tą sugestią zbiór cech sygnałów nasuwa się jednak pytanie: Co się stanie, jeżeli rozpatrywane cechy, zamiast w sposób przypadkowy lub intuicyjny, będą wybierane na podstawie miar wrażliwości cech sygnałów na zmiany stanu? Aby na nie odpowiedzieć postanowiono uwzględnić analizę wrażliwości przy identyfikacji modelu diagnostycznego (rys. 2).



Rys. 2. Identyfikacja modelu diagnostycznego z przeprowadzaną optymalizacją zbioru cech

3. BADANY OBIEKT TECHNICZNY

Do badań wybrany został obiekt należący do klasy maszyn wirnikowych ułożyskowanych ślizgowo. Jest nim stanowisko Rotor Kit firmy Bently Nevada [1]. Stanowisko to służy do badań drgań wałów i znajduje się laboratorium Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Podstawowymi jego elementami są: wał; dwie tarcze umożliwiające wprowadzenie niewywag; dwa usadowione w podporach łożyska ślizgowe; silnik elektryczny przekazujący moc na wał poprzez sprzęgło podatne oraz układ pomiarowy służący do akwizycji sygnałów przemieszczeń względnych wału.

4. KLASY STANU

W wyniku przeprowadzonych przez A. Klimka oraz B. Wysogląda pomiarów [7] otrzymano dane zawierające przebiegi sygnałów diagnostycznych oraz informacje o odpowiadających im stanach obiektu. Badania były prowadzone z uwzględnieniem 166-ciu stanów technicznych, a rejestrację sygnałów wykonywano dla trzech różnych prędkości obrotowych wału, z czego optymalizacja cech zostanie przeprowadzona jedynie dla prędkości obrotowej $n = 5500[obr/min]$.

Poszczególne stany techniczne można rozróżnić za pomocą takich cech stanu jak:

- umiejscowienie wprowadzanych do badanego obiektu niewywag: tarcza nr 1; tarcza nr 2 lub obie tarcze jednocześnie;
- masa wprowadzanej niewywagi: $m = \{0; 0.6; 0.8; 1; 1.2; 1.4; 1.6\}[g]$;
- położenie kątowe niewywagi na tarczy: $\alpha = \{0; 22.5; 45; \ldots; 337.5\}[deg]$.

Korzystając z tych informacji utworzono 3 klasy stanu:

B1 masa niewywagi na tarczy nr 1: {0;0.6}[*g*];
B2 masa niewywagi na tarczy nr 1: {0.8;1;1.2}[*g*];
B3 masa niewywagi na tarczy nr 1: {1.4;1.6}[*g*].

Każda z powyższych klas stanu B_i; $i = 1, 2, 3$ reprezentowana jest przez stany związane z charakterystyczną dla każdej klasy, masą niewywagi na tarczy nr 1, którą mocowano w stałej odległości od środka tarczy. Ponadto w jednej klasie znajdują się stany związane z: różnymi wartościami położenia kątowego niewywagi na tarczy nr 1 i nr 2 oraz różnymi wartościami niewywagi na tarczy nr 2.

5. CECHY SYGNAŁÓW

Dane otrzymane z badań stanowiska Rotor Kit obejmują sygnały przemieszczeń względnych wału mierzone w dwóch płaszczyznach pomiarowych zlokalizowanych w pobliżu dwóch podpór łożyskowych. Są to: sygnały przemieszczeń względnych wału mierzone w kierunku poziomym oraz w kierunku pionowym.

Mając na celu optymalizację zbioru cech sygnału wyznaczone zostały 75 cechy dla każdej płaszczyzny pomiarowej. Tworzą one zbiór 150-ciu cech sygnałów: $c = \{c_1, c_2, \ldots, c_m\}$.

6. DEFINICJA WRAŻLIWOŚCI

Chcąc optymalizować zbiór cech sygnałów należy określić, które cechy zawierają najwięcej informacji o interesującej nas klasie stanu. Można do tego celu posłużyć się miarą wrażliwości, której definicje przedstawiono poniżej:

„*Wrażliwością s_i^j, wartości cech sygnałów W^j, na zmianę klasy stanu z B_i na inną, nazywamy względną zmianę wartości cech sygnałów W^j wynikającą ze zmiany tej klasy stanu*."

Można ją także przedstawić w postaci równania:

$$s_i^j = \frac{V(W^j \mid B_i)}{V(W^j \mid B)}; \qquad B = \{B_1, B_2, \ldots\}, \qquad (1)$$

gdzie: B – zbiór klas stanu; B_i – rozpatrywana klasa stanu do której może należeć jeden lub więcej stanów; W^j – zbiór wartości j-tej cechy sygnału; $V(W^j \mid B)$ – wartość miary zmienności V uwzględniająca cechy sygnału W^j wyznaczone dla wszystkich stanów; $V(W^j \mid B_i)$ – wartość miary zmienności V cechy sygnału W^j wynikająca ze zmiany klasy stanu z B_i na inną klasę stanu.

7. WSTĘPNA SELEKCJA CECH SYGNAŁÓW

Przed przystąpieniem do wyznaczania wartości wrażliwości przeprowadzono analizę zmienności wartości cech sygnałów. Pozwala ona stwierdzić, czy zmiany wartości cech sygnałów zależą, chociaż w niewielkim stopniu, od klas stanu, dla których cechy te wyznaczono. Powszechnie do tego celu stosowanym narzędziem jest analiza wariancji. Jej przeprowadzenie wymaga jednak spełnienia podstawowego założenia, zgodnie z którym, rozkład wartości cech wyznaczonych dla poszczególnych klas stanu musi być normalny, z taką samą wariancją. Do celów diagnostyki, gdy nie chcemy zakładać postaci rozkładów statystycznych analizowanych wartości cech sygnału, znajdują zastosowanie metody rangowe. Metodą najbardziej odpowiednią do tego celu wydaje się nieparametryczny test Kruskalla-Wallisa. Test Kruskalla-Wallisa przeprowadzono niezależnie dla każdej cechy sygnału nam(c_j); $j = 1, 2, \ldots, m$ rozpoczynając każdorazowo od umieszczenia wartości rozpatrywanej cechy w tabeli, której kolumny odpowiadały kolejnym, rozpatrywanym klasom stanu. Traktując poszczególne kolumny tabeli jak grupy, wyznaczono rangi, statystykę testowa T oraz przeprowadzono weryfikację hipotezy zerowej o równości grup [3] dla założonego poziomu istotności.

Odrzucenie hipotezy zerowej oznacza, iż rozpatrywana cecha sygnału nam(c_j) zawiera informację pozwalającą odróżnić od siebie stany należące do przynajmniej dwóch, spośród wszystkich klas stanu. Oznacza to także, że informacja taka może być niewystarczająca do poprawnego zaklasyfikowania dowolnego, rozpatrywanego stanu. Przyjęcie hipotezy zerowej oznacza małą przydatność rozpatrywanej cechy do celów diagnostycznych. Cechę taką można pominąć, ponieważ nie wnosi ona żadnych istotnych informacji o stanie badanego obiektu.

8. PRZEDZIAŁY UFNOŚCI

Drugim etapem poszukiwania optymalnego zbioru cech sygnałów są porównania wielokrotne rozkładów wartości cech poszczególnych par grup za pomocą testów Kruskalla-Wallisa lub za pomocą rangowego odpowiednika testu F Friedmana [3]. Wynikiem porównań wielokrotnych jest informacja o tym, czy różnice pomiędzy poszczególnymi parami grup (zbiorami wartości cech sygnałów) są na tyle duże, że można stwierdzić, iż grupy te są rozdzielne. Informacja ta jest zawarta w przedziałach ufności określanych niezależnie dla każdej pary grup (klas stanu):

$$\left\langle \Delta w_{i,k}^{-j}, \Delta w_{i,k}^{+j} \right\rangle; \quad i,k = 0,1,\ldots,7; \quad j = 1,2,\ldots,525. \qquad (2)$$

Wyznaczanie przedziałów ufności podobnie jak przeprowadzenie testów statystycznych na równość grup wymaga przyjęcia odpowiedniego poziomu istotności.

9. MIARY WRAŻLIWOŚCI

Dysponując informacjami o przedziałach ufności oraz korzystając z przedstawionej definicji wrażliwości wyznaczamy wartości wrażliwości cząstkowej:

$$s_{i,k}^j = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli: } \operatorname{sign}(\Delta w_{i,k}^{-j}) = \operatorname{sign}(\Delta w_{i,k}^{+j}) = 1; \\ -1 & \text{jeżeli: } \operatorname{sign}(\Delta w_{i,k}^{-j}) = \operatorname{sign}(\Delta w_{i,k}^{+j}) = -1; \\ \dfrac{\Delta w_{i,k}^{-j} + \Delta w_{i,k}^{+j}}{\left|\Delta w_{i,k}^{-j}\right| + \left|\Delta w_{i,k}^{+j}\right|} & \text{jeżeli: } \operatorname{sign}(\Delta w_{i,k}^{-j}) \neq \operatorname{sign}(\Delta w_{i,k}^{+j}); \end{cases} \qquad (3)$$

$$i = 1,2; \quad k = i+1, i+2,3; \quad j = 1,2,\ldots,m.$$

Wpisujemy je w macierz o zerowych wartościach diagonalnych:

$$S_{cz}^j = [s_{i,k}^j]_{3\times 3}; \quad s_{k,i}^j = -s_{i,k}^j; \quad s_{i,i}^j = 0. \qquad (4)$$

Oprócz wrażliwości cząstkowej dla każdej cechy wyznaczamy wartości wrażliwości grupowej:

$$s_i^j = \frac{\sum_k |s_{k,i}^j|}{2}; \quad i,k = 1,2,3; \quad j = 1,2,\ldots,m; \qquad (5)$$

$$S_{gr}^j = [s_i^j]_{1\times 3}; \qquad (6)$$

oraz wrażliwość główną:

$$S^j = s^j = \frac{\sum_i |s_i^j|}{3}; \quad i = 1,2,3; \quad j = 1,2,\ldots,m. \qquad (7)$$

Cechy charakteryzujące się największą wrażliwością (główną) niosą najwięcej informacji

pozwalającej prawidłowo rozpoznać klasę stanu badanego obiektu. Cechy charakteryzujące się największą wrażliwością grupową pozwalają odróżnić związaną z mini klasę stanu od pozostałych klas. Korzystając, zatem z wartości wrażliwości możemy wyodrębnić optymalny zestaw cech, których uwzględnienie jako wejść systemu wnioskującego może będzie wystarczające do celów poprawnego określenia stanu diagnozowanego obiektu.

10. OPTYMALIZACJA ZBIORU CECH

Korzystając z wyznaczonych wartościach wrażliwości można wybrać optymalny, ze względu na jakość klasyfikacji stanu badanego obiektu, zbiór cech sygnałów. W przypadku prowadzonych badań był to zbiór 6-ciu cech charakteryzujących się największą wartością wrażliwością grupową (dwie cechy najbardziej wrażliwe w każdej grupie).

11. PRZEBIEG BADAŃ

Mając na celu określenie wpływu optymalizacji zbioru cech sygnałów na jakość budowanych modeli diagnostycznych porównano ze sobą dwa przypadki:
A1: przeprowadzana była optymalizacja rozpatrywanego zbioru cech sygnałów;
A2: uwzględniane były wszystkie cechy z rozpatrywanego zbioru cech sygnałów.
Rozpatrywane zbiory cech **C4** oraz **C5** są 28-mio oraz 14-to elementowymi podzbiorami zbioru wszystkich 150-ciu wyznaczanych cech.

Prowadząc badania, do określenia zbioru uczącego oraz testującego, skorzystano z metody *leave one out*.

Model diagnostyczny, który następnie testowano, był identyfikowany na podstawie zbioru danych uczących. W zbiorze tym wyróżniono dane związane z wejściami (cechami sygnałów) oraz dane związane z jednym wyjściem (numerem klasy stanu). Do budowy modelu diagnostycznego wybrano narzędzia bazujące na rozmytych sieciach neuronalnych, a jego opracowanie przebiegało kilkuetapowo:

- najpierw określono optymalną liczbę grup dla poszczególnych cech sygnałów; narzędziem do tego zastosowanym był algorytm substraktywnej klasteryzacji [2];
- na podstawie informacji o liczbie grup budowane były reguły rozmyte [5];
- na podstawie wyprowadzonych reguł określona została struktura rozmytej sieci neuronalnej [4];
- po określeniu struktury, sieć poddawana była uczeniu; do celów uczenia sieci, a tym samym określenia parametrów reguł rozmytych skorzystano z narzędzia ANFIS (od ang. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) [6];
- wyuczony model diagnostyczny (rozmytą sieć neuronalną) przetestowano stosując dane testujące.

12. WYNIKI BADAŃ ORAZ WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych badań zamieszczono w tabeli 1 oraz tabeli 2.

Tab. 1. Wyniki klasyfikacji otrzymane dla 14-tu oraz 6-ciu z 14-tu wybranych za pomocą analizy wrażliwości cech

Brak selekcji cech			Selekcja cech		
Test	O_1	O_2	Test	O_1	O_2
A2C5R0.4	43,4%	66,0%	A1C5R0.4	52,4%	74,1%
A2C5R0.5	49,4%	71,4%	A1C5R0.5	50,6%	73,8%
A2C5R0.6	45,8%	70,2%	A1C5R0.6	53,6%	75,0%
A2C5R0.7	50,0%	73,5%	A1C5R0.7	54,2%	75,3%
A2C5R0.8	51,8%	74,1%	A1C5R0.8	50,0%	73,2%

Tab. 2. Wyniki klasyfikacji otrzymane dla 28-miu oraz 6-ciu z 28-miu wybranych za pomocą analizy wrażliwości cech

Brak selekcji cech			Selekcja cech		
Test	O_1	O_2	Test	O_1	O_2
A2C4R0.4	45,8%	68,1%	A1C4R0.4	47,0%	71,1%
A2C4R0.5	42,8%	64,8%	A1C4R0.5	50,0%	72,0%
A2C4R0.6	50,6%	71,1%	A1C4R0.6	50,6%	73,5%
A2C4R0.7	53,0%	73,2%	A1C4R0.7	55,4%	76,8%
A2C4R0.8	48,8%	71,4%	A1C4R0.8	50,6%	74,4%

13. WNIOSKI

Oceny O_1 oraz O_2 uzyskane w przypadku stosowania selekcji cech są lepsze lub niewiele gorsze od ocen uzyskanych w przypadku, gdy ta selekcja nie była prowadzona. Pozwala to stwierdzić, że model diagnostyczny zbudowany na podstawie 6-ciu wrażliwych cech sygnałów, wybranych ze zbioru 14-tu lub 28-ciu cech może być lepszy od modelu zbudowanego na podstawie wszystkich 14 lub 28 cech. Oznacza to, że stosowanie optymalizacji zbioru cech pozwala nie tylko na uproszczenie modelu diagnostycznego, ale także poprawia jakość klasyfikacji stanu.

LITERATURA

[1] Bently Nevada Corporation. *Rotor Kit.* Mindem USA, 1994.
[2] Davé R.N., Krishnapuram R. *Robust clustering methods: a unified view*. IEEE Trans. Fuzzy Systems, (5):270–293, 1997.
[3] Koronacki J., Mielniczuk J. *Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych.* Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.
[4] Lin C.T. *A neural fuzzy control scheme with structure and parameter learning*. Fuzzy Sets and Systems, (70):183–212, 1995.
[5] Paiva R., Dourado A. *Interpretability and learning in neuro–fuzzy systems*. Fuzzy Sets and Systems, (147):17–38, 2004.
[6] The MathWorks, Inc. *Fuzzy logic toolbox user's guide*, 2004.

[7] Wysogląd B. *Mikrostanowisko do badań drgań wałów. Zbiór wyników pomiarów drgań w warunkach stacjonarnych*. Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Gliwice, 1997.

Magister inżynier Damian Sławik jest absolwentem Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W roku 2000 rozpoczął studia doktoranckie w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn tejże uczelni. Swoje zainteresowania skupia głównie na metodach komputerowego wspomagania projektowania i eksploatacji maszyn, modelowania obiektów diagnostycznych, metodach sztucznej inteligencji oraz metodach diagnostyki technicznej. Jest on laureatem Stypendium Promocyjnego koncernu Fiat dla najlepszych prac dyplomowych magisterskich i doktorskich (nagroda zbiorowa wspólnie z Jackiem Wojtusikiem i Dominikiem Wachlą).

POMIARY WŁASNOŚCI AKUSTYCZNYCH MATERIAŁÓW

Mariusz ŻÓŁTOWSKI

Politechnika Szczecińska

Streszczenie

W artykule przedstawiono problemy izolacyjności akustycznej stropów drewnianych. Do ich badania wykorzystano funkcję FRF, charakteryzującą strukturę częstotliwościową wybranych materiałów. Zapoczątkowane badania winny być kontynuowane na obiektach rzeczywistych.

Słowa kluczowe: akustyka, diagnostyka struktury materiałów, transmitancja

ACOUSTIC INVESTIGATIONS OF MATERIALS

Summary

The problems of acoustic isolation of wood ceilings in article were introduced. It the function to their investigation was used was the FRF, the characterizing frequence structure of chosen materials. Begin investigations will be continue on real objects.

Keywords: acoustic, diagnostic of structure of material, transmitation

1. WPROWADZENIE

Odpornością przegrody na przenikanie energii akustycznej jest izolacyjność akustyczna przegrody. W zależności od źródła energii akustycznej przenikającej przez przegrodę rozróżnia się: izolacyjność od dźwięków powietrznych oraz izolacyjność od dźwięków uderzeniowych [4]. Własności akustyczne przegród określone są wymaganiami normowymi, PN–70/B-2151, PN-68/B-02154. Izolacyjność akustyczna danej przegrody zależna jest od częstotliwości dźwięku przenikającej fali akustycznej, co wyznaczają krzywe izolacyjności akustycznej w funkcji częstotliwości. Dla potrzeb budownictwa mieszkaniowego i użyteczności publicznej wyznacza się charakterystyki izolacyjności akustycznej w przedziale 100-3200Hz. Kształt charakterystyk izolacyjności akustycznej wynika z charakteru dopuszczalnego poziomu hałasu oraz hałasu zewnętrznego i wewnętrznego.

Współcześnie powstające konstrukcje budowlane, takie jak mosty, budynki wysokie, kominy, fundamenty pod maszyny, maszty, dachy wspornikowe itp. mogą być poddawane znacznym wymuszeniom drganiowym. Drgania mogą mieć wpływ na stan użytkowania budowli poprzez zmniejszenie komfortu pracujących tam ludzi lub mogą osiągnąć poziom zagrażający bezpieczeństwu konstrukcji. Dynamiczne efekty spowodowane przez wiatr, trzęsienia ziemi, pracę maszyn, ruch kolejowy i drogowy, wybuchy w kamieniołomach, fale morskie stały się ważne w procesie projektowania konstrukcji i mają wpływ na ich bezpieczeństwo i trwałość.

Wpływ drgań na konstrukcję przejawia się głównie jako dodatkowe naprężenia w rozpatrywanym przekroju, które sumują się z naprężeniami od działających na konstrukcję obciążeń statycznych. Ponad to pojawiają się jeszcze skutki związane ze zmęczeniem materiału. Obciążenie dynamiczne mogą powodować skutki niszczące w budynkach o różnych typach konstrukcji lub też doprowadzać do katastrofalnego zniszczenia. Do współczesnych metod badawczych w obszarze minimalizacji hałasu zalicza się:

a) metodę elementów skończonych,
b) metodę elementów brzegowych,
c) analizę modalną.

Stosowanie tych metod pozwala one na lepsze zrozumienie zachowania się złożonych konstrukcji, optymalizację w procesie ich projektowania i ocenę stanów niebezpiecznych. Analizy własności dynamicznych w większości przypadków spotykanych w praktyce dokonuje się na podstawie analizy zachowań modelu konstrukcji. Jakość analizy zależy od wiarygodności modelu, która mierzona jest zgodnością zachowań obiektu i modelu poddanych zaburzeniom tego samego rodzaju. Model

konstrukcji może być tworzony w procesie analitycznych przekształceń stosowanych do opisu dynamiki układu, bądź na podstawie wyników eksperymentów wykonywanych na rzeczywistym obiekcie.

2. ŹRÓDŁA HAŁASÓW I DROGI ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ DŹWIĘKÓW

Hałasy decydujące o klimacie akustycznym pomieszczeń w budynkach pochodzą z trzech podstawowych źródeł:

a) hałasy przenikające z zewnątrz budynku - pochodzące od środków komunikacji i transportu, hałasy tzw. osiedlowe (np. bawiące się dzieci), komunalne (np. pochodzące z obiektów sportowych i rekreacyjnych), przemysłowe (pochodzące od obiektów i zakładów przemysłowych);

b) hałasy przenikające z innych pomieszczeń zlokalizowanych w tych samych budynkach, których źródłem może być działalność człowieka, użytkowanie wszelkiego rodzaju urządzeń;

c) hałasy instalacyjne pochodzące od technicznego wyposażenia budynku (od instalacji wodociągowych, centralnego ogrzewania, wentylacyjnych, dźwigowych). Do tej grupy zaliczane są również hałasy przenikające do pomieszczeń chronionych z wszelkiego rodzaju pomieszczeń usługowych, związanych i niezwiązanych z funkcją danego budynku.

Przenikanie hałasów do pomieszczeń w budynkach odbywa się dwiema drogami:

a) za pośrednictwem ośrodka powietrznego, w postaci tzw. dźwięków powietrznych rozprzestrzeniających się w tym ośrodku; do grupy dźwięków przestrzennych zaliczane są również fale akustyczne przenikające przez przegrody otaczające rozpatrywane pomieszczenie, np. przez ścianę zewnętrzną budynku przy zamkniętych oknach, przez ścianę oddzielającą pomieszczenie od innych „hałaśliwych" pomieszczeń sąsiednich;

b) za pośrednictwem ośrodka stałego, w postaci dźwięków materiałowych, które następnie są wypromieniowane do pomieszczeń w postaci dźwięków powietrznych; przenikanie hałasów za pośrednictwem ośrodka stałego następuje zarówno przy występowaniu źródeł dźwięków powietrznych, jak i materiałowych.

3. DRGANIA W KONSTRUKCJACH BUDOWLANYCH

W akustyce budowlanej rozróżniamy dodatkowo pojęcie dźwięki uderzeniowe. Powstają one pod wpływem uderzenia w przegrodę budowlaną (najczęściej w strop podczas chodzenia, przesuwania mebli, toczenia przedmiotów) i rozprzestrzeniają się w postaci dźwięków materiałowych i powietrznych o długości fali:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{1}$$

gdzie: λ - długość fali dźwiękowej [m], c - prędkość dźwięku [m/s], f - częstotliwość dźwięku [Hz], T - okres drgań [s].

Częstotliwość fali dźwiękowej f jest to liczba okresów drgań w ciągu 1 sekundy. *Długość fali dźwiękowej* λ jest to odległość, jaką przebywa fala akustyczna w czasie jednego okresu drgań. Od długości fali akustycznej zależy charakter wielu zjawisk akustycznych, np. ugięcie fali. W ciałach stałych mogą się rozchodzić wszystkie rodzaje fal akustycznych. Prędkość ich zależna jest nie tylko od rodzaju fali, ale również od cech sprężystych materiału i kształtu elementu.

Stosunek natężenia dźwięku fali pochłoniętej I_p (energii pochłoniętej E_p), przy przenikaniu do drugiego ośrodka, do natężenia dźwięku fali padającej I_{pad} (energii padającej E_{pad}) na granicę tych ośrodków w polu fali płaskiej określa się jako *współczynnik pochłaniania dźwięku:*

$$\alpha = \frac{I_p}{I_{pad}} = \frac{E_p}{E_{pad}} \tag{2}$$

Miarą izolacyjności akustycznej właściwej przegrody jest stosunek całkowitej energii akustycznej padającej na przegrodę do całkowitej energii akustycznej przenikającej przez przegrodę:

$$R_w = 10\lg\frac{E_1}{E_2} = 10\lg\frac{1}{\tau} \tag{3}$$

gdzie: τ - współczynnik przenikalności.

Izolacyjność właściwa przegrody rozdzielającej dwa pomieszczenia jest wyznaczana z zależności:

$$R_w = L_1 - L_2 + 10\lg\frac{S}{A} \tag{4}$$

gdzie: L_1 - poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym, L_2 - poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym, S - powierzchnia przegrody, A - chłonność akustyczna w m^2.

Chłonność akustyczna pomieszczenia A jest obliczana ze wzoru empirycznego:

$$A = \frac{0{,}16V}{T} \tag{5}$$

gdzie: V - objętość pomieszczenia za przegrodą, T - czas pogłosu.

Izolacyjność akustyczna od dźwięków uderzeniowych jest parametrem określającym własności akustyczne stropów w odniesieniu do przenikania przez nie energii akustycznej przy mechanicznym pobudzeniu stropu do drgań.

Określa się ją za pomocą poziomu uderzeniowego $L_{ur,}$ wytwarzającego się pod stropem:

$$L_{ur} = L_u - 10\lg\frac{A_0}{A} + 10\lg n \qquad (6)$$

gdzie: L_{ur} - poziom uderzeniowy, L_u - poziom pod stropem, A - chłonność akustyczna, n - stała filtracji.

Poziom uderzeniowy określa się w postaci charakterystyki poziomu uderzeniowego w funkcji częstotliwości w mierzonych pasmach.

Dynamiczną sztywność warstwy materiału określa się metodą rezonansową, która polega na pobudzaniu obciążonej próbki materiału do drgań i znajdowaniu częstotliwości własnej układu. Sztywność próbki k określa się na podstawie częstotliwości rezonansowej układu z zależności:

$$k = \varpi^2 M \qquad (7)$$

Sztywność dynamiczną warstwy materiału s oblicza się ze sztywności k badanej próbki z wyrażenia:

$$s = \frac{k}{S} \qquad (8)$$

gdzie: S - powierzchnia mierzonej próbki.

Przegrody budowlane powinny się charakteryzow własnościami:
a) ściany wewnętrzne i zewnętrzne, okna i drzwi - izolacyjnością od dźwięków powietrznych;
b) stropy - izolacyjnością od dźwięków powietrznych i materiałowych.

Przegrody pojedyncze

Przenikanie dźwięku przez przegrody jest zjawiskiem skomplikowanym. Ogólnie można stwierdzić, że przenikanie energii akustycznej przez przegrodę odbywa się głównie wskutek drgań przegrody jako całości i może być zwiększone przez nieszczelności samej konstrukcji lub materiału. Drgania przegrody zależą nie tylko od cech samej przegrody, ale również od sposobu pobudzania, co w przypadku pola akustycznego wiąże się z kątem padania fali dźwiękowej.

Izolacyjność akustyczną płyt przy prostopadłym padaniu fali akustycznej określa się wzorem:

$$R = 20\lg\frac{\omega M}{2\rho_0 c} \qquad (9)$$

ω - częstotliwość kątowa dźwięku [Hz],
M - masa przegrody przypadająca na jednostkę powierzchni [kg/m^2],
ρ_o - gęstość właściwa powietrza [kg/m^3],
c - prędkość dźwięku w powietrzu [m/s].

Fala akustyczna padająca na przegrodę pod kątem 0 może być rozłożona na dwie składowe. W wyniku działania składowej równoległej do przegrody, w przegrodzie powstają fale giętne. Jeżeli prędkość fal giętnych c_g w płycie jest równa składowej prędkości fali dźwiękowej padającej na płytę pod kątem 0, to znaczy, jeżeli:

$$\frac{c}{\sin\theta} = Cg \qquad (10)$$

to między ośrodkiem, a przegrodą zachodzi zjawisko „rezonansu przestrzennego", tzw. zjawisko koincydencji. W wyniku tego następuje wzrost drgań przegrody, co prowadzi do znacznego obniżenia izolacyjności. Zjawisko koincydencji może występować przy każdej częstotliwości powyżej częstotliwości granicznej przegrody wyrażonej wzorem:

$$f_{gr} = \frac{c^2}{2\prod}\sqrt{\frac{M}{B}} \qquad (11)$$

gdzie: c - prędkość dźwięku w powietrzu [m/s], M - masa jednostkowa przegrody [kg/m^2], B - sztywność przegrody [N*m^2].

Charakterystyki izolacyjności akustycznej ścian

W charakterystykach izolacyjności akustycznej ścian uwidaczniają się wszystkie zjawiska opisane powyżej. Można jednak zauważyć, że w przypadku płyt cienkich kształt krzywej izolacyjności jest bardziej zbliżony do teoretycznego niż w przypadku płyt grubych. Związane jest to z dodatkowym, nie ujętym we wzorach teoretycznych, wpływem grubości i sztywności przegrody [4].

Właściwości akustyczne konstrukcji stropowych

Stropy, w odróżnieniu od ścian, powinny charakteryzować się nie tylko odpornością na przenikanie dźwięków powietrznych, ale również zgodnymi normami, tłumieniem dźwięków uderzeniowych. Izolacyjność akustyczna właściwa płyt stropowych pełnych i kanałowych podlega empirycznemu prawu masy, przy czym związek miedzy masą stropu a ważonym wskaźnikiem izolacyjności akustycznej właściwej jest różny dla płyt pełnych i kanałowych. Tłumienie dźwięków uderzeniowych przez płytę stropową jest uzależnione od masy stropu, grubości i konstrukcji. Dla płyt pełnych poziom uderzeniowy po stropem określa wyrażenie:

$$L = 10\lg\frac{f^{0,5}}{S\chi^{1,25}d^{3,5}E^{0,75}\eta}\ [\text{dB}] \qquad (12)$$

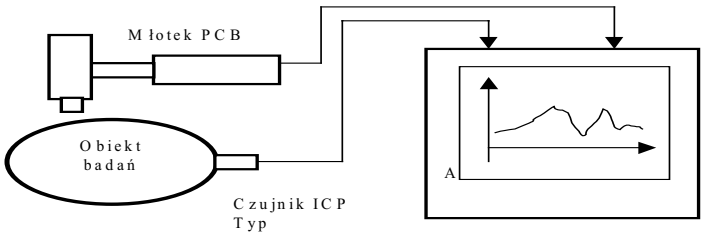
gdzie: S - powierzchnia stropu [m^2],
d - grubość stropu [m],
χ - gęstość materiału [kg/m^3],
E - moduł sprężystości [N/m^2],
η - współczynnik strat wewnętrznych,
f - częstotliwość [Hz].

4. ANALIZA MODALNA W BADANIU STROPÓW

Do badań układów złożonych, często nieliniowych, używa się dla potrzeb identyfikacji złożonej metod analizy modalnej. W wyniku przeprowadzenia analizy modalnej otrzymuje się model modalny, który stanowi uporządkowany *zbiór częstości własnych*, odpowiadających im *współczynników tłumienia* oraz *postaci drgań własnych*. Na podstawie znajomości modelu modalnego można przewidzieć reakcje obiektu na dowolne zaburzenie, zarówno w dziedzinie czasu, jak i częstotliwości. W większości praktycznych zastosowań wyróżnia się następujące rodzaje analizy modalnej:

- **teoretyczną**, która wymaga rozwiązania zagadnienia własnego dla przyjętego modelu strukturalnego badanego obiektu,
- **eksperymentalną**, wymagającą sterowanego eksperymentu identyfikacyjnego, podczas którego wymusza się ruch obiektu (np. drgania) oraz dokonuje pomiaru wymuszenia i pomiaru odpowiedzi w wielu punktach pomiarowych, rozmieszczonych na badanym obiekcie,
- **eksploatacyjną**, opierającą się na eksperymencie eksploatacyjnym, w którym dokonuje się pomiarów tylko odpowiedzi układu w wielu punktach pomiarowych, podczas gdy ruch obiektu spowodowany jest rzeczywistymi wymuszeniami eksploatacyjnymi.

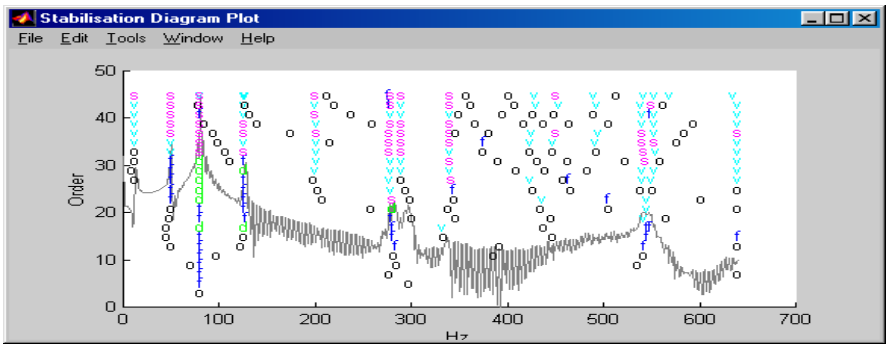
W badaniach jakości stropów budowlanych dynamiczna sztywność materiału można określać przy wykorzystaniu eksperymentalnej analizy modalnej. Eksperyment identyfikacyjny w eksperymentalnej analizie modalnej (rys.1) polega na wymuszeniu drgań obiektu przy jednoczesnym pomiarze siły wymuszającej i odpowiedzi układu, najczęściej w postaci widma przyspieszeń drgań.



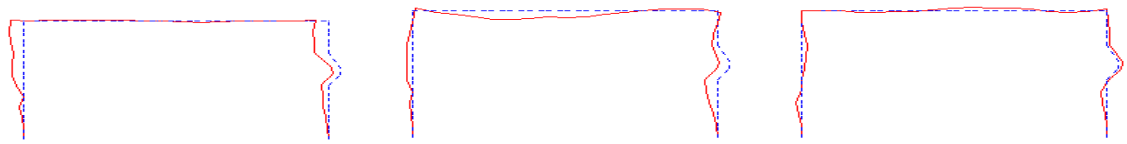
Rys.1. Zestaw aparatury użytej do badań w eksperymentalnej analizie modalnej.

Do identyfikacji modelu modalnego obiektu danymi wejściowymi do systemu są przebiegi czasowe drgań mechanicznych, występujących w węzłowych punktach obiektu, odniesione do jednego z nich (o najwyższej amplitudzie).

Wyniki pomiarów oraz model geometryczny wykorzystano w systemie LMS CADA-PC do estymacji parametrów modelu modalnego. Na kolejnym rys. 2 przedstawiono przykładowy diagram stabilizacyjny. Możliwa jest obserwacja animacji drgań modelu dla wybranych częstości własnych. Na rys. 3 przedstawione są przykładowe postacie drgań dla wybranych częstości własnych.



Rys. 2. Diagram stabilizacyjny
Oznaczenia: o - biegun niestabilny, f - biegun ma stałą częstość, v -biegun ma stałą częstość i wektor modalny, s -biegun stabilny



12,47 Hz 80,85 Hz 340,43 Hz

Rys. 3 Przykładowe postacie drgań dla wybranych częstości własnych

4. UWAGI KOŃCOWE

Przedstawione wyniki rozważań wskazują na fakt, iż istnieje możliwość rozróżniania własności materiałowych, odróżniających od siebie różne materiały budowlane, co ma wpływ na możliwość rozróżniania własności izolacyjnych. Wymaga to jednak badań stanowiskowych w eksperymentalnej analizie modalnej na różnych układach konstrukcji, a także badań na rzeczywistych obiektach budowlanych.

LITERATURA

[1] Chmielewski T., Zembaty Z.: Podstawy dynamiki budowli. ARKADY, Warszawa 1998.
[2] Godyeki–Ćwirko T., Mielczarek Z.: O badaniach i stosowaniu konstrukcji drewniano-żelbetowych. Inżynieria i Budownictwo, 5/1997.
[3] Katalog budownictwa szkieletowego. Gdańsk 1999.
[4] Sadowski J.: Podstawy izolacyjności akustycznej ustrojów. PWN, Warszawa, 1973.
[5] Schlapfer R.: Schallschutz mit Schwingung solampfern Bauen mit Holz. 5/2004.
[6] Żółtowski M.: Identyfikacja zagrożeń drganiowych obiektów budowlanych. Materiały konferencyjne, 2005.

Mgr inż. Mariusz ŻÓŁTOWSKI jest doktorantem Politechniki Szczecińskiej, na kierunku Budownictwo. Jest absolwentem Wydziału Nauk Technicznych - kierunku Budownictwo, Uniwersytetu Warmińsko - Mazurskiego. Zajmuje się zagadnieniami izolacyjności stropów budowlanych w ujęciu modelowania i badania ich dynamiki. Jest autorem lub współautorem trzech publikacji naukowych.

DIAGNOSTYCZNE ASPEKTY BADANIA OBRABIAREK PRACĄ

Michał STYP-REKOWSKI

Wydział Mechaniczny Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy
al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: msr@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

Badania diagnostyczne wszelkich maszyn mogą mieć bardzo duże znaczenie dla procesów zużywania zachodzących podczas ich eksploatowania. Procesy diagnozowania prowadzi się w róż-nych fazach istnienia obiektów technicznych, lecz szczególnie duże znaczenie ma diagnostyka eksploatacyjna. Decyduje ona o rezultatach funkcjonowania maszyn a w przypadku obrabiarek skrawających determinuje podstawową cechę jakościową produktów finalnych obróbki skrawa-niem – dokładność wymiarowo-kształtową wytwarzanych elementów. Rozważania przedstawione w pracy dotyczą możliwości wykorzystania znormalizowanych badań dokładności obrabiarek do celów diagnostycznych. Wykazano, że na podstawie wyników badań dokładności obrabiarek pra-cą możliwe jest określenie ich bieżącego stanu technicznego. Istnieje także możliwość progno-zowania dalszej pracy obrabiarek.

Słowa kluczowe: obrabiarka, dokładność, badanie pracą, diagnozowanie, prognozowanie

DIAGNOSTIC ASPECTS OF TESTING BY MACHINING OF TOOL MACHINES

Summary

Diagnostic tests of all types of machines have great meaning for running of wear processes accompanying to machine operation. Diagnostic processes are led in some phases of technical objects life but especially, great meaning have operating diagnosis. It decides about results of machine running and in the case of machine tools it determined basic qualitative feature of final product of machining – accuracy of produced elements. The considerations presented in this paper concern to possibility of application of standardized tests of machine tools accuracy to diagnostics objects. It is indicated that on the base of results of machine tools accuracy tests is possible to determine their technical state. Moreover, there is possibility of forecasting of further operating of machine tools.

Key words: machine tool, accuracy, accuracy tests of machining, diagnosis, forecasting

1. WPROWADZENIE

Podstawowym celem badań diagnostycznych wszelkich maszyn jest ocena ich bieżącego stanu technicznego, z uwzględnieniem przyczyn zaistnienia tego stanu oraz prognoza odnośnie dalszych jego zmian. Stan maszyny z kolei determinuje możliwości spełniania przez nią zadań, dla których została zaprojektowana i wykonana. Istotne jest przy tym, aby zadania realizowane były z założoną dokładnością (geometryczną kinematyczną). Przedstawione czynniki jednoznacznie wskazują dużą rangę diagnostyki maszyn i znaczenie badań w tym zakresie.

Obrabiarki skrawające stanowią jedną z grup maszyn technologicznych bardzo licznie użytkowanych w przemyśle wszelkich praktycznie branż. Usytuowanie tych maszyn czyni więc ich diagnozowanie istotnym zagadnieniem a badania dokładności – zasadniczym elementem diagnostyki obrabiarek. Przytoczone argumenty spowodowały, że ta grupa maszyn technologicznych stanowi zbiór będący przedmiotem dalszych badań i analiz.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono rozważania dotyczące możliwości i zakresu wykorzystania badania obrabiarek pracą jako praktycznych badań diagnostycznych. Wiele elementów wspólnych potwierdza hipotetyczne możliwości praktycznego zastosowania omawianych badań w diagnostyce, zwłaszcza eksploatacyjnej.

2. ZESPOŁY FUNKCJONALNE OBRABIAREK

Podstawowymi zespołami obrabiarek, realizującymi ich zasadnicze funkcje są następujące zespoły:

- napędowy,
- przenoszenia napędu,
- wrzecionowy,
- sterowania,
- przemieszczania narzędzia lub przedmiotu obrabianego (ruchy robocze),
- nośny.

Występują one w zasadzie w każdej obrabiarce, na każdym etapie jej rozwoju, chociaż

w poszczególnych rodzajach mogą być zróżnicowane.

W zależności od rodzaju obrabiarki oraz stopnia złożoności jej struktury, w obrabiarkach skrawających występują także inne zespoły spełniające głównie funkcje pomocnicze, np.:

- magazyny i podajniki narzędzi,
- monitorowania stanu narzędzia,
- podajniki materiału lub obrabianych elementów (wraz z układami orientującymi),
- cieczy obróbkowych (podające i odbierające ciecze technologiczne, umożliwiające ich regenerację i recyrkulację), itp.

Działanie wszystkich wymienionych zespołów wpływa na stan techniczny obrabiarki. W zależności od różnych czynników, np. rodzaju obrabiarki, złożoności jej budowy, wpływ ten jest zróżnicowany. W każdym jednak przypadku istotny będzie stan podstawowych zespołów: nośnego, wrzecionowego oraz przemieszczania narzędzi i przedmiotu obrabianego. Zespoły te występują we wszystkich rodzajach obrabiarek, mają także bezpośredni wpływ na rezultat ich pracy, czyli dokładność produktu finalnego.

3. WIELKOŚCI OPISUJĄCE STAN ZESPOŁÓW OBRABIAREK

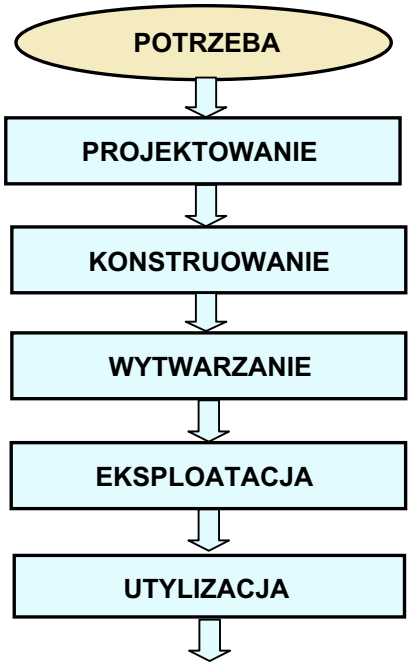
Rozpatrując zadania i funkcje wyżej wymienionych najistotniejszych zespołów obrabiarek można ustalić ich hierarchię. Przy kryteriach diagnostycznych jest ona następująca:

- korpus – zespół nośny,
- wrzeciennik,
- zespół przemieszczania narzędzi.

Dla każdego z wymienionych zespołów inne będą wielkości istotne dla opisu ich bieżącego stanu, i które mogą być przydatne w procesie diagnozowania obrabiarek a także poszczególnych ich zespołów.

3.1. Zespół nośny

Podstawową cechą dobrze skonstruowanego korpusu jest jego sztywność i niezmienność wymiarów w czasie. Ponieważ sztywność korpusu wykonanego z określonego tworzywa konstrukcyjnego zależy głównie od jego geometrycznych cech konstrukcyjnych (odpowiednie przekroje ścianek, wzmocnienia w miejscach występowania dużych obciążeń) cechy te korpus nabywa na etapie projektowania i konstruowania [1]. Dla jej zapewnienia istotny jest także etap wytwarzania gdyż struktura materiału (w przypadku korpusów odlewanych) oraz wytrzymałość połączeń elementów korpusów spawanych jest kształtowana właśnie w tym etapie istnienia wytworu.



Rys. 1. Fazy istnienia wytworu technicznego

We współczesnych obrabiarkach korpus bardzo często stanowi zbiór elementów połączonych ze sobą w sposób rozbieralny. Wynika to przede wszystkim z optymalizacji konstrukcyjnej korpusu przy kryteriach technologicznych. W takim przypadku sztywność korpusu jako całości zależy dodatkowo od połączeń – ich sztywności i trwałości skuteczności.

Drugą z pożądanych cech korpusów – niezmienność wymiarową, określaną w funkcji czasu i temperatury, kształtuje się w fazie projektowania. Odbywa się to poprzez dobór tworzywa konstrukcyjnego spełniającego powyższe wymagania, oczywiście oprócz innych, wynikających z założeń konstrukcyjnych i eksploatacyjnych.

Omówione powyżej cechy korpusów wszelkich maszyn technologicznych stanowią podstawowe wielkości, które determinują dokładność wytwarzanych na nich elementów a tym samym całych maszyn, których strukturę tworzą. Wielkości te można zatem uznać za diagnostyczne elementy etapu projektowania i konstruowania wykorzystywane w diagnostyce konstrukcyjnej [9].

3.2. Zespół wrzecionowy

Jest to zespół funkcjonalny obrabiarki o kluczowym znaczeniu dla jej możliwości technologicznych. Umożliwia nadawanie ruchu obrotowego przedmiotowi obrabianemu lub narzędziu, co z kolei bezpośrednio determinuje rodzaj i wydajność obróbki, jaką na danej obrabiarce można realizować a pośrednio – jakość wykonywanych elementów.

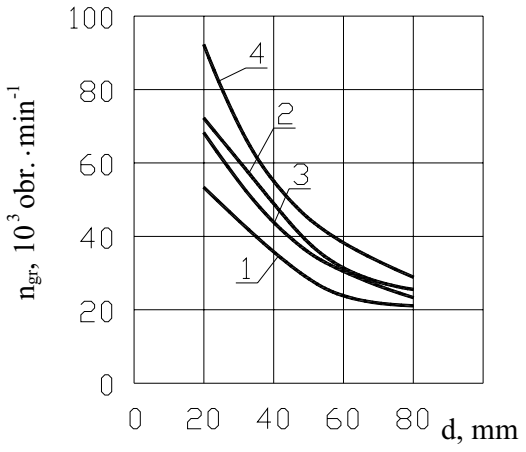
Realizowane funkcje zespołu wrzecionowego wyznaczają wielkości istotne dla prawidłowego

działania wrzeciennika. Są to: prędkość obrotowa wrzeciona, jego dokładność ruchowa oraz sztywność zespołu.

Maksymalna prędkość obrotowa, z jaką może obracać się wrzeciono oraz dokładność tego ruchu zależy przede wszystkim od zastosowanych węzłów łożyskowych. Rodzaj łożysk (ślizgowe, toczne), typ (hydrostatyczne, hydrodynamiczne bądź kulkowe, wałeczkowe itp.) oraz odmiana konstrukcyjna (poprzeczne, skośne, wzdłużne, jedno- lub wielorzędowe) wyznaczają obszary prawidłowego działania węzłów a tym samym całego wrzeciennika.

Porównując użytkowe cechy typowych łożysk ślizgowych i tocznych widoczne są większe możliwości wirowania z dużymi prędkościami łożysk hydrostatycznych lub hydrodynamicznych. W obydwóch przypadkach mniejsza jest jednak ich sztywność. Zwiększenie granicznych (maksymalnych) prędkości obrotowych jest możliwe stosując specjalne odmiany konstrukcyjne łożysk tocznych oraz odpowiednie do potrzeb metody ich smarowania [7]. Porównanie wspomnianych relacji przedstawiono na rys. 2.

W przypadku wirujących wałów bicie jest funkcją sztywności ich podparcia oraz niewyrównoważenia wynikającego z odchyłek wykonawczych. Aby zminimalizować niekorzystny wpływ bicia poprzecznego i wzdłużnego na dokładność obrabianych elementów, wrzeciona obrabiarek łożyskowane są za pomocą specjalnych wrzecionowych łożysk tocznych [7].



Rys. 2. Porównanie granicznych prędkości obrotowych łożysk typowych (1 i 3) oraz specjalnych (2 i 4) [7]

Charakteryzują się one zwiększonymi, w stosunku do łożysk typowych, graniczną prędkością obrotową i sztywnością. Uzyskuje się to w rezultacie zastosowania innych tworzyw konstrukcyjnych (o mniejszej gęstości) oraz większej dokładności wykonania elementów łożysk. Cechy te kształtuje się w fazie konstruowania obrabiarek, można więc działania te uznać za elementy diagnostyki konstrukcyjnej.

3.3. Zespół przemieszczania narzędzi

Warunkiem koniecznym do zaistnienia obróbki na obrabiarkach skrawających jest przemieszczanie się narzędzia względem obrabianego przedmiotu. W zależności od rodzaju obrabiarki ruch wykonuje narzędzie lub przedmiot obrabiany a w szczególnych przypadkach występują one jednocześnie. Z tego stwierdzenia wynika istotne znaczenie zespołu przemieszczającego narzędzie lub/i obrabiany przedmiot w procesie obróbki. Ruch ten powinien charakteryzować się następującymi cechami:

- jednostajnością,
- dokładnością ruchu po założonej trajektorii,
- małymi oporami.

Cechy te uzyskuje się stosując w zespole prowadnice toczne. Oprócz wymienionych cech ruchowych prowadnice toczne charakteryzują się dużymi:

- sztywnością oraz
- trwałością.

W związku z dużym zapotrzebowaniem na tego typu prowadnice, elementy służące do ich wykonania zostały, podobnie jak łożyska toczne, zunifikowane głównie pod względem geometrycznych cech konstrukcyjnych oraz cech użytkowych.

Decyzje dotyczące zastosowania określonego rodzaju prowadnic podejmuje się na etapie konstruowania. W znaczący sposób można zwiększyć niezawodność prowadnic w wyniku działań obsługowych w fazie eksploatowania. Działania diagnostyczne zespołu przemieszczania narzędzi stanowią więc sumę diagnostyki konstrukcyjnej i eksploatacyjnej, przy czym istotność każdej ze składowych jest porównywalna.

Analizując zespół przemieszczania narzędzi lub/i przedmiotu obrabianego w aspekcie diagnozowania obrabiarki jako całości, nie można zidentyfikować wielkości, które można by bezpośrednio przyjąć jako sygnały diagnostyczne a jednak działanie tego zespołu determinuje bardzo silnie stan końcowego rezultatu obróbki, jakim jest produkt finalny.

W takim przypadku jako badania diagnostyczne bardzo przydatne okazują się badania dokładności obrabiarki pracą polegające na wykonaniu przedmiotów próbnych o ściśle zdefiniowanej postaci konstrukcyjnej i porównaniu ich geometrycznych cech konstrukcyjnych z wartościami nominalnymi. Takie porównanie pozwala wnioskować o aktualnym stanie technicznym obrabiarki a rezultaty cyklu takich badań przeprowadzonych w pewnych odstępach czasowych umożliwiają także prognozowanie stanu obrabiarki.

4. RELACJE MIĘDZY STANEM POSZCZEGÓLNYCH ZESPOŁÓW A REZULTATAMI OBRÓBKI – BADANIE OBRABIAREK PRACĄ

Stan zespołów funkcjonalnych obrabiarek bezpośrednio wpływa na ich możliwości obróbkowe, zarówno zakresie dokładności obrabianych elementów jak i wydajności obróbki. Ze względów oczywistych szczególnie istotny jest pierwszy z wymienionych aspektów stąd też duża waga, jaką przykłada się do badań obrabiarek w tym zakresie. Aby ujednolicić wymagania stawiane poszczególnym rodzajom obrabiarek wytwarzanych przez różnych producentów procedury badań dokładności znormalizowano. Zawarte są one w normach krajowych [3, 4, 5] i międzynarodowych [2], przy czym nie wymieniono tutaj wszystkich norm dotyczących tego zagadnienia, lecz tylko te, które w niniejszym opracowaniu zostały wykorzystane.

Zakres znormalizowanych metod badania dokładności obrabiarek obejmuje:

- pomiary geometryczne samych obrabiarek,
- próbę pracą.

Pomiary geometryczne polegają na sprawdzaniu wymiarów, kształtów, położeń oraz względnych ruchów zasadniczych zespołów i części składowych w odniesieniu do nominalnych linii i powierzchni teoretycznych. Wyniki badań mogą stanowić niewątpliwie miarę jakości obrabiarki. Dla celów diagnostycznych wyniki te mają jednak mniejsze znaczenie gdyż na ogół nie przekładają się bezpośrednio na dokładność obrabianych przedmiotów.

Drugi rodzaj badań obrabiarek – próba pracą ma odmienny charakter. Polegają one na obróbce przedmiotów próbnych a następnie porównaniu rezultatów obróbki, a więc uzyskanych wartości geometrycznych cech konstrukcyjnych z ich wartościami nominalnymi. Wyniki badań rozpatruje się w układzie dwuwartościowym: dobre – niedobre, przy czym pierwszy przypadek zachodzi, gdy między odchyłką stwierdzoną T_{rzecz} a odchyłką dopuszczalną T_{dop} zachodzi relacja:

$$T_{rzecz} \le T_{dop} \tag{1}$$

W przypadku, gdy zachodzi przypadek odmienny, a więc gdy:

$$T_{rzecz} > T_{dop} \tag{2}$$

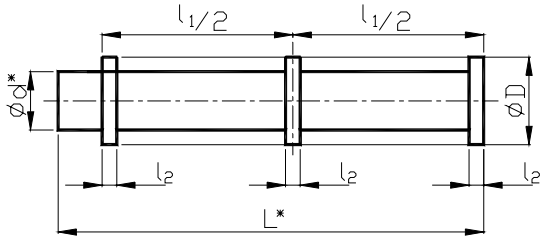
mamy do czynienia z błędem wykonania a więc przedmiotem wykonanym nieprawidłowo.

Rezultaty tych badań można wykorzystać do celów diagnostycznych gdyż na podstawie uzyskanych wyników jest możliwe bezpośrednie wnioskowanie o stanie obrabiarki. W pierwszym z przytoczonych przypadków obrabiarka jest w stanie zdatnym, natomiast w drugim – w stanie niezdatnym do realizacji postawionych zadań (o ile nie stwierdzono innych przyczyn nieprawidłowego wykonania elementu próbnego).

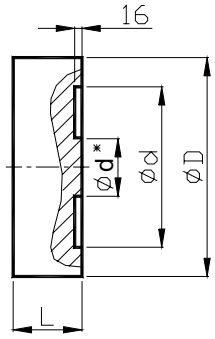
Postać konstrukcyjna i układ wymiarów opisujących przedmioty próbne dla poszczególnych rodzajów obrabiarek są różne. Na rys. 3 przedstawiono przedmioty próbne wykorzystywane w badaniach pracą tokarek kłowych a na rys. 4 przedmiot służący do badania pracą frezarek wspornikowych.

Dla różnych odmian wymiarowych tokarek lub frezarek poszczególne wielkości przytoczone na rysunku mają różne wartości; różne są także ich wzajemne relacje. Normy [4, 5] zawierają także wartości odchyłek dopuszczalnych wymiarów uzyskanych w wyniku obróbki na poszczególnych rodzajach obrabiarek.

a)



b)



Rys. 3. Geometryczne cechy konstrukcyjne przedmiotów próbnych używanych w badaniach tokarek kłowych: a) przy wyznaczaniu odchyłek okrągłości i walcowości, b) do określania odchyłki płaskości [4]

Wymiary przedmiotów próbnych nie są w normach ściśle określone, podane są jedynie przedziały wymiarów, w których powinny się one zawierać. Dla przedmiotu próbnego przedstawionego na rys. 3a są one następujące:

$$\begin{gathered} D > 0{,}125\ D_a \\ 0{,}5\ D_a \le l_1 \le 500 \\ l_2 \le 20 \\ L^* \approx l_1 + 0{,}5\ D \\ d^* \approx D - 2\ l_2 \end{gathered} \tag{3}$$

Odpowiednio, dla przedmiotu próbnego przedstawionego na rys. 3b wymiary i ich relacje są następujące:

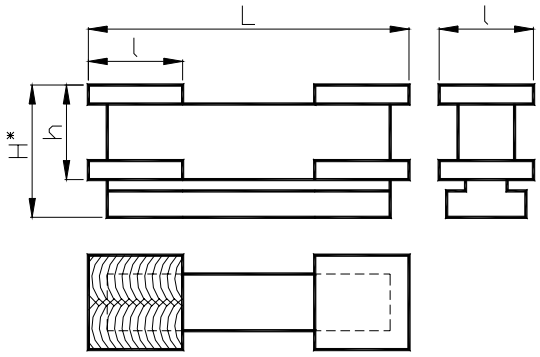
$$D \geq 0{,}5\ D_a$$
$$d = D - 40 \qquad (4)$$
$$L \leq 0{,}125\ D_a$$
$$d^* \approx 0{,}33\ d$$

gdzie: D_a – max. średnica przelotu nad łożem.

Wymiary oznaczone (*) nie są w normie podane a przytoczone powyżej zależności są propozycjami autora wynikającymi z potrzeby zapewnienia elementom niezbędnej funkcjonalności.

W przypadku przedmiotu próbnego do badania dokładności frezarki pracą (rys. 4) jego wymiary oraz ich zakresy wyrażone są poniższym układem równań i nierówności (5). Podobnie jak powyżej, gwiazdką (*) oznaczono równanie pozwalające określić jeden z wymiarów przedmiotu próbnego nie określony ściśle w cytowanej normie. Jako p_w oznaczano w nich posuw wzdłużny stołu frezarki).

$$L = 0{,}5\ p_w$$
$$H^* = h + 20$$
$$100 \geq L \geq 0{,}125\ p_w \quad \text{dla } L \leq 500$$
$$150 \geq L \geq 0{,}125\ p_w \quad \text{dla } 150 \geq L \geq 1000 \qquad (5)$$
$$200 \geq L \geq 0{,}125\ p_w \quad \text{dla } L > 1000$$
$$h = l$$
$$l_{min} = 50$$



Rys. 4. Wymiary przedmiotu próbnego wykorzystywanego w badaniu dokładności pracą pionowych frezarek wspornikowych [5]

Centra obróbkowe, występujące coraz częściej w parkach maszynowych przedsiębiorstw różnych branż, łączą możliwości obróbkowe kilku obrabiarek różnego typu. Postać konstrukcyjna przedmiotów próbnych służących do badania pracą centrum jest znacznie bardziej skomplikowana gdyż powinny one umożliwić badanie wszystkich elementów istotnych dla wnioskowania diagnostycznego kilku obrabia-rek, które mają możliwości obróbkowe równoważne do centrum [3].

Na podstawie stwierdzonych odchyłek wykonawczych można wnioskować także o stanie poszczególnych zespołów funkcjonalnych obrabiarek, przy czym niezbędna jest do tego dobra znajomość rozwiązań konstrukcyjnych zastosowanych w badanej obrabiarce. Duże wartości odchyłki okrągłości elementu o średnicy D na rys. 3 świadczyć będą o biciu wrzeciona, czego przyczyną mogą być luzy w węzłach łożyskowych wrzeciennika.

Odchyłka prostopadłości płaszczyzn stwierdzona po obróbce przedmiotu próbnego(rys. 4) na frezarce świadczyć będzie z kolei o niedokładnościach występujących w zespole przemieszczania narzędzia lub przedmiotu obrabianego, których przyczyną mogą być luzy w prowadnicach.

W cytowanych normach przedmiotowych dla różnych obrabiarek [3, 4, 5] podane są także warunki obróbki przedmiotów próbnych. W normie [2] zawarte są ponadto informacje dotyczące przygotowania obrabiarki do prób oraz sposób przeprowadzania pomiarów. Ten zbiór informacji łącznie z wynikami badań jest niezbędny do wnioskowania o stanie obrabiarki. Jednolite warunki badań są także niezbędne do prognozowania odnośnie dalszej pracy obrabiarki.

5. PROGNOZOWANIE STANU OBRABIAREK

Stwierdzono wcześniej, że poza określeniem aktualnego (chwilowego) stanu maszyny działania diagnostyczne powinny obejmować także elementy prognostyczne odnośnie dwóch podstawowych zagadnień:

- terminu kolejnych badań diagnostycznych,
- czasu dalszej skutecznej pracy maszyny.

O ile więc zadanie diagnostyczne stanowi następującą sekwencję działań [wg 8]:

określenie chwilowej wartości sygnału diagnostycznego
↓
identyfikacja bieżącego stanu maszyny

to uwzględnienie w diagnostyce zadań prognostycznych powoduje zmianę (rozszerzenie) powyższej sekwencji do postaci:

historia sygnału diagnostycznego
↓
wyznaczenie prognozowanej wartości sygnału diagnostycznego
↓
określenie prognozowanego stanu maszyny

Realizacja powyższych sekwencji jest możliwa wykorzystując do celów diagnostycznych przedstawione wyżej badania obrabiarek skrawających pracą. O ile pierwsza z nich wymaga przeprowa-

dzenia pojedynczego ciągu badań to w drugim przypadku niezbędne jest przeprowadzenie cyklu badań, przy wyznaczonej ich częstotliwości tak, aby na podstawie wyników można było ekstrapolować wnioskowanie diagnostyczne.

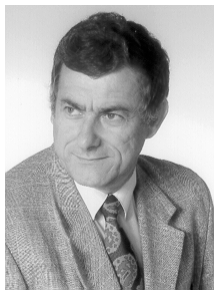
Uwzględniając różnorodność wymuszeń zewnętrznych oddziałujących na obrabiarki wydaje się, że dla każdego rodzaju obrabiarek skrawających (tokarki, szlifierki itp.) częstotliwość ta będzie inna. Na podstawie znajomości mechanizmów typowych procesów zużywania można ponadto stwierdzić, że częstotliwość ta powinna być zróżnicowana dla poszczególnych etapów istnienia maszyny.

6. PODSUMOWANIE

W rezultacie przeprowadzonych rozważań stwierdzono pełną przydatność badania pracą obrabiarek skrawających do celów diagnostycznych. Zawarte w normach dopuszczalne wartości wielkości, które można przyjąć jako symptomy stanu obrabiarek umożliwiają wnioskowanie o bieżącym stanie obrabiarki a ujednolicone warunki badań pozwalają obserwować zmiany stanu, co stanowi niezbędny czynnik do prognozowania dalszego procesu eksploatacji.

LITERATURA

[1] Dietrych J.: System i konstrukcja. WNT, Warszawa 1985.
[2] Norma ISO 230-1:1996 – Test code for machine tools – Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or finishing conditions.
[3] Norma PN-ISO 19791-7:2000 – Warunki badania centrów obróbkowych. Dokładność obrobionego przedmiotu próbnego.
[4] Norma PN-M-55651:1994 – Warunki odbioru tokarek kłowych. Badanie dokładności.
[5] Norma PN-M-55667-2:1994 – Warunki odbioru frezarek wspornikowych. Badanie dokładności.
[6] Styp-Rekowski M.: Comparison of Operational Performances of Special and Standard Rolling Bearings. W: Franek F., Kajdas Cz. (ed.): Tribology – Science and Application. Vienna Scientific Centre of the Polish Academy of Sciences, serie "Conference Proceedings and Monographs", vol. 4. Vienna 2004, pp. 302-311.
[7] Styp-Rekowski M.: Zagadnienia tribologiczne w budowie obrabiarek skrawających. Wydawn. Uczelniane ATR, Bydgoszcz 2004.
[8] Tylicki H.: Optymalizacja procesu prognozowania stanu technicznego pojazdów mechanicznych. Wydawn. Uczelniane ATR, seria Rozprawy nr 96. Bydgoszcz 1998.
[9] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wydawn. Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1996.



Dr hab. inż. Michał STYP-REKOWSKI ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn PG. Od 1972 roku jest pracownikiem Wydziału Mechanicznego Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy.

Aktualnie zatrudniony jest na stanowisku profesora nadzwyczajnego ATR jako kierownik Zakładu Obrabiarek i Robotów. Zajmuje się badaniem stanu obiektów technicznych oraz procesami zużywania tribologicznego maszyn i ich elementów, szczególnie zaś obrabiarek. W swoim dorobku ma ponad 100 publikacji z tego zakresu, zamieszczonych w źródłach krajowych i zagranicznych oraz 4 monografie a także szereg opracowań konstrukcyjnych wdrożonych w praktyce przemysłowej. Znaczący udział w dorobku stanowią ponadto prace uwzględniające problematykę wpływu działalności technicznej człowieka – zwłaszcza w zakresie obróbek mechanicznych i erozyjnych – na środowisko naturalne.

METODYKA WYZNACZANIA PROCEDURY DIAGNOZOWANIA STANU MASZYN

Henryk TYLICKI

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy
Wydział Mechaniczny
Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów
ul. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
tel. (52) 340 82 83, tylicki@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

Proces rozpoznawania stanu technicznego maszyn, w wyniku którego wyznacza się optymalny program diagnostyczny, termin i zakres obsługiwania oraz ustala przyczynę wystąpienia stanu w chwili badania maszyny jest niezbędnym warunkiem poprawnego funkcjonowania systemu eksploatacji według stanu. Użytkownik, na podstawie informacji diagnostycznej uzyskuje możliwość utrzymania maszyny w stanie zdatności. Niezbędnym elementem takiego sterowania jest algorytm sterowania, zawierający procedurę wyznaczania, obok terminu i zakresu obsługiwania maszyny oraz genezy stanu, testu diagnostycznego w chwili badania maszyny. Czynione są próby opracowania takich procedur, na podstawie których możliwe byłoby wyznaczanie optymalnego testu diagnostycznego maszyny. Sposoby ich wyznaczania, problemy z tym związane oraz propozycje ich rozwiązania przedstawia się w niniejszym opracowaniu. Opracowanie zawiera metodykę wyznaczania optymalnej procedury diagnozowania. Na podstawie badań zaproponowano niektóre elementy rozwiązania zadania optymalizacyjnego.

Słowa kluczowe: Diagnostyka techniczna, diagnozowanie stanu maszyn, optymalizacja procesu rozpoznawania stanu

THE METHODICS OF MACHINES CONDITION DIAGNOSIS

Summary

It the process of diagnostics of machines condition, it the diagnostic program, and range of service in result which was set the a term was well as establishes the cause of pronouncement in moment of investigation of machine the state it is the indispensable condition correct kelter of their system of exploitation. User, on the ground diagnostic information, it creates the master information of maintenance in state of fitness machine engine. The algorithm of steering is indispensable unit of such steering, including the procedures of marking the diagnostic program, deadline and range of service in moment of investigation the machine engine as well as origin of state. Tests of study of such procedures be acted, on the ground which possible the marking the diagnostic optimum program, optimum deadline and range of service of machine engine as well as settlement of causes of pronouncement in moment of investigation of machine state would be. The, prognosis and origin of state of machine engines essential problem of study of diagnosis is both on stage working out her construction, production and exploitation of machine. Study contains the methodology of marking the optimum procedures of machine state recognizing (diagnosis, forecasting, genesisisting). The investigations on the ground were proposed some units of solution of optimization task.

Key words: technical diagnostic, technical state diagnosing, state recognizing process optimisation

1. CHARAKTERYSTYKA ZAGADNIENIA

Rozpoznawanie stanu maszyny jest to proces, który powinien umożliwić:

a) określenie stanu technicznego w czasie bieżącym na podstawie wyników badań diagnostycznych, co umożliwia kontrolę stanu i lokalizację uszkodzeń w przypadku stanu niezdatności maszyny.
b) przewidywanie stanu maszyny w czasie przyszłym na podstawie niepełnej lub niepewnej historii wyników badań diagnostycznych, umożliwia ono oszacowanie czasu niezawodnego użytkowania maszyny lub wartości wykonanej przez nią w przyszłości pracy.
c) przewidywanie stanu maszyny w czasie przeszłym na podstawie niepełnej lub niepewnej historii wyników badań

diagnostycznych, umożliwia ono oszacowanie stanu maszyny lub wartości wykonanej przez nią w przeszłości pracy.

Problem opracowania diagnozy, prognozy i genezy stanu maszyn istotny jest zarówno na etapie opracowywania jej konstrukcji, produkcji i eksploatacji maszyny. Przystępując do wyznaczania testów kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń maszyn natrafia się na problemy, które można zakwalifikować do odpowiednich grup:

a) czy zbiór parametrów diagnostycznych jednoznacznie opisuje stan maszyny, czy jest skorelowany ze zmianą stanu maszyny, czy zawiera odpowiednią ilość informacji o stanie maszyny;
b) czy zbiór parametrów diagnostycznych jest stabilny, czy też wykazuje istotne zmiany a jeśli tak, to jaki jest charakter tych zmian w zależności od czynników wynikających z eksploatacji maszyn;
c) w jaki sposób na stabilność testu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń wpływają czynniki charakterystyczne dla eksploatacji maszyn, mianowicie: podatność diagnostyczna maszyn, wartość poziomu wiarygodności diagnozy (o którym może decydować użytkownik maszyny), zmienne warunki eksploatacji i zmienna niezawodność zespołów maszyny.

Trafne rozwiązanie tych problemów jest niezbędne do efektywnego diagnozowania stanu maszyn, a tym samym wymusza konieczność badania wrażliwości procedur optymalnego diagnozowania na powyższe czynniki. Jeżeli badanie wykazuje, że wyznaczone procedury są stabilne wówczas można je wykorzystać do wyznaczania testów kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń maszyn. W przeciwnym wypadku należy podjąć decyzję o modyfikacji założeń i ograniczeń procesu wyznaczania procedur diagnozowanie, np. poprzez świadome nieuwzględnienie czynników wywołujących niestabilność rozwiązania i tym samym zmniejszenie uniwersalności otrzymanego rozwiązania.

Proces diagnozowania stanu maszyny jest to pewien zbiór czynności, które występują w odpowiedniej kolejności [2,3].

1. Wielkościami wejściowymi są: zamierzony cel diagnostyczny, wartości symptomów, posiadane możliwości realizacji odpowiednich możliwości (metody redukcji zbioru symptomów, metody budowy testów) oraz informacje o obiekcie badań i jego otoczeniu. Wielkością wyjściową jest wynik realizacji procesu wyznaczania diagnozy.
2. Analiza zadania diagnostycznego zależy od rodzaju maszyny. W zależności od tego, jaka jest to maszyna oraz jakie jej cechy stanu są celem badania diagnostycznego, należy rozpatrzyć możliwe oddziaływania różnorodnych czynników otoczenia, a szczególnie ich wpływ na przebieg procesów zużyciowych.
3. Etap wyznaczania zbioru wartości symptomów i notacji stanów maszyn związany jest z czynnościami wyboru i redukcji informacji uzyskanych podczas diagnozowania maszyn. Konsekwencją realizacji tego etapu powinno być uzyskanie optymalnego zbioru danych w postaci wartości symptomów oraz występujących stanów w chwilach Θ_i, $\Theta_i \in (\Theta_l, \Theta_b)$.
4. Etap wyboru metody wyznaczania testu diagnostycznego jest zasadniczym elementem procesu diagnozowania. Wybór właściwej metody jest trudny, ponieważ uwarunkowany jest nie tylko dostępną liczbą danych czy informacji wyznaczających granice poznania istoty fizycznej diagnozowanych zjawisk, lecz także względami realizacyjnymi (np. przy realizacji eksperymentu biernego maszyn), które determinują, w jakich okolicznościach i przy użyciu, jakich środków będzie realizowane wyznaczanie diagnozy. Konsekwencją takiego stanu rzeczy jest konieczność podjęcia problemu wyboru metod wyznaczania testu diagnostycznego. W trakcie wyboru rozwiązania należy zwrócić uwagę na to, aby spełniały one postulaty wynikające z właściwości maszyny a przede wszystkim opierały się na małej liczbie elementów szeregu czasowego wraz z informacją o stanach maszyny oraz aby cechowała je zdolność szybkiej adaptacji do możliwych zmian obserwowanych symptomów. Istotną sprawą powinna być też możliwość algorytmizacji i możliwość sensownej interpretacji wyników procesu diagnozowania stanu maszyny.
5. Etap weryfikacji przyjętego rozwiązania polega na ocenie stopnia wiarygodności i dokładności diagnozy ocenianej według przyjętego kryterium. W praktyce przydatność metody wyznacza, przeważnie możliwy do przyjęcia, rząd wielkości błędu diagnozy.
6. Końcowym etapem realizacji komentowanych etapów procesu wyznaczania diagnozy jest ocena osiągniętych wyników, tzn. porównanie, na ile rezultaty odpowiadają zamierzonemu celowi. Konsekwencją takiej oceny powinna być decyzja o akceptacji przyjętego sposobu rozwiązania lub, jeśli rozwiązania są niezadowalające, konieczność jego modyfikacji.

Głównymi problemami pojawiającymi się przy wyznaczania procedury wyznaczania testu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń maszyn są więc:

a) sformułowanie celu diagnozowania stanu maszyny;
b) określenie zmiany stanu maszyny w czasie eksploatacji;
c) opis stanu maszyny za pomocą cech stanu oraz zależność pomiędzy cechami stanu i parametrami diagnostycznymi;
d) rozwiązanie zadania diagnozowania stanu.

Stan maszyny $W(\Theta_n)$ w chwili czasu Θ_n można scharakteryzować za pomocą zbioru wartości symptomów $s_j(\Theta)$; ej,...,m}[2,6]. Maszyna w chwili Θ_b (zadanie diagnozowania stanu maszyny) znajduje się w stanie zdatności S^0, gdy spełniony jest warunek:

$$W(\Theta_n)=W^0 \Leftrightarrow \forall(j=1,...,m)\ [\{s_{j,d}\} \le \{s_j(\Theta_b)\} \le \{s_{j,g}\}] \quad (1)$$

gdzie: $\{s_{j,d}\}$, $\{s_{j,g}\}$ - zbiory dolnych i górnych wartości granicznych symptomów.

Głównymi problemami pojawiającymi się przy rozwiązaniu tak ujętych zadań jest:

a) wybór „najlepszych" parametrów diagnostycznych opisujących aktualny stan i jego zmianę w czasie eksploatacji maszyny;
b) wyznaczenie testu diagnostycznego za pomocą „najlepszej" metody;

Użyte powyżej pojęcie „najlepsze" wiąże się z przyjęciem odpowiednich kryteriów i rozpatrzenie tych problemów w kategoriach poszukiwania rozwiązania optymalnego. Formułując zadanie optymalizacyjne posługuje się najczęściej wieloma kryteriami oceny, co wymaga rozpatrzenie tych problemów w kategoriach rozwiązania polioptymalnego dla poszczególnych zadań (optimum lokalne) lub dla zadania rozpoznawania stanu maszyny (kryterium globalne).

2. METODY REDUKCJI ZBIORU PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Parametry struktury maszyny W są wielkościami zmiennymi w czasie $W = f(\Theta)$ i w okresie eksploatacji zależą od przebiegu procesów wymuszających starzenie maszyny. Od wartości parametrów struktury zależy stan techniczny maszyny i jest przez nie zdeterminowany. Na podstawie wyników analiz literaturowych [2,3,4,6] oraz badań własnych [5] ustalono, że parametry diagnostyczne odzwierciedlają stan techniczny maszyn i zależą od zmian parametrów struktury i czasu eksploatacji maszyn.

$$Y = f(W(\Theta)) \Rightarrow Y = f(\Theta) \quad (2)$$

Przyjmując założenie o stacjonarności zmian wartości parametrów diagnostycznych można na podstawie obserwacji wartości parametrów diagnostycznych maszyn w czasie $\Theta_i \in \Theta$ wnioskować o wartościach parametrów w całym przedziale czasu (Θ_1, Θ_b), co umożliwia diagnozowanie maszyn bez wyznaczania uciążliwego, a niekiedy niemożliwego dla maszyn eksperymentu czynnego i ograniczenia się tylko do eksperymentu biernego.

Zbiór parametrów diagnostycznych Y wyróżnia się ze zbioru parametrów wyjściowych Y_{WY}, które opisują przebieg procesów wyjściowych (procesy robocze i towarzyszące), uzależnionych od stanu technicznego maszyn. Wzajemny związek parametrów struktury W i parametrów wyjściowych pozwala przy spełnieniu podanych poniżej warunków, parametry wyjściowe $y_{wy} \in Y_{wy}$ wstępnie traktować jako parametry diagnostyczne oraz określić punkty pomiarowe maszyny. Warunkami tymi są:

1. Warunek jednoznaczności – każdej wartości parametru struktury $w_i \in W$ odpowiada tylko jedna zdeterminowana wartość parametru wyjściowego $y_{wy} \in Y_{wy}$.
2. Warunek szerokości pola zmian – największa względna zmiana wartości parametru wyjściowego $y_{wy} \in Y_{wy}$ dla zadanej wartości parametru struktury $w_i \in W$.
3. Warunek dostępności pomiaru parametru wyjściowego - charakteryzuje się poprzez wskaźnik kosztu pomiaru c_i lub czasu pomiaru t_i, przy czym narzuca się minimalizację tych wskaźników .

Spełnienie przedstawionych powyżej warunków pozwala na wstępne wyróżnienie ze zbioru Y_{WY} zbioru parametrów diagnostycznych, zaś na podstawie wyników badań i ustaleń poczynionych w pracy [6], mających na celu potwierdzenie niektórych propozycji zawartych w pracach dotyczących redukcji informacji diagnostycznej [5], uważa się że wyznaczanie zbioru symptomów w procesie diagnozowania i prognozowania stanu maszyn powinno uwzględniać:

a) zdolność odwzorowania zmian stanu maszyny w czasie eksploatacji;
b) ilość informacji o stanie maszyny;
c) odpowiednią zmienność wartości symptomów w czasie eksploatacji maszyny.

Odpowiednie algorytmy uwzględniające te postulaty zostały przestawione przykładowo jako metody. Są to:

Metoda maksymalnej wrażliwości wartości parametru diagnostycznego na zmianę stanu technicznego

Istota metody polega na tym, że ze zbioru symptomów układu lub zespołu maszyny wybiera się ten symptom, który charakteryzuje się największą wartością wskaźnika a_j, uwzględniającego zależność symptomów od stanu:

$$a_j = \sum_{i=1}^{k} M(i,j) \quad ; i=1,2,...,k;\ j=1,...,m \quad (3)$$

gdzie:

$M(i,j) \in [M(i,j)]_{k \times m}$ - element binarnej macierzy diagnostycznej układu maszyny.

Metoda maksymalnej pojemności informacyjnej symptomu

Istota metody polega na wyborze parametru diagnostycznego dostarczającego największą ilość informacji o stanie maszyny. Symptom ma tym większe znaczenie w określeniu zmiany stanu, im

silniej jest z nim skorelowany i im słabiej jest skorelowany z innymi symptomami. Zależność tę przedstawia się w postaci wskaźnika integralnej pojemności symptomu h_j, który jest modyfikacją dokonaną dla potrzeb redukcji symptomów w procesie rozpoznawania stanu podobnego wskaźnika odnoszącego się do zbioru zmiennych objaśniających model ekonometryczny:

$$h_j = \left| \frac{r_j^2}{1+\sum_{i,j=1}^{m} \left| r_{i,j} \right|} \right| \qquad (4)$$

gdzie: $r_j = r(W, y_j)$; j = 1,..., m - współczynnik korelacji między zmiennymi W (stan maszyny) i y_j
$r_{i,j} = r(y_i, y_j)$; i, j = 1,..., m; i≠j-współczynnik korelacji między zmiennymi y_i i y_j

W przypadku braku danych ze zbioru W, przy założeniu że wyznaczenie diagnozy jest realizowane w przedziale zużycia normalnego maszyny [5,6], zastępowane są wartościami $\Theta_i \in (\Theta_1, \Theta_b)$, Wówczas $r_j = r(\Theta_i, y_j)$; j=1,..., m; i=1,...,K (r_j - współczynnik korelacji między zmiennymi $\Theta_i \in (\Theta_1, \Theta_b)$ (Θ_i – czas pracy maszyny) i y_j).

3. METODY WYZNACZANIA TESTU KONTROLI STANU I LOKALIZACJI USZKODZEŃ

Złożoność układów maszyn jak i złożoność zachodzących w nich procesów powodują, że występujące zależności między parametrami diagnostycznymi a cechami stanu są z reguły zależnościami stochastycznymi. Zależności te w praktyce diagnozowania maszyn, zgodnie z teorią diagnostyki technicznej, zależnie od stopnia zakłóceń sygnałów diagnostycznych mogą być określane poprzez macierz obserwacji:

a) boolowskiej – przy małym stopniu zakłóceń wartości parametrów diagnostycznych;
b) prawdopodobieństw – przy wysokim stopniu zakłóceń wartości parametrów diagnostycznych;
c) obserwacji zmian wartości parametrów diagnostycznych w czasie eksploatacji maszyn.

Uważa się, że z uwagi na ograniczenia wynikające z trybu eksperymentu biernego, wystarczającą będzie analiza metody macierzy obserwacji boolowskiej i metody macierzy obserwacji relacji parametr diagnostyczny – czas eksploatacji maszyn.

Macierz boolowska jest określona za pomocą zbioru relacji pomiędzy zbiorem parametrów diagnostycznych $Y = \{y_n\}; n = \overline{1, N}$ i zbiorem stanów $S = \{s_i\}; \ i = \overline{1, I}$. Zależności między stanami i parametrami przyjmują wartości:

- 1 – gdy zmiana stanu s_i powoduje zmiany wartości parametru diagnostycznego y_j;
- 0 – gdy zmiana stanu s_i nie powoduje zmiany wartości parametru diagnostycznego y_j.

W binarnej macierzy diagnostycznej y_n jest sumą logiczną parametrów stanu s_i, parametr stanu s_m natomiast jest iloczynem logicznym parametrów diagnostycznych y_i.

Metoda obserwacji relacji wartość parametru diagnostycznego – czas eksploatacji maszyny polega na określeniu macierzy obserwacji, dla różnych wartości czasu Θ_n, przy których następują uszkodzenia maszyny (odnoszące się do wyróżnionych poziomów jej dekompozycji) zmieniające wartość parametrów diagnostycznych wpływające na bezpieczeństwo pracy maszyny. Wyznaczona tak macierz obserwacji może stanowić podstawę do wyznaczenia testu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń, określenia intensywności uszkodzeń maszyny oraz wyznaczenia terminu wycofania maszyny z eksploatacji. Wartości graniczne parametrów diagnostycznych ustala się dla stanu maszyny spełniającej wymagania producenta i mają one swoje odniesienie do czasu zdatności maszyny. Zależności między stanami maszyny i parametrami diagnostycznymi, przy uwzględnieniu czasu t_n przyjmują wartości:

- 1 – gdy zmiana stanu s_i powoduje zmiany wartości parametru diagnostycznego y_j;
- 0 – gdy zmiana stanu s_i nie powoduje zmiany wartości parametru diagnostycznego y_j;

Opis i interpretacja stanów $\{s_i\}$ jest zgodna z dotychczas przyjętymi ustaleniami, przy czym dopuszcza się dla czasów (Θ_2) zbiory wieloelementowe, zaś przekroczenie wartości granicznej mierzonych parametrów diagnostycznych $\{y_j\}$ oznacza wejście zespołów maszyny w stan przyśpieszonego zużycia (Θ_3). Taka postać macierzy obserwacji wydaje się być szczególnie przydatna przy badaniach relacji stan – parametr diagnostyczny w przypadku eksperymentu bierno – czynnego lub biernego, co często ma miejsce w przypadku maszyn.

Metoda macierzy boolowskiej zapewnia wyznaczenie testu kontroli stanu D_{KS} i testu lokalizacji uszkodzeń D_{LU}. W pierwszym przypadku na podstawie macierzy binarnej M_b^d należy utworzyć macierz boolowską M_b^{KS} do kontroli stanu, w której w miejsce stanów wprowadza się podzbiór par rozróżnialnych stanów S_o, S_i, $i = \overline{1,k}$. Występujące w elementach macierzy $M_{bij}^{KS} \in M_b^{LU}$ jedynki oznaczają rozróżnialność stanu $s_i \in S$ przy pomocy parametru $y_j \in Y$, zaś zera –

nierozróżnialność. Analizując następnie macierz M_b^{LU}, do testu D_{LU} wybiera się taki parametr $y_j \in Y$, który w kolumnie posiada maksymalna liczbę jedynek. W przypadku, gdy j-ta kolumna nie zawiera samych jedynek, należy szukać brakujących jedynek w n - tej kolumnie lub w n + 1 kolumnie. W przypadku ich występowania dołącza się n – ty i n + 1 – ty parametry do testu D_{LU}. Wówczas test D_{LU} przyjmuje postać:

$$D_{KS} = \{y_i, y_n, y_{n+1}\} \quad (5)$$
$$DKS = \{dj, dn, dn+1\} \quad (6)$$

gdzie:
d_j - oznacza sprawdzenie j-tego parametru diagnostycznego

Metoda klasyfikacji stanów maszyn polega na tym, iż w wyniku wyznaczenia zbioru parametrów diagnostycznych za pomocą metody podobieństwa wartości podobieństwa stanów uzyskuje się pary relacji: stan zdatności S^0 – stany niezdatności S_i, $i = \overline{1,k}$, co pozwala określić zbiór parametrów diagnostycznych $\{y_j\}$ (w szczególnym przypadku jednoelementowy) do wyznaczenia testu D_{KS}:

$$D_{KS} = \{y_i\} \quad (7)$$
$$D_{KS} = \{d_j\} \quad (8)$$

gdzie: d_j – sprawdzenie wartości parametru y_j.

W przypadku określania elementów testu D_{LU} w wyniku realizowanej metody klasyfikacji stanów (podzbiory par stanów S_l, S_i; $l = \overline{1,k}$; $i = \overline{1,k}$; $i \neq l$) uzyskuje się zbiór parametrów diagnostycznych $\{y_j\}$ do wyznaczenia testu D_{LU}. Wówczas test D_{LU} przyjmuje postać:

$$DLU = \{yj\} \quad (9)$$
$$DLU = \{dj\} \quad (10)$$

Reasumując przedstawione powyżej rozważania dotyczące metod wyznaczania testów diagnostycznych należy stwierdzić, że ze względu na preferencję przy wyborze parametrów diagnostycznych metody podobieństwa oraz badania relacji wartość parametru diagnostycznego – czas eksploatacji maszyny – stan maszyny, należy wybrać metodę klasyfikacji stanów układu.

4. OPTYMALIZACJA PROCESU WYZNACZANIA PROCEDUR DIAGNOZOWANIA STANU MASZYN

Formułując zadanie optymalizacyjne trudno jest określić jedną skalarną funkcję jakości F, bowiem rozwiązania dopuszczalne X (metody wyboru symptomów, metody wyznaczania testów diagnostycznych) mogą mieć wiele różnych właściwości, których wartości świadczą o jakości rozwiązania. Stąd też zachodzi konieczność sformułowania w tym przypadku zadania optymalizacyjnego z wieloma (np. N) wskaźnikami jakości w postaci funkcji kryterium $F: X \rightarrow R^N$ [1,5].
Funkcja ta przyporządkowuje każdemu rozwiązaniu dopuszczalnemu $x \in X$ jego liczbową ocenę w postaci wektora:

$$F(x) = (F1(x),..., Fn(x),..., FN(x)) \in RN \quad (11)$$

gdzie:
N={1,...,n,...,N}-zbiór numerów wskaźników jakości
F_n (x) - wartość n - tego wskaźnika jakości (n - tej funkcji kryterium dla rozwiązania $x \in X$).

W przypadku optymalizacji wielokryterialnej procesu diagnozowania zbiór rozwiązań dopuszczalnych X stanowią zbiory [5]:

$$X = \{X1 , X2\} \quad (12)$$

gdzie: $X_1 = \{ x_{1.1}, x_{1,2}, ..., x_{1,n} \}$ - zbiór metod wyznaczania symptomów,
$X_2 = \{ x_{2.1}, x_{2,2}, ..., x_{2,m} \}$ - zbiór metod wyznaczania testów diagnostycznych,

W przypadku dysponowania zbiorami F_1, F_2, można określić wektorowy wskaźnik jakości rozwiązania zadania optymalizacyjnego F jako:

$$F = (F_1, F_2) \quad (13)$$

i wyznaczyć funkcje kryterialne F_1, F_2, np. jako:

$$F_1 = \{ f_{1,1}, f_{1,2} \}, F_2 = \{ f_{2,1}, f_{2,2} \} \quad (14)$$

gdzie: $f_{1,1}$ – kryterium zmienności wartości parametru diagnostycznego,
$f_{1,2}$ – kryterium skorelowania parametru diagnostycznego ze stanem technicznym maszyny,
$f_{2,1}$ – kryterium spadku skuteczności informacyjnej,
$f_{2,2}$ – kryterium spadku skuteczności probabilistycznej.

Wówczas zadanie optymalizacyjne procesu wyznaczania procedur rozpoznawania stanu maszyn przedstawia się jako czwórkę zadań polioptymalizacji:

$$< (X_1, F_1, \Phi_1), (X_2, F_2, \Phi_2) > \quad (15)$$

$X_1 = \{x_{1,1}, x_{1,2}, x_{1,3}, x_{1,4}\}$ – zbiór metod wyboru parametrów diagnostycznych;
$X_2 = \{x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}, x_{2,4}\}$ – zbiór metod wyznaczania testów diagnostycznych;
F_1 – funkcja kryterialna wyboru parametrów diagnostycznych: $F_1: X_1 \Rightarrow R^2$,

$F_1(X_1) = (f_{1,1}(X_1), f_{1,2}(X_1))$

F_2 – funkcja kryterialna wyznaczania testów diagnostycznych: $F_2: X_2 \Rightarrow R^2$

$F_2(X_2) = (f_{2,1}(X_2), f_{2,2}(X_2))$

Φ_1 – relacja dominowania zadania optymalizacyjnego określenia zbioru parametrów diagnostycznych;

Φ_2 – relacja dominowania zadania optymalizacyjnego metody budowy testu

Rozwiązanie zadań polioptymalizacji realizuje się wówczas według następującego algorytmu (np. dla wyznaczenia optymalnej metody wyboru parametrów diagnostycznych):

1. Normalizacja przestrzeni kryterialnej - przestrzeń D^*, zaś zbiór wyników unormowanych D^*:

$$D^* = \{d^{*i}\},\ i=1,...,n;\ d^{*i} = (d_1^{*i}, d_2^{*i}) \quad (16)$$

2.Określenie współrzędnych punktu idealnego - d^{**}:

$$d^{**} = (d_1^{**}, d_2^{**})$$

$$d_1^{**} = \min_{x \in X_1} f^*_{1,1}(x), \quad d_2^{**} = \min_{x \in X_1} f^*_{1,2}(x) \quad (17)$$

3. Obliczenie wartości normy $|\bullet|$ z parametrem p=2 - $r_i(D^*)$. Norma $|\bullet|$ jest miarą odległości wyników $d^* \in D^*$ od punktu idealnego d^{**}:

$$r_i(D^*) = |d^{**} - d^{*i}| \quad (18)$$

4. Określenie wyniku optymalnego x^o w zadaniu optymalizacji metod prognozowania - x_1^o:

$$x_3^o = d^o = \min r_i \quad (19)$$

4. ALGORYTM PROCEDURY WYZNACZANIA TESTU DIAGNOSTYCZNEGO MASZYN

Algorytm metodyki wyznaczania optymalnego zbioru symptomów i optymalnego testu diagnostycznego zawiera następujące etapy [1,5]:

a) wyznaczenie optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych dla przedstawionych metod wyboru;
b) wyznaczenie testów diagnostycznych według przedstawionych metod wyznaczania testów diagnostycznych;
c) wyznaczenie optymalnego testu diagnostycznego.

5. PODSUMOWANIE

Rozpatrując problematykę budowy procedur rozpoznawania jako części ogólnej teorii procesu eksploatacji maszyn, należy zwrócić uwagę na czynniki warunkujące jej rozwój, przy czym do najważniejszych można zaliczyć:

a) zainteresowanie służb logistycznych rozpoznawaniem stanu maszyn;
b) odpowiednia bazy merytorycznej dla podejmowania takich zadań;
c) odpowiednie środki techniczne zabezpieczających ich realizację;
d) odpowiednio przygotowane kadry specjalistów mogących w sposób właściwy podejmować takie zadania.

Przedstawiona w opracowaniu metodyka budowy procedur rozpoznawania stanu maszyn w aspekcie wyznaczania testów diagnostycznych, może być wykorzystywana do budowy oprogramowania pokładowych i stacjonarnych systemów diagnostycznych monitorujących pracę maszyn. Nieodzowne jest więc komputerowe wspomaganie tego procesu w oparciu o odpowiednie oprogramowanie, umożliwiające interaktywny dostęp do procedur bibliotecznych za pośrednictwem języka poleceń zbliżonego do konwencjonalnej notacji matematycznej. Wymaga to oczywiście odpowiednich badań i budowy algorytmów niezbędnych do opracowania oprogramowania i wymagań sprzętowych systemów diagnostycznych.

LITERATURA

[1] Ameljańczyk A.: Optymalizacja wielokryterialna, WAT, Warszawa 1986.
[2] Będkowski L.: Elementy diagnostyki technicznej, WAT, Warszawa 1991.
[3] Cempel C.: Ewolucyjne modele symptomowe w diagnostyce maszyn, Materiały I Kongresu Diagnostyki Technicznej, Gdańsk 1996.
[4] Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczuk Z., Cholewa W. (red.): Diagnostyka procesów. WNT, Warszawa 2002.
[5] Tylicki H.: Optymalizacja procesu prognozowania stanu technicznego pojazdów mechanicznych. Wydawnictwa uczelniane ATR. Bydgoszcz 1998.
[6] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1997.

Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego KBN nr 4 T07B 033 26

Dr hab. inż. Henryk Tylicki, prof. nadzw. ATR w działalności naukowej zajmuje się problemami diagnostyki technicznej, eksploatacji maszyn i optymalizacji systemów transportowych. Ma w swoim dorobku ponad 150 publikacji, w tym 9 pozycji książkowych (własne i współautorskie), 60 publikacji naukowych, 86 publikacji naukowo -technicznych i konferencyjnych. Wypromował kilkudziesięciu absolwentów studiów magisterskich i

inżynierskich, recenzuje prace naukowo-badawcze, promocyjne, a także dorobek naukowy. Interesuje się sportem (tenis ziemny, żeglarstwo, narty) i czyta literaturę piękną.

SZTUCZNA INTELIGENCJA W DIAGNOSTYCE TECHNICZNEJ

Bogdan ŻÓŁTOWSKI
Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów, ATR BYDGOSZCZ
bogzol@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W referacie omówiono główne przesłanki stosowania metod sztucznej inteligencji w diagnostyce technicznej. Szczególną rolę przypisano systemom ekspertowym wspomagającym proces wnioskowania diagnostycznego. Pozyskiwanie wiedzy do systemu ekspertowego często jest możliwe tylko od ekspertów. W tej pracy wskazano na statystyczne podejście w ustalaniu liczby, wiarygodności i zgodności ekspertów.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, diagnostyka techniczna, systemy ekspertowe

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TECHNICAL DIAGNOSTICS

Summary

It in report was has talked over cardinal of usage the methods artificial premise intelligence in technical diagnostics. Systems were attributed special part expert helping process diagnostic inference. Logging to system knowledge it expert is possible only often from experts. It was showed here on statistical approach in settlement number experts and them compatibility and credibility.

Key words: artificial intelligence, technical diagnostics, expert systems

1. WSTĘP

Wiedza jest najważniejszą kartą przetargową w rozwoju społeczeństw. Wiedza jest symbolicznym opisem otaczającego nas świata rzeczywistego, charakteryzującym aksjomatyczne i empiryczne relacje, zawierającym procedury manipulujące tymi relacjami. Wiedza stanowi zbiór faktów, relacji i procedur, które to wsparte językiem tworzą teorię.

Inżynieria wiedzy jest związana z pozyskiwaniem i przetwarzaniem wiedzy. Daje podwaliny systemów ekspertowych, sztucznych sieci neuronowych, algorytmów genetycznych i w końcu systemów hybrydowych o największym potencjale intelektualnym. To wszystko mieści się w obszarze sztucznej inteligencji [9].

W pracy przedstawiono wybrane problemy kształtujące stan dziedziny sztucznej inteligencji, a w tym szczególnie zagadnienie systemów ekspertowych w diagnostyce oraz zasady pozyskiwania wiedzy od ekspertów.

2. ZADANIA SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

Pojęcie inteligencji

Inteligencja wg różnych autorów cytowanych w wykazie literatury oznacza: zdolności umysłowe człowieka, albo zdolność rozumienia otaczających sytuacji i znajdowania na nie właściwych reakcji. Inteligencja to zdolność umysłu do efektywnego ujmowania zagadnień praktycznych i teoretycznych, dzięki pamięci, wyobraźni i myśleniu pojęciowym. Cechy inteligencji człowieka: świadomość, podświadomość, intuicja, operowanie pojęciami, myślenie treściowe, rozumienie i przeżywanie stanów emocjonalnych.

Inteligencja jest właściwością psychiczną człowieka, charakteryzującą efektywność wykonywania zadań. Inteligencja jest zespołem określonych procesów, obejmujących: rozumowanie, wnioskowanie, myślenie abstrakcyjne, kojarzenie, wykrywanie i odkrywanie. Myślenie i przetwarzanie informacji odbywa się w mózgu, zbudowanym z neuronów. Przetwarzanie informacji jest podobne do przetwarzania równoległego przy dużej liczbie procesorów.

Inteligencja oznacza, zatem swoisty zespół zdolności, umożliwiający człowiekowi korzystanie z nabytej wiedzy i skuteczne reagowanie w nowych sytuacjach. Ważne jej aspekty to: zdolność do analizy i uogólniania, uczenie się, złożone stany emocjonalne i irracjonalne człowieka, tworzenie, myślenie koncepcyjne i abstrakcyjne, subiektywne przeżycia.

Sztuczna inteligencja

Sztuczna inteligencja dotyczy metod i technik wnioskowania symbolicznego przez komputer oraz

symbolicznej reprezentacji wiedzy stosowanej podczas takiego wnioskowania. W jej obrębie tworzy się programy, które obrazują procesy myślowe zachodzące u człowieka. Maszyna jest nazywana inteligentną, jeśli zewnętrzny obserwator nie jest w stanie odróżnić jej odpowiedzi od odpowiedzi człowieka mogącego zastępować maszynę.

Techniki informatyczne realizowane w technice komputerowej mimo wielu zalet nie wykazują twórczego myślenia. Komputer nie ma świadomości ani podświadomości, nie ma przeżyć intuicyjnych, nie operuje pojęciami, nie myśli treściowo, nie przeżywa stanów emocjonalnych, gdyż jest tylko narzędziem. Prezentuje tylko dyskretny i skończenie wymiarowy obraz rzeczywistości, a przecież świat jest nieliniowy, a zjawiska mają charakter ciągły.

Dzięki dużej prędkości dokonywanych obliczeń komputer przewyższa pod tym względem możliwości człowieka, chociaż wykonuje tylko rozkazy zawarte w programie. Komunikacja (dialog) człowieka z komputerem stwarza pozory wymiany myśli między stronami, co prowadzi do sztucznej inteligencji. Prowadzenie dialogu komputera z człowiekiem odbywa się coraz częściej w języku naturalnym [6,9].

W metodach sztucznej inteligencji następuje przejście od przetwarzania danych do przetwarzania wiedzy, a metody algorytmiczne charakterystyczne dla przetwarzania proceduralnego w sztucznej inteligencji zostają zastąpione przeszukiwaniem inteligentnym.

Sztuczna inteligencja obejmuje zagadnienia wykorzystania nowoczesnych technik informatycznych do wykonania skomplikowanych operacji, przypominających takie procesy umysłowe, jak uczenie się, rozpoznanie, wnioskowanie, klasyfikowanie, korygowanie i podejmowanie decyzji. Systemy sztucznej inteligencji w założeniu mają osiągnąć zdolność spełniania funkcji typowych dla ludzkiego mózgu.

3. SZTUCZNA INTELIGENCJA W DIAGNOSTYCE TECHNICZNEJ

W zakresie diagnostyki technicznej istota stosowania elementów sztucznej inteligencji polega na wspomaganiu działań człowieka w zakresie planowania, realizacji i opracowywania wyników badań diagnostycznych, szczególnie złożonych obiektów technicznych.

W diagnostyce technicznej istnieje wiele różnych możliwości wykorzystania technik informatycznych w zależności od sytuacji diagnostycznych oraz stopnia automatyzacji procesu i systemu diagnostycznego. Sposoby te można podzielić na trzy grupy:

- konwencjonalne wykorzystanie komputera do celów diagnostycznych;
- komputeryzacja systemu diagnostycznego;
- komputeryzacja urządzeń diagnostycznych.

Podstawowe zalety wykorzystania komputera do celów diagnostycznych to:

- odciążenie operatora (diagnosty) od konieczności pamiętania (pracochłonnego szukania w instrukcjach) różnego rodzaju danych, co zmniejsza możliwość popełnienia błędów i wypracowania błędnych diagnoz;
- znaczne skrócenie czasu diagnozowania;
- eliminacja subiektywnych wniosków i ocen oraz konsekwentna rejestracja danych, co znacznie wpływa na wiarygodność wyników kontroli.

Komputeryzacja systemu diagnostycznego ma tę zaletę, że umożliwia elastyczne wykorzystanie zgromadzonej aparatury kontrolno-pomiarowej (hardware'u) do różnych celów poprzez zmianę programu (software'u). Jest to korzystne w przypadku, gdyż często zmienia się diagnozowany obiekt lub wymagania diagnostyczne. Jeśli występuje potrzeba wielokrotnego diagnozowania tego samego lub takiego samego obiektu, celowym jest doprowadzenie systemu diagnostycznego do postaci mikroprocesorowego urządzenia diagnostycznego.

Główne zalety stosowania mikroprocesorowych urządzeń w diagnostyce to:

- duża prędkość działania (możliwość rejestracji i uwzględniania wartości chwilowych procesów przejściowych);
- automatyczna, bez udziału obsługi, realizacja skomplikowanych działań pomiarowych i obliczeniowych;
- selektywny wybór informacji dostarczanych użytkownikowi w postaci najłatwiejszej do percepcji (interfejs użytkownika);
- duża niezawodność działania i wiarygodność wyników;
- obiektywność diagnoz, niezależna od klasyfikacji, zdolności psychofizycznych i koncentracji uwagi operatora (diagnosty) systemu komputerowego.

Z metodologicznego punktu widzenia atrakcyjnym rozwiązaniem układów diagnozowania jest oparcie ich budowy na systemach doradczych. Takie systemy pozwalają na doskonalenie wnioskowania diagnostycznego w oparciu o tworzenie bazy wiedzy, wykorzystującej wiedzę heurystyczną (operatorską), wiedzę proceduralną (algorytmy, modele matematyczne) oraz wiedzę deklaratywną (reguły, stwierdzenia, sieci semantyczne, ramy). Umożliwia to integrację wielu metod i technik diagnozowania prowadzących do bardziej efektywnych układów diagnostycznych dla złożonych obiektów technicznych i procesów przemysłowych.

W podsumowaniu można zaznaczyć etapy wdrażania w diagnostyce technicznej elementów sztucznej inteligencji, kolejno obejmujące:

- tworzenie baz pomiarowych i wzorców symptomów stanu badanych obiektów;
- opracowywanie programów symulacyjnych w oparciu o modele diagnostyczne;
- automatyczne rozpoznawanie obrazów stanu obiektu i ich kwalifikacja za pomocą sztucznych sieci neuronowych;
- rozwój systemów doradczych wykorzystywanych podczas wnioskowania diagnostycznego, bazujących na odpowiednio skonstruowanej bazie wiedzy pozyskanej od ekspertów dziedzinowych.

Elementy sztucznej inteligencji w diagnostyce, wykorzystywane są wszędzie tam gdzie realizowane zadania wymagają wspomagania decyzji operatora w celu postawienia diagnozy o stanie złożonych obiektów technicznych [6].

4. SYSTEM EKSPERTOWY

System ekspertowy jest programem komputerowym, który wykonuje złożone zadania o dużych wymaganiach intelektualnych i robi to tak dobrze jak człowiek będący ekspertem w tej dziedzinie. System ekspertowy wyciąga wnioski i podejmuje decyzje działając w sposób zbliżony do procesu rozumowania człowieka, generując profesjonalne ekspertyzy. Systemy ekspertowe można podzielić na trzy grupy: doradcze (advisory), podejmujące decyzje bez kontroli człowieka (dictatorial), krytykujące (criticizing). Systemy doradcze prezentują rozwiązania dla użytkownika, który jest w stanie ocenić ich jakość, przyjąć lub odrzucić oferowane rozwiązanie. Systemy podejmujące decyzje bez kontroli człowieka są same dla siebie końcowym autorytetem. Używane są w sterowaniu obiektami, gdzie udział człowieka jest utrudniony. Systemy krytykujące przedstawiają problem i jego rozwiązanie, dokonują analizy i komentują uzyskane rozwiązanie.

Systemy ekspertowe tworzone są w oparciu o bazę wiedzy ekspertów, budowanej na podstawie ich informacji o problemie oraz na ich doświadczeniu. Moc programu ekspertowego tkwi w zakodowanej w nim wiedzy, a nie w formalizmie i schematach wnioskowania, których ten program używa. Proces konstruowania systemów ekspertowych należy do zagadnień inżynierii wiedzy, zajmującej się pozyskiwaniem wiedzy, jej strukturalizacją i przetwarzaniem. Baza wiedzy systemu ekspertowego jest odseparowana od mechanizmu wnioskowania (maszyny wnioskującej).

Podstawowe elementy struktury systemu ekspertowego:
- baza wiedzy (zbiór reguł);
- baza danych (dane normatywne, wyniki pomiarów, hipotezy);
- procedury wnioskowania;
- procedury objaśniania;
- procedury sterowania dialogiem;
- procedury modyfikacji pozyskiwanej wiedzy.

W diagnostyce technicznej systemy ekspertowe mają przeważnie zadanie doradzania, dlatego przyjęto nazywać je systemami doradczymi [6].

Rozważając bardziej szczegółowo architekturę systemów doradczych stosowanych w diagnostyce obiektów technicznych, możemy w niej wyróżnić następujące podstawowe elementy:

- baza wiedzy (wiedza proceduralna, deklaratywna);
- baza danych (np. dane o obiekcie, wyniki pomiarów, hipotezy);
- procedury wnioskowania (maszyna wnioskująca);
- procedury objaśniania – objaśnia strategię wnioskowania;
- procedury sterowania dialogiem – procedury wejścia / wyjścia umożliwiają formułowanie zadań przez użytkownika i przekazanie rozwiązania przez program;
- procedury umożliwiające rozszerzenie oraz modyfikację wiedzy – pozyskiwanie wiedzy.

Istotnym, choć nie jedynym elementem każdego systemu ekspertowego jest baza wiedzy. Wiedza w systemie zapisana jest przy pomocy określonego sposobu reprezentacji wiedzy. Wiedza znajdująca się w systemie pochodzi z różnych źródeł, najczęściej pochodzi od ekspertów z danej dziedziny. Pozyskiwaniem wiedzy eksperta oraz jej formalizacją, tj. zapisaniem za pomocą określonego sposobu reprezentacji wiedzy, zajmuje się tzw. inżynier wiedzy. Inżynier wiedzy to nowa profesja powstała na gruncie sztucznej inteligencji.

Proces pozyskiwania wiedzy jest na ogół bardzo pracochłonny i realizowany w toku współpracy inżyniera wiedzy i eksperta. Do najczęściej spotykanych metod pozyskiwania wiedzy należy dialog z ekspertem lub obserwacja eksperta podczas rozwiązywania problemu. Ze względu na psychologiczne warunki pozyskiwania wiedzy, proces ten stanowi „wąskie gardło" budowy bazy wiedzy. Dlatego badania naukowe prowadzone w różnych ośrodkach zmierzają do automatyzacji procesu pozyskiwania wiedzy za pomocą tzw. algorytmów indukcyjnych, które są w stanie wygenerować reguły dla bazy wiedzy na podstawie zbiorów uczących. Zbiory te, zawierają najczęściej dane z przeszłości opisujące sytuację problemową oraz wynikającą z niej konkluzję rozumowania eksperta. Na podstawie tych problemów system uczy się rozwiązywania podobnych problemów samodzielnie. Należy jednak pamiętać, że w procesie automatycznej generacji reguł, baza wiedzy powinna być poddana weryfikacji przez ekspertów, co jest możliwe w przypadku niewielkich baz wiedzy.

4.1 Reprezentacja wiedzy i wnioskowanie

Problematyka reprezentacji wiedzy jest jednym z najważniejszych nurtów badań w dziedzinie sztucznej

inteligencji. Systemy ekspertowe wykorzystują do rozwiązywania problemów jawnie wyrażoną wiedzę z określonej dziedziny. Wiedza ta musi być wcześniej opisana (sformalizowana) za pomocą tzw. języka reprezentacji wiedzy i wprowadzona do systemu.

W kontekście systemów ekspertowych wiedzę można określić jako informacje o świecie, umożliwiające ekspertom rozwiązywanie problemów i podejmowanie decyzji. Przez reprezentację wiedzy będziemy tu rozumieć sposób odwzorowania tej wiedzy w określony formalizm, który jest „zrozumiały" dla systemu ekspertowego. Oznacza to zdolność SE nie tylko do statycznego przechowywania fragmentu wiedzy o świecie, ale również jej efektywne przetwarzanie w celu znalezienia rozwiązania postawionego przed nim problemu. Efektywność jest bardzo ważnym kryterium z punktu widzenia praktycznej realizacji systemów ekspertowych. O ile w początkowym okresie rozwoju dużą rangę przypisywano znalezieniu uniwersalnych metod wnioskowania, to po pierwszych spektakularnych sukcesach systemów ekspertowych zasadniczą wagę dla sukcesu tej technologii zaczęto przywiązywać do wiedzy jako takiej. Dziś oba punkty widzenia wydają się skrajne.

4.2 Narzędzia do tworzenia systemów ekspertowych

Narzędzia programowe (expert system tool), które służą do tworzenia systemów ekspertowych, można podzielić na dwie grupy:
- języki programowania: języki systemów ekspertowych, języki sztucznej inteligencji, inne języki programowania,
- szkieletowe systemy ekspertowe (ang. expert system shells lub skeletal systems).

W skład pierwszej grupy narzędzi do tworzenia systemów ekspertowych wchodzą specjalne języki, które są znane jako języki systemów ekspertowych. Należą do nich np. Clips, Flops, OPS5 itp. Porównując języki systemów ekspertowych z językami systemów szkieletowych można stwierdzić, że te ostatnie są łatwiejsze do implementacji. Posługiwanie się językiem systemów ekspertowych stwarza większe możliwości aplikacyjne, ale wymaga większego wysiłku, ponieważ trzeba nauczyć się języka.

Opracowanie systemu ekspertowego jest zadaniem bardzo pracochłonnym i wymaga zatrudnienia programistów o wysokich kwalifikacjach. Alternatywą jest zastosowanie systemu szkieletowego, zawierającego gotowy podsystem przetwarzania wiedzy. W takim przypadku zadanie twórcy systemu polega głównie na pozyskiwaniu i sformalizowaniu wiedzy ekspertów, co również jest zadaniem niełatwym. Do narzędzi umożliwiających realizację systemu ekspertowego (doradczego), w ramach drugiego podejścia należą systemy szkieletowe [6,9].

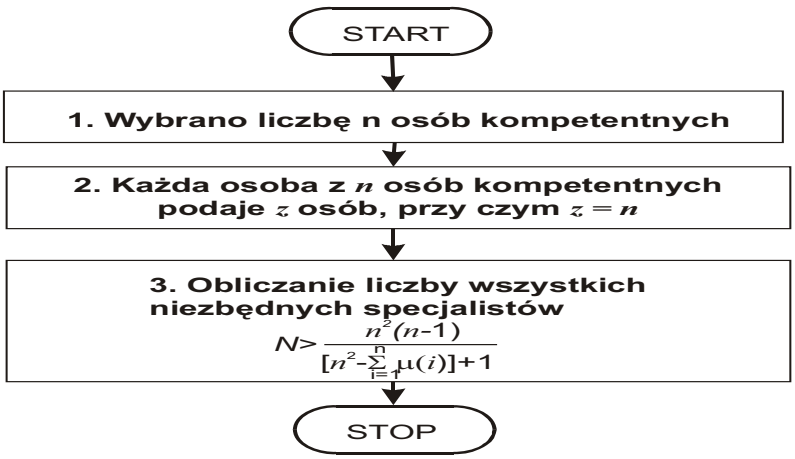
5. WYZNACZANIE ZESPOŁU EKSPERTÓW

W każdym systemie doradczym (ekspertowym) jednym z głównych elementów decydującym o jego jakości, jest baza wiedzy. Ponieważ często obecny stan wiedzy nie pozwala na opracowanie wiarygodnej teorii opisującej badane zjawisko, dlatego przy tworzeniu systemów doradczych jednym z najważniejszych źródeł wiedzy jest wiedza ekspertów.

5.1 Wstępny dobór i ocena ekspertów

Jakość otrzymanych wyników istotnie zależy od jakości ocen ekspertów. Dlatego też należy badać zespół ekspertów, pod względem jego kompetencji i zgodności opinii. Istotną sprawą jest, aby osoby, których oceny chcemy wykorzystać w systemie doradczym nie były przypadkowe, lecz specjalistami wysokiej klasy, a ich opinie umiarkowanie zgodne.

Wstępną liczbę ekspertów ustala się na podstawie niżej podanego algorytmu (rys.1).



Rys. 1. Algorytmy obliczania niezbędnej liczby specjalistów

Minimalna liczba specjalistów [6] przy założeniu, że każdy z ***n*** specjalistów typuje taką samą liczbę ***z= n*** specjalistów w swoim gronie, obliczona jest ze wzoru:

$$N > \frac{nz(n-1)}{\left(nz - \sum_{i=1}^{n} \mu(i)\right)+1} \qquad (1)$$

gdzie: N – niezbędna liczba specjalistów; ***z*** – kompetentni specjaliści podani przez ***n*** wytypowanych specjalistów; ***μ(i)*** – liczba nie powtarzających się specjalistów podana przez *i*-tego specjalistę z ***n*** grup.Przy założeniu, że ***n*** specjalistów poda taką samą liczbę specjalistów tj. ***z*** = ***n***, to przedstawiony wzór się uprości i otrzymamy:

$$N > \frac{n^2(n-1)}{\left(n^2 - \sum_{i=1}^{n} \mu(i)\right)+1} \qquad (2)$$

Przy faktycznym wyborze poszczególnych specjalistów mogą być pomocne pewne obiektywne wskaźniki, takie jak: liczba przepracowanych lat, czy liczba publikacji. Jednak praktyka wykazuje, że samoocena eksperta określająca jego względną kompetencje, w różnych dziedzinach wiedzy, może być stosunkowo dobrze skorelowana z jego faktyczną wiedzą w danej dziedzinie, a zatem może być wykorzystywana przy wyborze ekspertów z grona specjalistów.

Do oceny stopnia kompetencji eksperta zastosowano współczynnik K_k kompetencji eksperta wyrażony wzorem:

$$K_k = \frac{k_z + k_a}{2} \qquad (3)$$

gdzie:

K_k – współczynnik kompetencji eksperta,
k_z – współczynnik stopnia znajomości problemu przez eksperta,
k_a – współczynnik argumentacji.

Współczynnik k_z i k_a uzyskuje się na podstawie samooceny wytypowanych specjalistów. Każdy z zastosowanych współczynników przyjmuje wartość z przedziału <0;1>.

Podstawowym wskaźnikiem uogólnionej opinii ekspertów może być, wyznaczona dla każdego *j-tego* obiektu (j = 1,2,...n), średnia wartość jego oceny M_j (w punktach dana wzorem:

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} c_{ji}}{m_j} \qquad (4)$$

Wartość M_j równa dolnej granicy skali punktowej odpowiada przypadkowi, gdy wszyscy oceniający *j-ty* obiekt eksperci dali najmniejszą możliwą ocenę ważności. Wartość M_j równa górnej granicy skali punktowej oznacza, że wszyscy eksperci przyznali największą możliwą ocenę. Im większa wartość M_j, tym znaczenie obiektu jest większe.

Uzupełniającym wskaźnikiem charakteryzującym uogólnioną opinię grupy ekspertów o względnej ważności obiektów jest częstość największej możliwej oceny uzyskanej prze *j-ty* obiekt K_{maxj} dana wzorem:

$$K_{maxj} = \frac{m_{\max j}}{m_j} \text{ gdzie } j = 1,... n^1 \qquad (5)$$

Wskaźnik K_{maxj} przyjmuje wartości z przedziału <0;1>. Charakteryzuje on znaczenie obiektu z punktu widzenia przyznania pierwszych miejsc.

5.2 Wyznaczenie stopnia zgodności opinii ekspertów

Zgodność opinii ekspertów ma decydujące znaczenie dla jakości tworzonej bazy wiedzy. Od jakości bazy wiedzy zależy to, czy generowane wyniki przez system doradczy będą dla operatora systemu wiarygodne. Do scharakteryzowania stopnia zgodności opinii zespołu ekspertów o względnej ważności *j-tego* obiektu służy współczynnik zmienności V_j. Im wartość współczynnika zmienności V_j jest mniejsza, tym stopień zgodności opinii ekspertów jest większa. Obliczenia współczynnika zgodności opinii V_j dokonano na podstawie wzoru:

$$V_j = \frac{\delta_j}{M_j}, \text{ dla } j = 1,2,,..., n^1 \qquad (6)$$

gdzie: δ_j – odchylenie standardowe obliczone według wzoru:

$$\delta_j = \sqrt{D_j} \qquad (7)$$

gdzie: D_j jest wariancją obliczaną według wzoru:

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^{m^1} \left(c_{ij} - M_j\right)^2}{m_j} \qquad (8)$$

Do scharakteryzowania stopnia zgodności opinii ekspertów o względnej ważności obiektów poddanych ocenie, służy współczynnik konkordacji Kandalla-Babingtona-Smitha ω (dla $m^1>2$) obliczany ze wzoru:

$$\omega = \frac{\sum_{j=1}^{n^1} d_j^2}{\frac{1}{12}\left(m^1\right)^2\left(\left(n^1\right)^3 - n^1\right) - \frac{1}{12} m^1 \sum_{i=1}^{m^1} T_i} \qquad (9)$$

gdzie: d_j – odchylenie sumy rang ocen otrzymanych przez obiekt j od średniej arytmetycznej sum rang ocen otrzymanych przez wszystkie obiekty, obliczony ze wzoru:

$$d_j = S_j - \overline{S} \quad j = 1,2,...,n^1 \qquad (10)$$

gdzie: $\overline{S}$ - średnia arytmetyczna sum rang ocen otrzymanych przez wszystkie obiekty; T_i – wskaźnik związanych rang ocen nadanych przez *i-tego* eksperta, jeśli są one jednakowe:

$$T_i = \sum_{k=1}^{l} \left(t_k^3 - t_k \right) \quad i = 1,2,...,m^1 \qquad (11)$$

gdzie:

l – liczba grup o połączonych rangach,

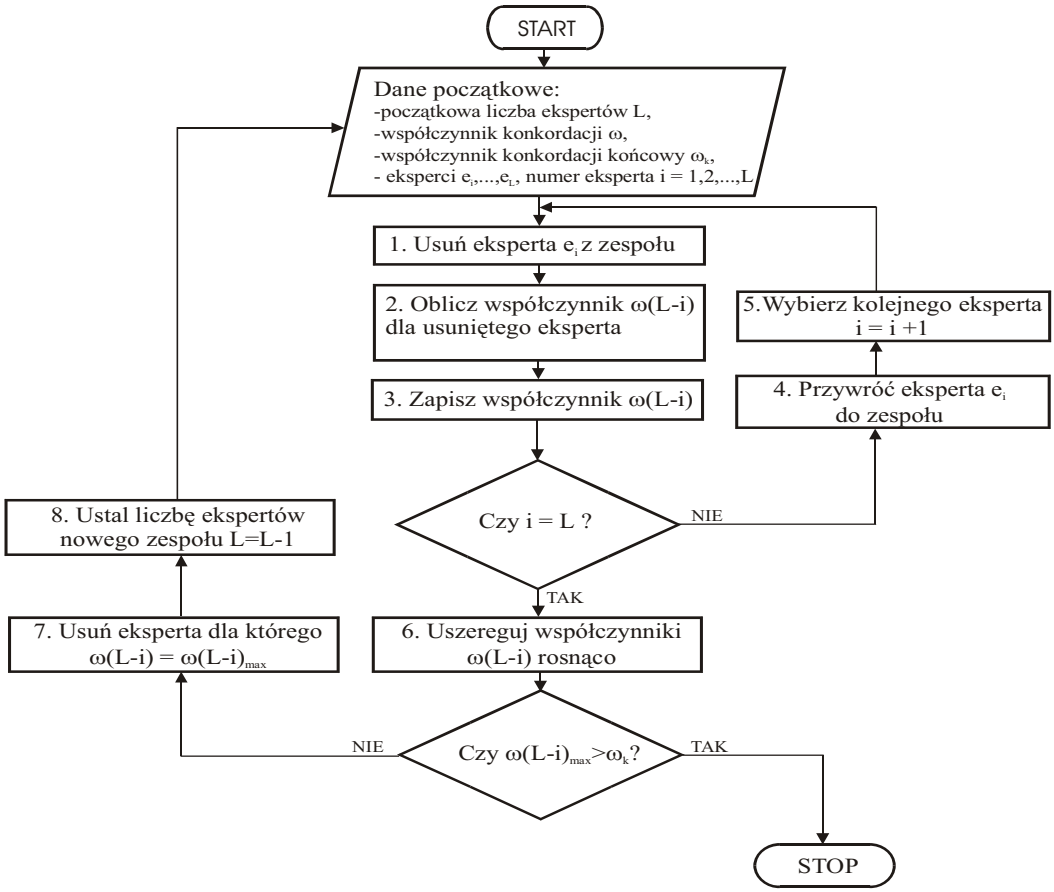
t_k – liczba równych rang w k-tej grupie ($1 \leq k \leq l$).

Współczynnik konkordacji ω przyjmuje wartości w granicach od 0 do 1. Wartość współczynnika bliska lub równa jeden odpowiada większej zgodności opinii ekspertów.

5.3 Poszukiwanie zespołu ekspertów o dużej zgodności opinii

Aby wyodrębnić z zespołu ekspertów, zespół o dużej zgodności opinii opracowano algorytm metody usuwania eksperta z zespołu ekspertów (rys.2).

Działanie algorytmu jest następujące. W pierwszej kolejności ustala się wielkość współczynnika konkordancji, jaki powinien być osiągnięty w wyniku usuwania kolejnych ekspertów. Następnie usuwa się kolejno ekspertów i oblicza współczynnik konkordacji. Po obliczeniu współczynników przy usunięciu kolejno ekspertów, usuwa się z zespołu tego eksperta, dla którego współczynnik konkordacji był maksymalny. Tak długo powtarza się tę procedurę dopóki nie zostanie przekroczony współczynnik ω_k.



Rys. 2. Algorytm usuwania eksperta z zespołu

5.4. Weryfikacja stopnia zgodności opinii ekspertów

O tym, czy stwierdzoną współzależność cech wyrażonych na skalach porządkowych uznamy za istotną, decyduje wynik zastosowania właściwych testów niezależności. Po wyznaczeniu współczynnika konkordacji ω należy przeprowadzić weryfikację stanowisk grupy ekspertów tzn. zweryfikować wiarygodność otrzymanych wyników. Dokładniej mówiąc, należy zweryfikować hipotezę o niezależności rang przypisanym poszczególnym obiektom

W przypadku, kiedy uporządkowań równoległych (liczba oceniających ekspertów), zawiera się w przedziale ($3 < m < 7$), oraz liczba ocenianych obiektów zawiera się w przedziale ($3 < n < 20$) to korzystamy z wyznaczenia wartości krytycznej $S(\alpha, m, n)$ z tablic.

Dla prób o większej liczebności (m > 7), konstruuje się statystykę χ^2:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12}mn(m+1} = n(m- \qquad (12)$$

1)ω

która, przy założeniu prawdziwości hipotezy H_0, ma asymptotyczny rozkład χ^2 ze stopniami swobody $\nu = n - 1$.

Obszar krytyczny (prawostronny) w teście określa nierówność $\chi^2 \geq \chi^2(\alpha: n-1)$ gdzie $\chi^2(\alpha: n-1)$ jest wartością krytyczną odczytaną z tablicy rozkładu χ^2 dla ustalonego z góry poziomu istotności α i dla n –1 stopni swobody, w taki sposób aby zachodziła relacja $P\{\chi^2 \geq \chi^2(\alpha: n-1)\} \leq \alpha$. Obliczoną wartość χ^2 porównujemy z wartością krytyczną $\chi^2(\alpha: n-1)$ i jeżeli zajdzie nierówność $\chi^2 \geq \chi^2(\alpha: n-1)$, to hipotezę H_0 o niezależności uporządkowań należy odrzucić. Gdy natomiast $\chi^2 < \chi^2(\alpha: n-1)$, nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 o niezależności badanych cech wyrażonych na skalach porządkowych.

6. ARCHITEKTURA SYSTEMU DORADCZEGO

Na podstawie ogólnej koncepcji systemu doradczego, opracowano dla potrzeb tej pracy koncepcję systemu doradczego (rys.3). Główne założenia realizowanego systemu to:

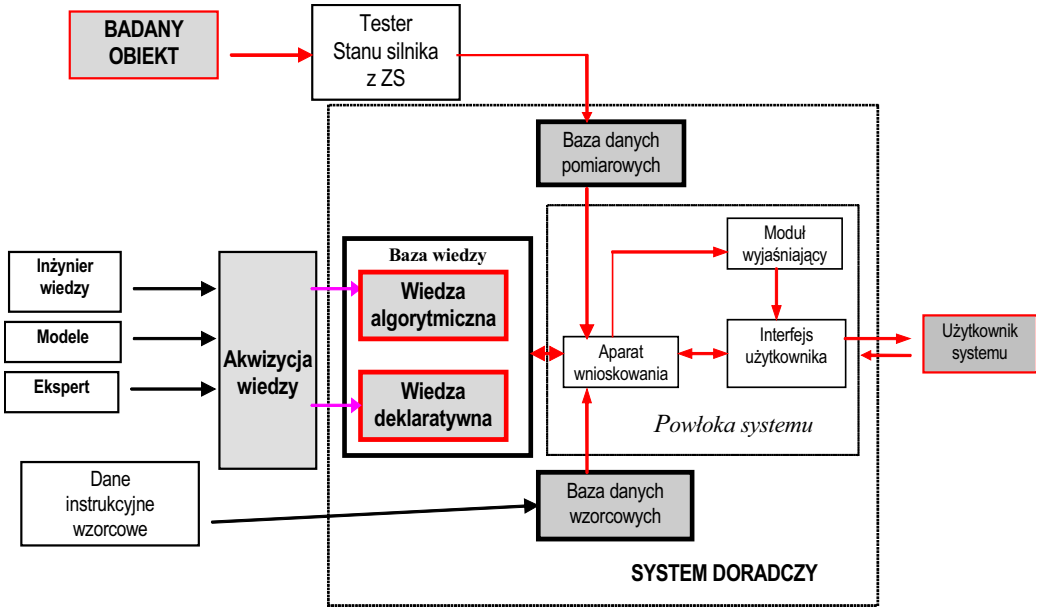
1. równoległa praca systemu z urządzeniem diagnozującym – możliwa tylko do zrealizowania w systemie operacyjnym Windows lub podobnym,
2. rejestrowanie parametrów stanu podczas badania diagnostycznego,
3. sporządzanie raportów pełnych lub częściowych z badania diagnostycznego na podstawie wykonanych pomiarów,
4. przechowywanie danych pomiarowych z przeprowadzonych badań.

Akwizycja wiedzy to proces ciągły, podczas którego inżynier wiedzy współpracując z ekspertem z danej dziedziny, stara się pozyskać od niego wiedzę (różnymi metodami) oraz sposób jej zastosowania do rozwiązania danego problemu.

Przystępując do prac związanych z opracowaniem systemu doradczego wspomagającego badania diagnostyczne wskazanego, konkretnego obiektu, należy postępować według określonych poniżej procedur:

- określić zakres zadań głównych i szczegółowych realizowanych przez system, uruchamianych baz danych i specjalistycznych aplikacji wspomagających proces wnioskowania,
- opracować architekturę systemu doradczego (poczynione w tym rozdziale) strukturę bazy wiedzy i współpracujących z systemem baz danych,
- dokonać wyboru narzędzia do tworzenia systemów ekspertowych, systemu szkieletowego lub wyboru języka programowania (w przypadku tworzenia systemu od podstaw),
- dokonać wyboru ekspertów z grona specjalistów w celu utworzenia bazy wiedzy systemu doradczego o wysokiej jakości (realność, wiarygodność, jednoznaczność),
- wykonać prototyp systemu doradczego według zaproponowanej architektury,
- pozyskać wiedzę od ekspertów w ramach akwizycji wiedzy, dokonać jej strukturalizacji i zapisu,

5. testować i szkolić operatora systemu doradczego oraz uaktualniać bazę wiedzy.



Rys. 3. Architektura systemu doradczego wspomagającego decyzje operatora

7. WNIOSKI

1. Stworzenie nowych warunków w dziedzinie sztucznej inteligencji spowodował znaczny postęp w rozwoju technik programowania, interfejsu użytkownika, sposobów reprezentacji wiedzy w bazach wiedzy tworzonych systemów, szybkości ich przeszukiwania i reagowania na zaistniałe zmiany parametrów stanu.
2. Ciekawe rozwiązanie interfejsu użytkownika, w postaci graficznego schematu drzew decyzyjnych oraz możliwość śledzenia procesu wnioskowania, kontrolowania automatycznego bazy wiedzy pod względem jej nadmiarowości, uaktualniania bazy wiedzy na każdym etapie projektowania, czyni system szkieletowy nowoczesnym rozwiązaniem do tworzenia systemów ekspertowych (doradczych).
3. Zastosowanie systemu szkieletowego do budowy systemu doradczego, ograniczone jednak możliwościami programowymi tego „narzędzia", pozwala w dalszym okresie realizacji prototypu systemu, na znaczne ograniczenie pracochłonność podczas projektowania i konstruowania systemu doradczego.
4. Stworzenie możliwości wspomagania decyzji operatora w procesie diagnozowania obiektów technicznych pozwoli na znaczne skrócenie pracochłonności tych czynności oraz uzyskanie jednoznacznych diagnoz w postaci raportów diagnozy stanu technicznego.

LITERATURA

[1] Basztura Cz.: Jak rozmawiać z komputerem ludzkim głosem?, WPN Format, Wrocław 1993.
[2] Bubnicki Z., Grzech A.: Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
[3] Cholewa W., Pedrycz W.: Systemy doradcze, Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1447, Gliwice 1987.
[4] Chromiec J., Strzemiczna E.: Sztuczna inteligencja – metody konstrukcji i analizy systemów ekspertowych, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1994.
[5] Jackson P.: Introduction to expert systems, Addison-Wesley Reading, Massachusetts 1986.
[6] Kupraszewicz W.: Szkieletowy system doradczy w diagnozowaniu silnika spalinowego, Materiały konferencyjne. Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
[7] Michalski R.: Pokładowy system nadzoru maszyn ze sztuczną inteligencją, Wyd. ART., Olsztyn 1997.
[8] Moczulski W.: Metody pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Mechanika z. 130, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
[9] Mulawka J. J.: Systemy ekspertowe, WNT Warszawa 1996.
[11] Podręcznik użytkownika: Szkieletowy system ekspertowy PC-Shell v. 2,3 dla Windows 98/NT, AITECH, Katowice 1999.

[12] MultiLogic Exsys Developer, User Manual, 1999.

Prof. zw. dr hab. inż. Bogdan Żółtowski.
W działalności naukowej zajmuje się problemami dynamiki maszyn, wibroakustyki, diagnostyki technicznej, metrologii i eksploatacji pojazdów. Ma w swoim dorobku ogólnie około 320 publikacji, w tym 20 pozycji książkowych (własne i współautorskie), 46 publikacji naukowych, 182 publikacje naukowo-techniczne i konferencyjne, 27 referatów naukowych oraz 45 opracowań naukowo-technicznych. Wypromował kilkudziesięciu (około 200) absolwentów studiów magisterskich i inżynierskich, prowadzi prace promocyjne (wypromował 7 doktorów nauk technicznych, 3 otwarte przewody, prowadził opiekę nad 8 zrealizowanymi rozprawami habilitacyjnymi) oraz recenzuje prace naukowo-badawcze, promocyjne (9 recenzji rozpraw habilitacyjnych, 12 recenzji rozpraw doktorskich), a także dorobek naukowy (5 recenzji na stanowisko profesora, 3 recenzje na tytuł profesora). Od 1998r. jest profesorem zwyczajnym w ATR, gdzie pełni obowiązki Kierownika Katedry Maszyn Roboczych i Pojazdów.

ZASTOSOWANIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W DIAGNOSTYCE MASZYN

Marzena BARTOL-SMARDZEWSKA

Akademia Techniczno–Rolnicza w Bydgoszczy
Wydział Mechaniczny, Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów

Streszczenie

W ciągu ostatnich lat wzrasta zapotrzebowanie na diagnostykę techniczną, zmieniły się bowiem radykalnie kryteria oceny obiektów. Pojawiają się nowe zastosowania osiągnięć mikroelektroniki, techniki komputerowej, sieci neuronowych i sztucznej inteligencji, skutecznie wspomagają one możliwości diagnostyki technicznej. To wszystko diametralnie zmienia poglądy i dokonania w obszarze wykrywania i nadzorowania zmian stanu obiektów metodami diagnostyki technicznej. Daje to możliwość nadzorowania zmian stanu, lokalizacji uszkodzeń i minimalizacji skutków uszkodzeń.

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, system informatyczny, sieci neuronowe, sztuczna inteligencja

APPLICATION OF ARTIFICAL INTELIGENCE IN MACHINE DIAGNOSTICS

Summary

In last few years request of technical diagnostics increase, cause of radically change of object's rate standard. New adoption of achievement of microelectronics, computer technology, neural nets and artificial intelligence succor power of technical diagnostics efficiently. All of that, change diametrically ideas and performance of detection and inspection by technical diagnostics methods of object's state changes. It gives the possibility to inspect changes of state, location of damage and reducing of damage results.

Keywords: technical diagnostics, computer systems, neural nets, artificial intelligence

1. WPROWADZENIE

W każdym zakładzie jednym z najważniejszych problemów jest zapewnienie bezawaryjnej pracy maszyn, urządzeń i pojazdów. Konieczne staje się posiadanie informacji na temat aktualnego stanu poszczególnych elementów. Zdobycie tych informacji umożliwia wykrycie przyczyn nieprawidłowego stanu badanego obiektu, umożliwia też poprawne zaplanowanie remontu (często obniżenie kosztów remontu). W rezultacie monitoring i jego fachowa interpretacja zapewnia dużą niezawodność nadzorowanych obiektów. Dlatego dla zapewnienia ciągłości produkcji i zminimalizowania kosztów ewentualnych napraw należy monitorować stan maszyn, urządzeń i pojazdów, aby przed czasem wykryć zmiany grożące awarią.

2. DIAGNOSTYKA TECHNICZNA

Ogólnie rozumiana diagnostyka techniczna obejmuje swym zakresem całokształt działań takich jak: obserwacja diagnostyczna obiektów, gromadzenie i przetwarzanie danych zebranych w trakcie obserwacji diagnostycznej, przeprowadzanie różnych eksperymentów, wnioskowanie dające w wyniku: diagnozy, plany działań przywracających stan eksploatacyjny, działania o charakterze naprawczym, modernizującym, szkoleniowym oraz udostępnianie wyników wnioskowania.

Diagnostyka techniczna prowadzi do obiektywnego określenia przyczyn złego stanu technicznego i dynamicznego maszyn, urządzeń i pojazdów. Ekspertyzy oparte o diagnostykę wspomagają podjęcie decyzji o naprawach i ich zakresie tylko w przypadkach umotywowanych złym stanem technicznym urządzeń. Diagnostyka prowadzi do zmniejszenia liczby awarii, skrócenia czasu przestojów awaryjnych oraz wydłużenia efektywnego czasu pracy. Ogromne znaczenie ma możliwość pozyskiwania, gromadzenia przetwarzania danych, a zatem budowa systemu informacyjnego i banku informacji, wspomaganego odpowiednimi technikami wirtualnymi.

Jak z tego wynika, powstaje zatem potrzeba stosowania nowoczesnych technologii informatycznych, wspierających badania diagnostyczne. Informatyczny system diagnostyczny powinien umożliwiać systematyczne gromadzenie danych, ich przeglądanie oraz udostępnianie.

3. SYSTEMY INFORMATYCZNE

Systemy informatyczne to takie systemy, w których realizuje się procesy przetwarzania danych oraz procesy komunikacyjne za pomocą technik komputerowych. Systemy informatyczne to złożone technologie składające się z sieci, komputerów, specjalizowanego oprogramowania, różnego typu czujników i sterowników. Systemy takie nadzorują i kontrolują stany obiektów w sposób zdalny. Systemy te nadzorują także wartości dopuszczalne i generują alarmy. Dane przekazywane z czujników przechowywane są w bazach danych. Dane otrzymywane z czujników można podzielić na dwie grupy: niezależne od czasu oraz zależne od czasu.

Systemy informatyczne wyposażone są ponadto w moduły wizualizacji wyników pomiarów oraz moduły służące do przeprowadzania różnorodnych analiz. Wyniki pomiarów mogą być przetwarzane i analizowane za pomocą wielu metod. Zastosowanie odpowiedniej metody zależy od celu analizy. Analizę danych można podzielić na kilka etapów:

- Próbkowanie,
- Selekcja,
- Ograniczanie zbioru wartości,
- Grupowanie,
- Identyfikacja modelu.

Aby system informatyczny funkcjonował efektywnie i skutecznie wymaga on danych o odpowiedniej wartości. Wartość danych to suma jakości danych, ich pełności oraz niezawodności. Aktualność danych jest zależna od metod ich zbierania, konfiguracji systemu ich przesyłania, parametrów kanałów informacyjnych, niezawodności sieci komputerowych oraz intensywności przepływu informacji. Innym aspektem jest użyteczność danych określana jako ich przydatność dla procesu wnioskowania.

4. SYSTEMY MONITORUJĄCE

Zadaniem systemów monitorujących jest ocena stanu na podstawie obserwacji zmian np. mocy silnika, temperatury, hałasu etc. Koszty poniesione na zakup i montaż systemów monitorujących szybko zwracają się dzięki ograniczeniu liczby remontów, przestojów, awarii oraz powodują zwiększenie bezpieczeństwa ludzi i środowiska. Systemy te umożliwiają rejestrowanie danych, ich analizę, prezentację wyników i ocenę stanu.

5. EKSPERYMENTOWANIE

Po zidentyfikowaniu modelu matematycznego danego obiektu czy procesu, któremu obiekt podlega przeprowadza się eksperyment numeryczny za pomocą programu komputerowego reprezentującego ten model obiektu.

Najbardziej znanym programem do przeprowadzania tego typu eksperymentów jest SIMULINK rozpowszechniany z programem MATLAB. Służy on do modelowania, symulacji i analizy układów dynamicznych, układów liniowych i nieliniowych, ciągłych i dyskretnych. Posiada on także interfejs graficzny. Zaprojektowany model można więc przedstawić w postaci diagramów. Po opracowaniu modelu przeprowadza się jego symulację. W programie tym można obserwować wyniki działania w trakcie trwania symulacji, można w trakcie zmieniać parametry modelu i obserwować wpływ tych zmian na badany obiekt.

6. PROJEKTOWANIE KOMPUTEROWYCH SYSTEMÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Przed komputerowymi systemami diagnostycznymi postawione są ogromne wymagania niezawodnościowe. Podyktowane to jest dużymi kosztami przestojów oraz koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa ludzi i ekologicznego.

Nowoczesne automatyczne komputerowe systemu diagnostyczne oparte są na teorii sterowania i informatyce. Metody współczesnej informatyki to metody sztucznej inteligencji (sieci neuronowe, logika rozmyta, systemy neuronowo-rozmyte oraz systemy ekspertowe i doradcze).

Budowa układów diagnostycznych z wykorzystaniem metod informatycznych odbywa się na podstawie dostępnych danych pomiarowych, zasad i reguł funkcjonowania obiektu oraz wiedzy jakościowej i ilościowej. Obecnie buduje się systemy doradcze z bazą wiedzy zawierającą wiedzę ilościową (model matematyczny) oraz jakościową (zestawy reguł, model rozmyty, neuronowy, neuronowo-rozmyty) oraz modele analityczne z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji. Takie podejście umożliwia budowanie komputerowych systemów diagnostycznych z mniejszą ilością fałszywych alarmów oraz lepszą wykrywalnością uszkodzeń.

Istotnym zagadnieniem w diagnostyce jest budowa modeli obiektów. W przypadku rzeczywistych obiektów trudno jest uzyskać ich idealny model, dlatego należy liczyć się z pewnymi błędami modelowania spowodowanymi zakłóceniami zmiennych pomiarowych, nieodpowiednią strukturą modelu lub niedokładnymi wartościami parametrów modelu. Pominięcie tych faktów w przypadku układów diagnostycznych skutkuje fałszywymi diagnozami generowanymi przez układ diagnostyczny. Konieczne jest zatem opracowanie efektywnego algorytmu projektowania rozmytych sieci neuronowych dla układów diagnostyki technicznej. Pojawia się tu problem identyfikacji nieliniowych systemów dynamicznych za pomocą rozmytych sieci neuronowych oraz problem określania niepewności modeli neuronowo-rozmytych oraz zagadnienie doboru struktury

modelu neuronowo-rozmytego. Rozwiązaniami dla tych problemów mogą być następujące metody:

1) algorytm do wyznaczania niepewności rozmytych sieci neuronowych typu Takagi-Sugeno za pomocą metod statystycznych oraz metody estymacji przy ograniczonych wartościach błędów,
2) metoda odpornej na niepewność modelu neuronowo-rozmytego detekcji uszkodzeń przy użyciu techniki adaptacyjnych progów decyzyjnych dla generowanych residuów,
3) algorytm doboru struktury modelu neuronowo-rozmytego oraz szacowania jego parametrów poprzez detekcję lokalnych liniowych zależności w charakterystyce modelowanego obiektu przy użyciu zmodyfikowanej metody estymacji przy ograniczonych wartościach błędów.

7. ALGORYTMY EWOLUCYJNE

Algorytmy ewolucyjne są techniką przeszukiwania i optymalizacji, opartą na zasadach przejętych z teorii ewolucji. Naturalność oraz prostota działania sprawiły, ze są one chętnie wykorzystywane w naukach zarządzania do rozwiązywania problemów optymalizacji. Podczas rozwiązywania problemu nie gwarantują one znalezienia optimum globalnego, jednak generalnie zapewniają znalezienie rozwiązania wystarczająco dobrego w akceptowalnym przedziale czasu. Ta cecha determinuje zastosowanie tych algorytmów dla problemów, których nie można rozwiązać przy pomocy technik specjalizowanych.

Istnieją różne warianty algorytmów ewolucyjnych:

- algorytmy genetyczne (Genetic Algorithms - GA),
- strategie ewolucyjne (Evolution Strategies - ES),
- programowanie ewolucyjne (Evolutionary Programming - EP),
- programowanie genetyczne (Genetic Programming - GP).

Powyższe algorytmy wykorzystują operatory ewolucyjne, które działają na sprecyzowanych reprezentacjach rozwiązań, przetwarzają całą populacje rozwiązań, badając przy tym przestrzeń przeszukiwania równocześnie z wielu punktów, do prawidłowego działania nie potrzebują żadnej szczegółowej wiedzy o charakterze problemu a jedynie informacji o jakości rozwiązań. Mają one różnorodne zastosowania. Przystosowane są do przeszukiwania wielowymiarowej, złożonej przestrzeni rozwiązań a szczegółowa wiedza o problemie nie jest potrzebna.

7.1. System ekspertowy

Pierwszą definicję systemu ekspertowego podał Edward Feigenbaum z Uniwersytetu Stanford w 1977 roku. Jest to inteligentny program komputerowy używający wiedzy oraz procedur wnioskowania do rozwiązywania problemów o wysokim stopniu złożoności, wskazującym na niezbędność eksperta danej dziedziny do jego rozwiązania. Obecnie można tę definicje uszczegółowić ze względu na znaczny rozwój form komunikacji, przechowywania danych oraz tworzenia procedur. System ekspertowy jest zatem systemem komputerowym symulującym procesy uczenia się, zapamiętywania, komunikacji, przyczynowości i realizacji działań ludzkiego eksperta w danej dziedzinie wiedzy, dzięki czemu człowiek może być zastąpiony przez komputer z gwarancją sukcesu w rozwiązywaniu problemu.

Rozwój tej dziedziny jest niezwykle dynamiczny. System ekspertowy pozwala na: podnoszenie jakości i kwalifikacji przez ludzkich ekspertów, przetrwanie wiedzy i procesów wnioskowania w przypadku odejścia ludzkiego eksperta, zwiększenie liczby ekspertów na świecie, co stwarza większy dostęp do wiedzy i podniesie jakość ludzkiego życia, oraz obniży koszty wiedzy, osoby nie będące ekspertami mogą rozwiązywać bardzo złożone problemy za pomocą systemów ekspertowych, czas rozwiązywania problemów jest krótszy, można otrzymać dużo możliwych rozwiązań, niski koszt rozwiązania problemu przy braku ludzkiego eksperta, eliminacja monotonnych i żmudnych operacji, szeroki dostęp do wiedzy.

Najważniejszą grupę inteligentnych systemów informatycznych stanowią systemy doradcze zwane także ekspertowymi. Zawiera on zazwyczaj kilka podstawowych elementów:

- Układ wnioskujący,
- Bazę wiedzy,
- Bazę danych,
- Układ objaśniający,
- Interfejs użytkownika.

Głównym problemem podczas budowania systemu doradczego jest pozyskanie wiedzy. Jest to proces, dzięki któremu wydobywa się wiedzę i doświadczenie z danej dziedziny w określonym wcześniej zakresie oraz zapisanie jej w określony sposób w bazie wiedzy. Podstawowym źródłem wiedzy są specjaliści, jednak z powodu małej efektywności pozyskiwania wiedzy od specjalistów, stosuje się automatyczne metody pozyskiwania wiedzy ze zbioru przykładów.

7.2. Sieci neuronowe

Nazwą tą określa się symulatory (programowe lub sprzętowe) modeli matematycznych realizujące pseudorównoległe przetwarzanie informacji, składające się z wielu wzajemnie połączonych neuronów i naśladujący działanie biologicznych struktur mózgowych. Symulatory takie nazywane są również ***Neural nets (networks)*** lub ***AI (Artifical Inteligence - sztuczna inteligencja -*** choć nie do końca słusznie gdyż sieci neuronowe są podzbiorem AI).

Podstawową cechą różniącą ***Sztuczne Sieci Neuronowe*** (powstały z interdyscyplinarnej syntezy nauk tradycyjnych obejmujących biologię, fizykę i matematykę) od programów realizujących algorytmiczne przetwarzanie informacji jest zdolność generalizacji, czyli uogólniania wiedzy dla nowych danych nieznanych wcześniej, czyli nie prezentowanych w trakcie nauki. Określa się to także jako zdolność Sztucznych Sieci Neuronowych do aproksymacji wartości funkcji wielu zmiennych w przeciwieństwie do interpolacji możliwej do otrzymania przy przetwarzaniu algorytmicznym. Można to ująć jeszcze inaczej np. systemy ekspertowe z reguły wymagają zgromadzenia i bieżącego dostępu do całej wiedzy na temat zagadnień, o których będą rozstrzygały, Sztuczne Sieci Neuronowe wymagają natomiast jednorazowego nauczenia, przy czym wykazują one tolerancję na nieciągłości, przypadkowe zaburzenia lub wręcz braki w zbiorze uczącym. Pozwala to na zastosowanie ich tam, gdzie nie da się rozwiązać danego problemu w żaden inny, efektywny sposób.

Sztuczne Sieci Neuronowe oferują idealne rozwiązania dla dużego zakresu klasyfikowanych problemów (jak np.: diagnostyka techniczna maszyn, urządzeń i pojazdów) równie dobrze jak predykcja i modelowanie systemów, gdzie procesy są niezrozumiałe bądź bardzo skomplikowane. Sztuczne Sieci Neuronowe mogą być stosowane do nadzoru nad procesami przebiegającymi w czasie rzeczywistym, gdzie zmienne wejściowe są odczytami pomiarów używanymi do sterowania *on-line*, a sieć uczy się funkcji kontroli. Sztuczne Sieci Neuronowe sprawdzają się także w rozwiązywaniu problemów, które są zbyt skomplikowane dla konwencjonalnych technologii (np. problemy, które nie mają rozwiązania algorytmicznego, bądź takowe jest zbyt skomplikowane do znalezienia), sprawdzają się też dobrze tam, gdzie ludzie nie są w stanie zastosować tradycyjnych metod.

Sieci neuronowe swój dynamiczny rozwój zawdzięczają dwóm czynnikom:

- wewnętrznemu - umiejętności generalizacji problemów i predykcji informacji;
- zewnętrznemu - nieograniczonej dostępności komputerów osobistych o ogromnej mocy obliczeniowej.

Bardzo istotnym elementem jest, w przypadku Sztucznych Sieci Neuronowych, dopasowanie modelu neuronowego do obiektu poprzez prawidłowe wyznaczenie wartości wagowych sieci. Dane uczące się pobierane są bezpośrednio z badanego systemu lub pośrednio z symulatora. Często weryfikację modelu neuronowego przeprowadza się przy użyciu danych pobranych właśnie z symulatora. Eksploatacja modelu najczęściej odbywa się *on-line*, co jest niezwykle ważne w przypadku dopasowywania modelu neuronowego do ciągle zmieniającego się otoczenia oraz z przypadku niestacjonarności systemu.

W przypadku rozwiązywania problemów diagnostycznych za pomocą modelu sieci neuronowych przyjmujemy, że każdy stan pracy systemu jest reprezentowany przez oddzielny model neuronowy. Model reprezentujący pracę w warunkach normalnych nazywa się nominalnym, a każdy następny model reprezentuje wystąpienie określonego uszkodzenia f_n, gdzie n=1,…,n. Można zatem wyznaczyć wektor sygnałów residuum porównując wyjście systemu i wyjścia modeli neuronowych. Każdy element wektora residuum opisuje odpowiedni stan zachowania systemu, co daje możliwość zlokalizowania uszkodzenia oraz czas jego wystąpienia.

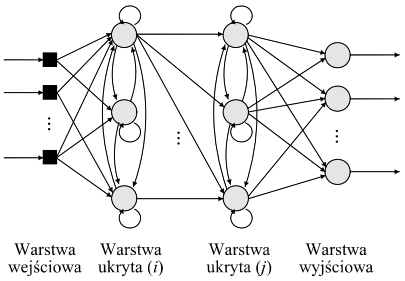
Sztuczne sieci neuronowe stanowią zwykle część sterującą procesem, bądź część decyzyjną, przekazującą sygnał wykonawczy innym elementom urządzenia, które nie są związane bezpośrednio z sieciami neuronowymi. Funkcje pełnione przez sieć można sklasyfikować w kilku podstawowych grupach: aproksymacji, klasyfikacji i rozpoznawania wzorców, predykcji, sterowania oraz asocjacji.

7.3. Rekurencyjne sieci neuronowe

Rekurencyjne sieci neuronowe (rys. 1) mają ogromne zastosowanie w przypadku diagnostyki. Dzięki wprowadzeniu sprzężeń zwrotnych do architektury sieci neuronowych możliwe stało się gromadzenie informacji oraz późniejsze jej wykorzystanie. Sieci rekurencyjne można podzielić w następujący sposób:

- sieci lokalnie rekurencyjne – sprzężenia zwrotne występują wewnątrz pojedynczych modeli neuronowych. Cała sieć neuronowa jest strukturą wielowarstwową, jednokierunkową;
- sieci globalnie rekurencyjne – sprzężenia zwrotne występują pomiędzy neuronami różnych warstw lub pomiędzy neuronami tej samej warstwy. Ogólna struktura sieci tego typu posiada wszystkie możliwe sprzężenia zwrotne pomiędzy neuronami. Sieć ta jest rozszerzeniem wielowarstwowej sieci jednokierunkowej o połączenia skrośne pomiędzy neuronami w zasięgu tej samej warstwy oraz połączenia rekurencyjne obejmujące pojedyncze neurony. Połączenia pomiędzy dwoma sąsiednimi warstwami są jednokierunkowe, zaś kaskadowe połączenie warstw daje odpowiednie zdolności aproksymacyjne a połączenia skrośne i rekurencyjne dają właściwości dynamiczne. Problematyczna jest tu jednak duża złożoność struktury oraz długi czas adaptacji parametrów.

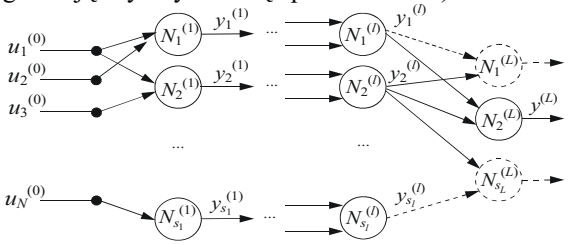
Rekurencyjne sieci neuronowe, jak i większość sieci neuronowych, mają poważną wadę – na etapie ich projektowania definiuje się ich strukturę. Alternatywnym podejściem jest połączenie problemu uczenia sieci z wyznaczeniem jej optymalnej architektury. Takie rozwiązanie uzyskujemy dzięki zastosowaniu metody grupowej obróbki danych (GMDH).



Rys. 1. Rekurencyjna sieć neuronowa

7.4. Sieci neuronowe typu GMDH

Idea metody grupowej obróbki danych (GMDH) polega na zastąpieniu jednego całościowego modelu systemu strukturą hierarchiczną składającą się z modeli cząstkowych (neuronów) i wiążących je zasad selekcji zmiennych (rys. 2). Modele cząstkowe posiadają najczęściej niewielką liczbę sygnałów wejściowych i są realizowane przez pojedynczy model neuronu typu GMDH. Parametry modeli cząstkowych są dobierane tak, by ich zmienne wyjściowe były jak najbardziej zbliżone do zmiennej wyjściowej identyfikowanego systemu. Charakterystyczne jest tu uczenie każdego neuronu oddzielnie przed jego włączeniem do struktury sieci neuronowej, przy czym każdy neuron ma w jak najlepszy sposób modelować diagnozowany obiekt. O tym, które modele cząstkowe powinny zostać włączone do tworzonej warstwy oraz generować sygnał wejściowy dla następnej warstwy decyduje błąd przetwarzania (odrzuca się te modele, które generują zbyt wysoki błąd przetwarzania).

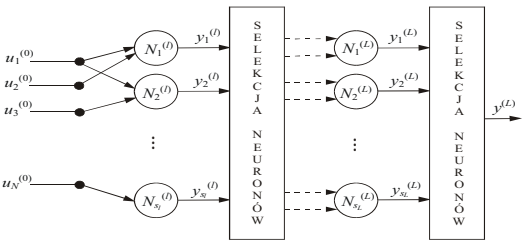


Rys. 2. Sieć neuronowa typu GMDH

Proces syntezy sieci neuronowej typu GMDH przeprowadza się do momentu, aż nie zostanie spełnione kryterium optymalności (rys. 3). Idea tego kryterium polega na wyznaczaniu najmniejszego błędu przetwarzania $E_{\min}^{(l)}$:

$$E_{\min}^{(l)} = \min_{i=1,\ldots,N} E(y_i^{(l)}),$$

dla N neuronów włączanych do warstwy l, gdzie $E(y_n^{(l)})$ to błąd dla danej warstwy.



Rys. 3. Synteza sieci neuronowej typu GMDH

7.5. Model neuronowo-rozmyty – system syntezy wiedzy

Metody sztucznej inteligencji służą próbie opisywania rzeczywistości w sposób naśladujący rozumowanie człowieka. Ich celem jest przezwyciężenie wad tradycyjnych algorytmów komputerowych, które zawodzą zwłaszcza w sytuacjach, w których człowiek jest w stanie rozwiązać postawiony problem bez większych trudności. W diagnostyce technicznej wiele zjawisk jest bardzo nieprecyzyjnych. Są to takie stwierdzenia jak znacznie, dużo, większość itd., w zdaniach takich jak: Koszt naprawy znacznie przekracza 50 zł. Te określenia jest bardzo trudno zdefiniować. Ludzie są jednak w stanie interpretować takie stwierdzenia i wykorzystywać tak sformułowaną wiedzę do rozwiązywania stawianych przed nimi problemów. Nieprecyzyjność polega na trudności dokładnego określenia wartości wszystkich występujących w nim zmiennych. Problem polega na ustaleniu, co to właściwie znaczy tu prawie czy znacznie. Taki rodzaj braku precyzji nazywany jest zwykle rozmyciem.

Jako teoretyczne narzędzie do budowy systemów syntezy wiedzy używane jest rozwiązanie z dziedziny inteligencji obliczeniowej (ang. computational intelligence) - neuronowo-rozmyty system syntezy wiedzy z danych, wspomagany w procesie uczenia algorytmem genetycznym. Model neuronowo-rozmyty ma ogromne zastosowanie przy "inteligentnym" modelowaniu i sterowaniu, w tym do syntezy wiedzy z chaotycznego szeregu czasowego, do syntezy bazy reguł rozmytych modelujących dynamiczny. Można stosować także metodologie alternatywne - neuronowo-rozmyte, oparte na teorii drzew regresyjnych oraz regresji liniowej. Bardzo istotna przy wyborze metody jest zależność pomiędzy dokładnością a przejrzystością poszczególnych podejść.

8. SZTUCZNA INTELIGENCJA

Inteligencja jest zdolnością jednostki do celowego działania, racjonalnego myślenia oraz radzenia sobie z trudnościami. Wydaje się, ze nigdy maszyna nie będzie mogła w pełni naśladować człowieka. Człowiek jest istotą bardzo złożoną specyficzne dla niego funkcje psychiczne to: intelekt, wola i emocje. Łatwo sobie wyobrazić urządzenie, które myśli na nasz wzór, które rozwiązuje jakiś problem, ale "coś" sztucznego nie

może odczuwać emocji, nie mówiąc już o uczuciach wyższych.

Wykorzystując informacje na temat umysłu człowieka naukowcy próbują stworzyć umysł sztuczny. Sztuczna inteligencja może być pomocna w wielu dziedzinach życia.

Sztuczna inteligencja pomaga ludziom w podejmowaniu decyzji. Człowiek podejmując decyzje, poddaje się emocjom, komputer zaś postępuje według określonego algorytmu. Sztuczna inteligencja, czyli maszyny z umiejętnością wnioskowania i uczenia się, daje perspektywę uwolnienia ludzi od prostych, uciążliwych prac, ale także od takich, które wymagają dużej wiedzy.

Zastępując programowanie systemów sztucznej inteligencji uczeniem, możemy jednak stracić stuprocentowa pewność poprawności wykonanego zadania, bowiem taki system przestanie działać według algorytmów. Komputery działają zupełnie inaczej niż ludzie zajmujący się rozwiązywaniem jakiegoś problemu. Wielu naukowców twierdzi, ze program budowy robotów kierowanych elektronicznymi komputerami nie doprowadzi do skonstruowania sztucznej, naprawdę inteligentnej maszyny - to znaczy takiej, która rozumie, co robi i może wykorzystać to w działaniu. Takie urządzenie mogłoby działać, gdyby w jego konstrukcji został wykorzystany ten sam proces fizyczny, który stanowi podstawę istnienia ludzkiej świadomości. Na obecnym etapie rozwoju techniki przemysł nie jest w stanie skonstruować maszyny zaprogramowanej w sposób niealgorytmiczny.

9. PODSUMOWANIE

Z uwagi na istotne ograniczenia związane z projektowaniem układów diagnostyki opartych na wykorzystywaniu modelu diagnozowanego obiektu metodami klasycznymi, przedstawiłam możliwości zastosowania metod współczesnej informatyki – metod sztucznej inteligencji i ich połączenia z metodami analitycznymi. Pokazałam przede wszystkim możliwości neuronowej realizacji zarówno układów detekcji, jak i lokalizacji uszkodzeń z wykorzystaniem różnych struktur sieci.

Algorytmy ewolucyjne proponowane do poszukiwań optymalnych rozwiązań globalnych często wydają się jeszcze zbyt czasochłonne, jednak rozwój mocy obliczeniowych współczesnych komputerów oraz rozwój sztucznej inteligencji stwarza możliwości szerszego i powszechniejszego stosowania tych technik.

Każda dziedzina techniki, mająca wiele zastosowań, przysparza korzyści, ale także stwarza liczne zagrożenia. Komputery są bardzo użyteczne, ale szybki rozwój techniki komputerowej jest źródłem pewnych niebezpieczeństw. Jednym z głównych problemów wydaje się ogromna złożoność systemów. Nie ma żadnych szans, aby ktokolwiek w pełni zrozumiał sposób ich działania. Jest bardzo prawdopodobne, ze inne niestabilności i zagrożenia powstaną wskutek samej złożoności systemu. Należy uświadomić społeczeństwu konieczność stałego nadzoru ludzi, mających prawo podejmowania decyzji sprzecznych z autorytetem komputerów.

LITERATURA

[1] Cholewa W., Pedrycz W.: Systemy doradcze. Skrypt nr 1447, Politechnika Śląska, Gliwice 1987.
[2] Gorzałczany M.B., Głuszek A., Computational Intelligence in Control - a Comparison of several Nuero-fuzzy Systems, Proc. of IEEE ISIE 2000, Puebla, Meksyk, 2000.
[3] Gorzałczany M.B., Głuszek A., Neuro-fuzzy Networks in Time Series Modelling, Proc. of KES2000, vol. 1, Brighton, Wlk. Brytania, 2000.
[4] Korbacz J., Kościelny J.M., Kowalczuk Z., Cholewa W. (red.): Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania. WNT, Warszawa 2002.
[5] Kowal M., Korbicz J., Detekcja uszkodzeń z wykorzystaniem rozmytych sieci neuronowych, Materiały Krajowej Konferencji Automatyki, Wydawnictwo UZ, 6, Zielona Góra, 2002.
[6] Kowal M., Korbicz J., Samoorganizujący się rozmyty model Takagi-Sugeno w układzie detekcji uszkodzeń, Materiały KKN-T "Diagnostyka procesów przemysłowych", 6, Władysławowo, 2003.
[7] Master T., Sieci neuronowe w praktyce, WNT, Warszawa 1996.
[8] Moczulski W.: Metody pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn, Mechanika z. 130, Politechnika Śląska, Gliwice 1997.
[9] Moczulski W.: Diagnostyka techniczna. Metody pozyskiwania wiedzy. Monografie. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
[10] Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L., Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.
[11] Żurada J., Barski M., Jędruch W., Sztuczne sieci nauronowe, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 1996.

Mgr inż. Marzena Bartol-Smardzewska w działalności naukowej zajmuje się problemami diagnostyki technicznej, optymalizacją i informatyzacją procesów eksploatacji maszyn, urządzeń i pojazdów. Czas wolny spędza uprawiając sport (żeglarstwo, narty wodne, jazda konna, rower, siatkówka, pływanie), czytając literaturę piękną oraz uprawiając rośliny.

ANALIZA METODĄ POLARYZACYJNO – OPTYCZNĄ STANU NAPRĘŻENIOWO – DEFORMACYJNEGO MODELU ELEMENTU PNEUMATYCZNEGO GĄSIENICY MASZYNY ROBOCZEJ

Włodzimierz BAJKOW,, Janina KALINKA, , Czesław ŻDANOWICZ, Natalia BUTKIEWICZ
Białoruski Narodowy, Uniwersytet Techniczny w Mińsku

Streszczenie
W artykule przedstawiono rezultaty badań naprężeniowo - odkształceniowych elementu gąsienicy pneumatycznej przy zastosowaniu metody polaryzacyjno-optycznej. Otrzymano ocenę jakościową naprężeń charakterystycznych stanów badanego elementu gąsienicy przy określonych deformacjach.

Słowa kluczowe: stan naprężeniowo-odkształceniowy, element pneumatyczny, polaryzacyjno- optyczna metoda, analiza

THE POLARIZATIONS - OPTICAL METHOD OF TENSION'S - DEFORMATION STATE ANALYSIS OF MACHINE - ENGINE PNEUMATIC CATERPILLAR'S ELEMENT MODEL

Summary
In article were introduced results of investigations the stresses - deformation pneumatic caterpillar's element with use of polarization's - optical method. The qualitative opinion of characteristic stresses states was received with definite deformations of studied caterpillar's element.

Keywords: stresses - deformation state, pneumatic element, polarizations - optical method , analysis

1. ВВЕДЕНИЕ

На сельскохозяйственных тракторах используются два типа движителей - колесные и гусеничные. Исторически колесо прошло следующие этапы своего развития: металлический обод, обрезиненный обод, пневматическая шина. Развитие гусеничного движителя отстает от колесного, до сих пор широко используются металлические гусеницы. В последние годы на рынке представлены резиноармированные гусеницы. Следующим этапом развития гусеничных движителей должна стать пневматическая гусеница.

Пневматическая гусеница (рис. 1) состоит из силовая лента (1) и пневмоэлементов (2), прикрепленных к нему. Пневмоэлемент представляет собой резинокордную оболочку открытого или закрытого типа с камерой, наполненную воздухом [1].

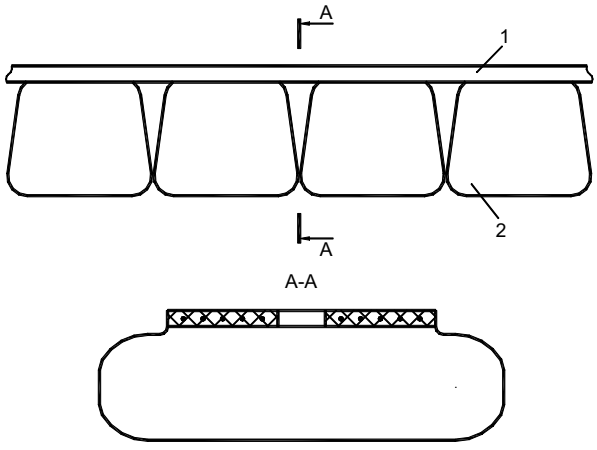


Рис. 2. Пневмогусеница: 1 - силовая лента; 2 – пневмоэлементы

Наличие пневмоэлементов между гусеничной лентой и почвой обеспечивает движение трактора по упругой поверхности с заданной характеристикой. Упругость пневмоэлементов обеспечивает подрессоривание трактора, более равномерное распределение давлений на почву, способствует уменьшению динамической нагрузки на ходовую систему и трансмиссию. При этом пневмоэлемент деформируется, в его конструктивных элементах возникают напряжения, от величины которых зависит долговечность пневмоэлемента. Поэтому при разработке конструкции пневмоэлементов, необходимо знать какие деформации будут возникать в них в процессе эксплуатации и распределение напряжений при этих деформациях.

Известные теоретические методы недостаточно полно описывают напряженно-деформированное состояние тонкостенных конструкций типа оболочек. Применение крупномасштабных моделей при экспериментальном исследовании требует больших средств и времени. Использование малых моделей связано с искажением геометрического подобия по толщине, в связи с чем, необходимо знать зависимости, позволяющие пересчитывать напряжения в модели с одной толщиной для модели с другой толщиной. Только располагая данными о напряжении в модели с полным геометрическим подобием, можно перейти к расчету напряжений в натурной конструкции [2, с. 185-188].

Наиболее приемлемым методом изучения напряжений для наших целей является поляризационно-оптический. При помощи этого метода на моделях из оптически чувствительных материалов решаются задачи о распределении напряжений в различных элементах при их упругом и упруго-пластическом деформировании. Цель работы – исследовать напряженно-деформированное состояние пневмоэлемента 400×175×130 методом фотоупругости и выявить зоны концентраций напряжений.

2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ напряженно-деформированного состояния модели пневмоэлемента проводился при отсутствии в нем давления воздуха. Исследование проводили на моделях бескордной конструкции изготовленных в натуральную величину из оптически чувствительного материала на основе эпоксидной смолы ЭД-20М [3] с использованием метода «замораживания» [4].

Суть метода состоит в следующем: нагруженную модель доводят до высокоэластического состояния (температуры «замораживания») и, не снимая нагрузки, охлаждают до комнатной температуры. После охлаждения нагрузка снимается, а в модели полностью сохраняется напряженное состояние. Исследование напряженного состояния объемной модели производится на срезах, вырезанных из «замороженной» модели. Напряжения в плоскости среза определяются в обычных полярископах.

Метод «замораживания» непосредственно к резине применить трудно, так как резины замораживаются только при низких температурах и исследование срезов в замороженном состоянии весьма затруднительно. Однако этот метод может быть использован для определения напряжений в объемных резиновых конструкциях, если их моделировать при помощи «замораживаемых» материалов (например, материалов, изготовленных на основе эпоксидных смол). Коэффициенты Пуассона этих материалов в высокоэластическом состоянии равны коэффициенту Пуассона резины (обычно для всех резин практически применяют $\mu = 0,5$). Поэтому результаты, полученные на «замороженной» при конечных деформациях модели могут быть перенесены на резину [5]. Ценность этого метода состоит в том, что с помощью его можно строить поля напряжений по всему объему пневмоэлемента.

К выбираемому материалу предъявляются следующие требования: незначительные остаточные напряжения после полимеризации; стабильные оптико-механические свойства при температуре «замораживания»; отсутствие оптической и механической ползучести (для решения задачи о напряженно-деформированном состоянии при упругих деформациях); его значение μ должно быть близко к μ натурального материала. Последнее очень важно, так как различие коэффициентов Пуассона модели и натуры, особенно при моделировании тонкостенных конструкций, вносит погрешность, которая колеблется от 10 до 30%, а общих зависимостей для оценки влиянии погрешности на моделировании напряженного состояния пока нет.

Напряженное состояние модели пневмоэлемента исследовали при осадке на 3 % и $p_\omega = 0$ (рис. 2). Объемную модель с «замороженными» деформациями разрезали на отдельные темплеты (срезы) толщиной от 6 до 8 мм, которые исследовали поляризационно-оптическим методом. Масштаб геометрического подобия, равный 1:1, при пересчете напряжений с модели на натуру позволяет избежать двухмасштабного моделирования. При проведении эксперимента соблюдалось подобие граничных условий и силовых воздействи.

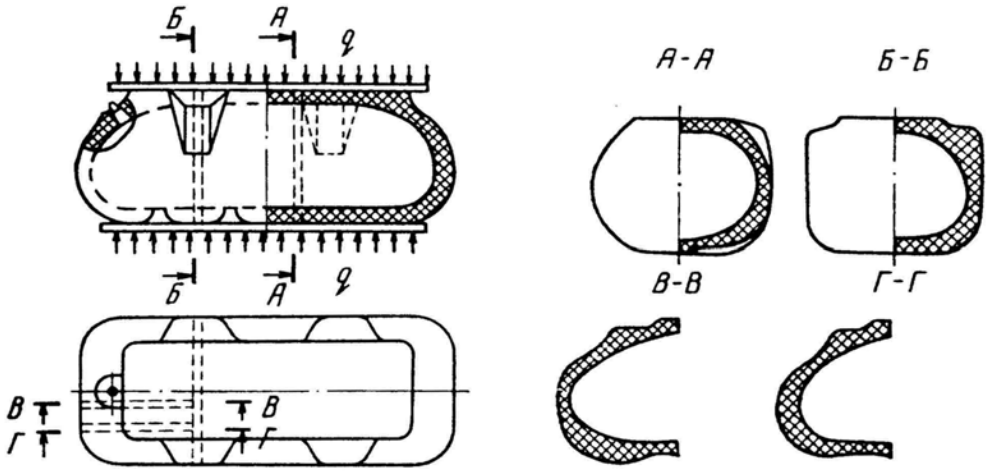


Рис. 2. Схема нагружения модели пневмоэлемента нормальной нагрузкой q и схема разрезания модели на срезы

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 3 представлены эпюры главных (σ) и максимальных касательных ($\tau_{макс}$) напряжений на контурах сечений. Так как на свободном контуре (контур, не имеющий внешних касательных и нормальных нагрузок) одно из главных напряжений, перпендикулярное к контуру, равно нулю, то порядок полосы, выходящей на свободный контур, показывает величину второго главного напряжения, направленного по касательной к контуру. Поэтому эпюры контурных напряжений, построенных на свободных контурах сечений *А—А, Б—Б, В—В, Г—Г,* показывают распределение главных напряжений вдоль контура. Эпюры напряжений, построенных на несвободном контуре, дают распределение удвоенного максимального касательного напряжения $2\tau_{макс} = \sigma_1 - \sigma_2$, где σ_1 и σ_2 — соответственно наибольшее и наименьшее главные напряжения.

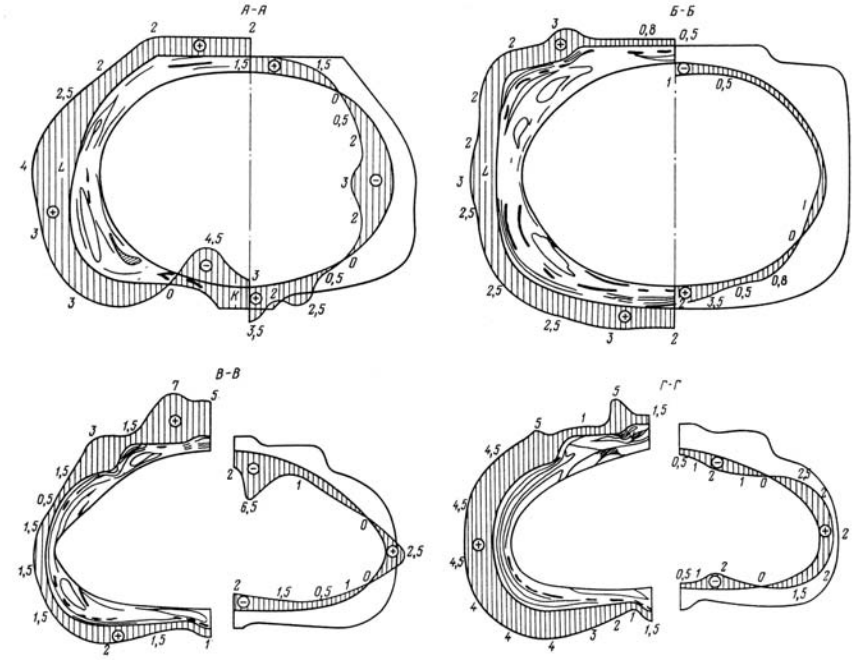


Рис. 3. Эпюры главных и максимальных касательных напряжений на внешнем (слева от оси симметрии) и внутреннем (справа) контурах сечений *А—А, Б—Б, В —В* и *Г —Г*: (+) — растяжение; (-) — сжатие; *К* — область, испытывающая одновременно сжатие (на внешнем контуре) и растяжение (на внутреннем контуре); *L* — область повышенной концентрации растягивающих напряжений на внешнем контуре

Во всех выбранных сечениях модели пневмоэлемента гусеничного движителя имеются нагруженные и ненагруженные участки наружного контура; внутренний контур пневмоэлемента нагрузки не несет. Напряженное состояние представленных сечений характеризуется наличием одной или нескольких изотропных областей ($\sigma_1 - \sigma_2 = 0$), либо расположенных близко к контуру, либо выходящих за него.

Напряженное состояние внутреннего контура модели очень неоднородно. Наблюдалась частая и регулярная смена сжимающих напряжений растягивающими и обратно. В зонах действия нагрузки, сдвигающие напряжения максимальны на контуре и затухают на расстоянии $0,3d$ от него, где d — толщина сечения. Максимальные растягивающие напряжения в окружных сечениях наблюдаются также на наружном контуре и распределяются равномерно в боковых зонах сечений.

При переходе от ненагруженной части сечения к нагруженной происходит скачок напряжений (резкое возрастание, затем уменьшение). На свободном контуре преобладают растягивающие напряжения, и только в сечении *А—А* (рисунок 3) в области *К* они переходят в сжимающие.

В сечениях *В—В* и *Г—Г* (рисунок 3) наиболее напряженными являются участки с максимальным порядком полос 7 (в сечении *В—В)* и 5 (в сечении *Г—Г).*

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На модели из оптически чувствительного материала на основе эпоксидной смолы ЭД-20М получена качественная оценка напряжений в характерных сечениях, соответствующих напряженному состоянию пневмоэлемента гусеничного движителя на границах поверхностей.

Выявлены зоны концентрации напряжений и неоднородного напряженного состояния. Наиболее однородно напряженное состояние на наружном свободном контуре сечений *А—А* и *Б—Б,* однако повышенная концентрация растягивающих напряжений в области *L* этих сечений заставляет предполагать возможность образования трещин в этих зонах, что подтверждалось при нагружении модели.Полученные результаты могут быть полезны при конструировании и разработке технологии изготовления пневмоэлемента гусеничного движителя.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Zhdanovich Ch. Experimental study of pneumatic track propulsion systems // Agricultural Machine Systems. SP-1383, SAE 1998. - p.23-28.

[2] Хесин Г. Л., Губин Ф. Ф., Попов А. И. и др. Метод фотоупругости. Т. 1 / Под ред. Г. Л. Хесина. М.:Стройиздат, 1975.— 460 с.

[3 Буткевич Н. Н. // Теорет. и прикл. механика. 1981.№ 8. С. 70—71.

[4] Александров А. Я., Ахметзянов М. Х. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела.М.: Наука, 1973.— 106 с.

[5] Горелик Б. М., Фельдман Г. М. II Труды 5-й Всес.конф.(23—27 июня 1964 г.). Л.: ЛГУ, 1966. — С. 418.

NIEZAWODNOŚĆ DOSTAW ENERGII ELEKTRYCZNEJ JAKO MIARA EFEKTYWNOŚCI DIAGNOSTYKI TECHNICZNEJ W SIECIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH

Grażyna DĄBROWSKA-KAUF

Instytut Energoelektryki, Politechniki Wrocławskiej
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław,
fax: +48 71 3202655,
e-mail: grazyna.dabrowska-kauf@pwr.wroc.pl

Streszczenie

Sieć elektroenergetyczna składa się z wielu urządzeń i jest narażona na działanie różnorodnych czynników, które powodują zakłócenia w jej pracy. Skutkiem tego mogą być przerwy w zasilaniu lub pogorszenie jakości energii elektrycznej. Długość tych przerw zależy w istotny sposób od prawidłowej diagnostyki: elementów sieci i procesów przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej. Efektywność diagnostyki technicznej w sieciach elektroenergetycznej wpływa bezpośrednio na niezawodności dostaw energii elektrycznej. W artykule omówiono metodę pozwalającą mierzyć efektywność diagnostyki technicznej w oparciu o wykorzystanie wyznaczanych współczynników niezawodności poszczególnych elementów sieci elektroenergetycznej.

Słowa kluczowe: niezawodność, diagnostyka techniczna, energia elektryczna, transformatory

RELIABILITY OF ELECTRICITY SUPPLY AS A MEASURE OF THE EFFICIENCY OF TECHNICAL DIAGNOSTICS IN DISTRIBUTED POWER NETWORKS

Summary

Distributed power network consists of many devices and therefore it is exsposed to the activity of various factors which result in interferences during their work. The causes of this include pauses in power supply and deterioration of the eneregy's quality. The length of the pauses depends in an essential way on undertaking correct diagnostical decisions in the area of the power network's elements and the electricity distribution. Efficiency of technical diagnostics in power network depends directly on reliablity rate of electricity supply. In the article, the method, that allows measuring the efficiency of technical diagnostics, based on a usage of assigned coefficients of reliability rates of particular elements in the power network, is presented.

Keywords: reliabilty, technical diagnostics, electricity, transformers

1. WSTĘP

Jednym z podstawowych celów polityki energetycznej kraju jest zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. Niepokojącym zjawiskiem jest to, że większość przedsiębiorstw energetycznych skupia się przede wszystkim na bieżących remontach lub niezbędnych inwestycjach w zakresie modernizacji o okresie zwrotu nie dłuższym niż trzy lata. Co jest spowodowane głównie brakiem kapitałów koniecznych na inwestycje zapewniające: wystarczający poziom mocy generowanej, odpowiednie struktury wytwórcze i przesyłowe. Bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej jest determinowane w szczególności niezawodnością sieci elektroenergetycznych.

Sieć elektroenergetyczna składa się z wielu urządzeń i jest narażona na działanie różnorodnych czynników, które powodują zakłócenia w jej pracy. Skutkiem tego mogą być przerwy w zasilaniu lub pogorszenie jakości energii elektrycznej. Długość tych przerw zależy w istotny sposób od prawidłowej diagnostyki: elementów sieci i procesów przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej. Efektywność diagnostyki technicznej w sieciach elektroenergetycznej wpływa bezpośrednio na niezawodności dostaw energii elektrycznej.

Nieprawidłowa praca układów elektroenergetycznych ma niekorzystny wpływ na odbiory energii elektrycznej oraz ich działanie. Następstwem zakłóceń w dostawie energii elektrycznej są straty ekonomiczne występujące u odbiorców, szczególnie niebezpieczne są przerwy w zasilaniu. Przerwy te są nieuchronne i zależą w dużym stopniu od czasu trwania procesu diagnozowania i jego wiarygodności. Aby zapewnić niezawodność zasilania w 100% należało by zainwestować ogromne kapitały, co z kolei było

by nieuzasadnione ekonomicznie. Nakłady na poprawę niezawodności powyżej pewnej wartości progowej rosną bardzo szybko, niewspółmiernie do wzrostu niezawodności [1], [2]

Przerwy w zasilaniu są przyczyną występowania strat ekonomicznych nie tylko u odbiorców, ale także u dostawców energii elektrycznej. Straty te przekładają się na całą gospodarkę krajową. Skutki gospodarcze przerwy w zasilaniu przedsiębiorstwa obejmują: koszty strat zakładowych i strat ogólnospołecznych. Koszty strat zakładowych to koszty związane z utraconą produkcją (np. utracona produkcja może być odrobiona w godzinach nadliczbowych, ale wiąże się to ze wzrostem płac w wyniku wyższych stawek robocizny), kosztami amortyzacji, kosztami osobowymi i tzw. kosztami dodatkowymi, do których zalicza się: koszty zniszczonych surowców i materiałów podczas przerwy awaryjnej, koszty naprawy uszkodzonych urządzeń, koszty związane z ponownym rozruchem produkcji . Koszty strat ogólnospołecznych to utrata dodatkowej akumulacji i udziału załogi w zysku[5].

2. WYMAGANIA ODBIORCÓW ZE WZGLĘDU NA NIEZAWODNOŚĆ ZASILANIA

Odbiorcy energii elektrycznej wykazują zróżnicowaną wrażliwość na przerwy w zasilaniu w energię elektryczną. W wyniku tych przerw odbiorcy a pośrednio gospodarka narodowa mogą ponieść straty finansowe, a także może wystąpić zagrożenie życia i zdrowia ludzkiego. Skutki występujących przerw w zasilaniu odbiorców i wymagania odnośnie do pewności zasilania są podstawą klasyfikacji odbiorców na trzy kategorie [5]:

- I dotyczy odbiorców, których pozbawienie zasilania w energię elektryczna przez określony czas może spowodować niebezpieczeństwo dla życia ludzkiego, uszkodzenie obiektów budowlanych i urządzeń technologicznych:
- II to odbiorcy, których pozbawienie zasilania przez określony czas może spowodować straty produkcyjne, postój pracowników, mechanizmów i urządzeń transportowych;
- III dotyczy pozostałych odbiorców.

Z tą klasyfikacją wiąże się podział odbiorów na trzy grupy ważności, z jednoczesnym określeniem sposobu zapewnienia odpowiedniej niezawodności układu zasilającego[5]. Są to:

- I grupa ważności odbiorów obejmująca odbiorniki wymagające dwustronnego zasilania z dwóch niezależnych źródeł przełączanych samoczynnie u odbiorcy, a dla szczególnie ważnych odbiorników dodatkowo z własnego lokalnego źródła, np. agregatów prądotwórczych, akumulatorów itp.
- II grupa ważności odbiorów obejmująca odbiorców wyposażonych w odbiorniki wymagające dwustronnego zasilania przełączanego u odbiorcy ręcznie lub samoczynnie.
- III grupa ważności dotyczy odbiorców wyposażonych w odbiorniki, dla których zasilanie jest przywracane przez przełączenie w układzie elektroenergetycznym dokonywane przez służby eksploatacyjne terenowych jednostek spółek dystrybucyjnych.

Podanym grupom odbiorców można przyporządkować jedną lub więcej spośród pięciu wymaganych klas niezawodności (tabl. 1).

Tabl. 1. Podział odbiorców na grupy i klasy ze względu na niezawodność zasilania [5]

Grupa odbiorców	Wymagana klasa niezawodności	Dopuszczalny czas trwania przerwy w zasilaniu t_{dop}[h]
I	A	$t_{dop} = 0$
II	B	$t_{dop} \approx 0$
III	C D E	 $0{,}25 < t_{dop} \leq 0$ $1 < t_{dop} \leq 3$ $t_{dop} > 3$

Z podanych wymagań wynika, że do właściwej oceny układu zasilającego, pod względem niezawodności, istotny jest czas potrzebny do zdiagnozowania stanu technicznego uszkodzonych elementów i ich naprawienia lub na ewentualne włączenie urządzeń rezerwowych. W tabl. 2 podano orientacyjne średnie takie czasy, ułatwiające ilościową ocenę układu.

Tabl.2. Średnie czasy potrzebne do diagnozowania i usunięcia uszkodzenia oraz ponownego uruchomienia [4]

Elementy sieci	Czas przerwy t_a[h].
1. Kabel nn ułożony w ziemi	12
2. Kabel nn ułożony na wierzchu w kanale itp.	6
3. Kabel nn ułożony prowizorycznie	1 ÷ 2
4. Przewody instalacyjne nn - prowizoryczna (stała) wymiana uszkodzonego elementu	1 ÷ 2 (4)
5. Linia napowietrzna nn	4
6. Linia szynowa prowizoryczne uruchomienie	2
7. Tablica rozdzielcza stała (prowizoryczna) naprawa	8 (2)
8. Kabel SN ułożony w ziemi	1 ÷ 8 (dni)
9. Linia napowietrzna SN	6
10. Stacje rozdzielcze WN: - dokonanie przełączenia w stacji ze stałą obsługą, - dokonanie przełączenia w	 0,25 0,3 8

stacji bez stałej obsługi, - likwidacja uszkodzenia aparatów łączeniowych, - likwidacja uszkodzenia aparatów niełączeniowych.	4
11. Transformator (wymiana): - o mocy do 500kVA, - o mocy ponad 500 do 1000 kVA	8 20
12 Dokonanie przełączeń w sieci: - miejskiej, - wysokiego napięcia (tzw. okręgowej), - fabrycznej.	0,5 1 0,5

Odbiorców energii elektrycznej zasilanych z elektroenergetycznej sieci rozdzielczej najogólniej można podzielić na trzy grupy: miejscy, wiejscy i przemysłowi. Odbiory przyłączone do sieci miejskiej można podzielić według różnych kryteriów. Okazuje się, że najbardziej właściwy podział to podział na[5] :

- odbiory komunalno-bytowe,
- odbiory przemysłowe,
- zakłady użyteczności publicznej,
- oświetlenie publiczne.

Odbiory komunalno - bytowe są to: mieszkania, biura, sklepy, restauracje, teatry, kina, drobne zakłady przemysłowe (przeważnie rzemieślnicze), drobne warsztaty itp. Zazwyczaj zalicza się do komunalno-bytowych odbiory rzędu kilku do kilkudziesięciu, rzadziej kilkuset kilowatów i to w zależności do jakiej sieci są przyłączone. Jeżeli odbiory są przyłączone do sieci zasilającej potrzeby komunalno-bytowe, należy zaliczyć je do tych odbiorców. Ze względu na swą wielkość lub wymaganą niezawodność odbiory często muszą być przyłączone do oddzielnej sieci i należy je wówczas zaliczyć do odbiorców przemysłowych. Odbiory przemysłowe są to odbiory o mocy nie pozwalającej na przyłączenie ich do sieci zasilającej odbiory komunalno-bytowe niskiego napięcia, najczęściej o mocy ponad kilkaset kilowatów. Sieci zasilające zakłady przemysłowe różnią się rozwiązaniem technicznym od sieci zasilających drobnych odbiorców.

Zmienność obciążeń miejskich zależy przede wszystkim od rodzaju i stopnia wyposażenia gospodarstw domowych w odbiorniki energii elektrycznej. Na dobową i roczną zmienność obciążeń odbiorców miejskich wywierają decydujący wpływ odbiorniki oświetleniowe i grzejne (kuchnie, grzejniki wody i pomieszczeń) gospodarstw domowych.

W elektroenergetyce polskiej odbiorców wiejskich dzieli się na następujące grupy [5]:

- gospodarstwa domowe,
- lokale niemieszkalne,
- oświetlenie publiczne,
- drobni odbiorcy siłowi,
- gospodarstwa rolne.

Do gospodarstw domowych zalicza się gospodarstwa osób nie zatrudnionych w rolnictwie oraz posiadających do 2 ha ziemi. Zmienność obciążeń odbiorców wiejskich zależy głównie od rodzaju i stopnia wyposażenia gospodarstw rolnych w odbiorniki energii elektrycznej.

Ze względu na małą liczbę odbiorników grzejnych na zmienność obciążeń krajowych i miejskich odbiorców decydujący wpływ wywiera oświetlenie w gospodarstwach domowych i rolnych.

Zakłady przemysłowe zalicza się do wielkich odbiorców energii elektrycznej. Ich podstawową cechą jest duży pobór energii i duże zapotrzebowanie na moc elektryczną. Przemysł krajowy zużywa netto ponad 60% produkowanej energii [ ].

Odbiorcom komunalno-bytowym przyporządkowuje się grupę niezawodności następująco[5]:

- do I grupy zalicza się następujące rodzaje odbiorców: wybrane obiekty służby zdrowia (stacje pogotowia ratunkowego, stacje krwiodawstwa, sale operacyjne i położnicze) urzędy pocztowo-komunikacyjne, banki, niektóre obiekty kultury i sztuki (kina, teatry, sale koncertowe), hotele I i II kategorii;
- do II grypy kwalifikują się: budynki wielorodzinne powyżej pięciu kondygnacji, obiekty żywienia zbiorowego, budownictwo mieszkaniowe zbiorowe (domy studenckie, hotele pracownicze, hotele III kategorii);
- w III grupie znajdują się: obiekty administracyjne, obiekty nauki i oświaty, budownictwo mieszkaniowe niskie i jednorodzinne, obiekty handlowe, oświetlenie zewnętrzne ulic i dróg.

Wymagania odnośnie do pewności zasilania poszczególnych odbiorców określa się podając jaki procent obciążenia szczytowego odbiorcy musi być pokrywany z sieci podczas wyłączenia jednego lub dwóch dowolnych elementów sieci, z zaznaczeniem czy jest wykonywane przełączenie ręczne sieci, czy też nie[5].

Wymagania pewności zasilania większych fragmentów sieci SN i nn, przy założeniu wyłączenia dowolnego elementu sieci, biorącego udział w zasilaniu analizowanego obszaru są następujące [5]:

1. Bez przełączeń ręcznych powinna istnieć możliwość pokrycia:
   a) pełnego obciążenia szczytowego:
      - miast o obciążeniu szczytowym większym od 1 MW,
      - ośrodków wypoczynkowo-turystycznych i uzdrowisk mających więcej niż 1000 miejsc noclegowych, czynnych cały rok;

b) 50% obciążenia szczytowego z zachowaniem indywidualnych wymagań odbiorców takich jak:
- miast o obciążeniu szczytowym mniejszym od 1 MW,
- wsi gminnych oraz innych o obciążeniu szczytowym większym od 0,5 MW.

2. Po zastosowaniu przełączeń ręcznych powinno być możliwe pokrycie pełnego obciążenia szczytowego:
a) miast o obciążeniu szczytowym mniejszym od 1 MW,
b) sezonowych ośrodków wypoczynkowo-turystycznych.

3. NIEZAWODNOŚĆ I DIAGNOSTYKA SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ

Niezawodność jest to zdolność obiektu (urządzenia) do wypełnienia zadanych funkcji w wymaganym okresie, z jednoczesnym nie przekroczeniem obciążeń dopuszczalnych [1,2,3,5]. Najczęściej stosowaną miarą w ocenie niezawodności pracy układów elektroenergetycznych jest współczynnik zawodności. Współczynnik ten wyznacza się dla dowolnego elementu (urządzenia), części lub całej sieci elektroenergetycznej na podstawie badań statystycznych. Określa się go jako stosunek czasu zdatności eksploatacyjnej (zdolności do pracy) do całkowitego analizowanego przedziału czasu:

$$p = \frac{T_z}{T}, \tag{1}$$

gdzie: T_z - łączny czas zasilania w przedziale czasu *T, T* - analizowany przedział czasu wnoszący zazwyczaj 1 rok.

Wielkością przeciwną do współczynnika *p* jest współczynnik zawodności *q* - awaryjności:

$$q = \frac{T_a}{T} = \frac{T - T_z}{T}, \tag{2}$$

gdzie: T_a - łączny czas trwania przerw w zasilaniu w przedziale czasu *T,* który jest równy $T_a = T - T_z$.

Bardzo istotny wpływ na czas trwania przerw w zasilaniu ma czas diagnozowania: elementów sieci, procesów przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej. Bowiem w wyniku procesu diagnozowania następuje rozpoznanie stanu technicznego obiektu złożonego, jakim jest sieć elektroenergetyczna, na podstawie identyfikacji stanów elementów tej sieci. W przypadku uszkodzeń diagnostyka sprowadza się do detekcji, lokalizacji oraz identyfikacji uszkodzeń. W sieci elektroenergetycznej dąży się do automatycznej realizacji działań diagnostycznych co pozwala na znaczne skrócenie czasu wykrycia i lokalizacji awarii w stosunku do diagnostyki realizowanej przez operatora sieci rozdzielczych. Przynosi to istotną poprawę niezawodności dostaw energii elektrycznej, a także zwiększenie efektów ekonomicznych. Dzięki wiarygodnej i szybkiej informacji diagnostycznej możliwe jest dokonywanie (automatyczne lub przez obsługę) odpowiednich działań zabezpieczających pozwalających na uniknięcie lub ograniczenie skutków uszkodzeń zanim wystąpią groźne następstwa dla przebiegu procesów przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej. Ponadto prowadzona na bieżąco diagnostyka techniczna umożliwia prowadzenie remontów w zależności od stanu technicznego , co wpływa na czas usuwania awarii i zmniejszenie ich kosztów w stosunku do obsługi okresowej.

W czasie sumarycznym trwania przerw w zasilaniu T_a można wyróżnić łączny czas trwania procesów diagnozowania T_d i łączny czas naprawy uszkodzonych elementów bądź włączenia elementów rezerwowych T_n, czyli:

$$T_a = T_d + T_n, \tag{3}$$

czyli wzór (2) przyjmie postać:

$$q = \frac{T_a}{T} = \frac{T_d + T_n}{T}, \tag{4}$$

Zatem wartości współczynników: zawodności *q* i niezawodności *p* są zależne od czasu trwania procesów diagnozowania i czasu wykonywania remontów i mogą być wykorzystane do oceny efektywności prowadzonej diagnostyki sieci elektroenergetycznej. Miary niezawodności dostaw energii elektrycznej są również miarami efektywności stosowanych metod diagnostyki technicznej sieci elektroenergetycznej.

Jeśli znany jest oczekiwany czas trwania jednej awarii t_a danego urządzenia oraz częstość *d* ich występowania w określonym okresie (np. roku), można obliczyć oczekiwany roczny czas przerwy w zasilaniu:

$$T_a = t_a \quad d, \tag{5}$$

stąd

$$q = \frac{t_a d}{T}, \tag{6}$$

Wielkość *p* i *q* zdefiniowane wzorami (1) i (2) są związane następującą zależnością:

$$p + q = 1. \tag{7}$$

Łączny czas trwania przerwy w zasilaniu składa się z przerw wywołanych różnymi przyczynami, a mianowicie między innymi:
- uszkodzeniami elementów układu elektroenergetycznego, niewłaściwym zadziałaniem zabezpieczeń lub automatyki, błędami osób użytkujących dany obiekt,
- procesami diagnozowania uszkodzeń,

- pracami remontowo-konserwacyjnymi,
- ograniczeniami wywołanymi deficytem mocy w systemie elektroenergetycznym.

Wartości iloczynu t_a d i oszacowane na ich podstawie wskaźniki q, są średnimi oszacowanymi dla pewnej populacji na podstawie badań statystycznych. Przy czym badania te muszą spełniać założenia dotyczące np. liczebności próbki podlegającej analizie, aby można uogólnić je na całą populację. Wskaźniki intensywności uszkodzeń elementów sieci rozdzielczych podaje się jako liczbę uszkodzeń w ciągu roku, przypadającą na 100km w przypadku linii lub na 100szt. w przypadku transformatorów, wyłączników itp. Przykładowe wartości d i t_a zamieszczono w tabeli 3 [5].

Na podstawie tych danych można uszeregować elementy sieci rozdzielczej, których uszkodzenia bądź zakłócenie w ich pracy powodują długie przerwy w dostawie energii elektrycznej,a co przekłada się na pogorszenie niezawodności dostaw. Dla tych elementów należy przede wszystkim zintensyfikować badania diagnostyczne, zastosować nowe, dostępne metody diagnostyczne aby umożliwić szybszą detekcję, lokalizację i identyfikację ich uszkodzeń. Są to pilne zadania stojące przed diagnostyką techniczną, których wagę określają: kategorie odbiorców wyróżnione ze względu na skutki przerw w ich zasilaniu i wymagane klasy niezawodności ustalone na podstawie kryterium dopuszczalnego czasu trwania przerw w zasilaniu. Również przy projektowaniu nowych sieci zasilających w zależności od wymagań danego odbiorcy energii elektrycznej powinno się stosować takie elementy sieci, które zapewniają żądaną niezawodność dostaw.

Tabl.3. Wskaźniki zawodnościowe podstawowych urządzeń elektroenergetycznych [5]

Lp.	urządzenia	Jedno-stka [j]	d [1/a·100j]	t_a [h]
1	linia napowietrzna 110 kV	km	1,5	6
2	linia napowietrzna 15 kV	km	2.5	14
3	linia napowietrzna 0,4 kV	km	15	4
4	linia kablowa 15 kV	km	22	12
5	linia kablowa 0,4 kV	km	6	12
6	transformator 110/15 kV	szt.	6	12
7	transformator 15/ 0,4 kV	szt.	4,8	29
8	szyny zbiorcze 110 kV	pole	4	4
9	szyny zbiorcze 15 kV	pole	0,32	10
10	pole w rozdzielni 0,4kV	pole	1	3
11	wyłącznik 10kV	szt.	3	6
12	wyłącznik 15 kV	szt.	13	5,5
13	odłącznik 110kV	szt	0,8	4
14	odłącznik 15 kV	szt.	0,55	8,7

Jednocześnie należy tak zaplanować działania diagnostyczne, aby elementom sieci elektroenergetycznej zapewnić wskaźniki niezawodności co najmniej równe oszacowanym wartościom, podanym w tabl.3.

Na przykład obecnie w Polsce eksploatowanych jest ponad 220 000 transformatorów[4] Wśród eksploatowanych transformatorów można jeszcze znaleźć pojedyncze egzemplarze z rdzeniami z blachy gorąco walcowanej, izolowanej papierem, z jarzmem na "styk", wstawione do kadzi z radiatorami wykonanymi z rur; są to najstarsze jednostki, pracujące w starych, słabo obciążonych rozdzielniach i pochodzące z lat 30-tych ubiegłego stulecia. Ponadto eksploatowane są: transformatory w kadzi z radiatorami i konserwatorem, transformatory "hermetyzowane" i obecnie produkowane transformatory hermetyczne. Najwięcej w eksploatacji znajduje się transformatorów wyprodukowanych po 1975r., a więc eksploatowanych krócej niż 30 lat. Najliczniejszą grupę stanowią transformatory o mocach 160 kVA, 250 kVA i 400 kVA. Ponad 20% pracujących transformatorów o mocach 160 kVA i 250 kVA zostało wyprodukowanych przed rokiem 1970, a więc charakteryzują się dużymi stratami jałowymi i obciążeniowymi. Jak wynika z badań diagnostycznych straty te są spowodowane zastosowaniem nieodpowiednich materiałów do ich konstrukcji. Analiza wyników badań diagnostycznych średnich zmian w czasie strat jałowych i obciążeniowych dla transformatorowych 160 kVA, 250 kVA i 400 kVA, prowadzonych podczas ich długoletniej eksploatacji, doprowadziła do zmian konstrukcyjnych na przestrzeni kilkudziesięciu lat (np. zmianie uległ sposób zaplatania blach rdzenia, przejście na blachy zimnowalcowane i zastosowano zmiany technologii w zakresie: walcowania, izolowania i cięcia blach, a także zaplatania rdzenia). Konsekwencją trendu zmniejszenia strat transformatorów jest powstanie w latach 90-tych nowej generacji rdzeni i obecnie produkowane w Polsce (po 1995 roku) transformatory spełniają zalecenia Unii Europejskiej zawarte w HD 428, dotyczące poziomu strat stanu jałowego i obciążeniowego. Ze względu na wiek eksploatowanych transformatorów badania diagnostyczne przewidujące miedzy innymi:

pomiary rezystancji izolacji, wskaźników R_{60}/R_{15} oraz badanie oleju w zakresie zawartości wody, ciał stałych, rezystywności i napięcia przebicia również dla transformatorów hermetyzowanych (z poduszką powietrzną pod pokrywą) są przeprowadzane znacznie częściej niż terminy podane w załączniku do Zarządzenia Ministra Górnictwa i Energetyki z lipca 1987r., w sprawie szczegółowych zasad eksploatacji sieci rozdzielczych, pomimo ich uchylenia w 2001r poprzez wprowadzenia "Ramowej instrukcji eksploatacji transformatorów" Jest to związane z profilaktyką w zakresie uniknięcia bardzo prawdopodobnych i częstych awarii, powstałych w wyniku uszkodzeń wywołanych znacznym zużyciem fizycznym eksploatowanych transformatorów. Udział łącznego czas trwania procesów diagnozowania T_d transformatorów w T_a, czyli łącznym czasie trwania przerw w zasilaniu w przedziale czasu *T,* z roku na rok zwiększa się i współczynniki niezawodności transformatorów maleją. W tym celu podjęto działania związane z systematycznym wycofywania starych transformatorów z eksploatacji (przede wszystkich tych, których czas eksploatacji wynosi ponad 20 lat) i instalowaniem w ich miejsce nowych i energooszczędnych, w których są monitorowane obciążenia i warunki pracy w trybie on-line. Takie działania znacznie poprawiają efektywność diagnostyki technicznej i umożliwiają wykonawstwo remontów w zakresie i terminie zależnym od rzeczywistego ich stanu technicznego. Zatem przekłada się to bezpośrednio na skrócenie czasu trwania przerw w zasilani, a tym samym na zwiększenie niezawodności dostaw energii elektrycznej do odbiorców.

4. WNIOSKI

Efektywność diagnostyki technicznej elementów sieci rozdzielczej i procesów przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej można ocenić na podstawie analizy niezawodności dostaw energii elektrycznej. W tym celu konieczne jest wyodrębnienie w czasie trwania przerw w zasilaniu, czasu niezbędnego na: detekcję, lokalizację i identyfikację uszkodzenia. Bardzo istotnym problemem jest znajomość wymaganych klas niezawodności układów elektroenergetycznych dla wyróżnionych kategorii odbiorców energii elektrycznej, gdyż one determinują rozwiązania w zakresie doboru poszczególnych elementów sieci z punktu widzenia ich współczynników niezawodności. Sposób wyznaczania tych współczynników przedstawiony w artykule umożliwia podjęcie konkretnych działań w zakresie zmian dotyczących diagnostyki technicznej wyróżnionych elementów sieci elektroenergetycznej w celu minimalizacji strat wywołanych przerwami w dostawach energii elektrycznej. Co pokazano na przykładzie transformatorów eksploatowanych w Polsce.

LITERATURA

[1] Dąbrowska-Kauf G., Controlling management of technical facilities reliability in enterprises of the power engineering sector, Safety and reliability international conference, Gdynia, 2003.
[2] Dąbrowska-Kauf G. , Diagnostyka techniczna w gospodarce remontowej urządzeń elektroenergetycznych, Zeszyty naukowe nr 68: Obsługiwanie maszyn i urządzeń okrętowych, Wyższa Szkoła Morska, Szczecin 2003.
[3] Dabrowska-Kauf G., Rachunek kosztów działań ABC w ocenie efektywności diagnostyki technicznej, Elektroenergetyczne sieci rozdzielcze, Instytut Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004, str.387÷ 395.
[4] Krajewska A., Kersz I., Współczesne problemy transformatorów rozdzielczych, Nowa Elektrotechnika, marzec 2005 nr 3 (7) str. 8÷9.
[5] Marzecki J., Rozdzielcze sieci elektroegetyczne, PWN S.A., Warszawa 2001.

Dr Grażyna Dąbrowska-Kauf jest adiunktem w Instytucie Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej. Jej zainteresowania nau - kowo- badawcze koncentrują się w obszarze diagnostyki technicznej i eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych, zarządzania finansami w przedsiębiorstwach sektora energetycznego, rynku energii elektrycznej. Jest autorem i współautorem kilkudziesięciu publikacji.

SYMULOWANIE ROZWOJU PĘKNIĘCIA ZĘBA KOŁA Z WYKORZYSTANIEM MEB W BADANIACH DIAGNOSTYCZNYCH PRZEKŁADNI

Piotr FOLĘGA, Andrzej WILK, Tomasz FIGLUS

Katedra Budowy Pojazdów Samochodowych
40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8, (32) 603 4118, figlus@polsl.katowice.pl

Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono zastosowanie metody elementów brzegowych (MEB) do wyznaczania sztywności zazębienia kół. Dokonano analizy wpływu rozwoju pęknięcia zmęczeniowego zęba na zmiany sztywności zazębienia. Otrzymane wyniki badań wykorzystano w modelu diagnostycznym do wykrywania uszkodzeń zębów kół.

Słowa kluczowe: metoda elementów brzegowych, pęknięcie stopy zęba, symulacja komputerowa

THE SIMULATION THE DEVELOPMENT OF CRACK TOOTH OF WHEEL WITH BEM IN INVESTIGATIONS DIAGNOSTIC GEARS

Summary

Application of the Boundary Elements Method (BEM) in the numerical analysis of the stiffness of meshing has been presented in the paper. The analyses of influence of development of the fatigue crack in a gear tooth root were executed in modification the stiffness of teeth of wheels. The got results use in diagnostic model fault tooth wheel.

Keywords: boundary elements method, crack in a gear tooth root, computer simulation

1. WPROWADZENIE

W diagnozowaniu stanu przekładni zębatych obok badań stanowiskowych wykorzystuje się coraz powszechniej badania symulacyjne na podstawie zidentyfikowanych modeli przekładni.
W diagnozowaniu stanu przekładni zębatych obok badań stanowiskowych wykorzystuje się coraz powszechniej badania symulacyjne, których podstawę stanowią zidentyfikowane modele przekładni.

Podczas badań stanowiskowych poszukuje się symptomów: wykruszenia zęba, pęknięcia stopy zęba, czy też zużycia powierzchni roboczych zębów przy założeniu, że pozostałe elementy przekładni są w dobrym stanie [1], jak i w przypadkach złożonych, gdy występują uszkodzenia innych jej elementów [2].

Zastosowanie badań komputerowych umożliwia przeprowadzanie symulacji dla różnych założeń geometrycznych, jak i eksploatacyjnych przekładni. Wykorzystanie w badaniach modelu symulacyjnego nabiera szczególnego znaczenia w przypadkach diagnozowania rozwoju pęknięcia stopy zęba w obecności uszkodzeń łożysk tocznych przekładni, gdyż zjawisko to jest trudne do zbadania w warunkach stanowiskowych. Wykorzystany w badaniach model dynamiczny wymaga w tym przypadku przeprowadzenia badań wstępnych, których celem jest wyznaczenie zmiany wypadkowej sztywności pary zębów wraz z rozwojem pęknięcia stopy zęba.

Sztywność zazębienia zależy od geometrii kół zębatych i własności fizycznych ich materiałów. Norma ISO/DIS 6336 określa sztywność zazębienia jako stosunek siły normalnej do odkształcenia w znajdujących się w przyporze par zębów o jednostkowej szerokości bezodchyłkowej przekładni. Odkształcenia to jest wyznaczone w kierunku prostopadłym do zarysu zęba w przekroju czołowym. Norma ISO/DIS 6336/1 podaje możliwe do wykorzystania metody wyznaczenia sztywności zazębienia. Najdokładniej sztywność zazębienia można wyznaczyć wykorzystując metodę A, według której należy w przeprowadzonej analizie uwzględnić wpływ wielu czynników. W metodzie tej można wykorzystać numeryczne metody obliczeń, takie jak metoda elementów skończonych (MES) lub metoda elementów brzegowych (MEB). W metodzie C natomiast po przyjęciu odpowiednich założeń upraszczających, przyjmuje się stałe wartości sztywności zazębienia.

W literaturze podane są również inne uproszczone metody wyznaczania sztywności zazębienia [3,4]. Przykładowo ograniczeniem metody opisanej w [4] jest możliwość wyznaczenia wartości sztywności zazębienia tylko nieuszkodzonych zębów kół zębatych. W praktyce ważną informacją w diagnostyce kół zębatych są np. zmiany sztywności zazębienia spowodowane pęknięciem zmęczeniowym zęba u podstawy.

W opracowaniu zastosowano do wyznaczenia sztywności zazębienia kół metodę elementów brzegowych. Celem przeprowadzonych obliczeń jest oszacowanie wpływu rozwoju pęknięcia zmęczeniowego zęba na zmiany sztywności zazębienia.

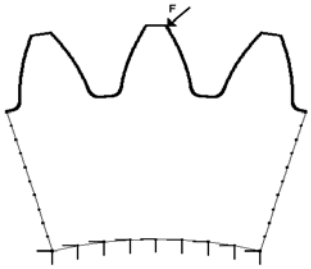
2. WYZNACZANIE SZTYWNOŚCI ZAZĘBIENIA PRZY POMOCY MEB

Wykorzystanie MEB w procesie projektowania i konstruowania kół zębatych pozwala na optymalny dobór cech konstrukcyjnych kół zębatych i narzędzia, ze względu na wytrzymałość na złamanie zębów, a także pozwala na ilościową ocenę wpływu zmian tych cech na wytrzymałość [5].

Wyznaczenie sztywności zazębienia przy pomocy MEB z uwzględnieniem zagadnienia stykowego uwzględnia wszystkie czynniki występujące w kontakcie zębów kół zębatych. Takie pełne podejście do zagadnienia powoduje jednak trudności numeryczne oraz stosunkowo długi czas obliczeń numerycznych. Dlatego w pracy po wykonaniu szeregu eksperymentów numerycznych opracowano metodę uproszczoną pomijającą odkształcenia stykowe opartą na założeniach podanych w pracy [4]. Po wygenerowaniu zarysu zęba zębnika i koła wyznaczane są odkształcenia w punktach przyłożenia siły, a następnie zmiany sztywności pojedynczego zęba w funkcji promienia przyłożenia siły osobno dla zębnika i koła.

Następnie znając zmiany sztywności wzdłuż linii przyporu pojedynczych zębów można wyznaczyć sztywność zazębienia jednej pary zębów w dowolnym punkcie. Sztywność zazębienia jednej pary zębów stanowi podstawę do wyznaczenia sztywność zazębienia w przyporze wieloparowym.

Przyjęty w obliczeniach numerycznych sposób obciążenia i podparcia zęba pokazano na rys. 1. Opracowany model numeryczny uwzględnia rzeczywisty kształt zęba oraz odkształcenie wieńca koła zębatego.



Rys. 1. Sposób obciążenia i podparcia zęba

W celu weryfikacji opracowanej uproszczonej metody wyznaczania sztywności zazębienia porównano wyniki obliczeń numerycznych z rezultatami badań zamieszczonymi w literaturze [4]. W tym celu zamodelowano zęby kół o następujących cechach geometrycznych:
- liczba zębów zębnika z_1=20,
- liczba zębów koła z_2=35,
- współczynnik korekcji zębnika x_1=0.3,
- współczynnik korekcji koła x_2=0.1,
- moduł m=1,

oraz przy założeniu zarysu odniesienia
- kąt przyporu α_{on}=20°,
- wysokości głowy narzędzia h_{ao}*=1.25,
- promień zaokrąglenia głowy narzędzia ρ_{ao}*=0.2.

Wymiary wysokości h_{ao}* i promienia ρ_{ao}* zaokrąglenia głowy są odniesione w stosunku do modułu koła zębatego.

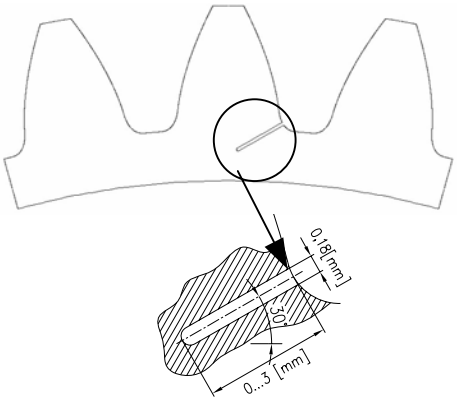
Analizując wartości sztywności zazębienia wyznaczone metodą numeryczną i wg pracy [4] stwierdzono ich zgodność jakościową i ilościową. Różnice w otrzymanych wynikach są spowodowane nieuwzględnieniem w obliczeniach numerycznych efektów kontaktowych (spłaszczenia powierzchni zębów). Różnice odpowiednich wartości nie przekraczają 5%.

3. WPŁYW ROZWOJU PEKNIĘCIA ZMECZENIOWEGO ZĘBA NA ZMIANY SZTYWNOSCI ZAZĘBIENIA

Wykorzystując zaproponowaną metodę wyznaczania sztywności zazębienia wykonano symulacje rozwoju pęknięcia zmęczeniowego stopy zęba. Wyznaczono sztywność zazębienia kół o następujących cechach geometrycznych:
- liczba zębów zębnika z_1=16,
- liczba zębów koła z_2=24,
- współczynnik korekcji zębnika x_1=0.864,
- współczynnik korekcji koła x_2= -0.5,
- moduł m=4.5,

oraz przy założeniu zarysu odniesienia
- kąt przyporu α_{on}=20°,
- wysokości głowy narzędzia h_{ao}*=1.25,
- promień zaokrąglenia głowy narzędzia ρ_{ao}*=0.2.

Pęknięcie zęba symulowano w badaniach modelowych poprzez podcięcie stopy zęba zgodnie z rysunkiem 2.

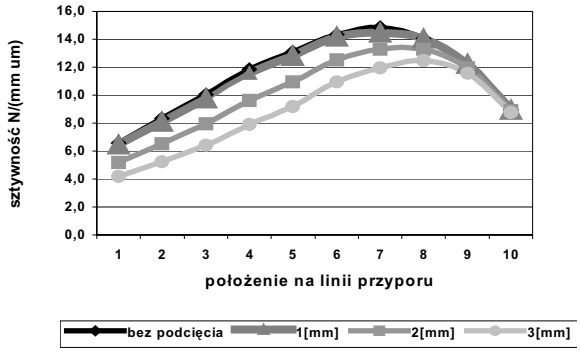


Rys. 2. Model z pęknięciem stopy zęba

Przyjmowano kolejne wartości długości podcięcia od 0 do 3 mm o parametrach podanych na rysunku 2. Miejscem inicjacji rozwoju szczeliny

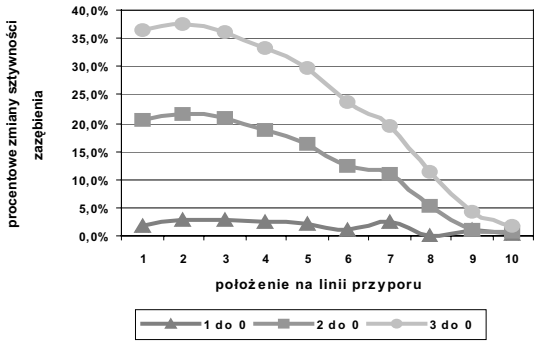
zmęczeniowej był punkt maksymalnych naprężeń w stopie zęba koła (z_2=24).

Uzyskane zmiany wypadkowej sztywności zazębienia dla kolejnych wybranych wartości długości podcięcia pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Zmiany wypadkowej sztywności zazębienia w zależności od długości podcięcia stopy zęba

Na rysunku 4 pokazano procentowe zmiany sztywności zazębienia w zależności od długości pęknięcia stopy zęba. Zmiany te określono w stosunku do wartości sztywności zazębienia bez podcięcia



Rys. 4. Procentowe zmiany wypadkowej sztywności zazębienia

4. SYMULACJE KOMPUTEROWE

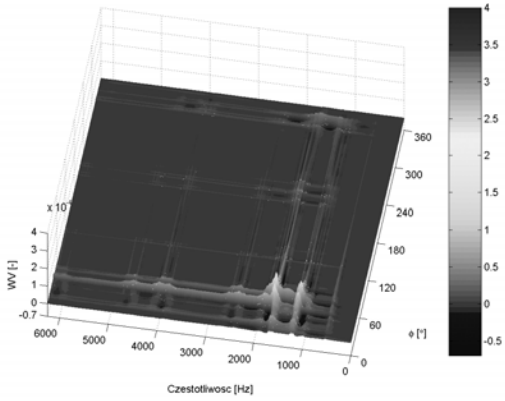
Badania symulacyjne zmęczeniowego pęknięcia stopy zęba w obecności uszkodzeń łożysk tocznych przekładni przeprowadzono wykorzystując jako podstawę zidentyfikowany model dynamiczny przekładni zębatej w układzie napędowym [6,7,8]. Model ten przedstawia układ składający się z elektrycznego silnika asynchronicznego, jednostopniowej przekładni zębatej, maszyny roboczej, wałów pośrednich oraz sprzęgieł [6].

W pierwszym etapie badań przeprowadzono symulacje, których celem było określenie wpływu zmiany sztywności zazębienia na strukturę czasowo-częstotliwościową sygnału drganiowego wału koła.

Badania wykonano na kołach o parametrach podanych w p.3, przy częstotliwości obrotowej wału wynoszącej 30Hz. Przyjęto następujące odchyłki wykonania kół: f_1=-7μm, f_2=5μm, $s_{1max}=s_{2max}=\pm$4,8μm. W symulacjach założono trzy przypadki zmiany wypadkowej sztywności zazębienia wskutek pęknięcia o wartości: 12%, 24% i 36%.

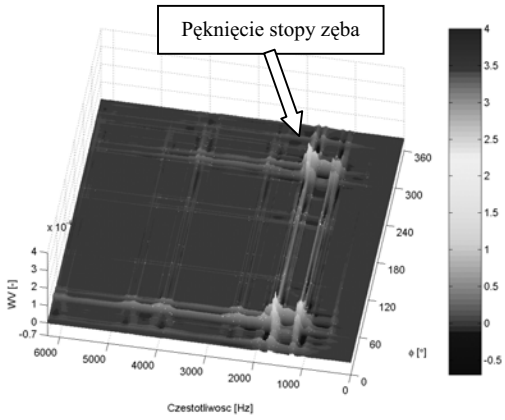
Do analiz sygnału drganiowego wykorzystano metodę obliczeń opartą o filtrację, uśrednianie synchroniczne i rozkład czasowo-częstotliwościowy Wignera-Ville'a prezentowaną przez autorów w [2].

Na rysunku 6 przedstawiono rozkład Wignera-Ville'a sygnału drganiowego wału nieuszkodzonego. Charakterystyczne maksima występujące w rozkładzie spowodowane są tylko błędami wykonania kół zębatych.

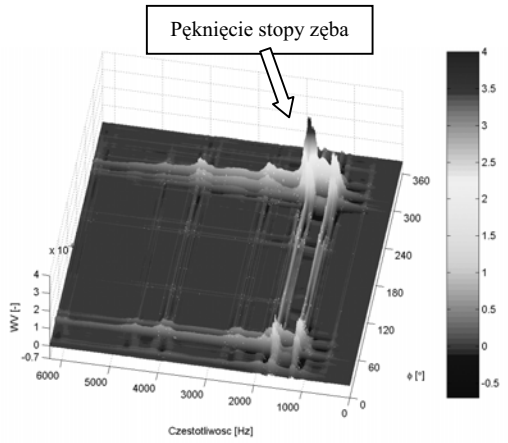


Rys. 6. Rozkład WV – zazębienie nieuszkodzone

Rozkłady Wignera-Ville'a sygnałów drganiowych przekładni, w której symulowano rozwój pęknięcia stopy zęba, wykazują zmiany amplitudy w strefie przyporu zęba podciętego oraz zęba wchodzącego w przypór bezpośrednio po nim (rysunki 6 i 7). Zmiany rozkładu sygnału drganiowego spowodowane 12% zmniejszeniem sztywności, posiadają bardzo małą energię i mogą być interpretowane, jako zaburzenie spowodowane błędami wykonania kół.



Rys. 6. Rozkład WV w przypadku pęknięcia stopy zęba powodujące 24% zmianę wypadkowej sztywności zazębienia



Rys. 7. Rozkład WV w przypadku pęknięcia stopy zęba powodujące 36% zmiana wypadkowej sztywności zazębienia

Występujące na rysunkach 6 i 7 zmiany amplitudowo-fazowe będące symptomem zmęczeniowego pęknięcia stopy zęba mają charakter zaburzenia szerokopasmowego, z lokalnymi maksimami.

Uzyskane wyniki analizy wskazują, że metoda Wignera-Ville'a sygnału drganiowego pozwala wykryć uszkodzenia zęba koła wskutek jego podcięcia.

5. PODSUMOWANIE

Zastosowanie metody elementów brzegowych umożliwia wyznaczenie zmian wypadkowej sztywności zazębienia spowodowanej rozwojem pęknięcia zmęczeniowego zęba.

Wstępne wyniki obliczeń wskazują na przydatność zaproponowanej metody wyznaczania zmian wypadkowej sztywności zazębienia do badań symulacyjnych oceny wrażliwości różnych metod analizy sygnału drganiowego na uszkodzenia zębów.

Dalsze badania obejmą symulacje pęknięcia zmęczeniowego stopy zęba w obecności uszkodzeń łożysk tocznych oraz ocenę możliwości diagnozowania stanu kół zębatych w tych przypadkach.

LITERATURA

[1] Wilk A., Łazarz B., Madej H.: Metody przetwarzania sygnałów drganiowych w diagnozowaniu przekładni zębatych, 3rd International Congress of Technical Diagnostics, Diagnostics'2004, September 6-9, 2004, Poznań, Poland. Diagnostyka vol. 30 tom 2 2004r. 183-186.

[2] Figlus T., Wilk A., Folęga P.: Diagnozowanie złożonych przypadków uszkodzeń przekładni zębatych z wykorzystaniem różnych technik pomiaru drgań. ZN Pol. Śl., Transport, Gliwice 2005, nr 56.

[3] Ryś J.: Sztywność zębów prostych walcowych kół zębatych, Przegląd Mechaniczny, nr 10, Warszawa 1977.

[4] Müller L.: Przekładnie zębate – dynamika WNT, Warszawa 1986.

[5] Folęga P., Wilk A.: Analiza stanu naprężenia w podstawie zęba z wykorzystaniem MEB, XXI Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, WNT, tom I, Ustroń 2003.

[6] Łazarz B.: Zidentyfikowany model dynamiczny przekładni zębatej jako podstawa projektowania. Biblioteka Problemów Eksploatacji – Studia i Rozprawy, Katowice-Radom 2001.

[7] Łazarz B., Wojnar G.: Modelowanie przekładni zębatych w układzie napędowym do celów diagnostycznych. ZN Pol. Śl., Transport, Gliwice 2002, nr 44.

[8] Łazarz B., Wojnar G.: Model dynamiczny układu napędowego z przekładnią zębatą. XVII Ogólnopolska Konferencja Przekładnie Zębate, Węgierska Górka 09.10-11.10.2000.

Prof. dr hab. inż. Andrzej Wilk jest Kierownikiem Katedry Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej oraz Członkiem Zarządu Towarzystwa Diagnostyki Technicznej. Zajmuje się diagnozowaniem napędów zębatych metodami wibroakustycznymi oraz badaniami dynamicznymi układów napędowych z przekładniami zębatymi.

Dr inż. Piotr FOLĘGA jest pracownikiem Katedry Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zajmuje się wspomaganiem komputerowym projektowania napędów zębatych oraz zastosowaniem metod numerycznych w analizie stanu naprężenia.

Mgr inż. Tomasz FIGLUS jest doktorantem w Katedrze Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zajmuje się diagnozowaniem przekładni zębatych metodami wibroakustycznymi.

TRANSFORMATA WIGNERA-VILLE'A JAKO NARZĘDZIE DIAGNOSTYCZNE DO IDENTYFIKACJI USZKODZEŃ AMORTYZATORÓW SAMOCHODOWYCH

Janusz GARDULSKI, Rafał BURDZIK, Łukasz KONIECZNY

Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Budowy Pojazdów Samochodowych
40-019 Katowice ul. Krasińskiego 8 , email: burdzik@polsl.katowice.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie transformaty Wignera-Ville'a jako narzędzia do identyfikowania ubytku płynu oraz uszczelnienia tłoczka w amortyzatorach samochodów osobowych. Analizowano sygnały drganiowe generowane przez masy nieresorowane i resorowane pobudzane do drgań harmonicznym wymuszeniem kinematycznym. Jako miarę diagnostyczną zaproponowano estymatory punktowe.

Słowa kluczowe: transformata Wignera-Ville'a, amortyzator samochodowy, diagnostyka

WIGNER-VILLE DISTRIBUTION AS DIAGNOSTIC TOOL FOR SHOCK ABSORBERS DEFECTS IDENTIFICATION

Summary

The paper presents results of Wigner-Ville analysis as leak of shock absorber fluid and plunger seal loss detection method. This method is based on vibration signals. It have been suggest the point estimators as the diagnosis measure.

Keywords: Wigner-Ville distribution, car shock absorber, diagnostic

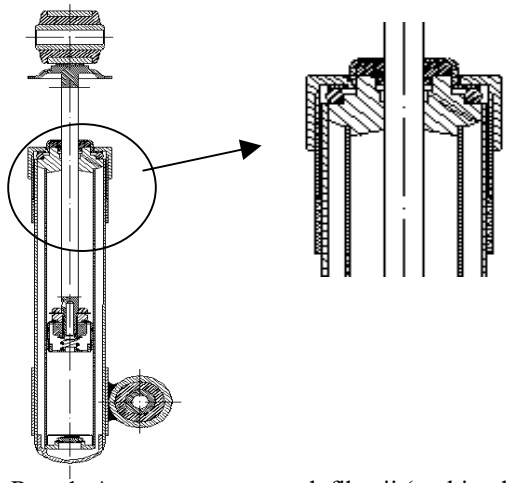
1. WPROWADZENIE

Prawidłowa praca zawieszeń pojazdów samochodowych wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo ruchu samochodowego oraz stan nawierzchni dróg. W trakcie badań okresowych prowadzonych w Stacjach Kontroli Pojazdów (SKP) szczególną uwagę zwraca się na stan techniczny zawieszeń. Amortyzatory, jako elementy odpowiedzialne za prawidłowe tłumienie drgań nadwozia, badane są w SKP metodą bezdemontażowa, wg kryteriów ustalonych przez Europejskie Stowarzyszenie Producentów Amortyzatorów (EUSAMA). Głównym mankamentem tej metody jest brak informacji o rodzaju powstającego uszkodzenia i stopniu jego zaawansowania w trakcie eksploatowania pojazdu. Najczęściej występującymi usterkami amortyzatorów są wycieki płynu i ubytek uszczelnienia tłoczka. Uszkodzenia te są trudno diagnozowalne pod względem ilościowym Powyższe zagadnienia są przedmiotem przeprowadzonych badań.

Jako nośnik informacji diagnostycznej wykorzystano sygnały wibroakustyczne generowane przez masy pojazdu pobudzone do drgań.

2. METODA BADAŃ

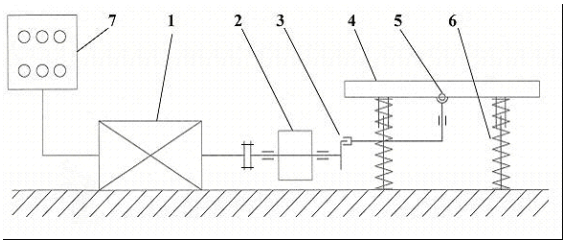
W badaniach wykorzystano samochód marki Skoda Fabia, w którym zabudowywano amortyzatory z wcześniej zamodelowanymi usterkami. Przyjęty zakres badań wymagał dokonania modyfikacji nierozbieralnych amortyzatorów fabrycznych na amortyzatory rozbieralne umożliwiające wprowadzenie zaprogramowanych uszkodzeń. Modyfikacja polegała na obcięciu osłony górnej amortyzatora, wykonaniu pasowanej tulei z gwintem zewnętrznym oraz nakrętki zamykającej amortyzator zawierającej oryginalne uszczelnienia (Rys. 1). Tak przygotowany materiał badawczy został poddany badaniom na stanowisku indykatorowym co pozwoliło wyznaczyć charakterystyki amortyzatorów o zidentyfikowanym stanie technicznym.



Rys. 1. Amortyzator po modyfikacji (rozbieralny)

Zamodelowano następujące uszkodzenia:
- ubytek płynu amortyzatorowego, od 0% (nowy) do 40% z 10% stopniowaniem.
- ubytek uszczelnienia tłoczka od 0% (nowy) do 6% z 2% stopniowaniem.

Amortyzatory o zidentyfikowanym stanie technicznym po zabudowaniu w pojeździe przebadano na stanowisku o wymuszeniu harmonicznym. Schemat kinematyczny stanowiska przedstawiono na rysunku 2.



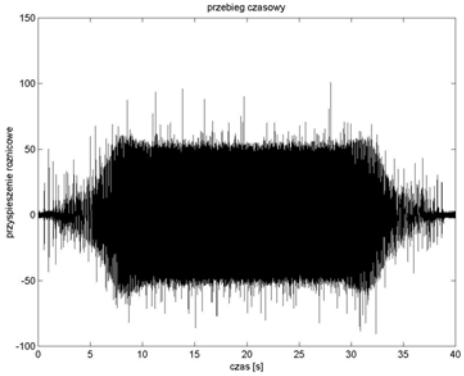
Rys. 2. Schemat kinematyczny stanowiska o wymuszeniu harmonicznym:
1. silnik napędowy
2. masa wirująca
3. układ korbowy (mimośrodowy)
4. płyta wymuszająca
5. łącznik
6. łożyskowane kolumny prowadzące
7. przemiennik częstotliwości z układem sterującym

Do pomiarów wykorzystano pojemnościowe przetworniki przyśpieszeń, które mocowano w wybranych punktach za pomocą magnesu:
- na gnieździe kolumny zawieszenia w kierunku działania siły tłumienia,
- na wahaczu dolnym - w pobliżu miejsca mocowania dolnej części amortyzatora,

Rejestrowano przyśpieszenia drgań koła (masa nieresorowana) i nadwozia (masa resorowana).

3. METODA ANALIZY

Analizie poddano sygnały różnicowe przyśpieszeń drgań masy nieresorowanej i resorowanej.



Rys. 3. Przykładowy sygnał różnicowy rejestrowanych przyśpieszeń drgań

Przyśpieszenia drgań analizowano w dziedzinie czasu i częstotliwości. Wykorzystano do tego celu transformatę Wignera-Ville'a (WVD) z funkcją wagową Choi-Williams'a. Matematyczny zapis wykorzystanego przekształcenia jest następujący:

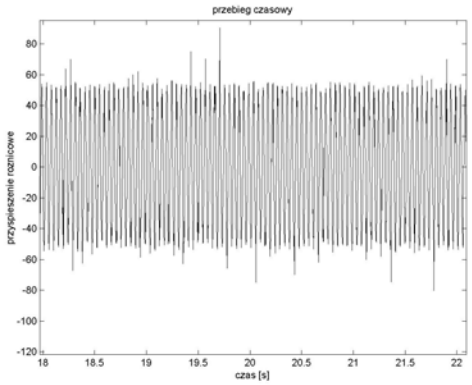
$$WVD(f,\tau) = \int x^*(t-\frac{\tau}{2})x(t+\frac{\tau}{2})e^{j2\pi ft}\, e^{-\left(\frac{\theta\tau}{\sigma}\right)^2} dt$$

gdzie:
x*(t) – sygnał zespolony sprzężony z x(t)
τ – przesunięcie w dziedzinie czasu
θ – przesunięcie w dziedzinie częstotliwości
σ – parametr proporcjonalny do amplitudy przecieku widma

Zarejestrowane przebiegi sygnałów w czasie przedstawiono na płaszczyźnie czasowo-częstotliwościowe. Zaletą tej metody jest duża rozdzielczość w dziedzinie częstotliwości i czułość na zmiany amplitudowe.

Algorytm realizujący tę transformatę w środowisku Matlab wykorzystuje miedzy innymi dwukrotne przekształcenie Fouriera, by uniknąć zjawiska aliasingu konieczne jest próbkowanie sygnału ciągłego z co najmniej dwukrotnie większą częstotliwością od kryterium Nyquista [1].

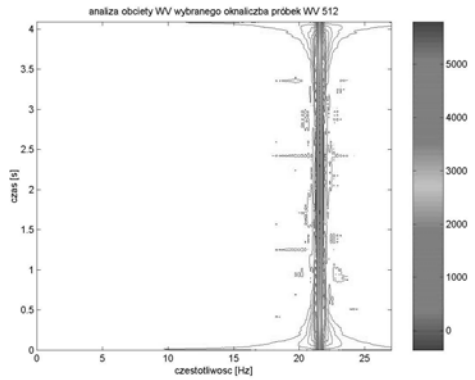
Do dalszej analizy wybrano przedział czasowy, który zawiera się w okresie pracy układu z wymuszeniem ze stałą częstotliwością (od 18 do 22 sekundy) Rys. 4.



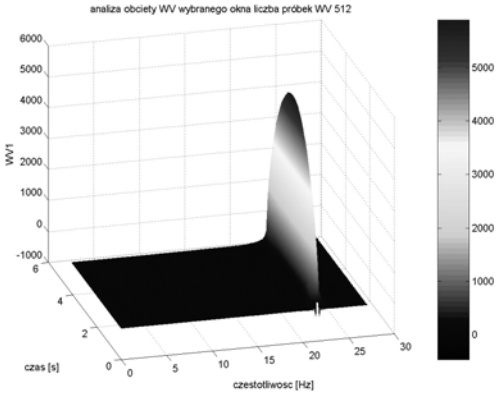
Rys. 4. Przykładowy przebieg czasowy analizowanego sygnału

3. WYNIKI

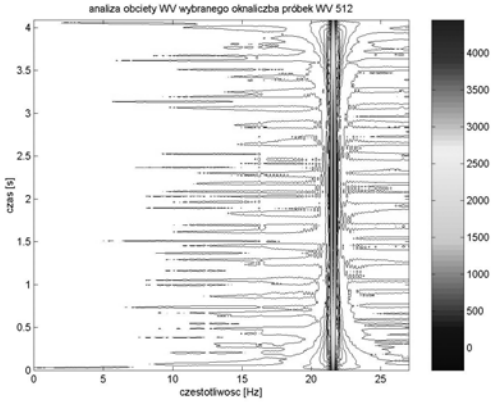
Przykładowe wyniki analiz z wykorzystaniem transformaty Wignera-Ville'a przedstawiono na rysunkach: 5, 6, 7 i 8:
- rys. 5 i 7 to płaskie wykresy warstwicowe w układzie współrzędnych czas-częstotliwość z naniesionymi gęstościami mocy.
- rys. 6 i 8 wyniki w układzie przestrzennym (częstotliwość-czas-WV1).



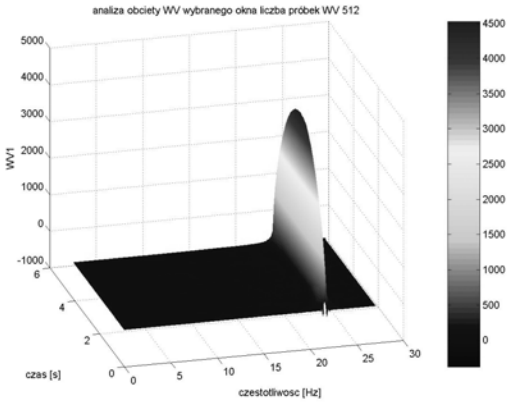
Rys. 5. Rozkład czasowo-częstotliwościowy dla amortyzatora z 20% ubytku płynu amortyzatorowego i 2% ubytkiem uszczelnienia tłoczka



Rys. 6. Przestrzenny rozkład czasowo-częstotliwościowy dla amortyzatora z 20% ubytku płynu amortyzatorowego i 2% ubytkiem uszczelnienia tłoczka



Rys. 7. Rozkład czasowo-częstotliwościowy dla amortyzatora z 20% ubytku płynu amortyzatorowego i 4% ubytkiem uszczelnienia tłoczka



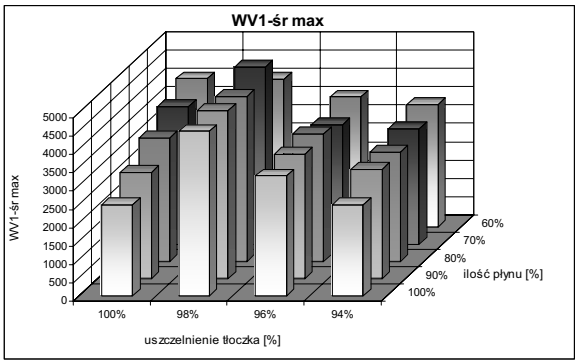
Rys. 8. Przestrzenny rozkład czasowo-częstotliwościowy dla amortyzatora z 20% ubytku płynu amortyzatorowego i 4% ubytkiem uszczelnienia tłoczka

4. ANALIZA WYNIKÓW

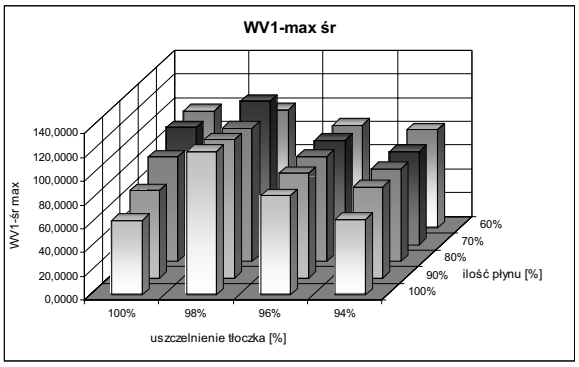
Wykorzystanie transformaty Wignera-Ville'a umożliwia jakościową ocenę w identyfikacji usterek amortyzatorów. Uzyskane wykresy nie pozwalają jednak na jednoznaczną ocenę ilościową. Dlatego do identyfikacji ilościowej zaproponowano dwa estymatory punktowe:

- $WV1_{śr.\ max}$ wyznaczany w następujący sposób: w analizowanym przedziale czasowym uśredniono wartości WV w pasmach częstotliwościowych o szerokości $\Delta f = 0{,}06$ Hz . Dla tak wyznaczonego rozkładu uśrednionych wartości wyznaczana jest maksimum, które nazwano $WV1_{śr.\ max}$.
- $WV1_{\ max\ śr.}$ uzyskując go poprzez wyznaczenie maksymalnych wartości WV w pasmach częstotliwościowych o szerokości $\Delta f = 0{,}06$ Hz w analizowanym przedziale czasowym. Dla tak otrzymanego rozkładu maksymalnych wartości wyznaczana jest średnia, którą oznaczono $WV1_{\ max\ śr.}$

Poniżej przedstawiono wykresy wartości $WV1_{śr.\ max}$ i $WV1_{\ max\ śr.}$ dla amortyzatorów z różnymi stopniami napełnienia płynem i różnymi ubytkami uszczelnienia tłoczka.



Rys. 9. Rozkład estymatora $WV1_{śr.\ max}$ dla różnych stopni napełnienia płynem i ubytków uszczelnień tłoczka amortyzatorów



Rys. 10. Rozkład estymatora $WV1_{max\ śr.}$ dla różnych stopni napełnienia płynem i ubytków uszczelnień tłoczka amortyzatorów

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione estymatory są czułe na zmiany ilości płynu amortyzatorowego i stopnia ubytku uszczelnienia tłoczka. Wartość obu estymatorów wzrasta wraz ze wzrostem ilości wycieku płynu. Analizowane miary nie pozwalają jednak na jednoznaczną identyfikację ilościową ubytku uszczelnienia tłoczka.

Estymator $WV1_{śr.\ max}$ wykazał większą dynamikę zmian wraz ze wzrostem ubytkiem płynu i wzrostem ubytku uszczelnienia tłoczka. Jego wartość maleje wraz ze wzrostem stopnia ubytku uszczelnienia tłoczka. Dla amortyzatorów z brakiem ubytku uszczelnienia tłoczka wartości te są mniejsze od tych obliczonych dla 2% ubytku lecz potem ze wzrostem tego ubytku wartość estymatora stopniowo maleje.

Dalsze badania posłużą znalezieniu miary, która jednoznacznie określać będzie stopień uszczelnienia tłoczka.

LITERATURA

[1] Gardulski J.: Bezstanowiskowa metoda oceny stanu technicznego zawieszeń samochodów osobowych, ITE Katowice-Radom 2003.
[2] Gardulski J., Burdzik R., Konieczny Ł.: Identyfikacja uszkodzeń amortyzatorów samochodowych przy wykorzystaniu transformaty Wignera-Ville'a, XXXII Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn Węgierska Górka 2005.
[3] Gardulski J., Warczek J.: Analiza dwuwymiarowa przyspieszeń drgań pojazdu samochodowego w aspekcie diagnostyki układu zawieszenia, XXX Ogólnopolskie Jubileuszowe Sympozjum Diagnostyka Maszyn Węgierska Górka 2003.
[4] Zalewski A., Cegieła R.: Matlab – obliczenia numeryczne i ich zastosowanie, WNT Poznań 1996.

Prof. nz. dr hab. inż. Janusz Gardulski jest pracownikiem naukowym Katedry Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zainteresowania badawcze: diagnostyka wibroakustyczna, dynamika zawieszeń pojazdów samochodowych, modelowanie nieliniowych obiektów mechanicznych, minimalizacja hałasu i drgań w obiektach technicznych. Jest autorem i współautorem 3 monografii, książek i skryptów, ok. 70 artykułów opublikowanych w czasopismach i materiałach konferencyjnych. Członek PTPE, PTDT, oraz różnych sekcji Komitetu Budowy Maszyn i Komitetu Transportu PAN.

Mgr inż. Rafał Burdzik jest doktorantem w Katedrze Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zainteresowania: diagnostyka maszyn, cyfrowe przetwarzanie sygnałów, logistyka i spedycja.

Mgr inż. Łukasz Konieczny jest doktorantem w Katedrze Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zainteresowania: diagnostyka maszyn, cyfrowe przetwarzanie sygnałów, komputerowe wspomaganie projektowania.

DEGRADACJA IZOLACJI UZWOJEŃ MASZYN ELEKTRYCZNYCH POD WPŁYWEM CZASU ICH EKSPLOATACJI

Tadeusz GLINKA, Artur POLAK, Adam DECNER

Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny
44-101 Gliwice, ul. Krzywoustego 2, tel. 0-32 237-14-09, tel/fax. 0-32 237-15-07
BOBRME Komel
40-203 Katowice, ul. Roździeńskiego 188, tel 0-32 258-20-41, fax. 0-32 259-99-48

Streszczenie

Wyniki diagnostyki izolacji maszyn elektrycznych przeprowadzonej napięciem stałym umożliwiają wprowadzenie punktowej oceny stopnia degradacji izolacji. W artykule zaproponowano pięciostopniową skalę oceny (tabela 1). Punktowa skala ceny degradacji izolacji została poparta wynikami pomiarów, przeprowadzonych na prądnicach prądu stałego o parametrach: P_N=4150kW; U_N=730V; n_N=500obr/min (rys. 2-6). W tabeli 2 zestawiono wyniki badań izolacji 20 maszyn przebadanych w 2000 i 2005 roku. Wyższa ocena niektórych maszyn w 2005 roku świadczy o tym, że maszyny zostały przezwojone.

Słowa kluczowe: diagnostyka, izolacja, maszyny elektryczne, degradacja

DEGRADATION OF WINDINGS INSULATION OF ELECTRICAL MACHINES CONDITIONED BY THE TIME OF EXPLOITING

Summary

Results of dc voltage diagnostic tests of electric machines' insulation (Fig.1) make possible the evaluation of insulation's degree of degradation in accordance with marking system. The paper presents marking system set from 5 to 1 – see Table 1. The relationship between marking system and characterictics/parameters of insulation system has been shown, basing on results of diagnostic tests of armature windings' insulation of dc generator rated at 4150 kW; 730 V; 500 rpm (Figs.2-6). Table 2 gives the marks for technical assessment of insulation of 20 machines tested in 2000 and 2005. If the marks for 2005 are higher than for 2000, then it means that the machines have been rewound.

Keywords: diagnostic, insulation, electrical machines, degradation

1. WSTĘP

W artykule [1] zaproponowano punktową ocenę stanu technicznego izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych:

5 – izolacja bardzo dobra,
4 – izolacja dobra (posiada obniżone parametry odbudowy napięcia i rezystancji),
3 – izolacja dostateczna (małe parametry odbudowy napięcia, co oznacza znaczny stopień jej degradacji),
2 – izolacja mniej niż dostateczna (napięcie nie odbudowuje się po czasie zwarcia 1s., stopień zużycia izolacji jest duży),
1 – izolacja niedostateczna, występuje realne zagrożenie doziemienia uzwojenia w czasie pracy maszyny,
0 – trwałe uszkodzenie izolacji (doziemienie, zwarcie zwojowe), stan awaryjny izolacji 100%.

Powyższa ocena punktowa jest oparta na badaniach diagnostycznych izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych napięciem stałym [2].

W artykule są zaprezentowane wyniki oceny izolacji uzwojeń 20 maszyn elektrycznych dużej mocy zainstalowanych i pracujących od roku 1974 w jednej z fabryk. Badania diagnostyczne izolacji tych maszyn przeprowadzono w roku 2000 i 2005, dało to możliwość spojrzenia, jak czas eksploatacji maszyn wpływa na stopień degradacji izolacji.

2. DIAGNOSTYKA IZOLACJI UZWOJEŃ NAPIĘCIEM STAŁYM

Metoda ta obejmuje trzy próby:

– wyznaczenie charakterystyki $\boldsymbol{R}_{60} = f(\boldsymbol{U})$, o ile jest to możliwe w przedziale napięcia od zera do $2\boldsymbol{U}_N$,
– zdjęcie przebiegu czasowego prądu upływu $\boldsymbol{i_p}$ po skokowym załączeniu, na całkowicie rozładowany układ izolacyjny, napięcia

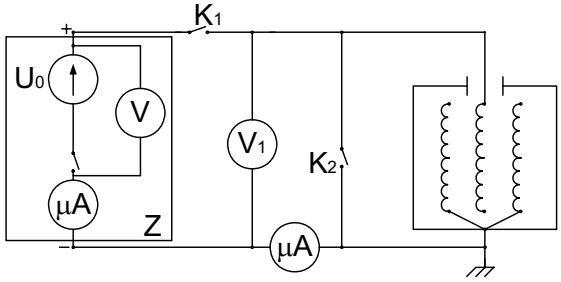
stałego o wartości znamionowej $U_o = U_N$ bądź wyższej,
- naładowanie układu izolacyjnego do napięcia $U_o \geq U_N$ (do stanu ustalonego), następnie odłączenie napięcia zasilającego i zwarcie układu izolacyjnego na czas t_z po czym rozwarcie układu izolacyjnego i zdjęcie przebiegu odbudowy napięcia na układzie izolacyjnym $U_{od}(t)$.

Pierwsze dwie próby są powszechnie stosowane w badaniach okresowych izolacji, gdyż są zalecane w instrukcjach eksploatacji maszyn elektrycznych. Jednak zakres tych prób ogranicza się zwykle do jednej wartości napięcia 2500V, 1000V bądź 500V. W polecanym programie badań diagnostycznych rozszerza się zakres tych prób na wyznaczenie charakterystyki $R_{60} = f(U)$ o ile jest to możliwe do $2U_N$ i wyznaczenie $i_p = f(t)$ przy U_N.

Próba trzecia została zaproponowana przez prof. T. Glinkę i znalazła uznanie w Ośrodkach Pomiaru i Automatyki zajmujących się diagnostyką maszyn elektrycznych w kopalniach. Dzięki ich poparciu została wpisana do Polskiej Normy PN-E-04700 z 1998 roku jako próba dodatkowa [3].

Badanie odbudowy napięcia (próba trzecia) jest próbą najważniejszą dla diagnostyki stanu technicznego izolacji i oceny stopnia jej zużycia.

Badania przeprowadza się w układzie pomiarowym przedstawionym na rys.1. Podstawowym elementem tego układu jest zasilacz Z napięcia stałego o wartości regulowanej w przedziale od zera do $2U_N$ mikroamperomierz i woltomierz elektrostatyczny oraz wyłączniki K_1 i K_2 pozwalające realizować poszczególne próby.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do diagnostyki stanu technicznego izolacji

W oparciu o przeprowadzone pomiary wyznacza się następujące charakterystyki i parametry układu izolacyjnego:
- wykres rezystancji izolacji $R_{60} = f(U)$ w zakresie napięcia od 0 do $2U_N$ z którego określa się rezystancję R_{60} przy U_N,
- z ekstrapolacji krzywej $R_{60} = f(U)$ szacuje się poziom napięcia przebicia U_p układu izolacyjnego,
- wykres odbudowy napięcia $U_{od}(t)$ na układzie izolacyjnym, z którego odczytuje się czas odbudowy t_{od} i wartość maksymalną odbudowanego napięcia $U_{od\,max}$,
- współczynnik absorpcji układu izolacyjnego i_{p15}/i_{p60},
- poziom wahań prądu upływu $i_{p60\,max}$ i $i_{p60\,min}$ liczony po czasie $t > 60$s od chwili załączenia napięcia (tzn. dla stanu ustalonego).

Próbę odbudowy napięcia autorzy standardowo robią przy parametrach:
- dla uzwojeń wysokonapięciowych $U_N \geq 6$ kV, próbę przeprowadza się przy $U_o = 6$kV; $t_z = 30$s., jeśli napięcie na układzie izolacyjnym po rozwarciu nie odbudowuje się to skraca się czas zwarcia do 10s, jeśli napięcie dalej nie odbudowuje się to próbę zwarcia skraca się do 1s.,
- dla uzwojeń o napięciu znamionowym 6kV $> U_N \geq 500$V próbę przeprowadza się przy $U_o = U_N$, a dla uzwojeń o napięciu znamionowym $U_N < 500$V, próbę przeprowadza się przy napięciu $U_o = 500$V. Czas zwarcia standardowo przyjmuje się $t_z = 10$s. Jeśli napięcie nie odbudowuje się, to czas zwarcia skraca się do ok. 1s, jeśli dalej napięcie nie odbudowuje się, to można określić czas zaniku napięcia na układzie izolacyjnym po wyłączeniu zasilania.

W tabeli 1 scharakteryzowano ocenę punktową stopnia degradacji izolacji w oparciu o wyznaczone parametry kryterialne.

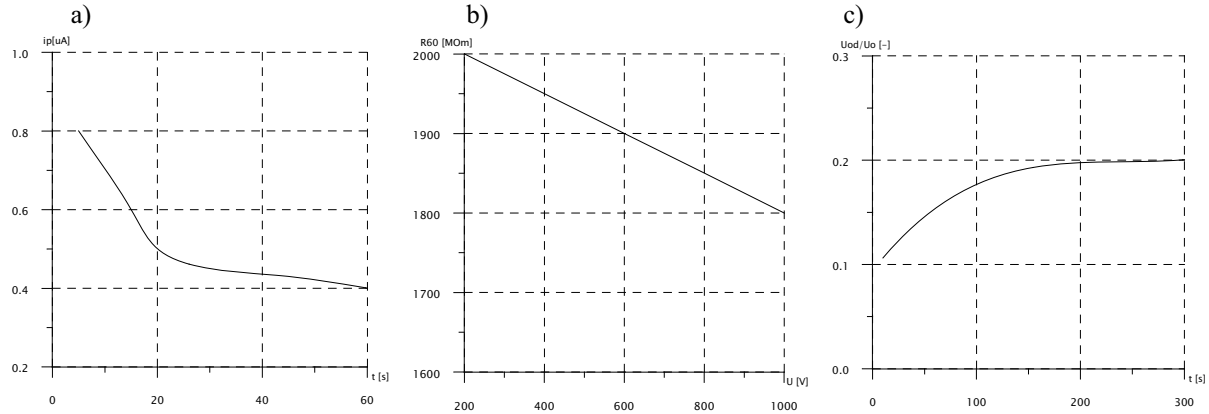
Ocena napięcia przebicia jest ważnym parametrem diagnostycznym. Napięcie przebicia $U_p \leq U_N$ może wystąpić w mocno zdegradowanej izolacji uzwojeń w maszynach prądu stałego. Stan taki autorzy wielokrotnie stwierdzili, także w maszynach, których wyniki są prezentowane w tym artykule, mimo to maszyny te pracują, narażone są jednak na wystąpienie doziemienia.

W oparciu o wartość rezystancji izolacji można ocenić czy izolacja nie jest zawilgocona, natomiast nie można, nawet w przybliżeniu, ocenić stopnia degradacji izolacji. Izolacja zużyta (ocena 1) może mieć rezystancję nawet kilkaset kΩ/V. Natomiast izolację zawilgoconą trudno jest sklasyfikować, najpierw należy ją wysuszyć, a następnie wykonać pomiary diagnostyczne. Sam fakt, że jeśli maszyna stoi (np. miesiąc) w pomieszczeniu w miarę suchym, a izolacja wchłania wilgoć i rezystancja jej spada, świadczy, że stopień jej degradacji jest znaczny (ocena co najwyżej 3).

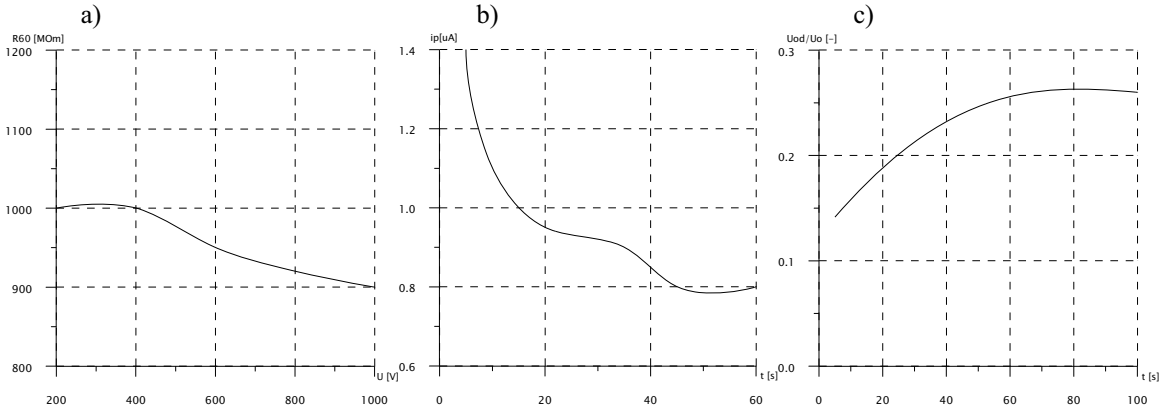
Poszczególne stopnie charakteryzujące stan techniczny izolacji zostały porównane na rysunkach 2-6. Na rysunkach tych przedstawiono pomierzone charakterystyki układu izolacyjnego uzwojenia twornika pięciu identycznych prądnic prądu stałego: 4150kW; 730V; 500 obr/min. Układ izolacyjny każdej z tych prądnic ma inną ocenę punktową. Tak, więc wielkości kryterialne zaproponowane w tabeli 1 mają na rysunkach 2-6 ilustrację graficzną charakteryzującą stan techniczny izolacji uzwojeń maszyn rzeczywistych.

Tabela 1. Kryteria oceny wyników badań

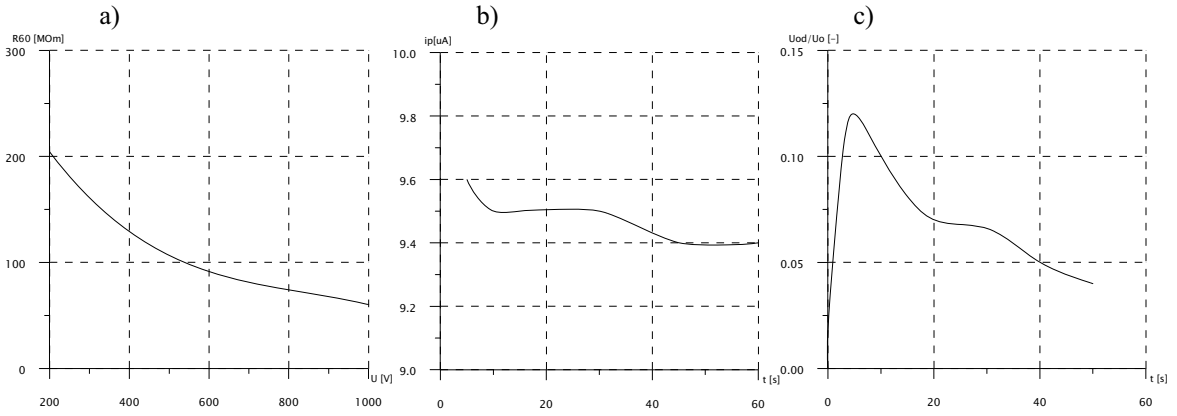
Lp	Parametr układu izolacyjnego		Ocena stanu technicznego izolacji					
			5	4	3	2	1	izolacja zawilgocona
1	Napięcie przebicia U_p/U_N		>3	>3	>2	~1,5	~1	~1
2	Rezystancja	przy U_N = 6kV	>50	>20	>10	>10	>10	<3
	R_{60N}/U_N [kΩ/V]	przy U_N < 1kV	>50	>20	>10	>3	>1	<1
3a	Czas zwarcia dla t_z [s]	dla U_N = 6kV	30	30	30	1	1	0
		dla U_N<6kV	10	10	10	1	0	0
3b	Maksymalna wartość odbudowanego napięcia $U_{od\,\max}/U_o$		>0,1	≥0,1	≥0,05	≥0,01	0	0
	Czas odbudowy napięcia	dla U_N =6kV	>240	>120	>30	~10	0	0
	t_{od} [s]	dla U_N <1kV	>120	>60	>15	~5	0	0
4	Wahania prądu upływu przy U_N $\frac{i_{p60\,\max} - i_{p60\,\min}}{i_{p60\,śr}}$		<0,5	<1	>1	>1	>2	0
5	i_{p15}/i_{p60}	U_N =6kV	>1,5	>1,2	>1	1	1	1
		U_N < 1kV	>1,3	>1,1	>1	1	1	1



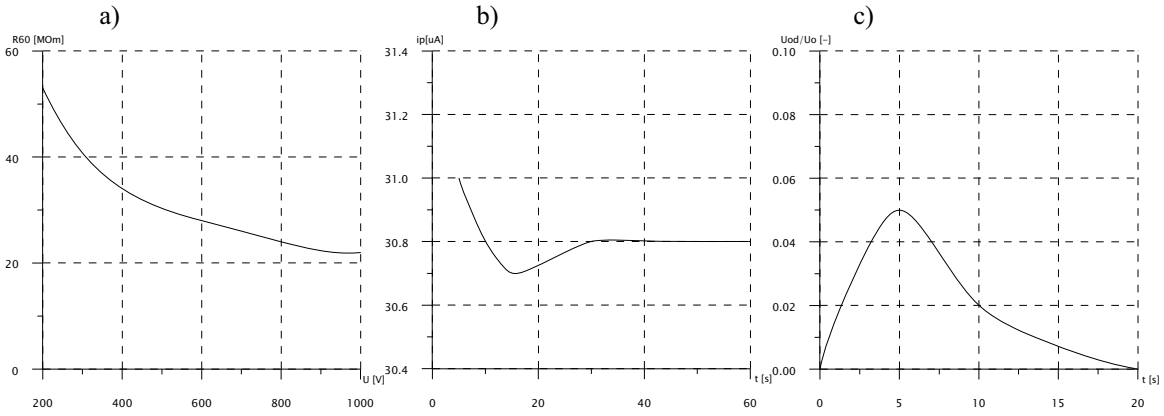
Rys. 2. Prądnica nr 700888. Ocena stanu technicznego układu izolacyjnego „5"
a – wykres R_{60} = f (U), R_{60} = 1863 MΩ przy U=U_N,;
b – przebieg i_p = f(t) przy U_o=750V, i_{15}/i_{60}=1.6;
c – przebieg U_{od} = f(t) przy: U_o=750V, t_z=30s.
Parametry odbudowy napięcia: t_{od}=240s.; U_{odmax}=150V



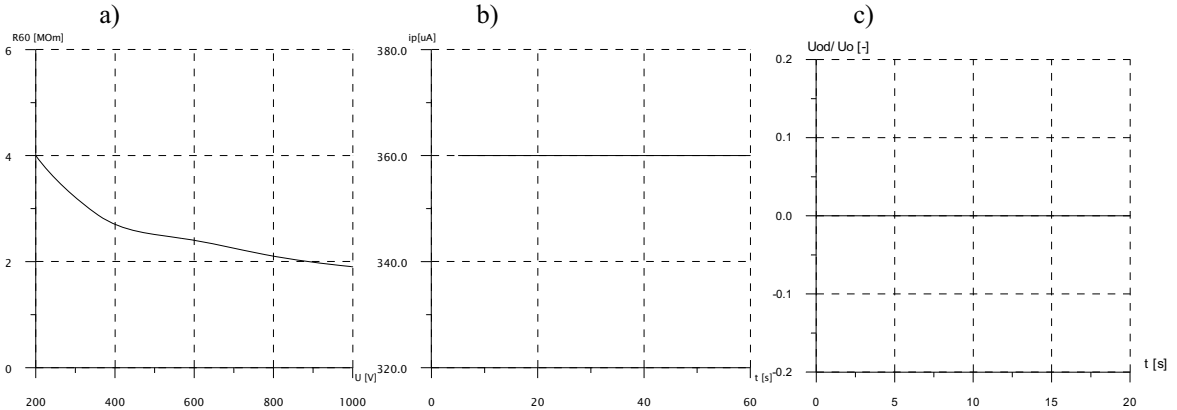
Rys. 3. Prądnica nr 710054. Ocena stanu technicznego układu izolacyjnego „4"
a – wykres R_{60} = f (U), R_{60} = 930 MΩ przy U=U_N;
b – przebieg i_p = f(t) przy U_o=750V, i_{15}/i_{60}=1.25;
c – przebieg U_{od} = f(t) przy: U_o=750V, t_z=30s.
Parametry odbudowy napięcia: t_{od}=70s.; U_{odmax}=195V



Rys. 4. Prądnica nr 730299. Ocena stanu technicznego układu izolacyjnego „3"
a – wykres R_{60} = f (U), R_{60} = 79 MΩ przy U=U_N;
b – przebieg i_p = f(t) przy U_o=750V, i_{15}/i_{60}=1.01;
c – przebieg U_{od} = f(t) przy: U_o=750V, t_z=10s.
Parametry odbudowy napięcia: t_{od}=5s.; U_{odmax}=90V



Rys. 5. Prądnica nr 710108. Ocena stanu technicznego układu izolacyjnego „2"
a – wykres R_{60} = f (U), R_{60} = 25 MΩ przy U=U_N;
b – przebieg i_p = f(t) przy U_o=750V, i_{15}/i_{60}=1;
c – przebieg U_{od} = f(t) przy: U_o=750V, t_z=1s.
Parametry odbudowy napięcia: t_{od}<5s.; U_{odmax}=38V



Rys. 6. Prądnica nr 710053. Ocena stanu technicznego układu izolacyjnego „1"
a – wykres R_{60} = f (U), R_{60} = 2.2 MΩ przy U=U_N;
b – przebieg i_p = f(t) przy U_o=750V, i_{15}/i_{60}=1;
c – brak odbudowy napięcia, po wyłączeniu napięcia,
napięcie na układzie izolacyjnym zanika w czasie t<1s

3. WYNIKI BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH UKŁADU IZOLACYJNEGO MASZYN WYKONANYCH W ROKU 2000 i 2005

Przedmiotem badań diagnostycznych jest ten sam zespół 20 maszyn elektrycznych, w tym:

- 4 silniki synchroniczne: 7000 kW; 6kV; 500obr/min.,
- 8 prądnic prądu stałego: 4150 kW; 730V; 500 obr/min.,
- 4 silniki prądu stałego: 3250 kW; 730 V; 55/120 obr/min.,
- 4 silniki prądu stałego: 3000 kW; 58V; 40/80 obr/min.

Na podstawie przeprowadzonych badań diagnostycznych w roku 2000 i 2005 stan techniczny izolacji maszyn sklasyfikowano, a wyniki zestawiono w tabeli 2.

Maszyny, których układ izolacyjny sklasyfikowano w roku 2000 oceną „1" zostały wyremontowane (przeizolowane). Obecnie maszyny te mają układ izolacyjny z oceną „5" lub „4". Izolacja większości uzwojeń, które nie były wymieniane, obniżyła się o jeden stopień.

Tabela 2. Stopień zużycia izolacji uzwojeń

Silników synchronicznych typ MC 325 – 12/12			
Lp.	Numer fabryczny maszyny	Stan techniczny izolacji uzwojeń 2000/05	
		twornik	wzbudzenie
1.	700 887	4/4	4/3
2.	710 052	4/4	2/4
3.	730 244	4/4	3/3
4.	710 107	4/4	1/3

Prądnic prądu stałego typ P21-35-17K				
Lp.	Numer fabryczny maszyny	Stan techniczny izolacji uzwojeń 2000/05		
		Wirnik A1A2	stojan	
			B1C2	F1F2
1.	710 054	1/4	1/5	3/4
2.	700 888	1/5	1/5	4/5
3.	710 013	1/1	1/1	2/2
4.	710 053	3/1	2/1	5/4
5.	700 889	1/5	1/5	2/5
6.	730 299	4/3	5/3	4/3
7.	710 108	3/2	3/1	4/2
8.	710 014	2/1	2/3	4/4

Silników walcowniczych 2PP				
Lp.	Numer fabryczny maszyny	Stan techniczny izolacji uzwojeń 2000/05		
		Wirnik A1A2	stojan	
			B1C2	F1F2
1.	720 161	4/5	4/5	4/4
2.	720 160	4/5	4/4	3/4
3.	720 486	5/5	5/5	5/4
4.	720 487	3/3	5/4	5/4
5.	720 305	1/5	5/4	5/4
6.	720 306	5/5	5/5	5/4
7.	720 630	5/5	5/5	5/4
8	720 631	5/5	5/5	5/4

4. WNIOSKI

Wyniki badań diagnostycznych izolacji uzwojeń napięciem stałym (rys.1) umożliwiają ocenę punktową stopnia jej degradacji. W artykule przedstawiono taką ocenę w skali od 5 do 1 – tabela 1. Na przykładzie wyników badań diagnostycznych izolacji uzwojeń twornika identycznych prądnic prądu stałego (4150kW; 730V; 500obr/min) pokazano związek między oceną punktową, a charakterystykami i parametrami układu izolacyjnego (rys. 2-6).

W tabeli 2 zestawiono ocenę punktową stanu technicznego 20 maszyn badanych w roku 2000 i 2005. Maszyny, których stan izolacji w roku 2000 oceniono na „1" były naprawione (wymieniono uzwojenia), stąd ocena ta w roku 2005 jest wyższa „5" lub „4". Maszyny, które nie były naprawiane w większości przypadków mają obniżoną w roku 2005, ocenę stanu technicznego izolacji w stosunku do oceny z roku 2000. Ekipa wykonująca pomiary diagnostyczne w 2005r nie znała wyników badań z 2000r i nie wiedziała, które maszyny były naprawiane.

LITERATURA

[1] Glinka T.: Klasyfikacja stopnia zużycia izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych. Przegląd Elektrotechniczny PL ISSN 0033-2097 Nr.9/2004, s.852 – 855.

[2] Glinka T.: Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych w przemyśle. Wyd. BOBRME Komel w Katowicach ISBN 83-910585-4-9, 2002r.

[3] PN-98/E-04700. Urządzenia i układy elektryczne. Wytyczne przeprowadzenia pomontażowych badań odbiorczych.

GLINKA Tadeusz, prof. dr hab. inż., Politechnika Śląska, członek SEP

POLAK Artur, dr inż., BOBRME Komel Katowice, Kierownik Laboratorium Maszyn Elektrycznych, członek SEP

DECNER Adam, mgr inż., BOBRME Komel Katowice, specjalista pomiarowiec, członek SEP

WYKORZYSTANIE REJESTRATORÓW POKŁADOWYCH FIRMY ATM DO DIAGNOZOWANIA URZĄDZEŃ POKŁADOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH

Piotr NOWAKOWSKI

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy
Wydział Mechaniczny
Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów
Ul. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
Tel.: 052 3408267

Streszczenie

W artykule został przedstawiony proces diagnozowania układów i podzespołów samolotu Su-22 przy wykorzystaniu rejestratorów pokładowych. Praca przedstawia rozwój i modernizację istniejących rejestratorów oraz wykorzystanie rejestratorów typu QAR (Quick Acces Recorder) firmy ATM w procesie eksploatacji i naprawy. Rozwój programów z dziedziny informatyki pozwolił na rozpatrzenie i testowanie programów umożliwiających wspomaganie procesu eksploatacji w szczególności diagnozowania i obsługiwania.

Słowa kluczowe: diagnostyka, rejestrator, eksploatacja

TAKE ADVANTAGE OF ON-BOARD RECORDER FIRM ATM TO DIAGNOSTICS DEVICES DECK AIRCRAFTS

Summary

In the paper is presented process diagnostics arrangements and subassemlys aeroplane Su-22 at advantage on-board recorder. Development work represent modernization existing on-board recorder make use of on-board recorder type QAR (Quick Acces Recorder) firm ATM in process operating and repair. Expanetion programmes with computers science, permission on examine and testing enable assist process exploatation in particular diagnostics and service.

Keywords: diagnostic, recorder, exploatation

1. WPROWADZENIE

Współczesne samoloty są wyposażone w różnego rodzaju urządzenia rejestrujące. Jednym z nich jest pokładowy rejestrator parametrów lotu. Rejestrator parametrów lotu (rejestrator pokładowy) – urządzenie pokładowe przeznaczone do rejestracji podstawowych parametrów charakteryzujących warunki lotu statku powietrznego. Odczyt zapisanych informacji umożliwia określenie przebiegu zmian tych w czasie lotu, a tym samym odtworzenie zachowania się samolotu i postępowania pilota w sytuacjach awaryjnych lub przed katastrofą. W wojskowych samolotach bojowych rejestrator jest wykorzystywany również do oceny wykonania przez pilota zadania w locie. Podstawowym elementem rejestratora jest kaseta rejestrująca (tzw. czarna skrzynka), umieszczona w specjalnej obudowie chroniącej zapis przed wysoką temperaturą (do 1000°C), benzyną, naftą (do 15 dni) i wodą morską (do 40 dni) [4].

Odporność czarnych skrzynek na przeciążenia, udary i wysoka temperaturę określają lotnicze przepisy państwowe i międzynarodowe.
Podstawowy podział rejestratorów:

1. Rejestratory wypadkowe – gromadzą dane zbierane w czasie lotu i powinny umożliwiać zachowanie tych danych, nawet w przypadku katastrofy połączonej z pożarem statku powietrznego.
2. Rejestratory eksploatacyjne – umożliwiają łatwy dostęp do danych zarejestrowanych w czasie lotu i szybki odczyt w naziemnych systemach deszyfrujących.

W zależności od konstrukcji i zakresu rejestrowanej informacji rejestratory możemy podzielić na:

1. Rejestratory katastroficzne – zapisujące podstawowe parametry pilotażowe i eksploatacyjne. Ich cechy konstrukcyjne umożliwiają zachowanie i odtworzenie informacji, nawet w razie zniszczenia statku powietrznego.

2. Rejestratory eksploatacyjne – przeznaczone do zapisu informacji o stanie technicznym wyposażenia pokładowego, są w praktyce często połączone z pokładowymi systemami diagnostycznymi i eksperckimi a wówczas zapisują również komunikaty przekazywane załodze statku powietrznego w czasie lotu. Autonomiczne podzespoły rejestratora mogą być wykorzystane po odbytym locie do zobrazowania lub przepisania informacji na standardowe nośniki.
3. Rejestratory specjalne – zapisują informację o sposobie działania wybranych, ważnych systemów pokładowych i ich wykorzystania przez załogę. Zasadniczo są one przeznaczone do oceny pracy załogi w czasie lotu i poprawności wykorzystania urządzeń pokładowych.
4. Rejestratory dźwięku – przeznaczone do zapisu rozmów pomiędzy załogą i naziemną kontrolą lotów, rozmów załogi w czasie lotu oraz ewentualnych innych odgłosów stanowiących tło dźwiękowe w kabinie załogi [3].

2. SYSTEMY ZBIERANIA I ANALIZY DANYCH

Wiedza o bezpieczeństwie eksploatacji statków powietrznych jest pełna tylko w takim stopniu, w jakim oceniający posiada zestaw danych opisujących proces eksploatacji statku powietrznego z punktu widzenia bezpieczeństwa eksploatacji systemu, a w tym szczególnie występowania stanów awaryjnych.

Jednym ze źródeł danych wejściowych dla systemów gromadzenia i analizy danych bezpieczeństwa lotów są pokładowe systemy pomiarowo-rejestrujące statków powietrznych. Systemy takie instalowane na pokładzie każdego statku powietrznego, służącego do transportu cywilnego lub użytkowanego w siłach zbrojnych. Wyróżnia się dwie klasy systemów: eksploatacyjne i wypadkowe (tzw. „czarne skrzynki", chociaż z reguły koloru pomarańczowego). Systemy wypadkowe gromadzą dane zbierane w czasie lotu i powinny umożliwić zachowanie tych danych, nawet w przypadku katastrofy połączonej z pożarem statku powietrznego. Systemy eksploatacyjne powinny umożliwić łatwy dostęp do danych zarejestrowanych w czasie lotu i szybki odczyt w naziemnych systemach deszyfrujących. Dotychczas w kraju (w lotnictwie cywilnym i wojskowym) użytkowano następujące systemy eksploatacyjne:

- K2-717 (spidobarograf mechaniczno-elektryczny, rejestracja prędkości i wysokości lotu na specjalnej taśmie papierowej – urządzenie przestarzałe technicznie i moralnie, wymagające skalowania za pomocą cyrkla i linijki o optycznym odczycie zarejestrowanych parametrów lotu – nieprzydatny do eksploatacji),
- SARP-12GM (urządzenie mechaniczno-elektryczne, rejestracja analogowa sześciu parametrów analogowych i dziewięciu sygnałów dwustanowych na specjalnej taśmie filmowej, optyczny odczyt zarejestrowanych parametrów po uprzedniej obróbce fotochemicznej filmu na specjalnych

deszyfratorach optycznych według aktualizowanych grafików skalowania).

Rys. 1. Rejestrator wypadkowy firmy ATM [3]

Rys. 2. Rejestrator typu QAR/ATM szybkiego dostępu do danych [3]

Sytuacja uległa zmianie po ukazaniu się na rynku nowoczesnych eksploatacyjnych systemów pomiarowo-rejestrujących, wykorzystujących technologię stałych pamięci półprzewodnikowych do zapisu danych. Systemy te z natury

przystosowane są do współpracy z systemami informatycznymi ze względu na technologię wykonania, postać danych i strukturę ich zapisu, co umożliwia automatyzację odczytu i analizy danych z lotu. Powoli systemy te wypierają tradycyjne urządzenia, a opinie użytkowników egzemplarzy sygnalnych rejestratorów tego typu zamontowanych między innymi na pokładach następujących statków powietrznych: Su-22, Tu-154, PZL I-22 „IRYDA", PZL 130 „ORLIK", TS-11 „ISKRA", AN-28, PZL W3 „SOKÓŁ" [3].

Nowoczesne systemy pokładowe posiadają strukturę modułową. Umożliwiają zbieranie danych typu analogowego, które są przetwarzane na postać dyskretną jak i sygnałów dyskretnych, pochodzących z następujących klas wyposażenia pokładowego statku powietrznego:

- czujników dwustanowych,
- czujników analogowych z wyjściem typu napięciowego,
- czujników analogowych z wyjściem typu prądowego,
- czujników z wyjściem typu częstotliwościowego,
- czujników z wyjściem typu dyskretnego.
- sygnały uzyskane z czujników są standaryzowane, dyskretyzowane, kodowane i poprzez multipleksery kierowane do pamięci rejestratorów. Rejestracja danych w postaci dyskretnej odbywa się w pamięci typu ROM.

Cechy charakterystyczne rejestratorów typu QAR to:

- mała masa (rzędu 3kg) i gabaryty (rzędu 200*100*60 [mm]),
- duża ilość wejść (min. 48 wejść analogowych i tyle samo dyskretnych, max 248 wejść analogowych i tyle samo dyskretnych),
- akceptacja szerokiej gamy rodzajów wejściowych,
- możliwość definiowania parametrów pomiaru dla każdego sygnału indywidualnie,
- modułowość,
- możliwość tworzenia zestawów o zróżnicowanej konfiguracji dostosowanej do potrzeb,
- otwartość, czyli możliwość łączenia z blokami innych zestawów pomiarowych,
- programowalność sekwencji i częstotliwości pomiarów sygnałów wejściowych,
- krótki czas dostępu do danych zmagazynowanych w pamięci rejestratora (nie większy niż 3 minuty),
- szybki czas wymiany pamięci kasetowej (nie większy niż 0,5 minuty),
- obsługa systemu (ładowanie kasety pamięci, uruchamianie rejestratora, wyjmowanie kasety z danymi) sprowadzona do prostych czynności manualnych,
- odporność na przeciążenia, drgania, zmiany temperatury, ciśnienia i wilgotności w pełnym zakresie parametrów eksploatacyjnych statku powietrznego.

Przykłady systemów tego typu opracowane i wykonane w kraju to:

- rodzina systemów rejestracyjno-pomiarowych ATM-QAR przedsiębiorstwa ATM (rys. 1 oraz rys. 2),
- system rejestracyjno-pomiarowy RPCM4 Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych.

Z eksploatacyjnymi systemami typu QAR współpracują naziemne systemy odczytu, deszyfracji i przetwarzania danych. Przykłady systemów tego typu opracowane i wykonane w kraju to:

- system ATM-COMAFRA (urządzenie do odczytu danych FRRS z oprogramowaniem FDS) dla rodziny systemów rejestracyjno-pomiarowych ATM-QAR przedsiębiorstwa ATM,
- system THETYS II Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych dla dowolnego rejestratora eksploatacyjnego [3].

3. DIAGNOZOWANIE SAMOLOTU SU-22 Z WYKORZYSTANIEM POKŁADOWYCH URZĄDZEŃ DO REJESTRACJI SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH – REJESTRATORÓW POKŁADOWYCH

W procesie naprawy samolotu rejestratory pokładowe są wykorzystywane w następujących etapach:

- po dostarczeniu samolotu do naprawy: odczyt danych z rejestratora TESTER, kontrola systemów i instalacji pokładowych, tworzenie zestawu zaleceń naprawczych opartych na wykrytych niezdatnościach,
- w trakcie prac naprawczych: kontrola systemów pokładowych, zainstalowanych na laboratoryjnych stanowiskach kontrolnych,
- po zakończeniu prac: diagnozowanie systemów i instalacji pokładowych, skalowanie nadajników,
- próba silnika: prowadzenie próby z jednoczesną obserwacją na ekranie komputera wybranych parametrów charakteryzujących pracę silnika, odczyt zapisu próby z systemów rejestrujących ATM-QAR/S56, TESTER, analiza wyników próby,
- oblot samolotu: odczyt danych z systemów rejestrujących, analiza zdatności samolotu do wykonywania różnych zadań, wykonanie dokumentacji dopuszczającej samolot do użytkowania.

Struktura wykorzystania systemu do rejestracji i wspomagania diagnozowania oraz obsługiwania:

- układu pilot-samolot,
- urządzeń pokładowych.

Oprogramowanie systemu stanowi program FDS do analizy danych z lotu oraz w perspektywie

możliwy do wykorzystania i testowany obecnie szkieletowy system doradczy MAS.

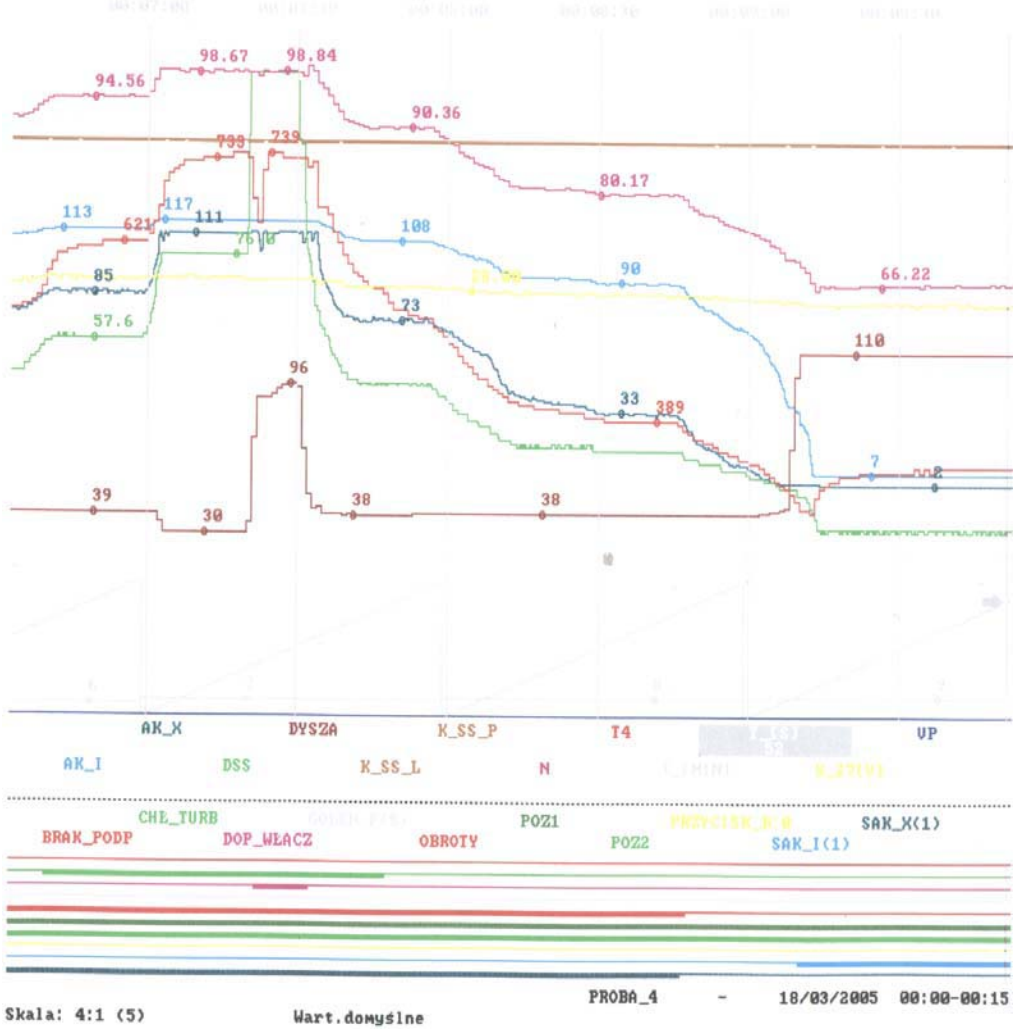
Obecnie system ten przystosowany jest do diagnozowania i obsługiwania urządzenia pokładowego SOS-3M do sygnalizacji i ograniczania niebezpiecznych zakresów samolotu MiG-29 [1, 3].

Samolot MiG-29 posiada pokładowy system diagnostyczny „EKRAN", który umożliwia:

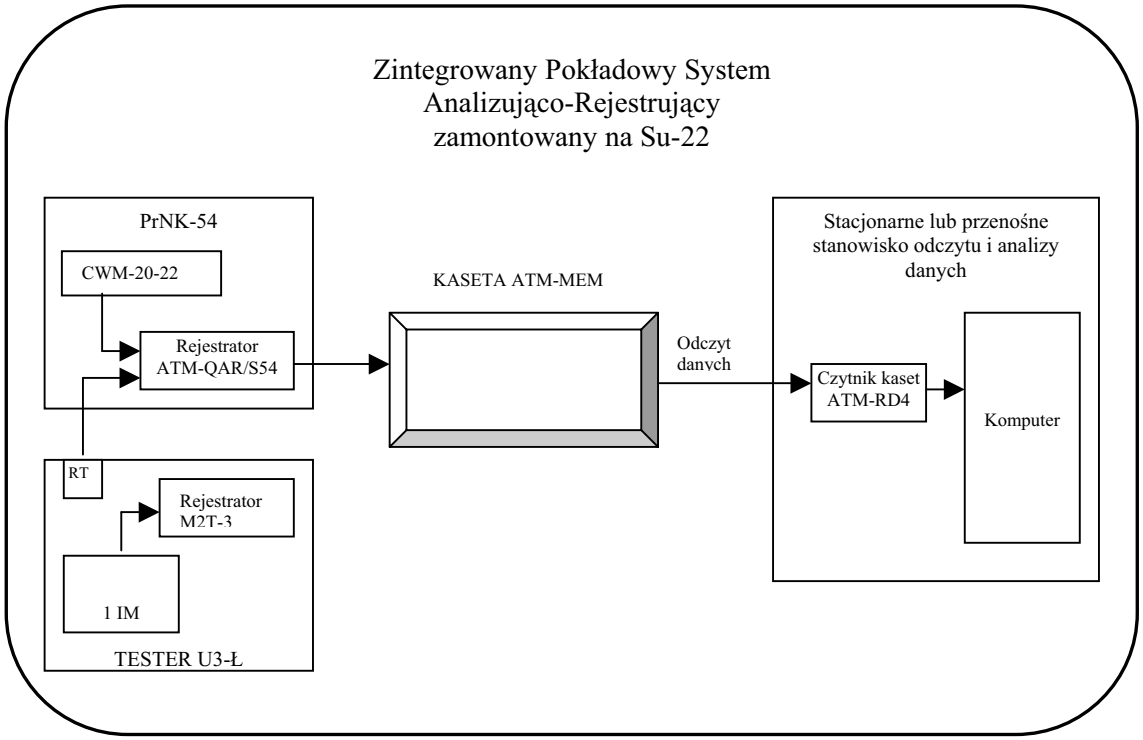
- analizę danych zebranych z systemów i urządzeń pokładowych,
- określenie priorytetu występujących niesprawności,
- gromadzenie i prezentowanie na ekranie wskaźnika pokładowego informacji o powstałych niesprawnościach w kolejności określonej przez algorytm pracy systemu,
- automatyczne uaktywnienie układów samokontroli systemów i urządzeń pokładowych,
- samokontrolę,
- realizowanie algorytmów poszczególnych zakresów kontroli.

Podstawowe dane techniczne systemu:

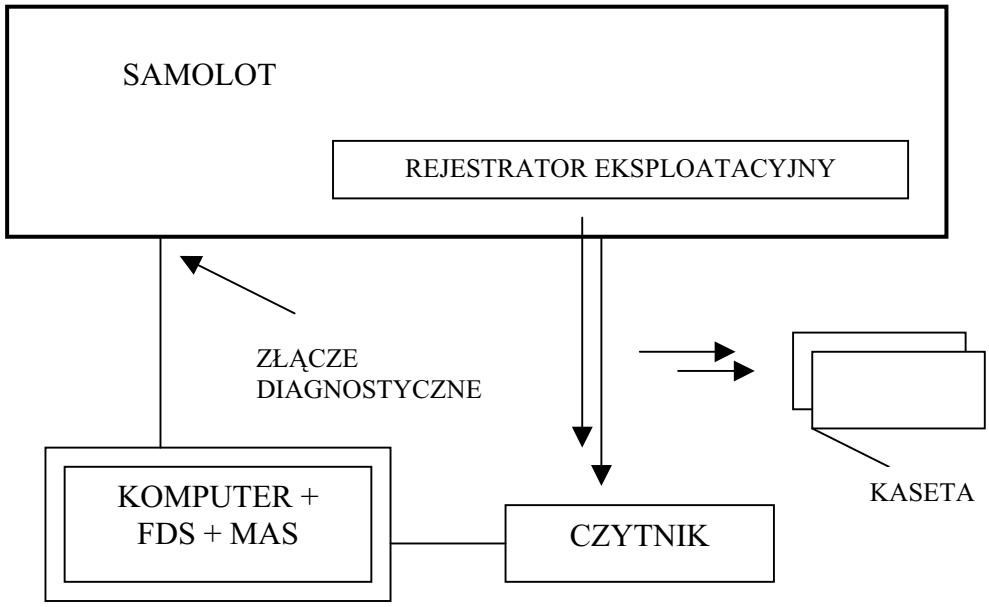
- zbieranie max 109 dwustanowych sygnałów wejściowych i 128 sygnałów o strukturze 32-bitowego słowa przesyłanych szeregowo,
- generowanie 22 sygnałów dwustanowych wysyłanych do obiektu diagnozowania,
- pojemność pamięci: 72Kb,
- rejestracja ostatnich 64 niezdatności,
- wydaje ocenę jakościową: *zdatny-niezdatny*,
- czas trwania pełnego cyklu kontroli: 8-10 minut [3].



Rys. 3. Odczyt wybranych parametrów charakteryzujących pracę silnika z systemu rejestrującego ATM-QAR



Rys. 4. Zintegrowany Pokładowy System Analizująco-Rejestrujący zamontowany na Su-22 [1]



Rys. 5. Struktura wykorzystania systemu do rejestracji i wspomagania diagnozowania oraz obsługiwania systemów pokładowych [1]

4. UWAGI I WNIOSKI

Rejestrator ATM-QAR wraz z oprogramowaniem do analizy zarejestrowanych danych o nazwie FDS stanowi nowoczesne narzędzie wspomagające proces diagnozowania samolotu Su-22. Oprogramowanie to umożliwia personelowi technicznemu i lotniczemu

dokonywanie analiz technicznych i lotniczych danego lotu oraz archiwizowanie danych. Raporty uzyskiwane w wyniku działania programu obejmują:

- raport silnikowy: monitorowanie parametrów, wykrywanie niezdatnych elementów, prognozowanie zagrożeń (rys. 3),
- raport techniczny,
- wykrywanie usterek i przekroczeń eksploatacyjnych,
- raport z analizy pilotażu.

Mimo wprowadzonych zmian na samolocie Su-22, proces diagnozowania nie jest wciąż pełnym cyklem diagnozowania umożliwiającym ocenę stanu technicznego i wystawienie oceny zdatności do lotu. Stosowane rozwiązanie umożliwia diagnozowanie i ocenę stanu technicznego wybranych modułów, instalacji lub układów statku powietrznego. Przykładem wojskowego statku powietrznego eksploatowanego na terenie kraju, posiadającego automatyczny system diagnostyczny jest samolot MiG-29.

LITERATURA

[1] Kowalkowski Z., Tuchołka T., Wiłnicki F.: Komputerowe wspomaganie diagnozowania w procesie remontu samolotu Su-22 z wykorzystaniem zestawu analizująco-rejestrującego ATM. III Krajowa Konferencja Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów. Szczyrk 10-13 październik 1995. Wyd. ITWL. Warszawa 1995.
[2] Kowalkowski Z., Tuchołka T., Wiłnicki F.: System wspomagania procesu eksploatacji samolotów o Zintegrowany Pokładowy System Analizująco-Rejestrujący. Przegląd WLiOP, nr 1, Styczeń 1994.
[3] Zagdański Z.: Stany awaryjne statków powietrznych. Wyd. ITWL. Warszawa 1995.
[4] Ilustrowany leksykon lotniczy. Osprzęt i radioelektronika. WKŁ. Warszawa 1990.

Mgr inż. Piotr Nowakowski jest absolwentem Wydziału Mechanicznego Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, specjalność „technologia maszyn". Jest doktorantem w Katedrze Maszyn Roboczych i Pojazdów ATR w Bydgoszczy. Zajmuje się zagadnieniami diagnozowania statków powietrznych, a w szczególności diagnozowania silników odrzutowych.

ZASTOSOWANIE SYGNAŁÓW PRĘDKOŚCI DRGAŃ DO DIAGNOSTYKI WTRYSKIWACZY SILNIKÓW SPALINOWYCH

Jan MONIETA, Przemysław ROKICKI

Akademia Morska, Instytut Technicznej Eksploatacji Siłowni Okrętowych, Zakład Siłowni Okrętowych, ul. Wały Chrobrego 2, 70−500 Szczecin, fax: (091) 4809 575, email: jmonieta@am.szczecin.pl

Streszczenie

Praca stanowi próbę zastosowania sygnałów prędkości drgań do diagnostyki wtryskiwaczy silników okrętowych w fazie eksploatacji. Najpierw przeprowadzono badania wstępne z wykorzystaniem eksperymentu czynnego na stanowisku systemu wtryskowego poza silnikiem. Zbadano wpływ nastawy paliwowej na parametry sygnałów prędkości drgań w dziedzinie amplitudy i częstotliwości przy różnych mocowaniach czujników pomiarowych.

Słowa kluczowe: diagnostyka, silniki okrętowe, wtryskiwacze

APPLICATION OF SIGNALS OF THE VELOCITY VIBRATION TO DIAGNOSTIC OF DIESEL ENGINE INJECTORS

Summary

The work is determining of application of he signals of velocity vibration to diagnostic of marine diesel engine injectors in operating phase. In the first place have been make preliminary investigations with utilisations of active experiment on the state of injection system out engine. There have been investigated influence of fuel setting on parameters of the signals of velocity vibrations in amplitude and spectrum domain at various fastens of measurement sensors.

Keywords: diagnostics, marine diesel engines, injectors

1. WSTĘP

W ostatnich latach obserwuje się ogromny postęp technologiczny i rozwój procesów diagnozowania w eksploatacji systemów wtryskowych silników spalinowych [2, 4, 8, 11, 14, 15]. Duży wpływ na tą tendencję mają rygorystyczne konwencje o ochronie środowiska, których to armatorzy są zmuszeni przestrzegać, jak również wysokie koszty nieprawidłowej eksploatacji silników spalinowych [3, 12, 15].

Problem diagnostyki wtryskiwaczy jest godny poświęcenia uwagi ze względu na to, że wtryskiwacz w silniku jest elementem bardzo zawodnym [7] i mającym istotny wpływ na parametry pracy [2, 4]. Obecnie konstruowane silniki muszą spełniać normy dotyczące emisji toksycznych składników i zadymienia spalin, osiągając jednocześnie dużą dynamikę, niskie zużycie paliwa, wysoką trwałość oraz niezawodność [10, 12].

Współczesne wtryskiwacze w zasadzie nie wymagają obsługi bieżącej, a częstość obsług okresowych zależy od konstrukcji rozpylacza, rodzaju stosowanego paliwa, rodzaju regulacji ciśnienia otwarcia oraz warunków i sposobu eksploatacji [2, 9]. Przewidywana trwałość rozpylacza w silniku okrętowym spalającym olej napędowy A20D, którego badania dotyczą, powinna wynosić od 4 000÷6 000 h pracy, natomiast w silniku spalającym paliwa pozostałościowe A20H − 3 000÷5 000 h. Praktycznie jest ona znacznie niższa [9].

Istnieje również wiele metod diagnozowania układu zasilania i wtrysku paliwa z wykorzystaniem urządzeń stacjonarnych, na których można prowadzić oceny stanu technicznego. Małe jest jednak wdrożenie metod i środków diagnostyki wtryskiwaczy, co sprawia, że celowe jest dalsze poszukiwanie wiarygodnych sposobów diagnozowania wtryskiwaczy. W pracy tej postanowiono zbadać przydatność sygnałów prędkości drgań do oceny stanu technicznego wtryskiwaczy, bowiem dotychczas tylko sporadycznie badano przydatność tych sygnałów [1, 6].

2. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań był wtryskiwacz silnika okrętowego firmy Sulzer typu AL20/24. Silnik ten jest rzędowym, nienawrotnym, chłodzonym wodą, 4-suwowym silnikiem wysokoprężnym z bezpośrednim wtryskiem paliwa, doładowaniem przy pomocy turbosprężarki i chłodzeniem powietrza doładowującego.

Przyczyną, dla której został wybrany ten typ silnika okrętowego jest jego dostępność oraz fakt, że najbardziej zawodnym układem funkcjonalnym okazał się układ zasilania silnika paliwem a podzespołem wtryskiwacz [7]. Największą liczbę uszkodzeń stwierdzono w pierwszym okresie eksploatacji wtryskiwaczy (7,9% w przedziale 0 ÷ 100 h pracy, a 20,8% w przedziale 0 ÷ 300 h pracy) [7].

3. STANOWISKO BADAWCZE

Przed przystąpieniem do badań zasadniczych wtryskiwaczy, zamontowanych w silniku Sulzer AL 20/24, wykonano wstępne badania rozpoznawcze na stanowisku modelowym laboratoryjnym. Stanowisko laboratoryjne składa się z następujących podzespołów (rys. 1):

– zbiornika z olejem kalibracyjnym (olej kalibracyjny zapobiega ewentualnej korozji wewnątrz przewodów paliwowych),
– przewodów paliwowych wraz z manometrem ciśnienia,
– filtrów,
– wału rozrządu,
– pompy wtryskowej,
– wtryskiwacza wraz z zamontowanym czujnikiem przyspieszeń,
– naczynia szklanego na rozpylany olej,
– komputera stacjonarnego do rejestracji pomiarów i analizy sygnałów,
– wzmacniacza,
– czujnika fotooptycznego akwizycji początku sygnałów,
– silnika prądu stałego.

Stanowisko jest napędzane silnikiem prądu stałego, który jest połączony z wałem rozrządu za pomocą przekładni pasowej. W przewodach paliwowych, przed pompą wtryskową, wytwarzane było ciśnienie 2 bary, które było sprawdzane za pomocą manometru. Przy przewodach przelewowych zamontowany jest zawór dławiący, skąd olej jest kierowany dalej do zbiornika. Za pomocą naczynia, do którego następował wtrysk paliwa, można było zmierzyć dawkę wtryskiwanego paliwa.

Badania przeprowadzono dla jednego wtryskiwacza, w stanie zdatności, przy ciśnieniu otwarcia 40 MPa. Stan zdatności został ustalony na podstawie pomiaru wartości cech stanu technicznego.

Do obróbki wyników został wykorzystany system analizy sygnałów PC ver. 2.1, który pozwala na wykonywanie podstawowych analiz sygnałów w dziedzinie:

- czasu,
- amplitudy,
- częstotliwości.

Wzmocnienia wykorzystywane w programie podawane są w odstępach 10 dB oraz istnieje możliwość płynnej regulacji wzmocnienia. Przyjęto wzmocnienie stosownie do czułości czujników oraz wybranego kanału wejściowego. Wartości odpowiadają pełnemu zakresowi pomiarowemu danej wielkości. Program ukazuje również zakres częstotliwości wykonywanej rejestracji/analizy sygnału.

Rys. 1. Widok stanowiska badawczego

Program automatycznie rejestruje 1024 próbki, lecz standartowo ustawione jest 512 próbek. Automatyczne ustawienie liczby próbek na wartość 1024 umożliwia zmiany tego parametru bez ponownego wczytywania sygnału. Możliwe było dokonywani rejestracji i analizy sygnałów chwilowych, jak i kilku jego sekwencji.

4. METODY BADAŃ

W badaniach został wykorzystany czujnik przyspieszeń drgań, który został zamontowany w różnych miejscach oraz przy różnych mocowaniach. Mocowano go na nakrętce przewodu wysokiego ciśnienia (przy pompie wtryskowej i wtryskiwaczu) (rys. 2) i na śrubie regulacyjnej za pomocą magnesu oraz za pomocą gwintu na śrubie regulacyjnej, a także na przedłużeniu trzpienia iglicy za pomocą gwintu. Przetworzone przez czujnik sygnały całkowano we wzmacniaczu, co zamieniło sygnały przyspieszeń na sygnały prędkości drgań.

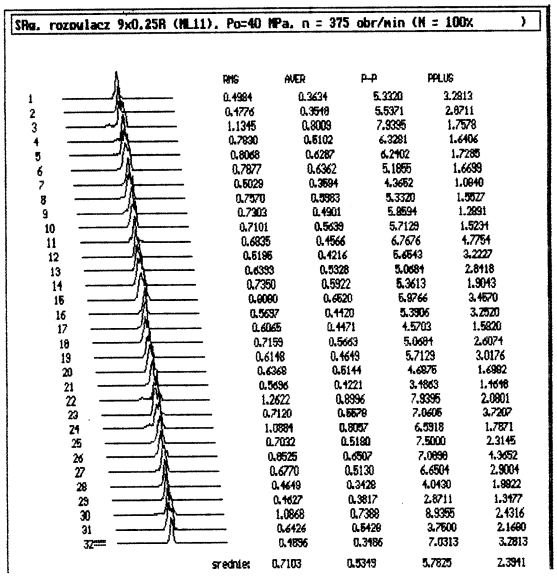
Próbowano również dobrać najodpowiedniejsze pasmo analizy sygnałów. Badania wskazały, że najbardziej przydatne okazały się pasma do 1 i 2,5 kHz.

Były to wstępne badania mające na celu zaplanowanie badań zasadniczych. W czasie badań zmieniano stopniowo nastawę paliwową, co 10% od 50 ÷ 100% i badano jej wpływ na wartość parametrów diagnostycznych.

W badaniach wykorzystywano eksperyment czynny, który polegał na zmianie jednej wielkości wejściowej (nastawy paliwowej), na wartości parametrów diagnostycznych [13], przy utrzymywaniu na stałym poziomie pozostałych wielkości wejściowych [16, 17].

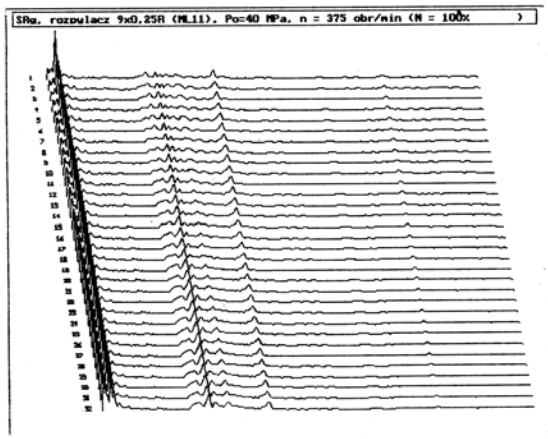
Rys. 2. Przykład mocowania czujnika na przewodzie wysokiego ciśnienia za pomocą magnesu

Wykorzystano analizę w dziedzinie amplitud, w której estymaty, prezentowane są pierwotnie w postaci kaskadowej (rys. 3). W tej opcji analizy wyznaczano 4 estymaty amplitudowe.

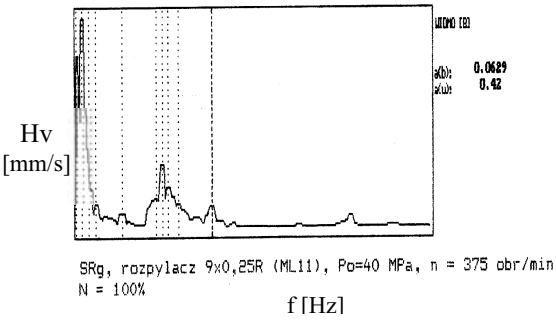


Rys. 3. Przykładowa analiza w dziedzinie amplitudy: *RMS* – wartość skuteczna, *AVER* – wartość średnia, *P-P* – wartość międzyszczytowa, *PPLUS* – wartość szczytowa dodatnia

Podczas analizy w dziedzinie częstotliwości analizowano sekwencje sygnałów, gdzie widma prezentowane były pierwotnie w postaci kaskadowej (rys. 4). W tej opcji możliwe było analizowanie widma ostatnio wczytanego sygnału, widma wzorcowego i widma wynikowego amplitudy (b) − wartości bezwzględne, amplitudy (u) − wartości unormowane, częstotliwości (b) − częstotliwość w Hz, częstotliwści (u) − numer próbki) (rys. 5). Podana jest również rozdzielczość widma i zakres analizy.



Rys. 4. Uśrednienie synchroniczne widm prędkości drgań



Rys. 5. Przykładowe uśrednione widmo prędkości drgań: *Hv* – amplituda składowej widma, *f* – częstotliwość

Z rysunku 5 wynika, że składowe o znaczących wartościach amplitud znajdują się w niskim paśmie częstotliwości.

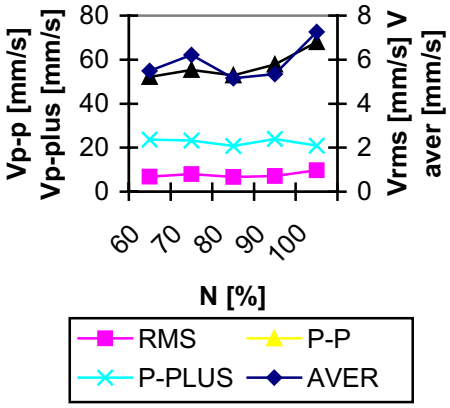
5. WYBRANE WYNIKI BADAŃ

Przy zestawieniu wyników w dziedzinie amplitudy badano wpływ nastawy paliwowej na wartości estymat amplitudowych przy różnych mocowaniach i lokalizacjach czujników pomiarowych. Przykładowe przebiegi estymat, dla przeprowadzonych badań i czujnika zamocowanego na śrubie regulacyjnej za pomocą gwintu, zostały przedstawione na rysunku 6.

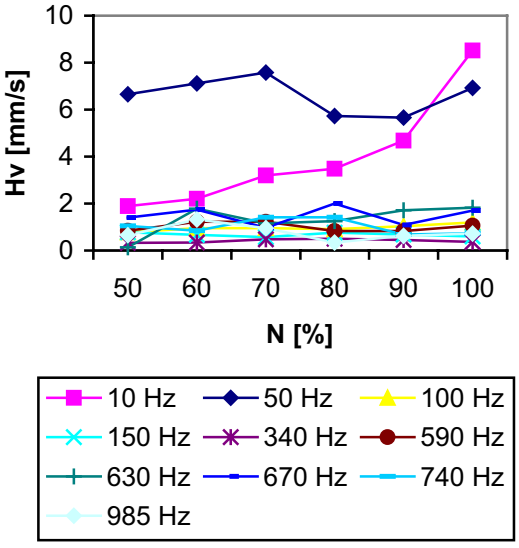
Z rysunku 6 wynika raczej niezbyt wyraźna współzmienniczość estymat amplitudowych z nastawą paliwową. Estymaty te są mało wrażliwe na zmiany nastawy paliwowej, odzwierciedlającej zmiany stanu technicznego wtryskiwaczy.

Na rysunku 7 natomiast przedstawiono wpływ nastawy paliwowej na wartości amplitud składowych widm prędkości drgań przy czujniku mocowanych za pomocą gwintu na śrubie regulacyjnej. Tutaj jednoznaczny trend z nastawą paliwową wykazały amplitudy przy częstotliwości 10 Hz, czyli drugiej obrotowej przy tej

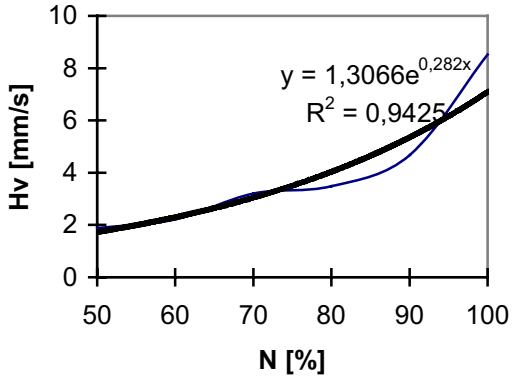
rozdzielczości. Przebieg ten przedstawiono na rysunku 8, aproksymując go krzywą wykładniczą wraz z podaniem równania linii trendu. Wystąpiła tutaj zależność nieliniowa pomiędzy zmiennymi zależnymi i niezależnymi.



Rys. 6. Wykres zależności estymat amplitudowych prędkości drgań *v* od nastawy listwy paliwowej dla czujnika zamocowanego na śrubie regulacyjnej: *N* – nastawa paliwowa

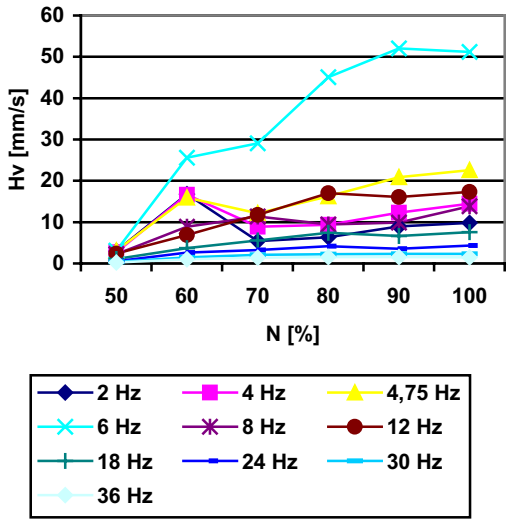


Rys. 7. Wykres zależności wartości amplitud składowych widm prędkości drgań *Hv* od nastawy listwy paliwowej przy czujniku zamocowanego za pomocą gwintu na śrubie regulacyjnej



Rys. 8. Przebieg amplitud widm prędkości drgań *Hv* o *f* = 10 Hz w zależności od zmian nastawy paliwowej składowej przy czujniku zamocowanym na śrubie regulacyjnej wraz z linią trendu oraz wartością współczynnika determinacji R^2

Na rys. 9 przedstawiono wpływ nastawy paliwowej na wartości amplitud widm prędkości drgań przy czujniku zamocowanym na drążku trzpienia iglicy. Tutaj pierwsza obrotowa tworzy jednostajny trend z nastawą paliwową. Problemem jednak może być w stosowaniu w eksploatacji tego sposobu mocowania czujnika, ponieważ wymaga on ingerencji w konstrukcję wtryskiwacza. Jest to jednak sposób lokalizacji czujnika, w którym jest on związany z elementami ruchomymi wtryskiwacza.



Rys. 9. Wpływ nastawy paliwowej na wartości amplitud obwiedni widm prędkości drgań przy czujniku mocowanym na gwint na drążku trzpienia iglicy w paśmie *f* do 1 kHz

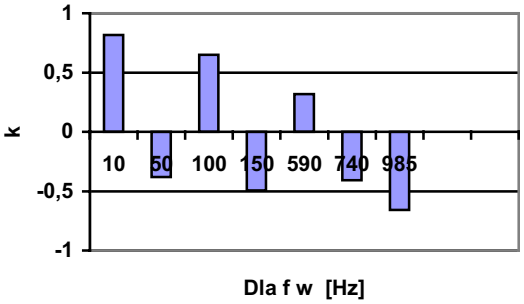
O przydatności parametrów diagnostycznych świadczą między innymi wartości współczynnika korelacji pomiędzy zmiennymi:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \qquad (1)$$

gdzie:

i – kolejny numer składowej widma i nastawy paliwowej,
x_i – i-ta wartość nastawy paliwowej,
$\bar{x}$ – wartość średnia nastawy paliwowej,
y_i – i-ta wartość parametru diagnostycznego,
$\bar{y}$ – wartość średnia parametru diagnostycznego.

Przykładowe wartości współczynnika korelacji wraz z nastawą paliwową przedstawiono na rysunku 10. Związki ścisłe zachodzą pomiędzy zmiennymi przy wartości k = 0,71 – 0,9, co spełnia składowa o częstotliwości 10 Hz. Wartości współczynnika około 0,8, uzyskano dla kilku parametrów diagnostycznych przy różnych wariantach badań. Związek bardzo ścisły uzyskano dla składowej o f = 6 Hz przy mocowaniu czujnika na trzpieniu wtryskiwacza, gdzie wartość współczynnika korelacji wyniosła 0,948.



Rys. 10. Wartość współczynnika korelacji amplitud widm, w zależności od nastawy paliwowej, dla mocowania czujnika na śrubie regulacyjnej za pomocą gwintu

Z rysunku wynika, że niektóre z parametrów diagnostycznych były wręcz odwrotnie zależne od zmian nastawy paliwowe, przyjmując ujemne wartości współczynników korelacji.

W badaniach wykorzystywano również analizę jakościową porównania widm odniesienia (dla nastawy paliwowej 100%) z widmami bieżącymi, wraz z wyznaczaniem współczynników korelacji. Dla niektórych mocowań uzyskano jednoznaczny trend.

6. PODSUMOWANIE UZYSKANYCH WYNIKÓW

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że większość parametrów diagnostycznych nie jest współzmiennicza z nastawą paliwową. Nie tworzą one jednoznacznych trendów i posiadają ekstrema [5]. Znacznie lepsze związki uzyskano dla sygnałów przemieszczeń drgań w niskim paśmie częstotliwości [8]. Znalazło się tutaj jednak kilka parametrów, współzmmiennicznych z nastawą paliwową bez ekstremum, które mogą być wykorzystane do diagnostyki wtryskiwaczy.

Można zaobserwować, że dla poszczególnych typów mocowań czujnika, zastosowanie może mieć inna częstotliwość do diagnozowania wtryskiwaczy podczas eksploatacji.

Przeprowadzone badania diagnostyczne wtryskiwaczy z wykorzystaniem czujnika przyspieszeń drgań, pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- do diagnozowania wtryskiwaczy podczas eksploatacji, najłatwiej jest mocować czujniki na magnes;
- czujnik z mocowaniem za pomocą gwintu może mieć mniejsze zastosowanie, z tego względu, że konieczne jest wiercenie oraz gwintowanie otworka w śrubie regulacyjnej;
- dla silnika AL 20, miejscem najbardziej dostępnym do zamocowanie czujnika jest przewód wysokiego ciśnienia, z tego względu, że śruba regulacyjna jak i cała głowica znajdują się pod pokrywą głowicy;
- przy zastosowaniu czujnika przyspieszeń drgań nie jest możliwe precyzyjne ustalenie stanu technicznego wtryskiwacza;
- wykorzystanie czujnika jest możliwe tylko w określonym paśmie częstotliwości oraz nie dla wszystkich pasm częstotliwości;
- w przypadku diagnostyki wtryskiwaczy na statku, problemem może się okazać likwidacja zakłóceń od innych pracujących maszyn, ponieważ na stanowisku badawczym już pojawiały się zakłócenia.

Wykonano tutaj fragment badań z wykorzystaniem czujników piezoelektrycznych przyspieszeń drgań, przy zastosowaniu wybranych sposobów mocowania czujników pomiarowych oraz wybranych sposobów analizy sygnałów i pasm częstotliwości. Możliwe jest uzyskanie bardziej przydatnych wyników przy zastosowaniu czujnika prędkości drgań oraz przeprowadzeniu badań w dalszych obszarach. Celowe wydaje się, zatem dalsze kontynuowanie badań.

LITERATURA

[1] Borisenko A. N. i in.: *Ustrojstvo dlja opredelenija forsunlki dizelja. Patent SSSR* 1984, no 1160263.

[2] Kordos P., Piernikarski D.: *Wpływ stanu technicznego wtryskiwaczy na powtarzalność pracy silnika 4C90*. KONES 2002, Warszawa – Gdańsk 2002, s. 95−103.

[3] Kowalski J.: *Wpływ stanu technicznego wtryskiwaczy na emisję tlenków azotu ze spalinowego silnika okrętowego.* Zeszyty Naukowe. Wyższa Szkoła Morska w Szczecinie 2003 nr 71 s. 213–223.

[4] Kuzemko J., Głogowski A., Matecki P.: *Wpływ usterek aparatury wtryskowej na parametry pracy wysokoprężnego silnika doładowanego.* Silniki Spalinowe nr 1–2 1983, s. 9−20.

[5] Gołąbek A.: *Niezawodność autobusów.* Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993.

[6] Lejda K., Ustrzycki A.: *Skomputeryzowane stanowisko badawcze do analizy przebiegu wtrysku w aparaturze wtryskowej silników wysokoprężnych*. AUTOMA-SIL'96, Poznań 1996, s. 37–42.

[7] Monieta J.: *Choice of most deceptive functional system and sub-assembly of marine diesel engines*. Povyšenie Effektivnosti Raboty Energetičeskich Ustanovok. Meždunarodnyj Sbornik Nayčnych Trudov. Kaliningrad 2002, s. 141−146.

[8] Monieta J.: *Diagnostyka kontrolna wtryskiwaczy silników okrętowych z zastosowaniem parametrów procesów roboczych i towarzyszących.* Zagadnienia Eksploatacji Maszyn 2001 nr 4, s. 167−179.

[9] Monieta J.: *Estimation of reliability of injectors of marine diesel engines type 6AL20/24*. Eksploatacja i Niezawodność 2003 nr 4, s. 47−55.

[10] Monieta J.: *Zastosowanie składników emisji spalin wylotowych do oceny stanu technicznego wtryskiwaczy silników okrętowych.* Journal of KONES 2004 vol. 11, no. 3−4, s. 75−82.

[11] Monieta J., Dyba K.: *Diagnostyka eksploatacyjna wtryskiwaczy silników okrętowych z wykorzystaniem analizy widmowej sygnałów ciśnienia.* Zeszyty Naukowe. Wyższa Szkoła Morska w Szczecinie 2003 nr 71 s. 327–335.

[12] Piotrowski I. Witkowski K.: *Eksploatacja okrętowych silników spalinowych.* Wyd. Fundacja Rozwoju Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni, Gdynia 2002.

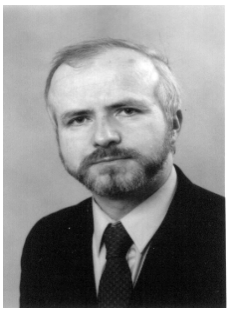
[13] PN – 90/N – 04002. *Diagnostyka techniczna. Terminologia ogólna.*

[14] Polanowski S., Łutowicz M., Bruski S., Wontka L.: *Diagnostic and monitoring system of cylinder balancing and technical state control of marine diesel engines.* Explo-Diesel & Gas Turbine`01, Gdańsk − Międzyzdroje − Kopenhaga 2001, s. 249−257.

[15] Wisłocki K., Kozak W.: *Numerical analysis of injection and combustion processes endoscopic observations.* KONES 2002, Warszawa − Gdańsk 2002, s. 283−290.

[16] Żółtowski B.: *Podstawy diagnostyki Maszyn*. Wyd. AT – R, Bydgoszcz 1996.

[17] Żółtowski B., Cempel C.: Inżynieria diagnostyki Maszyn. Wyd. Instytutu Technologii Eksploatacji, Warszawa, Bydgoszcz, Radom 2004.



Dr inż. Jan Monieta jest absolwentem Wydziału Maszyn Roboczych i Pojazdów Politechniki Poznańskiej. Pracuje na stanowisku adiunkta w Zakładzie Siłowni Okrętowych Akademii Morskiej w Szczecinie. W pracy naukowej zajmuje się problemami eksploatacji siłowni okrętowych, a zwłaszcza silników spalinowych. Jest autorem i współautorem 70 referatów i publikacji.

OCENA WYBRANYCH SPOSOBÓW DIAGNOZOWANIA STANU TECHNICZNEGO WENTYLATORÓW

Marek POTRZEBSKI
Katedra Inżynierii Produkcji - studia doktoranckie

Wydział Mechaniczny
Akademia Techniczno - Rolnicza w Bydgoszczy
e-mail: marekp@mail.atr.bydgoszcz.pl
ma66@poczta.fm

Streszczenie

W referacie podjęto próbę porównania metod pomiarowych i oceny drgań łożysk w wentylatorach systemu wyciągowego, opartych na algorytmach ujętych w PN-90/N-01358 i metodzie SPM ® Instruments Co, wykorzystywanych w celu diagnozowania stanu technicznego wentylatorów w rzeczywistych zakładach produkcyjnych. W wyniku analizy (wg autora artykułu) metoda diagnozowania stanu technicznego wentylatorów, oparta na systemie diagnostycznym i aparaturze firmy SPM ® Instrument Co. w warunkach przemysłowo-produkcyjnych lepiej spełnia zakładane cele diagnostyczne.

Słowa kluczowe: wentylatory, metody pomiarowe, diagnostyka

Sumary

In report test of comparison of measure methods and opinions of tremblings of bearings was cut in ventilators of winding system Leanings' on captured algorithms In PN-90/N-01358 and SPM® Instruments Co. Method. Used in aim of diagnosing of technical state of ventilators In Industrial Plant. In result of analysis SPM® Instruments Co. Method is better In comparison from other method.

Key word : centrifugal fan, method of measurement, diagnostic

1. WPROWADZENIE

Wentylatory, niezależnie od ich rodzaju, na pierwszy rzut oka, robią wrażenie maszyn bardzo prostych, łatwych do zaprojektowania i diagnozowania. W rzeczywistości drobne, subtelne zmiany kształtów i proporcji kanałów przepływowych i ich montażu wpływają, w znacznym stopniu na przebieg charakterystyk pracy wentylatora. Zwłaszcza, że wymagania stawiane dzisiaj wentylatorom są coraz bardziej wyszukane. Żąda się od nich wysokiej niezawodności, dobrej sprawności, pracy z umiarkowanym stopniem hałasu, uzyskiwania głównych parametrów nie tylko w znamionowych warunkach pracy, ale niekiedy i wymaganego z góry przebiegu charakterystyk spiętrzenia, sprawności lub mocy. Spełnienie tych warunków wymaga coraz lepszego poznania zjawisk zachodzących podczas cyklu pracy urządzenia i możliwości przeanalizowania jak największej ilości istotnych sygnałów wpływających na prawidłowe działanie. Nie mniej ważne jest, by zebrane sygnały zostały prawidłowo zinterpretowane i wykorzystane w dalszym cyklu eksploatacji urządzenia. Diagnozowanie wentylatorów oparto o diagnozowanie stanu ich łożysk.

2. WYBRANE POJĘCIA DOTYCZĄCE DIAGNOSTYKI

Technologia diagnozowania [5] i obsługiwania jest to zbiór technicznie i ekonomicznie uzasadnionych sposobów realizacji ich procesu technologicznego.

Proces technologiczny diagnozowania i obsługiwania obiektów technicznych obejmuje zbiór operacji technologicznych wykonywanych w ściśle określonej kolejności, przez diagnostów i pracowników obsługiwań, na odpowiednio wyposażonych stanowiskach roboczych, w celu przywrócenia im stanu zdatności.

Monitorowanie [8] to wykrywanie, pomiar, rejestrowanie i ocena wybranych informacji i danych dotyczących stanu określonego systemu. Tak pozyskana informacja służy do oceny funkcjonowania systemu organizacji, zarządzania i jakości (wytworu, bezpieczeństwa, środowiska, maszyn) w ujęciu klasyfikacji dwustanowej – zdatny, niezdatny.

Uszczegółowienie [2] takich decyzji (zdatności zadaniowej) są metody, procedury i środki diagnostyki technicznej, umożliwiające uszczegółowioną (strukturalną) ocenę stanu systemu, generując podstawy dalszych decyzji diagnostyczno-eksploatacyjnych.
Przyrządy monitorujące i techniki monitorowania można podzielić na [2,9]:

- Monitoring zjawisk dynamicznych; szerokopasmowa analiza drgań, wąskopasmowa analiza drgań, analiza w czasie rzeczywistym, emisja akustyczna, ultradźwiękowa detekcja nieszczelności;
- Monitoring zanieczyszczeń stałych: ferrografia, magnetyczna detekcja wirów, fluorescencja rentgenowska ;
- Monitoring procesów chemicznych ;analiza spektrometryczna, chromatografia gazowa, chromatografia cieczowa, spektroskopia podczerwona, cienkie warstwy radioaktywne ;
- Monitoring procesów fizycznych; ciekłe penetratory barwnikowe, inspekcja proszkami magnetycznymi, defektoskopia ultradźwiękowa, rentgenografia, termografia ;
- Inne; endoskopia, tensometria, lakiery tensometryczne. itd.

3. DIAGNOSTYKA KONTROLNA ŁOŻYSK TOCZNYCH –POJĘCIA PODSTAWOWE

Kontrolna diagnostyka łożysk tocznych oparta jest przede wszystkim na pomiarach drgań wytwarzanych wzbudzanych przez same układy łożysk. Poziom drgań ma istotny związek z pozostałymi parametrami działania układu łożysk.

Najczęściej jest definiowane niżej wyszczególnionym zestawem cech [1,11]:

- Trwałość; tzn. czas pracy w danych warunkach – oznaczany T;
- Dokładności : rozumianej jako chwilowego odchylenia środka łożyska od pozycji roboczej- oznaczanej D ;
- Oporów ruchu ; rozumianych jako wielkość momentu napędowego wymaganego do utrzymania zadanych obrotów - oznaczanych R;
- Poziomu drgań ; oznaczanych V;
- Poziomu hałasu; generowanego przez łożysko – oznaczanych H

Według [1,7] występuje ścisły związek pomiędzy wyszczególnionymi cechami i prowadzi to do stwierdzenia – hałas generowany przez łożyska i moment oporowy są wprost proporcjonalne do poziomu drgań generowanych przez łożysko, a trwałość i dokładność pozycjonowania do nich odwrotnie proporcjonalne.
Ogólne kryterium [4,11] jakości łożyska Q obrazuje równość :

$$Q = aT + bD + cR^{-1} + dH^{-1} + eV^{-1} \quad (1)$$

gdzie:
a,b,c,d,e, - współczynniki wagowe.

4. DIAGNOSTYKA EKSPLOATACYJNA ŁOŻYSK TOCZNYCH

4.1. Pojęcia podstawowe i ogólne

W pracach [8,11] wskazuje się, że na skrócenie okresu użytkowania łożyska mają wpływ następujące czynniki wyrażone w procentach. Mianowicie :

- niewystarczające smarowanie (36%)
- zanieczyszczenia (14%)
- błędy montażowe i eksploatacyjne (16%), natomiast pozycje [1,3] podają (25-45%).

Należy jednak zwrócić uwagę, że często wymiana łożysk (wg [11] to aż 34% przypadków), spowodowana jest mylną interpretacją sygnałów wibroakustycznych.

4.2. Pojęcia ogólne

Za pracą [2;7] wyróżniono trzy fazy procesu eksploatacji łożysk tocznych

1) faza szumowa
2) faza drganiowa
3) faza termiczna

Wnioskować można, że w zależności od fazy (rodzaju) uszkodzenia należy stosować różne (odmienne) sposoby mierzenia sygnału diagnostycznego.

4.3. Wybrane metody i przyrządy diagnostyczne dla diagnostyki łożysk tocznych

Efekt wzrostu temperatury; (jeżeli temperatura łożyska >120^{o} C),stosuje się specjalistyczne termometry lub urządzenia termowizyjne *Zalety*: szybki odczyt i prosta interpretacja wyników[8]. *Wady:* zmiany temperatury otoczenia lub obciążenia maszyny mogą wpłynąć na wartość odczytanego parametru ; nie każde uszkodzenie łożysk ma wpływ na zwiększenie parametru temperatury ; bardzo krótki czas na reakcje od chwili dokonania pomiaru do momentu nieodwracalnego uszkodzenia [3].

Efekt wzrostu oporów ruchu; przyrządy mierzące ten parametr (momenty tarcia w łożyskach zabudowanych) są licznie reprezentowane przez producentów. *Zalety:* precyzyjne śledzenie interesującej cechy jakości łożyska decydującej o spełnieniu założonej funkcji maszyny. *Wady:* w małym zakresie zostały opracowane normalia dotyczące poziomów granicznych; ograniczenie dotyczące dokładności pomiarów (jest to cały czas badane) i mała dostępność do strefy pomiarowej.

Efekt zanieczyszczenia oleju ; ma istotny wpływ na trwałość węzła łożyskowego (właściwa interpretacja sygnałów diagnostycznych związanych z cząstkami zużyciowymi i czystością oleju może zwiększyć trwałość, aż kilkanaście razy [3] *Zalety:* szybki odczyt i duża czułość metody (prawidłowa interpretacja stanu oleju pozwala wykryć początkowe stadium uszkodzenia). *Wady:* zawężona możliwość

stosowania ; mogą występować problemy z interpretacją wyników

Efekt wzrostu emitowanego hałasu; producenci oferują różnorodne rodzaje urządzeń, opartych na zasadzie pomiaru drgań i hałasu węzłów łożyskowych. *Zalety:* szybki odczyt i prosta budowa (wyposażenie). *Wady:* konieczność posiadania wykwalifikowanej kadry diagnostów trudności w odniesieniu się do wzorców (subiektywna ocena wyników) ; wpływ innych zakłóceń na pomiar.

Efekt wzrostu generowanych drgań; jest to najbardziej rozpowszechniony i używany sposób diagnozowania łożysk tocznych. Do najbardziej znanych producentów można zaliczyć SPM® Instruments, Schenck, Bruel&Kjaer. *Zalety :*szybki odczyt i prosta interpretacja wyników; stosunkowo tanie przy zakupie i eksploatacji *Wady:* znaczna różnica w diagnozie spowodowana zakłóceniami od innych niezmierzonych węzłów drgających. Mała czułość na niski poziom amplitud [8].

W pozycji [8] zaproponowano zwrócenie uwagi na pomiary przemieszczeń wału w celu monitorowania łożyska; *Zalety:* precyzyjne śledzenie interesującej cechy jakości łożyska decydującej o spełnieniu założonej funkcji maszyny. *Wady*: konieczność uwzględnienia funkcji diagnostycznych na etapie projektowania urządzenia technicznego.

Pomiar impulsów udarowych Zalety: możliwość precyzyjnego śledzenia procesu eksploatacyjnego łożysk. *Wady:* konieczność wyizolowania źródła generującego sygnał drgań impulsu udarowego (praca innych węzłów kinematycznych)

- *metoda SPM (Shock Puls Metod)* ; ocena stanu łożyska polega na porównaniu aktualnie zmierzonego poziomu prędkości uderzeń z poziomem określonym dla łożyska pracującego prawidłowo. *Zalety:* szybki i precyzyjny odczyt możliwość analizy trendu; znaczna skuteczność wykrywania wczesnych uszkodzeń; opracowane normalia (nomogramy) dla oczekiwanych stanów łożysk. *Wady:* konieczność posiadania informacji o średnicy wewnętrznej łożyska i prędkości obrotowej łożyska; duża wrażliwość na zakłócenia z innych źródeł lub niewłaściwy montaż (wybór) miejsc pomiarowych
- *pomiar współczynnika szczytu;* na rynku oferowane są różne odmiany tego typu urządzenia np. producentów Bruel & Kjaeker, NSK. *Zalety:* łatwy i szybki pomiar; łatwa obsługa *Wady:* konieczność dobrania właściwego pasma pomiarowego; duża wrażliwość na zakłócenia; brak możliwość wyselekcjonowania i interpretacji dla istniejącego stanu uszkodzenia.
- *pomiar kurtozy;* analiza kurtozy jest przykładem metody statystycznej, której bada się zmienność rozkładu prawdopodobieństwa wartości parametru wraz z rozwojem uszkodzenia. Metoda ta wykorzystywana jest w małym zakresie. Firma która opracowała i rozprowadza urządzenia na bazie tej metody British Steel Co. Typ urządzenia CML-4100. *Zalety:* mało skomplikowany i szybki pomiar; nie jest wymagana szczegółowa znajomość danych technicznych łożysk. *Wady:* bardzo mała użyteczność; duża wrażliwość na zakłócenia innymi sygnałami wibroakustycznymi ;konieczność dobrania właściwego pasma pomiarowego dla mierzonego węzła kinematycznego.
- pomiar metodą analizy widmowej; pozwala „rozbić „ sygnał drganiowy na składniki o różnych częstotliwościach. Skutecznymi technikami wspomagającymi [8] są w przypadku badań szerokopasmowych widm drgań łożysk: funkcja lupy (ang.zoom), cepstrum, *analiza obwiedni (ang.envelope). Zalety:* odseparowanie użytecznych informacji diagnostycznych od wpływu zakłóceń zewnętrznych ; precyzyjne śledzenie rozwoju uszkodzenia łożyska ; możliwość prowadzenia różnorodnych pomiarów diagnostycznych *Wady:* konieczna znajomość obszarów rezonansowych i odpowiedni dobór kryteriów stanu; szczegółowe dane techniczne badanych łożysk; trudność z identyfikacją modulacji w przypadku zaawansowanego stanu uszkodzenia; wysoka cena analizatora widmowego.

5. OPIS METOD POMIAROWYCH STOSOWANYCH W BADANIACH

5.1. Metoda I

Według [11,12] metoda opierająca się na Polskiej Normie zaleca pomiar wartości szerokopasmowej średniokwadratowej prędkości drgań mierzonej na nie wirujących częściach urządzenia technicznego, które podlega kontroli technicznej. Metoda I, jest stosowana do oceny drgań po wykonaniu urządzenia, jak również do 'zgrubnego ' śledzenia stanu technicznego maszyny. Analiza pomiaru przeprowadza się kwalifikując intensywność drgań do określonej strefy klasyfikacyjnej, założono strefy od A do D. Gradacja stref to:

A – stan dobry ;
B – stan zadawalający;
C – stan przejściowo dopuszczalny;
D – stan niedopuszczalny.

W załączniku 'C'do pozycji [6] zaproponowano wzór na dopuszczalną wartość średniokwadratowej prędkości kryterialnej.

$$V_{r.m.s.} = V_A * G * (f_Z / f_X)^k * (f_y / f_w)^m \qquad (2)$$

gdzie:

$V_{r.m.s.}$- [mm /s];

V_A – wartość średniokwadratowa prędkości drgań, dla strefy A w przedziale pomiędzy f_x, f_y [mm /s];

G – współczynnik strefy G (A) =1; G(B)=2,56; G(C) = 6.4 - zależny od prędkości obrotowej maszyny lub innej wielkości eksploatacyjnej (np. obciążenia, ciśnienia, przepływu);

f_i :gdzie i=x,y,z,w - częstotliwości [Hz] określające granice pasma, w którym zakłada się stałą prędkość kryterialną (z pewnymi założeniami);

k,m - stałe charakterystyczne dla określonego typu maszyny.

Wyniki uzyskane z powyższego wzoru przyporządkowuje się do zaproponowanych w Normie klas maszyn: *klasa I* - dla silników o mocy do 15 kW; *klasa II* - dla silników o mocy od 15kW do 75 kW (nie zafundamentowane) lub do 300kW jako zafundamentowane ; *klasa III* - wielkie silniki napędowe i inne wielkie maszyny o małej podatności w kierunku pomiaru drgań; *klasa IV* - wielkie silniki napędowe i inne maszyny z masami wirującymi o mocach do 10 MW.

5.2. Metoda II

SPM®Instrument -System 43 dla pomiaru impulsów udarowych Metoda SPM dla pomiarów impulsów udarowych jest przewidziana głównie jako pomoc do zapobiegawczej obsługi kulkowych i wałeczkowych łożysk tocznych. Montaż łożysk, warunki pracy (smarowanie, obciążenie itp.) i przebieg zużywania się łożysk są sprawdzane przez regularny odczyt wartości impulsów. Celem jest wykorzystanie w możliwie dużym stopniu całego okresu trwałości łożyska, unikając konieczności wymiany i otrzymanie możliwie wczesnego ostrzeżenia o groźbie uszkodzenia łożyska. Metoda impulsów udarowych może być używana w normalnej pracy obsługowej. Odczyt dla podejrzanego łożyska może potwierdzić, czy jest ono zdatne do obsługi czy też nie. Jednakże takie okazjonalne i niesystematyczne użycie przyrządu nie może prowadzić do racjonalnego planowania obsługi, które jest jedną z głównych korzyści regularnych pomiarów impulsów wszystkich ważnych łożysk. Trzeba również zauważyć, że pojedynczy odczyt nie poparty historią łożyska może być przyczyną błędnej interpretacji.. Pomiary impulsów udarowych jako część systemu obsługi zapobiegawczej powinny być stosowane regularnie i zgodnie ze starannie zaplanowaną procedurą. Skuteczne procedury mierzenia mają różne znaczenie i powinny być one przystosowane w każdym przypadku do istniejącego systemu obsługi.

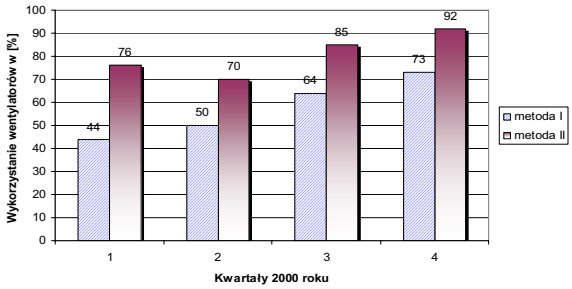
6. CEL I ZAKRES

Celem badań porównawczych była ocena metod diagnostycznych na podstawie stosowania ich w warunkach przemysłowych.

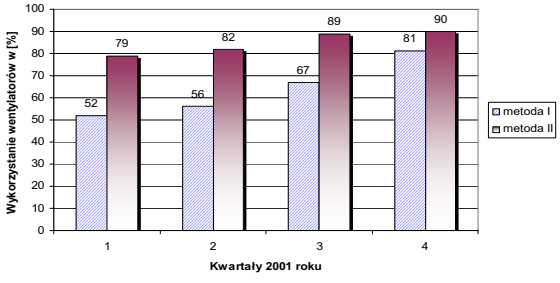
Zakres ograniczony został do dwóch wytypowanych zakładów produkcyjnych reprezentujących różne gałęzie produkcji (branża chemiczna – wytwórcza; branża przetwórstwa drewna). Obie metody badań diagnostycznych były przeprowadzane według kanonów przewidzianych w normatywach tych metod. Pracownicy wykonujący pomiary diagnostyczne byli przeszkoleni i posiadali wymaganą praktykę zawodową.

W wytypowanych zakładach wytwórczym w okresie do 2002 roku stosowano metodę opartą na Polskiej Normie. Efekty diagnostyczne jakie osiągano były mało zadawalające. Obrazują to wykresy na rys.1; rys. 2; rys. 3 przedstawiające procentowe wykorzystanie wentylatorów w latach 2000r do 2002roku. W roku 2000 zakupiono pełny zestaw diagnostyczny firmy SPM® Instrument i przeszkolono pracowników obsługi w zakresie analiz i wykonywania pomiarów na analizatorze impulsów uderzeniowych A2010 wraz z wyposażeniem dodatkowym do monitorowania łożysk firmy SPM ® Instrument Co. Maszyny poddane badaniom wg. harmonogramu przeglądów technicznych, to wentylatory promieniowe o mocy 75 kW i obrotach 1485 obr / min. Jako narzędzia pomiarowe stosowano miernik typ Vibrometer VIB-10 firmy SPM® Instrument Co. Punktami pomiarowymi były wytypowane miejsca na oprawach łożysk tocznych wirników wentylatorów.

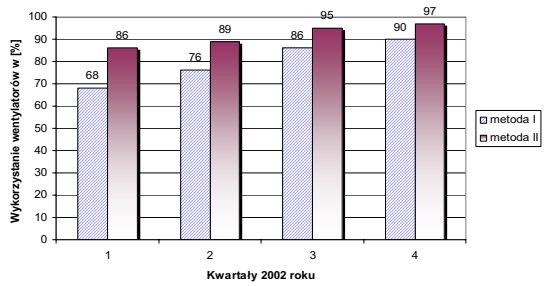
7. WYNIKI - DLA METODY I i II



Rys. 1. Porównanie metod diagnostycznych w roku 2000



Rys. 2. Porównanie metod diagnostycznych w roku 2001



Rys. 3. Porównanie metod diagnostycznych w roku 2002

Jak przedstawiono na wykresach w okresie trzech lat stosowano równolegle metodę opartą na Polskiej Normie – oznaczoną kolorem niebieskim kreskowanym [opisaną wcześniej] i metodę opracowaną przez firmę SPM ® -oznaczona kolorem bordowym z cieniowaniem (opisaną wcześniej).

8. ANALIZA WYNIKÓW

Metoda I wykazywała dużą niejednoznaczność w interpretacji wyników. Jednocześnie występowały znaczne różnice (na poziomie operatorów maszyn) w umiejętności prawidłowego przeprowadzenia czynności obsługowo-naprawczych (wyważenie), konieczność zatrudniania (wynajmowania) firm zewnętrznych do serwisowania badanych maszyn. Metoda I [wg. PN] nie pozwalała w jednoznaczny sposób określić przyczyny uszkodzenia i prawdopodobnego czasu awarii. Wiąże się z tym kłopot z jednoznacznym wyznaczenie czasów okresowych przeglądów technicznych wentylatorów. Wpływało to również na koszty związane z rozruchem (duża czasochłonność procesu uruchamiania). Duże zaangażowanie (w dozór techniczny) pracowników działu Utrzymania Ruchu. Metoda I (wg. PN) uniemożliwia wyciągnięcie prawidłowych wniosków dla bardziej złożonych, niejednoznacznych, objawów uszkodzeń i ich wspólnych powiązań lub zależności. Przykład; występował wpływ jednego wentylatora na drugi (wpływ rezonującego podłoża) wyniki pomiarów dawały mało prawdopodobne odczyty. Długo trwało analizowanie co może być powodem takiego stanu. Metoda I nie dawała żadnej sensownej odpowiedzi. Zlecenie analizy zewnętrznej firmie pomogło rozwiązać ten problem. Firma ta stosowała metodę SPM®. Ten przykład przekonał do sensu stosowania metody II (firmy SPM®Instrument)

9. WNIOSKI

Przeprowadzone badania z uwzględnieniem piśmiennictwa w zakresie tematu upoważniają do wysunięcia niżej podanych wniosków.

Metoda I nie spełnia postawionych wymagań w środowisku przemysłowego stosowania.

Metoda II oparta na systemie diagnostycznym i aparaturze firmy SPM®Instrument Co. w warunkach przemysłowo-produkcyjnych lepiej spełnia zakładany poziom diagnostyki.

Pozwala to w łatwy sposób dokonać prawidłowej oceny stanu technicznego wentylatorów

Wydaje się jednak, że podstawową sprawą jest właściwe dobranie zarówno metody diagnozowania urządzenia, jak również aparatury kontrolnej i wspomagającej.

LITERATURA

[1] CEMPEL C.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn, WNT, Warszawa 1982.
[2] CEMPEL C. TOMASZEWSKI F. : Diagnostyka Maszyn. MCNEMT, Radom 1992.
[3] DWOJAK J., RZEPIELA M. :Diagnostyka i obsługa techniczna łożysk tocznych. Biuro Gamma. W-wa 2003.
[4] NIZIŃSKI S.,ŻÓŁTOWSKI B.: Zarządzanie Eksploatacją Obiektów Technicznych za Pomocą Rachunku Kosztów - Wyd. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ATR w Bydgoszczy, 2002.
[5] NIZIŃSKI S. :Inżynieria Diagnostyki Maszyn pod redakcją Żółtowskiego B., Cempel C. :część I ; rozdz.26 str503. wyd P.T.D.T. Instytut Technologii Eksploatacji PIB Radom, Warszawa, Bydgoszcz, Radom 2004.
[6] NIZIŃSKI S., ŻÓŁTOWSKI B: Informatyczne Systemy Zarządzania Eksploatacją Obiektów Technicznych, Wyd. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ATR w Bydgoszczy, 2001.
[7] POTRZEBSKI M. :Diagnozowanie za pomocą algorytmów i metod sytemu STM ® Instrument –materiały niepublikowane, 1999.
[8] RADKOWSKI S.: Inżynieria Diagnostyki Maszyn pod redakcją Żółtowskiego B., Cempel C. : część2 rozdz. I str530. wyd. P.T.D.T. Instytut Technologii Eksploatacji PIB Radom,Warszawa, Bydgoszcz Radom 2004.
[9] SALOMON Sz., ŻÓŁTOWSKI B. : Monitorowanie Otoczenia i Zarządzanie Systemami Eksploatacji Maszyn – Materiały X konferencji „Diagnostyka Maszyn Roboczych i Urządzeń cz.II DIAGNOSTYKA '99, Borówno 1999.
[10] ŻÓŁTOWSKI B.,ĆWIK Z. : Leksykon Diagnostyki Technicznej, wyd. Uczelniane ATR Bydgoszcz,1996.

[11] Norma PN-ISO-10816-1. Drgania mechaniczne. Ocena drgań maszyny na podstawie pomiarów na częściach nie wirujących.wyd.1998.
[12] Norma PN-90/N-01358. Metody pomiaru i oceny drgań maszyn. wyd. 1990.
[13] Zakładanie i zdejmowanie łożysk tocznych. FAG Kugelfisher Georg Schafer &Co, Publ. Nr 80100PIA/90/1/81, Weppert KG,Schweinfurt.

Mgr inż. Marek Potrzebski, słuchacz studiów doktoranckich na Wydziale Mechanicznym ATR w Bydgoszczy w Katedrze Inżynierii Produkcji.
Zainteresowania: żeglarstwo, wycieczki wysokogórskie.

KONCEPCJA SYSTEMU DO SAMODIAGNOZY UKŁADU HYDRAULICZNEGO MASZYNY ROBOCZEJ

Leszek SURÓWKA
Wiktor KUPRASZEWICZ

Instytut Politechniczny, Zakład Budowy i Eksploatacji Maszyn,
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Stanisława Staszica w Pile
64-920 Piła ul. Podchorążych 10, tel. (067) 352-26-12
lsurowka@pwsz.pila.pl wkupraszewicz@pwsz.pila.pl

Streszczenie

Zagadnienie oceny stanu maszyn roboczych nabiera szczególnego znaczenia głównie w fazie eksploatacji, ze względu na uwarunkowania ekonomiczne, ekologiczne i bezpieczeństwa. Stosowane obecnie urządzenia diagnozujące stan obiektów, takich jak maszyny robocze np. koparki, ograniczają się jedynie do analizy wycieków z układu, czy pomiarów ciśnień. Sprawy znacznie się komplikują, jeżeli chodzi o stan przyszły, tzn. jaka jest prognoza, co do dalszej jego eksploatacji. W artykule omówiono problematykę tworzenia systemu do samodiagnozy dla układów hydraulicznych maszyn roboczych.

Słowa kluczowe: systemy samodiagnozy, badania diagnostyczne.

CONCEPTION OF SELF-DIAGNOSTIC SYSTEM FOR WORKING MACHINES

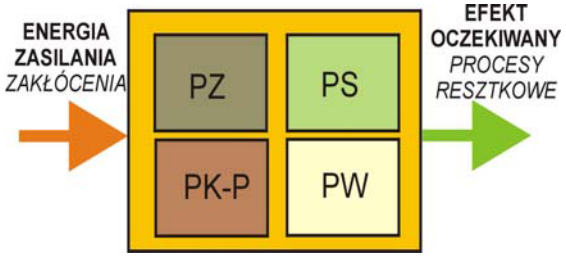
Summary

The problem of technical objects state gathers special meaning mainly in exploitation phase, with regard on economic and ecological conditions as well as safety. Currently practical diagnostic mechanisms of objects state, such as working machines, restrain only to excess penetration beads from construction or pressure measurements. Matters become complicated considerably, about future state - how is prognosis, regarding its further exploitation. In this article the matter of problems of self-diagnosis system creation for hydraulic systems of working machines were under discussion.

Keywords: self-diagnosis systems, investigation diagnostics.

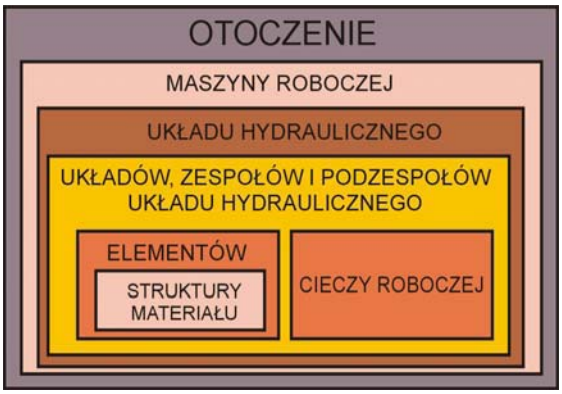
1. ANALIZA PROCESÓW FIZYKO-CHEMICZNYCH UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH

Funkcjonowanie układów hydraulicznych polega na współdziałaniu jego bloków, w wyniku którego zachodzi w nim ciągła zamiana pobieranej energii (z zakłóceniami) na założony efekt końcowy i towarzyszące mu procesy resztkowe. Efektem końcowym, zwanym też produktem wyjściowym jest ruch elementu wykonawczego maszyny. Procesy resztkowe to zbiór generowanych w czasie eksploatacji produktów, które zasadniczo nie są planowym celem działania układu. Są to np.: procesy wibroakustyczne, ciepło, produkty zużycia elementów układu itd.. Schemat funkcjonowania układu hydraulicznego przedstawia rys.1.



Rys. 1. Układ hydrauliczny. Oznaczenia: PZ - podsystem zasilania; PS – podsystem sterowania; PW – podsystem wykonawczy; PK-P – podsystem kontrolno – pomiarowy.

Zachodzące procesy fizyko – chemiczne w układach hydraulicznych w czasie ich eksploatacji odnoszą się do zjawisk z obszaru eksploatowania maszyny. Z rysunku 2. wynika, iż procesy fizyko – chemiczne zachodzące w układach hydraulicznych są częścią procesów zachodzących w otoczeniu maszyny roboczej.



Rys. 2. Struktura procesów fizyko – chemicznych obejmujących układy hydrauliczne.

Można zatem wnioskować, iż są one wzajemnie zależne od zjawisk zachodzących w otoczeniu maszyny roboczej jak i zjawisk zachodzących w obszarze współpracujących z układami hydraulicznymi innych zespołami maszyn roboczych. Stąd też procesy zachodzące w układach hydraulicznych zależne są i mają wpływ na wszystko to, co dzieje się w ich otoczeniu. Ze względów przedmiotowości opracowania i edytorskich rozważanie takie ma charakter uzupełniający. Z tego też powodu dalsze rozważanie o procesach zachodzących w układach hydraulicznych sprowadzone zostało tyko do ich elementów.

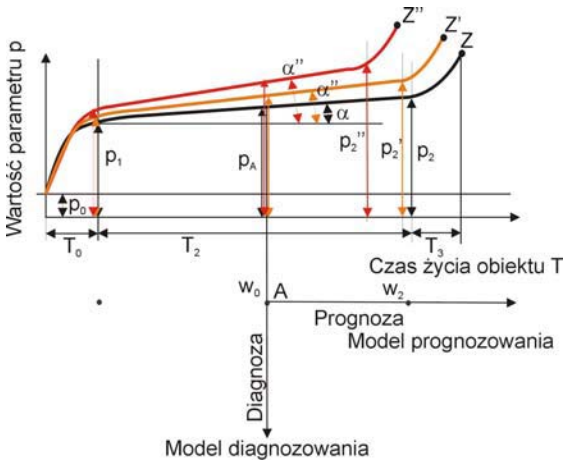
Zachodzące procesy fizyko – chemiczne w układach hydraulicznych są pewnym konglomeratem zjawisk obejmujących elementy maszyny jako wydzielone elementy konstrukcji a także to, co dotyczy procesów zachodzących na powierzchni jak i wewnątrz materii konstrukcji w zetknięciu z otaczającą atmosferą. Dotyczy to zatem również eksploatowanych w układach hydraulicznych cieczy roboczych. Wszystko to ma związek z procesem zużywania się układów hydraulicznych.

Straty ciśnienia w układach hydraulicznych obejmują szereg zagadnień zależnych od warunków konstrukcyjnych, stanu technicznego i wymuszeń obejmujących budowę i działanie układu.

Analizując zagadnienie strat ciśnień w układach hydraulicznych należy mieć na uwadze, że zmiany wartości ciśnień mierzone w różnych punktach generowane są przez wiele czynników. Oznacza to, że zmiany ciśnień w układach hydraulicznych są zależne od procesów zachodzących w układach hydraulicznych, a tym samym pośrednio zależą od stanu technicznego układu.

2. PRZEBIEG ZUŻYCIA ELEMENTÓW UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH

W czasie eksploatacji obiektów technicznych w tym układach hydraulicznych, zachodzą w ich elementach różnorodne procesy zużycia. We wszystkich rodzajach tarcia między współpracującymi elementami maszyn można wyróżnić trzy zasadnicze okresy rys.3.:



Rys. 3. Okresy życia maszyny

- okres docierania;
- okres zużycia o stałej intensywności;
- okres zużycia przyspieszonego.

Docieranie T_0 jest początkowym okresem współpracy części, w których następuje przekształcanie początkowego (wyjściowego) stanu warstw wierzchnich w stan optymalny, charakterystyczny dla danych warunków współpracy. Do najważniejszych z procesów fizyko – chemicznych okresu docierania zaliczyć należy procesy mechanicznego oddziaływania warstw wierzchnich na siebie oraz fizyko – chemiczne oddziaływanie środowiska docierających się powierzchni. W okresie docierania kształtuje się optymalna chropowatość powierzchni o odpowiedniej wartości parametrów i ukierunkowaniu nadanego obróbką wykańczającą. Drugi okres eksploatacji T_2 charakteryzuje się w przybliżeniu stałą intensywnością zużycia elementów. W okresie tym czynnikami wpływającymi na intensywność zużycia są:

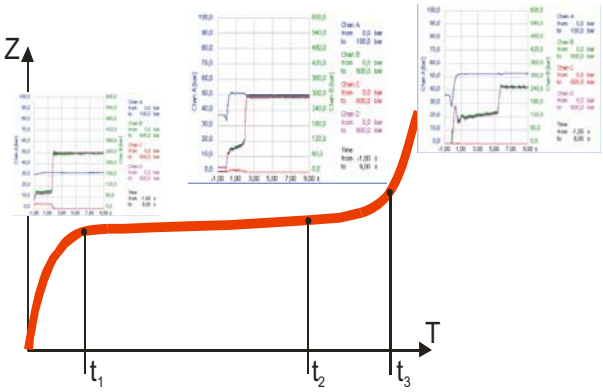
- jakość docierania;
- użytkowanie zgodne z przeznaczeniem;
- intensywność użytkowania;
- jakość materiałów eksploatacyjnych;
- stałość parametrów regulacyjnych;
- przestrzeganie ustalonych warunków użytkowania;
- jakość obsługiwania technicznego;
- warunki klimatyczne.

Trzeci okres T_3 pracy obiektu, charakteryzuje się przyspieszonym zużyciem części. W okresie tym, pojawiają się przekroczone ustalone wartości luzów w skojarzeniach współpracujących elementów. Jest to przyczyną występowania dodatkowych obciążeń dynamicznych powodujących odkształcenia elementów nie tylko w miejscach połączeń elementów. W węzłach tarcia następują zaburzenia procesów smarowania warstw wierzchnich. Intensywniej pojawiają się ubytki materiału, wzrasta

chropowatość powierzchni. Prowadzi to w stosunkowo krótkim czasie, do awarii maszyny (punkt Z). Należy zauważyć, że w zależności od warunków antropotechnicznych, czas życia maszyny skraca się, co skutkuje przesunięciem się punktu Z w kierunku osi rzędnych.

3. BADANIA ZBIORU ZMIAN CIŚNIENIA ROBOCZEGO PODCZAS RUCHU ROBOCZEGO

Badania poszczególnych zbiorów zmian ciśnienia w przestrzeni roboczej układu hydraulicznego maszyny, w przyjętym przedziale czasowym, wykonano przy pomocy algorytmu klasyfikacji obserwacji na klasy, dla poszczególnych czasów życia maszyny i poszczególnych kanałów roboczych. Na rysunku 4. przedstawiono istotę badania polegającą na badaniu przynależności do klasy, obserwacji dla poszczególnych stanów maszyny w czasie t_1, t_2 i t_3.



Rys. 4. Istota badania zmian charakterystyk ruchu roboczego w poszczególnych okresach życia maszyny

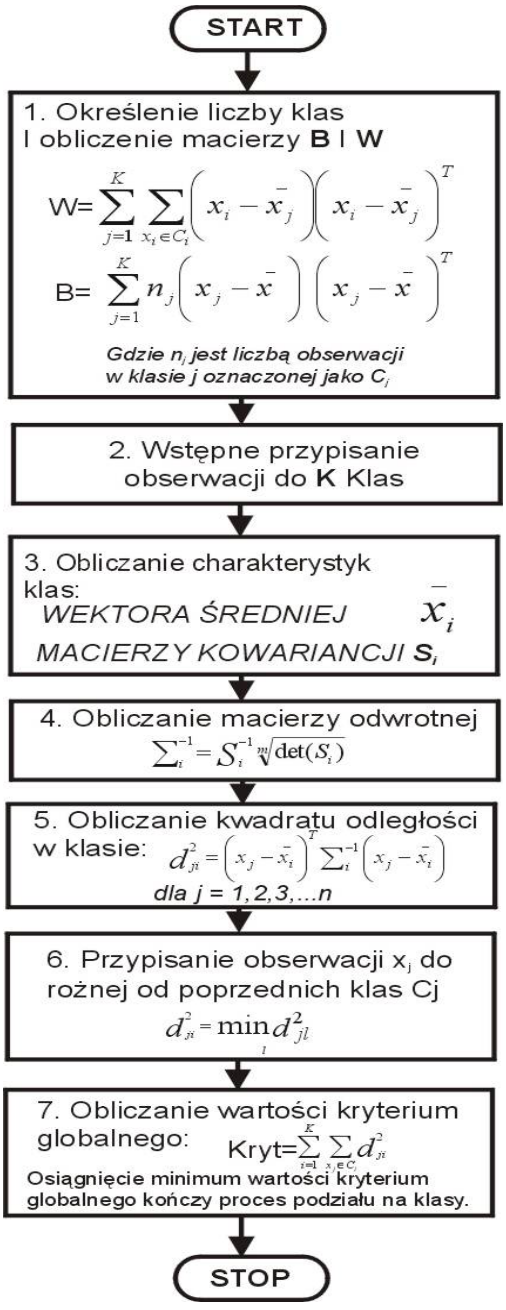
Podczas badań wstępnych przebadano 40 zbiorów zawierających przebiegi ciśnienia w czasie trwania ruchu roboczego podczas badania maszyny, dla poszczególnych jej elementów wykonawczych układu hydraulicznego. Dla przedstawienia ogromu pracy jaki należało wykonać podczas badania, oraz z braku możliwości przedstawienia tych wszystkich dokonań ze względu na ograniczenia wynikające z rozmiaru pracy, przedstawiono relacje miedzy obserwacjami dla poszczególnych czasów, dla wybranych losowo 5 przebiegów dla czasów t_1, t_2 i t_3.

Podziału poszczególnych stanów maszyny dla czasów badania t_1, t_2 i t_3 dokonano wykorzystując metodę pomiaru odległości między skupiskami poszczególnych obserwacji.

Poprawności przypisania obserwacji do poszczególnych klas uzyskano wykorzystując znaną zależność, że macierz całkowitej sumy kwadratów odchyleń obserwacji od środka ciężkości obserwacji **T**, jest sumą całkowitej sumy kwadratów **W** odchyleń od średnich wewnątrz klasowych i całkowitej sumy kwadratów odchyleń średnich wewnątrz klasowych od średniej globalnej **B.**

$$\mathbf{T = B + W} \qquad (1)$$

Badano szybkość spadku pewnej funkcji wariancji uogólnionej lub całkowitej, obliczonej na podstawie **W.** Algorytm klasyfikacji obserwacji na klasy przedstawiony został na rys. 5.



Rys. 5. Podział obserwacji na klasy

Osiągnięcie wartości minimum dla kryterium globalnego oznacza zakończenie procesu klasyfikacji, tj. przypisanie poszczególnych obserwacji do klasy. Ponieważ liczba klas jest znana, działanie programu potwierdza słuszność podziału obserwacji na klasy, jeżeli zwiększenie liczby klas o jedna nie będzie możliwe do ich uzyskania.

4. PODSUMOWANIE

1. Określanie stanu maszyny roboczej, na podstawie analizy pulsacji ciśnienia w układzie hydraulicznym metodą klasyfikacji pomiaru odległości między poszczególnymi grupami tj. klasami dla czasów badania obiektu t_1, t_2 i t_3, mogą być wykorzystane w konstruowaniu systemów do samodiagnozy maszyny.
2. Przyjęcie przedziału badania pewnej liczby wektorów pulsacji ciśnienia roboczego, w poszczególnych układach hydraulicznych maszyny, dla przedziału ruchu roboczego analizowanego elementu, jest przedziałem wystarczającym do rozróżniania stanów reprezentowanych przez poszczególne klasy.
3. Powyższa metodyka wyznaczania przedziału pomiaru zmian pulsacji ciśnienia roboczego w poszczególnych układach hydraulicznych maszyny i klasyfikacja go metodą pomiaru odległości może być zastosowana w automatycznych układach diagnostycznych maszyn roboczych.

LITERATURA

[1] Bocheński C., Michalski R.: Aspekty rozwoju systemu utrzymania pojazdów i maszyn rolniczych. Materiały konferencyjne, VIII Międzynarodowe Sympozjom im. Prof. Cz. Kanafojskiego, Płock 2000.
[2] Chalamoński M.: Diagnozowanie układów hydraulicznych maszyn roboczych. Wydawnictwo Akademii Techniczno - Rolniczej, Bydgoszcz 1999.
[3] Cholewa W., Korbacz J., Kościelny J., Kowalczuk Z.: Diagnostyka procesów, WNT, Warszawa 2002 r.
[4] Kupraszewicz W.: Rozprawa doktorska „Budowa i egzemplifikacja systemu doradczego wybranego silnika wysokoprężnego"; ATR ,Bydgoszcz 2002 r.
[5] Mulawka J. J.: „Systemy ekspertowe" WNT Warszawa 1996 r.
[6] Niziński S.: „Elementy diagnostyki obiektów technicznych"; Uniwersytet Warmińsko-Mazurski. Olsztyn 2001 r.
[7] Surówka L.: Diagnozowanie układów hydraulicznych pojazdów. Materiały konferencyjne, II Międzynarodowy Kongres Diagnostyki Technicznej, Warszawa 2000.
[8] Tylicki H.: Procedury rozpoznawania stanu technicznego maszyn. Materiały konferencyjne, Międzynarodowy Kongres Diagnostyki Technicznej „Diagnostyka 2000" Gdańsk 2000.
[9] Tylicki H., Surówka L.: Badanie stanu technicznego układów hydraulicznych maszyn roboczych i pojazdów. Materiały konferencyjne, Forum Młodych 2000. Bydgoszcz – Borówno 2000.
[10] Żółtowski B. Tylicki H.: „Wybrane problemy eksploatacji maszyn"; Wyd. PWSZ, Piła 2004 r.
[11] Żółtowski B; Cempel Cz.: „Inżynieria diagnostyki maszyn"; Wyd. BPE, PTT i ITE-PIB, Radom 2004 r.

Mgr inż. Leszek Surówka jest pracownikiem dydaktycznym Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Pile. Od roku 2000 współpracuje z Katedrą Maszyn Roboczych i Pojazdów, ATR w Bydgoszczy, gdzie bierze udział w różnych pracach naukowych, w zespole prof. dr hab. inż. Bogdana Żółtowskiego. Od kilku lat, zajmuje się problematyką diagnozowania układów hydraulicznych maszyn i realizuje pracę doktorską z tej dziedziny, pod kierownictwem dr. hab. inż. Henryka Tylickiego. W czasie wolnym interesuje się fotografią i wędkarstwem.

Dr inż. Wiktor Kupraszewicz jest pracownikiem dydaktycznym Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Pile. Od roku 1996 współpracuje z Katedrą Maszyn Roboczych i Pojazdów, ATR w Bydgoszczy, gdzie bierze udział w różnych pracach naukowych, w zespole prof. dr hab. inż. Bogdana Żółtowskiego. Interesuje się metodami i środkami diagnozowania silników spalinowych z zastosowaniem techniki komputerowej, w tym sztucznej inteligencji w diagnostyce technicznej. W czasie wolnym interesuje się sportem, uprawia żeglarstwo i narciarstwo.

CERTYFIKACJA SYSTEMÓW ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ DROGĄ ROZWOJU POLSKIEGO PRZEDSIĘBIORSTWA

Tomasz KAŁACZYŃSKI

Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów
Wydział Mechaniczny ATR
ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

Streszczenie

W pracy przedstawiono istotę certyfikacji systemów zarządzania jakością jako drogę rozwoju polskiego przedsiębiorstwa chcącego godnie konkurować z innymi firmami na rynku europejskim i poza nim. Zaprezentowano również przebieg certyfikacji wraz z wyszczególnieniem etapów tego procesu oraz wytyczne do tworzenia dokumentacji systemu jakości.

Słowa kluczwe: certyfikacja, system zarządzania jakością, procedura, jednostka certyfikująca

CERTIFICATION THE SYSTEMS OF MANAGEMENT THE QUALITY THE ROAD OF DEVELOPMENT OF POLISH COMPANY

Summary

The paragraph introduce the creature of certification the systems of management as road of development of Polish company willing appropriately to compete from different company on European market and beyond him. It the course of certification was presented was together with from specification stages of this process also as well as the guideline to creating of records of system of quality.

Keywords: certification, system of management the quality, procedure, the certificating unit

1. WPROWADZENIE

Wprowadzając w roku 1987 pierwsze wydanie rodziny norm 9000, dotyczących systemów jakości Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO) nie przewidywała, że popularność tych norm w gospodarce światowej będzie aż tak szeroka. Aktualnie na świecie certyfikaty jakości ISO posiada ok. 600.000 organizacji, w prawie 160 państwach [l]. Wprowadzanie norm ISO jest wymogiem współczesnego rynku i elementem koniecznym, wpływającym na zewnętrzny wizerunek firmy.

Zachodzące w Polsce od przeszło dziesięciu lat, procesy gospodarcze, zmuszają także nasze przedsiębiorstwa do poszukiwania nowych, coraz to bardziej skutecznych metod i narzędzi zarządzania jakością pozwalających na efektywne konkurowanie na rynkach europejskich, czy nawet w skali światowej.

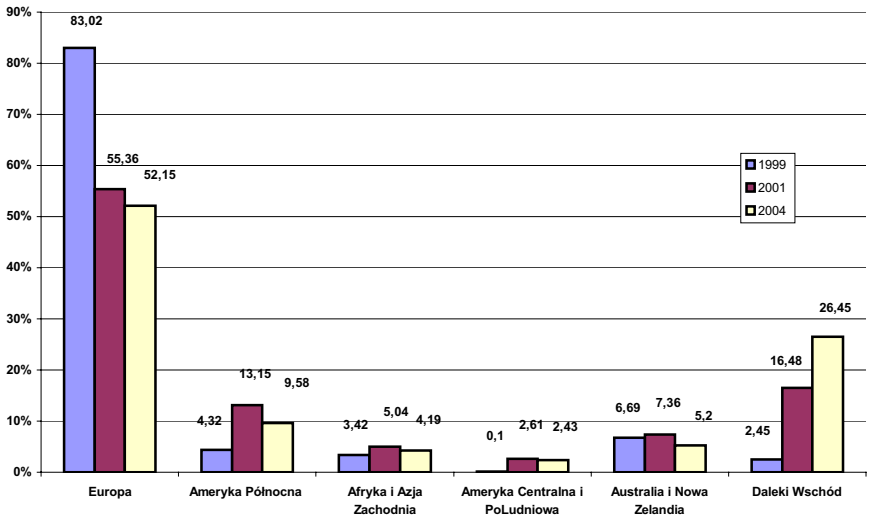
Ta nowa sytuacja, będącą przede wszystkim efektem zmian na rynkach światowych, charakteryzuje się następującymi cechami:

- przeorientowaniem się przedsiębiorstw na klienta, w wyniku zmiany „rynku producenta" na „rynek konsumenta",
- zaostrzeniem wymagań w zakresie bezpieczeństwa i odpowiedzialności producenta za wyrób czy usługę,
- wzrostem wymagań odbiorców co do niezawodności, trwałości, łatwości obsługi wyrobów oraz dostępności serwisu,
- wzrostem wymagań społeczeństwa co do ochrony naturalnego środowiska, zagospodarowania zużytych produktów, a także bezpieczeństwa pracy,
- krótszym czasem wdrażania nowych rozwiązań,
- globalizacją działań ekonomicznych.

W efekcie tych zmian stare, sprawdzone metody postępowania zaczynają nie wystarczać do osiągnięcia sukcesu. W tej sytuacji zaczęto w latach 90 - tych XX w. wdrażać systemy zarządzania jakością (dalej skrót: SZJ) w polskich organizacjach. Podkreślić należy znaczną dynamikę w tym zakresie. O ile jeszcze kilka lat temu certyfikaty jakości uzyskiwały w Polsce jedynie pojedyncze przedsiębiorstwa, to obecnie certyfikatów takich przyznawanych jest tysiącom firm rocznie. Uzyskują je nie tylko duże, uznane firmy, lecz coraz częściej dynamicznie rozwijające się małe i średnie przedsiębiorstwa. Można powiedzieć, że doszło już do takiej sytuacji, iż nie wypada nie posiadać certyfikatu na własny system jakości.

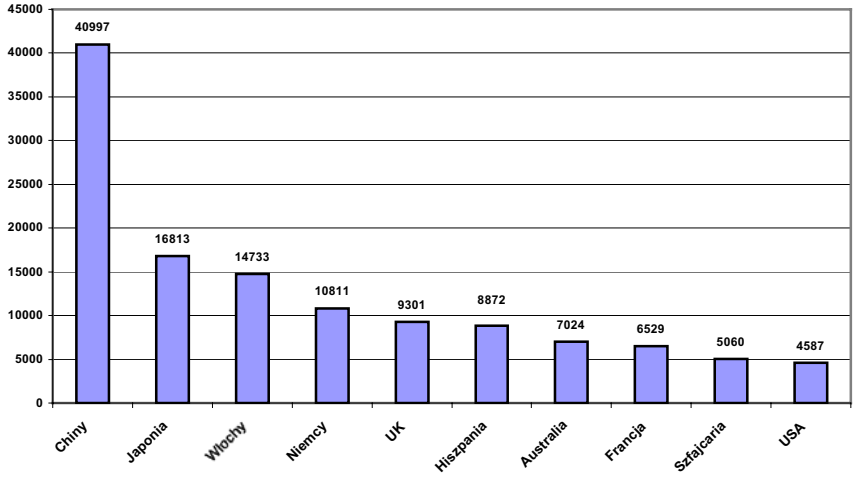
Na rysunku 1 przedstawiono strukturę ilości przyznawanych certyfikatów na świecie w latach 1999, 2001 oraz 2004. Analizując rys.1.1. można stwierdzić, iż w latach 1999 - 2002 Europa wyraźnie zmniejszyła udział w rynku przyznawanych

certyfikatów ISO na świecie. Stało się to na korzyść Dalekiego Wschodu, który to w latach 1999 - 2001 zwiększył swój udział w rynku ISO siedmiokrotnie. Proceder ten nie świadczy o spadku zainteresowania normami ISO przez organizacje z Europy, wręcz przeciwnie ilość przyznawanych certyfikatów stale wzrasta. Europa Zachodnia bardzo wcześnie zaczęła przygodę z normami ISO i to w bardzo dynamiczny sposób. Natomiast kraje dalekiego wschodniego dopiero zaczynają przekonywać się do zalet wdrażania norm ISO. Możemy się więc spodziewać, iż ilość certyfikatów ISO w Europie będzie nadal rosła.



Rys. 1 Struktura przyznawanych certyfikatów na świecie – XII. 2004 r.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z „The ISO Survey of ISO 9000 Certyficates" [8]

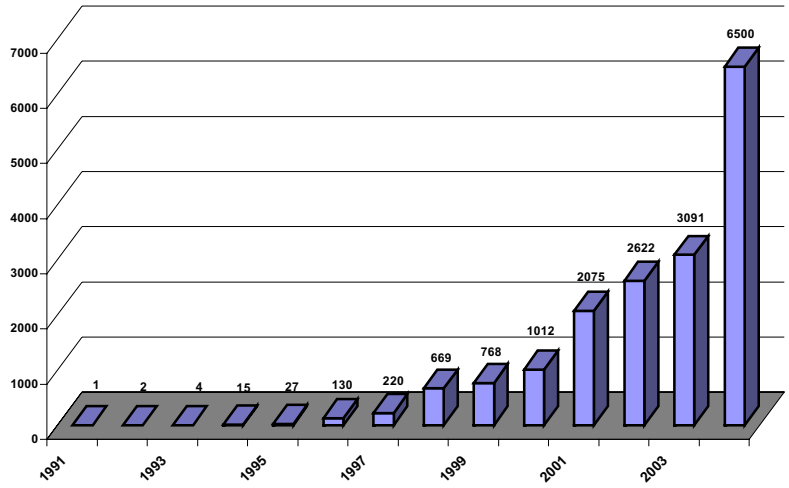
Daleki Wschód z wyjątkiem Japonii w 1993 roku był regionem, w którym jakość była mało przydatnym instrumentem do osiągania sukcesu. Dopiero lata 2000 - 2004 stały się przełomowym okresem w dziedzinie przyznawanych certyfikatów ISO. W tym okresie Daleki Wschód zbliżył się do Europy pod względem przyznanych certyfikatów ISO 9000:2000. Świadczy to o ogromnym potencjale oraz niesamowitym zapotrzebowaniu na jakość. Prawdopodobnie w przeciągu następnych paru lat Daleki Wschód stanie się liderem w ilości przyznawanych certyfikatów ISO. Odzwierciedleniem są dane statystyczne przedstawione na rys. 2. pokazujące wyraźną dominację Chin w ilości przyznanych certyfikatów na zgodność z normą ISO 9000:2000. Drugą pozycję zajmuje Japonia, kolejne - kraje z Europy. Z powyższych rozważań wynika, że Daleki Wschód poczynił olbrzymi postęp w kierunku jakości.



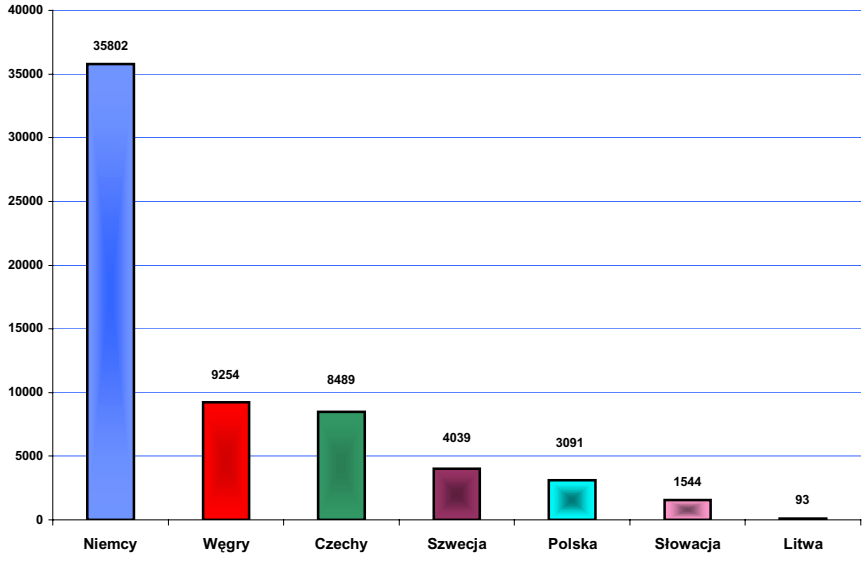
Rys. 2. Lista krajów posiadających najwięcej certyfikatów ISO 9000:2000 w okresie 2000 – 2004 r.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z „The ISO Survey of ISO 9000 Certyficates" [8]

Chiny kojarzone z produkcją wyrobów tanich, o niskiej jakości przekształcają się - i to w dynamiczny sposób - w kraj nastawiony nie tylko na ilość, ale teraz również na jakość swoich wyrobów. Niskie ceny robocizny oraz ogromne zdolności produkcyjne powiązane z obranym kierunkiem rozwoju przedsiębiorstw przyczynią się do przekształcenia Dalekiego Wschodu w potęgę gospodarczą na skalę światową. Stanowi to zagrożenie, a jednocześnie olbrzymie wyzwanie dla krajów Europy w tym i dla Polski.

Sytuacja polskich firm z zakresu przyznanych certyfikatów ISO 9000 jest słaba (rys. 3.). Wiele przedsiębiorstw nie jest przygotowanych do podjęcia równorzędnej walki na rynkach europejskich. Jak pokazuje rys. 4., Polska nie jest liderem w liczbie przyznanych certyfikatów ISO choćby na tle krajów sąsiadujących. Nawet wśród państw, które niedawno wstąpiły do UE, Polska ustępuje miejsca Węgrom i Czechom, krajom posiadającym około 4 razy niniejszą liczbę mieszkańców. Jest to zjawisko niepokojące.



Rys. 3. Coroczny przyrost przyznawanych certyfikatów w Polsce – XII. 2004 r.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z „The ISO Survey of ISO 9000 Certyficates" [8]



Rys 4. Struktura przyznawanych certyfikatów w krajach sąsiadujących z Polską – XII. 2003 r.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z „The ISO Survey of ISO 9000 Certyficates" [8]

2. ISTOTA CERTYFIKACJI SYSTEMU ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ

W trudnej sytuacji, w jakiej znalazły się przedsiębiorstwa coraz większego znaczenia nabiera możliwość pozyskiwania nowych jak i utrzymania już zdobytych klientów. Niestety daje się zauważyć spadek zainteresowania usługami, przyczyn takiego stanu rzeczy jest wiele. Zaliczyć do nich można m.in. problemy ekonomiczne nękające polskie przedsiębiorstwa, agresywne narzucanie technologii stosowanych w krajach o bardziej ustabilizowanych gospodarkach a z drugiej strony brak informacji o realnych

potrzebach polskich firm, czy w końcu niedostateczna świadomość tego problemu w wielu środowiskach zarówno naukowych jak i przemysłowych.

Każda działająca na rynku firma musi podjąć duży wysiłek w kierunku dostosowania swojego funkcjonowania do obecnie obowiązujących w świecie standardów. Stawiając na jakość oferowanych przez siebie wyrobów i/lub usług [2]. Tylko w ten sposób staną się konkurencyjne i będą w stanie uzyskiwać zlecenia na swoje usługi.

Sprawdzonym narzędziem ułatwiającym ten wysiłek i jednocześnie wymaganym przez rynek jest wdrożenie systemu jakości, oraz będąca wynikiem wdrożenia certyfikacja systemu jakości zgodnie z wymaganiami międzynarodowego standardu ISO 90001:2000 „Wymagania" [11]oraz ISO 9000:2000 „Podstawy i terminologia" [10]. Według niniejszej normy certyfikacje systemu jakości można zdefiniować następująco:

Certyfikacja - Procedura, w wyniku której trzecia strona udziela pisemnego zapewnienia, że wyrób, proces lub usługa zgodne są z określonymi wymaganiami.

3. KRAJOWY SYSTEM CERTYFIKACJI

Certyfikacja systemów jakości jest dobrowolną, przeprowadzaną przez upoważnioną jednostkę certyfikującą. W Polsce instytucją upoważnioną do wydawania certyfikatów jakości jest Polskie Centrum Badań i Certyfikacji (PCBC)[9], którego udzial na rynku certyfikacji systemów jakości przedstawia rys 5 Ponadto w Polsce działają przedstawicielstwa instytucji zagranicznych, które wydają certyfikaty i udzielają pomocy w ich uzyskaniu. Z bardziej znanych renomowanych instytucji wymienić można AFAQ (Francja), OQS (Austria), BSJQA (Anglia), KEMA (Holandia), DQS, RWTUV ESSEN oraz TUV CERT(Niemcy), czy też SGS – ICS (International Certyfication Serviees) będąca firmą o zasięgu międzynarodowym, która świadczy usługi certyfikacyjne [7].

Przedsiębiorstwo, które podejmie decyzje o certyfikowaniu systemu zarządzania jakością staje przed dylematem jaką wybrać jednostkę certyfikującą. Do najistotniejszych czynników decydujących o wyborze jednostko certyfikującej zalicza się[3]:

na jakim rynku certyfikat będzie wykorzystany (Kraj, Europa, USA itd.),

kto jest lub będzie klientem przedsiębiorstwa (przemysł motoryzacyjny, rolno-spożywczy, obrabiarkowy, elektroniczny, itd.),

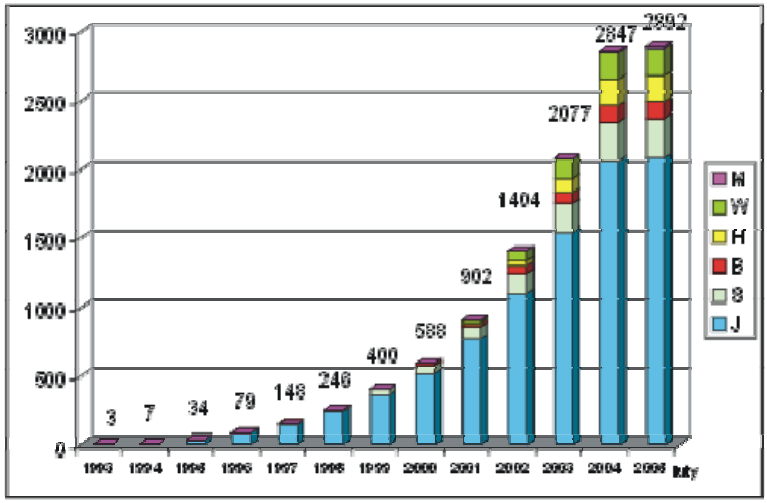
jaki certyfikat preferują odbiorcy,

jaka pozycje posiada i jak jest oceniana jednostka certyfikująca w ocenie odbiorców wyrobów przedsiębiorstwa,

jakie są spodziewane koszty certyfikacji,

jaka jest lokalizacja jednostki certyfikującej lub jej przedstawicielstwa.

Spotykanym również przypadkiem jest ubieganie się o przyznanie certyfikatu na SZJ równolegle w dwóch jednostkach certyfikujących.

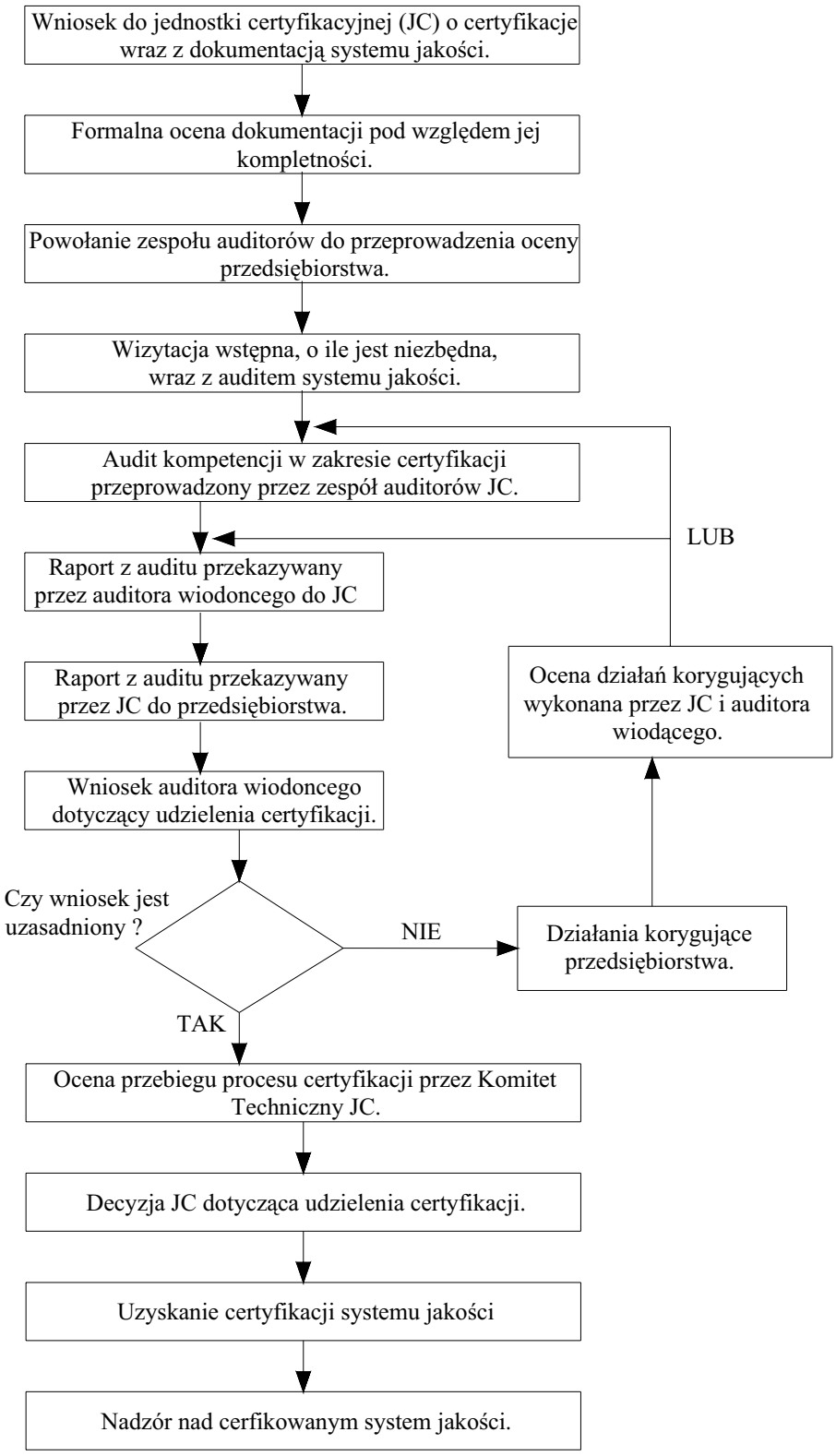


2083	dla systemu zarządzania jakością (J) - ISO 9001:2000
286	dla systemu zarządzania środowiskowego (S) - ISO 14001
127	dla systemu zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy (B) - PN-N 18001
182	dla systemu bezpieczeństwa zdrowotnego żywności HACCP (H) - DS 3027
200	dla wewnętrznego systemu kontroli (W) - WSK
14	dla systemu dla producentów wyrobów medycznych (M) - ISO 13485

Rys.5. Liczba certyfikatów wydanych przez PCBC] [9]

4. PRZEBIEG PROCESU CERTYFIKACJI

Proces certyfikacyjny, mający na celu wykazanie zgodność SZJ danego przedsiębiorstwa z wymaganiami Normy ISO 9001:2000 przebiega według algorytmu przedstawionego na rys. 6.



Rys. 6. Przebieg procesu certyfikacji systemu jakości
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9]

Sposób tworzenia dokumentacji systemu zarządzania jakościowego przedstawiono na rys. 7.

Struktura dokumentacji systemu jakości zgodna z normami ISO serii 9000:2001:

Przyjęto, że I poziom dokumentacji stanowi *Księga Jakości.*

KSIĘGA JAKOŚCI – dokument, w którym określono system zarządzania jakością (PN–EN ISO9000:2001) [9].

Księga Jakości winna zawierać

⇒ Politykę jakości (wolę Dyrekcji),
⇒ Model odniesienia dla danego laboratorium,
⇒ Zasady i reguły do zastosowania,
⇒ Ogólne dyspozycje dotyczące zastosowania,
⇒ Organizację laboratorium,
⇒ Odwołania do procedur systemu jakości.

Księga jakości może odnosić się do całej firmy lub do poszczególnych działów.

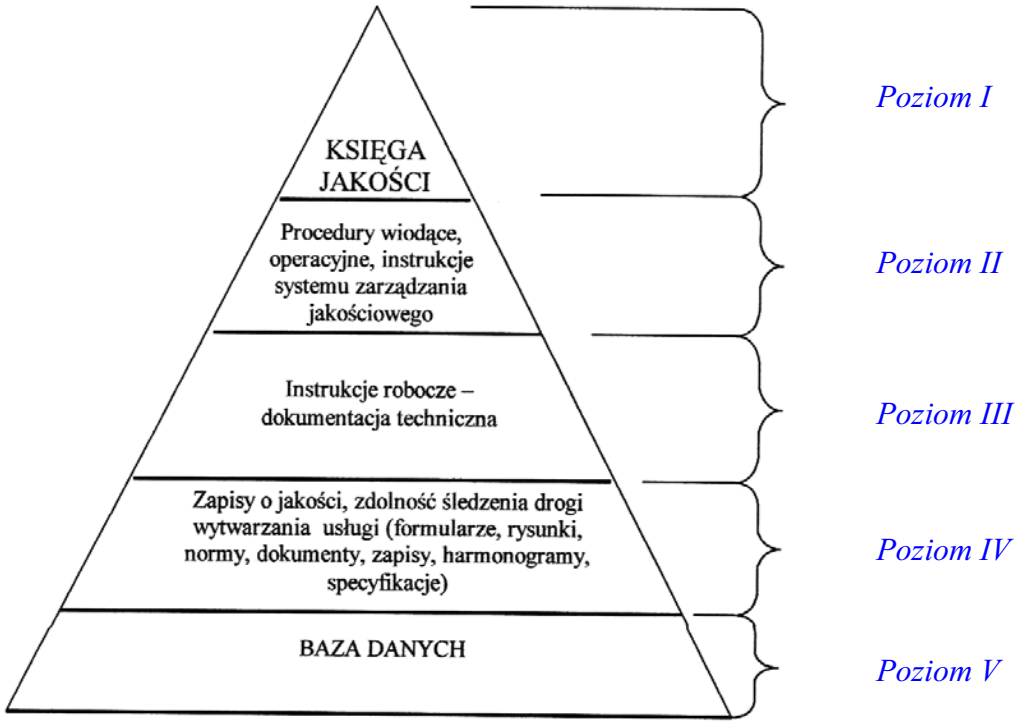
Na II poziomie ważności dokumentacji systemu jakości ulokowano procedury W celu zwiększenia przejrzystości i zrozumienia dokumentacji systemu, proponuje się zamiast obszernych, wielostronicowych opracowań – ujęcia kilku – lub kilkunasto stronicowe, z podziałem na ***procedury*.**

Procedura – jest to określony sposób wykonania działania w organizacji. Wszelkie procedury odnoszą się do tzw. średniego szczebla zarządzania np. kierowników działów lub samodzielnych specjalistów [4].

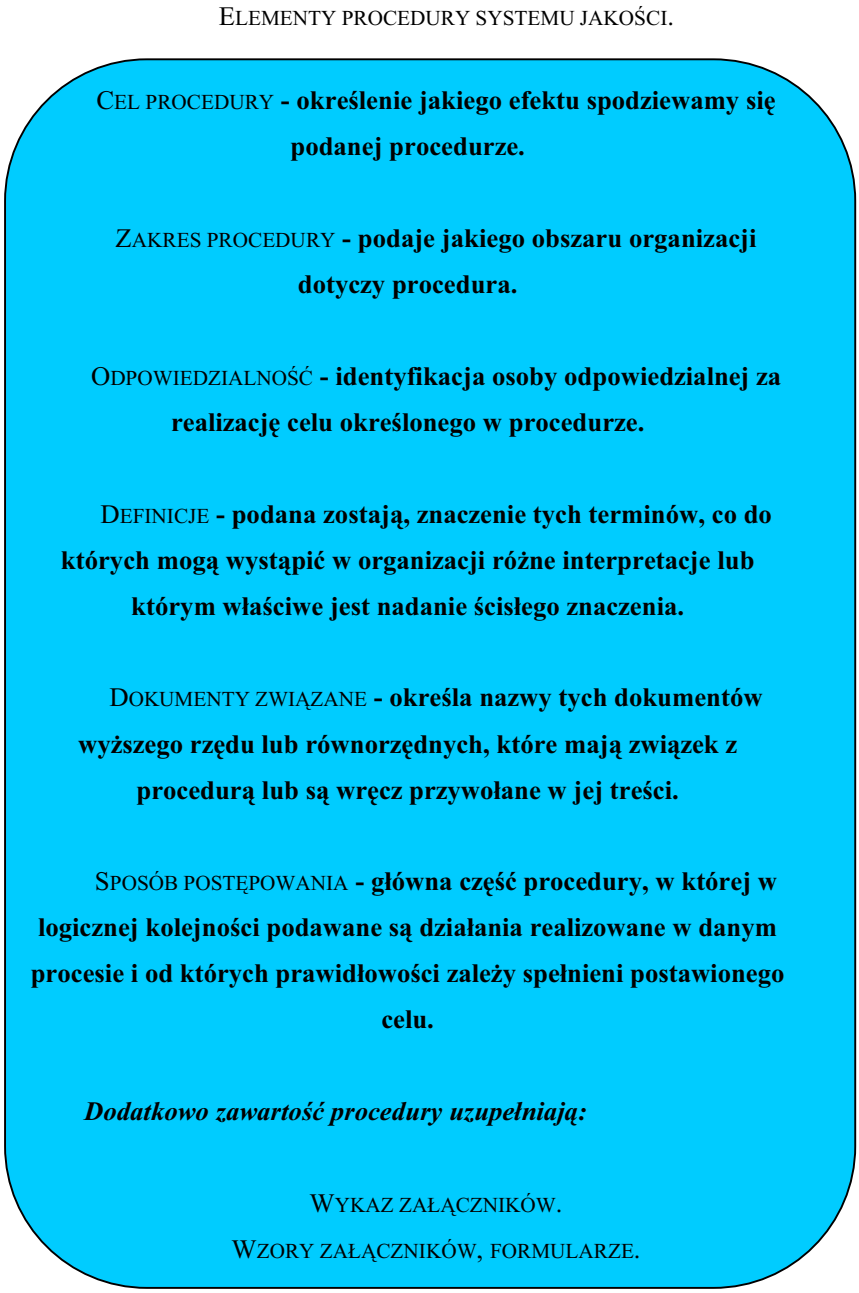
Procedura odpowiada na następujące pytania dotyczące zakresu jej stosowalności:

- **co?**
- **kto?**
- **gdzie?**
- **kiedy?**
- **na jakiej podstawie dane działanie jest realizowane?**

Elementy typowej procedury przedstawiono na rys. 8.



Rys. 7. Struktura dokumentacji systemu jakości
Źródło:[5]



Rys. 8. Elementy procedury systemu jakości
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5]

Procedura jest dokumentem niejawnym podlegającym ścisłej ewidencji. Aktualizowanie procedury odbywa się poprzez napisanie kolejnego, zredagowanego wydania, które w całości zastępuje wydanie dotychczasowe.

Najlepszym sposobem prezentacji procedury jest przedstawienie jej w formie graficzne jako diagram przebiegu postępowania, zwany również schematem blokowym. Prezentacja ta pozwala wychwycić powtarzanie działań, brak ciągłości oraz uściśla odpowiedzialności na poszczególnych stanowiskach.

Poziom III dokumentacji systemu to **instrukcje robocze** i dokumentacja techniczna (serwisowa).

Na IV poziomie ważności są **zapisy** o jakości (w skrócie nazywane **zapisy** jakości). Mają one udowodnić realizację zaplanowanych w dokumentacji zadań. Zapisy te wykonuje się najczęściej na odpowiednich formularzach, sprzężonych z procedurami lub instrukcjami systemu.

ZAPIS – dokument, w którym przedstawiono uzyskane wyniki lub dowody przeprowadzonych działań (PN – EN ISO9000:2001)[9].

Do **dokumentacji wykonawczej** uplasowanej m IV poziomie ważności, zalicza się m.in.:

- plany operacyjne,
- harmonogramy,
- normy państwowe i zakładowe,
- specyfikacje materiałowe,
- karty prac itp.

Możliwy jest również do realizacji V poziom dokumentacji systemu, w formie pomocniczych zapisów na różnego rodzaju nośnikach, tworzących **bazę danych.**

Poziomy ważności dokumentacji dotyczą wszystkich komórek organizacyjnych przedsiębiorstwa ujętych systemem zarządzania jakościowego. Stosowanie dokumentacji systemu jest sprzężone z planowanymi i realizowanymi zadaniami oraz kompetencjami i odpowiedzialnością osób, wykonujących te zadania w komórkach organizacyjnych przedsiębiorstwa. Poziomy ważności dokumentacji wskazują również, kto dokumentację użytkuje.

Ogólnie dokumenty systemu jakości można podzielić według miejsca ich powstawania na dokumenty:

- **wewnętrzne** - do których zalicza się dokumenty opracowywane w przedsiębiorstwie (np.: zakresy kompetencji i odpowiedzialności, regulaminy, zarządzenia),
- **zewnętrzne** - powstające poza przedsiębiorstwem (np.: normy czy wytyczne, które po sprawdzeniu i zaopiniowaniu zostały zatwierdzone do stosowania w przedsiębiorstwie).

Dystrybucja dokumentów w przedsiębiorstwie powinna być nadzorowana, a dokumenty odpowiednio oznakowane, według przyjętego systemu. Zasady wprowadzania zmian w dokumentach powinny być jasno określone, a każda zmiana musi być zarejestrowana.

5. WNIOSKI

Tak dynamiczny przyrost ilości certyfikacji systemów jakości wskazuje na zmianę polityki przedsiębiorstw, na potrzeby klienta. Realizacja wymagań stawianych firmom chcącym uzyskać certyfikacje systemu jakości wg normy ISO 9001:2000 pozwala na efektywniejsze (zarówno w sensie merytorycznym jak i ekonomicznym) zarządzaniem przedsiębiorstwem.

Uzyskanie certyfikacji przez przedsiębiorstwo jest elementem, który odgrywa znaczącą rolę w nawiązywaniu kontaktów z partnerami co stwarza możliwość skutecznego konkurowania danego przedsiębiorstwa na rynku krajowym i zagranicznym. Pozwala również sprostać oczekiwaniom, wymaganiom i potrzebom klientów oraz dostosuje laboratorium do standardów obowiązujących w Unii Europejskiej.

Głównymi elementami procesu wdrożenia SZJ w przedsiębiorstwie starającym się o certyfikacje systemu jakości są: odpowiednie udokumentowanie SZJ oraz posiadanie kompetencji określonych w zakresie certyfikacji.

LITERATURA

[1] Bank J.: Zarządzanie przez jakość. Seria wydawnicza Podstawy zarządzania,. Gebethner & S-ka, Warszawa 1997.
[2] Skrzypek E.: Jakość i efektywność. Wydawnictwo UMCS, Lublin 2000.
[3] Hamrol A., Mantura W.: Zarządzanie jakością Teorią i praktyka – Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Poznań 1998.
[4] Szczutkowski M.: Dokumentowanie systemów jakości wg PN-ENISO 9001:2001. Materiały szkoleniowe Auditorów Wewnętrznych i Pełnomocników ds. Jakości BDT NOT Spółka z o.o. Centrum jakości, Bydgoszcz 2003.
[5] Szymańska J.: Materiały szkoleniowe Instytutu Kształcenia Zawodowego „Ekologus" Sp. zoo., Audit systemu zarządzania i kompetencji technicznych, Ustroń 2002
[6] Grudowski P.: Podejście procesowe do zarządzania jakością wg wymagań normy PN-EN ISO 9001:2001, „Q" jakości. Nr 3/2003.
[7] Jazdon A.: Doskonalenie zarządzania jakością. Bydgoszcz 2002.
[8] www.iso.org.
[9] www.pcbc.gov.pl
[10] PN–EN ISO 9000:2001; System zarządzania Jakością – Podstawy i terminologia.
[11] PN–EN ISO 9001:2001; System zarządzania jakością- Wymagania.

Mgr inż. Tomasz Kałaczyński – absolwent Wydziału Mechanicznego ATR w Bydgoszcz, kierunek Mechanika i Budowa Maszyn, specjalność Samochody i Ciągniki. Doktorant Katedry Maszyn Roboczych i Pojazdów na Wydziale Mechanicznym ATR w Bydgoszczy.

CELE I ZAKRES AUDITU W FIRMIE UBIEGAJĄCEJ SIĘ O CERTYFIKAT JAKOŚCI, ROLA CERTYFIKATU W UTRZYMANIU JAKOŚCI

Tomasz KAŁACZYŃSKI

Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów
Wydział Mechaniczny ATR
ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

Streszczenie

Firma, która wdrożyła system zarządzania jakością może ubiegać się o certyfikat. Potwierdzeniem, że system zarządzania jakością funkcjonuje jest pozytywny wynik auditu, jakiego dokonuje jednostka certyfikująca w obszarze działania firmy. Raport z takiego auditu zawiadamia, iż nie stwierdzono niezgodności systemu z normą ISO 9001 i zawiera -wniosek o przyznanie certyfikatu.

Słowa kluczowe: system zarządzania jakością, certyfikat, audit, procedury, jednostka certyfikująca

THE AIMS AND RANGE VERIFICATION THE SYSTEM OF MANAGEMENT THE QUALITY IN APPLYING ABOUT CERTIFICATE OF QUALITY COMPANY, THE PART OF CERTIFICATE IN MAINTENANCE THE QUALITY

Summary

Company which initiated the system of management the quality can apply about certificate. The confirmation, that the system of management is functions with quality the positive result the verification the system of management the quality, what it makes the certificating in area unit of working of company. It report from such verification notifies it, that the incompatibility of system was not affirmed was with norm ISO 9001 and it contains -conclusion about acknowledgement certificate.

Keywords: the system of management the quality, certificate, verification the system of management the quality, procedure, the certificating unit

1. WSTĘP

Aby firma mogła uzyskać certyfikat ISO 9001 musi skutecznie wdrożyć system zarządzania jakością zgodnie z wymaganiami tej normy, a następnie potwierdzić jego funkcjonowanie poprzez zlecenie auditu jednostce certyfikującej, podczas którego nie zostaną stwierdzone niezgodności systemu z normą.

Jakość jest tu rozumiana jako zgodność wyrobu lub usługi z wymaganiami klienta. System zarządzania, który dopuszcza, że do klienta zostanie dostarczony wyrób niezgodny z jego wymaganiami, nie może być uznany za zgodny z wymaganiami normy dotyczącej systemu zarządzania jakością.

W systemie zarządzania jakością możemy mówić o trzech podstawowych rodzajach auditu. Możemy tu wyróżnić audit strony pierwszej czyli inaczej mówiąc audit wewnętrzny prowadzony w firmie w celu potwierdzenia działania sytemu zarządzania jakością. Wyniki auditów strony pierwszej powinny być brane pod uwagę podczas auditu strony trzeciej lub drugiej.

Audit strony drugiej jest to audit prowadzony u dostawców (potencjalnych lub aktualnych) czyli firm dostarczających elementy wyrobów wytwarzanych przez firmę - nabywcę. Ma na celu określenie stopnia pewności co do wyrobów nabywanych u dostawcy i wykorzystanych do wytwarzania wyrobów w firmie auditującej.

Audit strony trzeciej jest to audit prowadzony przez jednostkę certyfikującą w stosunku do firmy ubiegającej się lub posiadającej certyfikat. System auditów trzeciej strony ISO 9001 został zaprojektowany również po to, aby zmniejszyć lub wyeliminować potrzebę prowadzenia auditów strony drugiej. Jeżeli nasz dostawca posiada zapewnienie strony trzeciej o zgodności z normą ISO 9001, możemy oprzeć się na tym zapewnieniu i nie przeprowadzać auditu jako strona druga. Certyfikat może być przyznany firmie tylko na podstawie pomyślnego wyniku auditu strony trzeciej[1].

2. PRZYGOTOWANIE FIRMY DO AUDITU

Ogólnie możemy powiedzieć, że przygotowanie firmy do auditu polega na pełnym wdrożeniu

systemu zarządzania jakością, wystąpieniu do jednostki certyfikującej o przeprowadzenie auditu oraz umożliwieniu działania zespołowi auditorów.

Kiedy możemy uważać, że system zarządzania jakością został wdrożony? Przede wszystkim muszą być spełnione podstawowe warunki funkcjonowania systemu zarządzania jakością, a mianowicie:

- Istnieje w firmie i jest sformułowana określona polityka jakości.
- Opracowana jest Księga Jakości.
- W najwyższym kierownictwie firmy jest osoba odpowiedzialna za system zapewniania jakości (pełnomocnik dyrektora do spraw jakości - zwykle o bardzo szerokim zakresie uprawnień decyzyjnych).
- Wszyscy pracownicy firmy znają politykę jakości sformułowaną przez kierownictwo i jej cele, utożsamiają z nimi swój ą działalność w firmie.
- Działalność firmy rozpisana jest na procesy np. projektowania, pomiaru osnowy geodezyjnej, kartograficznego opracowania mapy itp.) Procesy te powinny być opisane oraz powinny być określone powiązania pomiędzy nimi.
- Określone są kryteria i metody skutecznego nadzoru.
- Określony jest sposób monitorowania, prowadzenia pomiarów i czynności kontrolnych i analiz tych procesów.
- Wdrażane są działania ciągłego doskonalenia.
- Wszystkie te działania są udokumentowane.

System zarządzania jakością wymaga istnienia odpowiednich dokumentów, wśród których najistotniejszymi będą:

- Polityka jakości i celów jakości.
- Księga Jakości.
- Udokumentowane procedury (podlegają aktualizacji).
- Dokumenty dla planowania, funkcjonowania i nadzorowania procesów.
- Zapisy (dowody wykonania określonych zadań nie są zmieniane, powinny być dobrze zabezpieczone).

Wśród procedur koniecznymi dla funkcjonowania systemu będą następujące:

– Nadzór nad dokumentacją (ISO 9001:2000, pkt.:4.2.3),
– Nadzór nad zapisami (ISO 9001:2000, pkt.:4.2.4),
– Działania korygujące (ISO 9001:2000, pkt.:8.5.2),
– Działania zapobiegawcze (ISO 9001:2000, pkt.:8.5.3),
– Nadzorowanie wyrobu niezgodnego (ISO 9001:2000, pkt.:8.3),
– Audity wewnętrzne (ISO 9001:2000, pkt.:8.2.2),

oraz inne procedury wynikające z asortymentu wykonywanych prac, stosowanych technologii i materiałów oraz parametrów wyrobu [5].

Jako przykład opracowano procedurę przeprowadzenia auditu wewnętrznego w formie graficznej, która w przejrzysty sposób ukazuje odpowiedzialności oraz przebieg działań (rys.1). Jest bardziej czytelna i łatwiejsza do analizy przez pracowników. Dodatkowo uzupełniono je opisem przebiegu działań, celem uzupełnienia informacji oraz wykluczenia złych interpretacji.

Procedury należą do grupy dokumentów, które mogą ulegać zmianie w wyniku zmian narzędzi, technologii, stosowanych materiałów, wymagań prawa i przepisów ogólnych itp.

Zapisy są dokumentami nieulegającymi zmianie. Stanowią bardzo istotny składnik systemu zapewniania jakości, pozawalają bowiem na odtworzenie historii wyrobu. Odtwarzalność historii wyrobu, nawet po długim odstępie czasu od jego wytworzenia jest niezbędną cechą poprawnie funkcjonującego systemu jakości.

Po stwierdzeniu, że system zarządzania jakością funkcjonuje w firmie, kierownictwo firmy zwraca się do jednostki certyfikującej o dokonanie auditu i przyznanie certyfikatu.

3. PRZEBIEG AUDITU

Audit przeprowadza zespół auditorów, któremu firma certyfikująca powierzyła takie zadanie. Pracą zespołu auditorów kieruje auditor wiodący, będący również organizatorem prac tego zespołu. Auditor powinien nawiązać kontakt z firmą i ewentualnie złożyć wizytę wstępną w firmie, zaś kierownictwo firmy powinno udostępnić mu Księgę Jakości, obejmującą opis procesów objętych Systemem Zarządzania Jakością oraz ich wzajemne powiązania. Zespół przygotowuje program auditu, wskazujący kiedy i jakie komórki organizacyjne i procesy będą oceniane. W skład zespołu auditorów może wchodzić specjalista z dziedziny, w której prowadzi działalność firma auditowana.

Działania auditowe rozpoczynają się od spotkania otwierającego, które jest spotkaniem pomiędzy zespołem auditorów a przedstawicielami najwyższego kierownictwa firmy. Na podstawie zlecenia przeprowadzenia auditu, oraz stosownie do zakresu działalności firmy, a także udostępnionych wcześniej takich dokumentów jak Polityka Jakości, Księga Jakości, struktura organizacyjna fumy i podstawowych danych dotyczących obszaru auditowanego, w czasie spotkania otwierającego dokonywane są najważniejsze uzgodnienia dotyczące auditu. Ustalany jest m. in. plan auditu mówiący, kiedy, o której godzinie i w jakiej komórce organizacyjnej będzie prowadzony audit. Kierownictwo firmy powinno wskazać auditorom pomieszczenie, w którym będzie mógł pracować zespół auditujący, przedstawić przewodników, w towarzystwie których auditorzy będą mogli poruszać się po terenie firmy oraz określić elementy logistycznego zabezpieczenia działalności auditorów (transport, odzież ochronna, możliwość spożycia posiłku, pokój do pracy itp.).

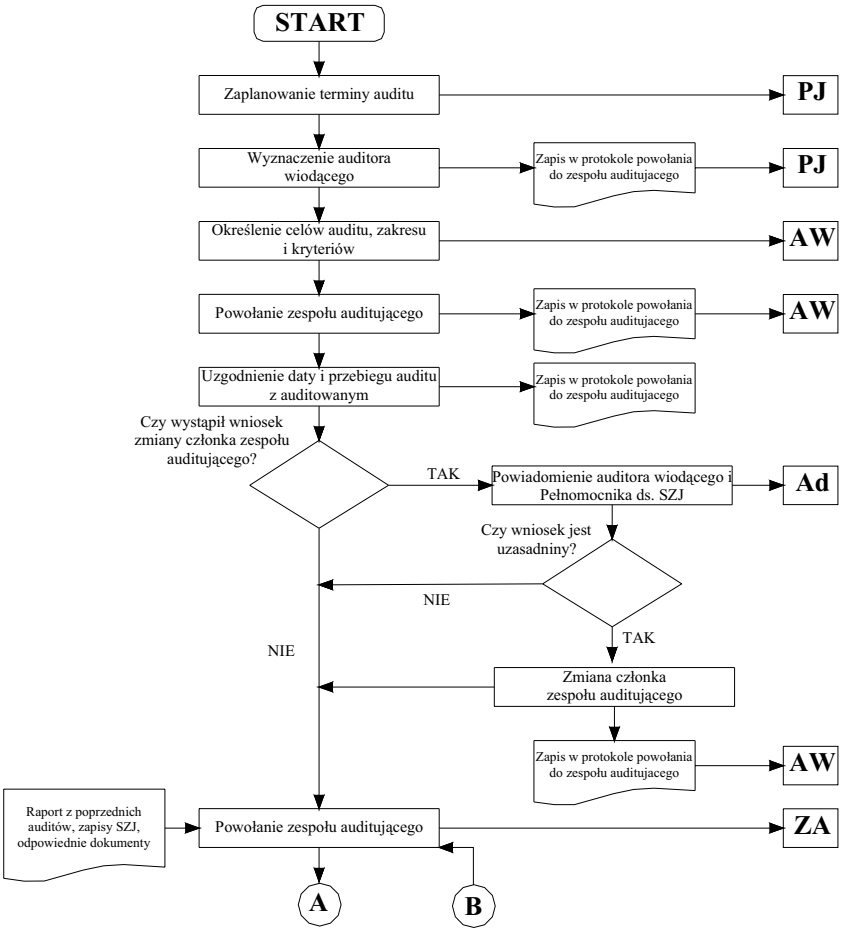
Należy pamiętać, że audit jest sprawą poufną pomiędzy stronami auditu: firmą auditowana

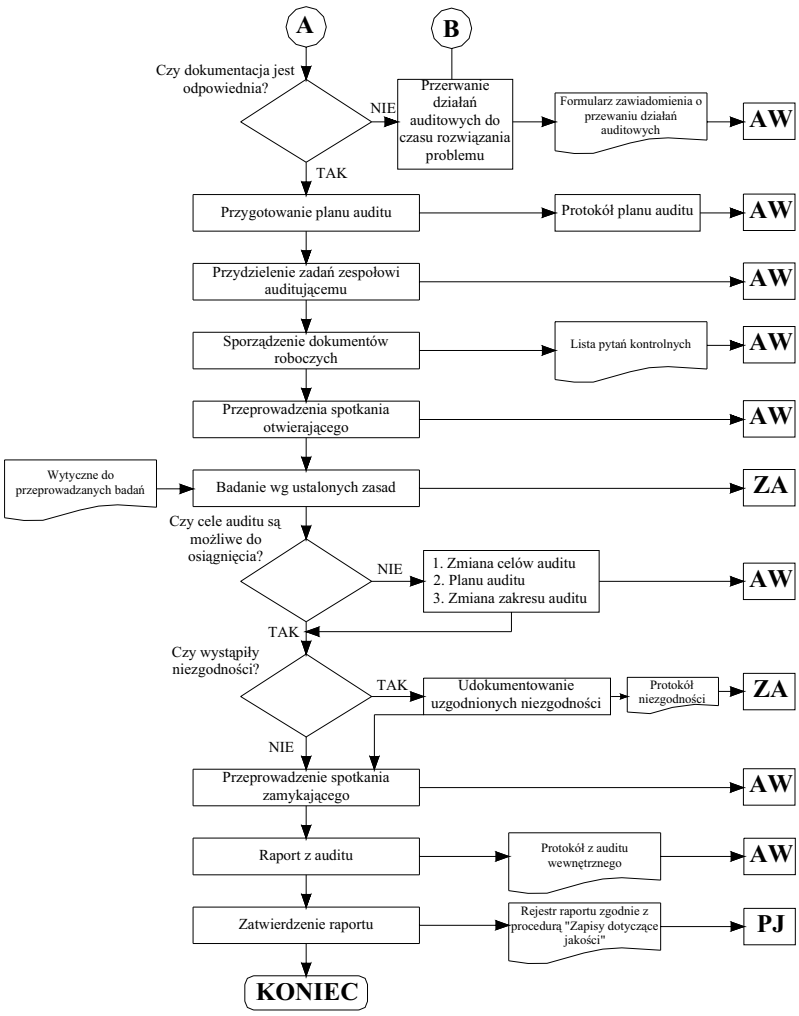
a zespołem auditorów i dotyczy to zarówno samego auditu jak i informacji otrzymanych przed i po audicie. Zwykle oświadczenie o poufności auditu składa lider zespołu auditującego na spotkaniu otwierającym.

Jeżeli w obszarze działalności firmy mogą wystąpić ograniczenia dostępności auditorów do pewnych działów, pomieszczeń czy dokumentów wynikające np. z powodu tajności dokumentów lub procesów albo stref dużego zagrożenia bezpieczeństwa, powinno być to omówione na spotkaniu otwierającym (lub wcześniej), oraz powinny być zaproponowane takie rozwiązania prowadzenia auditu w tych obszarach działalności aby mogły być przyjęte przez auditujących.

Należy zdawać sobie sprawę, że audit jest działalnością opartą na kontroli wyrywkowej - nie wszystkie wyroby, półprodukty, czynności lub dokumenty będą mogły być zbadane. Zwykle auditor określa liczebność i zasadę wyboru "próbek", które będą badane. Na ogół audytor kieruje się zasadą, że jeśli nie została stwierdzona niezgodność w badanej, określonej wcześniej liczbie "próbek" to audit przechodzi do następnego etapu. Może się okazać, że nieprzewidziane przez auditora aspekty badanego procesu powodują potrzebę poświęcenia większej uwagi jego zbadaniu i poświęcenia większej ilości czasu tym aspektom. Na ogół jednak czynności auditowe w całości są zakończone w czasie przewidzianym i ustalonym na spotkaniu otwierającym.

PROCEDURA PRZEPROWADZENIA "Auditu wewnętrznego"





Rys. 1. Schemat blokowy procedury przeprowadzania auditu wewnętrznego

Istotną częścią działań auditowych są informacje o realizacji procesów pochodzące z rozmów z pracownikami - wykonawcami poszczególnych elementów procesu a jednocześnie użytkownikami lub autorami istniejących i powstających dokumentów, procedur, zapisów itd. Wynika z nich również, w jakim stopniu znana jest im polityka jakości. Auditorzy podczas swoich czynności sporządzają notatki, które stanowią część dokumentacji przeprowadzanego auditu a ich forma zależy od wyboru auditora.

Zakończenie czynności auditowych następuje na spotkaniu zamykającym. Na spotkaniu tym auditor omawia z kierownictwem firmy przebieg i wyniki auditu. Najistotniejszą informacją wynikająca z auditu jest oczywiście wniosek, czy firma może otrzymać certyfikat ISO 9001. Jeżeli w wyniku auditu nie stwierdzono niezgodności z normą ISO 9001 lub z Księgą Jakości oraz innymi elementami systemu jakości, wniosek auditora dotyczy przyznania firmie certyfikatu. Jeżeli podczas auditu stwierdzono niezgodności i zostały one przedstawione kierownictwu firmy to:

– jeżeli są to niezgodności małe, wniosek będzie dotyczył przyznania certyfikatu po wprowadzeniu działań korygujących przebieg procesów bądź systemie jakości,
– jeżeli są to niezgodności duże, wniosek będzie dotyczył nie przyznawania firmie certyfikatu.

Niezgodność jest to warunek przeciwstawny jakości, jest to niespełnienie konkretnych wymagań również niespełnienie warunków umowy, warunków normy jakości, warunków księgi jakości, niespełnienie procedur lub instrukcji wykonywania pracy. Którakolwiek z wymienionych cech świadczy o tym, iż mamy do czynienia z niezgodnością. Zakwalifikowanie niezgodności - mała czy duża - wynika ze stopnia zagrożenia, które powoduje, iż w jej wyniku do klienta może trafić produkt niezgodny z wymaganiami.

Konsekwencją wystąpienia niezgodności małej jest konieczność przeprowadzenie działań korygujących, po dokonaniu których firmie może być przyznany certyfikat.

Konsekwencją niezgodności dużej jest konieczność poprawienia organizacji pracy, systemu zarządzania jakością a następnie ponowne wystąpienie o przeprowadzenie auditu certyfikującego. W przypadku, gdy duża niezgodność będzie dotyczyła jednego określonego

procesu albo obszaru działalności i zostanie ona w niezbyt odległym czasie usunięta z systemu zarządzania jakością, ponowny audit może być auditem częściowym, obejmującym tylko obszar, w którym poprzednio taka niezgodność wystąpiła [4].

4. CERTYFIKAT I JEGO ROLA W UTRZYMANIU JAKOŚCI

Po wdrożeniu systemu zarządzania jakością i pomyślnym przebiegu auditu, firma otrzymuje certyfikat ISO 9001. Od tej chwili ma prawo używania odpowiedniego oznaczenia na swoich dokumentach, pismach, folderach, opakowaniach, szyldach, etykietach, plakatach itd. oznajmującego ten fakt użytkownikom, klientom, konkurentom i innym. W przypadku składania ofert dotyczących zamówień publicznych firma powinna wyraźnie podkreślać fakt posiadania certyfikatu. Jeżeli w myśl odpowiedniej ustawy z roku 2000 jednostka certyfikująca, która przyznała firmie certyfikat jest notyfikowana przez właściwego ministra kierującego danym resortem (branżą), certyfikat ten będzie uznawany i rozpatrywany we wszystkich działaniach dotyczących zakresu działalności tego resortu.

Posiadanie certyfikatu umożliwia uzyskanie zamówień od przedsiębiorstw, dla których nasza firma będzie podwykonawcą (poddostawcą) odpowiednich "półproduktów" (czy dokumentów) dla ich procesów produkcyjnych a czasami jest warunkiem rozpatrywania oferowanej kooperacji.

Warto podkreślić jednak, że sam fakt otrzymania certyfikatu nie jest dokonaniem jednorazowym. Certyfikat stwierdza bowiem funkcjonowanie w firmie systemu zarządzania jakością. Funkcjonowanie systemu zarządzania jakością w działalności firmy ma charakter ciągły, jest też procesem, "dzianiem się", "hapenningiem". Można powiedzieć, że poza oczywistymi zaszczytami jakich dostarcza jego posiadanie, jest przede wszystkim zobowiązaniem. Nigdy więc nie jest tak, że zdobyliśmy certyfikat i mamy wreszcie spokój. Potrzeba utrzymania certyfikatu wymaga, aby system zarządzania jakością w firmie był również utrzymywany, ale nie tylko utrzymywany. Obecna, znowelizowana norma ISO 9001:2000 stawia wręcz wymaganie aby był on doskonalony. Aby doskonalone były również procesy wytwarzania wyrobów, aby ciągle było monitorowane i analizowane zadowolenie klienta i ono wnosiło do naszego systemu zarządzania jakością modyfikowanie i udoskonalanie wyrobów pod kątem stwierdzonych i przewidywanych oczekiwań klienta [2].

Warto podkreślić, że auditowanie nie odbywa się raz na trzy lata , bo certyfikat traci ważność i trzeba go odnowić. Auditowanie właściwie towarzyszy nam ciągle. Są to albo audity wewnętrzne, albo audity strony drugiej albo audity częściowe, wynikające zarówno z rutynowych działań związanych z funkcjonowaniem systemu zarządzania jakością, ale i z powodu np. zmiany asortymentu produkcji, zmiany zakresu działalności firmy, zmian wynikających z modyfikowania wyrobu, z innowacji technicznych, z wprowadzania nowych technologii i materiałów lub zmian wynikających z wymagań kształtowanych przez nowelizowane przepisy ogólne i prawo. Aby nie rozwijać omawiania zdarzeń negatywnych nie będę przytaczał wizji dotyczących firmy, która utraciła certyfikat. W krajach gdzie systemy zarządzania jakością są bardzo upowszechnione, a społeczeństwo jest świadome znaczenia certyfikacji wyrobów, usług, wykonawców itd. firma, która utraciła certyfikat musi ponieść tak znaczne nakłady aby go odzyskać, że często kalkulacja podpowiada, iż jedynym wyjściem jest zaprzestanie działalności w tej branży, w tym kraju czy regionie świata, na tym rynku.

Posiadanie certyfikatu powinno być utożsamiane z ciągłym utrzymaniem jakości i jej ciągłym doskonaleniem. Tylko wtedy obie strony będą odczytywały posiadanie certyfikatu jakości przez firmy, jako podnoszenie poziomu jakości życia w ogóle. Bo taka jest idea i cel wprowadzania systemów zarządzania jakością! systemów zapewniania jakości.

5. WARUNKI ZAWIESZENIA, COFNIECIA WAŻNOŚCI CERTYFIKATÓW ORAZ OGRANICZENIA ZAKRESU CERTYFIKATÓW

Z uwagi, że Certyfikaty systemu zarządzania jakością wydawane są na okres trzech lat. Certyfikat może być zawieszony, cofnięty lub można ograniczyć jego zakres przed upływem terminu ważności.

Zawieszenie certyfikatu następuje w przypadku nie wywiązywania się posiadacza certyfikatu ze zobowiązań określonych w zawartej umowie w sprawie zasad stosowania certyfikatu systemu zarządzania jakością, a w szczególności, gdy posiadacz certyfikatu:

- uniemożliwia jednostce przeprowadzenie auditu,
- nie wykonał w uzgodnionym terminie działań korygujących wynikających z niezgodności ujawnionych w trakcie auditów,
- nie podjął w uzgodnionym terminie działań dla wprowadzenia zmian w systemie zarządzania jakością wynikających ze zmiany wymagań zawartych w normach stanowiących odnośnik systemu,
- nie poinformował Biura Certyfikacji o wprowadzeniu w systemie zarządzania zmian, które mogą wpłynąć na zgodność,
- nie spełnia zobowiązań finansowych wobec Biura,
- na wniosek posiadacza certyfikatu.

Decyzja o zawieszeniu przekazywana jest pisemnie posiadaczowi certyfikatu wraz

z podaniem daty określającej okres zawieszenia certyfikatu.

W okresie zawieszenia certyfikatu posiadacz nie może powoływać się na certyfikat. Posiadacz ma prawo złożyć odwołanie do Dyrektora jednostki certyfikującej.

Okres zawieszenia nie może być dłuższy niż 1 rok.

Przywrócenie ważności certyfikatu następuje po sprawdzeniu przez Biuro, czy spełnione zostały ustalone warunki. O przywróceniu ważności certyfikatu dostawca jest powiadamiany pisemnie, listem poleconym.

Cofanie ważności certyfikatu następuje w przypadku:

- gdy system zarządzania jakością nie spełnia wymagań potwierdzonych certyfikatem,
- nadużycia przez organizację uprawnień wynikających z posiadania certyfikatu systemu zarządzania jakością,
- niespełnienia w ustalonym terminie warunków postawionych przez jednostke sertyfikującą przy zawieszeniu ważności certyfikatu (jeśli posiadacz nie uzgodnił zmiany terminu),
- rezygnacji przez posiadacza z certyfikatu.

W przypadku ponownego ubiegania się o certyfikat, po jego cofnięciu, Jednostka certyfikująca przeprowadza ponownie proces certyfikacji.

Ograniczanie ważności certyfikatu następuje w przypadku:

- negatywnego wyniku auditu (w danym obszarze) przeprowadzonego w ramach nadzoru,
- na wniosek posiadacza certyfikatu.

Przedłużenie ważności certyfikatu realizowane jest na podstawie wniosku o przeprowadzenie procesu certyfikacji systemu zarządzania jakością złożonego w Biurze Certyfikacji. Tryb rozpatrywania wniosku i postępowania certyfikacyjnego jest identyczny z trybem przyjmowania wniosku po raz pierwszy.

Po przeprowadzeniu postępowania certyfikacyjnego z wynikiem pozytywnym certyfikat zostaje przedłużony na okres 3 lat.

Posiadacz certyfikatu ma obowiązek informowania jednostki certyfikującej o dokonywanych zmianach w systemie zarządzania jakością. W każdym przypadku posiadacz przesyła do jednostki opis zmian oraz dokumentację, w której dane zmiany wprowadzono.

W razie potrzeby jednostka certyfikująca może zalecić przeprowadzenie dodatkowego auditu mającego na celu ocenę wpływu dokonanych zmian na funkcjonowanie systemu jakości.

Wszystkie opłaty związane z certyfikacją ponosi posiadacz certyfikatu na podstawie. Dokładną wysokość opłat podaje cennik, stanowiący odrębny dokument udostępniany do wglądu dostawcom [3].

6. WNIOSKI

Określając cele i zakres auditu w firmie ubiegającej się o certyfikat określa się również zakres certyfikatu.

Zadaniem przeprowadzenia każdego rodzaju auditu w firmie jest potwierdzenie, weryfikacja działania systemu zarządzania jakością . Dlatego tez jeżeli po przeprowadzeniu auditu w firmie ubiegającej się o certyfikat wykryte zostaną małe niezgodności, to przyznanie certyfikatu odbędzie się po wprowadzeniu działań korygujących. Duże niezgodności powodują utratę możliwości ubiegania się o certyfikat.

Posiadanie w przedsiębiorstwie wdrożonego systemu zarządzania jakością oraz uzyskanie certyfikatu jest gwarantem wykonywania usług o określonej jakości.

LITERATURA

[1] Bank J.: Zarządzanie przez jakość. Seria wydawnicza. Podstawy zarządzania, Gebethner & S-ka, Warszawa 1997.
[2] Jazdon A.: Doskonalenie zarządzania jakością. Oficyna Wydawnicza Ośrodka Postępu Organizacyjnego, Bydgoszcz 2001.
[3] Szczutkowski M.: Dokumentowanie systemów jakości wg PN-ENISO 9001:2001. Materiały szkoleniowe Auditorów Wewnętrznych i Pełnomocników ds. Jakości BDT NOT Spółka zoo.: Centrum jakości, Bydgoszcz 2003.
[4] Szymańska J.: Materiały szkoleniowe Instytutu Kształcenia Zawodowego „Ekologus" Sp. zoo., Audit systemu zarządzania i kompetencji technicznych, Ustroń 2002
[5] PN–EN ISO 9000:2001.: System zarządzania Jakością – Wymagania.

Mgr inż. Tomasz KAŁACZYŃSKI – absolwent Wydziału Mechanicznego ATR w Bydgoszcz, kierunek Mechanika i Budowa Maszyn, specjalność Samochody i Ciągniki. Doktorant Katedry Maszyn Roboczych i Pojazdów na Wydziale Mechanicznym ATR w Bydgoszczy

ZINTEGROWANY SYSTEM NAUCZANIA

KARPOWICZ S., SORKO S.
Bialystock polytechnics (Technical University), Bialystok, Poland E-mail: svk@csie-data.com

DAINIAK I.
Software engineer of department for higher mathematics.
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk
Tel.: (+375 17) 239-88-30 E-mail: dainiak@bsuir.unibel.by

Streszczenie:

W artykule przedstawiona została problematyka wyższej oraz specjalistycznej edukacji w aspekcie wsparcia systemowego w postaci komputerowych baz danych. Autorzy stworzyli koncepcję budowy interaktywnego, multimedialnego systemu nauczania opartego na sieci komputerowej, jego główne aspekty i problemy, na których należałoby oprzeć taki system. Przedstawiono strukturę takiego systemu oraz przedstawiono sposoby realizacji tego projektu.

Słowa kluczowe: sieć komputerowa, interaktywny system nauczania, struktura systemu

INTEGRATED TEACHING SYSTEM

Summary:

The problems of higher, secondary and special education, linked to computer-based training aids are at issue. The building concept of the network interactive multimedia teaching system is introduced, the main aspects and principles, on which it is based, are mentioned. The structure of the system is described; the ways of realization are presented.

Keywords: network, interactive teaching system, system structure.

1. INTRODUCTION

Nowadays the methodical education ensuring remains behind the possibilities of information technologies. This slows down the introduction of new modern methods of training into the system of education. The demands to the education had grown up and the information load of trainee is very great.
Currently the opportunities of computer application for training aids creation and usage (learning-books and manuals) are not used at a great extent. New computer learning-books constitute often the electron version of printed books, or adapted polygraphic publications, which are being added with motionless pictures or moving pictures, illustrating the text, but having no independent educational meaning.

The present electronic learning-books [1…2] are oriented on definite categories of students, and they can not be effectively used in interdisciplinary levels of the education system. The modern computer technologies allow creating of multilevel educational systems that can be used by students in schools, secondary schools and universities and by engineers. This can be achieved thanks to the right structuring of educational material and to the right access organization to it by means of computer-based teaching system, what is practically unattainable with traditional learning-books.

It is necessary to create a system of elaboration and application of new computer-based learning books. For this purpose it is necessary to unite the efforts of specialists of different areas of knowledge (pedagogic, information technologies, other scientific spheres), and not only to create learning books that would have been the examples for imitations, but also to work-out the methodology itself and the technology of collective work over them.

Therefore the aim of the given work consists in the work out of the network interactive multimedia teaching system (NIMST) that allows to organize the learning of pupils, trainees and students (students of educational courses) with usage of Internet, but also working out of thematic databases of knowledge in different disciplines.

2. CONCEPT OF THE PROJECT

For up-to-date learning-books creation, which is suitable for self-teaching, distance learning or self-independent work without immediate teacher participation, it is necessary to put into their basis the new approach. On the one hand it is necessary to use the opportunities of modern computer technique (big information capacities of PC's and computer networks, animation, interactivity, multimedia, opportunity of editing, appending and refreshing of educational materials), on the other hand – to

provide the introduction of modern pedagogical technologies into the self-teaching process.

The suggested project of new educational system creation is directed towards the mentioned problems solving, for it's implementation the principles of learning-books creation, the methods of material organization, which considerate the didactic peculiarities of self-independent work with computer educational systems and variants of information technologies for rational studies goals attainment usage, are being worked up.

The feature of suggested concept is in multimedia learning system environment development, which provides the work with information streams in virtual, program-based learning networks. It is a program complex, which controls the studies process and provides the access to the database of knowledge, which is found on divided servers in Intranet of Internet.

NIMTS consists of a special browser which is necessary for database of knowledge access and providing the interaction of multimedia learning system and user, and methodological navigator, which controls the user transference in the spheres of knowledge. In contrast to well-known learning systems, NIMTS provides the opportunity of flexible automated selection of educational material for any course, (schools, secondary schools and universities), which is formed of combined distributed database of knowledge of all partners. NIMTS gives the opportunity of quick permanent replenishment, refreshing, editing of educational material and finally will allow to realize the quick transition from traditional methods of training with preservation of their advantages to new little known, even unique, interactive methods of education, which will be based on modern computer technologies, high scientific and methodical level of educational courses creators, the experience of leading pedagogues of universities-consortium members.

The modern information technologies and the usage of Internet allow creating of fundamentally new educational systems that increase the information perception and strengthening. Multimedia technologies provide a very high level of interaction of user and computer, at the same time securing new possibilities in the education area. Moreover, owing to the Internet, new possibilities are opened for distance learning.

3. FUNDAMENTAL ASPEKTS AND PRINCIPLES

Traditional manuals and educational systems demand a long cycle of preparing, edition and approbation, but for all that the modification and addition of all manual is complicated The new educational system will allow to realize the transition from traditional system to the new little known based on the most popular information technologies. Fundamental theses of the new learning system conception are as follows:

1. Multimedia elements (modules) are situated on the server, and are combined into blocks of educational material. All modules are linked to each other into reprogrammable data network. The developed modules can be permanently modified by a creator, added into the system and included into the general index system.

2. The multimedia element (module) contains graphic, interactive and descriptive (textual) parts. Graphics and interactivity are dominant parts of educational material, as visual perception of a human is better developed, and a possibility to influence the input parameters and to observe the modifications of output parameters in real time improves the understanding of the material. The description part of multimedia element is auxiliary and promotes strengthening of information.

3. The «Many-tier» idea of information representation containing in cells that allows using the program by many users, pupils, students and engineers. For every complex theme of educational material is foreseen an opportunity to call cell-pages from other (basic) modules that contain the physical principles and laws, on which the following object is based. All called cells allow realization of interactive research in real time, which will provide the self-independent work of user on different levels of educational material, from complex to basic, explaining physical fundamentals.

4. Individual approach to every user. The server, on demand of user, forms block-module interactive electronic learning-book for a given theme in accordance with the theme of educational material and methodological principles and passes it to client computer for personal user work.

The efficiency of usage and refreshment. Small sizes of multimedia elements allow the user to start the work with the educational system straight away after loading of the first modules without waiting for loading of the others; for the authors it gives the opportunity of quick distribution in the system of new or altered educational material.

The experience of information search in the Internet conveys that while trying to receive the subject materials of a definite sphere it does not manage to achieve the satisfying results. Even using new "search machine" and rather high professional skills of user it takes too much time, and received information is either superfluous (the «outsider» spheres are caught) or is too short for the user. Thanks to special access organization and material structuring the suggested educational system allows to replenish the required and methodically organized educational information into one educational course for any educational level (schools, secondary schools, universities).

The presence of logically finished modules allows creating of flexible educational systems in a wide range of data domain. At the same time there is no need to create the totally full concrete system, as considerable part of educational material can be got out of already created modules and basic knowledge blocks. It is obligatory for concrete system to create the organizing program and navigator, and to work out the needed modules and blocks. The elementary modules and blocks of knowledge network can be created and completed by dozens of authors and pedagogical collectives who work in autonomous mode. The work of methodologists provides the data uniting of modules and blocks of knowledge network. As the model is a logically finished «elementary portion» of knowledge, the process of already worked-out modules modification, and the permanent addition to all the educational system, are lightened [3, 4].

To receive the needed internet learning-book, it will be enough to send the query from the client computer in the form of a string, which contains the needed theme of educational material. A server, after the processing a query, forms the internet learning-book on a demanded theme and passes it to a client computer.

4. PROGRAMM REALISATION

The basis of NIMTS is many-dimensional mobile network of knowledge which is represented by authors of project as conditionally-oriented graph, the vertexes of which are the elementary cells of knowledge, and the edges of which are semantic ties between them. Any educational course can be rated as the chain of elementary knowledge (cells of knowledge), which lead in the end to the studied object or phenomenon understanding.

NIMTS consists of the next modules:

- the storage of interactive multimedia cells;
- database of educational courses;
- methodical navigator;
- tracing system.

The working out of every mentioned module based on Internet - technology is envisaged. The modules are situated on the dedicated server in Internet and are available to users from any point of the world.

The realization of modules is supposed to be based on Web-server, database management system and one of environments of Internet-programming (PHP, ASP or Java). The realization of educational courses is supposed to be based on interfacing interactive multimedia pages, which consist of elucidatory text, pictures, needed links and interactive elements based on vector graphics. Every cell can contain several consistent pages, have animation and sound accompaniment [4].

The advantage of such educational system realization is its flexibility, adjustment, the ability of unlimited widening, by revision of already based educational material, and by addition of new educational courses.

Moreover, it is possible to base the educational system in Internet on several servers, this will allow to distribute the system load. For example, the core of educational system can be based on one of the servers, the educational materials of one subject can be based on another server, the educational materials of the other subject can be based on the third server and so on. At the same time, the educational materials, which were worked out in one educational institution, can be based on the server of this institution and included with the help of methodological navigator into the main index of NIMTS, after that they can be accessible to the users all over the world.

5. CONCLUSION

In the laboratory of mathematical of technical systems and information technologies BSUIR with the assistance of Bialystok Polytechnic (Bialystok, Poland) the interactive multimedia educational courses are worked out. They are based on the principles mentioned above.

At the present time the courses "Theory of oscillations" and "Pneumatic automation", represented as a set of interactive multimedia cells, accomplished in Macromedia Flash environment, are being worked out [5…6]. All cells are based on real formulas, which allow not only studying the educational course, but conducting an interactive investigation. As a result it arouses interest of students to the course and promotes strengthening of information.

BIBLIOGRAPHY

[1] Linnik I.I. Preparation of electronic aids for testing and test-suitable designing in the context of project REASON // Distance learning – educational environment of the XXI century: Materials of the III international guidance conference, 13-15 November 2003. – Mn.: BSUIR, 2003. – P.357-359.

[2] Weiner L.G., Reshetnikova O.V. Electronic methodical complex for computer graphic for distance learning // Distance learning – educational environment of the XXI century: Materials of the III international guidance conference, 13-15 November 2003. – Mn.: BSUIR, 2003. – P.434-435.

[3] Siemieniako F., Karpovich S., Dainiak I. Integrative learning system // Book of abstracts,

Bydgoszcz – Bialystok – Holny Mejera, September 20-23, 2003. – P.43.
[4] Dainiak I., Karpovich S., Ahranovich A., Huscio T. Interactive multimedia pages for the subject "Technics of Automation" // Book of abstracts, Bydgoszcz – Bialystok – Holny Mejera, September 20-23, 2003. – P.14.
[5] Reinhardt R., Lenz D. Flash 5. User bible. – M.: Publishing house "Villiams", 2001. – 1164 p.
[6] Muck K. ActionScript. Detailed manual. – SPb.: Symbol-Plus, 2002. – 792 c.

OCENA TESTÓW DIAGNOSTYCZNYCH Z WYKORZYSTANIEM MODELI DYNAMIKI I RUCHU POJAZDÓW

Zbigniew LOZIA

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
tel./fax 8490321, e-mail: lozia@it.pw.edu.pl

Streszczenie

Referat przedstawia przykład zastosowania modeli symulacyjnych dynamiki i ruchu pojazdów w pracach prowadzących do oceny i optymalizacji testów diagnostycznych.

Słowa kluczowe: diagnostyka, testy diagnostyczne, modelowanie, ruch i dynamika pojazdu

ASSESMENT OF DIAGNOSTIC TESTS
BASING ON VEHICLE DYNAMICS AND MOTION MODELS

Summary

The paper presents exemplary application of vehicle dynamics and motion models. The purpose of mentioned application is to assess and to optimize diagnostic tests of wheeled road vehicle.

Keywords: diagnostics, diagnostic tests, modelling, vehicle motion and dynamics

1. WPROWADZENIE

Celem prezentowanych prac jest wzbogacenie badań w Laboratorium Zakładu Eksploatacji i Utrzymania Pojazdów Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej o elementy wirtualne, wykorzystując dorobek Pracowni Badań Symulacyjnych Ruchu Samochodu WT PW. Opisany poniżej przykład dotyczy symulowanego ruchu opóźnionego samochodu, o własnościach określonych na stanowisku rolkowym do badań hamulców. Wzbogacenie prezentacji wyników symulacji o animację pozwala lepiej zrozumieć zachowanie się pojazdu w warunkach drogowych a więc bardziej racjonalnie określać wartości graniczne testu diagnostycznego.

2. OCENA ZACHOWANIA SIĘ BADANEGO POJAZDU W TRAKCIE HAMOWANIA W WARUNKACH DROGOWYCH

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów sił hamowania na stanowisku rolkowym dla hamulca roboczego, wykonywany jest test symulacyjny, opisujący hamowanie badanego samochodu w warunkach drogowych. W tym celu wykorzystywane są programy symulacyjne ruchu i dynamiki samochodu [2, 3, 4]. Przykładem jest program ZL_aut3d [2] wyposażony w oprawę graficzną umożliwiającą wizualizację otrzymanych wyników obliczeń, włącznie z animacją.

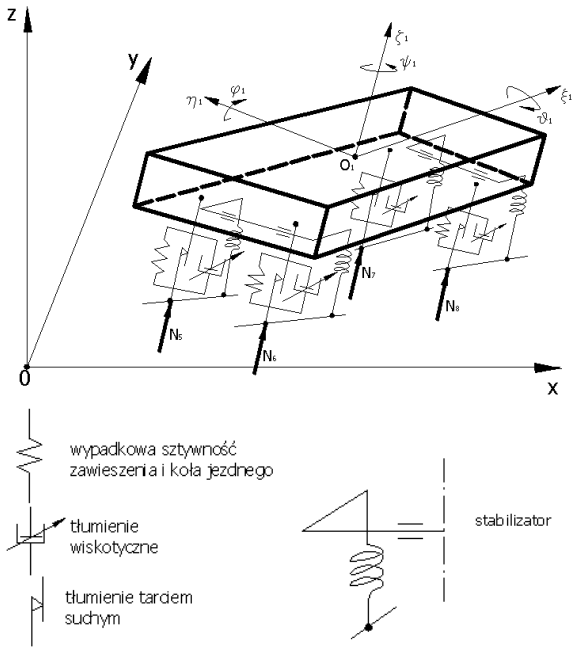
W omawianym teście założono, że kierowca wywiera jedynie siłę nacisku na pedał hamulca, nie zmieniając kąta obrotu kierownicy. Jest to typowy test „otwarty" bez sprzężenia zwrotnego w układzie kierowca-pojazd-otoczenie.

2.1. Model symulacyjny ruchu samochodu

Rys. 1 przedstawia model fizyczny pojazdu. Założono, że jego ruch odbywa się na równej, płaskiej nawierzchni drogi. Bryła nadwozia oraz koła jezdne traktowane są jako ciała sztywne. Pominięto opis drgań mas nieresorowanych zawieszenia. Bryła nadwozia ma sześć stopni swobody, pozostałe cztery stopnie swobody dotyczą ruchu obrotowego kół jezdnych. Uwzględniono opis sił sprężystych, tarcia suchego i tłumienia wiskotycznego zawieszenia każdego koła oraz opis oddziaływania stabilizatorów przechyłu bocznego. Model sił kontaktowych i momentu stabilizującego opony uwzględnia wpływ prędkości i reakcji normalnej drogi. Stany nieustalone siły bocznej i momentu stabilizującego opisuje równanie różniczkowe I rzędu (tzw. model *IPG-Tire* [4]). Model układu hamulcowego umożliwia zadawanie zróżnicowanych, dla strony lewej i prawej, momentów hamowania. Możliwa jest także symulacja hamowania na nawierzchni typu *„μ-split*".

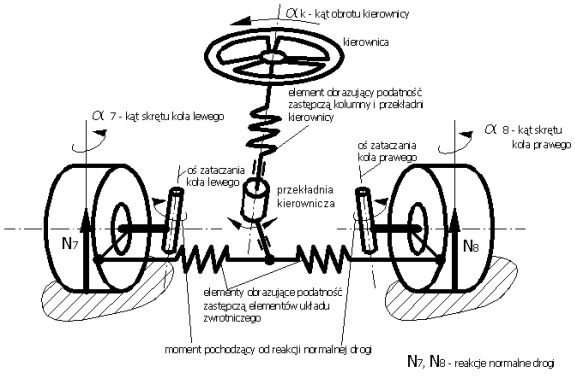
Model układu kierowniczego (rys. 2) uwzględnia opis stabilizacji kół kierowanych, własności geometrycznych układu zwrotniczego oraz podatność kolumny, przekładni i drążków kierowniczych. Możliwe jest modelowanie układu *4WS* (kierowane cztery koła jezdne) ze zmiennym,

zależnym od prędkości, przełożeniem między przednim i tylnym układem kierowniczym (zgodnie z zaleceniami firmy *Bosch* [1]). Pominięto luzy i tarcie suche w układzie kierowniczym oraz momenty giroskopowe towarzyszące skręcaniu obracających się kół kierowanych.



Rys. 1. Model fizyczny pojazdu (nie zaznaczono sił hamowania)

Do opisu ruchu modelu przyjęto dziesięć niezależnych współrzędnych uogólnionych: współrzędne x_{O1}, y_{O1}, z_{O1} punktu O_1 (środka masy pojazdu) w układzie inercjalnym Oxyz, kąt odchylenia bryły nadwozia (kąt kierunkowy) ψ_1, kąt pochylenia wzdłużnego φ_1 i przechyłu bocznego ϑ_1 bryły nadwozia oraz kąty obrotu kół jezdnych φ_5, φ_6, φ_7, φ_8. Równania ruchu wyprowadzono wykorzystując zasadę kinetostatyki.



Rys. 2. Model układu kierowniczego pojazdu (nie zaznaczono sił hamowania)

Użytkownik zarządza programem symulacyjnym, wykorzystując nakładkę graficzną napisaną w języku C++.

2.2. Przygotowanie i wprowadzenie danych programu symulacyjnego

Dane programu symulacyjnego odpowiadają badanemu na stanowisku rolkowym pojazdowi. Zadaniem wykonujących test symulacyjny jest jedynie wyznaczenie tych parametrów, które opisują działanie układu hamulcowego oraz oddziaływanie kierowcy. Oto wykaz wielkości (ich oznaczeń i jednostek w jakich są zadawane) wykorzystywanych do obliczeń wartości wybranych parametrów badanego pojazdu:

- P_N - przyjęta wartość siły nacisku na pedał hamulca [N];
- P_{Nmax} - maksymalna wartość siły nacisku na pedał hamulca, [N];
- P_h - zmierzona na stanowisku rolkowym siła hamowania na kole jezdnym, [N]
- M_h - moment hamowania na kole jezdnym, [Nm];
- t_o - czas opóźnienia zadziałania hamulca, [s];
- t_n - czas narastania momentu hamowania hamulca, [s];
- r_d - promień dynamiczny koła jezdnego, [m];
- a_{sp} - obliczony, na podstawie pomiarów na stanowisku rolkowym, współczynnik asymetrii działania hamulców kół przednich, [-];
- a_{st} - obliczony, na podstawie pomiarów na stanowisku rolkowym, współczynnik asymetrii działania hamulców kół tylnych, [-];
- α_{mo} - obliczony, na podstawie pomiarów na stanowisku rolkowym, współczynnik rozdziału sił hamowania (momentów hamowania) na oś przednią i tylną, [-];
- i_h - obliczony, na podstawie pomiarów na stanowisku rolkowym, stosunek siły hamowania koła przedniego (o większej wartości z dwóch zmierzonych: dla koła lewego i prawego) do siły nacisku na pedał hamulca [-]; jest to wartość ujemna;

Indeksy: lp - koło lewe przednie,
pp - koło prawe przednie,
lt - koło lewe tylne,
pt - koło prawe tylne.

Większość z tych wartości jest obliczana na podstawie zmierzonych na stanowisku rolkowym wartości sił hamowania: P_{hlp}, P_{hpp}, P_{hlt}, P_{hpt}, odpowiadających sile nacisku na pedał hamulca P_{Nmax} mniejszej od siły $P_{Nblokowania}$, dla której dochodzi do blokowania co najmniej jednego koła jezdnego samochodu.

Pozostałe parametry odpowiadają wartościom charakteryzującym nagłe hamowanie samochodu osobowego klasy średniej z dużą intensywnością, na nawierzchni suchej, mokrej lub oblodzonej (rodzaj

nawierzchni, do wyboru osób wykonujących badania).

W programie symulacyjnym ZL_aut3d miarą oczekiwanej przez kierowcę intensywności hamowania jest wywierana przez niego siła nacisku na pedał hamulca P_N. Obliczenia symulacyjne wykonywane są dla jednej lub dwóch wartości tej siły:

$$P_N = P_{Nmax} \quad \text{lub} \quad P_N = 500\ N$$

dla zestawu danych otrzymanych na podstawie pomiarów na stanowisku rolkowym. W celu otrzymania wartości odniesienia, odpowiadających symetrycznie działającym hamulcom, zaleca się przeprowadzenie obliczeń dla tych samych sił P_N i współczynników $a_{sp} = 1$, $a_{st} = 1$.

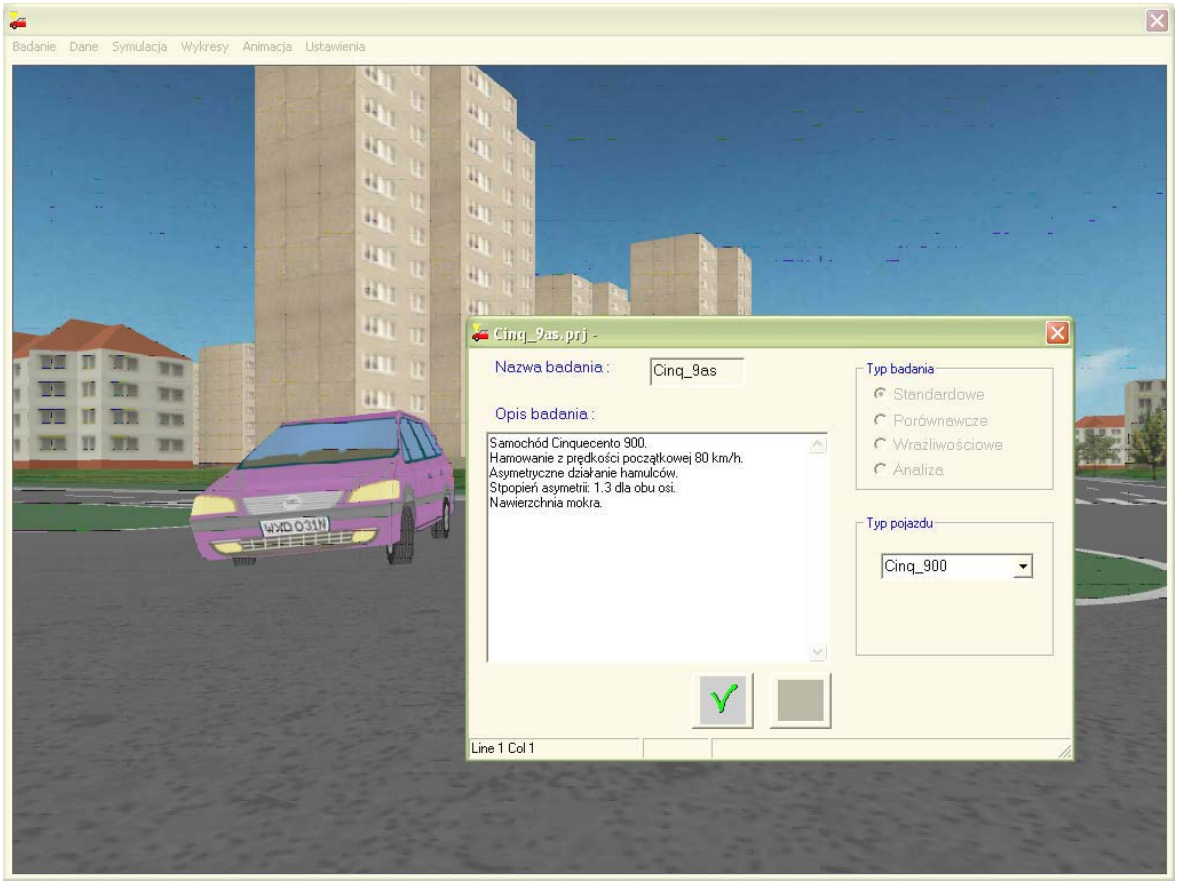
Wyniki obliczeń symulacyjnych są przedstawiane w postaci graficznej (przebiegi czasowe wybranych wielkości oraz trajektoria ruchu pojazdu) oraz w postaci animacji.

2.3. Przykładowe dane wejściowe programu symulacyjnego

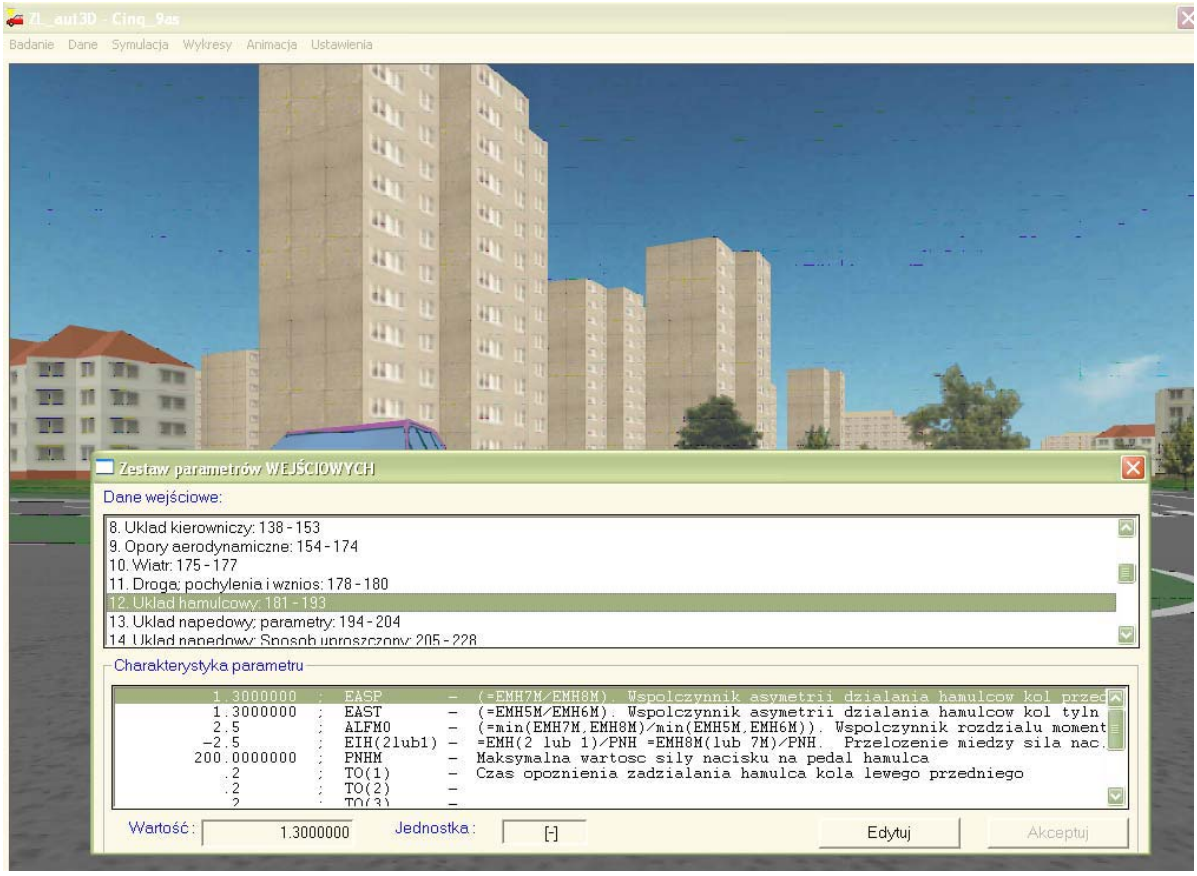
Dane określono dla dwóch przypadków: tzw. „pojazdu odniesienia" (dane nominalne) oraz dla pojazdu, którego układ hamulcowy był badany na stanowisku rolkowym. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono wartości parametrów programu symulacyjnego, zgodnie z zaleceniami z punktu 2.2. Wyniki obliczeń można przeglądać zarówno w trybie tekstowym (kolumny liczb ilustrujących wielkości opisujące ruch pojazdu), jak i graficznym (odpowiednie wykresy - patrz rys. 5) oraz w postaci animacji ruchu pojazdu lub pojazdów – patrz rysunki 6, 7, 8.

2.4. Oprawa graficzna

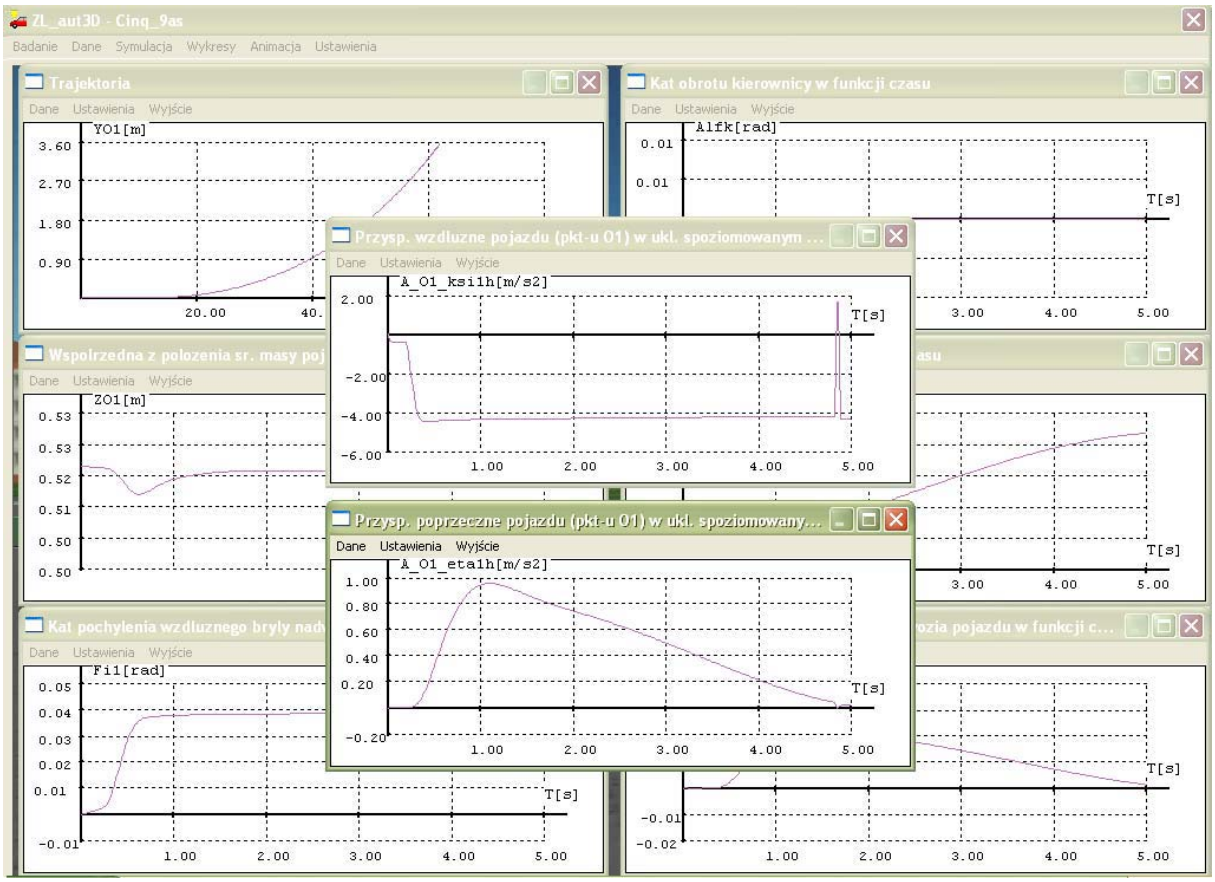
Rysunki 3÷8 ilustrują działanie oprawy graficznej programu symulacyjnego oraz programu animacyjnego. Wzbogacenie prezentacji wyników symulacji o animację pozwala lepiej zrozumieć zachowanie się pojazdu w warunkach drogowych a więc bardziej racjonalnie określać wartości graniczne testu diagnostycznego.



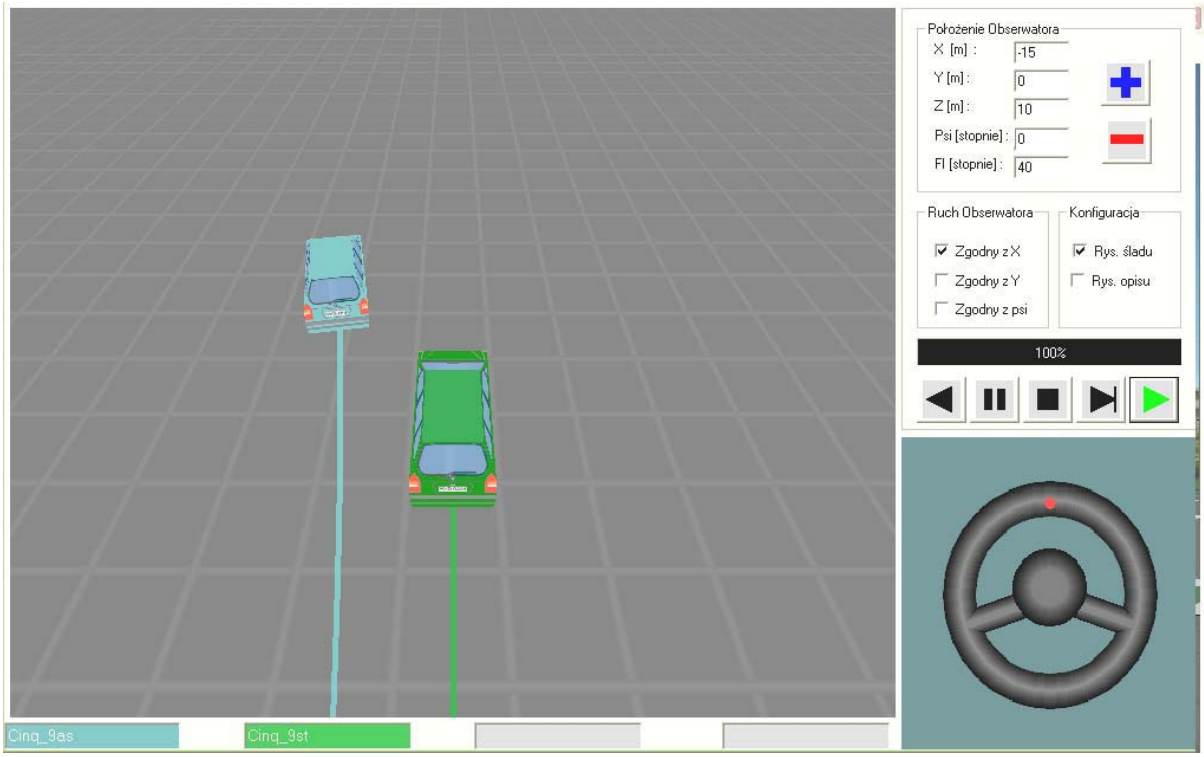
Rys. 3. Okno kreowania projektu badań w programie ZL_aut3d



Rys. 4. Okna wprowadzania danych do projektu badań w programie ZL_aut3d

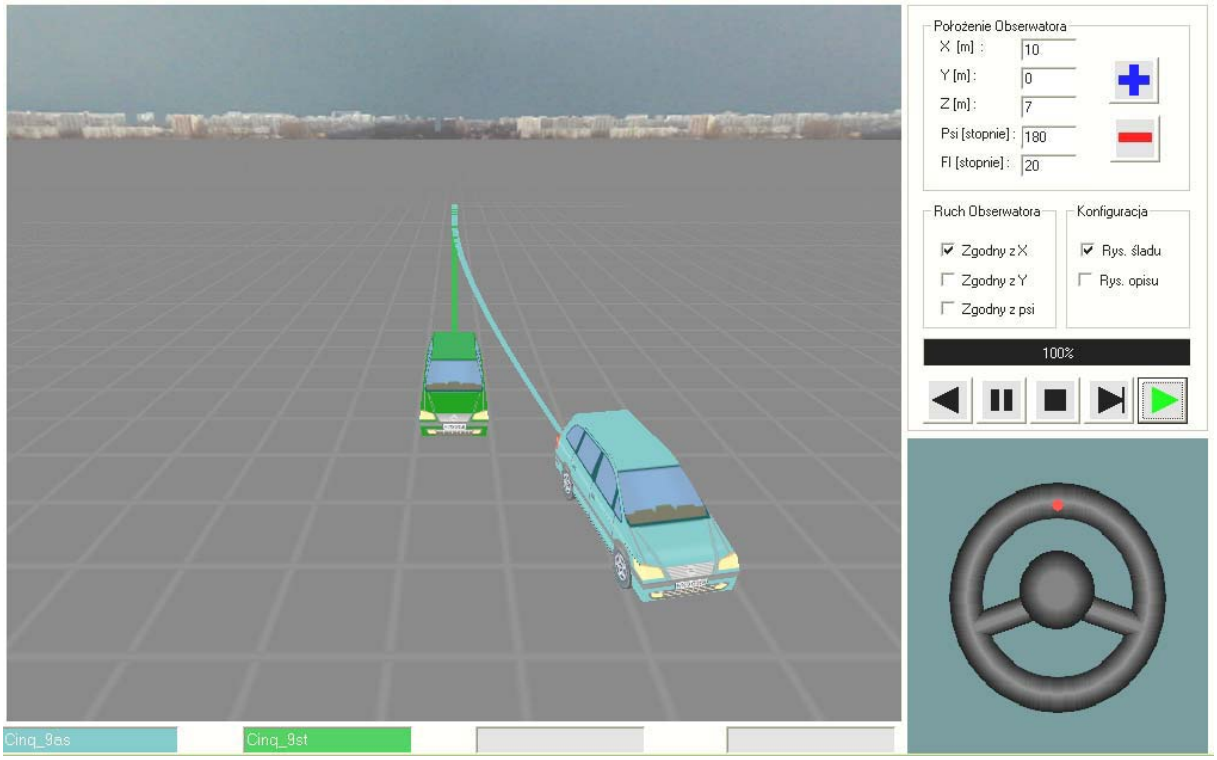


Rys. 5. Wyniki symulacji w formie wykresów



Rys. 6. Animacja ruchu pojazdów – trajektorie ruchu po zatrzymaniu pojazdów, widok „z lotu ptaka" (pojazd nominalny, pojazd z asymetrycznie działającymi hamulcami)

Rys. 7. Animacja ruchu pojazdów – trajektorie ruchu po zatrzymaniu pojazdów, widok „z tyłu" (pojazd nominalny, pojazd z asymetrycznie działającymi hamulcami)



Rys. 8. Animacja ruchu pojazdów – trajektorie ruchu po zatrzymaniu pojazdów, widok „z przodu" (pojazd nominalny, pojazd z asymetrycznie działającymi hamulcami)

3. MOŻLIWE ZASTOSOWANIA PREZENTOWANEGO NARZĘDZIA BADAŃ

Prezentowane oprogramowanie symulacyjne oraz oprawy graficzne i animacyjne wzbogacają narzędzia badań stosowane w budowie, ocenie i optymalizacji testów diagnostycznych. Ze względu na ograniczenie objętości publikacji nie jest możliwa prezentacja szczegółowych wyników. Osoby zainteresowane przedstawionym przykładem oceny wpływu asymetrii sił hamowania na zachowanie się pojazdu w ruchu prostoliniowym i krzywoliniowym, z udziałem (obrót kierownicą) i bez udziału kierowcy autor odsyła do swej wcześniejszej publikacji [3]. Należy zwrócić uwagę, że prezentowana oprawa graficzna i animacyjna obsługuje także inne programy symulacyjne autora, w także te prezentowane w pracach [2, 3, 4].

4. ZAKOŃCZENIE

W pracy [6] autor przedstawia inny przykład: zastosowanie przestrzennego modelu ZL3d_sym [4] oraz modelu *„ćwiartki samochodu"* do oceny wpływu parametrów zawieszenia na wyniki testu amortyzatorów zamontowanych w pojeździe metodą *„zapadnia"* (lub *„zrzut z klina"*) oraz metodą *EUSAMA*. Ocenie podlega głównie: wpływ stanu zawieszenia oraz wpływ amplitudy wymuszenia na wynik testu.

LITERATURA

[1] Bosch. *Automotive handbook*. Robert Bosch GmbH. 3rd edition, 1993.
[2] Lozia Z., *Symulacja testów otwartych układu kierowca-pojazd-otoczenie*, Teka Komisji Naukowo-Problemowej Motoryzacji, PAN Oddz. w Krakowie, Zeszyt 26÷27, str. 229÷234, Kraków 2003 r.
[3] Lozia Z., Marcinkowski G., *Zagrożenie bezpieczeństwa ruchu samochodu wynikające z asymetrycznego rozdziału sił hamowania na koła strony prawej i lewej.* Materiały Konferencji Hamulcowej '91. Łódź. 3÷5 września 1991 r. Tom 2, str. 122÷132.
[4] Lozia Z., *Analiza ruchu samochodu dwuosiowego na tle modelowania jego dynamiki*. Monografia. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport. Zeszyt 41. Warszawa 1998 r.
[5] Lozia Z., Stegienka I., Chodnicki P., *Program ZL_aut3D. Skrócona instrukcja użytkowania.* Warszawa 2002r. (niepublikowana).
[6] Lozia Z., *Metody oceny stanu amortyzatorów zamontowanych w pojeździe.* XII Ogólnopolskie Sympozjum „Bezpieczeństwo w pojazdach samochodowych". Instytut Pojazdów Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 25.11.2004 r. (w roku 2005 referat zostanie wydany w Zeszytach IP PW).

Zbigniew Lozia, prof. nzw. PW, dr hab. inż. Kierownik Zakładu Eksploatacji i Utrzymania Pojazdów. Politechnika Warszawska, Wydział Transportu.
Członek IAVSD, SAE. Laureat SAE 2002 Arch T. Colwell Merit Award.
Wykładowca i egzaminator w Centrum Szkolenia Stowarzyszenia Rzeczoznawców Techniki Samochodowej i Ruchu Drogowego.

ANALIZA SYMULACYJNA MECHATRONICZNEGO WÓZKA INWALIDZKIEGO

Roman STASZAŁEK

Wydział Mechaniczny, Katedra techniki cieplnej i metrologii
Akademia Techniczno Rolnicza, tel. 3408268, ul. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
stasroma@mail.atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

Referat zawiera zagadnienia związane z problematyką poruszania się osób niepełnosprawnych. Skale ilościową i jakościową problematyki poruszania się osób niepełnosprawnych zamieszczono we wprowadzeniu referatu. W dalszej kolejności zawarto pobieżne omówienie konstrukcji wózków inwalidzkich pokonujących przeszkody oraz podano klasyfikacje wózków. Na tle przeprowadzonej analizy wózków została zaproponowana koncepcja wózka inwalidzkiego o nowych możliwościach. Sprecyzowane zostały założenia konstrukcji wózka. Omówione zostały podstawowe aspekty ruchowe zaproponowanej koncepcji wózka inwalidzkiego. Podstawowym celem artykułu jest zaprezentowanie wyników badań możliwości pokonania stopnia przez zaproponowana koncepcje wózka inwalidzkiego. Przeprowadzone badania pozwoliły na wyciągnięcie wniosków o rokowaniach realizacji przedstawionej koncepcji.

Słowa kluczowe: wózek inwalidzki, analiza, symulacja, mechatroniczny, klasyfikacja, przeszkoda, napęd elektryczny

ANALYSIS SIMULATING MEHATRONIC OF WHEEL CHAIR

Summary

The report deals with the problems connected with the handicapped persons motion. The quantitative and qualitative aspects of the problems of handicapped persons motion are contained in the introduction of the report. Further, a brief description and classification of the wheel chairs design have been presented. The concept of wheel chairs with new possibilities on the basis of analysis of trolleys is proposed. The conditions of construction of trolleys are specified. The basic aspects of the proposed concept of handicapped person chair are discussed. The basic aim of the article is to present the results of investigations concerning the possibility to overcome the stair step by the proposed wheel chair. Conducted investigations permit us to draw conclusions about realization of the introduced concept. Further detailed directions for investigations have also been specified.

Keywords: bath chair , analysis, simulation, mechatronic, classification, obstacle, electromotion

1. WPROWADZENIE

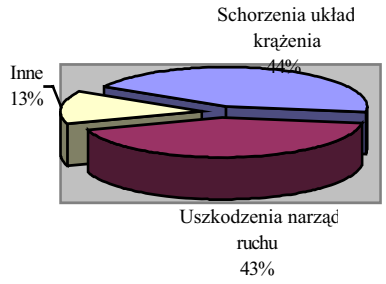
Przywrócenie możliwości normalnego funkcjonowania osobom niepełnosprawnym jest niezmiernie trudne do zrealizowania w pełnym zakresie. Jednak dążenie do tego jest zrozumiałym celem społeczeństwa wkraczającego w XXI wiek.

Jest to tym bardziej zrozumiałe, iż liczba osób niepełnosprawnych stale wzrasta. Na podstawie przeprowadzonego 20 maja 2002 roku spisu ustalono, iż liczbę osób niepełnosprawnych szacuje się na blisko 5,5 mln. co stanowi aż 14,3 % społeczeństwa. W 1988 roku niepełnosprawni stanowili 9,9 proc. ogólnej liczby ludności kraju. W ciągu 14 lat odsetek ludzi niepełnosprawnych wzrósł o 4,4 punktu procentowego. Sytuacja ta będzie się pogłębiała, ponieważ nasze społeczeństwo starzeje się, a wskaźnik zgonów niemowląt na 1000 urodzeń żywych obniża się. [1]

Jak przedstawia rys.1 w ogólnej liczbie osób niepełnosprawnych znaczący udział stanowią osoby z niepełnosprawnością ruchową. Dla wielu z tych osób jedynym sposobem umożliwiającym przemieszczanie się jest wózek inwalidzkie. Możliwość poruszania się za pomocą wózków jest w znaczącym stopniu ograniczona ze względu na występujące wszelkiego rodzaju przeszkody na drodze poziomej.

Pomimo istnienia ustawy o prawie budowlanym z 1995 r., rozporządzeń oraz wielokrotnie poruszanej przez polskie media tematyki barier architektonicznych wiele obiektów użyteczności publicznej w naszym kraju jest wciąż niedostosowanych do potrzeb osób starszych i niepełnosprawnych. Sytuacja ta uniemożliwia im

samodzielne funkcjonowanie, prowadzenie aktywnego życia i wpływa na izolację tej grupy społecznej.



Rys. 1. Zestawienie procentowe schorzeń niepełnosprawności

Do niedawna w latach 70 tych ubiegłego wieku wózek był po prostu meblem na kółkach do transportowania pacjentów. Konstruowali go ludzie chodzący, niemający praktycznej wiedzy o codziennym życiu na wózku. W tej dziedzinie nastąpił znaczący postęp, ponieważ pojawiły się nowe konstrukcje wózków inwalidzkich. Obecnie każdy producent stara się dysponować w swej ofercie wózkami elektrycznymi. Standartowo elektryczne wózki inwalidzkie umożliwiają przemieszczanie się na drodze poziomej a możliwość pokonywania przeszkód przez wózki jest nadal ograniczona.

2. KLASYFIKACJA WÓZKÓW INWALIDZKICH

Zasadniczą funkcją wózka inwalidzkiego jest umożliwienie osobom niemogącym chodzić przemieszczanie się przy wykonywaniu podstawowych czynności życiowych. Dążąc do zaspokojenia tych potrzeb powstała ogromna ilość rozwiązań konstrukcyjnych wózków inwalidzkich. Ich różnorodność znalazła odzwierciedlenie w klasyfikacji. Klasyfikacja wózków inwalidzkich musi uwzględniać szereg aspektów użytkowania takich jak miejsce użytkowania, stopnia sprawności użytkownika itp.

W Polsce wózki klasyfikuje się dwojako:

- Podział ze względu na miejsce użytkowania.

l) Wózki pokojowe (mogą być używane w terenie, na krótkich odcinkach trasy):

a) wózki leżakowe z wysokim i odchylanym oparciem, stosowane we wczesnym okresie po URK, głównie do pionizacji chorego,

b) wózki fotelowe - spotykane najczęściej, a przeznaczone dla osób z porażeniami, niedowładami, amputacjami, dla hemiplegików, jak również w przypadkach usztywnienia kończyny dolnej i u chorych, którzy muszą okresowo korzystać z pomocy wózka.

2) Wózki terenowe (przeznaczone na dłuższe dystanse, np. dojazd do pracy, itp.):

a) wózki o napędzie ręcznym:
- korbowy dla dorosłych,
- dźwigniowy - składany (wózki mało zwrotne i ciężkie, wymagają dużej sprawności kończyn górnych),

b) wózki o napędzie elektrycznym (dla osób ze znikomą sprawnością kończyn górnych).

- Podział ze względu na stopień sprawności użytkownika.

l) Wózki dla dzieci spastycznych (przeznaczone dla dzieci z dziecięcym porażeniem mózgowym, chorobą Heine-Medina, przepukliną oponowo-rdzeniową, innymi schorzeniami centralnego układu nerwowego) - wózki typu spacerowego do prowadzenia przez osobę drugą, umożliwiające stabilizację tułowia, głowy oraz kończyn dolnych dziecka; mogą być używane w domu i w terenie.

2) Wózki typu ACTIV (dla osób ze znaczną oraz utrwaloną dysfunkcją narządu ruchu: porażeniami, niedowładami, amputacjami) - wózki nowej generacji, które ze względu na materiał, konstrukcję zapewniają duże możliwości regulacji i dopasowania do indywidualnych potrzeb, umożliwiają maksymalne usprawnienie i usamodzielnienie w życiu, z uprawianiem dyscyplin sportowych włącznie [2].

3. WÓZKI POKONUJĄCE PRZESZKODY

Problem samodzielnego pokonywania przeszkody wózkiem inwalidzkim widoczny był już od samego początku powstania wózka inwalidzkiego. Zakres możliwości typowych elektrycznych wózków jest bardzo ograniczony i umożliwia pokonywania przeszkód do 4 cm a większych do 10 cm wymaga zastosowania dodatkowego wyposażenie („Tracer" firmy REH-MED [3], „Mistra" firmy AKSON [4]). Problemem, jaki pojawia się w przypadku wózków pokonujących przeszkody jest konieczność zachowania stateczności. W szeregu rozwiązaniach wózków tłumaczy to wprowadzenie dodatkowych kół podpierających lub trzeciej osi.

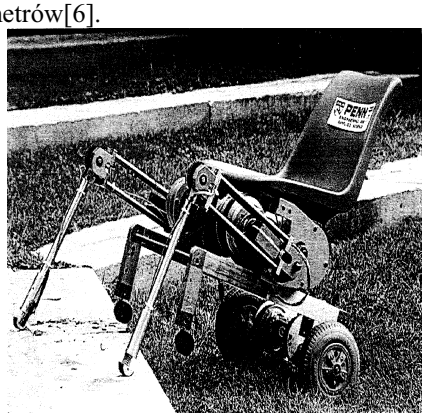
Analiza wózków elektrycznych pokonujących przeszkody pozwala na zastosowanie klasyfikacji ze względu na stosowany układ jezdny:

a) wózki dwuosiowe,
b) wózki trzyosiowe,
c) wózki o układzie specjalnym (nietypowym).

W przypadku podpunktów a) i b) możliwe jest ich zróżnicowanie ze względu na wielkość zastosowanych średnic kół. Przykładami konstrukcji wózków trzyosiowych są np. „Typhoon" i „Tornado" firmy INVACARE z Niemiec [5], „Jazzy 1120" produkcji USA oraz „Heartway HP-6" firmy Heartway z Tajlandii. Najbardziej charakterystycznym rozwiązaniem są wózki firmy INVACARE zaopatrzone w opatentowany system „Walking Beam" rys. 2.

Rys. 2. Wózek firmy amerykańskiej o nazwie „Typhoon"

Przykładem konstrukcji realizującej pokonywanie przeszkód jest prototyp wózka inwalidzkiego opracowana przez amerykańskich naukowców. Konstrukcja ta opiera się na podwoziu czterokołowego wózka zaopatrzonego w dwie nogi (rys. 3). Konstrukcja ta posłużyła naukowcom do przeprowadzenia szeregu badań związanych z funkcjonowaniem wózka oraz optymalizacja jego parametrów[6].



Rys. 3 Prototypowa konstrukcja wózka inwalidzkiego opracowana przez amerykański ośrodek naukowy

Inną konstrukcją opartą na zapewnieniu stateczności układu balansującego jest rozwiązanie firmy Johnson & Johnson (rys. 4). Opracowany wózek inwalidzki iBOT 3000, ważący 114 kg może balansować na dwóch kołach, pokonywać schody a nawet poruszać się po piasku. Rozwiązanie to stanowi połączenie elektroniki, czujników i zaawansowanego oprogramowania, które w czasie rzeczywistym analizuje położenie wózka i automatycznie dopasowuje pozycje kół i położenie fotela. Wszystkie układy pomiarowe i sterujące są zdublowane.

Rys. 4. Wózek inwalidzki iBOT 3000

Napęd elektryczny wózka pozwala na poruszanie się z prędkością około 10 km/h, a akumulatory zapewniają - w zależności od obciążenia – nawet całodzienną mobilność urządzenia na jednym cyklu ładowania. Cena tego wózka wynosi 29 tys. USD [7].

4. NOWA KONCEPCJA WÓZKA INWALIDZKIEGO – MODEL NOMINALNY

Każda maszyna przechodzi cztery fazy istnienia: wartościowanie, projektowanie, wytwarzanie, eksploatacja. W każdym z tych etapów występują działania diagnostyczne. W punktach poniższych autor skupił uwagę na działaniach diagnostycznych w konstruowaniu wózka. Stosowanie diagnostyki w konstruowaniu umożliwia korygowanie rozwiązań konstrukcyjnych w aspekcie wymogów poprawności pracy.

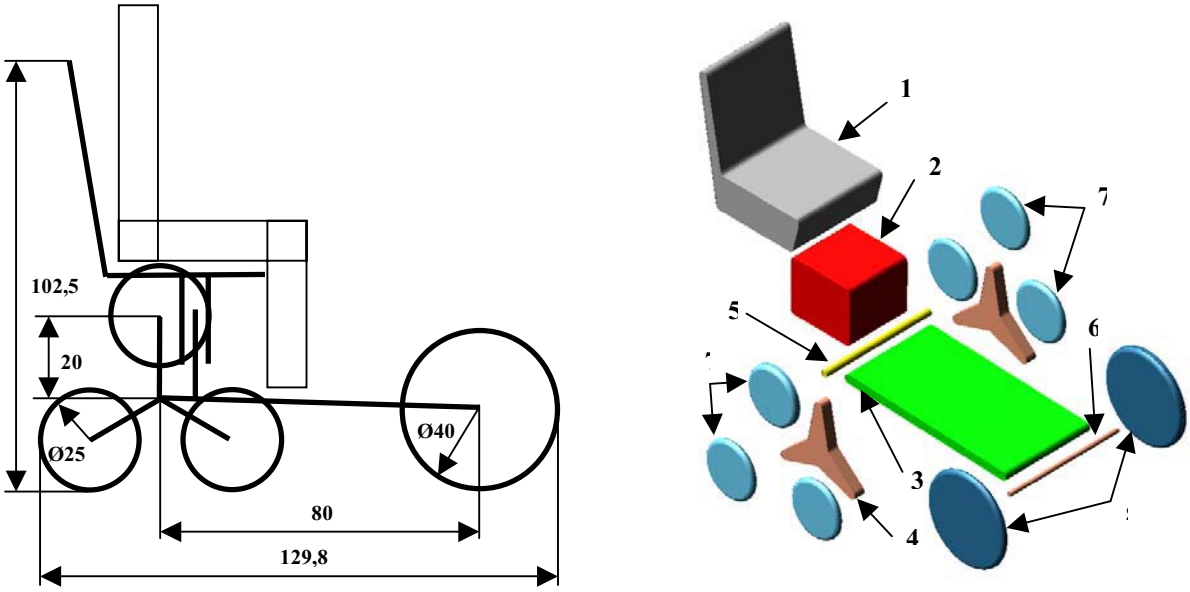
Koncepcja nowego wózka inwalidzkiego ma na celu zapewnienie osobie niepełnosprawnej dużej samodzielności związanej z przemieszczaniem się. Zakładana duża samodzielność ma umożliwić pokonywanie podstawowej bariery architektonicznej, jaką stanowią przeszkody w postaci krawężników itp. Realizacja tego założenia ma umożliwić wjazd do autobusu nisko-podłogowego. Istotne również jest, aby wózek ten odznaczał się małymi gabarytami, małym ciężarem oraz dużą zwrotnością.

Nie mniej istotnym zagadnieniem jest tutaj relatywnie niska cena umożliwiająca powszechne ich nabywanie przez osoby niepełnosprawne. Jest to szczególnie istotne w przypadku osób niepełnosprawnych, ponieważ jak wykazały badania statystyczne, sytuacja materialna gospodarstw z osobą niepełnosprawną jest gorsza niż pozostałych [8].

Z pośród szeregu możliwości rozwiązania problemu pokonywania przeszkód przyjęto koncepcję wózka wyposażonego w zespół kroczący w postaci trójramiennika zakończonego kołami

zgodnie z rysunkiem 5. Wózek ten zaopatrzony jest w zespół napędowy umieszczony w osi trójnika.

Koncepcja przemieszczania wózka zakłada jazdę na drodze poziomej przy napędzanych kołach małych „trójnika", w tym czasie sam „trójnik" jest nienapędzany. Jego napęd jest włączany w momencie pokonywania przeszkody. Podczas pokonywania przeszkody włączone są również małe koła „trójnika".



Rys. 5. Model nominalny wózka inwalidzkiego (cm) oraz jego dekompozycja

Elementy składowe dekompozycji wózka według rysunku 5: fotel (1) – 8 kg, podstawa (2) – 1,5 kg, rama (3) – 10 kg, „trójnik" (4) – 5 kg, oś przednia (5) – 20 kg, os tylna (6) – 2 kg, małe koło (7) – 0,98 kg, duże koło (8) – 1,4 kg. Wielkości założone w modelu symulacyjnym.

Ze względów bezpieczeństwa przyjęty jest układ pokonywania przeszkody „tyłem", tzn. podczas pokonywania przeszkody fotel a wraz z nim przewożona osoba usytuowana jest plecami w kierunku ruchu.

5. BADANIA WÓZKA INWALIDZKIEGO

Przeprowadzone wcześniej badania wstępne wykazały, że przyjęty układ konstrukcyjny wózka inwalidzkiego pozwala oczekiwać pozytywnych wyników, co do realizacji stawianych wymogów.[9] W celu potwierdzenia wyników wstępnych i ich uściślenia badania kontynuowane były przy wykorzystaniu programu Adams12. Program ten umożliwia przeprowadzenie symulacji w przestrzeni.

5.1. Przebieg zmian nachylenia fotela podczas pokonywania przeszkody

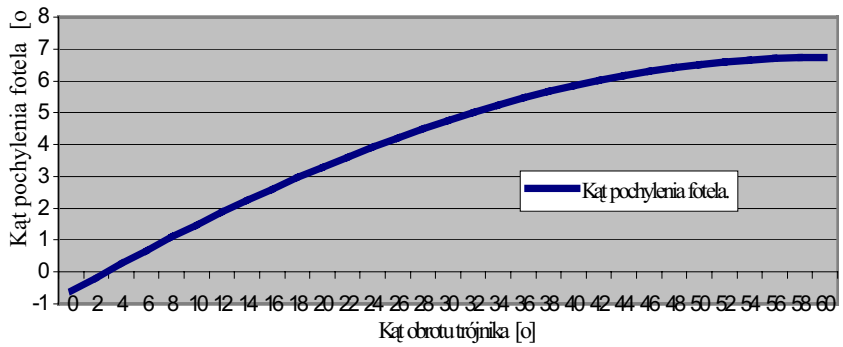
Ponieważ podczas pokonywania przeszkody ulega zmianie nachylenie fotela ze względu na bezpieczeństwo konieczne jest przeanalizowanie przebiegu zmian nachylenia fotela. Konieczne jest zachowanie określonych wartości nachylenia fotela. Została przyjęta maksymalna wartość kąta nachylenia fotela równa 10^o. W tym celu przeprowadzono szereg pomiarów obejmujących:

a) zmiana kąta nachylenia fotela podczas ruchu kroczącego trójnika (ruch obrotowy trójnika w przedziale od 0^o do 60^o pierwsza faza pokonywania przeszkody). Wartość maksymalna nie przekroczyła 7^o.

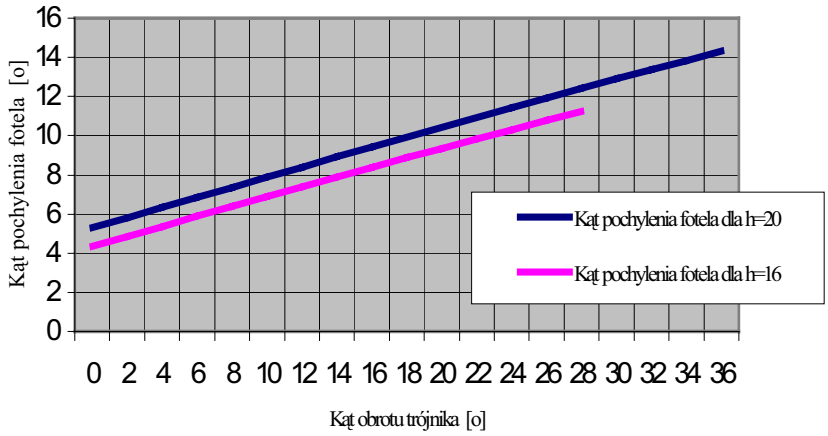
b) zmiana kąta przebieg nachylenia fotela podczas pokonywania przeszkody.

Pomiaru dokonano dla dwóch wysokości przeszkody h=16 cm i h=20 cm. Pomiar realizowany jest od momentu osiągnięcia przez koła jednej osi trójnika górnej powierzchni przeszkody.

Efektem pomiaru są krzywe wykazujące proporcjonalny wzrost wartości nachylenia fotela wraz ze wzrostem kąta obrotu „trójnika. Na podstawie wykresu rys. 8 oraz przeprowadzonego szerszego zakresu pomiarów stwierdzono, iż maksymalny kąt nachylenia fotela rośnie proporcjonalnie do wysokości przeszkody w badanym zakresie wysokości przeszkody (od 0 do 31 cm).



Rys. 7. Przebieg zmian kąta nachylenia fotela podczas ruchu kroczącego trójnika



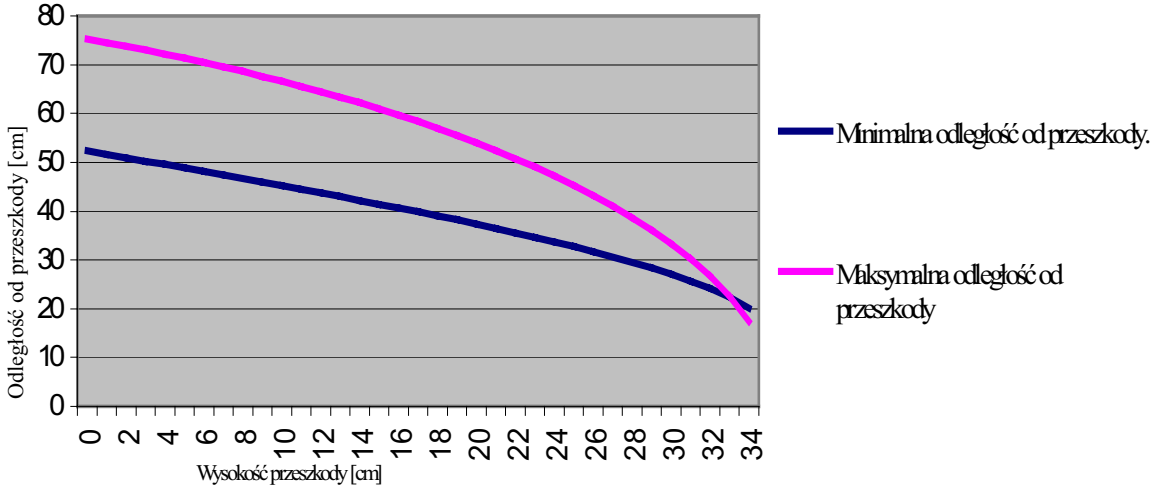
Rys. 8. Przebieg zmian kąta nachylenia fotela przy pokonywaniu przeszkody o wysokości h=16 cm i h=20 cm

5.2. Określenie sterowania układem napędowo-kroczącym

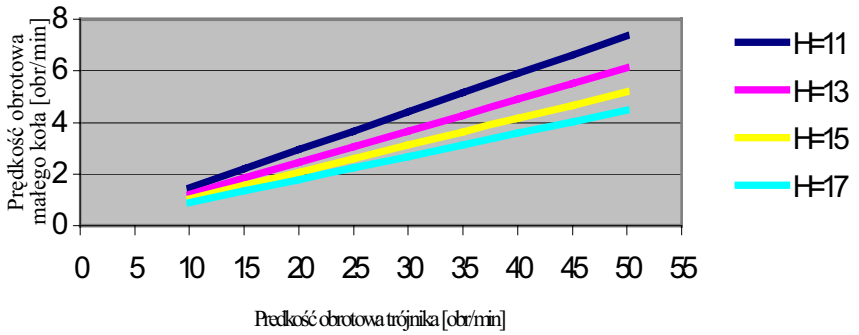
Realizacja pokonywania przeszkody ma złożony przebieg, dlatego też wymagane jest ustalenie:

a) odległości, w jakiej ma nastąpić włączenie napędu trójnika. Teoretyczny przedział odległości włączenia napędu trójnika zależny jest od prędkości obrotowej całego „trójnika" i jego małych kół. Rys. 10 przedstawia przedział włączania dla przypadku szczególnego tzn. prędkości obrotowe „trójnika" jak i małych kół są równe. Realizacja pokonywania przeszkody w wyliczonym przedziale zapewnia właściwą pracę tzn. nie następują uderzenia o przeszkodę.

b) wzajemnej zależności między prędkościami obrotowymi całego „trójnika" a jego małymi kołami



Rys. 10 Przedział włączania „trójnika" dla jednakowych prędkości „trójnika" i jego małych kół

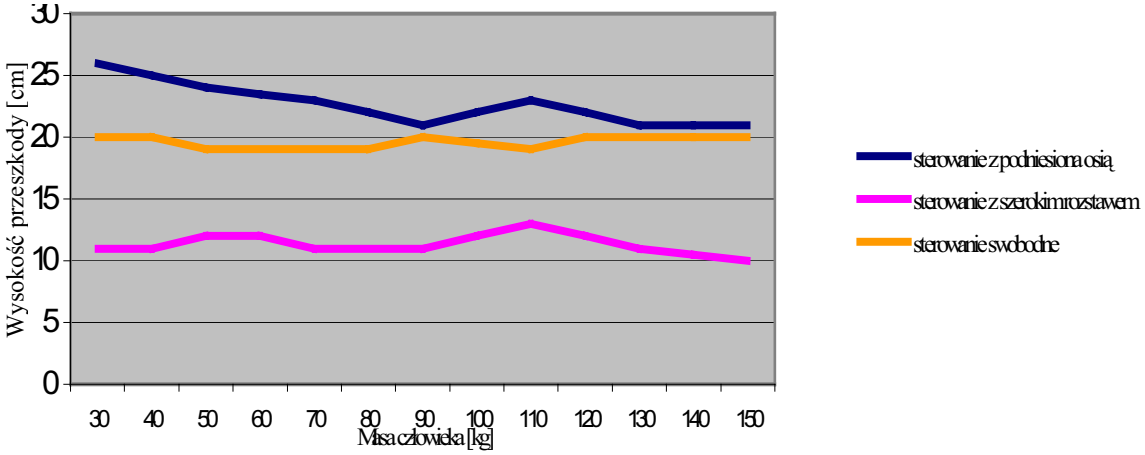


Rys. 11 Proporcje pomiędzy prędkościami: „trójnika" a jego małymi kołami.

Na podstawie wykresu widać, iż ze wzrostem wysokości przeszkody konieczne jest stosowanie coraz większych prędkości obrotowych „trójnika" w stosunku do prędkości małych kół.

5.3. Sposób sterowania a zdolność pokonywania przeszkody

Podczas pokonywania przeszkody możliwe jest rozróżnienie trzech sposobów sterowania trójnikiem. Pierwszy sposób sterowania polega na tym, iż po osiągnięciu przeszkody przez pierwszą oś „trójnik", podlega on zablokowaniu względem ramy. Pokonywanie przeszkody z tym ustawieniem realizowane jest w układzie z najdalej rozstawionymi punktami podparcia wózka inwalidzkiego, czyli na dwóch skrajnych osiach. W drugiej metodzie po wprowadzeniu dwóch osi zablokowanego trójnika względem ramy na poziom pokonywanej przeszkody następuje odblokowanie „trójnika" względem ramy. Wypadkowa siła reakcji podparcia po stronie „trójnika" jest przesunięta względem metody pierwszej w kierunku osi wleczonej. Trzecia metoda powoduje dalsze przesunięcie reakcji osi „trójnika" w kierunku osi wleczonej. Osiągnięte to jest poprzez podnoszenie zewnętrznej osi „trójnika" poprzez kontrolowany przeciwny obrót całego „trójnika".



Rys. 12 Zdolność pokonywania przeszkody w zależności od masy przewożonej osoby dla trzech sposobów sterowania

6. WNIOSKI

Zastosowanie wspomagania komputerowego poprzez zastosowanie programu Adams12 do przeprowadzenia diagnostyki konstrukcji w aspekcie realizowanego zadania pozwala wyciągnąć pozytywne wnioski, co do realizacji stawianych wymagań.

Pokonywanie przeszkody przez przedstawioną koncepcję wózka wymaga uwzględnienia wpływu szeregu parametrów jak prędkość kół „trójnika", samego „trójnika", wysokość przeszkody warunkujących prawidłowy przebieg pokonywania przeszkody. Wymienione czynniki należy rozpatrywać w kontekście określonych wielkości geometrycznych wózka inwalidzkiego. Narzuca to konieczności przeprowadzenia dalszych badań pod

względem zoptymalizowania jego parametrów geometrycznych.

LITERATURA

[1] Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2004, Warszawa, Główny Urząd Statystyczny.
[2] Tasiemki T. „Usprawnienia po urazach rdzenia kręgowego", 2001
[3] Materiały reklamowe firmy „AKSON" spółka jawna
[4] Materiały reklamowe firmy K. Stefański.
[5] Katalog wózków elektrycznych firmy REHAMOBIL ul. Kilińskiego 169, 90-353 Łódź
[6] Parris Wellman, Venkat Krovi, Vijay Kumar, William Harwin „Design of a Wheelchair with Legs for People with Motor Disabilities", Rehabilitation engineering, December 1995, str. 343
[7] http://www.idn.org.pl/users/kmark/ibot/index.html.
[8] Biuletyn prasowy MPiPS, 4-11 listopada 2002 r. Nr 133, str. 6-7.
[9] Staszałek R. „Problemy transportu osób niepełnosprawnych – nowe koncepcje w budowie mechatronicznej wózków inwalidzkich", Międzynarodowa konferencja naukowa „Transport XXI wieku.", Warszawa 20-22 września 2004.

Mgr inż. Roman Staszałek jest asystentem na Wydziale Mechanicznym Akademii Techniczno-Rolniczej, ukończył Politechnikę Warszawską na Wydziale Transportu o specjalności Eksploatacja i Utrzymanie Pojazdów Samochodowych w 1989 r, po studiach rozpoczął pracę na PKP w lokomotywowni Warszawa Olszynka-Grochowska kontynuując zainteresowania rozpoczęte wyjazdem naukowym na Wydziale Transportu, po studiach rozpoczął stałą współpracę z Ligą Obrony Kraju, w 1992 roku podjął pracę w Zespole Szkół Zawodowych z klasami Technikum Samochodowego w Szczuczynie, od 2000 roku pracuje na Akademii Techniczno-Rolniczej, w 2001 roku rozpoczął studia doktoranckie na Politechnice Warszawskiej Wydziału Transportu gdzie podjął temat związany z transportem osób niepełnosprawnych

ANALIZA NIERÓWNOMIERNOŚCI RUCHU TŁOKA SIŁOWNIKA HYDRAULICZNEGO

Piotr MENCHEN

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Wydział Mechaniczny
Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów
85-796 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7; e-mail: menchen@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono krótką charakterystykę siłowników hydraulicznych o posuwisto–zwrotnym ruchu tłoka. Następnie omówiono przyczyny występowania nierównomierności ruchu tłoka w siłownikach.

Słowa kluczowe: siłownik hydrauliczny, nierównomierność ruchu tłoka

ANALISYS OF THE PISTON MOTION IRREGULARITY IN HYDRAULIC CYLINDERS

Summary

In this paper there is a short characteristic of hydraulic cylinders presented. Next there are causes of piston motion irregularity discussed.

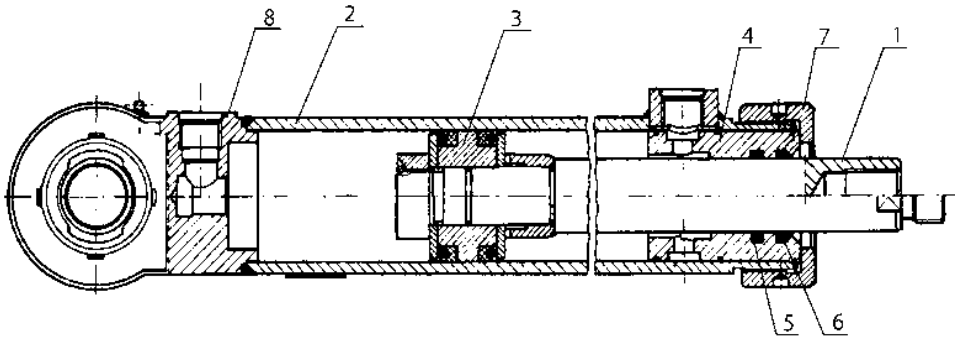
Keywords: hydraulic cylinder, piston motion irregularity

1. WSTĘP

Siłowniki hydrauliczne są rodzajem silników wyporowych. W siłownikach hydraulicznych zachodzi zamiana energii ciśnienia zakumulowanej w doprowadzonym do siłownika ciekłym czynniku roboczym na energię mechaniczną. W odróżnieniu od silników obrotowych siłowniki wykonują przeważnie ruchy posuwisto – zwrotne o ograniczonym skoku, rzadziej ruchy obrotowe o ograniczonym kącie obrotu. Ze względu na ograniczony skok (kąt obrotu) ich cechą charakterystyczną, nie występującą w silnikach obrotowych, jest konieczność zapewnienia ruchu powrotnego czy to przez działanie siły ciężkości lub siły zgromadzonej w sprężynie (w przypadku siłowników jednostronnego działania), czy też za pośrednictwem rozdzielacza sterującego dopływem i odpływem cieczy do i z odpowiednich komór siłownika (w przypadku siłowników dwustronnego działania i wahliwych).

Siłowniki hydrauliczne o posuwisto-zwrotnym ruchu tłoka (rys.1) stosowane są jako elementy wykonawcze w maszynach roboczych, wtryskarkach, obrabiarkach, robotach, w układach hydraulicznych samolotów i wielu innych złożonych systemach technicznych z napędem i sterowaniem hydraulicznym.

Z uwagi na charakter i specyfikę pracy tych elementów wykonawczych wymagana jest od nich przede wszystkim równomierność ruchów roboczych. Wymóg ten związany jest z precyzją pozycjonowania tłoczyska siłownika np. w robotach i podajnikach, z równomiernością siły



Rys. 1. Typowa konstrukcja siłownika [4]
1 - tłoczysko, 2 - cylinder. 3 - tłok z uszczelnieniami stykowymi działającymi w obu kierunkach, 4 - dławnica, 5 - uszczelka zabezpieczająca przed przeciekami zewnętrznymi, 6 - pierścień zgarniający, 7 - pokrywa przednia, 8 - pokrywa tylna

dociskającej np. w wtryskarkach i prasach hydraulicznych oraz z bezpieczeństwem – hydraulika samolotowa. W związku z potrzebą zwiększenia efektywności i precyzji działania elementów wykonawczych układów hydraulicznych istnieje potrzeba przeprowadzenia badań wpływu czynników powodujących nierównomierność ruchu tłoka siłownika hydraulicznego.

2. PRZYCZYNY NIERÓWNOMIERNOŚCI RUCHU TŁOKA SIŁOWNIKA

Prędkość liniowa tłoka V jest ilorazem chłonności rzeczywistej Q_S siłownika i powierzchni roboczej tłoka A :

$$V = \frac{Q_S}{A} \qquad [\frac{m}{s}] \qquad (1)$$

gdzie:

Q_S - chłonność rzeczywista $[\frac{m^3}{s}]$, A – pole powierzchni roboczej tłoka [m^2].

Wartość chłonności rzeczywistej siłownika hydraulicznego jest zależna od występujących strat objętościowych, których miarą jest sprawność objętościowa:

$$\eta_V = \frac{Q_{St}}{Q_S} \qquad (2)$$

gdzie: Q_{St} - chłonność teoretyczna $[\frac{m^3}{s}]$,

Q_S - chłonność rzeczywista $[\frac{m^3}{s}]$.

Chłonność rzeczywista jest większa od teoretycznej o wartości strat, które obejmują przecieki wewnętrzne siłownika (z obciążonej komory cylindra do komory spływowej) oraz zewnętrzne (poprzez dławnicę na zewnątrz cylindra). Dzięki skuteczności nowoczesnych uszczelnień osiągane są stosunkowo niewielkie opory ruchu oraz pomijalnie małe przecieki zarówno wewnętrzne jak i zewnętrzne. Z uwagi na te wielkości sprawność objętościową siłowników hydraulicznych uznaje się za bliską jedności.

Pomimo tak wysokiej sprawności objętościowej, prędkość ruchu tłoka siłowników hydraulicznych nie jest stała w czasie jego suwu. Na nierównomierność tego ruchu mają wpływ następujące czynniki:

- parametry cieczy roboczej (natężenie przepływu, lepkość, ściśliwość)
- obciążenie tłoczyska siłownika,
- zużycie elementów siłownika.

2.1. Wpływ parametrów cieczy roboczej

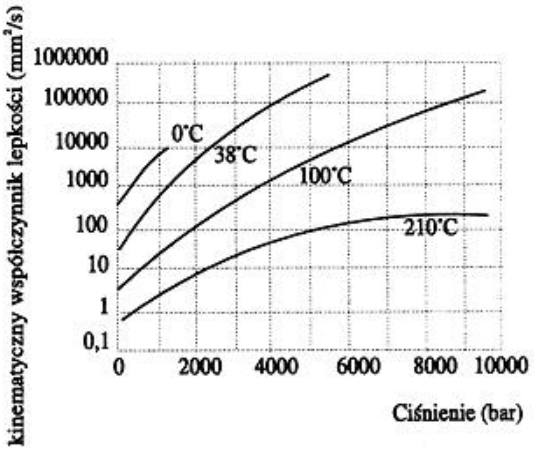
Wartość natężenia przepływu cieczy zasilającej siłownik może ulegać pewnym zmianom wskutek strat w układzie hydraulicznym, co z kolei powoduje zmiany prędkości ruchu tłoka siłownika.

Na równomierność ruchu tłoka siłownika ma wpływ lepkość cieczy roboczej, która jest miarą tarcia wewnętrznego tej cieczy. Wartość lepkości określana jest najczęściej za pomocą kinematycznego współczynnika lepkości - ν. Wymagane wartości kinematycznego współczynnika lepkości oleju dla poprawnej pracy układu hydraulicznego wynoszą [1]:

- min. dopuszczalna lepkość w temperaturze maksymalnej - 10 mm^2/s,
- zakres lepkości przy pracy w temp. normalnej - 20...100 mm^2/s.

Zbyt mała lepkość powoduje zwiększenie przecieków oraz przyspieszone zużycie współpracujących elementów. Zbyt duża lepkość jest z kolei przyczyną zwiększonych oporów ruchu tłoka.

Lepkość oleju hydraulicznego jest zależna od jego temperatury oraz ciśnienia pracy (rys. 2). Wzrost temperatury powoduje spadek lepkości oleju, natomiast wzrost ciśnienia przyczynia się do zwiększenia jego lepkości.

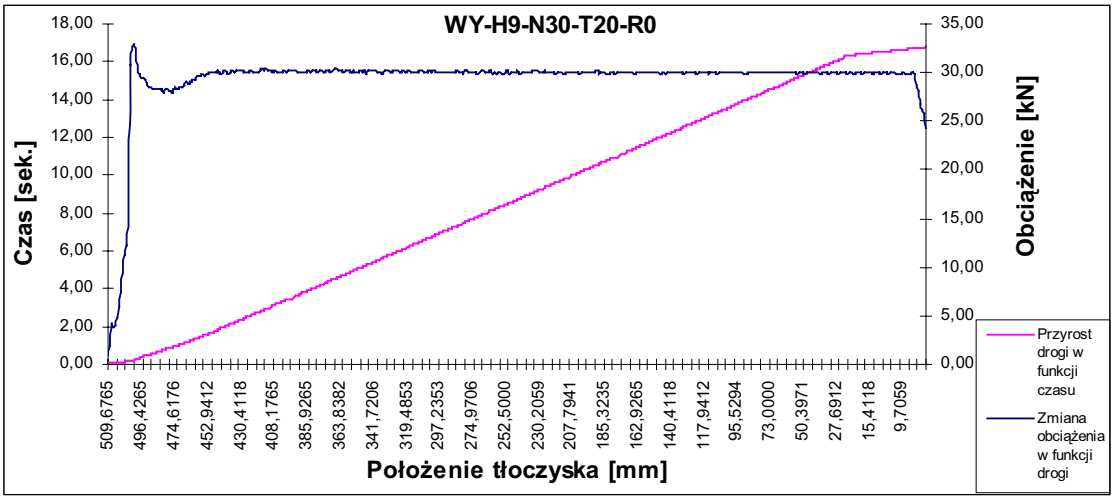


Rys. 2. Wpływ temperatury i ciśnienia na lepkość oleju hydraulicznego [3]

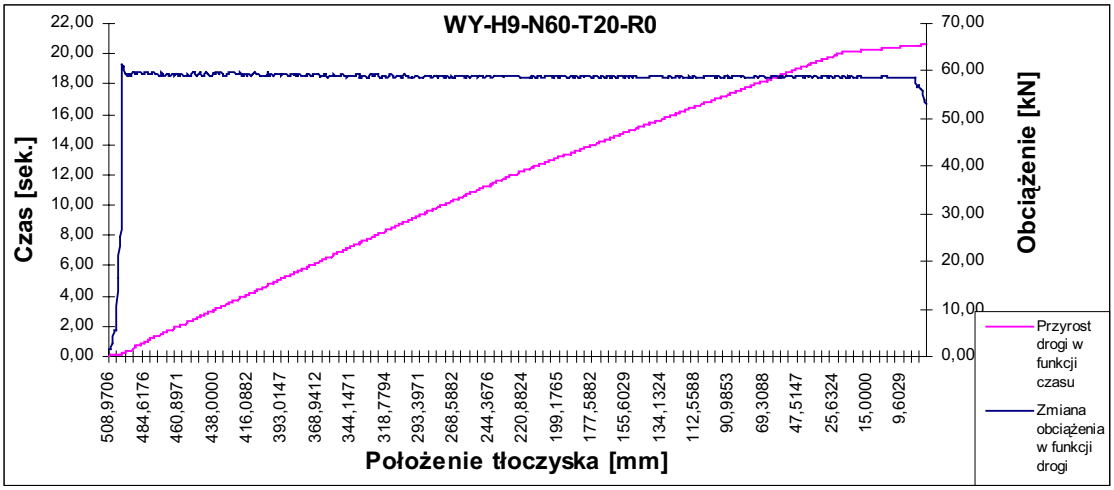
Istotny wpływ na równomierność ruchu tłoka siłownika hydraulicznego ma zawartość powietrza w oleju hydraulicznym, która powoduje zmianę jego ściśliwości.

Ściśliwość jest to zdolność zmieniania objętości od wpływem sił zewnętrznych. Miarą ściśliwości jest moduł sprężystości K. Jego średnia wartość dla oleju mineralnego nienasyconego w temperaturze 50 °C i przy ciśnieniu około 20 MPa wynosi $(1,6 \div 1,8)\ 30 \cdot 10^3$ [MPa].

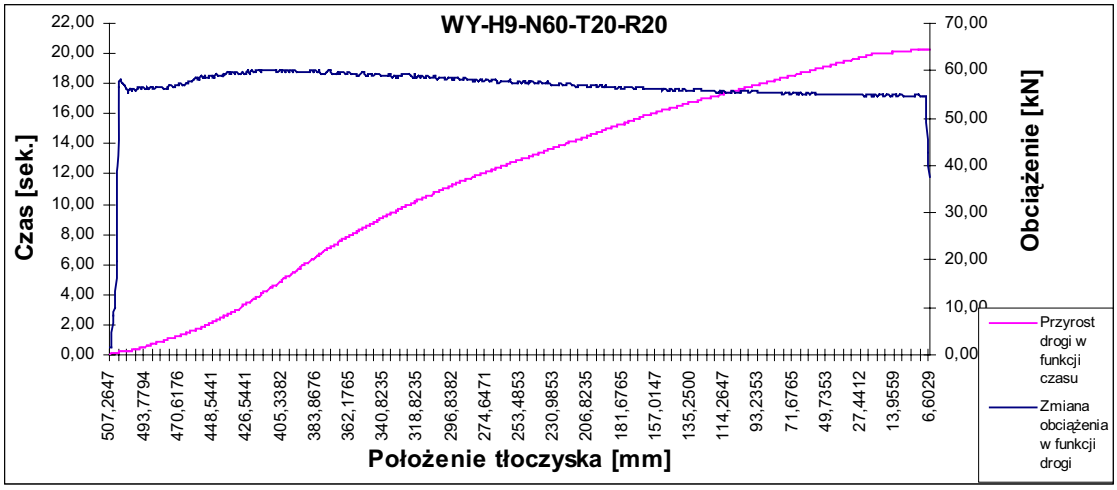
a)



b)

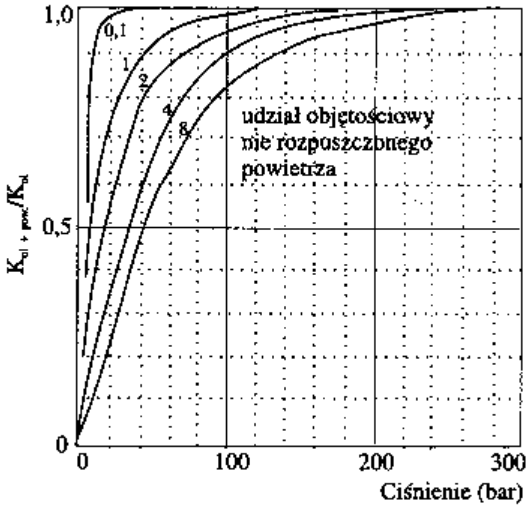


c)



Rys. 3. Wykresy przemieszczenia tłoka w funkcji czasu dla różnych obciążeń tłoczyska [2]
a - obciążenie 30 kN, b - obciążenie 60 kN, c - obciążenie 60 kN niewspółosiowe

Szczególnie ważna jest ilość nie rozpuszczonego powietrza w cieczy hydraulicznej. Ilość powietrza rozpuszczonego zależy od ciśnienia i temperatury, w jakich zachodzi absorpcja. Poprzez wpływ na ściśliwość oleju nierozpuszczone powietrze ma znaczący wpływ na właściwości dynamiczne. Rysunek 4 przedstawia wpływ nie rozpuszczonego powietrza na moduł sprężystości K oleju hydraulicznego.



Rys. 4. Wpływ nie rozpuszczonego powietrza na moduł sprężystości K oleju hydraulicznego [3]

2.2. Wpływ obciążenia siłownika

Zmiana wielkości obciążenia ma bezpośredni wpływ na właściwości dynamiczne tłoka siłownika. Szczególnie istotny jest rodzaj przyłożonego obciążenia. Obciążenie przyłożone niewspółosiowo jest powodem znacznych naprężeń w węzłach prowadzących tłoczysko, co wiąże się ze zaburzeniami równomierności ruchu tłoka siłownika. Zaburzenia równomierności ruchu tłoka siłownika hydraulicznego dla różnych obciążeń można zaobserwować na rys. 3.

2.3. Wpływ zużycia elementów siłownika

Zużycie elementów siłownika hydraulicznego ma duży wpływ na nierównomierność ruchu tłoka. Zużycie gładzi cylindra oraz pierścieni uszczelniających (rys. 5) jest przyczyną wzrostu przecieków, co powoduje zaburzenia w ruchu tłoka. Innym czynnikiem, który może powodować nierównomierność ruchu tłoka jest nadmierne zużycie elementów prowadzących tłoczysko.

3. PODSUMOWANIE

Szczegółowa analiza i badania istotnych czynników mających wpływ na nierównomierny ruch tłoka powinna umożliwić opracowanie metody pośredniej oceny zużycia elementów siłownika hydraulicznego na podstawie badania równomierności ruchu tłoka.

Rys. 5. Zużyte uszczelnienie tłoka siłownika hydraulicznego

Obecnie w literaturze nie spotyka się metod oceny zużycia elementów siłowników hydraulicznych, które nie wymagałyby ich demontażu i bezpośredniej weryfikacji.

W ramach grantu KBN w Katedrze Maszyn Roboczych i Pojazdów Wydziału Mechanicznego ATR w Bydgoszczy przeprowadzone zostaną badania wpływu wymienionych czynników na ruch tłoka siłowników, które pozwolą stwierdzić, czy na podstawie analizy ruchu tłoka możliwa będzie ocena stanu technicznego wewnętrznych elementów siłownika hydraulicznego

LITERATURA

[1] Chalamoński M., Diagnozowanie układów hydraulicznych maszyn roboczych, Wyd. Uczelniane ATR, Bydgoszcz, 2000.
[2] Dębowski B., Badanie równomierności ruchu tłoka siłownika hydraulicznego, Praca dyplomowa, Wydział Mechaniczny ATR, Bydgoszcz, 2003.
[3] Osiecki A., Hydrostatyczny napęd maszyn., WNT, Warszawa, 1998.
[4] Stryczek S., Napęd hydrostatyczny – elementy, WNT, Warszawa, 1998.

Piotr MENCHEN - mgr inż., jest asystentem w Katedrze Maszyn Roboczych i Pojazdów Wydziału Mechanicznego ATR w Bydgoszczy. Członek PTDT i SIMP. Głównym obszarem zainteresowań naukowych autora są zagadnienia eksploatacji oraz diagnostyki układów hydraulicznych maszyn roboczych.

DIAGNOSTYKA POWIERZCHNI Z ZASTOSOWANIEM SIECI NEURONOWYCH

Tadeusz MIKOŁAJCZYK

ATR Bydgoszcz, Katedra Inżynierii Produkcji
85-796 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7, tami@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono zrealizowany w Katedrze Inżynierii Produkcji ATR Bydgoszcz układ do pomiaru stanu powierzchni metodą reflektometryczną. Opracowany układ zawiera oświetlacz laserowy i odbiornik w postaci diody. Sygnał z diody przesyłany jest do komputera przez kartę AC. W systemie analizy sygnału zastosowano sieć neuronową, którą zastosowano do skalowania układu. Dodatkowymi wejściami sieci są parametry technologiczne procesu. Uzyskane wyniki wskazują na poprawne działanie układu i możliwość jego praktycznego zastosowania do bezstykowej oceny stanu powierzchni.

Słowa kluczowe: diagnostyka powierzchni, pomiary reflektometryczne, sieci neuronowe

SURFACE DIAGNOSTICS WITH NEURAL NET USE

Summary

In work presents system to surface roughness measure with reflectometric method, realized in Department of Production Engineering Technical & Agriculture University from Bydgoszcz of Poland. The results of reflectometric measure with feed and circle nose edge was used by neural network to investigations influence this parameters on surface roughness parameter. The useful neural network to scaling presented reflectometric stand was defined.

Key words: surface diagnostics, reflectometric measure, neural net

1. WPROWADZENIE

Rozwój współczesnego wytwarzania wymaga tworzenia warunków do oceny stanu powierzchni obrobionej. Na stan powierzchni obrobionej wpływa wiele czynników związanych z narzędziem jak i z parametrami procesu przy uwzględnieniu własności materiału obrabianego i ostrza. Wśród technik pomiaru stanu powierzchni rośnie znaczenie nowych metod oceny stanu powierzchni, w tym także metod reflektometrycznych [1,2,3], umożliwiających bezstykową ocenę powierzchni. Zaawansowane jest opracowanie podstaw teoretycznych tych metod [2]. Znajdują one zastosowanie szczególnie w zakresie powierzchni o dużej gładkości, aczkolwiek pojawiają się prace, w których prezentuje się rozwiązania umożliwiające taką oceną stanu powierzchni w szerszym zakresie parametrów. Upowszechnienie interfejsów komputerowych stwarza możliwość budowy oryginalnych skomputeryzowanych stanowisk badawczych wspartych specjalnym oprogramowaniem umożliwiającym realizację nowych jakościowo zadań.

W pracy przedstawiono stanowisko do bezstykowych pomiarów stanu powierzchni metodą reflektometryczną z zastosowaniem sieci neuronowej do skalowania układu.

2. REFLEKTOMETRYCZNE STANOWISKO DO BADAŃ STANU POWIERZCHNI

2.1. Koncepcja pracy

Chropowatość powierzchni obrobionej ostrzem punktowym jest uzależniona do kinematyczno-geometrycznego odwzorowania ostrza w materiale. W większości przypadków ma miejsce łukowe odwzorowanie naroża ostrza o promieniu r_ε. Wysokość nierówności teoretyczną R_{zt} określa się wtedy zależnością:

$$R_{zt} = \frac{f^2}{8r_z} \tag{1}$$

gdzie:

f – posuw mm,

r_e – promień naroża mm.

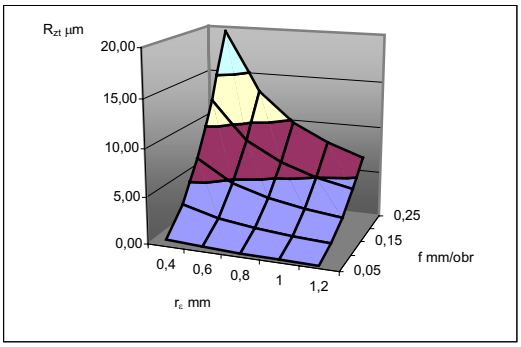
Istnieje związek pomiędzy często stosowanym parametrem R_a powierzchni, a parametrem R_z, którego wartość jest 4* większa od R_a

Tak więc w dużym uproszczeniu można stwierdzić, że parametry obróbki i promień naroża

determinują stan powierzchni obrobionej. W praktyce jest ona kształtowana również innymi czynnikami takimi jak:

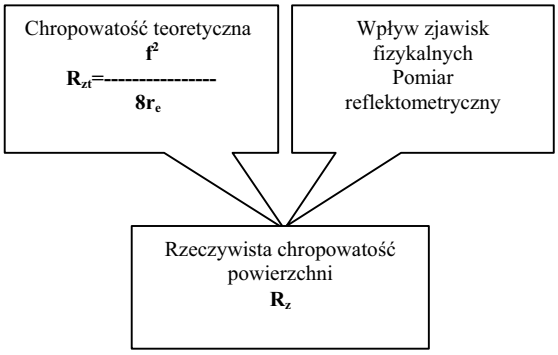
- minimalna grubość warstwy skrawanej,
- płynięcie warstwy wierzchniej,
- zjawisko narostu,
- szczerbatość ostrza,
- własności materiału obrabianego.

Teoretyczną wysokość nierówności w skrawaniu ostrzem punktowym zilustrowano na rys. 1. W praktyce [4] zauważa się wyraźną różnicę wartości rzeczywistej i teoretycznej wysokości nierówności, szczególnie w zakresie małych wartości posuwów, gdzie zaznacza się wpływ wyraźny minimalnej grubości warstwy skrawanej. Ogranicza on celowość stosowania małych wartości posuwów w skrawaniu.



Rys. 1. Teoretyczny wykres zależności (1)

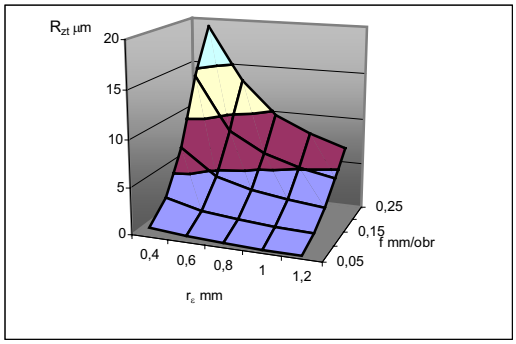
Przedstawiony wykres wskazuje, że podstawowym czynnikiem determinującym stan powierzchni jest odwzorowanie geometryczno-kinematyczne ostrza. Do tego wpływu dodają się algebraicznie wpływy innych zjawisk, które poza zjawiskiem minimalnej grubości warstwy skrawanej trudno jest ilościowo określić. W oparciu o ten wniosek opracowano oryginalną koncepcje budowy stanowiska badawczego do określania stanu powierzchni. Koncepcja ta opiera się na powiązaniu prognozowania stanu powierzchni jako superpozycji odwzorowania kinematyczno-geometrycznego parametrów wejściowych f i r_ε z dodatkowym wpływem zjawisk fizykalnych określonym sposobem reflektometrycznym (rys. 2).



Rys. 2. Koncepcja stanowiska

Jako dogodne środowisko do integracji informacji według koncepcji zaprezentowanej na rys. 2 uznano sieć neuronową.

Przeprowadzono próbę aproksymacji zależności (1) siecią neuronową [7]. Analizy przeprowadzono w nakładce Neuralyst na program Excel. Do uczenia sieci zastosowano wartości uzyskane z obliczeń wg zależności (1) w zakresie parametrów f=0,05-0,24 mm/obr i r_ε=0,4-1,2 mm. Uzyskane wyniki aproksymacji zaprezentowane na rys. 3. Wskazują one na zdolność sieci neuronowej do aproksymacji tej funkcji. teoretycznej. Odchyłki wartości wynosiły –6 do 4 %, jedynie dla wartości posuwu 0,05 pojawiały się wartości większe rzędu 25%.



Rys. 3. Wartości według zależności (1) aproksymowane siecią neuronową (2-4-1)

Uzasadnia to wyniki zaprezentowane w pracy [5], gdzie z zastosowaniem sieci neuronowej aproksymowano wyniki pomiarów reflektometrycznych z użyciem jako dodatkowych wejść właśnie wartości posuwu i promienia naroża ostrza użytego do obróbki powierzchni.

2.2. Opis stanowiska badawczego

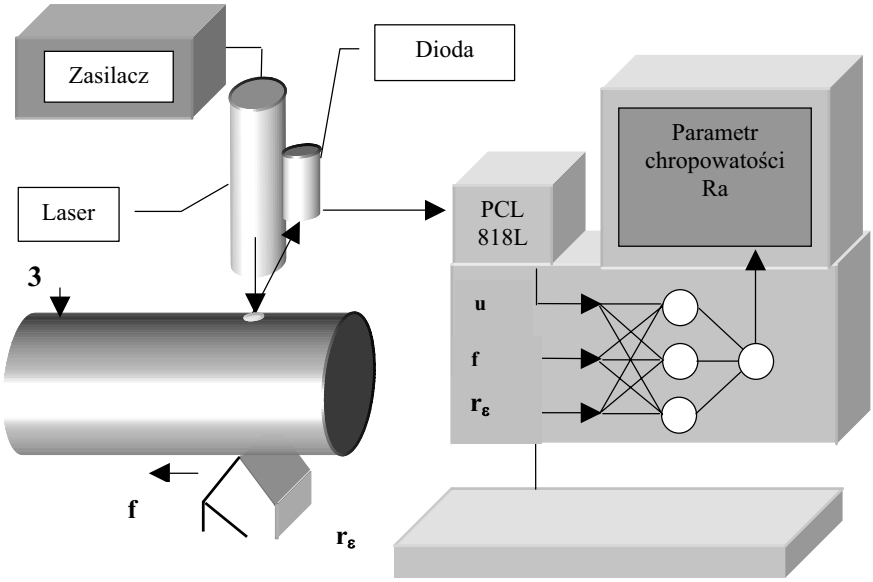
W celu weryfikacji koncepcji pomiarów on-line stanu powierzchni sposobem reflektometrycznym, ze skalowaniem układu pomiarowego siecią neuronową, opracowano stanowisko badawcze do pomiarów powierzchni toczonej (rys. 4).

Jako oświetlacza użyto wskaźnika laserowego natomiast odbiornikiem rozproszonego światła była dioda, którą połączono z mikrokomputerem IBM przy pomocy wejścia analogowo cyfrowego karty PCL818L (firmy Advantech). Badania przeprowadzono przy stałej odległości czoła czujnika reflektometrycznego od powierzchni obrobionej zapewniającej największy poziom sygnału w odbiorniku. Wartość tę określono w wyniku serii prób wstępnych.

Do obsługi stanowiska opracowano w języku Visual Basic specjalne oprogramowanie Neural_Ra. Zastosowano w nim obiekt Neural Networks ver. 1.1., który obsługuje pracę sztucznej sieci neuronowej ze wsteczną propagacją błędu. W programie sieć neuronową skonfigurowano według schematu przedstawionego na rys. 4, a więc

z zastosowaniem danych: wartości posuwu - f i promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej - r_ε.

W programie możliwe jest dowolne konfigurowanie liczby wejść sieci neuronowej, przy czym jedno z nich stanowi wartość sygnału z układu reflektometrycznego. Umożliwia to modyfikacje stanowiska przy uwzględnieniu, zarówno innych informacji wprowadzanych z klawiatury jak i dodatkowych wejść informacyjnych z układu reflektometrycznego przy jego rozbudowie, czy też użyciu jako odbiornika linijki czy matrycy CCD.

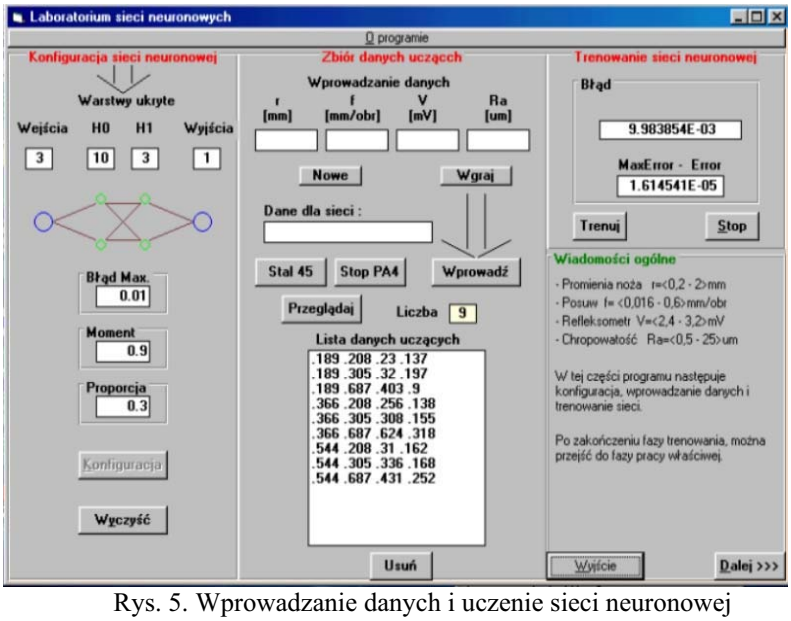


Rys. 4. Schemat stanowiska do reflektometrycznych pomiarów powierzchni

Działanie programu Neural_Ra zawiera się w czterech sekwencjach:

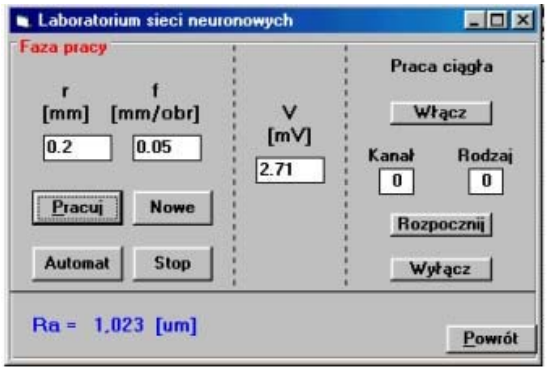
- konfiguracja sieci neuronowej,
- wprowadzanie danych do uczenia sieci,
- trenowanie sieci,
- pomiary.

Pierwsze trzy sekwencje umieszczono na formie przedstawionej na rys. 5. W sekwencji konfiguracji sieci, następuje definiowanie zmiennych i dobór parametrów pracy sieci neuronowej. W drugiej sekwencji następuje wprowadzanie danych potrzebnych do uczenia sieci. Wykorzystuje się w nich wartości parametrów, w jakich została obrobiona powierzchnia, wyniki pomiarów reflektometrycznych oraz jako wyniki wyjściowe wyniki pomiarów z profilografometru stykowego.



Rys. 5. Wprowadzanie danych i uczenie sieci neuronowej

Po sekwencji trzeciej w której odbywa się trenowanie sieci neuronowej na ekranie prezentowane są parametry jej błędu. W sekwencji czwartej (rys. 6), program generuje on-line parametr chropowatości R_a na podstawie przetworzonego sygnału z czujnika oraz danych jakie wykorzystane zostały do trenowania sieci neuronowej.



Rys. 6. Ekran przedstawiający on-line wynik działania sieci z parametrem Ra

Przeprowadzone próby wykazały poprawność działania opracowanego programu – uzyskano możliwość bezstykowego pomiaru parametru R_a powierzchni obrabianej w czasie rzeczywistym. W czasie prób uzyskiwano błędy oceny parametru powierzchni rzędu 10 %. Możliwa jest zmiana ocenianego parametru stanu powierzchni wymaga jednak zmiany danych użytych do uczenia sieci. Parametry wytrenowanej sieci mogą zostac zapisane.

Praca stanowi próbę zastosowania sieci neuronowych do skalowania układu reflektometrycznego. Stwierdzono, że sieć neuronowa, współpracująca z reflektometrycznym układem pomiarowym o bardzo prostej budowie, potrafi oceniać przy uwzględnieniu dodatkowej informacji stan powierzchni obrobionej, w różnych warunkach, w szerokim zakresie wartości parametrów chropowatości. Prowadzone prace wskazują na celowość stosowania sieci neuronowych do skalowania układów pomiarowych.

Innym kierunkiem zastosowania sieci neuronowych do badań stanu powierzchni jest ich użycie do rozpoznawania obszaru zużycia ostrza [6] prezentowane też w materiałach tej konferencji.

4. WNIOSKI

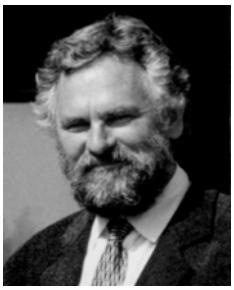
Przeprowadzone wstępne próby stanowiska do pomiaru reflektometrycznego powierzchni z zastosowaniem sieci neuronowych wskazują na poprawność działania stanowiska badawczego wraz z oprogramowaniem.

Celowe jest dalsze prowadzenie prób weryfikacji działania programu z uwzględnieniem gatunku obrabianego materiału oraz odległości czujnika od toczonej powierzchni, a także oceny powierzchni dla innych technologii jej wykonania.

Celowe jest poszukiwanie nowych rozwiązań stanowiska zapewniających uzyskanie informacji w zakresie promieniowania odbitego w kierunku zwierciadlanym jak i spektrum światła rozproszonego.

LITERATURA

[1] Cellary A., Wieczorkowski M.: Bezstykowa głowica laserowa do pomiaru geometrycznej struktury powierzchni. Mechanik 7/1994.
[2] Łukianowicz Cz.: Optyczne metody oceny mikrogeometrii powierzchni wykorzystujące kątowy rozkład natężenia światła rozproszonego. Mechanik 5-6/1991.
[3] Karpiński T., Łukianowicz Cz.: System kontrolno-pomiarowy do oceny mikronierówności powierzchni przedmiotów będących w ruchu. Prof. dr inż. Tadeusz Karpiński,, Jubileusz 40-lecia pracy naukowej i dydaktycznej Politechnika Koszalińska, Koszalin, 1999.
[4] Kawalec M.: Skrawanie hartowanych stali i żeliwa narzędziami o określonej geometrii ostrza. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Rozprawy nr 234, Poznań, 1990
[5] Mikołajczyk T.: Wykorzystanie sieci neuronowych do oceny chropowatości powierzchni metoda refleksometryczną. Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Obróbka skrawaniem, Kraków 2000.
[6] Mikołajczyk T., Nowicki K.: Ocena obrazu zużycia ostrza z wykorzystaniem sieci neuronowych. III konferencja n-t, Mechatronika'97, Warszawa 1997.
[7] Tadeusiewicz A.: Sieci neuronowe PWN, Warszawa, 1995



Mikołajczyk Tadeusz, ur. 1951 r., dr inż., adiunkt w Katedrze Inżynierii Produkcji ATR Bydgoszcz, opiekun Koła Naukowego Mechaników, prace z zakresu podstaw skrawania i konstrukcji narzędzi jak też zastosowań mechatroniki w inżynierii produkcji

WYKORZYSTANIE APROKSYMACJI I INTERPOLACJI MODELU STANU MASZYN W PROCESIE GENEZOWANIA

Joanna WILCZARSKA
Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów, Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno – Rolnicza
ul. S.Kaliskiego 7, 85-763 Bydgoszcz, e-mail: asiulazol@atr.bydgoszcz.pl

Henryk TYLICKI
Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów, Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno – Rolnicza
ul. S.Kaliskiego 7, 85-763 Bydgoszcz, e-mail: tylicki@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono podstawowe problemy procesu genezowania stanu maszyn. Opisano najprostszy podział metod genezowania i przesłanki wykorzystania tego procesu w eksploatacji maszyn. Zaproponowano wykorzystanie metod aproksymacji i interpolacji w procesie genezowania stanu maszyn.

Słowa kluczowe: genezowanie stanu maszyn, aproksymacja, interpolacja

USING APPROXIMATION AND INTERPOLATION OF MODEL OF MACHINES CONDITION IN GENESIS

Summary

In work basic problems of genesis machines condition were introduced. Straightest division of methods was described genesis and premises of utilization of this process in exploitation of machines. Utilization of methods of approximation and interpolation was proposed in process genezowania of state machines.

Keywords: genesis machines condition, approximation, interpolation

1. WPROWADZENIE

Doskonalenie eksploatacji maszyn, oprócz diagnozowania, które zapewnia informację o aktualnym stanie technicznym maszyny oraz prognozowania, które przy założeniu monotoniczności zmian wartości parametrów diagnostycznych w czasie eksploatacji umożliwia wyznaczenie terminu i zakresu obsługiwania maszyny, wymaga także wyznaczenia genezy stanu maszyny.

Genezowanie stanu technicznego zespołów i układów maszyny powinno polegać na określeniu (przy niepełnych lub niepewnych danych wartości parametrów diagnostycznych) trendu zmian wartości parametrów diagnostycznych, charakteryzującego proces pogarszania się stanu maszyny w przeszłości, przyrównaniu chwilowych wartości parametrów diagnostycznych do ich wartości granicznych. Powinno to stanowić podstawę do szacowania zapasu czasu niezawodnej pracy zespołów i układów maszyny w interesującym użytkownika przedziale czasu przeszłego eksploatacji maszyny lub podstawę do analizy przyczyny, zlokalizowanego w chwili badania, uszkodzenia maszyny. Pomimo formułowanych, w różnych opracowaniach [1,2,3] potrzeby uzyskiwania powyższych informacji, występuje brak metod genezowania w postaci algorytmów obliczeniowych do szacowania stanu maszyny w czasie przeszłym jej eksploatacji.

2. CHARAKTERYSTYKA PROCESU GENEZOWANIA

Na podstawie analizy literaturowej [1,3,6] oraz badań własnych [4,5] można dokonać następującego podziału metod genezowania:

Genezowanie sytuacyjne

W przypadku genezowania sytuacyjnego przyczynę wystąpienia niezdatności określa się na podstawie oględzin przeprowadzonych bezpośrednio po zaistnieniu zdarzenia. Zebrane w ten sposób informacje (dane sytuacyjne) służą do porównania z danymi sytuacyjnymi powstałymi w wyniku zamodelowania pewnych uszkodzeń, co pozwala na poszukiwanie danych odpowiadających danym sytuacyjnym zdarzenia wejściowego. Podczas modelowania danego zdarzenia znana jest

przyczyna, która w konsekwencji powinna doprowadzić do niezdatności maszyny i w momencie uszkodzenia gromadzone powstałe w ten sposób dane sytuacyjne tworzą bazę odpowiadającą pewnym, niekiedy typowym uszkodzeniom. Wykorzystuje się je przy ustalaniu przyczyn zaistniałej niezdatności maszyny porównując zebrane informacje z danymi sytuacyjnymi odpowiadającymi konkretnym zdarzeniom oraz nierzadko wykorzystuje się także własną wiedzę. W ten sposób możliwe jest określenie najbardziej prawdopodobnej przyczyny wystąpienia uszkodzenia.

Genezowanie na podstawie rejestrowanych symptomów

Założono, że dany jest obiekt techniczny (maszyna), w którym co pewien czas rejestrujestrowany jest jego stan, zbierając informacje na temat poszczególnych elementów. W momencie utraty przez maszynę zdatności można na podstawie zebranych danych jak i oględzin obiektu technicznego stwierdzić, jaka mogła być przyczyna powstania uszkodzenia danego elementu, bądź też jego stan, zbierając informacje na temat poszczególnych elementów. Wartości symptomów są rejestrowane a następnie zapisywane i odczytywane. Przyrównuje się je do wartości granicznych.

Genezowanie na podstawie informacji zebranych z otoczenia

Najprościej mówiąc jest to określenie przyczyn zaistniałego stanu danego obiektu technicznego na podstawie relacji świadków danego zdarzenia. Na przykład wypadek samochodowy jest najlepszym tego przykładem, gdzie na podstawie między innymi relacji świadków możemy określić przyczynę powstania wypadku.

Przykładem mogą być tu również informacje przekazane przez osobę obsługującą daną maszynę bądź też urządzenie. Może to dostarczyć nam bardzo cennych danych o zachowaniu się obiektu technicznego przed uszkodzeniem.

W przemyśle bardzo często wykorzystuje się kamery przemysłowe mogące pomóc w ocenie przyczyn powstałej niezdatności. Nasuwają się tutaj w zasadzie najprostsze przypadki ludzkich błędów (niekiedy także i ludzkiej głupoty).

Podsumowując powyższe sposoby, bądź też metody genezowania stanu technicznego obiektów technicznych, łatwo zauważyć, iż każdy z powyższych toków postępowania można by ze sobą połączyć.

W ten sposób możliwe jest przeprowadzenie bardzo wnikliwej analizy przyczyn zaistniałego stanu obiektu technicznego, technicznego także ustalenie z dość dużym prawdopodobieństwem stanu obiektu w chwili $t - \Delta t$ i tym samym zlokalizowanie uszkodzenia w przypadku jego zawodności.

Algorytm rozwiązania problemu genezowania stanu maszyny można przedstawić w następujący sposób:

aktualny stan techniczny maszyny – parametry diagnostyczne opisujące ten stan - metoda genezowania wykorzystująca niepełną lub niepewną historię wartości parametrów diagnostycznych w czasie przeszłym – geneza stanu technicznego maszyny – wykorzystanie genezy stanu technicznego maszyny w systemie obsługiwania.

Problemy występujące w procesie genezowania stanu technicznego maszyny można sprowadzić do:

1. Analizy będącego przedmiotem genezowania maszyny, tzn. procesu pogarszania się jej stanu technicznego, określenie tendencji i dynamiki zmian wartości jej parametrów stanu, wybór stanów, w których mogła znajdować się maszyna, dekompozycja maszyny na układy i zespoły, kryteria wyboru stanów i prawdopodobieństwo ich występowania, wybór „najlepszych" parametrów diagnostycznych opisujących zmianę stanu maszyny.
2. Wyboru „najlepszej" metody wyznaczania genezy.
3. Wykorzystanie informacji genezotycznej do analizy przyczyny zaistnienia stanu maszyny w chwili badania maszyny.

3. APROKSYMACJA I INTERPOLACJA W GENEZOWANIU STANU

Stosowanie diagnostyki technicznej w zakresie określania granic stanu zdatności jest oparte na dwóch głównych zagadnieniach:

- wyznaczenie symptomu współzmienniczego ze stanem technicznym maszyny;
- określenie wartości granicznych mierzonych symptomów.

Przekroczenie wartości granicznej oznacza wejście maszyny w stan przyśpieszonego zużycia, cechującego się dużym prawdopodobieństwem awarii.

W zagadnieniach diagnostyki bezpośredniej i w eksperymentach czynnych ustalenie wartości granicznej dla zorientowanych uszkodzeniowo symptomów stanu jest stosunkowo proste. Problem komplikuje się dla badań stanu w diagnostyce pośredniej, gdzie począwszy od wyboru punktu odbioru sygnału, zmiennej jakości wytwarzania i napraw tych samych maszyn, zmiennych warunków eksploatacji ujawniających te same uszkodzenia z różną intensywnością-ustalenie stanu granicznego na podstawie symptomu jest niepomiernie trudniejsze.

Realizowane najczęściej w praktyce przemysłowej bierne i biernoczynne eksperymenty diagnostyczne dostarczają symptomów stanu, które porównywane są podczas wnioskowania z wartościami granicznymi dostępnymi w wielu normach krajowych, zagranicznych, branżowych lub z danymi z własnych doświadczeń. Gdy jednak dla badanej maszyny brak takich norm z pomocą może tu przyjść statystyczny opis losowego procesu eksploatacji za pomocą gęstości rozkładu lub częstości występowania obserwowanego symptomu.

Oszacowanie wartości granicznej symptomu dla bezpiecznego wyłączenia maszyny przed uszkodzeniem można zrealizować za pomocą metod statystycznych lub przy pomocy niezawodności symptomowej, wykorzystującej stosowaną politykę naprawczą określającą dopuszczalny spadek niezawodności funkcjonalnej.

Formułę na wyznaczenie **Sgr** minimalizującą prawdopodobieństwo awarii przy zadanym, dopuszczalnym prawdopodobieństwie zbędnej naprawy **A** (wg.Neymana-Pearsona) można zapisać w postaci:

$$\int_{S_{gr}}^{\infty}\left(\frac{S}{X_g}\right)dS = A \qquad (1)$$

Według Birgera: **A = k (1-Pg)**, gdzie: k- współczynnik zapasu (k = 1 - 3 dla uszkodzeń zwykłych, k = 3-10 dla uszkodzeń niebezpiecznych), **Pg** - gotowość maszyn wyznaczana z zależności **Pg = Nz / Nz+Nn** , gdzie:
Nz - liczba maszyn zdatnych,
Nn- liczba maszyn niezdatnych.
Pg - prawdopodobieństwo zdatności.

Szereg prostych przekształceń prowadzi w efekcie do zależności:

$$S_{gr} = \bar{s} + \sigma_s\sqrt{\frac{P_g}{2A}} \qquad (2)$$

Otrzymane oszacowanie wartości granicznej symptomu oparte na wartości średniej, dyspersji i polityce naprawczej stwarza dobre podstawy do prostego wyznaczania wartości granicznych badanych miar stanu w praktyce przemysłowej.

W procesie genezowania również występuje problem wyznaczenia wartości granicznych jak również problem wyznaczenia kanału błędowego. Można go rozwiązać stosując metody aproksymacji i interpolacji.

Celem aproksymacji jest znalezienie zależności funkcyjnej F (x), w przybliżeniu pokrywającej się z pewną funkcją f (x) , określoną w postaci ciągu punktów. Punkty te mogą pochodzić z pomiarów, albo mogą być wynikami innych obliczeń.

Funkcja aproksymującą buduje się najczęściej w postaci kombinacji liniowej ortogonalnych funkcji bazowych.

F(x) = a0U0(x) + a1U1(x) + ... amUm(x) (3)

gdzie :

U0(x), U1(x), ... , Um(x) (4)

jest zbiorem ortogonalnych funkcji bazowych. Miarą zgodności funkcji aproksymującej F(x) i funkcji aproksymowanej f(x) jest norma:

$$\|F(x) - f(x)\| \qquad (5)$$

Celem obliczeń jest wyznaczenie wartości współczynników:

a0, a1, ..., AM

Wartości te są wykorzystane do obliczenia wartości funkcji aproksymującej (3).

W przypadku interpolacji zakłada się, że dane są wartości funkcji $f(x)$ na zbiorze punktów x_0, x_1, ..., x_n zwanych węzłami interpolacji. Zadaniem interpolacji jest wyznaczenie przybliżonych wartości funkcji $f(x)$ zwanej funkcją interpolowaną w punktach nie będących węzłami interpolacji. Przybliżoną wartość funkcji $f(x)$ obliczyć można za pomocą funkcji *F(x)* zwaną funkcją interpolującą, która w węzłach ma te same wartości co funkcja interpolowana.

Funkcja interpolująca jest funkcją pewnej klasy. Najczęściej będzie to wielomian algebraiczny, wielomian trygonometryczny, funkcja wymierna lub funkcja sklejana.

Interpolację stosuje się najczęściej gdy nie znamy analitycznej postaci funkcji $f(x)$ (jest ona tylko stablicowana) lub gdy jej postać analityczna jest zbyt skomplikowana.

Wśród wielu metod interpolacyjnych, na szczególną uwagę zasługuje interpolacja funkcjami sklejanymi.

W dotychczasowych rozważaniach funkcja była interpolowana jednym wielomianem. Oczywiście, jeśli wzrasta liczba węzłów wzrasta również stopień wielomianu interpolacyjnego i może się okazać, że nie będzie on zbieżny do funkcji interpolowanej. Można inaczej sformułować problem.

Niech dane będą węzły uporządkowane następująco

$$a = x_0 < x_1 < x_2 < ... < x_{n-1} < x_n = b \qquad (6)$$

W każdym z podprzedziałów $\langle x_i, x_{i+1}\rangle$ $i = 0,1,2,...,n-1$ funkcja interpolowana jest przybliżana wielomianem stosunkowo niskiego stopnia. Na ogół w każdym podprzedziale wielomian będzie różny ale cała funkcja interpolująca powinna być ciągła wraz z odpowiednimi pochodnymi na odcinku $\langle a, b\rangle$.

Definicja 1. Funkcja $S_m(x)$ jest funkcją sklejaną stopnia *m* jeśli wraz z węzłami $a = x_0 < x_1 < x_2 < ... < x_{n-1} < x_n = b$ spełnia dwa warunki:

1) w każdym podprzedziale $\langle x_i, x_{i+1})$ $i = -1,0,1,...,n$ gdzie $x_{-1} \overset{df}{=} -\infty, \quad x_{n+1} \overset{df}{=} +\infty$ $S_m(x)$ jest wielomianem stopnia co najwyżej *m*,
2) jest klasy C^{m-1} na całej osi rzeczywistej.

W najprostszym przypadku *m*=1 funkcja sklejana jest po prostu linią łamaną.

Definicja 2. Funkcja $S_{2m-1}(x)$ jest naturalną funkcją sklejaną jeśli w przedziałach $(-\infty, x_0)$ i $(x_n, +\infty)$ jest wielomianem stopnia *m*-1(a nie 2*m*-1).

Definicja 3. Funkcja $S_m(x)$ jest interpolacyjną funkcją sklejaną jeśli w węzłach interpolacji jej wartości i wartości funkcji interpolowanej są sobie równe.

Algorytm wyznaczania naturalnej, interpolacyjnej funkcji sklejanej stopnia 3

Niech w każdym podprzedziale $\langle x_i, x_{i+1})$ funkcja sklejana ma postać:

$$S_3(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3 \tag{7}$$

$i = 0,1,2,...,n-1$

Współczynniki a_i, b_i, c_i, d_i wyznacza się następująco:

A. Należy rozwiązać układ równań liniowych o postaci

$$\begin{bmatrix} 2 & w_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ u_2 & 2 & w_2 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & u_3 & 2 & w_3 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & u_{n-2} & 2 & w_{n-2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & u_{n-1} & 2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} c_1^* \\ c_2^* \\ c_3^* \\ \vdots \\ c_{n-2}^* \\ c_{n-1}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \vdots \\ v_{n-2} \\ v_{n-1} \end{bmatrix} \tag{8}$$

gdzie:

$$\begin{cases} u_{i+1} = \dfrac{h_i}{h_i + h_{i+1}} \quad w_{i+1} = \dfrac{h_{i+1}}{h_i + h_{i+1}} \\ v_{i+1} = \left(\dfrac{f_{i+2} - f_{i+1}}{h_{i+1}} - \dfrac{f_{i+1} - f_i}{h_i} \right) : (h_i + h_{i+1}) \end{cases} \tag{9}$$

$i = 0,1,2,...,n-2$

$h_i = x_{i+1} - x_i \quad i = 0,1,2,...,n-1$

$f_i = f(x_i) \qquad i = 0,1,2,...,n$ z

którego wyznacza się współczynniki c_i^* $i = 1,2,...,n-1$.

B. Współczynniki c_i są określone następująco

$$c_0 = c_n = 0 \quad c_i = 3c_i^* \quad i = 1,2,...,n-1 \tag{10}$$

a współczynniki a_i, b_i, d_i oblicza się wg wzorów:

$$\begin{cases} a_i = f_i \\ b_i = \dfrac{f_{i+1} - f_i}{h_i} - \dfrac{h_i}{3}(c_{i+1} + 2c_i) \\ d_i = \dfrac{c_{i+1} - c_i}{3h_i} \end{cases} \tag{11}$$

$i = 0,1,2,...,n-1$

Mając wartości tych współczynników i podstawiając je do wzoru, jakim zapisana jest funkcja sklejana, można obliczyć wartość tej funkcji (7).

4. PODSUMOWANIE

Genezowanie jest to proces mający na celu ustalenie tego w jaki sposób zmieniały się stany podzespołów maszyny od pewnego określonego czasu do chwili obecnej. Genezowanie jest niezwykle ważne gdyż pozwala ono określić między innymi przyczynę wystąpienia awarii lub niedomagania maszyny. Dzięki temu można wcześniej zapobiegać ponownemu wystąpieniu tej samej usterki. Jak do tej pory procesem tym zajmowało się niewiele osób, jednak zagadnienie to nabiera coraz większego znaczenia w procesie eksploatacji maszyny.

W celu poprawnego funkcjonowania nowoczesnych systemów obsługiwania maszyn (wykorzystujących informację o stanie maszyny w chwili badania, w czasie przyszłym i w czasie przeszłym) istnieje potrzeba opracowania metody, która w przypadku niepełnej lub niepewnej historii zmian stanu maszyny umożliwi szacowanie stanu maszyny w czasie przeszłym eksploatacji.

Stwierdza się, że proste algorytmy prognostyczne zaczynają stanowić element standardowego oprogramowania przyrządów diagnostycznych zaś proste procedury wyznaczania genezy stanu stanowią podstawę oprogramowania systemów doradczych, np. przy analizie wypadków drogowych (pakiet CRASCH i inne).

Istnieje więc potrzeba i możliwości (istniejące metody szacowania wartości parametrów diagnostycznych opisujących zmianę stanu maszyny w czasie eksploatacji) opracowania metodyki szacowania stanu technicznego w czasie przeszłym eksploatacji maszyny, możliwej do wykorzystania w systemie obsługiwania maszyn.

LITERATURA

[1] Będkowski L.: Elementy diagnostyki technicznej, WAT, Warszawa 1991.
[2] Prażewska M.J: Ocena nieuszkadzalności ESŁ na podstawie niepewnych danych. Przegląd Telekomunikacyjny nr 4/2002. Warszawa 2002.
[3] Tylicki H.: Optymalizacja procesu prognozowania stanu technicznego pojazdów mechanicznych. Wydawnictwa Uczelniane ATR. Bydgoszcz 1998.
[4] Tylicki H., Żółtowska J.: Badanie jakości diagnozy maszyn. Diagnostyka, vol. 32, 2004.
[5] Tylicki H., Różycki J., Żółtowska J.: Badanie jakości zbioru sygnałów diagnostycznych. Diagnostyka, vol. 32, 2004.
[6] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1997.

Mgr inż. Joanna Wilczarska jest absolwentką Wydziału Mechanicznego Akademii Techniczno- Rolniczej w Bydgoszczy o specjalności „technologia maszyn". Pracuje w Katedrze Maszyn Roboczych i Pojazdów ATR w Bydgoszczy. Zajmuje się problematyką diagnostyki, a w szczególności genezowaniem stanu maszyn.

Dr hab. inż. Henryk Tylicki, prof. nadzw. ATR w działalności naukowej zajmuje się problemami diagnostyki technicznej, eksploatacji maszyn i optymalizacji systemów transportowych. Ma w swoim dorobku ponad 150 publikacji, w tym 9 pozycji książkowych (własne i współautorskie), 60 publikacji naukowych, 86 publikacji naukowo-technicznych i konferencyjnych. Wypromował kilkudziesięciu absolwentów studiów magisterskich i inżynierskich, recenzuje prace naukowo-badawcze, promocyjne, a także dorobek naukowy. Interesuje się sportem (tenis ziemny, żeglarstwo, narty) i czyta literaturę piękną.

METODY DIAGNOZOWANIA W SYSTEMACH AKTYWNEGO ZABEZPIECZENIA NIEZAWODNOŚCI NAPĘDÓW HYDRAULICZNYCH

B. C. SZEWCZENKO L. KWAŚNIEWSKI
Instytut Mechaniki i Niezawodności Maszyn
Narodowej Akademii Nauk Białorusi

Streszczenie
W artykule przedstawiono strukturę i metody zabezpieczenia niezawodności napędów hydraulicznych. Opisano również schemat sterowania procesami określającymi niezawodność układów hydraulicznych.

Słowa kluczowe: struktura, niezawodność, układ hydrauliczny, proces

DIAGNOSTIC METHODS IN ACTIVE INSURING RELIABILITY SYSTEMS OF HYDRAULIC MACHINE DRIVES

Summary
The article introduced the structure and protection methods of hydraulic drives reliability. There were also described the hydraulic arrangements patern defining the reliability of processes.

Keywords: structure, reliability, hydraulic structure, process

Практика создания и эксплуатации гидроприводов машин подтверждает большое влияние на их надежность и безопасность множества одновременно протекающих процессов и факторов различной природы: механических, химических, термодинамических и др. Значительную трудность представляет их количественное описание. Поэтому достижения высоких качественных показателей гидроприводов возможно только при обязательном проведении всесторонних исследовательских испытаний с использованием современных методов диагностики.

Процесс проектирования и производства элементов и систем гидроприводов машин рассматривается как процесс формирования их надежности, а эксплуатация как ее обеспечение.

Гидропривод – сложная техническая система и с точки зрения надежности обладает как положительными, так и отрицательными свойствами. В связи с этим представляет интерес рассмотрение возможностей сложных систем гидроприводов, включающих и встроенные диагностические подсистемы, в аспектах самоорганизации, саморегулирования, самоприспособления. Этому способствует и характерная для гидроприводов централизация функций и высокая степень автоматизации.

Управление надежностью гидропривода осуществляется воздействием на определяющие параметры, представленных на рисунке 1. Традиционными методами защиты и обеспечения надежности гидроприводов машин являются: запасы по параметрам, резервирование, кондиционирование рабочей жидкости, установка предохранительных и защитных устройств и т.п. Функции предупреждения отказов выполняются также службой эксплуатации.

Резервирование элементов, подсистем, а также запасы по параметрам можно использовать с учетом ограничений по массе, стоимости и конструктивным требованиям. Так, представляется сложным обеспечение надежности с помощью резервирования и запасов по параметрам в мобильных машинах и вообще в системах, конструктивное исполнение которых не позволяет обеспечить резервирование, например, таких элементов как приводной вал, золотниковый распределитель и т.п.

В настоящее время в машиностроении наметилась тенденция широкого применения управляющих, измерительных и вычислительных устройств.

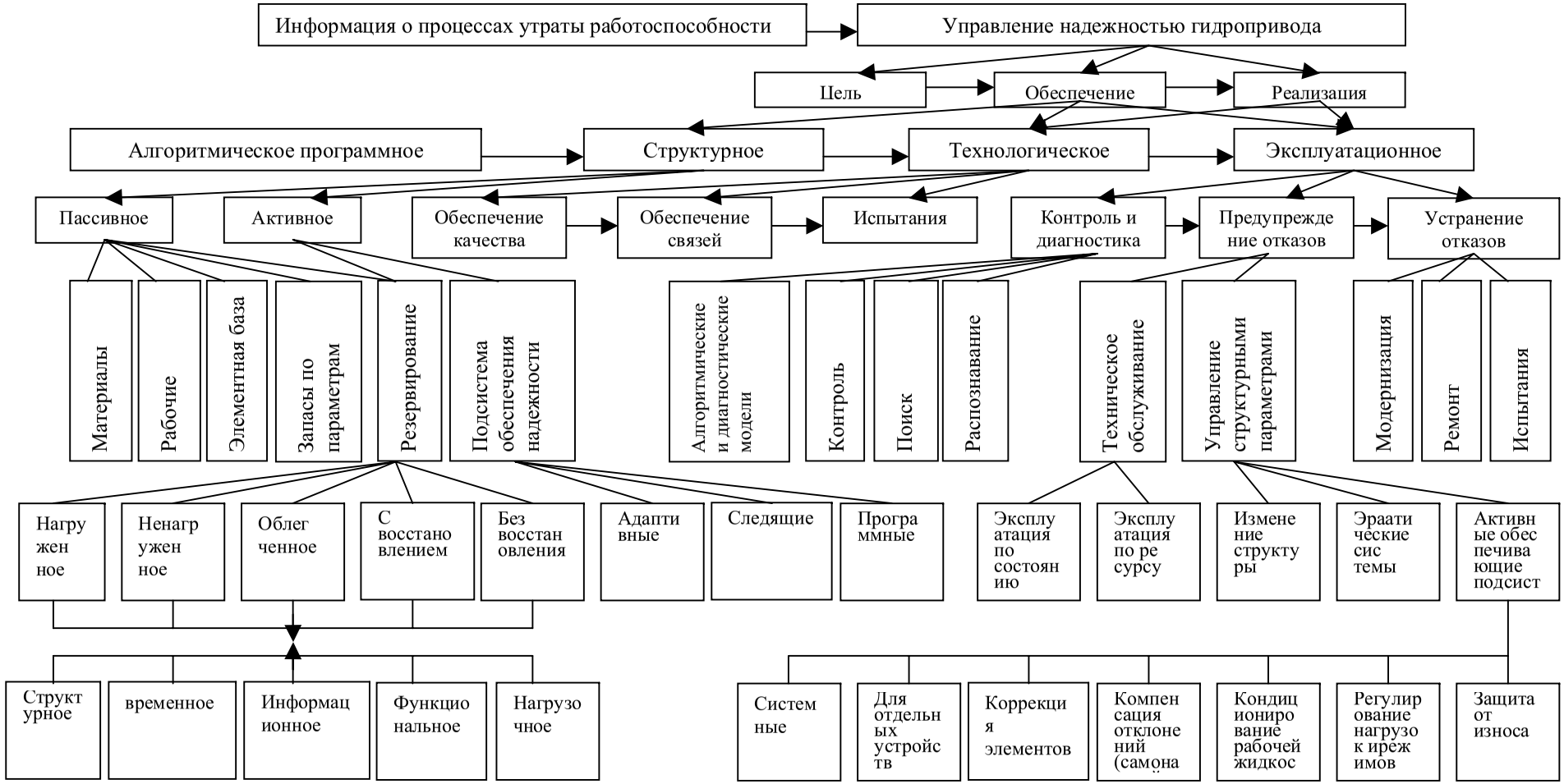


Рисунок 1 – Схема обеспечения надежности гидравлических приводов

В общем случае надежность гидропривода (Н) характеризуется определенным числом критериев n

$$H = F(y_1, y_2, \ldots, y_n), \quad y_i \in Y, i = 1, \ldots, n \qquad (1)$$

Критерии надежности y_i функционально связаны с параметрами привода

$$y_i = f(x_1, x_2, \ldots, x_k)$$

Тогда

$$H = \Psi(y_1, y_2 \ldots, y_n; x_1, x_2, \ldots, x_k) \qquad (2)$$

Управление надежностью привода предполагает выработку таких управляющих воздействий u_i, которые при выборе соответствующих мероприятий по изменению параметров x_i, приводят к получению желаемого результата. С учетом этого зависимость (2) примет вид

$$H = F(y_1, \ldots, y_n; x_1, \ldots, x_k; u_1, \ldots, u_n) \qquad (3)$$

Известны многие примеры технических реализаций средств обеспечения (управления) надежности гидроприводов (см.рисунок 1). Обеспечивающие устройства и подсистемы могут быть реализованы за счет введения в конструкцию дополнительных элементов или связей, которые действуют постоянно при работе привода или включаются в работу периодически по определенной программе. Являясь элементами конкретных систем, они корректируют, компенсируют, отключают или снимают часть нагрузки (в общем случае – внешнего воздействия) при превышении ею допустимого уровня. Такие устройства и подсистемы могут обеспечивать управление надежностью с учетом оператора. Общий вид структурной схемы автоматизированной обеспечивающей подсистемы показан на рисунке 2.

В зависимости от наличия и характера исходных данных управление надежностью гидропривода может быть детерминированным, стохастическим и адаптивным. Два первых типа предполагают наличие уравнений объектов управления и возмущающих воздействий или управляющих программ различного вида. В случае, когда указанные предпосылки неизвестны, применяется адаптивное управление.

Подсистемы обеспечения надежности, как и резервирование, представляют структурную избыточность, но в отличие от резервирования их введение является более общим случаем обеспечения надежности сложных систем. Основное их отличие от резервных подсистем заключается в том, что они вводятся не для замещения отказавших основных подсистем, а с целью обеспечения благоприятных условий их функционирования.

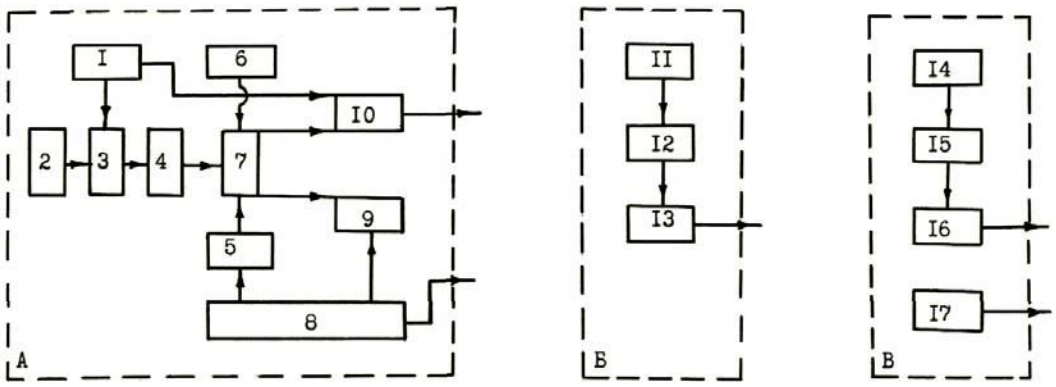


Рисунок – 2. Типовая структура автоматической подсистемы обеспечения надежности

А - диагностическая часть; Б - логическая часть; В - оперативная часть

Блоки: 1 - визуального осмотра; 2 - датчиков; 3 - преобразователей; 4 - промежуточной памяти; 5 - памяти нормативов; 6 - установки параметров режима диагностирования; 7 - сравнения; 8 - управления (ввода исходной информации); 9 - прогнозирования; 10 - регистрации и индикаторов; 11 - преобразующих устройств; 12 - решающих устройств; 13 - командных устройств; 14 - электрогидравлических преобразователей; 15 - контрольно-регулирующей аппаратуры; 16 - исполнительных устройств; 17 - устройств аварийного отключения системы.

Современному уровню автоматизированных машин с гидравлическим приводом наиболее соответствуют методы активного обеспечения надежности, предполагающие управление процессами и параметрами в необходимом объеме, в нужный момент времени и с высокой надежностью. В общем случае такое управление может быть реализовано по принципу компенсации отклонения или возмущения. Для этого необходимо иметь возможность регистрировать такие отклонения, знать характеристики возмущения и компенсировать их.

На рисунке 3 изображена схема управления процессами, определяющими надежность гидропривода. Здесь возмущения V, воздействующие на гидропередачу, регистрируются чувствительным элементом D_1, и поступают в преобразующее устройство ПУ. Сюда же подается сигнал рассогласования от элемента сравнения ЭС, формирующийся в результате сравнения отклонения регулируемой величины, которая регистрируется чувствительным элементом D_2, и заданной координаты y. В ПУ вырабатывается управляющее воздействие u, попадающее в блок сервосистем БС. В соответствии с поступающими сигналами сервосистема воздействует на определенный элемент гидропривода, обеспечивая его нормальное функционирование.

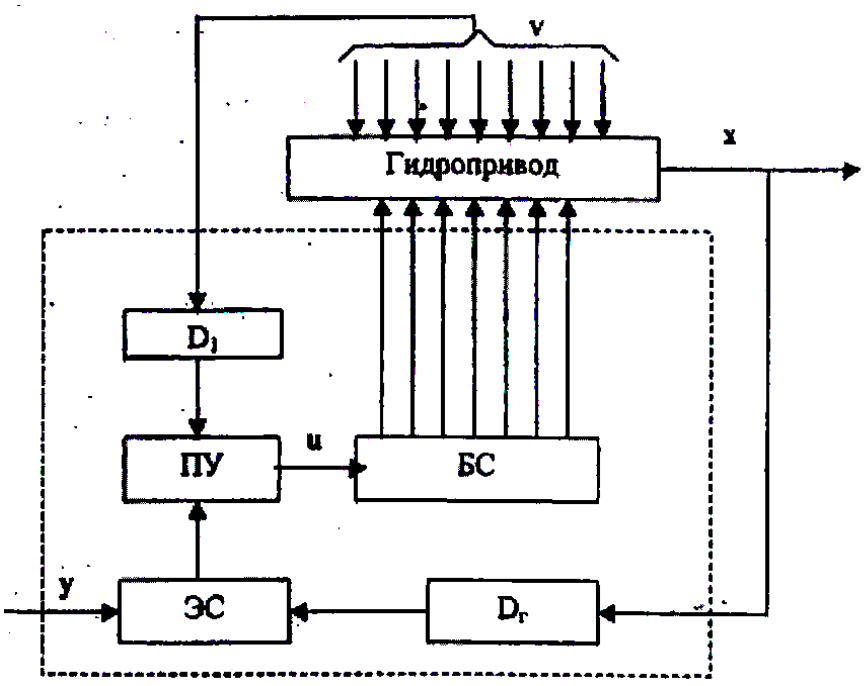


Рисунок – 3 Схема управления процессами, определяющими надежность гидропривода
v - возмущения, действующие на гидропривод; D_1 - чувствительный элемент; ПУ - преобразующее устройство; ЭС - элемент сравнения; D_r - чувствительный элемент для регистрации выходного параметра; x - регулируемый выходной параметр; y - параметр, оговоренный ТУ; БС - блок сервосистем; u - управляющее воздействие.

Таким образом, в общей схеме комплекс диагностирующих, управляющих и исполнительных устройств $\{D_1, D_2, ЭС, ПУ, БС\}$ представляет обеспечивающую подсистему, которая изменяет в нужном направлении характер воздействия возмущений и оказывает влияние на ход процессов в гидроприводе в результате изменения, например, цикличности нагрузок, режима смазки, кондиционирования рабочего тела, включения корректирующих звеньев и т.п.

Использование возможности рационального структурного синтеза гидроприводов машин и современных достижений диагностики и автоматики позволяют создавать привод и его устройства с уменьшенными запасами по параметрам, степенью резервирования, стоимостью диагностирования и эксплуатационного обслуживания.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Богдан Н.В., Кишкевич П.Н., Шевченко В.С. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмосистем: Учебное пособие – Мн.: Ураджай, 2001

[2] Богдан Н.В. Жилевич М.И., Красневский Л.Г. Техническая диагностика гидросистем: Научное издание. – Мн.: Белавтотракторостроение, 2000

[3] Желтовский Б.Ю, Халамонский М.Г.,Шевченко В.С. Исследования и испытания гидропневмосистем машин. – Мн.: УП «Технопринт», 2004

MODEL NUMERYCZNY I SYMULACJA PRACY WYBRANEJ KONCEPCJI SILNIKA SPALINOWEGO POZBAWIONEGO WAŁU KORBOWEGO

Maciej WOROPAY
Adam BUDZYŃSKI
Wojciech BIENIASZEWSKI

Katedra Eksploatacji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno-Rolnicza
ul. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, fax (52) 340-84-95, e-mail: budyn@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

Przedstawiono model *MCAD* wybranej koncepcji silnika spalinowego, pozbawionego par kinematycznych typu wał korbowy – korbowód. Wynalazek znamienny jest m.in. tym, że oś suwu tłoków jest równoległa do osi wału odbiorczego. Geometrię silnika zamodelowano w systemie *Solid Edge V17* na podstawie schematu kinematycznego, zastrzeżonego *Opisem Patentowym RP Nr 151 290*. Symulację pracy silnika przeprowadzono w systemie *visualNastran 4D*. Stwierdzono, iż w wybranych stanach układ staje się samohamowny. Zaprezentowano modyfikację układu. Stwierdzono, iż wartość prędkości obrotowej wału odbiorczego oraz momentu obrotowego zmieniają się periodycznie. Obszarem zastosowań danego silnika mogą być maszyny o udarowej charakterystyce pracy. W porównaniu z silnikami klasycznymi, możliwe jest uzyskanie korzystniejszej wartości stosunku mocy silnika do jego wymiarów i zwiększenie sprawności.

Słowa kluczowe: silniki spalinowe, 3D MCAD, CAE

NUMERICAL GEOMETRY MODEL AND MOTION ANALYSIS IN THE CASE OF THE CONCEPT COMBUSTION ENGINE THAT IS DEVOID OF THE CRANKSHAFT

Summary

The paper presents a *3D MCAD* model of a selected concept engine with the unique kinematics, i.e. typical motion parts: crankshaft and connecting rods are excluded. The main feature of the invention is the fact the axis of the piston slide is parallel to the shaft axis. Aforementioned model was assembled with the Solid Edge V17 software on the basis of the concept draft described in the Polish *Patent Specification No 151 290*. The motion analysis software tool is the visualNastran 4D. The model based on original kinematics used to become rigid in some cases, so engine main parts were redesigned. The main shaft angular velocity and its torque values are periodic. It means, stroke (impact) machines may be principal application of the engine with presented kinematics. Compared to classic combustion engines, the described one presents higher values of the reliability and the power - dimensions ratio.

Keywords: combustion engines, 3D MCAD, CAE

1. WSTĘP

Eksploatowane są silniki spalinowe, w których zamiana ruchu posuwisto-zwrotnego tłoka na ruch obrotowy wału odbiorczego wykonywana jest bez zastosowania pary kinematycznej typu wał korbowy–korbowód. Silniki takie określa się mianem awangardowych, a głównym celem ich badań i rozwoju jest poszukiwanie rozwiązań konstrukcyjnych, które w porównaniu z silnikami o klasycznej kinematyce będą się charakteryzować m.in. większą wartością sprawności i mniejszą wartością zużycia energii.

Wiele koncepcji konstrukcyjnych silników awangardowych nie wykorzystano do wytworzenia napędów rzeczywistych, m.in. ze względu na fakt zaistnienia trudności poznania zależności kinematycznych układu jedynie z zastosowaniem metod analitycznych lub eksperymentalnych.

Rozwój oprogramowania służącego do komputerowego wspomagania projektowania w branży mechanicznej *3D MCAD* (ang. *Mechanical Computer Aided Design*) spowodował uzyskanie możliwości dokonania numerycznej symulacji pracy silników, już podczas trwania procesu ich projektowana i konstruowania. Po wstępnej akceptacji zależności kinematycznych projektowanego źródła napędu, możliwe jest bezpośrednie przesłanie plików z systemu *MCAD* do profesjonalnego systemu, służącego do wykonywania analiz kinematyczno-dynamicznych oraz wytrzymałościowych *3D CAE* (ang. *Computer Aided Engineering*). Przykładem software'u *MCAD*, w którym można przeprowadzić udany proces

konstrukcyjny danego silnika, a następnie dokonać jego przybliżonej analizy kinematycznej jest *UGS Solid Edge V17*. Pliki tego systemu otwierać można bezpośrednio w profesjonalnym systemie *CAE visualNastran 4D*.

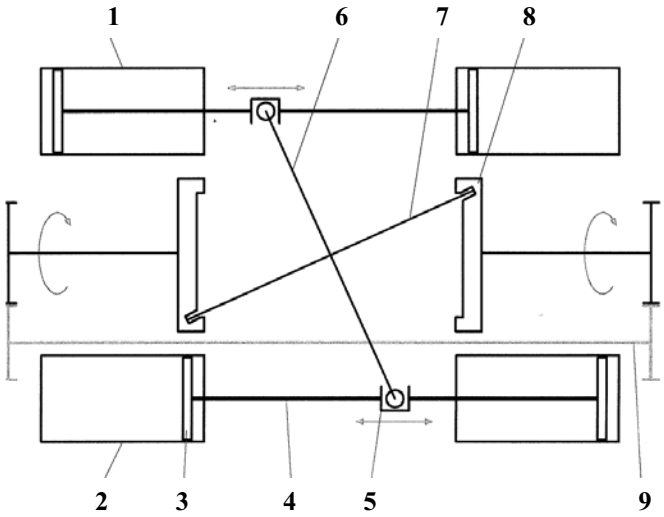
W pracy przedstawiono metodę przeanalizowania struktury geometrycznej oraz zależności kinematycznych wybranej koncepcji silnika spalinowego o awangardowym układzie kinematycznym. Dzięki temu, już na wczesnym etapie rozwoju projektu zauważono i wyeliminowano zauważone błędy konstrukcyjne analizowanego źródła napędu.

2. UKŁAD KINEMATYCZNY DANEGO AWANGARDOWEGO SILNIKA SPALINOWEGO

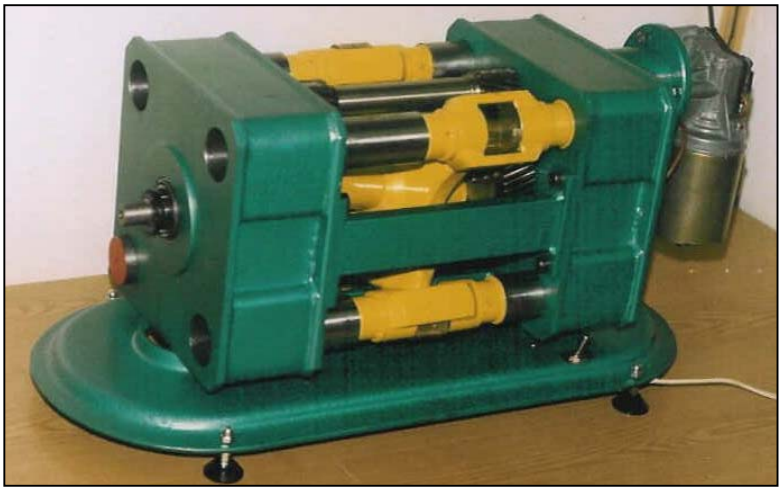
W *Opisie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej nr 151 290* przedstawiono zastrzeżenia wynalazcze kinematyki danego silnika spalinowego, w którym ruch posuwisto–zwrotny tłoków zamieniany jest na ruch obrotowy wału odbiorczego bez zastosowania pary kinematycznej typu wał korbowy–korbowód. Układ kinematyczny silnika, przedstawiono na rys. 1.

W bloku silnika osadzone są przeciwlegle pary współosiowo usytuowanych cylindrów (1, 2). Umieszczono w nich tłoki (3), połączone ze sobą sztywnymi łącznikami (4), mającymi gniazda przegubowe (5), w których osadzona jest dźwignia mechanizmu zamiany ruchu posuwisto –zwrotnego na ruch obrotowy (6). Dźwignia połączona jest sztywno z prostopadłą do niej osią (7), której oba końce osadzone są obrotowo w dwóch kołach (8) napędzających wał odbiorczy (9). Dźwignia (6) wraz z osią (7) wyznaczają w wariancie czterocylindrowym krzyżak, wpisany swym ruchem w kulę, w której końce dźwigni (6) przemieszczają się liniowo południkowo, zaś końce osi (7) przemieszczają się orbitalnie równoleżnikowo. Końce dźwigni (6) i osi (7) stanowią cztery punkty podparcia mechanizmu zamiany ruchu.

Według danego *Zastrzeżenia Patentowego* zbudowano model *3D MCAD* układu, a także wytworzono jego prototyp (rys. 2), który poddaje się szczegółowym badaniom w Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie.



Rys. 1. Schemat kinematyczny danego spalinowego: 1, 2 – cylindry, 3 – tłok, 4 – sztywny łącznik tłokowy, 5 – gniazdo przegubowe, 6 - dźwignia, 7 - oś, 8 - koło podporowe, 9 - wał odbiorczy



Rys. 2. Prototyp danego silnika spalinowego

Podczas testów modelu wirtualnego i rzeczywistego zauważono, iż silnik wykonuje pracę właściwą (tłoki napędzają wał) jedynie w określonych przedziałach prędkości liniowej tłoków, poza którymi układ stawał się samohamowny. Bez problemów przebiegały próby pracy odwrotnej silnika (wał napędza tłoki). Podczas prób właściwej pracy modeli silnika, wirtualnego i rzeczywistego, zauważono zjawisko nierównomierności prędkości obrotowej wału odbiorczego.

3. MODYFIKACJA KINEMATYKI SILNIKA, MODEL 3D MCAD UKŁADU

Celem usunięcia niepożądanych zjawisk wprowadzono następujące modyfikacje układu:

- elementem służącym do zamiany ruchu posuwisto – zwrotnego tłoków na ruch obrotowy wału odbiorczego jest tarcza wodząca, nachylona pod odpowiednim kątem do osi symetrii wału,
- po obwodzie tarczy ślizgają się gniazda przegubowe sztywnych łączników naprzeciwlegle umieszczonych tłoków,
- gniazdo przegubowe składa się z przegubu przemieszczającego się po obwodzie tarczy oraz z przegubu obrotowo-wzdłużnego, łączącego przegub obwodowy z gniazdem sztywnego łącznika tłokowego.

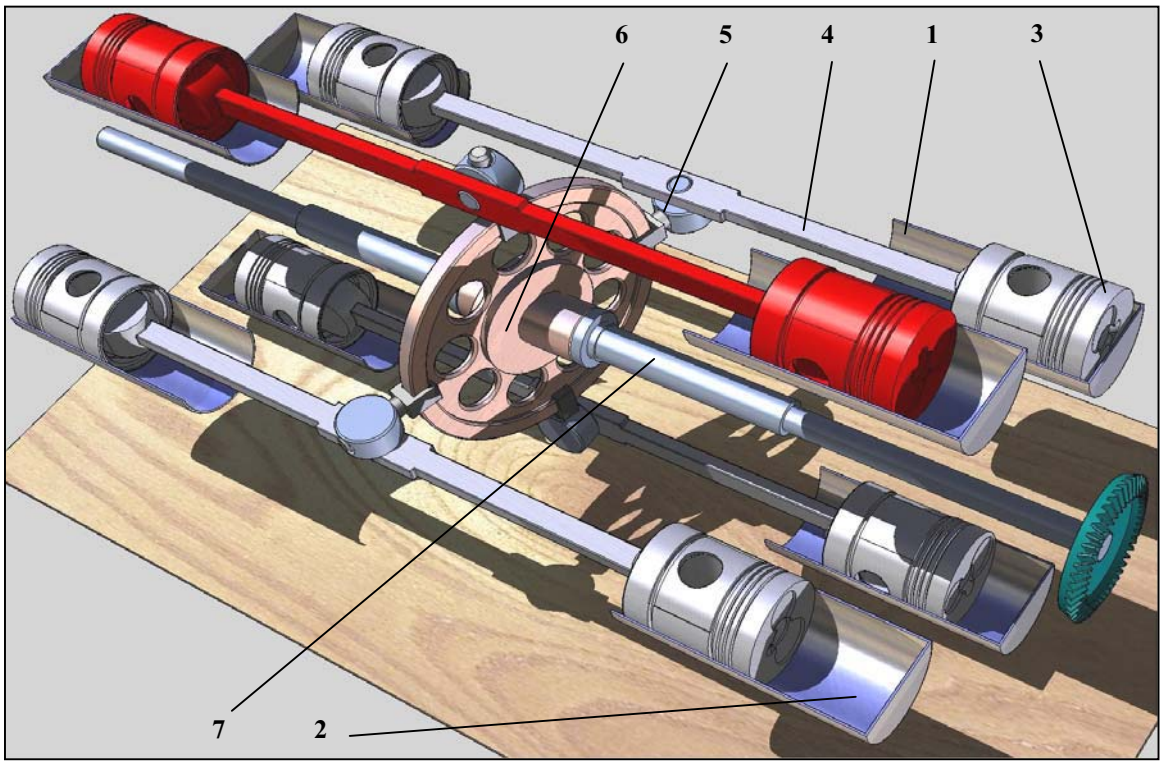
Model *3D MCAD* silnika awangardowego o zmodernizowanym układzie kinematycznym wykonano w systemie *UGS Solid Edge V17*. Efekt prac zilustrowano na rys. 3.

Na rys. 4 przedstawiono widok mechanizmu zamiany ruchu posuwisto–zwrotnego na ruch obrotowy. Celem uwidocznienia szczegółów, wyświetlony fragment modelu 3D MCAD zwizualizowano w widoku eksplodującym.

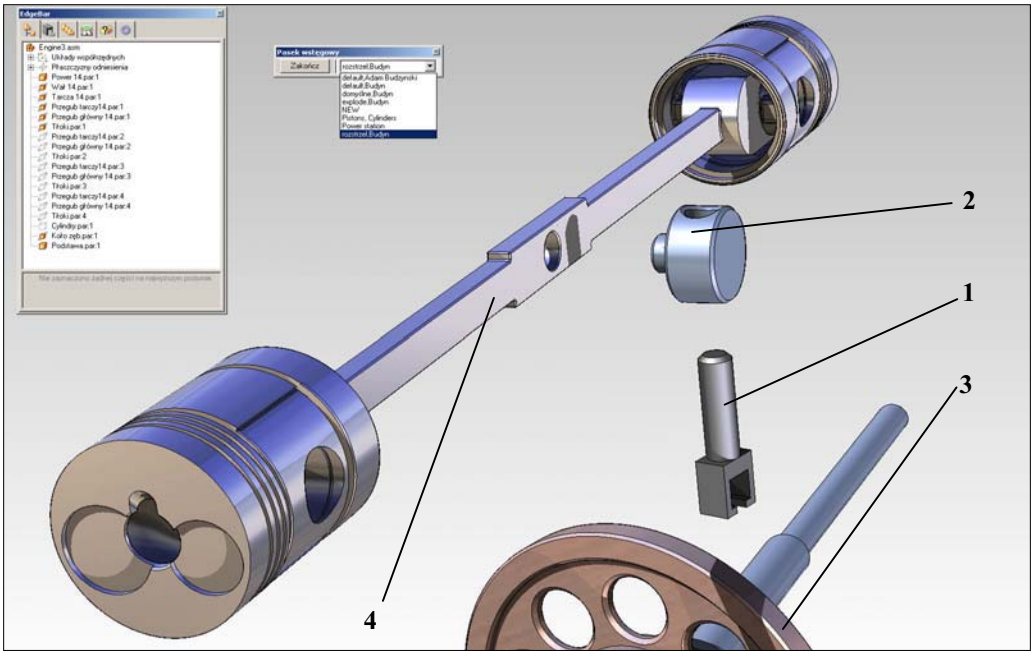
Zoptymalizowano wartość kąta nachylenia osi wału odbiorczego do płaszczyzny, w której zawiera się tarcza wodząca, skutkiem czego dokonano skutecznej wstępnej symulacji pracy modelu wirtualnego, zarówno pracy właściwej, jak i pracy odwrotnej. Dwa wybrane położenia układu, uzyskane w wyniku symulacji kinematycznej, wykonanej w środowisku *Solid Edge* przedstawiono na rys. 5.

4. WERYFIKACJA MODELU 3D MCAD W SYSTEMIE 3D CAE

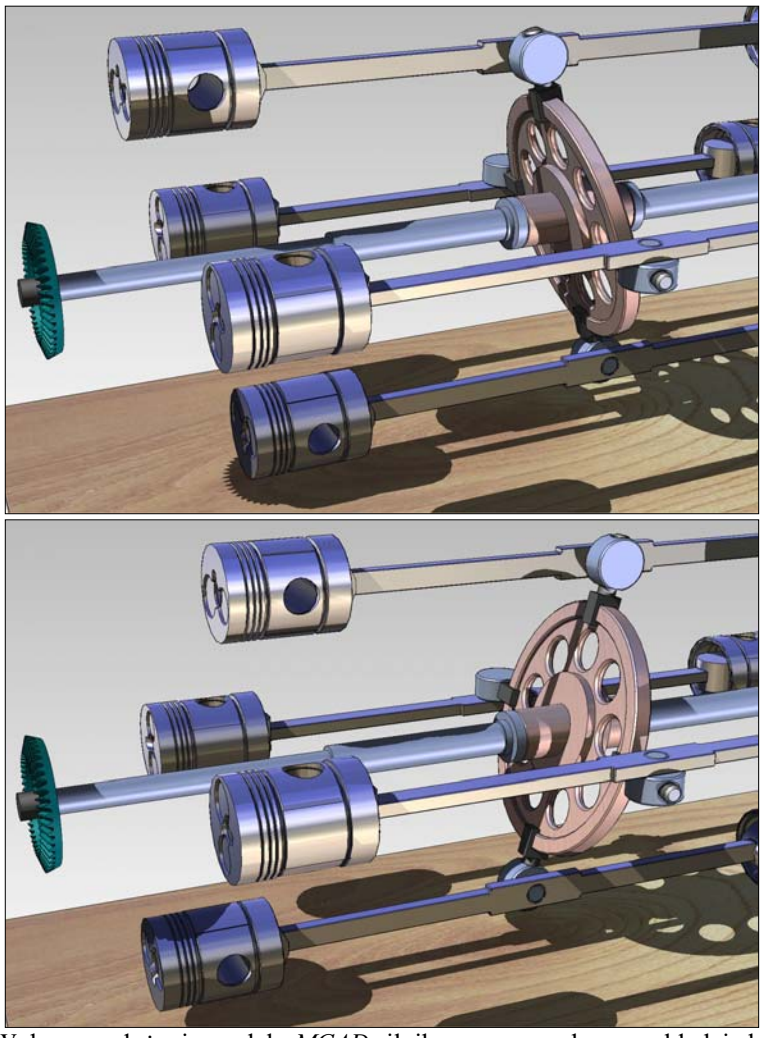
Pliki systemu *3D MCAD Solid Edge V17*, zawierające zapis konstrukcji układu, otwarto bezpośrednio w systemie *3D CAE visualNastran 4D*. Dzięki kompatybilności wymienionych narzędzi numerycznych, przetransportowano z systemu *MCAD* do systemu *CAE* geometrię poszczególnych części oraz rodzaje i wartości relacji przestrzennych, dzięki którym połączono je w funkcjonalny zespół. Rozpoczęcie analizy *CAE*, możliwe jest natychmiast po otwarciu w nim plików środowiska *MCAD*. Analizę w systemie CAE ograniczono do symulacji pracy dwusuwowego silnika dwucylindrowego. Do układu wprowadzono uproszczone wymuszenie dynamiczne, tj. siłę o danej wartości, działającą okresowo na każdy z cylindrów.



Rys. 3. Model *3D MCAD* zmodernizowanej koncepcji silnika spalinowego, wykonany w systemie *Solid Edge*: 1, 2–cylindry, 3–tłok, 4–łącznik tłokowy, 5–gniazdo przegubu, 6-tarcza wodząca, 7-wał odbiorczy



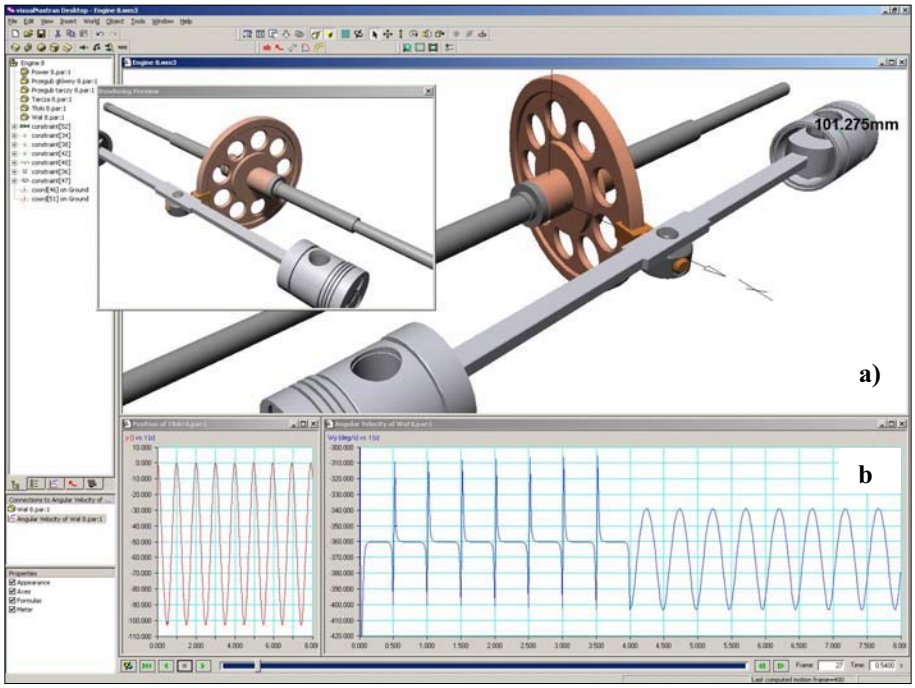
Rys. 4. Widok gniazda przegubowego, tj. mechanizmu zamiany ruchu posuwisto – zwrotnego na ruch obrotowy: 1-przegub obwodowy, 2-przegub obrotowo-wzdłużny, 3-tarcza wodząca, 4-łącznik tłokowy



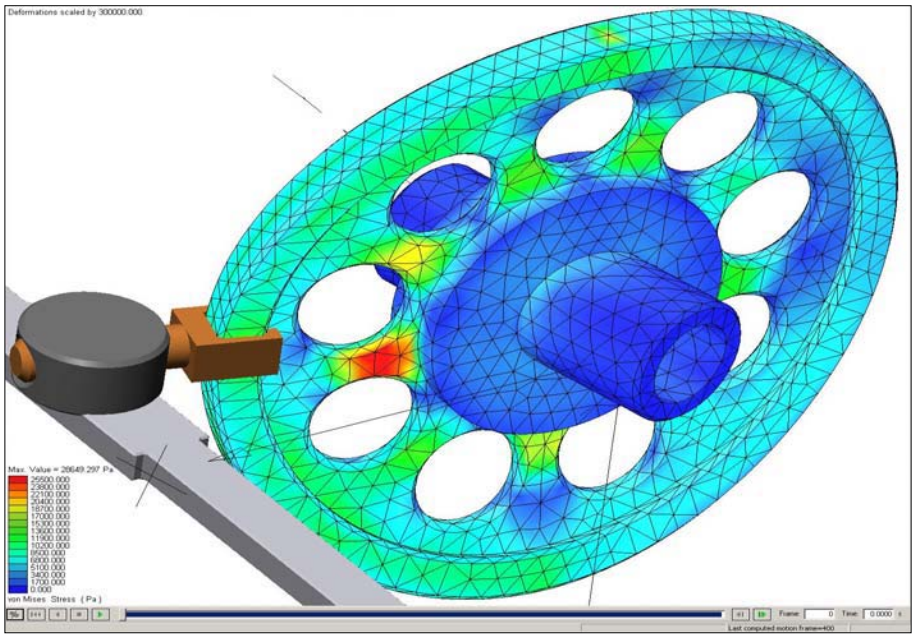
Rys. 5. Wybrane położenia modelu *MCAD* silnika o awangardowym układzie kinematycznym

Potwierdzono numerycznie fakt okresowej zmiany wartości prędkości obrotowej silnika. Zauważono, że zmiana ta następuje z chwilą nawrotu pary tłoków, niezależnie od tego, czy symuluje się pracę właściwą silnika, czy też jego ruch jałowy, tj. bez wymuszenia przyspieszenia spowodowanego wirtualnym wybuchem mieszanki. Podczas symulacji *CAE* pracy silnika (Rys. 6), zmiany wartości prędkości obrotowej modelu wału odbiorczego są nagłe i sięgają ±10% wartości średniej, natomiast podczas symulacji ruchu jałowego zespołu, zmiany te mają charakter łagodny, zbliżony do harmonicznego i sięgają ±5% wartości średniej.

Mając na celu weryfikację wytrzymałościową modelu silnika, układ przygotowano do uruchomienia obliczeń wykonanych *Metodą Elementów Skończonych MES*, (ang. *FEA*, *Finite Element Analysis*). W związku z istniejącym w układzie okresowym wymuszeniem dynamicznym, zarejestrowano wartości sił, działających na model tarczy wodzącej. Stwierdzono, że naprężenie o największej wartości pojawiają się w modelu tarczy podczas nawrotu pary modeli tłoków, spowodowanego wirtualną eksplozją mieszanki. Maksymalne wartości naprężeń mieszczą się w dopuszczalnych granicach dla wybranego materiału, tj. tytanu. (Rys. 7).



Rys. 6. Symulacja pracy danego silnika, przeprowadzona w systemie *3D CAE MSC.visualNastran 4D*: a) podgląd analizowanego modelu, b) zapis wartości prędkości obrotowej modelu wału odbiorczego



Rys. 7. Wyniki pomiaru naprężeń w modelu tarczy wodzącej podczas nawrotu pary tłoków

5. WNIOSKI

Z zastosowaniem nowoczesnych narzędzi numerycznych opracowano układ kinematyczny awangardowego silnika spalinowego, tj. takiego, w którym zamiana ruchu posuwisto zwrotnego tłoków na ruch obrotowy wału odbiorczego, odbywa się z wyeliminowaniem pary kinematycznej typu wał korbowy-korbowód. Zmodyfikowano koncepcję układu, przedstawioną w *Opisie Patentowym RP nr 151 290*. W wyniku wprowadzonych innowacji, opracowano układ, w którym do zamiany ruchów wykorzystuje się spoczywającą na wale tarczę wodzącą, po której obwodzie przemieszczają się gniazda przegubowe sztywnych łączników naprzeciwlegle współosiowo pracujących tłoków. Model *3D MCAD* silnika danym układzie kinematycznym wykonano w systemie *UGS Solid Edge V17*.

Podczas wstępnej symulacji pracy modelu, udowodniono wyeliminowanie określonych wad, typowych dla modelu *3D MCAD* silnika o koncepcji opisanej w *Zastrzeżeniu Patentowym*. Na podstawie badań *CAE* stwierdzono, że prędkość obrotowa modelu wału odbiorczego zmienia się okresowo, co spowodowane jest faktem nawrotów par tłoków. Na podstawie obliczeń z zastosowaniem *Metody Elementów Skończonych*, stwierdzono, że maksymalne wartości naprężeń pojawiających się w modelu tarczy wodzącej nie przekraczają wartości dopuszczalnych dla uprzednio dobranego materiału.

Analizując wybrane zależności kinematyczne i dynamiczne zmodernizowanego układu, zauważono, iż cechuje się on następującymi zaletami, w porównaniu z silnikami o klasycznej kinematyce:

- możliwe jest uzyskanie znacznie lepszej wartości stosunku mocy silnika do jego gabarytów,
- w wariancie wielocylindrowym układu, dzięki sztywnemu połączeniu tłoków następuje bezpośrednie przekazanie energii z tłoka wykonującego suw pracy na tłok wykonujący suw sprężania, co wpływa pozytywnie na zwiększenie sprawności silnika,
- zastąpienie krzyżaka tarczą wodząca umożliwia znacznie łatwiejszy montaż/demontaż wymaganej liczby par cylindrów, celem optymalizacji charakterystyki mocy silnika,
- konstrukcja silnika umożliwia zwielokrotnienie liczby par cylindrów, bez nadmiernego komplikowania budowy bloku napędowego,
- periodyczne zmiany wartości prędkości obrotowej wału odbiorczego implikują zastosowanie silnika o opisanym układzie kinematycznym m.in. w maszynach o udarowej charakterystyce pracy, np. młyny wielotarczowe.

Praca powstała we współpracy z firmą „***PRAXE Jacek Barcikowski***".

LITERATURA

[1] Kazimierczak G., Pacula B., Budzyński A.: Solid Edge - komputerowe wspomaganie projektowania, HELION, Gliwice 2004
[2] Zastrzeżenie Patentowe RP nr 151 290

Prof. dr hab. inż. Maciej Woropay jest kierownikiem Katedry Eksploatacji Maszyn na Wydziale Mechanicznym Akademii Techniczno – Rolniczej w Bydgoszczy.
W pracy naukowej zajmuje się problemami dotyczącymi teorii systemów, teorii niezawodności i sterowania procesami eksploatacji w złożonych systemach biotechnicznych, a w szczególności sterowaniem tymi procesami w systemach transportu miejskiego.

Jest autorem i współautorem ponad 100 prac naukowych, autorem podręczników i skryptów akademickich, promotorem ponad 120 prac magisterskich i inżynierskich oraz prac doktorskich.

Mgr inż. Adam Budzyński jest asystentem w Katedrze Eksploatacji Maszyn na Wydziale Mechanicznym Akademii Techniczno – Rolniczej w Bydgoszczy.
W pracy naukowej zajmuje się zastosowaniem narzędzi numerycznych 3D MCAD w praktyce inżynierskiej.
Prowadzi badania dotyczące powstawania i zanikania drgań samowzbudnych podwozi lotniczych.

Jest Opiekunem Koła Naukowego Solid Edge na WM ATR, w którym popularyzuje się narzędzia CAD/CAM/CAE wśród młodzieży studenckiej.

Mgr inż. Wojciech Bieniaszewski jest doktorantem w Katedrze Maszyn Spożywczych i Ochrony Środowiska na Wydziale Mechanicznym Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy.
W pracy naukowej zajmuje się analizą numeryczną procesu rozdrabnia w młynach wielotarczowych. Prowadzi badania dotyczące rozwoju narzędzi numerycznych służących do komputerowego wspomagania wytwarzania (CAM).

Jest Prezesem Koła Naukowego Solid Edge na WM ATR, w którym popularyzuje się narzędzia CAD/CAM/CAE wśród młodzieży studenckiej.

ANALIZA DYNAMIKI WIRNIKA PIONOWEGO WIRÓWKI ACWW1000 W ASPEKCIE DIAGNOZOWANIA

Janusz ZACHWIEJA

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy
Katedra Mechaniki Stosowanej
Bydgoszcz, ul. S. Kaliskiego

Streszczenie

Przedmiotem niniejszej pracy jest analiza dynamiki wirówki ACWW1000 prowadzona pod kątem interpretacji uzyskanego w trakcie badań diagnostycznych urządzenia widma amplitudowo-częstotliwościowego, ujawniającego wyraźny wzrost drgań maszyny przy częstotliwości obrotowej 29Hz. Istnieje przypuszczenie, że eksploatacyjna prędkość obrotowa wirówki jest bliska prędkości krytycznej przy której może pojawić się precesja przeciwbieżna i towarzysząca jej niestabilność ruchu.

Słowa kluczowe: drgania własne, stabilność ruchu, niewyważenie wirnika

THE NUMERICAL MODELING OF THE VERTICAL ROTOR DYNAMICS ON THE EXAMPLE OF ACWW1000 CENTRIFUGE

Summary

An object of the present work is the analysis of the ACWW1000 centrifuge dynamics, led with the aim of the interpreting an amplitude-frequency spectrum, obtained during system diagnostic's examinations, revealing a meaningful increase of system's vibrations in the rotational frequency 29Hz. There is an supposition, that an operating rotational speed of the centrifuge is near to the critical speed at which there appears a backward precession and a motion instability.

Keywords: natural vibrations, bearing diagnostic, unbalance of the rotor

1. WSTĘP

Podatność wirnika zależy zarówno od sztywności wału i tarczy jak też od sztywności węzłów łożyskowych. O ile np. w szybkoobrotowych mieszadłach, z uwagi na smukłość wału, można spodziewać się pojawienia się precesji wywołanej synchroniczną siłą bezwładności, o tyle w większości maszyn przepływowych dominujące znaczenie dla występowania ruchu precesyjnego ma sztywność w miejscach łożyskowania wału, bądź też sztywność korpusu maszyny oraz jej posadowienia. Zagadnienia związane z badaniem stateczności ruchu wirników były w przeszłości przedmiotem analiz wielu badaczy [1,2]. Warunki sprzyjające pojawianiu się precesji przeciwbieżnej upatrywano w oporach tarcia bądź też siłach osiowych działających na wirnik w trakcie jego ruchu [3]. Dzisiejszy stan wiedzy na ten temat pozwala nie tylko na określenie zakresów możliwych prędkości obrotowych pomiędzy prędkościami krytycznymi, zdeterminowanymi sztywnością łożyska w kierunkach prostopadłych, lecz również na stwierdzenie, że jest możliwy stan, w którym część wirnika podlega precesji współbieżnej, podczas gdy inna sekcja krąży przeciw bieżnie względem kierunku obrotu tarczy [4].

Przedmiotem niniejszej pracy jest analiza dynamiki wirówki ACWW1000 prowadzona pod kątem interpretacji uzyskanego w trakcie badań diagnostycznych wirówki [5] widma amplitudowo-częstotliwościowego ujawniającego wyraźny wzrost drgań maszyny przy częstotliwości obrotowej 29Hz.

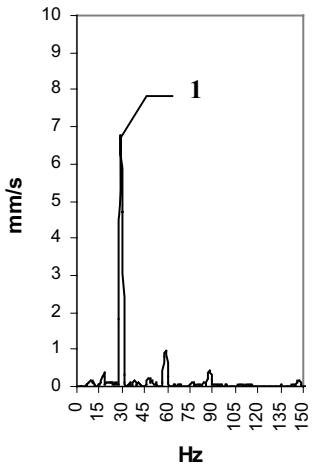
2. MODELOWANIE WIRNIKA

Wirówka ACWW1000 używana w przemyśle cukrowniczym jest newralgicznym elementem linii technologicznej krystalizacji cukru. Widok wnętrza urządzenia przedstawia rys. 1. Długość wału, na którym osadzony jest bęben wynosi 1200 mm a jego średnica maksymalna 70 mm. Eksploatacyjna prędkość wirowania wynosi 1800 obr/min.

Charakterystyka amplitudowo-częstotlliwościowa drgań wirnika została zobrazowana na rys. 2. Pomiarów przemieszczeń [5] osi wału dokonano za pomocą czujników wiroprądowych przy prędkości znamionowej maszyny (rys. 3).

Rys.1. Wygląd wnętrza wirówki ACWW1000

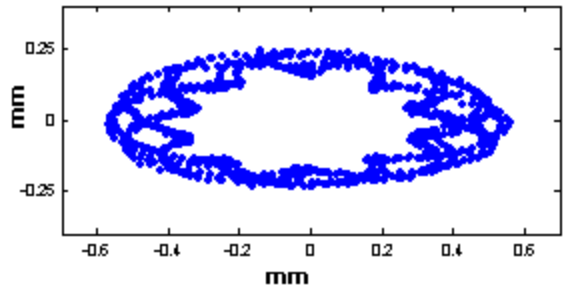
Problem drgań własnych wirnika wirówki ACW1000 był przedmiotem rozważań w pracy [6]. Okazuje się, że klasyczny model Greena-Stodoli na którym oparto rozwiązanie numeryczne nie dawał wyników zgodnych z uzyskanymi w trakcie badań rzeczywistego obiektu. Tym bardziej godne uwagi wydaje się podejście zastosowane w pracy [7], które doprowadziło autorów do poprawnych rozwiązań pomimo, że zastosowano prostszy model niż przyjęty w [6] a sztywność podparcia nie została w ogóle uwzględniona.



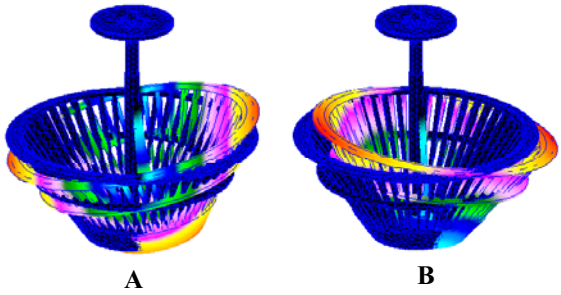
Rys.2. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa drgań wirówki [5] 1 – 29.5Hz

Rys. 4 przedstawia postaci giętne drgań własnych wirnika odpowiadające częstotliwościom 15.7Hz oraz 29.0Hz. Jest rzeczą interesującą, że częstotliwość 29Hz pokrywa się z obserwowaną na widmie A-C dominującą amplitudą drgań odpowiadającą częstotliwości wymuszenia.

Oznaczałoby to, że częstotliwość obrotowa wirnika znajduje się blisko obszaru rezonansu, a więc jest bardzo niekorzystna. Pewne wątpliwości może budzić fakt, że zgodność ta dotyczy warunków założonej nieskończenie dużej sztywności podparcia, chociaż rzeczywisty sposób łożyskowania tych warunków nie zapewnia. [8].



Rys.3. Trajektoria ruchu środka czopa wału wirnika



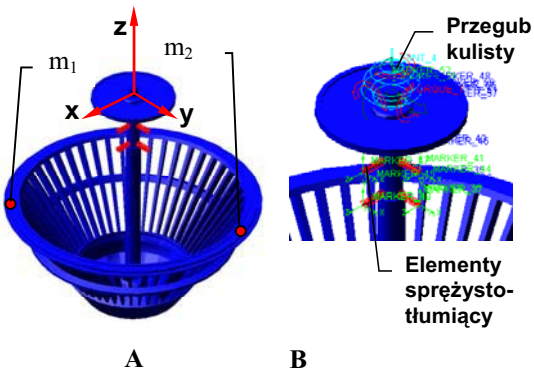
Rys. 4. Dwie pierwsze postacie drgań giętnych wirnika wirówki. **A**-15.7Hz, **B**-29.0Hz

Ponieważ średnica wału (70 mm) czyni go znacząco sztywnym w porównaniu ze sztywnością podparcia, należy sądzić, że jego odkształcenie jest nieporównywalnie małe wobec przemieszczeń spowodowanych podatnością układu łożyskowania. Świadczy o tym również fakt występowania wyraźnych kolejnych harmonicznych częstotliwości obrotowej. Przy czym krotności parzyste wiązać należy z drganiami poprzecznymi, natomiast nieparzyste z drganiami o charakterze skrętnym [11].

3. ANALIZA NUMERYCZNA DYNAMIKI WIRNIKA

Dla celów analizy numerycznej zastosowano model, którego geometria jest zbliżona do rzeczywistych kształtów i wymiarów badanego obiektu.

Na rys. 5 przedstawiono sposób modelowania podparcia wirnika. Przyjęto, że sztywność sprzęgła zastąpionego przegubem kulistym jest w bardzo duża w kierunku osi 0z, natomiast w kierunku osi 0y oraz 0x bardzo mała w porównaniu ze sztywnością łożysk.



Rys. 5. Sposób podparcia wirnika z zaznaczeniem sztywności i tłumienia

Równania ruchu wirnika podpartego w łożyskach wyrazimy następująco:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}\mathbf{q} = \mathbf{F}^s + \mathbf{F}^t \qquad (1)$$

gdzie: **M** – macierz bezwładności, **C** – macierz tłumienia, **K** – macierz sztywności wirnika, $\mathbf{F}^s$ jest siłą oddziaływania łożyska na wał,

$$\mathbf{F}_m^s = -k_x u_m \mathbf{i} - k_y v_m \mathbf{j} \qquad (2)$$

natomiast $\mathbf{F}^t$ siłą tłumienia w łożysku

$$\mathbf{F}_m^t = -c_x \dot{u}_m \mathbf{i} - c_y \dot{v}_m \mathbf{j} \qquad (3)$$

Indeks *m* identyfikuje węzeł elementu skończonego związanego z łożyskiem.

Elementy sprężysto-tłumiące użyte do modelowania łożysk charakteryzują ich asymetryczną sztywność [9]:

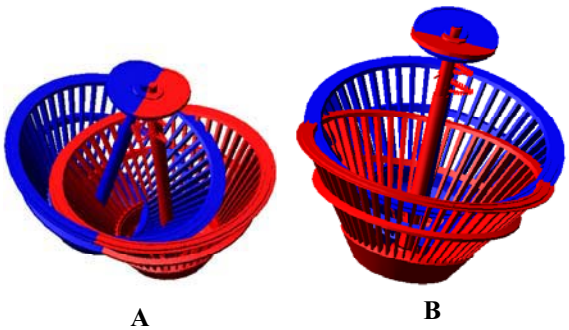
$k_{1x} = k_{2x} = 2.5E+4N/mm$,

$k_{1y} = k_{2y} = 4.3E+4N/mm$,

oraz tłumienie:

$c_{1x} = c_{1y} = c_{2x} = c_{2y} = 1E+1\,\mathrm{Ns/mm}$.

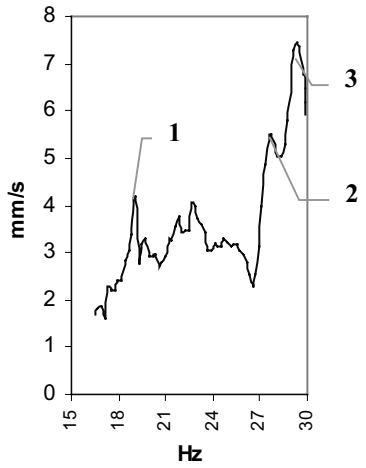
Obliczone częstotliwości drgań własnych wirnika przy prędkości znamionowej wynoszą: 18.91Hz oraz 28.17Hz. Ich postaci zobrazowane są na rys. 6.



Rys. 6. Postaci drgań własnych odpowiadające częstotliwościom rezonansowym A- 18.85Hz, B- 28.15Hz

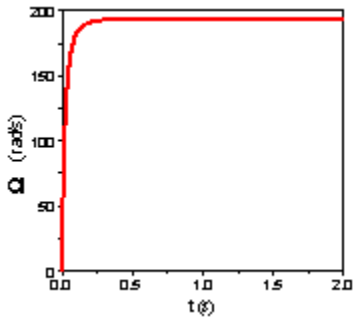
Analiza widma amplitudowo-częstotliwościowego uzyskanego w trakcie rozbiegu wirówki (rys.7) oraz trajektoria ruchu wirnika (rys.3) skłania do podejrzeń, że częstotliwość obrotowa wirówki (rys. 7 punkt 3) znajduje się powyżej drugiej częstotliwości krytycznej oznaczonej na rys. 7 jako punkt 2.

Oznacza to, że wirówka każdorazowo podczas rozbiegu, jak również wybiegu przechodzi przez strefę rezonansu doznając w obszarze pomiędzy pierwszą i drugą prędkością krytyczną (rys. 7 punkty 1 oraz 2), w warunkach precesji przeciwbieżnej, zmian naprężeń o częstotliwości równej podwojonej częstotliwości wirowania.



Rys. 7. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa drgań łożyska podczas rozbiegu wirówki: 1- 19Hz, 2- 27.75Hz, 3- 29.5Hz

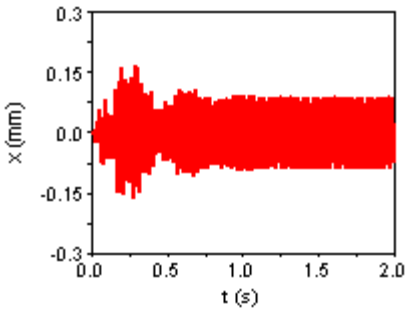
Przyjęty cykl rozbiegu wirówki został zilustrowany na rys. 8.



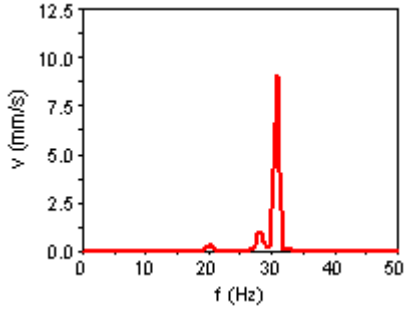
Rys. 8. Zmiany prędkości kątowej wirnika w funkcji czasu w trakcie rozbiegu

Założono w nim, że po czasie ~0.5s prędkość obrotowa osiąga znamionową wartość 1800obr/min. Na wielkość amplitudy drgań wirnika ma wpływ niewyważenie, które modelowano w postaci dwóch mas skupionych m_1 oraz m_2 (m_1=m_2=30g) każda, przesuniętych względem siebie o kąt $\frac{\pi}{2}$. Masy te położone są na promieniu *r=530*mm.

Rys. 9 oraz rys. 11 przedstawiają uzyskane przebiegi czasowe przemieszczeń łożysk wirówki odpowiednio o mniejszej (oś 0x) oraz o większej sztywności (oś 0y). W obu przypadkach wyraźnie zarysowany jest obszar drgań odpowiadający przechodzeniu przez rezonans.



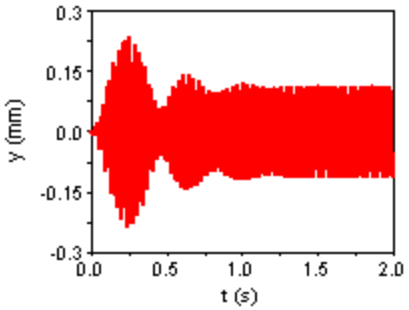
Rys. 9. Przebieg czasowy drgań łożyska w kierunku 0x



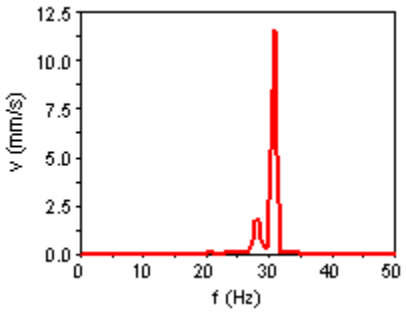
Rys. 10. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa drgań wirnika w kierunku osi 0x

Amplitudy drgań w częstotliwości obrotowej wirnika (rys. 10, rys. 12) są porównywalne z wartością uzyskaną w trakcie badań (rys. 2), co świadczy o poprawności danych odnośnie sztywności i tłumienia łożysk oraz wielkości niewyważenia układu.

Trajektoria ruchu środka masy modelu wirnika (rys. 12) w zakresie ruchu ustalonego (2) zbliżona jest do rzeczywistej wyznaczonej na podstawie wyników pomiarów. Precesja przy tej częstotliwości obrotowej ma charakter współbieżny, synchroniczny. Wniosek taki wypływa to m.in. z analizy diagramu Campbella (rys. 14). Ruch precesyjny wirnika w obszarze oznaczonym jako **1** jest precesją współbieżną.

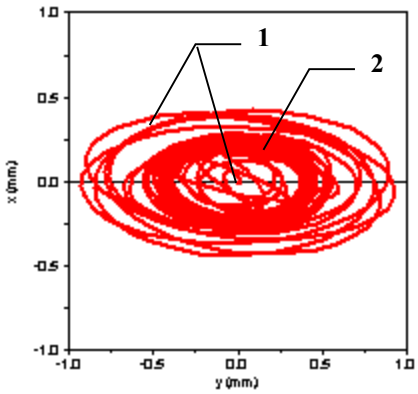


Rys. 11. Przebieg czasowy zmian wychylenia osi wirnika w kierunku 0y



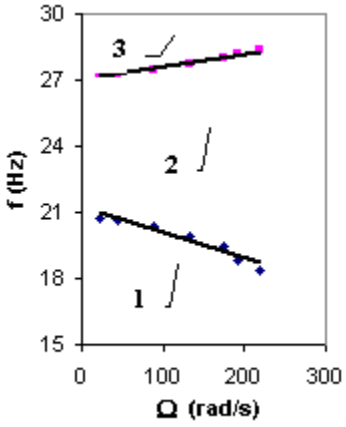
Rys. 12. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa drgań wirnika w kierunku osi 0y

Pierwsza prędkość krytyczna rozdzielająca obszary nazwane **1** oraz **2** zmniejsza swoją wartość przy wzroście prędkości wirowania. Jest to zjawisko charakterystyczne dla strefy przejścia precesji współbieżnej w przeciwbieżną. Efekt odwrotny ma miejsce przy częstotliwości obrotowej bliskiej drugiej częstotliwości rezonansowej. Po jej przekroczeniu, w obszarze z indeksem **3** znów mamy do czynienia z precesją współbieżną.



Rys. 13. Trajektoria ruchu środka masy wirnika **1** - rozbieg **2** – ruch ustalony

Sposób odpowiedzi rezonansowej układu bardzo dobrze odzwierciedla charakterystyka Bodego. Jej część amplitudową przedstawia rys. 15, natomiast fazową rys. 16.

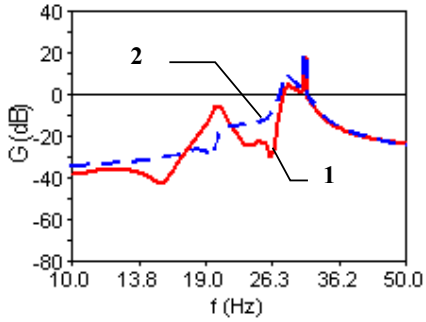


Rys. 14. Diagram Campbella

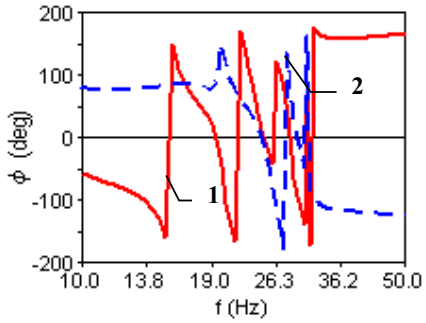
Na obu wykresach częstotliwość jest w skali logarytmicznej , natomiast amplituda wyrażona jest w (dB) zgodnie z zależnością

$$G(dB) = 20\log_{10}\left(H(\omega j)\right) \qquad (4)$$

Przy czym $H(\omega j)$ jest odpowiedzią układu w dziedzinie częstotliwości.



Rys. 15. Charakterystyka amplitudowa Bodego przemieszczeń łożysk wirnika
1 – kierunek 0x. **2** – kierunek 0y

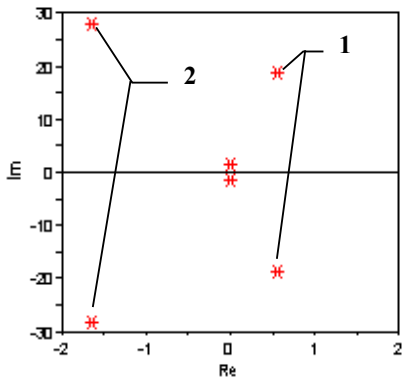


Rys. 16. Charakterystyka fazowa Bodego drgań łożysk wirnika
1 – kierunek 0x, **2** – kierunek 0y

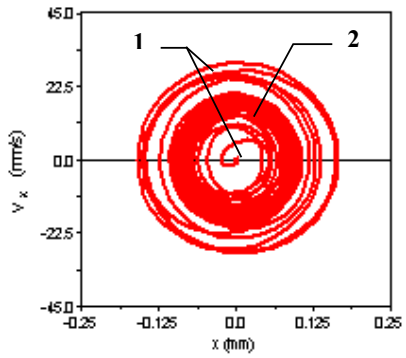
4. STABILNOŚĆ RUCHU

Położenie na płaszczyźnie zespolonej pierwiastków zagadnienia na wartości własne, wykazuje niestabilność drgań wirnika przy prędkości obrotowej bliskiej pierwszej prędkości krytycznej, natomiast przy drugiej prędkości krytycznej ruch wirnika jest stabilny

Zgodnie z przypuszczeniami, precesja przeciwbieżna obniża częstości własne drgań wirnika czyli destabilizuje układ, natomiast wpływ precesji współbieżnej jest odwrotny i prowadzi do stabilizacji ruchu wirnika. Efekt ten matematycznie wynika wprost z istoty macierzy żyroskopowej [10], która jest składnikiem globalnej macierzy tłumienia **C** występującej w równaniu (1).

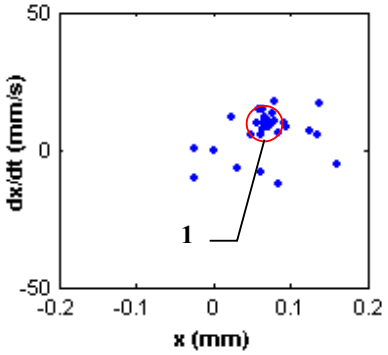


Rys. 16. Położenie na płaszczyźnie zespolonej pierwiastków zagadnienia na wartości własne drgań wirnika
1 – drgania niestabilne, **2** – drgania stabilne

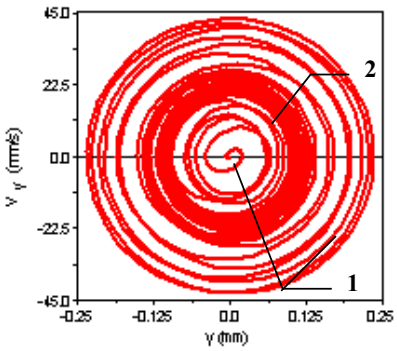


Rys. 18. Obraz na płaszczyźnie fazowej drgań wirnika w kierunku osi 0x
1 – obszar zmiennej prędkości obrotowej,
2 – obszar ruchu ustalonego

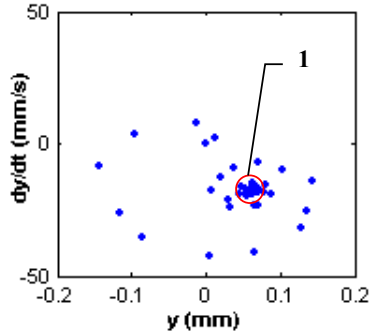
Dążenie układu do osiągnięcia stanu stabilności jest widoczne na rys. 18 oraz rys.20 przedstawiających trajektorie fazowe drgań łożysk podczas rozbiegu wirnika (**1**) oraz przy ustalonej prędkości obrotowej (**2**). Mapa Poincare' (rys.19, rys.21) daje wyraźny obraz stabilizacji zarówno okresu drgań jak też amplitud przemieszczenia i prędkości po przekroczeniu drugiej prędkości krytycznej.



Rys. 19. Mapa Poincare' drgań wirnika w kierunku osi 0x. **1** – obszar ustalonej prędkości obrotowej wirnika



Rys. 20. Obraz na płaszczyźnie fazowej drgań wirnika w kierunku osi 0y
1 – obszar zmiennej prędkości obrotowej,
2 – obszar ruchu ustalonego



Rys. 21. Mapa Poincare' drgań wirnika w kierunku osi 0y
1 – obszar ustalonej prędkości obrotowej wirnika

5. WNIOSKI

Z przedstawionej analizy wynika, że istnieje duża zgodność między wyniki modelowania numerycznego ruchu wirówki a rezultatami otrzymanymi w trakcie jej badań. Pozwalało ta zinterpretować przyczyny wysokiego poziomu drgań wirnika jak również przewidzieć jej zachowanie przy ewentualnej zmianie parametrów eksploatacyjnych.

Trajektoria ruchu wirnika (rys.3) jest charakterystyczna dla układu o asymetrycznej sztywności podparcia. Bardzo prawdopodobnym jest fakt, że również sztywności obydwu łożysk w tych samych kierunkach nie jest jednakowa. W widmie (rys.7) widoczne są amplitudy drgań o częstotliwościach 23-24Hz. związane z drganiami innych elementów maszyny. Przypadków tych nie uwzględniono w modelu, który z zamierzenia jest bardzo prosty, chociaż jak pokazują wyniki analiz stosunkowo wiernie odzwierciedla zachowanie układu.

Fakt, że eksploatacyjna częstotliwość obrotowa wirnika znajduje się blisko górnej granicy niestateczności, oznacza, że każde jej zmniejszenie spowodowane wzrostem oporów ruchu spowoduje pogorszenie warunków pracy urządzenia. Podobny efekt wystąpi przy zmniejszeniu sztywności układu przy np. wzroście luzu w łożyskach w wyniku ich postępującego zużycia.

LITERATURA

[1] V. J. Nolan, N. Sri Namachchivaya, Almost-sure stability of linear gyroscopic systems, Journal of Sound and Vibration, 1999, 227(1), pp. 105-130.
[2] J. Lumijarvi, A. Pramila, Comment on stability of non-conservative linear discrete gyroscopic systems, Journal of Sound and Vibration, 1995, 185(5), pp. 891-894.
[3] R. Łączkowski, Dynamika wirników przewieszonych, Przegląd Mechaniczny, 1973, 12, pp. 421-427.
[4] A. Muszyńska, Forward and bacward precession of a vertical anisotropically supported rotor, Journal of Sound and Vibration, 1996, 192(1), pp. 207-222.
[5] P. Mikołajczak, K. Ligier, Method of identification of critical damage states on the example of sugar centrifuge, Diagnostic, 29, 2003.
[6] J. Zachwieja, K. Ligier, Numerical analysis of vertical rotor dynamics of ACWW1000 centrifuge, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2005, 43(2), pp. 257-275.
[7] S. Woroszył, K. Ligier , P. Mikołajczak, Mathematical model of the rotor system of a sugar centrifuge ACWW 1000, Technical Sciences, 2005, 8, (praca w druku).
[8] M. Tiwari, K. Gupta, O. Prakash, Dynamic response of unbalanced rotor supported on ball bearings, Journal of Sound and Vibration, 2000, 238(5), pp. 757-779.
[9] S.P. Harsha, K. Sandeep, R. Prakash, The effect of speed of balanced rotor on nonlinear vibrations associated with ball bearings, International Journal of Mechanical Sciences, 2003, 45, pp. 725-740.
[10] J. Zachwieja, Efekt żyroskopowy w dynamice walców maszyny papierniczej, Zeszyty Naukowe, 202, 241, Mechanika (53), pp. 311-323.
[11] M. Li, Analysis of the coupled lateral torsional vibration of a rotor-bearing system with a misaligned gear coupling, Journal of Sound and Vibration, 2001, 243(2), pp. 284-300.

Autor jest adiunktem w Katedrze Mechaniki Stosowanej Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Zajmuje się zagadnieniem drgań układów mechanicznych. Jest autorem publikacji z zakresu dynamiki maszyn.

KU WYŻYNOM NAUKI - PROGI I BARIERY

Bogdan ŻÓŁTOWSKI
ATR BYDGOSZCZ

Streszczenie

W pracy przedstawiono wybrane problemy dotyczące realizacji rozprawy doktorskiej. Wskazano tu na procedurę realizacji zadań związanych z uzyskaniem pierwszego stopnia naukowego. Także pokrótce omówiono sposób formułowania i pisania oraz recenzowania rozpraw doktorskich.

Słowa kluczowe**:** rozprawa doktorska, edytorstwo, recenzowanie

TOWARDS UPLANDS OF SCIENCE - THE SILL TIMBERS AND BARRIERS

Summary

It in running was introduced chosen relating realization problems doctor's trial. It was showed here on the procedure of realization of problems connected from obtainment first degree. It was has talked over was also briefly prepare formulating and writing as well as reviewing doctor's trials.

Keywords: doctor's trial, editorship, reviewing

1. WPROWADZENIE

Treści opracowania nawiązują do zainteresowań ludzi młodych, rozpoczynających pracę w obszarze nauki, gdzie muszą zderzyć się z procedurami obowiązującymi podczas kolejnych awansów naukowych. Są oni uczestnikami FORUM MŁODYCH, które od lat towarzyszy cyklicznej konferencji DIAGNOSTYKA MASZYN ROBOCZYCH I POJAZDÓW.

Formalnie zasady nadawania tytułu naukowego i stopni naukowych reguluje ustawa z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw RP nr 65, poz.595).

Celem procesu rozwojowego, jakiemu podlegają pracownicy naukowi jest ukształtowanie osobowości samodzielnego pracownika naukowego. Jest to długi i żmudny okres ciężkiej pracy naukowo – badawczej i dydaktyczno – organizacyjnej, nie zawsze wieńczony sukcesem.

W tej pracy przedstawiono wybrane problemy rozwoju naukowego na poziomie doktorskim, wykorzystując do tego znakomite wcześniejsze opracowania wybitnych profesorów: C. Cempela, W. Leszka, B. Wojciechowicza, J. Szali oraz własne doświadczenia z okresu dotychczasowej pracy naukowej. Praca zawiera pewne przemyślenia i propozycje w tematyce podejmowania i pisania rozpraw doktorskich, przygotowania autoreferatu, zasad oceniania i doboru recenzentów rozpraw naukowych.

Przemyślenia tego opracowania są skierowane do młodych pracowników nauki, rozpoczynających trudną drogę awansów na kolejne stopnie naukowe, a dalej tytuły naukowe. Pewna część publikacji winna zainteresować także rozpoczynających swój udział w obowiązkowych ustawowo procedurach awansów naukowych.

2. ROZWÓJ NAUKOWY

Rozprawa doktorska i uzyskany na jej podstawie stopień naukowy stanowią spektakularne podsumowanie wieloletniej działalności badawczej i publikacyjnej oraz świadczą o uzyskaniu odpowiednich kwalifikacji i samodzielności w pracy naukowej.

Przygotowanie do samodzielnej pracy naukowej oznacza, że Kandydat:

- posiada wystarczającą wiedzę o dyscyplinie naukowej, która umożliwia formułowanie problemów, ich ocenę i wybór metody realizacji problemu badawczego;
- umie zdekomponować problem badawczy na zadania i określić kolejność ich realizacji;
- potrafi dobrać lub dostosować metody badawcze do problemu i zadań szczegółowych;
- potrafi konsekwentnie zrealizować zadanie badawcze;
- umie opracować i zinterpretować uzyskane wyniki;
- umie przekazać zdobytą wiedzę w postaci pisemnej oraz ustnej;
- potrafi rzeczowo bronić swoich poglądów oraz uznać wartość krytyki naukowej.

Praca doktorska ma na celu rozwiązanie poprawnie sformułowanego problemu, poprzez dobór materiału badawczego i wybór właściwej metody jego opracowania. Realizacja rozprawy doktorskiej jest etapem w rozwoju kwalifikacji profesjonalnych pracownika naukowego przygotowującym go do pełnej samodzielności. Jest

to etap pośredni między ukończeniem studiów, a habilitacją. Powinien on wykazać wzrost poziomu intelektualnego i zakresu wiedzy, rozszerzenie umiejętności tworzenia i przekazywania wiedzy oraz znajomość środowiska naukowego i obowiązujących w nim norm etycznych, form współżycia itd.

Na efektywność działalności naukowej wpływają następujące cechy osobowości:

- dobra pamięć, pozwalająca na szybkie przywołanie potrzebnych informacji;
- rozwinięta wyobraźnia, wolna od stereotypów myślowych;
- inteligencja, jako umiejętność praktycznego stosowania operacji logicznych;
- krytycyzm wobec własnych i innych poglądów, nie uleganie pozorom;
- aspiracje poznawcze, silne motywacje i chęci;
- odwaga głoszenia własnych poglądów (przekleństwo autorytetu);
- kultura osobista i umiejętność współpracy, lojalność wobec przełożonego i kolegów;
- konsekwencja i wytrwałość w dążeniu do celu, systematyczność w pracy;
- umiejętność organizacji własnej pracy.

Do tego psychologicznego obrazu dobrego pracownika naukowego należy dodać jeszcze podstawowe i specjalistyczne przygotowanie zawodowe oraz dobry stan zdrowia i umiejętność radzenia sobie w różnych sytuacjach życiowych.

3. PISANIE PRACY NAUKOWEJ

Rozprawa doktorska jest pracą promocyjną stanowiącą podstawę do nadania jej Autorowi stopnia naukowego doktora. Ustawa o tytule naukowym i stopniach naukowych [1] mówi: „Rozprawa doktorska, pisana pod opieką promotora, powinna stanowić oryginalne rozwiązanie przez Autora zagadnienia naukowego oraz wykazywać jego ogólną wiedzę teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej".

Praca doktorska jest szczególnym przypadkiem publikacji naukowej, której zasady pisania przedstawiono w wielu opracowaniach z zakresu piśmiennictwa naukowo-technicznego. W jej redakcji zwraca się uwagę na potrzebę zachowania właściwego układu pracy, poprawności językowej, stylu oraz terminologii naukowej. Zasady pisania pracy doktorskiej mieszczą się w zasadach ogólnych pisarstwa naukowego i dotyczą następujących kwestii:

- **spis treści** - powinien obejmować wszystkie nagłówki rozdziałów i podrozdziałów oraz numerację stron rozpoczynających te rozdziały.
- **układ graficzny** pracy naukowej powinien zapewniać Czytelnikowi uzyskanie z lektury największych korzyści przy minimum niezbędnego wysiłku. Należy w pracy uwzględnić wyraźne, oddzielne fragmenty, nazwać rozdziały i ich części osobnymi, zwięzłymi tytułami i podtytułami. Tabele i rysunki powinny być wykonane starannie, czytelnie, odpowiednio opisane i umieszczone we właściwym miejscu w tekście.
- **poprawność językowa** - błędy ortografii, fleksji, składni i stylu mogą pociągnąć za sobą wadliwą recepcję i nieporozumienia, wzbudzać negatywne reakcje wobec treści logicznej i spowodować błędy oceny merytorycznej. Język naukowy powinien być raczej ubogi, jednakże na tyle zasobny, aby umożliwić nienaganne przekazywanie myśli.
- **styl** - inaczej dobór słów, zwrotów językowych i sposobów składania zdań musi odpowiadać względom logicznym, gramatycznym i dydaktycznym łącznie. Styl stanowi o łatwości przyswajania tekstu naukowego przez Czytelnika, wiąże się z jego subiektywnymi reakcjami.
- **terminologia naukowa** - powinna być należycie przystosowana do realnego postępu danej wiedzy naukowej.

Zasady opisywania badań empirycznych nie różnią się od ogólnych zasad pisarstwa naukowego. Specyfika opracowań dotyczących badań empirycznych polega na precyzyjnym ich zaadresowaniu i konsekwentnym zrealizowaniu celu publikacji.

Przystępując do pisania pracy doktorskiej należy przyjąć plan tematyczny pracy, a w konsekwencji układ treści pracy. Niewłaściwe zestawienie planu pracy, czego konsekwencje mogą się przejawiać w końcowej fazie pisania, może prowadzić do zburzenia całej koncepcji pracy. Trudno jest podać szczegółowe i jednoznaczne założenia jak powinna się przedstawiać konstrukcja pracy doktorskiej. Generalnie układ pracy doktorskiej przedstawia się następująco:

TEMAT PRACY (poprawnie sformułowany i adekwatny do treści pracy).

1. WPROWADZENIE (1-2 strony)
- problematyka pracy,
- geneza pracy,
- informacja skrótowa o dokonaniach w pracy.

2. ROZDZIAŁ I lub TYTUŁ ROZDZIAŁU
np. STUDIUM LITERATUROWE TEMATU
(stan wiedzy z obszaru tytułu pracy)
- charakterystyka ogólna,
- analiza krytyczna,
- dziedziny pokrewne,
- wnioski - korespondujące z tematem pracy.

3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU BADAWCZEGO
- założenia, twierdzenia,
- hipotezy robocze (przypuszczenia),
- cel główny pracy,
- cele szczegółowe pracy,
- zakres pracy i jej konstrukcja.

4. OPRACOWANIE PROBLEMU GŁÓWNEGO PRACY
- podstawy teoretyczne;
- ocena krytyczna problemu (stosowanych metod);
- proponowane rozwiązania - propozycja nowej metody;
- model badania problemu.

5. METODYKA BADAŃ
- ustalenie metod roboczych,
- przyjęcie formy eksperymentu,
- obiekt badań,
- opis stanowiska i aparatury badawczej,
- warunki realizacji eksperymentu,
- sposób zbierania i przetwarzania danych.

6. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA
- zestawienie wyników i ich prezentacja,
- opracowanie statystyczne wyników (miary, wykresy itp.),
- analiza wyników - wnioskowanie przyczynowo-skutkowe.

7. ZAKOŃCZENIE (WNIOSKI KOŃCOWE)
- krytyczna analiza uzyskanych rezultatów - stopień realizacji celu pracy,
- wnioski (ogólne, poznawcze, utylitarne),
- ważność uogólnień pracy,
- dokonania autora w pracy,
- wytyczne do dalszych badań.

LITERATURA (wykaz wykorzystanych źródeł)
- zestawiona alfabetycznie,
- zestawiona wg kolejności cytowania.

ZAŁĄCZNIKI - integralnie związane z pracą.

STRESZCZENIE (zachęta do czytania – tłumaczenia w j. obcych).
- uzasadnienie problemu pracy,
- metodyka realizacji pracy,
- przebieg i wyniki badań.

Głównymi zaletami dobrej konstrukcji pracy naukowej są:
- prostota i towarzysząca jej przejrzystość, czyli cechy stanowiące przejaw logiki rozumowania, która trzyma się jasno wytyczonej drogi;
- kondensacja polegająca na takim układzie treści, który eliminuje niebezpieczeństwo wielokrotnych nawrotów do tego samego zagadnienia;
- metodyczność, jako zgodność z tokiem prawidłowego rozumowania;
- harmonia, która polega na zachowaniu właściwych proporcji pomiędzy poszczególnymi fragmentami pracy.

Przed rozpoczęciem pisania materiał źródłowy należy poddać krytycznemu przeglądowi, wyeliminować to, co zbędne. Kwestie wątpliwe, nie zamieszczone w tekście wymagają szczególnej analizy w kierunku wyjaśnienia istoty zaistniałych wątpliwości. Mogą one stanowić zalążki przyszłych problemów badawczych. Uzyskany rękopis roboczy podlegać winien dalszemu opracowaniu autorskiemu, w wyniku którego powstanie czystopis utworu, który może być skierowany do recenzenta wydawniczego (jeśli praca jest drukowana) oraz do promotora. Jeśli praca będzie opublikowana w określonym wydawnictwie, przed oddaniem do druku należy przystosować czystopis do wymogów wydawnictwa.

Pozostaje jeszcze sprawa objętości pracy doktorskiej, gdzie zaleca się utrzymanie pojemności treści w zwyczajowo przyjętym limicie 100 do 140 stron formatu A4 (przy zastosowaniu normalnego pisma maszynowego). Pojemność rozprawy doktorskiej przekraczająca 200 stron maszynopisu - uznawana jest za nadmierną i trzeba tego zdecydowanie unikać. Trafność właściwego ujęcia rozprawy w aspekcie pojemnościowym polega na tym, aby w typowej pojemności zamieścić takie najistotniejsze elementy treściowe, które dadzą opracowanie bez zbędnych przerostów i niepożądanych luk. Omawiany problem musi być dokładnie i przekonująco opisany, przy pełnym zastosowaniu zasad pisarstwa naukowego – oszczędność słów, poprawność merytoryczna i metodyczna, język naukowy itd.

4. ZASADY EDYTORSTWA

Zadania edytorskie obejmują: zadania obciążające autora pracy i zadania obciążające wydawnictwo. Zadania obciążające autora pracy dotyczą technicznego przygotowania rękopisu i zadań związanych z korektą. Przygotowanie rękopisu do przekazania go wydawnictwu obejmuje:
- kontrolę opracowania pod względem formalnym, (unifikacja terminologii, ujednolicona struktura pracy, ustalenie paginacji, uporządkowanie numeracji rysunków, wzorów, odnośników literaturowych i powołań na załączniki);
- ustalenie rodzaju techniki poligraficznej: maszynopis, odbitki powielaczowe, odbitki offsetowe, druk ze składu drukarskiego;
- przygotowanie maszynopisu (jednostronnie, z podwójną interlinią, czytelnie, bez zniekształceń);
- przygotowanie materiału ilustracyjnego (rysunki, wykresy, fotografie – wg wymagań wydawnictwa).

Przy pracach wydawanych drukiem rozróżnia się oprócz wstępnego sprawdzenia maszynopisu: korektę techniczną, korektę redakcyjną, korektę autorską.

Celem korekty technicznej jest sprawdzenie zgodności składu drukarskiego z maszynopisem. Drukarnia poprawia na swój koszt jedynie błędy zecerskie. Korekta redakcyjna polega na sprawdzeniu poprawek naniesionych przez korektorów oraz naniesieniu korekty autorskiej na egzemplarz korektorski.

Korekta autorska jest uprawnieniem i obowiązkiem autora. Celem jej jest:

- wykrycie błędów w składzie drukarskim, we wzorach, tabelach i rysunkach;
- wykrycie nieprawidłowości powołań na wzory, rysunki czy tabele;
- wykrycie usterek w rozmieszczeniu rysunków i podpisów, wzorów, tabel, przypisów;
- wpisanie numerów stronic w powołaniach na inne stronice opracowania.

Wykonanie erraty należy do obowiązków wydawnictwa. Powszechna dostępność techniki komputerowej powoduje, że coraz więcej prac promocyjnych jest wykonywana osobiście przez autorów. Wymagania, co do jakości składu komputerowego pracy są podobne do wyżej omówionych.

Komputer stał się pożytecznym i nieodzownym narzędziem w najrozmaitszych dziedzinach i obszarach działalności badawczej, np. redagowanie i pisanie tekstów, przechowywanie i wyszukiwanie informacji, przetwarzanie danych i obliczenia zgodnie z potrzebami wynikającymi z charakteru pracy badawczej. Pożytek z komputera jest tym większy, im bardziej złożone i pracochłonne jest zadanie do wykonania, zwłaszcza gdy wymaga wielokrotnego powtórzenia w różnych wariantach. Zysk ze stosowania komputera przejawia się w oszczędności czasu oraz w komforcie pracy, wynikającym ze zautomatyzowania pracochłonnych czynności graficznych czy obliczeniowych.

5. AUTOREFERAT

Podczas publicznej obrony kandydat przedstawia główne tezy rozprawy doktorskiej w autoreferacie, który zawiera informacje umożliwiające odbiorcom ocenę pracy i jej dokonań, a jednocześnie wskazuje na znajomość dziedziny przez doktoranta. Autoreferat nie może i nie powinien być streszczeniem pracy, a jedynie obroną swych wyników według następującego planu. Najpierw podanie tematu i uzasadnienie jego wyboru. Z faktu konieczności obrony swych tez wynika, że muszą być one jasno sformułowane i kolejno przedstawione oraz muszą być one również kolejno uzasadnione w sposób naukowy.

Należy uzasadnić dobór materiału oraz dobór metod badawczych. W słowie dobór mieści się konieczność przedstawienia i uzasadnienia, dlaczego to a nie, co innego zostało w pracy przyjęte. Wyniki można podać w skrócie - chodzi tu jedynie o umożliwienie odbiorcom oceny, czy nie zachodzi sprzeczność z dotychczasowym stanem wiedzy i jej interpretacją. Z tego punktu widzenia najczęściej stosowane referowanie streszczenia pracy, a zwłaszcza samych jej wyników, nie daje żadnych podstaw do zajęcia stanowiska na temat wartości pracy doktorskiej.

Autoreferat jest dla doktoranta punktem wyjścia do publicznej obrony, zatem można zaproponować następujący schemat autoreferatu:

- tytuł;
- uzasadnienie celowości tematu;
- wyszczególnienie tezy lub tez;
- metody doboru materiałów wraz z uzasadnieniem;
- metody badawcze, wyniki badań z komentarzem;
- znaczenie teoretyczne i praktyczne pracy.

Autoreferat ukazuje również zachowanie się doktoranta przed audytorium (ekspresja - głos, gesty), sposób wypowiedzi, umiejętność posługiwania się technicznymi środkami przekazu, sposób prowadzenia dyskusji itd.

6. OCENA PRAC NAUKOWYCH

Oceny racjonalne prac naukowych wymagają ścisłych kryteriów, czyli mierników, po których coś się poznaje i osądza. Jakkolwiek ocenie poddana jest zwykle czyjaś czynność lub jej wytwór, to zwykle oceniamy człowieka, biorąc pod uwagę również jego motywy, intencje, zamiary i cele oraz środki działania, które obrał, aby swoje dążenia urzeczywistnić.

Głównym przedmiotem oceny naukowej są czynności i wytwory w ściślejszym sensie naukowe. Dzieła naukowe ocenia się, zaczynając od rozważania, czy temat badań lub dzieła jest ważny dla nauki, czy o tyle nowy, że jeszcze nie wyeksploatowany, czy obiecujący, gdyż jego opracowanie może stanowić istotny postęp poznawczy w obrębie danej dyscypliny. W związku z tym ustala się, czy badacz zna dotychczasowe wyniki w obrębie swego tematu i czy krytycznie zanalizował zastany stan badań. Z kolei uwagę kieruje się na program badań: poprawność klasyfikacji ich zakresu, racjonalne uporządkowanie poszczególnych etapów, precyzyjne sformułowanie zagadnień, wybór celu głównego, celów pośrednich i metod ich osiągania. Następnym krokiem jest analiza przebiegu badań. Ma ona dostarczyć informacji czy badania powielają to, co już robili poprzednicy, czy też są oryginalne, czy hipotezy wysunięto mając ku temu pewne podstawy czy bezpodstawnie oraz czy hipotezy te należycie sformułowano, a następnie sprawdzono.

Ważnym elementem jest ocena wyników badań: czy własne i nowe, czy doniosłe i poprawne, czy wystarczająco uzasadnione i udokumentowane. Dzieło naukowe powinno stanowić odbicie i rezultat uprzednich (często już publikowanych częściowo) samodzielnych badań autora. Chodzi tu również o ocenę zastosowanych w badaniach właściwych metod badawczych - inaczej chodzi o krytykę warsztatu naukowego.

Oceniający winien także uwzględniać:

- aparat naukowy: zestawienie bibliografii, indeks rzeczowy, rzetelne cytowanie źródeł;
- aspekty formalne: przejrzystość kompozycji, poprawność języka, staranność korekty.

Ocena pracy w oparciu o kryterium logiki myślenia ma dać odpowiedź na pytanie jak dalece teoria autora, opracowana w rezultacie przeprowadzonych badań, jest poprawna logicznie. Wiąże się z tym kryterium poprawności językowej - jakości stylu. Zasadniczym kryterium jest kryterium oryginalności, w oparciu, o które szukamy odpowiedzi na pytania: co jest nowego w ocenianej pracy, jakie nowe prawdy odkrywa, jakie nowe fakty ustala. Kryterium użyteczności pracy jest kryterium dodatkowym, na podstawie którego ocenia się pracę z uwagi na jej związek z życiem - szczególnie dotyczy to prac z nauk technicznych.

Recenzja rozprawy doktorskiej powinna zawierać ocenę jej wartości naukowej wraz z uzasadnieniem, a w szczególności opinię, czy rozprawa odpowiada warunkom określonym w ustawie. Może zawierać również wnioski dotyczące ewentualnego uzupełnienia lub poprawienia rozprawy, lecz wymaga to dodatkowych recenzji tych samych recenzentów. Ustawa określa warunki, jakie oceny powinna zawierać recenzja:

- czy rozprawa spełnia wymóg oryginalnego rozwiązania zagadnienia naukowego,
- czy rozprawa spełnia wymóg wykazania przez autora wiedzy teoretycznej w danej dyscyplinie,
- czy rozprawa wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Oceny te powinny być przez autora recenzji uzasadnione.

Aspekt oryginalności rozwiązania zagadnienia naukowego przedstawionego w rozprawie dotyczy oceny problematyki, metodologii, dyskusji wyników, jak też pisarstwa. Posłużyć się tutaj można przytoczonymi kryteriami.

Ocena stopnia opanowania przez autora rozprawy wiedzy teoretycznej w danej dyscyplinie, jak też umiejętności prowadzenia pracy naukowej, wymagają specyficznego spojrzenia na dzieło, jakim jest oceniana rozprawa doktorska. Stopień opanowania wiedzy teoretycznej wynika między innymi z opanowania metodologii ogólnej pracy naukowej, co przejawia się w umiejętnym uzasadnieniu wybranego problemu naukowego, w znajomości zasad metody naukowej, w wyborze i uzasadnieniu metod roboczych, w umiejętnościach wynikających z zastosowanych zasad pisarstwa naukowego. Ważnym kryterium jest ocena umiejętności doboru, krytyki i wykorzystania literatury dla uzasadnienia podjętego problemu i wyboru metod jego realizacji.

Dążeniu do obiektywizacji recenzji prac promocyjnych najczęściej omawia się następujące składniki recenzji.

Wstęp do recenzji - w postaci zbioru informacji dotyczących: objętości pracy (liczby stron), liczby rozdziałów, ich treści, bibliografii i załączników.

Krytyka tematu jako problemu naukowego - wskazanie na istotne powiązanie problemu z aktualnym stanem wiedzy i zadaniami wskazującymi na potrzebę badań.

Krytyka metod i przebiegu badań - ocena samodzielności i pomysłowości twórczej autora w zakresie przystosowania metod lub zdolności do konstruowania metod nowych.

Krytyka wyników badań - stwierdzenie poprawności teoretyczno-logicznej opracowania wyników badań, pomysłowości twórczej i samodzielności autora.

Krytyka pisarstwa - ocena walorów pisarskich pracy, obecność błędów ortograficznych i gramatycznych, deklinacyjnych i składniowych, ocena stylistyczna.

Recenzja pracy doktorskiej kończyć się powinna stwierdzeniem, czy na podstawie przytoczonych ocen można przyjąć, że praca spełnia wymagania ustawy oraz w związku z tym może być dopuszczona do publicznej obrony.

Wreszcie kilka uwag dotyczących techniki przygotowania recenzji. Oto proponowane główne czynności postępowania:

- wnikliwe zapoznanie się z tekstem i wstępne oddzielenie kwestii, z którymi recenzent zgadza się bezwzględnie, od kwestii wątpliwych i takich z którymi się nie zgadza;
- uzupełnienie wiedzy o kwestiach wątpliwych i nieakceptowanych; próba określenia tego czy są to błędy tylko tego autora, czy wynikające z szerszego kontekstu stanu wiedzy;
- ukształtowanie opinii o końcowym wniosku recenzji;
- opracowanie tekstu recenzji oraz adiustacja logiczna i stylistyczna recenzji.

Recenzja winna w sposób wyraźny odpowiadać na następujące pytania:

- jak oceniany jest dobór tematu, zakres i cel pracy?
- jaka jest zasadnicza teza naukowa rozprawy i na czym polega jej oryginalność?
- czy autor rozwiązał postawione zagadnienie oraz czy użył właściwych narzędzi?
- czy autor rozprawy rozwiązał zagadnienie samodzielnie?
- czy autor rozprawy wykazuje umiejętności przedstawienia uzyskanych wyników naukowych oraz stanu wiedzy w zakresie dyscypliny dotyczącej rozprawy?
- czy autor pracy wykazuje dostateczny stopień przygotowania do samodzielnego prowadzenia badań naukowych?
- czy konieczne jest uzupełnienie lub poprawienie rozprawy?
- jaka jest ostateczna ocena pracy jako rozprawy doktorskiej?

Obowiązkiem recenzenta jest wyraźne ustosunkowanie się, czy rozprawa odpowiada warunkom ustalonym w odnośnej ustawie. Nie jest natomiast rzeczą potrzebną szczegółowe streszczanie wyników uzyskanych przez doktoranta.

Zgodnie z ustawą recenzję należy przedstawić Radzie Wydziału nie później niż w ciągu trzech miesięcy od dnia otrzymania rozprawy, a przyjęcie obowiązków promotora i egzaminatora w przewodzie doktorskim i habilitacyjnym jest służbowym obowiązkiem pracownika.

7. POWOŁYWANIE RECENZENTÓW

Ustawa o tytule naukowym i stopniach naukowych określa jedynie formalne wymagania wobec recenzentów powoływanych do oceny prac promocyjnych. W przewodach doktorskich powołuje się co najmniej dwóch, a w przewodach habilitacyjnych co najmniej trzech recenzentów, w tym nie więcej niż jednego zatrudnionego w tej samej szkole wyższej (innej placówce naukowej), której pracownikiem jest osoba ubiegająca się o nadanie stopnia naukowego, oraz nie więcej niż jednego będącego członkiem rady jednostki organizacyjnej przeprowadzającej przewód.

Promotorem w przewodzie doktorskim oraz recenzentem rozprawy habilitacyjnej może być osoba posiadająca tytuł naukowy lub stopień naukowy doktora habilitowanego w zakresie danej lub pokrewnej dziedziny nauki lub sztuki.

Wypowiadając się na temat doboru recenzentów w przewodach na stopnie naukowe podkreśla się potrzebę rozszerzenia praktyki oceniania przez recenzentów powoływanych z instytucji innej niż zatrudniająca kandydata. Oceniający, którzy uczestniczą w przewodach, powinni być jak najbardziej bezstronni i niezależni od względów koleżeńskich i układów w miejscu pracy. Należy unikać powierzania recenzji osobom w jakimś stopniu związanym z kandydatem: współautorom jego publikacji, zwierzchnikom lub podwładnym kandydata, byłym jego promotorom itd. Sprawę kompetencji recenzentów ustawa pozostawia gremiom upoważnionym do przeprowadzania przewodów doktorskich, członkom rad wydziałów lub rad naukowych. Na plan pierwszy wysunąć tutaj należy kompetencje naukowe.

Wśród cech osobowości zaliczanych do kompetencji naukowych rolę główną gra wiedza fachowa oparta na wiedzy ogólnej. W kompetencjach naukowych pracownika prowadzącego badania obok wiedzy równocześnie ważny jest ogół praktycznych umiejętności posługiwania się nią celem rozwiązania danych zadań naukowych. Kompetencje naukowe stanowią swoistą całość w osobowości uczonego, przy czym można rozróżnić kompetencje rzeczowe (wiedza) i kompetencje metodologiczne (umiejętności praktyczne).

Wymagania stawiane oceniającemu są następujące: kompetentny, sumienny i rzetelny, uczciwy, sprawiedliwy i bezstronny, niezależny w swoich opiniach, odpowiedzialny i odważny. Uczciwość wymaga prawdomówności, a ta niekiedy odwagi. Tymczasem, nie chcąc głosić nieprawdy, niejeden poproszony o zrecenzowanie pracy naukowej lub dorobku naukowego, uchyla się od spełnienia tego obowiązku, gdyż widzi, że ocena wypadłaby negatywnie. Przyczyną takich zachowań zazwyczaj jest oportunizm, asekuranctwo i brak odwagi. Niekiedy jednak dołącza się inny motyw - chęć zaskarbienia sobie popularności lub poparcia. Ciężkim grzechem oceny jest sprzeczność między jej częścią krytyczną, pełną zarzutów wobec ocenianego materiału, a pozytywną konkluzją. Takie recenzje są także z moralnego punktu widzenia naganne, jeśli podyktował je oportunizm i tchórzostwo oceniającego. W recenzji sprzecznej wniosek nie wynika z przesłanek.

Zjawisko obniżania się poziomu prac naukowych, w tym rozpraw na stopnie naukowe, wiąże się z tym, że poziom wymagań, jakie stawia się obecnie autorom - w tym autorom recenzji - jest zbyt niski. Negatywne recenzje w przewodach doktorskich i habilitacyjnych, są rzadkością i przyjmuje się je raczej jako towarzyski nietakt niż jako oddaną nauce przysługę. Ewentualni autorzy negatywnych recenzji, zamiast napisać co myślą, wolą się od ich napisania pod jakimkolwiek pretekstem uchylić. Obawiają się i często nie bez racji, że ostra krytyka zostanie zrozumiana jako wyraz osobistych urazów i animozji, wzbudzając niechęć do krytyka a życzliwe współczucie dla skrytykowanego.

W pracach poświęconych w całości kryteriom ocen i recenzji prac naukowych, wskazuje się na trudności związane z doborem właściwych recenzentów oraz na potrzebę ich kształcenia. Jak dotąd, kształcenie tego rodzaju w ogóle nie istnieje, a przecież wszystkiego trzeba się uczyć – recenzowania również.

8. PODSUMOWANIE

Zrealizowanie zadań trudnej drogi rozwoju naukowego jest możliwe poprzez wychowanie, rozumiane jako czynności kierowania i kształtowania pełnej osobowości człowieka na każdym etapie jego życia, w płaszczyznach: intelektualnej, psychologicznej i moralnej. Odbywa się to zawsze w relacji nauczyciel – uczeń lub promotor – doktorant w zakresie tematyki tego opracowania. Promotor i doktorant mają stworzyć dzieło naukowe, a zatem pogłębienie tej świadomości i odpowiedzialności powinno się zawierać w procesie wychowawczym. Samo wypromowanie doktora nauk, będące zwieńczeniem całego procesu nauczania, kształcenia i badań, ma znaczenie wtórne wobec procesu kształtowania osobowości samodzielnego pracownika naukowego.

Doktorant to człowiek o wyspecjalizowanej inteligencji i szeroko rozwiniętej osobowości. Dojść do tego celu nie jest wcale łatwo, potrzeba silnej

determinacji i zawsze wielkiej energii psychicznej. O wybranych problemach tego procesu, jego blaskach i cieniach, próbowano rozważać w tej pracy.

LITERATURA

[1] Ustawa z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw RP nr 65, poz.595).
[2] Cempel C.: Nowoczesne zagadnienia metodologii i filozofii badań. ITE, Radom 2003.
[3] Eykhoff P. : Identyfikacja w układach dynamicznych. BNI, Warszawa 1980.
[4] Leszek W.: Badania empiryczne. ITE Radom, 1997.
[5] Wojciechowicz B. (red.): Praca promotora z doktorantem. ITE, Radom, Materiały konwersatorium, Krynica 1997.
[6] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wyd. ATR, Bydgoszcz 1996.
[7] Żółtowski B.: Seminarium dyplomowe. Zasady pisania prac dyplomowych. Wyd. ATR, Bydgoszcz 1997.
[8] Żółtowski B., Cempel C.(red.): Inżynieria diagnostyki maszyn. ITE, Radom 2004.

Prof. dr hab. inż. Bogdan Żółtowski, prof. zw. ATR w działalności naukowej zajmuje się problemami modelowania, dynamiki maszyn, wibrodiagnostyki, diagnostyki technicznej, metrologii i eksploatacji maszyn. Ma w swoim dorobku ogólnie około 330 publikacji, w tym 21 pozycji książkowych (własne i współautorskie), 56 publikacji naukowych, 205 publikacji naukowo-technicznych i konferencyjnych oraz 49 opracowań naukowo-technicznych. Jest członkiem Sekcji Podstaw Eksploatacji KBM Polskiej Akademii Nauk, członkiem Polskiego Towarzystwa Diagnostyki Technicznej, członkiem Zespołu Diagnostyki SPE KBM PAN. Jest także redaktorem działowym Diagnostyki Technicznej w Zagadnieniach Eksploatacji Maszyn PAN, członkiem Rady Programowej wydawnictwa PTDT – *DIAGNOSTYKA* oraz członkiem Oddziału PAN w Lublinie. Wypromował 7 doktorów nauk technicznych, kilkudziesięciu absolwentów studiów magisterskich i inżynierskich oraz recenzuje prace naukowo-badawcze, promocyjne, a także dorobek naukowy.

KSZTAŁTOWANIE BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

Waldemar WINTER*, Bogdan ŻÓŁTOWSKI**

*Urząd Miasta Bydgoszczy, Wydział Uprawnień Komunikacyjnych
85-130 Bydgoszcz, ul. Grudziądzka 9-15, e-mail: waldemar.winter@um.bydgoszcz.pl
**ATR Bydgoszcz, bogzol@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

Artykuł zawiera ocenę oraz wyniki badań w zakresie kształtowania bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce za okres ostatnich 15 lat. Wyniki zawarte w formie rysunków i tabel dają informację o wielkości i stopniu zagrożenia na drogach w Polsce oraz na tle innych krajów europejskich. Przedstawiono również tzw. „mapę problemów", która może posłużyć jako przykład zagadnień występujących w problematyce bezpieczeństwa ruchu drogowego. Uwzględniono również zadanie dla Polski jako kraju, członka Unii Europejskiej w zakresie poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego i priorytetu polityki transportowej państwa.

Słowa kluczowe: transport drogowy, bezpieczeństwo ruchu drogowego, zagrożenia, wypadki-ofiary, program poprawy

THE FORMATION OF AUTOMOTIVE VEHICLE TRAFIC SAFETY

Summary

The article contains opinion as well as results of investigations in range of safety formation on road movement in Poland for last 15 years. The results of investigations has been shown in drawings and charts that give the information about size and grade of threat on roads in Poland as well as on background of different European countries. It was also introduced the "map of problems", which can be an example of questions in range of road movement safety problems. The article also comply the task for Poland as a country, the member of European Union in range of improvement of safety formation on road movement and the priority of state transportation policy.

Keywords: transportation, safety formation on road movement, threats, accident – victims, improvement program

1. WSTĘP

Wszyscy jesteśmy uzależnieni od jakości funkcjonowania systemu transportu, zarówno pojedynczy obywatel jak i całe społeczeństwo i tak będzie w najbliższej, dającej się już przewidzieć przyszłości. Można nawet zaryzykować tezę, że jakość transportu jest jednym z najważniejszych wyznaczników jakości życia.

Wzrastające znaczenie transportu, w tym zwłaszcza transportu samochodowego, niesie za sobą określone zagrożenia w dziedzinie bezpieczeństwa ruchu drogowego. Transport jest tez bowiem jednym z głównych sektorów gospodarki zapewniających zatrudnienie i dobrobyt ludności, lecz coraz częściej jest on kojarzony z potencjalnym zagrożeniem. Bezpieczeństwo ruchu drogowego (w skrócie BRD) jest istotnym elementem w mobilności społeczeństwa. Obecnie obserwujemy wiele problemów wynikających ze złego funkcjonowania systemu transportu. Ze wszystkich gałęzi transportu najbardziej niebezpieczny jest właśnie transport drogowy i to on przynosi największe straty wyrażone ilością zabitych oraz straty materialne liczone w mld zł.

2. PROGNOZA

Wypadki drogowe i ich ofiary stanowią najważniejszy z tych problemów, jako że nawet zagadnienia ochrony środowiska zeszły już na drugi plan. Wagę tego problemu podkreślają dodatkowo prognozy socjoekonomiczne, opracowane przez Światową Organizację Zdrowia, które wskazują, że wypadki drogowe, będące w roku 1998 na 9 miejscu na liście największych zagrożeń zdrowia i życia ludzkiego, za 15 lat znajdą się już na trzecim tuz po chorobach niedokrwistości serca i depresji – tabela 1.

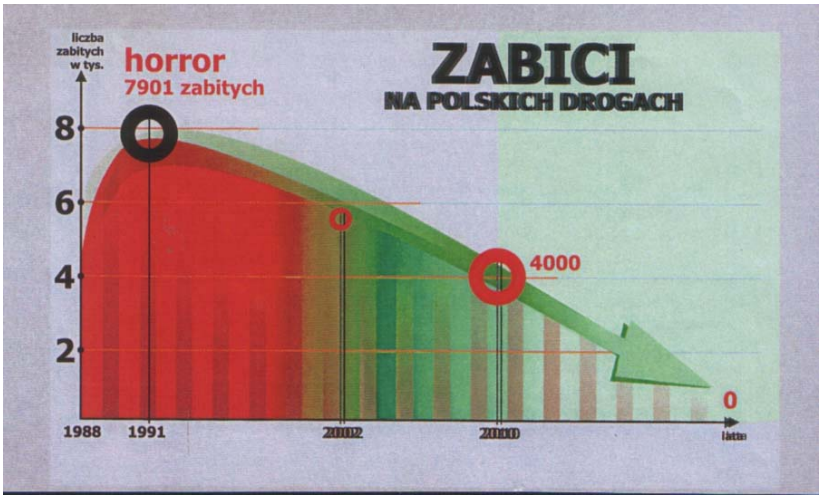
Tabela 1. Najczęściej występujące choroby w 1998 roku i prognoza na rok 2020

Pozycja	rok 1998	rok 2020
1.	Infekcje dolnych dróg oddechowych	Niedokrwistość serca
2.	Choroby okołoporodowe	Depresje
3.	Biegunka	**Wypadki drogowe**
4.	AIDS	Choroby mózgu
5.	Depresje	COPD
6.	Niedokrwistość serca	Infekcje dolnych dróg oddechowych
7.	Choroby mózgu	Gruźlica
8.	Malaria	Wojna
9.	**Wypadki drogowe**	Biegunka
10.	Gruźlica	AIDS

3. ZAGROŻENIA A ŚWIADOMOŚĆ WŁAŚCICIELA POJAZDU

Wraz ze zmianami politycznymi i towarzyszącymi im zmianami gospodarczymi, w tym także rozwojem motoryzacji, pojawiły się problemy, które temu rozwojowi towarzyszą. Jednak zmiany, które w ostatnim czasie zaszły w Polsce, były na tyle nagłe i szybkie i praktycznie niekontrolowane, że przepisy i akty prawne niejednokrotnie były tworzone po fakcie. Ogromna chęć posiadania pojazdu nie idzie niestety w parze z możliwościami finansowymi i świadomością, jaka wiąże się z tym stanem posiadania, kosztami utrzymania i naprawy wymarzonego pojazdu. W tej sytuacji, w wielu przypadkach naprawy pojazdów dokonywane są systemem „tanio", często przy użyciu wątpliwej jakości i pochodzenia części i niestety braku fachowości oraz wyobraźni ze strony naprawiających. Często więc, stan techniczny pojazdu, odbiega od standardów zalecanych przepisami. Powodem tego stanu jest, niestety często, brak świadomości właściciela pojazdu, jakie zagrożenie niesie tak spreparowany (nie naprawiony) pojazd w ruchu drogowym. Niebezpieczeństwo to zagraża użytkownikowi pojazdu, jego pasażerom i innym uczestnikom ruchu drogowego.

Każdego roku więc polskie drogi stają się sceną, na której rozgrywa się kilkadziesiąt tysięcy tragedii. Wypadki drogowe są obecnie niezwykle poważnym problemem społecznym, bowiem wiążą się nierozerwalnie z ogromnymi stratami zarówno wymiernymi, jak i tymi trudnymi do oszacowania kosztami życia i zdrowia ludzkiego. Polskie drogi należą do najbardziej niebezpiecznych w Europie. Na przestrzeni ostatnich 15 lat (1990-2004) w wypadkach straciło życie prawie 100 tys. osób, czyli średnio 18 dziennie (rys.1).

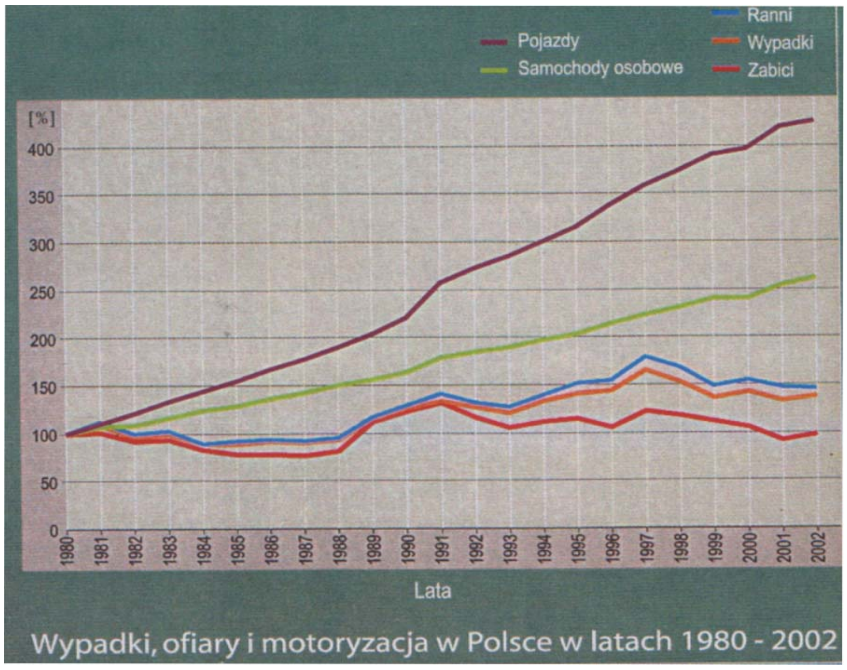


Rys. 1. Ofiary śmiertelne na polskich drogach od roku 1988

O bardzo dużym zagrożeniu na polskich drogach świadczy również stale wzrastająca liczba kolizji – rysunek 2 (zdarzeń jedynie ze stratami materialnymi), których w tych latach zarejestrowano średnio rocznie ponad 350 tysięcy. Obraz ten nie jest pełny, ponieważ szacuje się, że policja zostaje wezwana do około 30% kolizji, czyli można przyjąć, że rocznie dochodzi do ponad 1 miliona zdarzeń, a to oznacza średnio dwie stłuczki na minutę (tabela 2).

Tabela 2. Wypadki, ofiary i pojazdy w Polsce w latach 1990-2004

Rok	Liczba wypadków	Liczba zabitych	Liczba rannych	Ciężkość wypadków (zabici na 100 wypadków)	Zagrożenie mieszkańców (zabici na 100 tys. mieszkańców)
1990	50532	7333	59611	14	19,2
1991	54038	7901	65242	15	20,6
1992	50989	6946	61046	13	18,1
1993	48901	6341	58812	13	16,5
1994	53647	6744	64573	13	17,5
1995	56904	6900	70226	12	17,9
1996	57911	6359	71419	11	16,5
1997	66586	7310	83169	11	18,9
1998	61855	7080	77560	11	18,3
1999	55106	6730	68449	12	17,4
2000	57331	6294	71638	11	16,3
2001	53799	5534	68194	10	14,3
2002	53559	5827	67498	11	15,1
2003	51078	5640	63900	11	15,0
2004	51069	5712	64661	11	15,2



Rys. 2. Wypadki, ofiary i motoryzacja w Polsce w latach 1980-2002

4. BEZPIECZEŃSTWO RUCHU DROGOWEGO W POLSCE I W EUROPIE

Stan bezpieczeństwa na drogach w kraju jest zły. Część podejmowanych działań, to w obliczu narastającego zagrożenia, zabiegi kosmetyczne. Według specjalistów na zły stan bezpieczeństwa polskiego ruchu drogowego mają wpływ następujące zagadnienia (można się zastanowić ewentualnie co do kolejności tych zagadnień):

- ✓ niski poziom edukacji motoryzacyjnej i ogólnie przyjętej kultury technicznej (mimo występujących realnych zagrożeń),
- ✓ zły stan dróg oraz niewłaściwe ich wyposażenie i utrzymanie,
- ✓ nieskuteczne egzekwowanie obowiązującego prawa drogowego,
- ✓ niski poziom bezpieczeństwa biernego, charakterystycznego dla znacznej części pojazdów poruszających się po naszych drogach.
- ✓ słabe wyposażenie i organizacja służb ratowniczych.

Wymienione czynniki są powodem wypadków i kolizji drogowych, a poziom bezpieczeństwa na polskich drogach, oceniany według liczby wypadków, a także liczby ich ofiar, należy do najniższych wśród krajów europejskich.

Tabela 3. Wypadki drogowe i motoryzacja w wybranych krajach w 2001r.

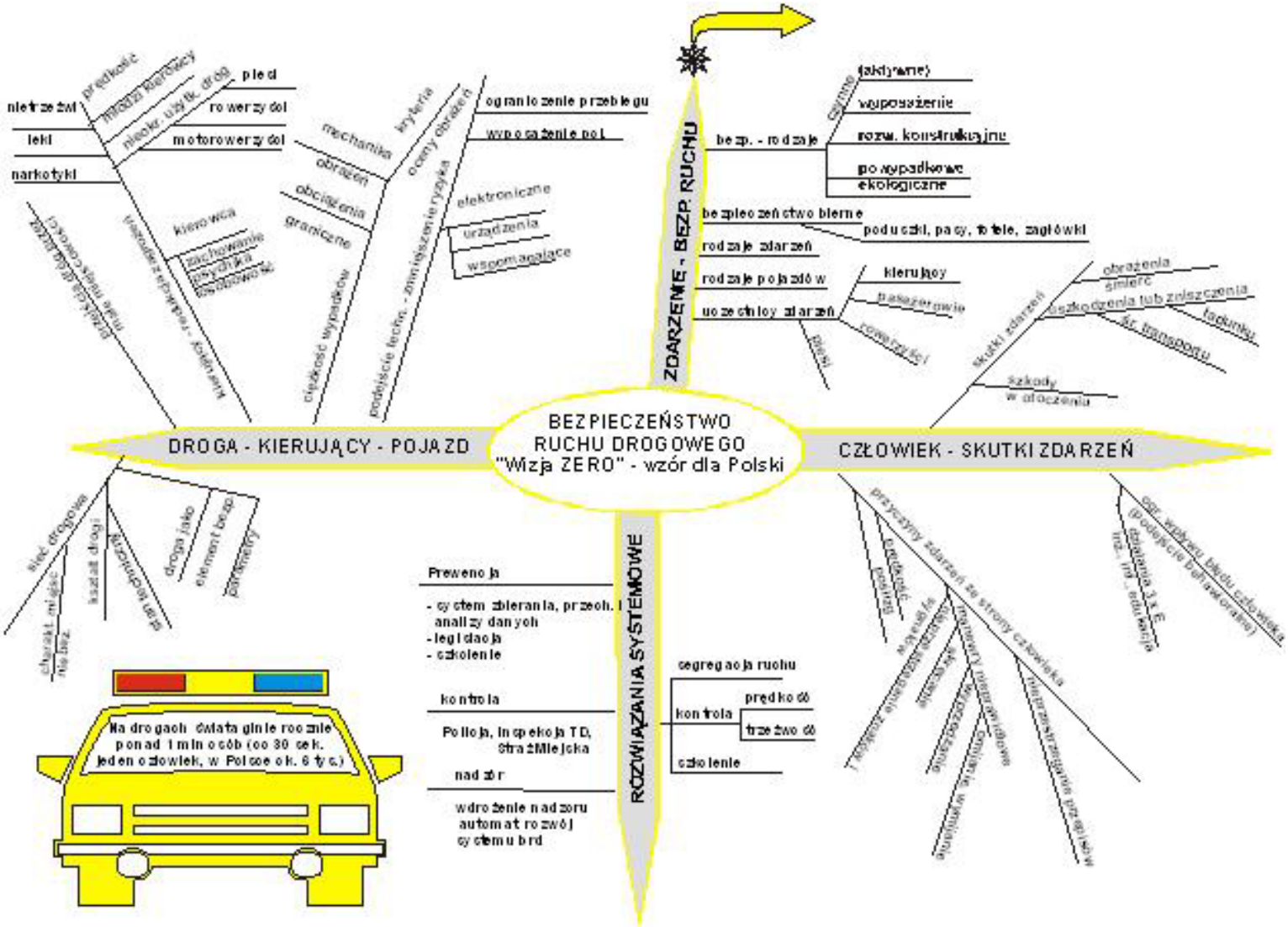
Kraj	Liczba wypadków	Liczba zabitych	Liczba rannych	Zagrożenie mieszkańców (zabici na 100 tys.mk)	Ciężkość wypadków (zabici na 100 wyp.)	Wskaźnik motoryzacji (liczba s.os. Na 1000mk)
Francja	116745	8160	153945	14	7	475
Niemcy	375345	6977	494775	8	2	532
Polska	**53799**	**5534**	**68195**	**14**	**10**	**272**
Hiszpania	100393	5517	149599	14	5	452
Czechy	26027	1334	33676	13	5	362
Węgry	18505	1239	24149	12	7	232
Holandia	35313	993	42810	6	3	420
Austria	43073	958	56265	12	2	508
Szwecja	15767	554	22327	6	4	450
Szwajcaria	23896	544	30160	8	2	504
Finlandia	6451	433	8411	8	7	402
Dania	6860	431	8463	8	6	347
Norwegia	8244	275	11522	6	3	416

Statystyki wypadkowe jako największe zagrożenie wypadkowe wymieniają człowieka ~ 76% i drogę ~ 10%. Na końcu tabeli znajduje się pojazd – zły stan techniczny ~ 5%. Jednak niektóre źródła podają nawet, że prawie 20% przyczyn wypadków drogowych to zły stan techniczny pojazdów, co wobec bardzo dużego importu pojazdów z zagranicy nabiera szczególnego znaczenia.

Po dniu 1 maja 2004, a więc po dniu akcesji do UE sprowadzono ponad 1 milion pojazdów o bardzo zróżnicowanym stanie technicznym, dużym przebiegu, po wypadkach drogowych oraz roku produkcji sięgającym lat osiemdziesiątych (średnia wieku to 10÷13 lat). W tej sytuacji dla poprawy bezpieczeństwa na naszych drogach bardzo ważny i znaczący udział we wszystkich podejmowanych działaniach ma świadomość zagrożeń i odpowiedzialności. Chodzi tu przede wszystkim o świadomość dotyczącą odpowiedzialności właściciela, użytkownika pojazdu zarówno za jego stan techniczny jak i stosowania się do zaleceń i przepisów ruchu drogowego.

5. MAPA PROBLEMÓW BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO

Do ogólnej oceny poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego korzysta się z różnych metod i danych statystycznych. Problemy BRD można przedstawić też w postaci graficznej jako tzw. „mapę problemów", która może posłużyć jako przykład ilustracji omawianych zagadnień BRD– rys. 3.

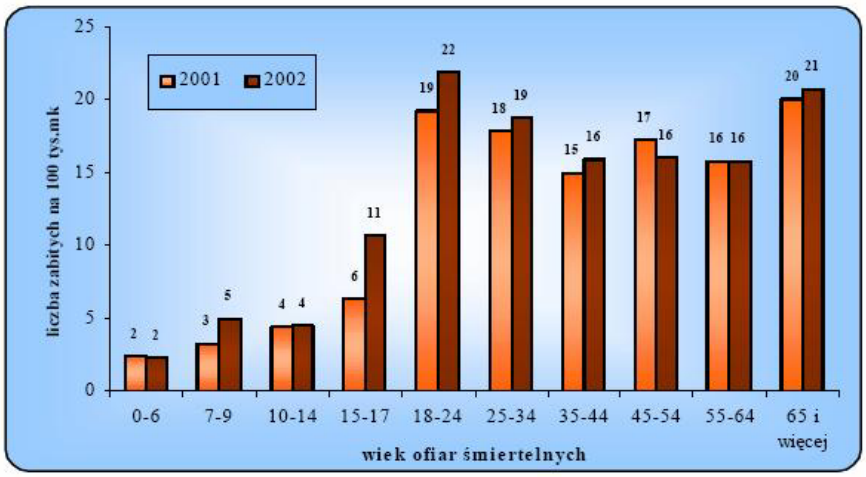


Rys. 3. Mapa problemów bezpieczeństwa ruchu drogowego

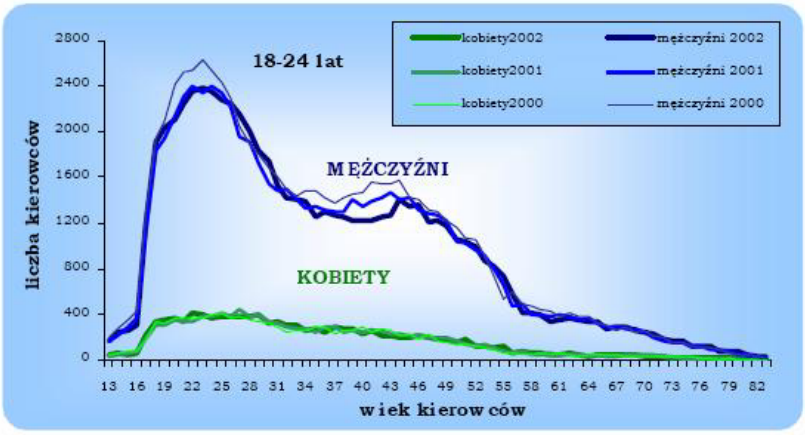
6. WIEK I PŁEĆ UCZESTNIKÓW I OFIAR WYPADKÓW DROGOWYCH

Podsumowując przedstawione analizy danych o wypadkach i uwarunkowaniach bezpieczeństwa ruchu drogowego można stwierdzić, że najważniejsze obecnie problemy występujące na polskich drogach od dłuższego czasu nie ulegają zasadniczym zmianom i są to (rys.4, rys. 5):

- ✓ bardzo wysokie zagrożenie pieszych,
- ✓ lekceważenie przez kierowców przepisów ruchu drogowego, w tym najczęściej nadmierna prędkość jazdy i nieprzestrzeganie pierwszeństwa pojazdów i pieszych,
- ✓ nietrzeźwi kierowcy i nietrzeźwi piesi,
- ✓ młodzi kierowcy w wieku 18 – 24 lat.



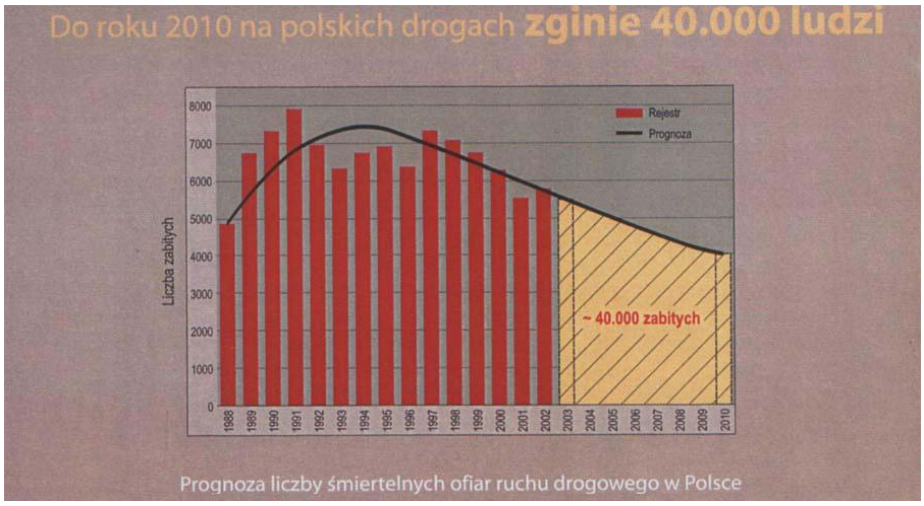
Rys. 4. Ofiary (zabici + ranni) wypadków drogowych na 100 000 mieszkańców w danym wieku w Polsce w 2001 i 2002r. Liczba zabitych w zależności od wieku ofiar śmiertelnych



Rys. 5. Kierowcy uczestniczący w wypadkach drogowych w Polsce wg wieku i płci: liczba kierowców w zależności od wieku i płci

7. ZADANIA ZWIĄZANE Z BEZPIECZEŃSTWEM RUCHU DROGOWEGO

Aby dostosować poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce do standardów określonych w przepisach unijnych konieczne jest podjęcie systematycznych działań celowych ujętych w Krajowym Programie Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego „GAMBIT 2000" przyjętych jako program dla Polski na lata 2001-2010, wyznaczający cel: nie więcej niż 4 tys. śmiertelnych ofiar wypadków drogowych w roku 2010 (rys. 6).



Rys. 6. Prognozy wypadków śmiertelnych na drogach do roku 2010

W dokumencie pt. „Europejska Polityka Transportowa do roku 2010: czas na decyzje" 15 krajom członkowskim UE postawiła nowe zadanie: konieczność zredukowania o połowę liczby śmiertelnych ofiar wypadków do roku 2010. Oznacza to, ze wejście Polski do UE wymusiło działania na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego i muszą być one uznane za jeden z priorytetów polityki transportowej państwa.

8. PODSUMOWANIE

Jednym z ważniejszych problemów jakie dotykają dzisiaj Polskę jest bardzo niski poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego. Zważywszy na skutki wypadków drogowych w kraju w postaci dużej liczby ofiar oraz wysokich kosztów społecznych (około 7% budżetu państwa), oczywistym jest, że należy pilnie podjąć działania zmierzające do poprawy tego stanu rzeczy. Poprawa stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego jest jednak zadaniem niezmiernie trudnym. Niemniej jednak w Polsce w ostatnich czterech latach obserwujemy spadek liczby śmiertelnych ofiar ruchu drogowego. Nie oznacza to, że ten optymistyczny trend się nie zmieni (w 2002 r. niewielki wzrost liczby wypadków w stosunku do roku 2001, podobnie jak w roku 2004 do 2003). Wydaje się, że w miarę upływu czasu konieczne będzie stosowanie coraz bardziej wyrafinowanych rozwiązań, by ten malejący trend utrzymać oraz po to by osiągnąć cel postawiony w programie GAMBIT 2000 oraz w zadaniach „Europejskiej Polityki Transportowej".

LITERATURA

[1] Krystek R.: Niebezpieczeństwo ruchu drogowego. Mity i rzeczywistość. Gdańsk 2002.
[2] Instytut Transportu Samochodowego Centrum Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego: Stan bezpieczeństwa na polskich drogach 1993-2002. Warszawa 2004.
[3] Diagnostyka a bezpieczeństwo ruchu drogowego. III Konferencja BRD, Poznań 2001.
[4] Ministerstwo Infrastruktury. Sekretariat Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego. Stan bezpieczeństwa na polskich drogach w 2001 roku. Warszawa 2004.
[5] www.kgp.gov.pl.

Mgr inż. Waldemar Winter jest doktorantem w Katedrze Maszyn Roboczych i Pojazdów Wydziału Mechanicznego Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Zajmuje się problematyką transportu, komunikacji oraz bezpieczeństwa ruchu drogowego i badaniami technicznymi pojazdów.

Prof. dr hab. inż. Bogdan Żółtowski – informacje o Autorze znajdują się na stronie 313.

DIAGNOSTYKA JAKO ŹRÓDŁO PRZEWAG KONKURENCYJNYCH W PRZEMYŚLE MASZYNOWYM

Ireneusz BIELSKI

Katedra Inżynierii Produkcji
Akademia Techniczno- Rolnicza, ul. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

Streszczenie

Konkurencyjność przedsiębiorstw funkcjonujących w gospodarce rynkowej uzależniona jest od wielu czynników, z których większość może być kształtowana przez autonomiczne decyzje tych przedsiębiorstw. W zbiorze tych obszarów , głównie związanych ze sprawnością , znajdują się metody analityczne stosowane dla obniżenia ryzyka decyzyjnego. Wyniki analiz powinny doprowadzić do wyboru takich obszarów aktywności innowacyjnej, która pozwoli na osiągnięcie odpowiednich dla sytuacji rynkowej przewag konkurencyjnych. Diagnostyka w przemyśle maszynowym, uwzględniając szerokie spektrum czynników może doprowadzić do osiągnięcia oczekiwanych rezultatów , stając się jednocześnie instrumentem tworzenia przewag konkurencyjnych.

Słowa kluczowe: diagnostyka, przewagi konkurencyjne, innowacyjność

DIAGNOSTICS AS A SOURCE OF COMPETITIVE ADVANTAGES IN THE MACHINE INDUSTRY

Summary

The competitiveness of enterprises functioning in market economy depends on from many factors, from which the majority can be executed by autonomic decisions. In class of this range, mainly connected with efficiency, there are applied analytic methods used for lowering of decission risk. The analyses should bring to choice such areas of the innovative activity, which will permit on achieve suitable situation of competitive superiorities on the market. Diagnostics in machine industry, taking into account of wide factors spectre could bring expected results , becoming simultaneously as a instrument of creating of competitive superiorities.

Keywords: diagnostics, Competitive advantage, innovative character

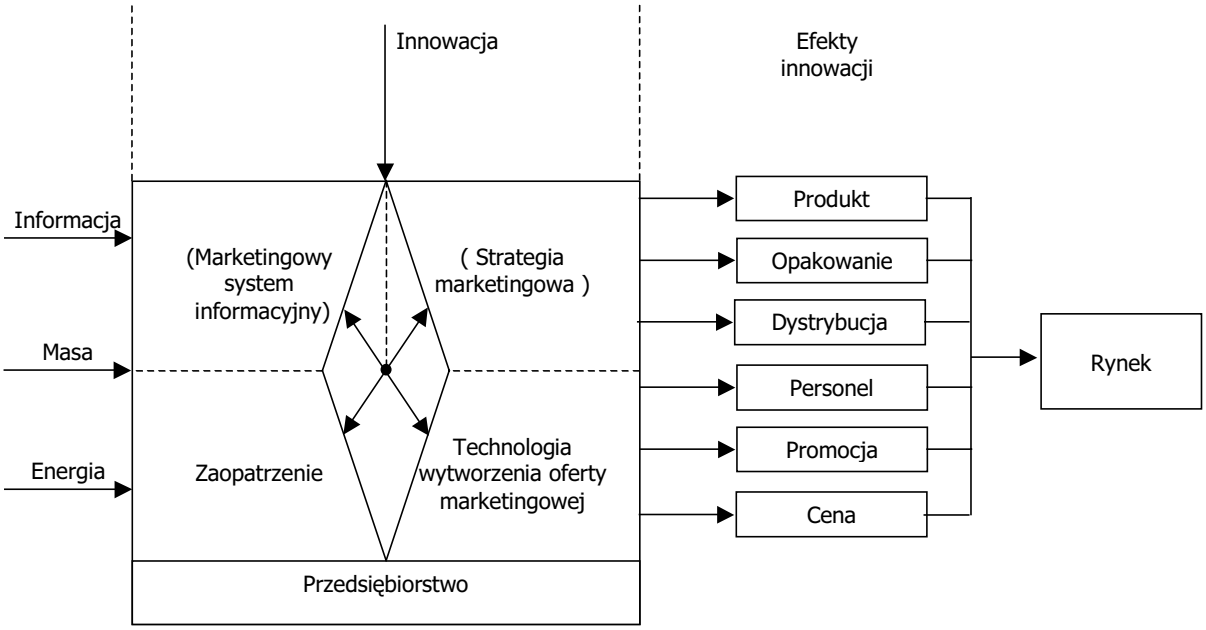
1. WPROWADZENIE

Podstawowym problemem wszystkich przedsiębiorstw funkcjonujących w gospodarce rynkowej jest ich konkurencyjność. Konkurencyjność, która może być definiowana jako zdolność do wytworzenia oferty akceptowanej przez rynek, jest zaś związana z zagadnieniem przewag konkurencyjnych. Jedynym sposobem ich uzyskania są innowacje(każde celowe działanie prowadzące do zmiany stanu obiektów i/lub relacji między nimi), wymagające zazwyczaj zaangażowania znacznych środków. Z punktu widzenia efektywności wykorzystania tych środków ważny jest wybór obszaru innowacji. Powinien to być obszar zgodny z wrażliwością rynku, na którym niewielkie zmiany (wymagające względnie małych środków), wywołane innowacją prowadzą do uzyskania znaczących efektów rynkowych.

2. OBSZARY KSZTAŁTOWANIA PRZEWAG KONKURENCYJNYCH

Przewagi konkurencyjne uzyskuje się poprzez działania na zbiorze własnych zasobów. Rozróżnia się zasoby materialne i zasoby niematerialne, w tym wiedza, informacja i umiejętności [1]. Niezbyt powszechne jest jeszcze postrzeganie zasobów niematerialnych jako czynników przesądzających o pozycji konkurencyjnej każdego podmiotu - od pojedynczej osoby, aż do państwa, a nawet unii państw. Informacja i wiedza stają się siłą napędową i efektem zmian dokonujących się na wielu płaszczyznach życia, a „strumienie przeobrażeń zbiegają się razem i tworzą jeszcze większe, głębsze, bardziej rwące nurty przemian, które z kolei spływają w jeszcze potężniejszy nurt – tworząc trzecią falę" [2]. Rosnące znaczenie informacji i wiedzy dostrzegają także J.Naisbitt i P.F.Drucker [3]. Peter F. Drucker posuwa się nawet do stwierdzenia, że w najbliższym czasie

wiedza stanie się jedynym zasobem, podczas gdy wszystkie pozostałe zostaną zdegradowane do roli uzupełniających ją czynników wytwórczych [4]. Wydaje się jednak, iż właściwsze będzie uznać za zasoby wszystkie czynniki, które można wykorzystać do ukształtowania przewagi konkurencyjnej . Decyzje dotyczące kierunków działalności innowacyjnej podejmowane są zgodnie z wiedzą i poglądami kadry kierowniczej firmy. Opinie na temat przydatności zasobów do kształtowania przewag konkurencyjnych a także wybór pożądanego charakteru tych przewag, formułowane są w warunkach znaczących luk informacyjnych i bez odpowiedniego aparatu analitycznego. Znaczenie tych decyzji często dostrzegane jest dopiero w momencie stwierdzenia rozbieżności pomiędzy poglądami przedsiębiorców i klientów na temat czynników sukcesu. Przewagi konkurencyjne można konstytuować (rys.1) w obszarach obserwowanych przez otoczenie (których ukształtowanie zmusza to otoczenie do reakcji, a więc w obszarach instrumentów marketingowych, znajdujących się na wyjściu przedsiębiorstwa jako systemu) lub obszarach niedostrzeganych wprost przez otoczenie (obserwowanych wewnątrz przedsiębiorstwa, mających charakter sprawnościowy i tylko pośrednio wpływających na kształt oferty lub nie wpływających na kształt oferty – w zależności od sytuacji rynkowej i decyzji zarządu). Dla osiągnięcia satysfakcji konsumenta i przekształcenia go w klienta lojalnego konieczne jest zaproponowanie mu albo wyróżniających wartości , albo niższej ceny (jako efektu wytwarzania po niskich kosztach). Odbiorca bowiem porównuje użyteczności dostarczane przez produkt oraz okoliczności jego nabycia i wybiera produkt i firmę, która dostarcza kombinację najlepiej dopasowaną do jego preferencji.



Rys. 1. Obszary i efekty innowacji
Źródło: opracowanie własne

W obrębie produktu źródłem przewag konkurencyjnych może być obszar:

- koncepcja produktu (funkcjonalność, modularność, standaryzacja podzespołów, marka, estetyka – zgodność z trendami, jakość techniczna i jakość oferty, przyjazność ekologiczna, wyposażenie itp.),
- produkcja podzespołów (standaryzacja, substytucyjność, kompatybilność, wolumen),
- montaż (automatyzacja, jakość, kontrola jakości, zmienność części, uszlachetnianie),
- technologia (metody wytwarzania mniej kapitało- i pracochłonne, techniczne uzbrojenie pracy, zarządzanie, elastyczność, wyższa produktywność, jakość wytworów, niezawodność eksploatacyjna maszyn, trwałość, diagnozowanie stanów maszyn i procesów, powtarzalność, controlling i system zapewnienia jakości, technologia przetwarzania produktów ubocznych),
- usługi posprzedażne (gwarancja, dostępność serwisu, części zamienne, jakość i szybkość usług, usługi dodatkowe),

W obrębie opakowania źródłem przewag może być konstrukcja (funkcjonalność, zwrotność), materiały (ekologia, koszty), cena i jakość (w tym estetyka).

Źródłem znaczących przewag konkurencyjnych w obszarze dystrybucji może być: koncepcja dystrybucji i składowania; lokalizacja magazynów; koszty: magazynów, utrzymania zapasów, transportu; sprawność służb handlowych.

Źródłem przewag w obszarze pozostałych składników oferty mogą być:

- personel: kwalifikacje, motywacje i system wynagrodzeń, polityka personalna, przywódcy, umiejętności, mobilność edukacyjna. Zasoby ludzkie mają szczególne znaczenie dla kształtowania przewag konkurencyjnych – ich niedocenianie jest jedną z ważniejszych przyczyn prowadzących do upadłości firmy [5];
- promocja: koncepcja promocji, dobór instrumentów, oryginalność, efektywność;
- cena: polityka cenowa w powiązaniu z jakością, różnicowanie cen, synchronizacja z innymi elementami oferty.

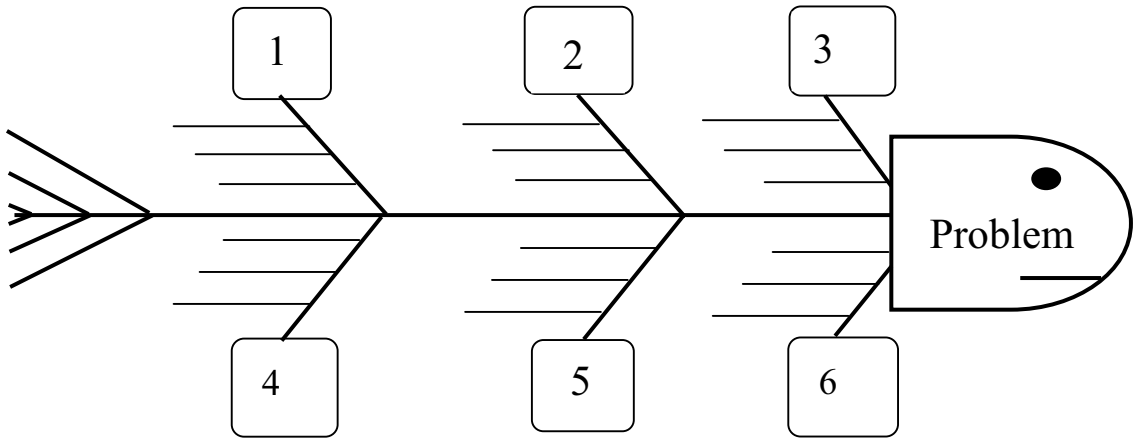
Przewagi konkurencyjne można uzyskać także w obszarze:

- marketingowego systemu informacyjnego (wybór obszarów badań, system gromadzenia i przetwarzania, koszty i czas przygotowania informacji dla procesów decyzyjnych),
- zaopatrzenia (aktualne i alternatywne źródła, jakość, koszty i niezawodność dostaw).

3. DIAGNOSTYKA JAKO ŹRÓDŁO PRZEWAG KONKURENCYJNYCH

Przewagi konkurencyjne uzyskiwane w obszarze składowych oferty są pochodną aktywności innowacyjnej w zakresie technologii wytwarzania oferty, na którą składają się: technologia wytworzenia fizycznej postaci produktu oraz technologia społeczna - zarządzanie (strategie marketingowe, styl zarządzania, zarządzanie zasobami ludzkimi, systemy, struktury, systemy wartości, zarządzanie wiedzą, zarządzanie innowacją, elastyczność).

Zmiany w technologii, zaopatrzeniu, produkcji podzespołów i montażu nie są innowacjami tak długo, jak długo nie powodują skutków (lub nie stwarzają potencjału) w obszarze składników oferty. Ze szczególną siłą na postrzeganie wartości oferty wpływa jakość produktu. Jej zagwarantowanie na odpowiednim poziomie wymaga stosowania nowoczesnych metod diagnostycznych oraz szersze upowszechnienie metod tradycyjnie stosowanych w innych naukach. Zaliczyć do nich należy opracowany w 1962 roku przez Kaoru Ishikawę wykres przyczynowo skutkowy, zwany wykresem ryby (rys. 2).



Rys.2. Diagram Ishikawy

Na wykresie pokazuje się które kategorie przyczyn (od 1 do 6) prowadzą do określonego skutku (przyczyna). Na liniach poziomych opisane są szczegółowe przyczyny. Jako kategorie przyczyn zazwyczaj przyjmuje się zestaw 5M + E, czyli Manpower (pracownicy), Machine, Material, Method, Management (zarządzanie) oraz Environment (środowisko). Metoda ta zastosowana ex ante może posłużyć ukształtowaniu struktur, procesów i procedur w sposób umożliwiający uniknięcie błędów na wyjściu systemu. W tym ujęciu staje się elementem systemu controllingu z podkreśleniem jego funkcji koordynacji tworzącej, polegającej na projektowaniu i wprowadzaniu do przedsiębiorstwa systemu planowania, kontroli i systemu informacyjnego wraz z powiązaniami pomiędzy tymi systemami [6]. Interesujące rezultaty w sferze diagnozowania i poprawy jakości oferty można uzyskać stosując podejście prezentowane w metodzie Six Sigma. Program jakości Six Sigma [7] w odróżnieniu od programów kontroli jakości oferuje metodę takiego diagnozowania, zorganizowania i realizacji procesów, która sama z siebie wyklucza możliwość powstawania wad i błędów. Założenia metody są następujące:

- Nie wiemy, czego nie wiemy.
- Nie możemy poprawić czegoś, o czym nie wiemy.
- Nie dowiemy się, póki nie zmierzymy.
- Nie mierzymy tego, czego nie uznajemy za ważne.
- Nie uznajemy za ważne tego, czego nie mierzymy.

Decyzje w obszarze produktu i technologii stwarzają implikacje dla pozostałych składników oferty, w szczególności zaś dla ceny - instrumentu wywierającego bezpośredni wpływ na postrzeganie korzyści. Stąd też efektywność działań w każdym obszarze musi być weryfikowana przez pryzmat kosztów i ceny bowiem, „w dłuższym przedziale czasu, absolutnie niezbędne jest bycie dostawcą o niższych kosztach [8]".

4. PODSUMOWANIE

Przedsiębiorstwa rywalizujące na rynku poszukują sposobów na pokonanie konkurentów i odniesienie sukcesu. Potrzebna do zwycięstwa efektywna przewaga konkurencyjna może być zbudowana na bazie istniejących (lub tworzonych pod kątem przewag) zasobów. Oczekiwaną cechą przewagi konkurencyjnej jest jej trwałość i trudność imitacji. Celowym zatem wydaje się poszukiwanie okazji do innowacji w obszarach , pozornie mało atrakcyjnych, rzadko eksplorowanych pod kątem przewag. Źródłem przewagi konkurencyjnej, która zawsze jest innowacją, może być zatem szeroko rozumiana diagnostyka a także „innowacja w innowacjach", czyli stworzenie spójnego systemu zarządzania innowacjami w przedsiębiorstwie.

Traktowanie umiejętności jako ważnych zasobów firmy występuje w dwóch koncepcjach:

– kluczowych kompetencji (*core competence*) , które powinny: zapewniać dostęp do wielu rynków, sprawiać trudności w imitacji i dawać istotny wkład do percepcji korzyści/użyteczności produktu finalnego,

- kluczowych umiejętności (*core capabilities*) - są to umiejętności ogólniejszej natury obejmująca swoim zasięgiem cały łańcuch wartości firmy. Dotyczy to umiejętności i wiedzy zarówno specyficznych dla przedsiębiorstwa i branży oraz umiejętności bardziej ogólnych, możliwych do aplikacji w innych dziedzinach.

LITERATURA

[1] G.Stalk , P. Evans , L.E. Shulman , *Competing on Capabilities: The New Rules of Corporate Strategy*, Harvard Business Review, March – April 1992.

[2] A.Toffler, *Trzecia fala*., PIW, Warszawa 1986, s.157.

[3] J. Naisbitt, *Megatrends. Ten New Directions Transforming Our Lives,* Warner Books, New York 1982. P.F. Drucker , *The Age of Social Transformation*. The Atlantic Monthly, November 1994.

[4] P.F.Drucker *, Post-Capitalist Society,* Harper Business, New York 1993.

[5] A Sajkiewicz: *Pracownicy jako wartość firmy,* VII Kongres Ekonomistów Polskich, Sesja IV, *Przedsiębiorczość i konkurencyjność*, Zeszyt 14, Warszawa styczeń 2001, s. 10.

[6] J. Goliszewski , *Controlling*, Przegląd Organizacji 1990, nr 11.

[7] M.Harry, R.Schroeder, *Six Sigma. Wykorzystanie programu jakości do poprawy wyników finansowych*, Dom Wydawniczy ABC, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2002.

[8] B.C. Ames, J.D. Hlavacek , *Vital Truths About Managing Your Costs*, Harvard Business Review, Jan. – Feb. 1990 s. 140.

Dr inż. Ireneusz Bielski jest adiunktem w Katedrze Inżynierii Produkcji. Od 1975 roku zajmuje się innowacjami i usprawnianiem metod pracy. Jest autorem lub współautorem ponad 100 projektów wynalazczych, z których większość jest zgłoszona do ochrony lub chroniona. Ponad 30% projektów wdrożono do praktyki przemysłowej. Od 1992 roku dr Bielski zajmuje się głównie aspektami ekonomi-cznymi, rynkowymi i społecznymi innowacji.

OPIS SYGNAŁÓW ZA POMOCĄ HIPERBOLICZNYCH FUNKCJI SKLEJANYCH

Agata ZAŁĘSKA-FORNAL
Marek ZELLMA

Katedra Matematyki i Fizyki
Akademia Marynarki Wojennej, 81-103 Gdynia ul. Śmidowicza 69,
a.fornal@amw.gdynia.pl, m.zellma@amw.gdynia.pl

Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono algorytm służący do opisu estymatorów parametrów niestacjonarnych procesów losowych. Do opisu sygnałów wykorzystano hiperboliczne funkcje sklejane.

Słowa kluczowe: hiperboliczne funkcje sklejane

DESCRIPTION OF SIGNALS BY MEANS OF HYPERBOLIC SPLINES

Summary

There is presented the algorithm designed for description of estimators of parameters non-stationary random processes. The hyperbolic splines are used to describe the signals.

Keywords: hyperbolic splines

1. WSTĘP

Do opisu sygnałów wykorzystamy pojęcie procesu stochastycznego z ustaloną przestrzenią probabilistyczną (Ω, F, P), przestrzeni zdarzeń elementarnych Ω z określoną na niej rodziną podzbiorów F i rozkładem prawdopodobieństwa P.

Niech T oznacza zbiór $\mathrm{R}_+ := [0,+\infty)$ liczb rzeczywistych lub zbiór w tym przedziale zawarty. Zbiór T będziemy interpretowali jako zbiór chwil. Przez t oznaczymy element zbioru T.

Funkcję $\mathrm{X} : \mathrm{T} \times \Omega \to \mathrm{R}$ nazywamy *funkcją losową (procesem stochastycznym)* jeśli $\forall t \in T \ \forall x \in R \ \{\omega : X(t,\omega) < x\} \in F$.

Proces stochastyczny $X = X(t,\omega)$ jest funkcją dwóch zmiennych t oraz ω.

Dla każdego ustalonego t funkcja $X = X(t,\omega)$ rozważana jako funkcja argumentu ω jest zmienną losową. Dla ustalonego t przyjmiemy zapis $X_t = X(t,\omega)$. Zatem proces stochastyczny można traktować jako rodzinę zmiennych losowych $\mathrm{X_t} : \Omega \to \mathrm{R}$. Natomiast dla ustalonego zdarzenia elementarnego $\omega \in \Omega$ i każdego t przyjmiemy $\mathrm{x(t) = X(t,\omega)}$. Funkcja x określona w zbiorze T nie ma już charakteru losowego. Nazywamy ją *realizacją procesu stochastycznego* X.

Tak więc proces stochastyczny można traktować jako rodzinę realizacji zależną od parametru $\omega \in \Omega$.

W zastosowaniach praktycznych wyznaczenie rozkładów procesu stochastycznego jest zagadnieniem skomplikowanym. Innym sposobem opisu procesu losowego jest podanie jego charakterystyk. W pracy ograniczymy się tylko momentów rzędu pierwszego i drugiego. Szczególnie ważną rolę spełnia moment rzędu pierwszego nazywany wartością przeciętną procesu.

Wartością przeciętną procesu stochastycznego X nazywamy funkcję $\mathrm{m} : \mathrm{T} \to \mathrm{R}$, której wartości równe są wartościom oczekiwanym zmiennych losowych przyporządkowanych odpowiednim chwilom: $\mathrm{m(t) = E[X(t)], t \in R_+}$.

Dla wszystkich realizacji musimy wybrać wspólny moment czasowy t_0 odczytywania ich wartości. Następnie dla każdej chwili t_i, $i \in \overline{0,N}$ odczytujemy z m realizacji wartości $\widetilde{x}_{i1}, \widetilde{x}_{i2}, ..., \widetilde{x}_{im}$ procesu $X(t)$.

Następnie interpolujemy wartości

$$\overline{x}(t_0), \overline{x}(t_1), \overline{x}(t_2), ..., \overline{x}(t_N),$$

gdzie

$$\overline{x}(t_i) = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^{m} \widetilde{x}_{il},$$

hiperbolicznymi funkcjami sklejanymi.

2. ALGORYTM INTERPOLACJI ZA POMOCĄ HIPERBOLICZNYCH FUNKCJI SKLEJANYCH

Niech L będzie liniowym operatorem różniczkowym postaci

$$L \equiv a_n(t)D^n + a_{n-1}(t)D^{n-1} + \cdots + a_0(t);$$
$$D := \frac{d}{dt},$$

gdzie $a_i(t), i \in \overline{0,N}$ są funkcjami klasy $C^n[t_0,t_N]$ i $a_n(t) \neq 0$ w przedziale $[t_0,t_N]$. Oznaczmy przez L^* operator formalnie sprzężony z L, tzn.

$$L^* \equiv (-1)^n D^n\{a_n(t)\cdot\} + (-1)^{n-1} D^{n-1}\{a_{n-1}(t)\cdot\} + \\ + \cdots - D\{a_1(t)\cdot\} + a_0(t).$$

Załóżmy, że przedział $[t_0,t_N]$ został podzielony za pomocą punktów

$$\Delta_N : t_0 < ... < t_N$$

na N podprzedziałów.

Definicja 1.

Funkcję $s_L = s_L(t,\Delta_N)$ *klasy* $C^{2n-k}[t_0,t_N]$ *nazywamy* L *funkcją sklejaną z defektem* k $(0 \le k \le n)$ *jeśli spełnia ona równanie różniczkowe*

$$L^* L s_L = 0$$

na każdym podprzedziale $(t_{i-1},t_i), i \in \overline{1,N}$.

Operator

$$L(\phi) \equiv D^2\phi - \sigma\, D\phi, \quad \phi \in C^2[t_0,t_N], \quad \sigma \in R$$

sprzężony z operatorem

$$L^* \equiv D^2 + \sigma\, D$$

rozważał Wierszynin [ ]. Funkcje sklejane otrzymane z rozwiązania równania

$$L^* L s_L = D^4 s_L - \sigma^2 D^2 s_L = 0 \qquad (1)$$

w literaturze polskojęzycznej są nazywane σ-funkcjami lub hiperbolicznymi funkcjami sklejanymi.

Definicja 2.

Niech $y = f(t) \in C^2[t_0,t_N]$. *Funkcję* $s_L \in C^2[t_0,t_N]$ *nazywamy interpolacyjną funkcją sklejaną dla funkcji* $y = f(t)$, *jeśli*

$$s_L(t_i) = f(t_i) = y_i, \quad i \in \overline{0,N} \quad N \ge 2.$$

Poszukiwana hiperboliczna funkcja sklejana na podprzedziale (t_{i-1},t_i) $i \in \overline{1,N}$ jest liniową kombinacją funkcji:

$$1,\ t,\ e^{\sigma t},\ e^{-\sigma t}.$$

zatem całka ogólna równania (1) na każdym podprzedziale jest postaci

$$s_L(t) = A_i + B_i t + C_i e^{\sigma t} + D_i e^{-\sigma t}. \qquad (2)$$

Stąd

$$s_L' = B_i + \sigma C_i e^{\sigma t} - \sigma D_i e^{-\sigma t},$$
$$s_L'' = \sigma^2 C_i e^{\sigma t} + \sigma^2 D_i e^{-\sigma t}.$$

Mamy więc $4N$ stałych $A_i, B_i, C_i, D_i,\ i \in \overline{1,N}$. Żądanie ciągłości s_L i jej pochodnych rzędu pierwszego i drugiego w każdym węźle wewnętrznym $t_i \in \overline{1,N-1}$ daje $3(N-1)$ warunków. Zatem interpolacyjne funkcje s_L zależą od dwóch parametrów, wobec czego nakładamy na nie dwa dodatkowe warunki. Wybór tych warunków zależy zarówno od własności funkcji $s_L = s_L(t)$ i od posiadanej informacji o tej funkcji.

W pracy przyjmiemy dwa dodatkowe warunki:

$$s'(t_0) = y'(t_0), \quad s'(t_N) = y'(t_N). \qquad (3)$$

Dodatkowo wprowadzimy oznaczenia wartości drugich pochodnych szukanej funkcji w węzłach $t_i, i \in \overline{0,N}$:

$$M_i := s_L''(t_i), \quad i \in \overline{0,N}.$$

Nazwiemy je *momentami* M_i funkcji s_L. Wykażemy, że momenty interpolacyjnych σ – funkcji są rozwiązaniami odpowiedniego układu równań liniowych.

Niech s_L'' spełnia warunki:

$$s_L''''(t_{i-1}) = M_{i-1}, \quad s_L''''(t_i) = M_i, \quad i \in \overline{1,N}.$$

Stałe C_i, D_i wyznaczamy z zależności:

$$\sigma^2 C_i e^{\sigma t_{i-1}} + \sigma^2 D_i e^{-\sigma t_{i-1}} = M_{i-1},$$
$$\sigma^2 C_i e^{\sigma t_i} + \sigma^2 D_i e^{-\sigma t_i} = M_i$$

Stąd

$$C_i = \frac{M_{i-1}e^{-\sigma t_i} - M_i e^{-\sigma t_{i-1}}}{\sigma^2(e^{-\sigma h_i} - e^{\sigma h_i})},$$
$$D_i = \frac{M_i e^{-\sigma t_i} - M_{i-1}e^{-\sigma t_{i-1}}}{\sigma^2(e^{-\sigma h_i} - e^{\sigma h_i})}, \quad h_i := t_i - t_{i-1}.$$

Podstawiając C_i, D_i do s_L'' otrzymujemy

$$s_L''(t) = \frac{M_{i-1}e^{-\sigma t_i} - M_i e^{-\sigma t_{i-1}}}{e^{-\sigma h_i} - e^{\sigma h_i}} e^{\sigma t} + \\ \frac{M_i e^{-\sigma t_{i-1}} - M_{i-1}e^{-\sigma t_i}}{e^{-\sigma h_i} - e^{\sigma h_i}} e^{-\sigma t},$$

Po przekształceniach dostajemy

$$s_L'' = M_{i-1}\frac{\sinh\sigma(t_i - t)}{\sinh\sigma h_i} + M_i \frac{\sinh\sigma(t - t_{i-1})}{\sinh\sigma h_i}, \qquad (4)$$

gdzie $\sinh x := \frac{e^x - e^{-x}}{2}$.

Całkując obustronnie (4) uzyskujemy

$$s_L'(t) = -\frac{1}{\sigma} M_{i-1}\frac{\cosh\sigma(t_i - t)}{\sinh\sigma h_i} + \\ \frac{1}{\sigma} M_i \frac{\cosh\sigma(t - t_{i-1})}{\sinh\sigma h_i} + B_i, \qquad (5)$$

Po scałkowaniu (5) otrzymujemy

$$s_L(t) = \frac{1}{\sigma^2} M_{i-1}\frac{\sinh\sigma(t_i - t)}{\sinh\sigma h_i} + \\ + \frac{1}{\sigma^2} M_i \frac{\sinh\sigma(t - t_{i-1})}{\sinh\sigma h_i} + B_i t + A_i. \qquad (6)$$

Ponieważ $s_L(t_i) = y_i$ dla $i \in \overline{0,N}$, więc

$$y_{i-1} = s_L(t_{i-1}) = \frac{1}{\sigma^2} M_{i-1} + B_i t_{i-1} + A_i,$$
$$y_i = s_L(t_i) = \frac{1}{\sigma^2} M_i + B_i t_i + A_i. \qquad (7)$$

Z powyższych równości otrzymujemy:

$$B_i = \frac{y_i - \frac{1}{\sigma^2} M_i - y_{i-1} + \frac{1}{\sigma^2} M_{i-1}}{h_i},$$

$$A_i = \frac{t_i (y_{i-1} - \frac{1}{\sigma^2} M_{i-1}) - t_{i-1}(y_i - \frac{1}{\sigma^2} M_i)}{h_i}.$$

Podstawiając A_i, B_i do (6), po przekształceniach otrzymujemy

$$s_L(t) = \frac{1}{\sigma^2} M_{i-1} \frac{\sinh\sigma(t_i - t)}{\sinh\sigma h_i} + \\ + \frac{1}{\sigma^2} M_i \frac{\sinh\sigma(t - t_{i-1})}{\sinh\sigma h_i} + \frac{y_{i-1} - \frac{1}{\sigma^2} M_{i-1}}{h_i}(t_i - t) \\ + \frac{y_i - \frac{1}{\sigma^2} M_i}{h_i}(t - t_{i-1}) \tag{8}$$

Zatem

$$s_L'(t) = -\frac{1}{\sigma} M_{i-1} \frac{\cosh\sigma(t_i - t)}{\sinh\sigma h_i} + \\ + \frac{1}{\sigma} M_i \frac{\cosh\sigma(t - t_{i-1})}{\sinh\sigma h_i} + \\ - \frac{y_{i-1} - \frac{1}{\sigma^2} M_{i-1}}{h_i} + \frac{y_i - \frac{1}{\sigma^2} M_i}{h_i} \tag{9}$$

Z założenia ciągłości s' w węzłach t_i, $i \in \overline{1, N-1}$ otrzymujemy $N-1$ równań dla momentów M_i

$$(-\frac{1}{\sigma \sinh\sigma h_i} + \frac{1}{\sigma^2 h_i}) M_{i-1} + \\ + (\frac{\cosh h_i}{\sigma \sinh\sigma h_i} - \frac{1}{\sigma^2 h_i} + \frac{\cosh h_{i+1}}{\sigma \sinh\sigma h_{i+1}} + \\ - \frac{1}{\sigma^2 h_{i+1}}) M_i + (-\frac{1}{\sigma \sinh\sigma h_{i+1}} + \frac{1}{\sigma^2 h_{i+1}}) M_{i+1} = \\ \frac{y_{i-1} - y_i}{h_i} + \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}}, \quad i \in \overline{1, N-1} \tag{10}$$

Przyjmując oznaczenia:

$$\nu_i = \frac{\sinh\sigma h_i - \sigma h_i}{\sigma^2 h_i}, \quad \mu_i = \frac{\sigma h_i \cosh\sigma h_i - \sinh\sigma h_i}{\sigma^2 h_i \sinh\sigma h_i},$$

układ równań (10) zapiszemy w postaci

$$\nu_i M_{i-1} + (\mu_i + \mu_{i+1}) M_i + \nu_{I+1} M_{i+1} = \\ \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i}, \quad i \in \overline{1, N-1} \tag{11}$$

Jest to $n-1$ równań dla $n+1$ momentów. Dwa dodatkowe równania możemy wyznaczyć na podstawie warunków brzegowych (3), mianowicie

$$s_L'(t_0) = -M_0 \frac{\cosh\sigma h_1}{\sinh\sigma h_1} + M_1 \frac{1}{\sigma \sinh\sigma h_1} + \\ - \frac{y_0 - \frac{1}{\sigma^2} M_0}{h_1} + \frac{y_1 - \frac{1}{\sigma^2} M_1}{h_1} = y'(t_0),$$

$$s_L'(t_N) = -M_{N-1} \frac{1}{\sinh\sigma h_N} + M_N \frac{\cosh\sigma h_N}{\sigma \sinh\sigma h_N} + \\ - \frac{y_{N-1} - \frac{1}{\sigma^2} M_0}{h_N} + \frac{y_N - \frac{1}{\sigma^2} M_N}{h_N} = y'(t_N).$$

Stąd po przekształceniach otrzymujemy:

$$\mu_1 M_0 + \nu_1 M_1 = \frac{y_1 - y_0}{h_1} - y'(t_0) \\ \mu_N M_{N-1} + \nu_N M_N = \frac{y_N - y_{N-1}}{h_N} + y'(t_N) \tag{12}$$

Uwzględniając (11) i (12) otrzymujemy układ równań, który możemy przedstawić w postaci macierzowej

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{M} = \mathbf{G}, \tag{13}$$

gdzie

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mu_1 & \nu_1 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ \nu_1 & \mu_1 + \mu_2 & \nu_2 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & \nu_2 & \mu_2 + \mu_3 & \nu_3 & 0 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & \nu_{N-1} & \mu_{N-1} + \mu_N & \nu_N \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & \nu_N & \mu_N \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} M_0 \\ M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_{N-1} \\ M_N \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} \frac{y_1 - y_0}{h_1} - y'(t_0) \\ \frac{y_2 - y_1}{h_2} - \frac{y_1 - y_0}{h_1} \\ \frac{y_3 - y_2}{h_3} - \frac{y_2 - y_1}{h_2} \\ \vdots \\ \frac{y_N - y_{N-1}}{h_N} - \frac{y_{N-1} - y_{N-2}}{h_{N-1}} \\ -\frac{y_N - y_{N-1}}{h_N} + y'(t_N) \end{bmatrix},$$

$$\nu_i = \frac{\sinh\sigma h_i - \sigma h_i}{\sigma^2 h_i \sinh\sigma h_i}, \quad \mu_i = \frac{\sigma^2 h_i \cosh\sigma h_i - \sinh\sigma h_i}{\sigma^2 h_i \sinh\sigma h_i},$$

$i \in \overline{1, N}$.

Ponieważ macierz tego układu jest macierzą trójdiagonalną, zatem jego rozwiązanie wymaga niewielkiej ilości działań arytmetycznych [3].

Zauważmy, że interpolującą funkcję sklejaną (8) można przedstawić w postaci:

$$s_L(t) = a_{3i} e^{\sigma(t_i - t)} + a_{2i} e^{-\sigma(t_i - t)} + a_{1i}(t_i - t) + a_{0i}, \\ t \in [t_{i-1}, t_i], \; i \in \overline{1, N}, \tag{14}$$

gdzie:

$$a_{0i} = y_i - \frac{M_I}{\sigma^2}, \quad a_{1i} = (y_{i-1} - y_i - \frac{M_{i-1}}{\sigma^2} + \frac{M_i}{\sigma^2}) \frac{1}{h_i},$$

$$a_{2i} = \frac{M_i e^{\sigma h_i} - M_{i-1}}{2\sigma^2 \sinh\sigma h_i}, \quad a_{3i} = \frac{M_{i-1} - M_i e^{-\sigma h_i}}{2\sigma^2 \sinh\sigma h_i}.$$

Postać ta umożliwia łatwe wyznaczenie pochodnej funkcji

$$s_L'(t) = -a_{3i}\sigma e^{\sigma(t_i - t)} + a_{2i}\sigma e^{-\sigma(t_i - t)} - a_{1i} t_i, \\ t \in [t_{i-1}, t_i], \; i \in \overline{1, N}, \tag{15}$$

oraz całki

$$\int_{t_0}^{t_N} s(t)dt = \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{a_{3i}}{\sigma} e^{\sigma h_i} - \frac{a_{2i}}{\sigma} e^{-\sigma h_i} + a_{1i} \frac{h_i^2}{2} + a_0 h_i + \right.$$

$$\left. - \frac{a_{31}}{\sigma} + \frac{a_{2i}}{\sigma}\right). \qquad (16)$$

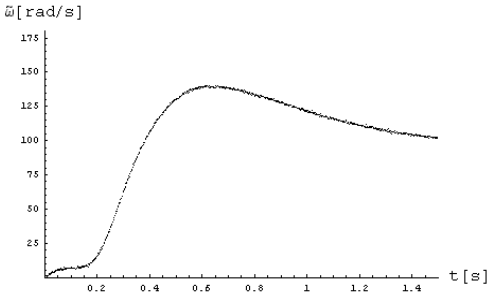
Wyprowadzone wzory mają duże znaczenie w obliczeniach numerycznych, ponieważ znacznie skracają czas obliczeń.

3. PRZYKŁAD NUMERYCZNY

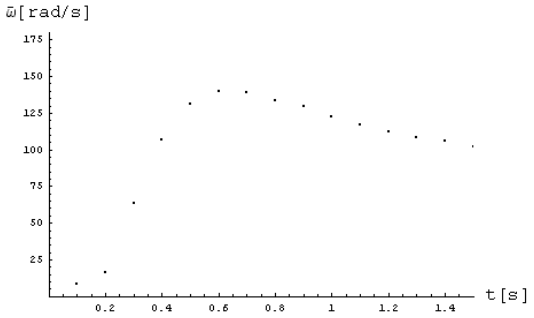
Dla przykładu numerycznego dokonano pomiarów m przebiegów prędkości kątowej

$$\tilde{\omega}_1(t_t), \tilde{\omega}_2(t_t), \ldots, \tilde{\omega}_m(t_t), \quad k \in \overline{0,N}$$

wirnika obcowzbudnego silnika prądu stałego, rejestrując wartości co 0.1 s. Wartości pomiarów przedstawiono na rys.1. Tabela 1. zawiera cztery pomiary prędkości kątowej .



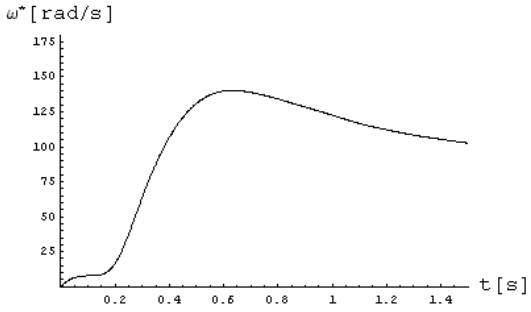
Rys. 1. Pomiary prędkości kątowej $\tilde{\omega}_l(t_k), l \in \overline{1,m}$, w chwilach $t_k \in [0,1.5]$



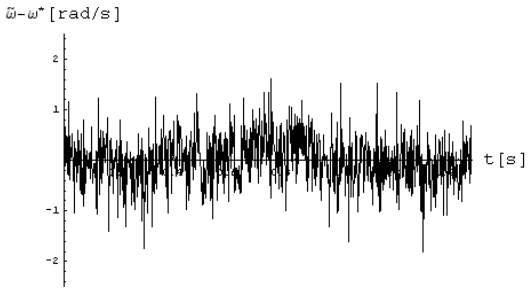
Rys. 2. Wartości oczekiwane wyznaczone z realizacji przebiegów w chwilach

$$t_k = t_0 + 0.1k, \quad k \in \overline{0,15}$$

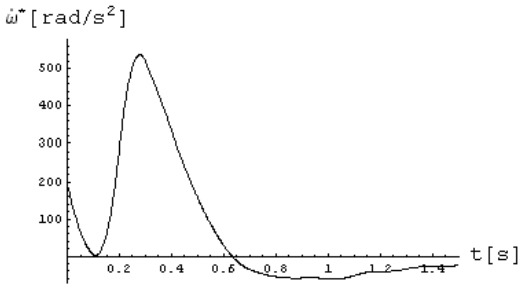
Do opisanego algorytmu opisującego przebiegi napisano program komputerowy w języku Turbo Pascal wersji 5.0. Program ten wykorzystano do wyznaczenia estymatora $\hat{\omega}(t)$ wartości przeciętnej prędkości kątowej w przedziale obserwacji. Zaproksymowany przebieg prędkości kątowej wirnika przedstawia rys.2.



Rys. 3. Zaproksymowany przebieg prędkości kątowej wirnika $\omega^*(t)$ na podstawie pomiarów przedstawionych na rys.1



Rys.4. Wykres reszt $\tilde{\omega} - \omega^*$[rad/s]



Rys. 5. Wykres pochodnej $\dot{\omega}^*$

Tabela 1.
Zestawienie wyników pomiarów prędkości kątowej

t_k	pomiar1. $\tilde{\omega}(t_k)$	pomiar2. $\tilde{\omega}(t_k)$	pomiar3. $\tilde{\omega}(t_k)$	pomiar4. $\tilde{\omega}(t_k)$
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.002	0.60	0.18	0.18	0.36
0.004	0.64	0.49	1.23	0.40
0.006	1.79	0.85	0.66	1.68
0.008	1.43	1.40	1.87	1.43
0.010	2.29	2.07	1.72	2.17
.....	.....	.....	.....	.....
1.000	122.34	122.16	122.86	122.17
1.002	123.19	121.65	123.18	122.59
1.004	121.28	122.22	121.54	121.87
1.006	122.11	122.41	121.16	121.84
1.008	121.07	121.68	122.58	122.02
1.010	121.23	121.96	121.99	121.85
.....	.....	.....	.....	.....
1.490	102.43	102.20	102.68	102.71
1.492	103.07	102.42	103.53	102.53
1.494	103.48	102.91	102.76	103.67
1.496	102.77	102.92	102.22	102.02
1.498	102.12	102.29	102.04	102.56
1.500	102.50	102.90	103.50	102.75

Do oceny poprawności modelu zastosujemy test sprawdzający czy reszty modelu podlegają autokorelacji pierwszego rzędu. W tym celu musimy zweryfikować hipotezę mówiącą, że współczynnik autokorelacji jest równy zero. Ma ona postać: $H_0 : \rho = 0$. Do weryfikacji posłużymy się testem von Neumanna [4]:
na podstawie n reszt e_{t_k} modelu, obliczamy wartość statystyki Q określonej wzorem

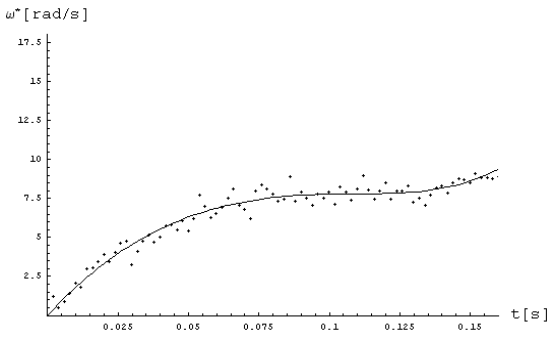
$$Q = \frac{n\sum_{t=2}^{n}(e_{t_k} - e_{t_{k-1}})^2}{(n-1)\sum_{t=1}^{n} e_{t_k}^2},$$

Wartość statystyki Q porównujemy z krytyczną wartością Q_α , taką, że zachodzi $P(Q \le Q_\alpha) = \alpha$. Sposób weryfikacji hipotezy zależy od hipotezy alternatywnej, a postać jej wskazuje nam znak estymatora $\hat{\rho}$. Gdy $\hat{\rho}$ >0, to testujemy hipotezy

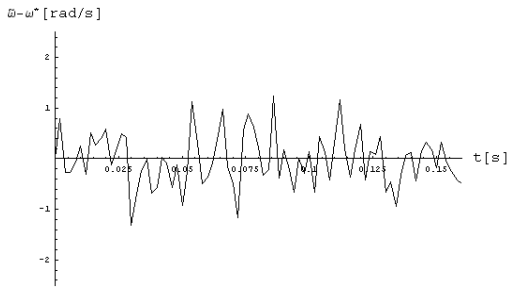
$$H_0 : \rho = 0 \; ; \quad H_1 : \rho > 0$$

Dla liczby obserwacji $n > 60$ statystyka Q ma asymptotyczny rozkład normalny $N\left(\frac{2n}{n-1}, \sqrt{\frac{4}{n}}\right)$.
Jeżeli obliczona wartość Q spełnia nierówność $Q \le Q_\alpha$, to hipotezę H_0 odrzucamy, tzn. występuje autokorelacja składników losowych e_t modelu. Otrzymanie nierówności $Q > Q_\alpha$, nie powoduje odrzucenia hipotezy H_0 o braku autokorelacji błędów losowych. Można wtedy przyjąć, że dane pomiarowe są dobrze opisane za pomocą hiperbolicznych funkcji sklejanych.

Dla zilustrowania dokładności opisu przebiegu prędkości kątowej silnika przeprowadzimy analizę pierwszym przedziale czasu $t \in [0, 0.1]\,[s]$. Dane pomiarowe $\tilde{\omega}(t_k)$ z tego przedziału czasowego, wartości $\hat{\omega}(t_k)$ obliczone z modelu oraz wartości reszt $e_{t_k} = \tilde{\omega}(t_k) - \hat{\omega}(t_k)$ zawiera tabela 2. oraz rysunki (6)-(7).



Rys. 6. Wartości pomiarowe $\tilde{\omega}(t_k)$. Linia ciągła oznacza wyznaczony z modelu przebieg prędkości kątowej



Rys. 7. Wykres reszt $e_{t_k} = \tilde{\omega}(t_k) - \hat{\omega}(t_k)$

Tabela 2. Zestawienie danych pomiarowych i wyznaczonych z modelu

t_k	$\tilde{\omega}(t_k)$	$\hat{\omega}(t_k)$	e_{t_k}
0.000	0.0	0.00	0.00
0.002	1.18	0.39	0.79
0.004	0.49	0.76	-0.27
0.006	0.85	1.12	-0.27
0.008	1.40	1.47	-0.07
0.010	2.07	1.81	0.26
0.012	1.82	2.13	-0.31
0.014	2.96	2.45	0.51
0.016	3.02	2.75	0.27
0.018	3.44	3.04	0.40
0.020	3.90	3.32	0.58
0.022	3.46	3.58	-0.12
0.024	4.00	3.84	0.16
0.026	4.59	4.09	0.50
0.028	4.73	4.32	0.41
0.030	3.23	4.55	-1.32
0.032	4.07	4.77	-0.70
0.034	4.73	4.97	-0.24
0.036	5.16	5.17	-0.01
0.038	4.68	5.36	-0.68
0.040	4.98	5.54	-0.56
0.042	5.73	5.71	0.02
0.044	5.79	5.87	-0.08
0.046	5.46	6.02	-0.56
0.048	6.05	6.17	-0.12
0.050	5.39	6.31	-0.92
0.052	6.19	6.44	-0.25
0.054	7.68	6.56	1.12
0.056	6.98	6.67	0.31
0.058	6.29	6.78	-0.49
0.060	6.52	6.88	-0.36
0.062	6.89	6.98	-0.09
0.064	7.54	7.06	0.48
0.066	8.13	7.15	0.98
0.068	7.06	7.22	-0.16
0.070	6.79	7.29	-0.50
0.072	6.19	7.35	-1.16
0.074	7.98	7.41	0.57
0.076	8.36	7.47	0.89
0.078	8.13	7.51	0.62
0.080	7.78	7.56	0.22
0.082	7.28	7.60	-0.32
0.084	7.41	7.63	-0.22
0.086	8.89	7.66	1.23
0.088	7.30	7.69	-0.39
0.090	7.88	7.71	0.17
0.092	7.51	7.73	-0.22
0.094	7.08	7.75	
0.096	7.77	7.76	-0.67
0.098	7.48	7.77	0.01
0.100	7.92	7.78	-0.29

Obliczenia dla powyższych danych są następujące:

$$\sum_{t=2}^{n}(e_t - e_{t-1})^2 = 25.10800,$$

$$\sum_{t=2}^{n} e_t^{\,2} = 15.07170,$$

$$Q = 1.69990,$$

$$n = 50$$

Dla poziomu istotności $\alpha = 0.05$ wartość krytyczna $Q_\alpha = 1.57695$. Ponieważ zachodzi nierówność $Q = 1.69990 > Q_\alpha = 1.57695$ więc nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, że współczynnik autokorelacji $\rho = 0$, to znaczy nie występuje istotna autokorelacja. Można zatem uznać za prawidłowe oszacowanie danych pomiarowych hiperbolicznymi funkcjami sklejanymi.

4. UWAGI I WNIOSKI

Zaletą podanego algorytmu jest to, że dane pomiarowe nie muszą być rejestrowane w chwilach równoodległych. Natomiast dla węzłów równoodległych algorytm interpolacji przyjmuje prostszą postać.

Interpolująca funkcja sklejana ma postać (14), gdzie

$$a_{0i} = y_i - \frac{M_i}{\sigma^2}, \quad a_{1i} = (y_{i-1} - y_i - \frac{M_{i-1}}{\sigma^2} + \frac{M_i}{\sigma^2})\frac{1}{h},$$

$$a_{2i} = \frac{M_i e^{\sigma h} - M_{i-1}}{2\sigma^2 \sinh \sigma h}, \quad a_{3i} = \frac{M_{i-1} - M_i e^{-\sigma h}}{2\sigma^2 \sinh \sigma h}.$$

Natomiast macierze układu (13) przedstawiają się następująco:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mu & \nu & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ \nu & 2\mu & \nu & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & \nu & 2\mu & \nu & 0 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & \nu & 2\mu & \nu \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & \nu & \mu \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} M_0 \\ M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_{N-1} \\ M_N \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} \frac{y_1 - y_0}{h} - y'(t_0) \\ \frac{y_2 - 2y_1 + y_0}{h} \\ \frac{y_3 - 2y_2 + y_1}{h} \\ \vdots \\ \frac{y_N - 2y_{N-1} + y_{N-2}}{h} \\ -\frac{y_N - y_{N-1}}{h} + y'(t_N) \end{bmatrix},$$

oraz

$$\nu = \frac{\sinh \sigma h - \sigma h}{\sigma^2 h \sinh \sigma h}, \quad \mu = \frac{\sigma^2 h \cosh \sigma h - \sinh \sigma h}{\sigma^2 h \sinh \sigma h},$$

$i \in \overline{1, N}$.

Wielomiany interpolacyjne, chociaż przechodzą przez opisane zbiory punktów wykazują znaczne oscylacje. Oscylacje te można zmniejszyć poprzez zastosowanie wielomianowych funkcji sklejanych w szczególności wielomianowych funkcji sklejanych trzeciego stopnia. Niedostatki wielomianowych funkcji sklejanych można wyeliminować stosując hiperboliczne funkcje sklejane. W wielu przypadkach funkcje te pozwalają na uzyskanie dokładniejszych wyników. Dotyczy to głównie wygładzenia danych pomiarowych oraz rozwiązywania równań różniczkowych.

Można wykazać [5], że najlepsze wyniki uzyskuje się przy zastosowaniu takiego σ, aby $\sigma h = 1$.

LITERATURA

[1] DE BOOR C.: *A practical guide to splines.* Springer Verlag. New York- Heidelber-Rerlin 1978.

[2] FORTUNA Z., MACUGOW B.,WĄSOWSKI J.: *Metody numeryczne.*WNT, Warszawa 1982.

[3] KOSMA.. Z.: *Wstęp do metod funkcji sklejanych*. Skrypt uczelniany Nr 16, Wyższa Szkoła Inżynierska w Radomiu , Radom 1986.

[4] STANISZ A.: *Przystępny kurs statystyki z wykorzystaniem programu STATISTICA PL na przykładach z medycyny,* Tom II, Kraków 2000.

[5] WIERSZYNIN W.W., ZAWIAŁOW J.S., PAWŁOW N.N.: *Ektrimalnyje swojstwa spłajnow i zadacza sgłażiwania,* Nauka, Nowosybirsk 1988.

[6] ZAŁĘSKA-FORNAL A., ZELLMA M.: *Testing the dynamics of the electric engine by means of basic splines*; 3-rd Inernational Congress on Technical Diagnostics, Diagnostics'2004, September 6-9, 2004, Poznań Poland, Diagnostyka, Vol.30, tom 2, 2004, pp.203-206.

Dr Agata Załęska –Fornal- adiunkt w Katedrze Matematyki i Fizyki Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Zajmuje się niezawodnością urządzeń technicznych, identyfikacją układów dynamicznych. Członek PTBN.

Dr Marek Zellma- adiunkt w Katedrze Matematyki i Fizyki Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Sfera zainteresowań to: teoria sterowana, identyfikacja układów dynamicznych , zastosowanie funkcji sklejanych jednej i wielu zmiennych w aproksymacji. Członek PTM.

ZASTOSOWANIE HIPERBOLICZNYCH FUNKCJI SKLEJANYCH DO IDENTYFIKACJI PARAMETRÓW SILNIKA ELEKTRYCZNEGO

Agata ZAŁĘSKA-FORNAL
Marek ZELLMA

Katedra Matematyki i Fizyki
Akademia Marynarki Wojennej, 81-103 Gdynia ul. Śmidowicza 69,
a.fornal@amw.gdynia.pl, m.zellma@amw.gdynia.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono algorytm identyfikacji współczynników liniowego równania różniczkowego rzędu drugiego opisującego zależność między napięciem twornika i momentem obciążenia zewnętrznego, a prędkością kątową wirnika silnika elektrycznego. Do tego celu wykorzystano hiperboliczne funkcje sklejane.

Słowa kluczowe: hiperboliczne funkcje sklejane, identyfikacja

APPLYING THE HYPERBOLIC SPLINES IN IDENTYFICATION OF PARAMETERS OF AN ELECTRIC ENGINE

Summary

There is presented the algorithm of identyfication of the coefficients of the linear differential equation of the second order designed for description the dependence between voltage of the armature, external load torque and the angular velocity of the rotor of the electric engine. To that aim thera are used the hyperbolic splines.

Keywords: hyperbolic splines, idetification

1. WSTĘP

Celem pracy jest ustalenie zależności dynamicznej (w postaci liniowego równania różniczkowego zwyczajnego o stałych współczynnikach) między napięciem obwodu twornika $U_t(t)$, momentem obciążenia zewnętrznego $M_0(t)$, a prędkością kątową $\omega(t)$ wirnika silnika elektrycznego na podstawie zarejestrowanych danych pomiarowych napięcia twornika $\widetilde{U}_t$, momentu obciążenia $\widetilde{M}_0$ i odpowiadających tym wielkościom prędkości kątowych $\widetilde{\omega}$.

Podstawą analizy stanów nieustalonych silników prądu stałego są następujące równania różniczkowe [1]:

- równanie prądu wzbudzenia

$$R_w i_w(t) + L_w \frac{di_t(t)}{dt} = U_w(t);$$

- równanie obwodu twornika

$$k_e i_w(t)\omega(t) + R_t i_t(t) + L_t \frac{di_t(t)}{dt} = U_t(t);$$

- równanie równowagi mechanicznej

$$J\frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) + M_0(t) = k_m i_w(t) i_t(t),$$

gdzie

R_w -rezystancja wzbudzenia,
i_w - prąd wzbudzenia,
U_w - napięcie wzbudzenia,
L_w - indukcyjność wzbudzenia,
k_e - indukcyjność wzajemna stojan-wirnik,
B - współczynnik tarcia lepkiego,
R_t - rezystancja twornika,
i_t - prąd twornika,
k_m - indukcyjność rotacji,
J - moment bezwładności na wale twornika,
L_t - indukcyjność twornika.

Załóżmy, że w czasie analizy obwodu twornika spełniony jest warunek $i_w(t) = i_w = \text{const}$. Dla ustalonego prądu wzbudzenia możemy określić stałą $K := k_e i_w$. Wówczas zależność między sygnałami wejściowymi $U_t(t)$ i $M_0(t)$, a sygnałem wyjściowym $\omega(t)$, przy ustalonym natężeniu prądu wzbudzenia, można opisać równaniem różniczkowym drugiego rzędu:

$$\begin{aligned} &a_2\omega''(t) + a_1\omega'(t) + a_0\omega(t) = \\ &= b_1 M_0'(t) + b_0 M_0(t) + U_t(t) \end{aligned}, \qquad (1)$$

gdzie a_0, a_1, a_2, b_0, b_1 są stałymi współczynnikami rzeczywistymi zależnymi od wymienionych wyżej stałych charakteryzujących obwód wzbudzenia i obwód twornika:

$$a_0 := \frac{BR_t + K^2}{K}, \quad a_1 := \frac{JR_t + BL_t}{K}, \quad a_2 := \frac{JL_t}{K}$$

$$b_0 := -\frac{R_t}{K}, \quad b_1 := -\frac{L_t}{K}. \quad (2)$$

Powyższe równania wyprowadzono, przyjmując szereg założeń upraszczających. Opis stanów przejściowych i parametrów konkretnego silnika wymaga określenia współczynników występujących w jego równaniach.

W pracy opracujemy algorytm identyfikacji układu sterowania (1), który obejmuje:

1. Algorytm aproksymacji sygnałów wejściowych U_t i M_0 i sygnału wejściowego ω.
2. Algorytm doboru współczynników równania (1) i na podstawie zaproksymowanych sygnałów U_t, M_0 i ω. W tym celu równanie (1) przedstawimy w postaci
$$A_4\omega'' + A_3\omega' + A_2\omega + A_1 M_0' + A_0 M_0 = U_t(t), \quad (3)$$
gdzie
$$A_0 := -b_0,\ A_1 := -b_1,\ A_{i+2} := a_i,\ i = 0,1,2. \quad (4)$$
3. Algorytm identyfikacji modelu.

2. INTERPOLACJA HIPERBOLICZNYMI FUNKCJAMI SKLEJANYMI

Do opisu wartości $\tilde{y}_i, i \in \overline{0,N}$ sygnałów wyznaczonych z pomiarów wykorzystamy interpolację za pomocą hiperbolicznych funkcji sklejanych.

Niech Δ_N będzie układem punktów $t_i, \ i \in \overline{1,N}$ dzielących przedział $[t_0, t_N]$ na N podprzedziałów, tzn.

$$\Delta_N : \ t_0 < \ldots < t_N.$$

Funkcję $s = s(t, \Delta_N)$ nazywamy *hiperboliczną funkcją sklejaną z węzłami* Δ_N *jeśli:*

i) w każdym podprzedziale $[t_{i-1}, t_i]$ $i \in \overline{1,N}$

$$s(t) = W_i(t),$$

gdzie

$$s_L(t) = a_{3i} e^{\sigma(t_i - t)} + a_{2i} e^{\sigma(t_i - t)} + a_{1i}(t_i - t) + a_{0i},$$

ii) s i jej pochodne rzędu pierwszego i drugiego są ciągłe w przedziale $[t_0, t_N]$.

Funkcję s nazywamy *funkcją interpolacyjną dla funkcji y=f(t), jeśli*

$$s(t_i) = y_i, \quad i \in \overline{0,N}, \ N \geq 2.$$

Poszukiwana funkcja zależy od $4N$ stałych

$$a_{3i}, a_{2i}, a_{1i}, a_{0i}, i \in \overline{1,N}.$$

Współczynniki te wyznaczamy korzystając z własności interpolacyjnej funkcji sklejanej oraz jej ciągłości wraz z pochodnymi rzędu pierwszego i drugiego w każdym węźle wewnętrznym t_i. Ponadto przyjmujemy dwa dodatkowe warunki:

$$s'(t_0) = y'(t_0), \quad s'(t_N) = y'(t_N).$$

3. ALGORYTM DOBORU OPTYMALNYCH WSPÓŁCZYNNIKÓW MODELU

Niech

$$U_t^*(t) = \alpha_{3i} e^{\sigma(t_i - t)} + \alpha_{2i} e^{-\sigma(t_i - t)} + \alpha_{1i}(t_i - t) + \alpha_{0i},$$
$$M_0^*(t) = \beta_{3i} e^{\sigma(t_i - t)} + \beta_{2i} e^{-\sigma(t_i - t)} + \beta_{1i}(t_i - t) + \beta_{0i}, \quad (5)$$
$$\omega^*(t) = \gamma_{3i} e^{\sigma(t_i - t)} + \gamma_{2i} e^{-\sigma(t_i - t)} + \gamma_{1i}(t_i - t) + \beta_{0i},$$
$$t \in [t_{i-1}, t_i], i \in \overline{1,N}.$$

oznaczają sygnały wyznaczone na podstawie danych pomiarowych napięcia twornika $\tilde{U}_{tk} = U_t(t_k)$, momentu obciążenia $\tilde{M}_0 = M_0(t_k)$ oraz prędkości kątowej $\tilde{\omega} = \omega(t_k)$ zaobserwowanych w chwilach $t_k, k \in \overline{0,N}$.

Określimy identyfikację układu jako problem takiego doboru współczynników równania (3), aby funkcjonał

$$J(A_0, \ldots, A_4) = \Big(\int_{t_0}^{t_N} [A_4\omega''(t) + A_3\omega'(t) + A_2\omega(t) + A_1 M_0'(t) + A_0 M_0(t) - U_t(t)]^2 dt\Big)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

osiągnął minimum. Problem doboru optymalnych współczynników $A_i^0, i \in \overline{0,4}$, które minimalizują wskaźnik identyfikacji sprowadza się do rozwiązania układu równań liniowych:

$$\sum_{i=0}^{4} A_i^0 v_{ji} = d_j, \ j \in \overline{0,4}, \quad (7)$$

gdzie:

$$\nu_{44}=\int_{t_0}^{t_N}\ddot{\omega}^*(t)\ddot{\omega}^*(t)dt \quad \nu_{30}=\int_{t_0}^{t_N}M_0^*(t)\dot{\omega}^*(t)dt$$
$$\nu_{43}=\int_{t_0}^{t_N}\dot{\omega}^*(t)\ddot{\omega}^*(t)dt \quad \nu_{22}=\int_{t_0}^{t_N}\omega^*(t)\omega^*(t)dt$$
$$\nu_{42}=\int_{t_0}^{t_N}\omega^*(t)\ddot{\omega}^*(t)dt \quad \nu_{21}=\int_{t_0}^{t_N}M_0^*(t)\dot{\omega}^*(t)dt$$
$$\nu_{41}=\int_{t_0}^{t_N}\dot{M}_0^*(t)\ddot{\omega}^*(t)dt \quad \nu_{20}=\int_{t_0}^{t_N}M_0^*(t)\omega^*(t)dt$$
$$\nu_{40}=\int_{t_0}^{t_N}M_0^*(t)\ddot{\omega}^*(t)dt \quad \nu_{11}=\int_{t_0}^{t_N}\dot{M}_0^*(t)\dot{M}_0^*(t)dt \quad =$$
$$\nu_{33}=\int_{t_0}^{t_N}\dot{\omega}^*(t)\dot{\omega}^*(t)dt \quad \nu_{10}=\int_{t_0}^{t_N}\dot{M}_0^*(t)M_0^*(t)dt$$
$$\nu_{32}=\int_{t_0}^{t_N}\omega^*(t)\dot{\omega}^*(t)dt \quad \nu_{00}=\int_{t_0}^{t_N}M_0^*(t)M_0^*(t)dt$$
$$\nu_{31}=\int_{t_0}^{t_N}\dot{M}_0^*(t)\dot{\omega}^*(t)dt \quad \nu_{ij}=\nu_{ji},\ i,j\in\overline{0,4},$$

$$d_4=\int_{t_0}^{t_N}U_t^*(t)\ddot{\omega}^*(t)dt \quad d_1=\int_{t_0}^{t_N}U_t^*(t)\dot{M}_0^*(t)dt$$
$$d_3=\int_{t_0}^{t_N}U_t^*(t)\dot{\omega}^*(t)dt \quad d_0=\int_{t_0}^{t_N}U_t^*(t)M_0^*(t)dt$$
$$d_2=\int_{t_0}^{t_N}U_t^*(t)\omega^*(t)dt$$

Współczynniki $\nu_{ji}, d_j,\ j\in\overline{0,4}$ układu (7) można sprowadzić do prostej postaci np.

$$\nu_{00}=$$
$$=\sum_{i=1}^{N}\int_{t_{i-1}}^{t_i}[\gamma_{3i}e^{\sigma(t_i-t)}+\gamma_{2i}e^{-\sigma(t_i-t)}+\gamma_{1i}(t_i-t)+\beta_{0i}]^2dt=$$
$$=\left|\begin{array}{l}\tau=t_i-t\\ d\tau=-dt\\ \begin{array}{c|c|c}t & t_{i-1} & t\\ \hline \tau & 0 & h_i\end{array}\\ h_i=t_i-t\end{array}\right|=$$
$$=\sum_{i=1}^{N}\int_0^{h_i}[\gamma_{3i}e^{\sigma\tau}+\gamma_{2i}e^{-\sigma\tau}+\gamma_{1i}\tau+\beta_{0i}]^2d\tau=$$
$$=\sum_{i=1}^{N}[(\gamma_{0i}^2+2\gamma_{2i}\gamma_{3i})h_i+\gamma_{0i}\gamma_{1i}h_i^2+\frac{\gamma_{1i}^2}{3}h_i^3+$$
$$-\frac{2\gamma_{0i}\gamma_{2i}}{\sigma}(e^{-\sigma h_i}-1)+\frac{2\gamma_{0i}\gamma_{3i}}{\sigma}(e^{\sigma h_i}-1)+$$
$$+2\gamma_{1i}\gamma_{2i}(-\frac{h_ie^{-\sigma h_i}}{\sigma}-\frac{e^{-\sigma h_i}-1}{\sigma^2})+$$
$$+2\gamma_{1i}\gamma_{3i}(-\frac{h_ie^{\sigma h_i}}{\sigma}-\frac{e^{\sigma h_i}-1}{\sigma^2})+$$
$$-\frac{\gamma_{2i}^2}{2\sigma}(e^{-2\sigma h_i}-1)+\frac{\gamma_{3i}^2}{2\sigma}(e^{2\sigma h_i}-1).$$

Zauważmy, że wyprowadzone w sposób analityczny, wzory iloczynów skalarnych nie zawierają całek oznaczonych, co ma duże znaczenie w obliczeniach numerycznych. W ten sposób znacznie skraca się czas obliczeń.

4. WERYFIKACJA MODELU

Podstawą weryfikacji modelu (1) jest wyznaczenie rozwiązania zagadnienia początkowego

$$A_4^0\omega''+A_3^0\omega'+A_2^0\omega=F(t)$$
$$F(t):=U_t^*(t)-A_0^0M_0^*-A_1^0M_0^{*\prime}, \tag{8}$$
$$\omega(t_0)=\omega_0=\omega^*(t_0),\ \omega'(t_0)=\omega_1=\omega^{*\prime}(t_0) \tag{9}$$

gdzie

$U_t^*(t), M_0^*(t), \omega^*(t)$ są zdefiniowane wzorami (5), natomiast

$$M_0^{*\prime}(t)=-\sigma\beta_{3i}e^{\sigma(t_i-t)}+\sigma\beta_{2i}e^{-\sigma(t_i-t)}-\beta_{1i}$$
$$\omega^{*\prime}(t)=-\sigma\gamma_{3i}e^{\sigma(t_i-t)}+\sigma\gamma_{2i}e^{-\sigma(t_i-t)}-\gamma_{1i},$$

Przybliżone rozwiązanie $\omega_m(t)$ równania (8) wyznaczymy w postaci wielomianowej funkcji sklejanej stopnia trzeciego z węzłami równoodległymi

$$t_i=t_0+ih,\quad i\in\overline{0,k},$$

gdzie

$$\omega_m(t)=W_i(t),\quad i\in\overline{1,k},\quad t\in[t_{k-1},t_k],\ t_k:=t_N,$$
$$W_i(t):=p_i+q_i(t-t_{i-1})+r_i(t-t_{i-1})^2+s_i(t-t_{i-1})^3,$$
$$p_i,q_i,r_i,s_i\in\mathbf{R},\quad t\in[t_{i-1},t_i],\quad i\in\overline{1,k}. \tag{10}$$

Z (8) wynika, że funkcja sklejana $\omega_m(t)$ musi, na krańcach przedziału $[t_0,t_1]$, spełniać następujące warunki

$$A_4^0\omega''(t_0)+A_3^0\omega'(t_0)+A_2^0\omega(t_0)=F(t_0) \tag{11}$$
$$A_4^0\omega''(t_1)+A_3^0\omega'(t_1)+A_2^0\omega(t_1)=F(t_1) \tag{12}$$

Zauważmy, że

$$\omega_m(t_0)=W_1(t_0)=p_1,$$
$$\omega_m(t_1)=W_1(t_1)=p_1+q_1h+r_1h^2+s_1h^3, \tag{13}$$
$$\omega_m'(t_0)=W_1'(t_0)=q_1,$$
$$\omega_m'(t_1)=W_1'(t_1)=q_1+2r_1h+3s_1h^2,$$
$$\omega_m''(t_0)=W_1''(t_0)=2r_1,$$
$$\omega_m'(t_1)=W_1'(t_1)=2r_1+6s_1h.$$

Uwzględniając (13) w (11) i (12) otrzymujemy

$$A_4^0\cdot2r_1+A_3^0q_1+A_2^0p_1=F(t_0) \tag{14}$$

$$A_4^0[2r_1+6s_1h]+A_3^0[q_1+2rh_1+3s_1h^2]+$$
$$A_2^0[p_1+q_1h+rh_1^{\ 2}+s_1h^3]=F(t_1). \tag{15}$$

Z (14), po uwzględnieniu warunków początkowych (9) wynika, że

$$p_1=\omega_0,\quad q_1=\omega_1, \tag{16}$$
$$r_1=\frac{F(t_0)-A_2^0\omega_0-A_3^0\omega_1}{2A_4^0}. \tag{17}$$

Podstawiając (16) i (17) do (15) ostatecznie otrzymujemy

$$s_1 = \frac{1}{A_2^0 h^3 + 3A_3^0 h^2 + 6A_4^0 h}\left[F(t_1) - p_1 A_2^0 + \right. \\ \left. + q_1(A_2^0 h + A_3^0) + r_1(A_2^0 h^2 + 2A_3^0 h + 2A_4^0)\ \right]. \quad (18)$$

W przypadku ogólnym, znając funkcję sklejaną $\omega_m(t)$ w przedziale $[t_{i-1}, t_i]$, tzn. mając dane współczynniki p_i, q_i, r_i, s_i określamy ją w przedziale $[t_i, t_{i+1}]$ żądając, aby

$$A_4^0 \omega_m''(t_{i+1}) + A_3^0 \omega_m'(t_{i+1}) + A_2^0 \omega_m(t_{i+1}) = F(t_{i+1}),$$

gdzie

$$\omega_m(t_{i+1}) = W_i(t_{i+1}) = p_i + q_i h + r_i h^2 + s_i h^3$$
$$\omega_m'(t_{i+1}) = W_i'(t_{i+1}) = q_i + 2r_i h + 3s_i h^2,$$
$$\omega_m'(t_{i+1}) = W_{i+1}'(t_i) = 2r_i + 6s_i h.$$

Korzystając z ciągłości $\omega_m(t), \omega_m'(t), \omega_m''(t)$ w punktach t_i, $i \in \overline{1, k-1}$, tzn.

$$W_i(t_i) = W_{i+1}(t_1),$$
$$W_i'(t_i) = W_i'(t_1),$$
$$W_i''(t_i) = W_i''(t_1),$$

mamy

$$p_{i+1} = p_i + q_i h + r_i h^2 + s_i h^3$$
$$q_{i+1} = q_i + 2r_i h + 3s_i h^2,$$
$$r_{i+1} = r_i + 3s_i h$$
$$s_{i+1} = \frac{1}{A_2^0 h^3 + 3A_3^0 h^2 + 6A_4^0 h}\left[F(t_{i+1}) - p_{i+1} A_2^0 + \right. \\ \left. + q_{i+1}(A_2^0 h + A_3^0) + r_{i+1}(A_2^0 h^2 + 2A_3^0 h + 2A_4^0)\ \right],$$

gdzie $i \in \overline{1, k-1}$.

Zatem algorytm wyznaczania funkcji $\omega_m(t)$, będącej w przybliżonym rozwiązaniem zagadnienia (8), (9) jest algorytmem rekurencyjnym.

Do oceny aproksymacji sygnałów $U_t(t), M_0(t), \omega(t)$ zastosujemy *współczynnik determinacji* [6]

$$R_y := \sqrt{1 - \phi_y^2},$$
$$\phi_y^2 := \frac{\sum_{i=0}^{n}\left[\tilde{y}_i - y^*(t_i')\right]^2}{\sum_{i=0}^{n}\left(\tilde{y}_i - \bar{y}\right)^2}, \quad \bar{y} := \frac{1}{n+1}\sum_{i=0}^{n}\tilde{y}_i, \quad (19)$$

który określa zgodność wyznaczonej krzywej $y^*(t)$ z wartościami empirycznymi $\tilde{y}_i$ zawartymi w próbce. Zgodność ta jest tym lepsza, im wartość R_y jest bliższa jedności.

Do oceny rozwiązania $\omega_m(t)$, uzyskanego z modelu (8) przy warunkach początkowych (9), zastosujemy *współczynnik zmienności resztowej* [6]

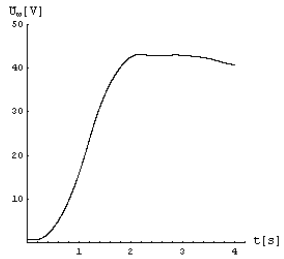
$$v_\omega := \frac{\sqrt{\frac{1}{n+1}\sum_{i=0}^{n}\left[\tilde{\omega}_i - \omega_m(t_i')\right]^2}}{\frac{1}{n+1}\sum_{i=0}^{n}\tilde{\omega}_i} \cdot 100\%. \quad (20)$$

Niewielka wartość współczynnika ψ_ω wskazuje, że model dość dobrze opisuje rozważaną zależność dynamiczną.

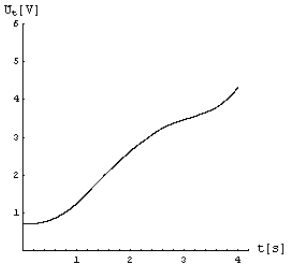
5. PRZYKŁAD NUMERYCZNY

Dla zilustrowania metody dokonano 1500 pomiarów napięcia wzbudzenia $\tilde{U}_w$, napięcia twornika $\tilde{U}_t$, prądu wzbudzenia $\tilde{i}_w$ i prądu twornika $\tilde{i}_t$, momentu obciążenia $\tilde{M}_0$ oraz prędkości kątowej $\tilde{\omega}$ obcowzbudnego silnika prądu stałego sterowanego od strony uzwojenia twornika rejestrując wartości co 0.002 s. Zebrane pomiary przedstawiono na rysunkach 1-6.

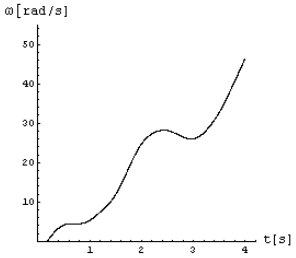
Badany silnik znajduje się w stanie nieustalonym w czasie około dwóch sekund. Po tym czasie wielkości U_w oraz i_w możemy potraktować jako stałe, co oznacza spełnienie wcześniejszych założeń prowadzących do uzyskania modelu różniczkowego (3).



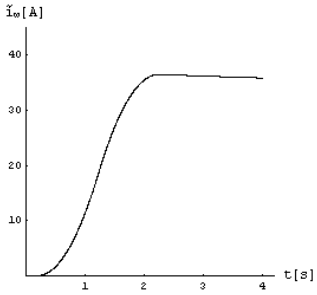
Rys.1. Pomiary $\tilde{U}_w(t_i')$ napięcia w obwodzie wzbudzenia



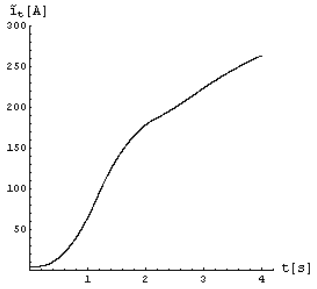
Rys.2. Pomiary $\tilde{U}_t(t_i')$ napięcia w obwodzie twornika



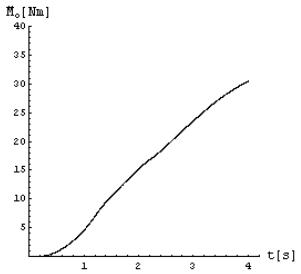
Rys. 3. Pomiary $\tilde{\omega}(t_i')$ prędkości kątowej wirnika



Rys. 4. Pomiary $\widetilde{i}_w(t_i')$ prądu wzbudzenia

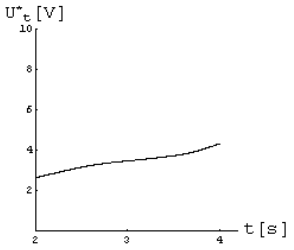


Rys. 5. Pomiary $\widetilde{i}_t(t_i')$ prądu twornika

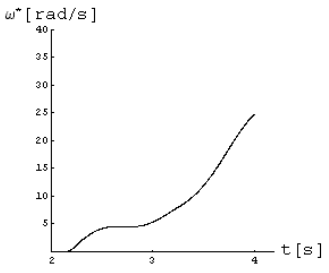


Rys. 6. Pomiary $\widetilde{M}_0(t_i')$ momentu obciążenia zewnętrznego

Do wyznaczenia funkcji $\omega^*(t), U_t^*(t), M_0^*(t)$ interpolujących zarejestrowane wartości pomiarów $\widetilde{\omega}(t_i), \widetilde{U}_t(t_i), \widetilde{M}_0(t_i)$, przedział obserwacji $[0,4]$ został podzielony na czterdzieści równych podprzedziałów. Do opisu przebiegów wykorzystano interpolację za pomocą hiperbolicznych funkcji sklejanych. Kolejne rysunki 7-9 przedstawiają zinterpolowane w przedziale [2,4] sygnały napięcia twornika, momentu obciążenia i prędkości kątowej wymagane do identyfikacji układu.



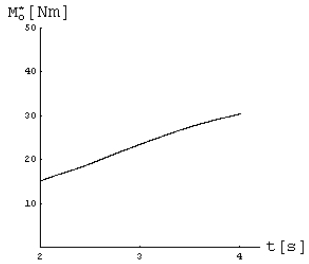
Rys. 7. Zinterpolowany przebieg napięcia twornika $U_t^*(t)$ na podstawie pomiarów przedstawionych na rys. 2



Rys. 8. Zinterpolowany przebieg prędkości kątowej wirnika $\omega^*(t)$ na podstawie pomiarów przedstawionych na rys. 3

Do przedstawionego w artykule algorytmu identyfikacji napisano program w języku Turbo Pascal. Program ten wykorzystano do wyznaczenia współczynników równania (3). Obliczone współczynniki wynoszą odpowiednio:

$$A_0^0 = 0.0909 \quad A_1^0 = 0.0182$$
$$A_2^0 = 0.1015 \quad A_3^0 = 0.0212 \quad A_4^0 = 0.0017$$



Rys. 9. Zinterpolowany przebieg momentu obciążenia $M_0^*(t)$ na podstawie pomiarów przedstawionych na rys. 6

Na podstawie wzoru (4) otrzymujemy zidentyfikowaną postać równania różniczkowego (1) opisującego dynamikę silnika, tzn.

$$\begin{aligned} &a_2^0\omega''(t) + a_1^0\omega'(t) + a_0^0\omega(t) = \\ &= b_1^0 M_0'(t) + b_0^0 M_0(t) + U_t(t) \end{aligned}, \tag{21}$$

gdzie

$$\begin{aligned} &b_0^0 = -0.0909 \quad b_1^0 = -0.0182 \\ &a_0^0 = 0.1015 \quad a_1^0 = 0.0212 \\ &a_2^0 = 0.0017. \end{aligned} \tag{22}$$

Znajomość współczynników równania (21) pozwala z zależności (2) wyznaczyć parametry silnika. Mianowicie

$$J = -\frac{a_2}{b_1}, \quad B = \frac{-a_1 - Jb_0}{b_1}, \quad K = a_0 + Bb_0,$$

$$L_t = \frac{a_2 K}{J}, \quad R_t = -b_0 K.$$

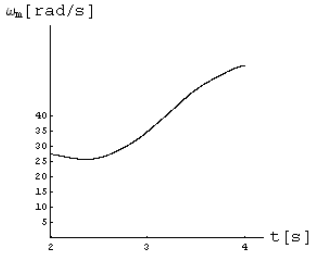
Stąd dla zidentyfikowanych współczynników (22) otrzymujemy:

- moment bezwładności na wale twornika

$J = 0.0\,923$ [kgm^2]

- współczynnik tarcia lepkiego $B = 0.701$ [Nms/rad]
- stała silnika $K = 0.0\,378$ [HA]
- indukcyjność twornika $L_t = 0.0007$ [H]
- rezystancja twornika $R_t = 0.00\,3$ [Ω]

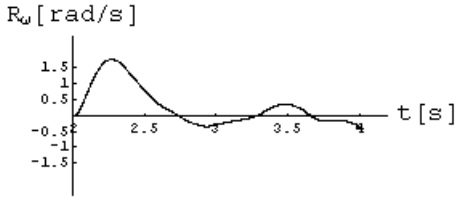
Rozwiązanie $\omega_m(t)$ równania (8) przy warunkach $\omega_m(2) = 0, \quad \omega_m'(2) = 7.036$ przedstawia Tabela 1.



Rys. 10. Rozwiązanie $\omega_m(t)$ równania (21)

Tabela 1.

t	$\widetilde{\omega}$	ω_m	$\widetilde{\omega}$ - ω_m
2.000	27.69	27.69	0.00
2.002	27.68	27.68	0.00
2.004	27.67	27.67	0.00
2.006	27.66	27.65	0.01
2.008	27.65	27.64	0.01
2.010	27.64	27.62	0.02
.....	.....	.....	.....
2.992	35.00	35.29	-0.29
2.994	35.05	35.34	-0.29
2.996	35.11	35.39	-0.28
2.998	35.16	35.44	-0.28
3.000	35.21	35.49	-0.28
3.002	35.26	35.54	-0.28
3.004	35.32	35.59	-0.27
3.006	35.37	35.64	-0.27
.....	……	……	……
3.978	56.73	57.01	-0.28
3.980	56.74	57.03	-0.29
3.982	56.76	57.05	-0.29
3.984	56.78	57.07	-0.29
3.986	56.79	57.10	-0.31
.....	……	…….	……
3.994	56.84	57.18	-0.34
3.996	56.85	57.20	-0.35
3.998	56.86	57.22	-0.36
4.000	56.88	57.24	-0.36



Rys. 11. Wykres różnic $R_\omega(t_i) := \widetilde{\omega}(t_i) - \omega_m(t_i)$

Oscylacje widoczne na Rys. 11 wynikają z przyjętego założenia o stałości prądu wzbudzenia w odcinku czasu $[2,4]$.

Współczynnik zmienności resztowej (20) dla uzyskanego rozwiązania wynosi

$$\nu_\omega = 1.8\%,$$

co oznacza, że model (21) dobrze opisuje dynamikę silnika w rozważanym przedziale czasowym $[2,4]$.

LITERATURA

[1] BISZTYGA K.: *Sterowanie I regulacja silników elektrycznych,* Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1989.

[2] DE BOOR C.: *A practical guide to splines.* Springer Verlag. New York- Heidelber-Rerlin 1978.

[3] FORTUNA Z., MACUGOW B.,WĄSOWSKI J.: *Metody numeryczne.* WNT, Warszawa 1982.

[4] KOSMA.Z.: *Wstęp do metod funkcji sklejanych*. Skrypt uczelniany Nr 16, Wyższa Szkoła Inżynierska w Radomiu , Radom 1986.

[5] RUBIN S.G., GRAVES R.A. Jr: *A cubic spline approximation for problems in fluid dynamics,* NASA TR R-436, 1976.

[6] SOBCZYK M.: *Statystyka*, PWN, Warszawa 1995.

[7] ZAŁĘSKA-FORNAL A., ZELLMA M.: *Testing the dynamics of the electric engine by means of basic splines*; 3-rd Inernational Congress on Technical Diagnostics, Diagnostics'2004, September 6-9, 2004, Poznań Poland, Diagnostyka, Vol.30, tom2, 2004, pp.203-206.

[8] ZELLMA M.: *Identyfikacja układu dynamicznego za pomocą hiperbolicznych funkcji sklejanych,* Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej, ROK XXXV Nr 1/120/94, Gdynia 1994.

Dr Agata Załęska –Fornal- adiunkt w Katedrze Matematyki i Fizyki Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Zajmuje się niezawodnością urządzeń technicznych, identyfikacją układów dynamicznych. Członek PTBN.

Dr Marek Zellma- adiunkt w Katedrze Matematyki i Fizyki Akademii Marynarki Wojennej W Gdyni. Sfera zainteresowań to: teoria sterowana, identyfikacja układów dynamicznych , zastosowanie funkcji sklejanych jednej i wielu zmiennych w aproksymacji. Członek PTM.

OCENA STOPNIA RYZYKA W KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

Maciej WOROPAY, Piotr BOJAR

Katedra Eksploatacji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy
ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: kem@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

W pracy dokonano klasyfikacji zagrożeń występujących w trakcie realizowania procesu eksploatacji przez systemy transportowe. Jako przykład takiego systemu przedstawiono system autobusowej komunikacji miejskiej, oraz podjęto próbę oceny uszkodzeń środków transportu tego systemu i zagrożeń z nimi związanych.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, ryzyko, uszkodzenie, zagrożenie

HAZARD DEGREE EVALUATION IN PUBLIC TRANSPORT

Summary

The paper presents the threat classification that exists during the transport systems maintenance process. The urban public bus transport system is the example of the aforementioned one. Failures and threats estimation in the case of such a system was described.

Keywords: safety, hazard, failure, threat

1. WPROWADZENIE

Transport *ogół środków i działań związanych z przemieszczaniem osób i ładunków rzeczowych* [1] odgrywa ważną rolę w gospodarce każdego kraju, spełnia funkcję on nie tylko ekonomiczną w państwie ale również funkcję integracyjną, zarówno pomiędzy państwami, obszarami zurbanizowanymi w państwie, ale również na terenie dużych aglomeracji miejskich. Ogólnie transport możemy podzielić na:

- transport powietrzny;
- transport morski;
- transport lądowy.

Transport powietrzny – jego rola sprowadza się przede wszystkim do przewozów pasażerskich. Pod względem szybkości transportowania i odległości na jaką możemy się przemieszczać wykorzystując transport lotniczy, pozostaje on bezkonkurencyjny w porównaniu z pozostałymi.

Transport morski – z chwilą pojawienia się zbiorowego transportu lotniczego, utracił funkcję głównego transportu pasażerskiego zwłaszcza transatlantyckiego. Obecnie transport morski spełnia rolę transportu pasażerskiego wyłącznie ograniczając się do rejsów turystycznych (za wyjątkiem przepraw promowych). Pomijając ten fakt transport morski nadal jest istotną gałęzią gospodarki zwłaszcza jeżeli chodzi o transport dużych ładunków, czy surowców naturalnych w warunkach w których nie można wykorzystać transportu drogowego.

Transport lądowy – najbardziej rozpowszechniony, przede wszystkim ze względu na niskie koszty nakładu w porównaniu z rozpatrywanymi rodzajami transportu, co ma swoje odzwierciedlenie w znacznym wykorzystywaniu tego rodzaju transportu zarówno w krajach wysoko jak i nisko rozwiniętych pod względem gospodarczym. Pomimo zalet korzystania z transportu lądowego, jest on również źródłem różnego rodzaju zagrożeń. rozumianych jako *możliwość powstania strat w wyniku pojedynczego zdarzenia niepożądanego, czyli takiego zdarzenia, którego skutkiem są ogólnie pojęte straty* [2].

Dotyczy to przede wszystkim transportu drogowego w którym samochód stał się indywidualnym środkiem transportu wielu ludzi. Takie podejście do sprawy nie rokuje dobrze na przyszłość, ponieważ wraz ze wzrostem eksploatowanych indywidualnych środków transportu wzrastają zagrożenia z tym związane. Są to przede wszystkim zagrożenia dotyczące środowiska a pośrednio zdrowia ludzi żyjących w tym środowisku [3].

Alternatywą indywidualnego transportu drogowego jest drogowy transport zbiorowy, którego wykorzystywanie zmniejsza zagrożenia zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Przykładem tego rodzaju transportu jest transport miejski, którego zasięg działania obejmuje również tereny podmiejskie, znajdujące się poza granicami administracyjnymi miasta, lecz spełniające analogiczne funkcje jak dzielnice miasta. O dużej roli i znaczeniu transportu miejskiego świadczy sprzężenie między sprawnym i skutecznym funkcjonowaniem transportu miejskiego, a całokształtem życia społeczno-gospodarczego na obszarach zurbanizowanych. Spośród wszystkich rodzajów transportu miejskiego najpowszechniejsza jest komunikacja autobusowa która nie wymaga stosowania trakcji i torowisk jak jest to w przypadku

komunikacji trolejbusowej lub tramwajowej, poza tym wykorzystanie autobusów umożliwia okresową lub trwałą zmianę trasy przewozowej, zapewnia dużą pojemność przewozową, ergonomiczność, oraz poczucie bezpieczeństwa pasażerów. Pomimo zalet wynikających z korzystania z komunikacji autobusowej jest ona również źródłem różnego rodzaju zagrożeń.

2. PRZYCZYNY POWSTAWANIA ZAGROŻEŃ

Systemy transportowe są przykładem systemów socjotechnicznych w których zagrożenia mogą być stwarzane przez: człowieka umiejscowionego w systemie (operatora, pasażera, ludzi znajdujących się w otoczeniu systemu – np. na przystankach autobusowych), obiekt techniczny, oraz przez oddziaływanie otoczenia na obiekt techniczny i ludzi znajdujących w strukturze systemu.

Przyczyny powstawania zagrożeń stwarzanych przez operatora [4]:

- indywidualne cechy operatora,
- niski stopień wyszkolenia operatora,
- brak motywacji,
- niewłaściwa organizacja miejsca pracy,
- stan zdrowia operatora,
- brak reakcji na potencjalne zagrożenie.

Przyczyny powstawania zagrożeń wynikających z oddziaływania otoczenia [5]:

- nieprawidłowa infrastruktura dróg,
- stan nawierzchni,
- nieprawidłowe umiejscowienie zatoczek autobusowych,
- nieprawidłowe umiejscowienie przejścia dla pieszych,
- nieprzestrzeganie przepisów o ruchu drogowym przez innych użytkowników dróg,
- inne.

Możliwe zagrożenia wynikające z działania autobusu [3]:

- zagrożenie areału ziemi;
- skażenie ziemi;
- zanieczyszczenie wód;
- zanieczyszczenie atmosfery;
- dewastacja roślinności i niszczenie zwierząt,
- hałas i drgania,
- kongestia transportowa,
- zagrożenie zdrowia człowieka,
- uszkodzenie autobusu jako bezpośrednia przyczyna zagrożenia życia ludzi,
- mała zgodność wymogów techniki z cechami operatora.

3. CEL

Celem pracy jest ocena wpływu uszkodzeń podsystemów autobusów komunikacji miejskiej na powstawanie zagrożeń dotyczących ludzi oraz środowiska na podstawie wyników badań eksploatacyjnych.

4. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań jest rzeczywisty autobusowy system komunikacji miejskiej w dużej aglomeracji. Którego głównym zadaniem jest realizacja przewozów pasażerów na terenie miasta i w strefie podmiejskiej, zgodnie z oczekiwaniami pasażerów: punktualność, częstotliwość, rytmiczność, pewność, dostępność, bezpośredniość, wygoda, prędkość przemieszczania, koszt przejazdu, bezpieczeństwo.

Bezpieczeństwo można zdefiniować jako stan, w którym nie występują niedopuszczalne zagrożenia, co stwarza możliwość realizacji zadań w warunkach akceptowalnego ryzyka [9].

5. BADANIA EKSPLOATACYJNE

Badania dotyczą uszkodzeń autobusów trzech typów eksploatowanych w Miejskich Zakładach Komunikacyjnych. Każdy typ autobusu reprezentuje próbka 7 autobusów wybrana do badań w sposób losowy z całej populacji 210 autobusów.

Autobusy te były badane przez okres sześciu miesięcy, od 07 do 09 1999r. oraz od 01 do 03 2000r. Próbka taka jest wiarygodna i pozwoli na analizę zagrożeń w najbardziej ekstremalnych warunkach pogodowych występujących w ciągu roku.

Tabela 1 Wykaz badanych autobusów

MARKA	NR GARAŻOWY
IK280	2402
IK280	2403
IK280	2404
IK280	2405
IK280	2407
IK280	3401
IK280	3406
M11	3614
M11	3640
M11	3641
M11	3677
M11	3679
M11	3788
M11	3789
B10BL	3701
B10BL	2702
B10BL	2703
B10BL	2704
B10BL	3705
B10BL	3706
B10BL	2707

6. METODYKA OCENY STOPNIA RYZYKA

Ryzyko należy rozumieć jako prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanych zdarzeń i wielkość szkód oraz strat, będących następstwem tych zdarzeń [9].

Niektóre metody analizy ryzyka podlegają normalizacji, np. znormalizowane metody: FMEA - metoda sieciowa analizy uszkodzeń, ET/OU - metoda analizy sieciowej z podziałem obiektu na elementy strukturalne, FMECA - modyfikowana metoda FMEA nazwana także AMDEC, polegająca na szukaniu elementów krytycznych - słabych ogniw.

Ryzyko jest kombinacją możliwości wystąpienia zdarzenia niepożądanego i wielkości strat które ono spowoduje [2].

W wyniku przeprowadzonej analizy wybranych metod oceny ryzyka (FMEA, ET/OU, FMECA) powstawania zagrożenia w trakcie eksploatacji środków transportu miejskiego, do badań wybrano metodę Do badań wybrano metodę FMEA ze względu na prostotę metody, oraz możliwość dokładnego odwzorowania oceny ryzyka mogącego wystąpić w trakcie procesu eksploatacji systemu komunikacji miejskiej. Metoda FMEA polega na określeniu prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń i awarii oraz ich skutków w odniesieniu do obiektu analizowanego lub obiektu podzielonego na elementy.

Wskaźnik ryzyka zaistnienia zdarzeń niebezpiecznych R opisano zależnością (1) na podstawie [6]:

$$R = P \cdot K \cdot Z \qquad (1)$$

gdzie:

P - prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia,

K - koszty eksploatacyjne wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych,

Z - wskaźnik skutków spowodowanych przez zdarzenie

Ocenę ryzyka metodą FMEA, w zależności od potrzeby prowadzi się mniej lub bardziej szczegółowo. Realizuje się to poprzez wyznaczanie wartości ryzyka R [6], według wzoru (2):

$$R = P \cdot W \cdot Z \qquad (2)$$

gdzie:

R - całościowa ocena stopnia ryzyka (związanego z wystąpieniem uszkodzenia) uwzględniająca losowość zdarzeń,

P - wskaźnik wystąpienia uszkodzenia uwzględniający prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia, którego wartość dotyczy oceny prawdopodobieństwa uszkodzenia od znikomego do bardzo prawdopodobnego,

W - wskaźnik wykrywalności uszkodzenia, którego wartość wyznacza się na podstawie prawdopodobieństwa wykrycia uszkodzenia przez kierowcę,

Z - wskaźnik skutków uszkodzenia (znaczenie błędu), określa prawdopodobieństwo straty występujące po zaistnieniu danego uszkodzenia [6, 7, 8,].

Wartości wskaźników P, W, Z normalizuje się w przedziale <1÷10>. Dalsze działania uzależnione są od wartości stopnia oceny ryzyka R. Duża wartość stopnia ryzyka R powinna stanowić podstawę do podjęcia działań minimalizujących wystąpienie uszkodzenia [6]. W tabeli 2 zamieszczono propozycję przykładowych wartości wskaźników P, W, Z, wykorzystywanych do wyznaczania wartości ryzyka.

Tab. 2. Przykładowe wartości wskaźników P,W,Z

Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia - uszkodzenie może się zdarzyć (występowanie)		Wskaźnik wykrywalności - błąd może być wykryty (występowanie)		Wskaźnik skutków uszkodzenia - oddziaływanie (znaczenie)	
P		**W**		**Z**	
Nie-prawdo-podobne	1	Duże prawdopodo bieństwo	1	Prawie nieodczu-walne	1
Bardzo mało prawdo-podobne	2÷3	Umiarkowa ne prawdopodo bieństwo	2÷5	Niewielkie obciążenie	2÷3
Mało prawdo-podobne	4÷6	Niewielkie prawdopodo bieństwo	6÷8	Umiarko-wanie średni błąd	4÷6
Umiarko wanie prawdo-podobne	7÷8	Bardzo małe prawdopodo bieństwo	9	Ciężki błąd	7÷8
Wielce prawdo-podobne	9÷10	Nieprawdo-podobne	10	Nadzwy-czaj ciężki błąd	9÷10

Ocena prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia jest oceną subiektywną. Przydział punktów jest uzależniony od wiedzy i predyspozycji badacza. Na podstawie analizy literatury i badań własnych w tabeli 3 przedstawiono przydział punktów w zależności od prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia.

Tabela 3. Zależność liczby przyznanych punktów od prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia

Liczba punktów	Możliwość występowania zdarzenia	Prawdopodo-bieństwo
1	Bardzo słaba	0,001÷0,0099
2-3	Słaba	0,01÷0,099
4-5	Umiarkowana	0,1÷0,199
6-7	Częsta	0,2÷0,29
8-9	Duża	0,3÷0,35
10	Bardzo duża	> 0,35

7. WYNIKI BADAŃ

W celu określenia wartości ryzyka poszczególnych układów autobusów miejskich przeprowadzono analizę ich uszkodzeń. W tym celu autobus miejski zdekomponowano na 10 podsystemów (układów):

Silnik	SI	Nadwozie	NA
Przeniesie-nie napędu	PN	Układ kierowniczy	UK
Układ jezdny	UJ	Układ zasilania sprężonym powietrzem	ZP
Instalacja elektryczna	IE	Układ zawieszenia	ZA
Układ hamulcowy	HA	Pozostałe	IN

Wyniki badań eksploatacyjnych dotyczących oceny powstawania zagrożeń przedstawiono w tabelach 4÷6. Dane dotyczące autobusów typu Jelcz M11 przedstawiono w tabeli 4, autobusów typu Volvo B10BL w tabeli 5, autobusów typu Ikarus IK280 w tabeli 6.

Tabela 4. Wartość stopnia ryzyka R, wskaźników P, Z, W układów, badanych autobusów typu Jelcz M11

Kod uszkodzonego układu	Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia	Możliwość występowania zdarzenia
SI	0,093750	Słaba
PN	0,122159	Umiarkowana
UJ	0,034091	Słaba
IE	0,190341	Umiarkowana
HA	0,127841	Umiarkowana
NA	0,198864	Umiarkowana
UK	0,014205	Słaba
ZP	0,119318	Umiarkowana
ZA	0,011364	Słaba
IN	0,088068	Słaba

Tabela 4. cd.

Wskaźnik prawdopo-dobieństwa wystąpienia uszkodzenia	Wskaźnik wykrywalności uszkodzenia	Wskaźnik skutków uszkodzenia	Stopień ryzyka
P	W	Z	R
3	3	4	36
4	4	3	48
2	1	5	10
5	3	2	30
4	2	9	72
5	2	8	80
2	3	10	60
4	5	4	80
2	2	7	28
3	3	3	27

Tabela 5. Wartość stopnia ryzyka R, wskaźników P, Z, W układów, badanych autobusów typu Volvo B10BL

Kod uszkodzonego układu	Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia	Możliwość występowania zdarzenia
SI	0,023529	Słaba
PN	0,011765	Słaba
UJ	0,058824	Słaba
IE	0,382353	Bardzo duża
HA	0,005882	Bardzo słaba
NA	0,258824	Częsta
UK	0	Bardzo słaba
ZP	0,111765	Umiarkowana
ZA	0,135294	Umiarkowana
IN	0,011765	Słaba

Tabela 5. cd.

Wskaźnik prawdopo-dobieństwa wystąpienia uszkodzenia	Wskaźnik wykrywalności uszkodzenia	Wskaźnik skutków uszkodzenia	Stopień ryzyka
P	W	Z	R
2	3	4	24
2	4	3	24
3	1	5	15
10	3	2	60
1	2	9	18
6	2	8	96
1	3	10	30
4	5	4	80
5	2	7	70
2	3	3	18

Tabela 6. Wartość stopnia ryzyka R, wskaźników P, Z, W układów, badanych autobusów typu Ikarus IK280

Kod uszkodzonego układu	Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia	Możliwość występowania zdarzenia
SI	0,150418	Umiarkowana
PN	0,083565	Słaba
UJ	0,055710	Słaba
IE	0,264624	Częsta
HA	0,064067	Słaba
NA	0,139276	Umiarkowana
UK	0,033426	Słaba
ZP	0,080780	Słaba
ZA	0,013928	Słaba
IN	0,114206	Umiarkowana

Tabela 6. cd.

Wskaźnik prawdopo-dobieństwa wystąpienia uszkodzenia	Wskaźnik wykrywalności uszkodzenia	Wskaźnik skutków uszkodzenia	Stopień ryzyka
P	W	Z	R
5	3	4	60
3	4	3	36
3	1	5	15
7	3	2	42
3	2	9	54
5	2	8	80
2	3	10	60
3	5	4	60
2	2	7	28
4	3	3	36

8. ANALIZA WYNIKÓW I WNIOSKI

Na podstawie wyników badań nadwozie okazało się układem autobusu o największej wartości stopnia ryzyka. Najczęściej występującymi uszkodzeniami nadwozia okazały się elementy sterowania drzwi oraz zawieszenie drzwi. Stopień wystąpienia ryzyka związany z uszkodzeniem drzwi był największy dla autobusów marki VolvoB10BL. Kolejnym układem którego uszkodzenia stanowią wysokie ryzyko zarówno dla pasażerów jak i współużytkowników dróg jest układ hamulcowy, pomimo małej wartości stopnia ryzyka która wynika z niskiego wskaźnika prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia jak ma to miejsce dla badanej próbki autobusów B10BL

Wysoką wartością wskaźnika ryzyka charakteryzuje się instalacja elektryczna w wyniku dużej częstości występowania uszkodzeń układu we wszystkich typach autobusów. Najczęściej występującym uszkodzeniem w układzie są braki oświetlenia zewnętrznego.

Różnice pomiędzy wskaźnikami ryzyka dla tych samych układów, autobusów różnych typów mogą wynikać z różnych obciążeń tych autobusów, czasów ich eksploatacji oraz odmiennych rozwiązań konstrukcyjnych poszczególnych układów.

Największym stopniem ryzyka charakteryzowały się układy: nadwozia oraz hamulcowy. W celu zmniejszenia ryzyka związanego z uszkodzeniem nadwozia oraz układu hamulcowego należało by wprowadzić częstsze badania diagnostyczne przeprowadzane przez wyspecjalizowany i odpowiednio przeszkolony personel. Uszkodzone układy powinny być w możliwie krótkim czasie naprawione.

W celu zmniejszenia wartości stopnia ryzyka należy wyposażyć autobusy w układy wspomagające kierowcę w procesie wykrywania uszkodzeń. Działania te w efekcie mogą przynieść wymierne korzyści z uwagi na poprawę bezpieczeństwa ludzi i ochronę środowiska.

Pomimo że przedmiotem badań nie był stan psychofizyczny kierowcy ma on istotny wpływ na bezpieczeństwo przewożonych pasażerów, dlatego celowym jest poddawanie kierowców częstym oceną psychofizycznym aby sprawdzić ich umiejętności diagnostyczne i zachowania w trudnych warunkach.

LITERATURA

[1] Woropay M., Knopik L., Landowski B.: Modelowanie procesów eksploatacji w systemie transportowym, Instytut Technologii Eksploatacji Radom 2001.
[2] Suchodolski S. Pojęcie i miary bezpieczeństwa w piśmiennictwie światowym. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, Zeszyt 2 (102) Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa. Warszawa 1995.
[3] Gronowicz J.: Ochrona środowiska w transporcie publicznym. Poznań – Radom 2003.
[4] Borgoń J. Jaźwiński J. Klimaszewski S. Żmudziński Z. Żurek J.: Symulacyjne metody badania bezpieczeństwa lotów. Wydawnictwo naukowe ASKON Warszawa 1998.
[5] Bojar P.: Analiza zagrożeń związanych z komunikacją miejską. Praca magisterska, Bydgoszcz 2003.
[6] Radkowski S., Podstawy bezpiecznej techniki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2003.
[7] Bizon -Górecka J. Ocena ryzyka zawodowego w wybranym systemie produkcyjnym metodą FMEA.
[8] Jaźwiński J., Ważyńska - Fiok K., Bezpieczeństwo systemów PWN. Warszawa 1993.
[9] Smalko Z., Podstawowe terminy z zakresu zawodności i niebezpieczeństwa Pomoce dydaktyczne-Studium Doktoranckie Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej Warszawa 2003.

Prof. dr hab. inż. Maciej Woropay jest kierownikiem Katedry Eksploatacji Maszyn na Wydziale Mechanicznym Akademii Techniczno – Rolniczej w Bydgoszczy.
W pracy naukowej zajmuje się problemami dotyczącymi teorii systemów, teorii niezawodności i sterowaniaprocesami eksploatacji w złożonych systemach biotechnicznych, a w szczególności sterowaniem tymi procesami w systemach transportu miejskiego.
Jest autorem i współautorem ponad 100 prac naukowych, autorem podręczników i skryptów akademickich, promotorem ponad 120 prac magisterskich i inżynierskich oraz prac doktorskich.

Piotr BOJAR – absolwent Wydziału Mechanicznego ATR w Bydgoszczy, aktualnie uczestnik drugiego roku studiów doktoranckich na Wydziale Mechanicznym ATR w Bydgoszczy. W swojej pracy naukowej zajmuje się problematyką niezawodności oraz bezpieczeństwa systemów transportowych.

DIAGNOZOWANIE W FAZIE PROJEKTOWANIA MASZYN

Ryszard MICHALSKI

Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, WNT, UWM w Olsztynie
ul. Oczapowskiego 11, 10-718 Olsztyn, tel.: 089-5233726, e-mail: michr@uwm.edu.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z diagnozowaniem w fazie projektowania maszyn. Zaproponowano koncepcję projektowania maszyn zorientowaną na diagnozowalność. Podano również przykłady zmian konstrukcyjnych maszyn poprawiających ich podatność diagnostyczną.

Słowa kluczowe: projektowanie maszyn, diagnozowalność, diagnostyka uszkodzeń

DIAGNOSTIC IN MACHINES DEVELOPMENT STAGE

Abstract

Issues of diagnostic of machines in development stage are presented in the paper. Conception of development of machines diagnosticaly oriented is proposed. There are given some examples of construction changes in machines improving their susceptibility for diagnostic

Key words: machines development, technical diagostic

1. WSTĘP

Projektowanie maszyn roboczych, w warunkach obowiązujących praw rynku, wymaga dostosowania do życzeń i wymagań użytkowników (klienta). Przy znacznej konkurencji wielu producentów na rynku, szansę przetrwania mają jedynie ci, którzy potrafią w sposób elastyczny dostosować się do reguł rynkowych, produkując wyroby o odpowiednio wysokiej jakości i akceptowalnej cenie oraz kosztach eksploatacji.

Taka strategia musi jednocześnie zapewniać minimalny zysk dla producenta. Powszechnie panuje przekonanie, że w odniesieniu do maszyn roboczych koszty zakupu (cena) stanowią dla użytkownika około 20-30% całkowitych kosztów eksploatacji.

W zależności od rodzaju maszyny i jej przeznaczenia w logistycznym systemie przepływu materiału, powinien być dobrany dla niej system eksploatacji, w tym podsystem diagnostyczny. Odpowiednie założenia muszą być przyjęte już na etapie projektowania, gdyż dzięki temu można uzyskać znaczne oszczędności w kosztach eksploatacji.

Zależnie od przewidywanego (bazowego) systemu eksploatacji maszyny, na etapie projektowania należy przewidywać odpowiednio:

- rozwój uszkodzeń i zużycia elementów maszyn roboczych spowodowanych przeciążeniem mechanizmów (nagłe pęknięcie, zużyciem tribologicznym, obciążeniem termicznym i korozyjnym);
- układ zespołów bezpieczeństwa, zabezpieczających przed przeciążeniem eksploatacyjnym;
- diagnostykę uszkodzeń maszyny roboczej, na podstawie wyznaczonych relacji diagnostycznych wg modelu i badań eksperymentalnych.

Pozwoli to na uzyskanie odpowiedniego poziomu gotowości technicznej maszyny. Wytyczne do projektowania diagnostyki uszkodzeń maszyny roboczej muszą uwzględniać:

- uszkadzalność maszyny w zależności od prognozowanych obciążeń;
- poziom gotowości technicznej maszyny;
- względne koszty eksploatacji, odniesione do kosztów całkowitych przypadające na czas pracy pomiędzy uszkodzeniami;
- skuteczność diagnozowania według przyjętego systemu wnioskowania diagnostycznego.

Tymi kryteriami powinno się kierować przy budowie systemu diagnostycznego zorientowanego na uszkodzenia.

Projektowaniem systemu diagnostycznego według przyjętych kryteriów powinien zajmować się interdyscyplinarny zespół złożony ze specjalistów z zakresu diagnostyki, budowy maszyn roboczych, ekonomii i marketingu.

Zadanie polega na sporządzeniu przejrzystej struktury kosztów całego wytworu pod względem funkcjonalnym, konstrukcyjnym i implementacji systemu (fazy opracowania modelu fizycznego spełniającego założone funkcje).

2. KONCEPCJA PROJEKTOWANIA MASZYNY ROBOCZEJ ZORIENTOWANEGO NA DIAGNOSTYKĘ USZKODZEŃ

Elementy maszyny roboczej podlegają w eksploatacji cyklicznym obciążeniom zmiennym, które narażają je na uszkodzenie i zużycie.

Uszkodzenia stanowią podstawę do oceny trwałości maszyny roboczej.

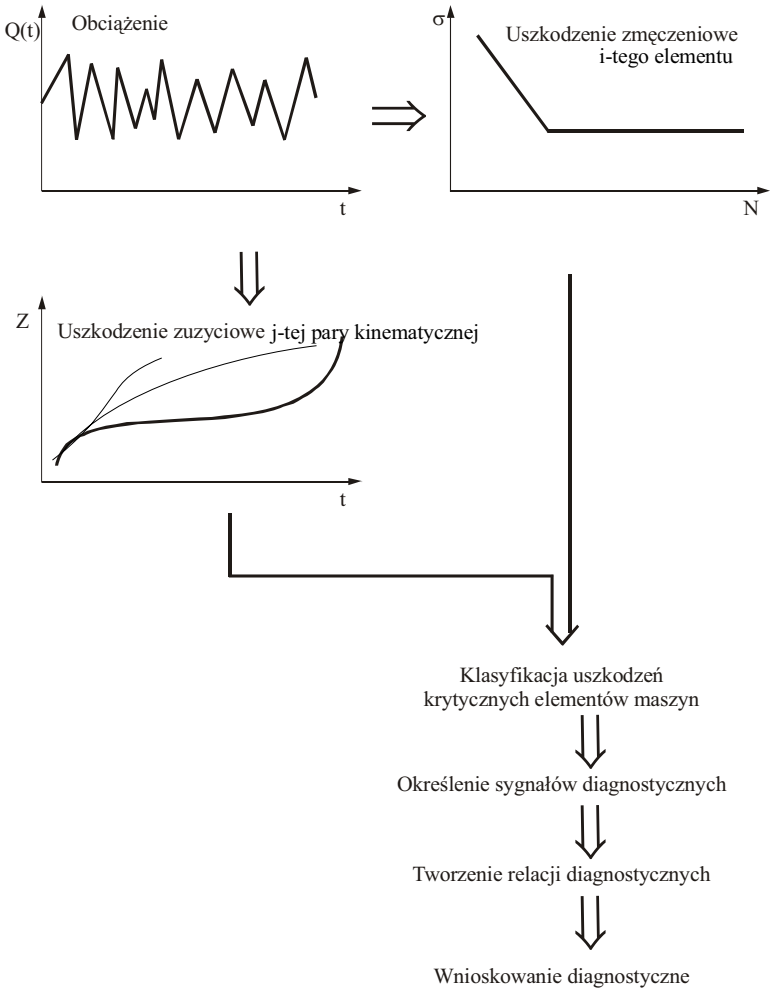
Uszkodzenia można rozpatrywać na różnych poziomach złożoności np. silnika, jego układów, zespołów, węzłów konstrukcyjnych lub części. Klasyfikując najczęściej występujące uszkodzenia maszyn roboczych można wyróżnić: uszkodzenia zmęczeniowe i uszkodzenia zużyciowe.

Jak wykazano w licznych badaniach trwałość zmęczeniowa (uszkodzenia zmęczeniowe) elementów konstrukcyjnych zależy od sekwencji obciążenia, poziomów obciążenia leżących powyżej i poniżej granicy zmęczenia oraz liczby cykli w bloku obciążenia.

Podstawą do oceny uszkodzeń zmęczeniowych jest analiza widma obciążeń eksploatacyjnych danej maszyny i jej elementów konstrukcyjnych. W tym celu wykorzystuje się wykresy zmęczeniowe w ujęciu naprężeniowym dla próbek elementów pracujących w określonych warunkach programowanych obciążeń.

Śledząc zmiany wartości odpowiednich parametrów fizycznych maszyny, charakteryzujących zbiór cech konstrukcyjnych (geometrycznych, materiałowych i dynamicznych) posiadających określone cechy wytwórcze i eksploatacyjne, można obserwować rozwój uszkodzeń badając ich symptomy diagnostyczne.

Zatem ogólne ujecie diagnostyki uszkodzeń maszyn roboczych można przedstawić schematycznie, jak na rys.1.



Rys.1. Ogólny schemat tworzenia modelu diagnostyki uszkodzeń w fazie projektowania maszyn

Tak więc w ogólnym schemacie projektowania maszyny z uwzględnieniem diagnostyki uszkodzeń należy uwzględnić:

- identyfikację uszkodzeń elementów maszyny w aspekcie jej przewidywanych wymuszeń eksploatacyjnych;
- rozwój postaci uszkodzeń przy danych obciążeniach eksploatacyjnych (mechanicznych,

cieplnych, korozyjnych itp.);
- zbiór symptomów i sygnałów diagnostycznych dla określonych uszkodzeń zmęczeniowych i zużyciowych;
- zbiór relacji diagnostycznych;
- metody wnioskowania diagnostycznego
- koszty zaprojektowanego systemu diagnostycznego.

Stosowanie tej procedury wymaga opracowania narzędzi w postaci metod i programów komputerowych, które w sposób dostatecznie szybki dostarczą ilościowych ocen zastosowania danego wariantu uszkodzeń na etapie projektowania maszyny roboczej.

3. WYTYCZNE DO STUDIUM DIAGNOZOWALNOŚCI

Celami studiów diagnozowalności są:
- doprowadzenie do podjęcia decyzji o rozwiązaniach projektowych;
- przewidywanie symptomów diagnostycznych i ich wartości granicznych;
- określenie niezbędnych zmian w projekcie obiektu w zakresie stawianych mu wymagań, tak aby umożliwiał on prowadzenie badań diagnostycznych przy zadanych warunkach.

W celu zapewnienia spełnienia wymagań dla maszyn (technicznych, technologicznych, bezpieczeństwa, ekologicznych itd.) zalecane jest przeprowadzenie studiów diagnozowalności we wszystkich fazach projektowania i wykorzystanie ich wyników jako podstawy do podejmowania decyzji o rozwiązaniach projektowych [PN-IEC 706-2].

Analiza diagnozowalności, stanowiąca integralną cześć studiów obsługiwalności, jest procesem, w którym wymagania dotyczące eksploatacji obiektu przekłada się na szczegółowe wymagania jakościowe i ilościowe dotyczące diagnozowalności oraz kryteriów projektowych. Dostarcza ona danych wejściowych do projektowania w formie dokumentacji, obejmującej następujące zagadnienia:
- szczegółowe wymagania dotyczące diagnozowalności do uwzględnienia w projekcie;
- wytyczne projektowe i wykazy czynności kontrolnych w celu zapewnienia, że wymagane cechy diagnozowalności zostały uwzględnione w projekcie;
- skrótowe ujęcie podstawowych funkcji w zakresie diagnostyki i wymagań dotyczących zapewnienia środków diagnostycznych.

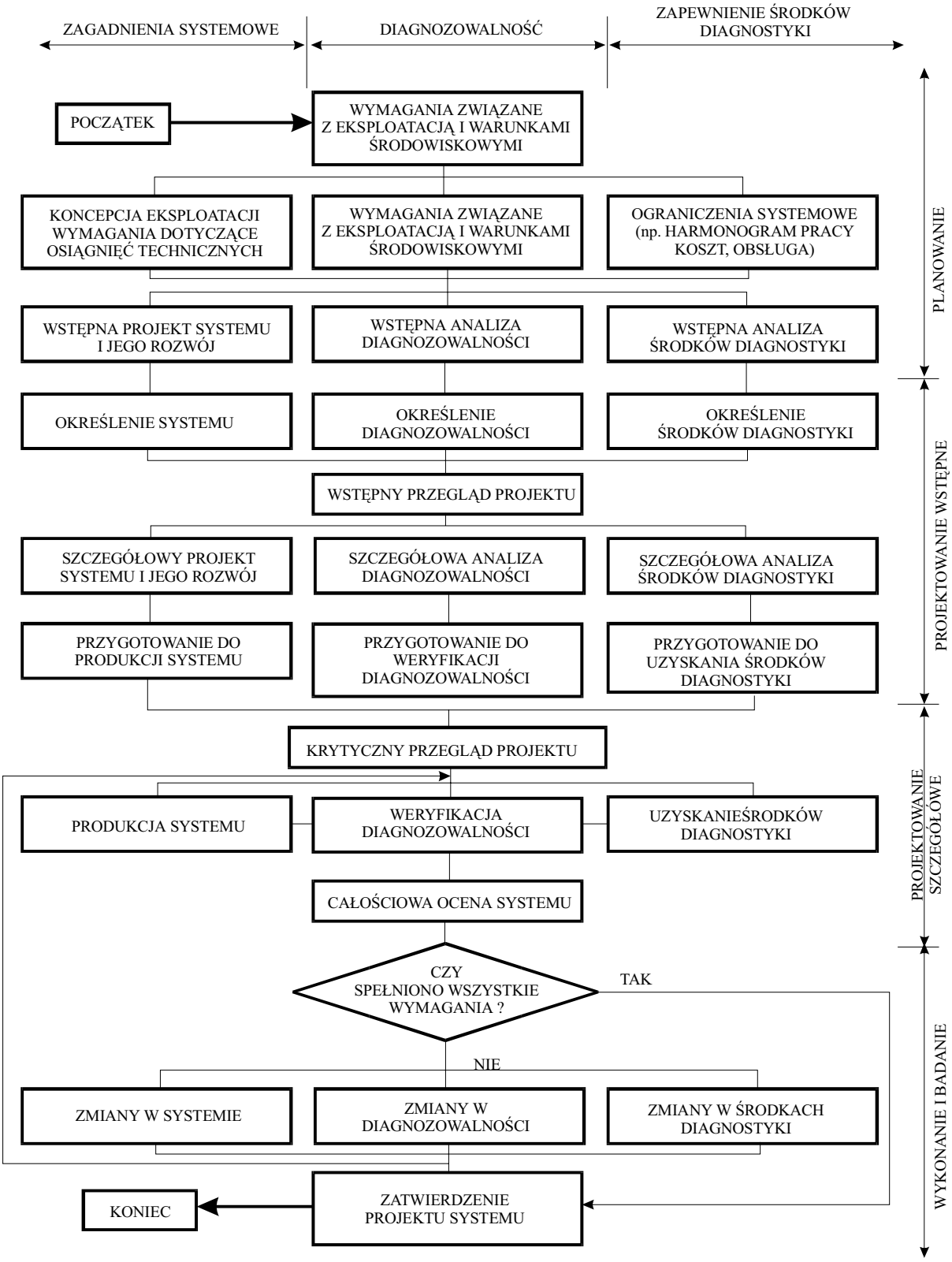
Analizę diagnozowalności należy włączyć do iteracyjnych studiów porównawczych rozwiązań projektowych, ponieważ przed wybraniem optymalnego projektu może być potrzebna pewna liczba iteracji.

W celu uzyskania optymalnych wyników zaleca się, aby analizy były oparte na koncepcji diagnozy ustalonej równolegle z optymalizacją projektu oraz pozostawały w zgodności z koncepcją eksploatacji obiektu i ograniczeniami w jego obsłudze. Z koncepcji eksploatacji maszyny roboczej wynika określenie pełnionej funkcji, obszaru eksploatacji, cyklu życia, wykorzystania i środowiska eksploatacji.

Projektant odpowiada za spełnienie w projekcie wymagań dotyczących eksploatacji obiektu, włącznie z wymaganiami obejmującymi diagnozowalność, przy zwykłych ograniczeniach czasowych i kosztowych. W celu spełnienia tych wymagań, koncepcje diagnozowalności należy ustalić na początku procesu projektowania, a konieczne studia diagnozowalności przeprowadzić w czasie trwania tego procesu. Za przeprowadzenie tych studiów odpowiada inżynier, zajmujący się diagnozowalnością. Rozległość i wnikliwość studiów diagnozowalności są podyktowane przez szczegółowe potrzeby, które z kolei same zależą od stopnia złożoności maszyn i ich krytyczności ze względu na wymagane bezpieczeństwo, gotowość i niezawodność itp.

Projektowanie jest procesem iteracyjnym i każde zadanie dostarcza danych wejściowych do następnych zadań oraz do tych, które są realizowane równolegle. Istotnymi danymi wejściowymi dla analizy diagnozowalności są:
- wyniki badań niezawodnościowych;
- wyniki badań diagnostycznych dla analogicznych maszyn;
- wyniki analizy możliwych symptomów diagnostycznych;
- wyniki analizy przestrzennej obiektu identyfikujące miejsca pomiarowe;
- wyniki analizy ryzyka uszkodzeń.

Na rys. 2 pokazano schematycznie w jaki sposób studia diagnozowalności wiążą się z zadaniami projektowymi.



Rys.2. Algorytm diagnozowalności w procesie projektowania maszyn

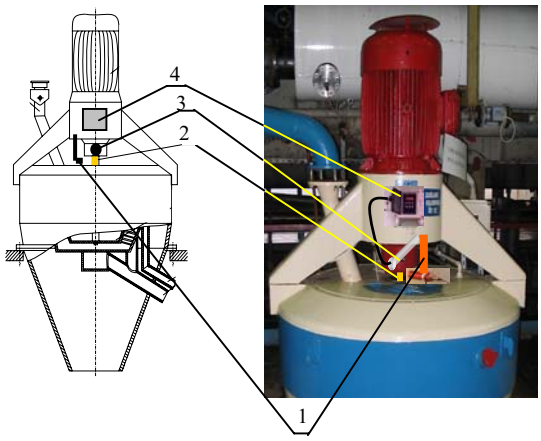
4. PRZYKŁADY ZMIAN KONSTRUKCYJNYCH MASZYN ROBOCZYCH ZE WZGLĘDU NA ICH DIAGNOZOWALNOŚĆ

Prowadząc badania diagnostyczne maszyn roboczych można wyciągnąć pewne wnioski związane z dostępnością miejsc pomiarowych lub możliwością zastosowania pokładowych systemów diagnostycznych, które mogą pozwolić na monitorowanie stanu krytycznych zespołów maszyn. Przykłady takich wniosków oraz proponowane zmiany konstrukcyjne podano dla wirówek cukrowniczych.

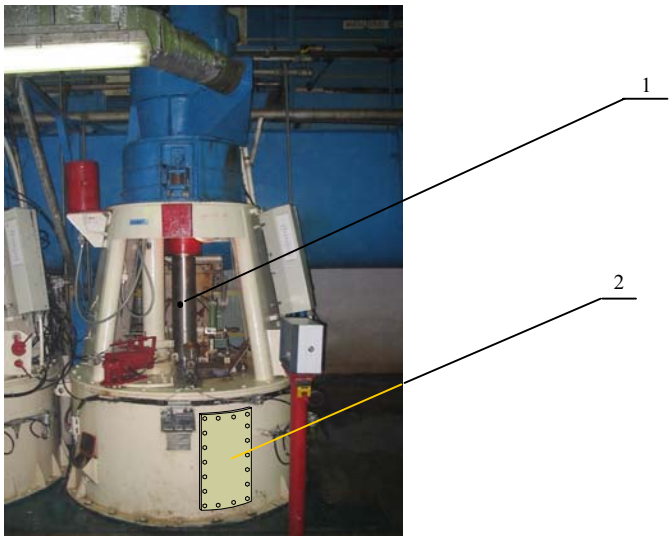
Oceniając krytyczność uszkodzeń wirówek cukrowniczych typu ACWW 1000 zidentyfikowano jako szczególnie groźne stany niewyważenia technologicznego układu wirnikowego maszyny. Niewyważenie technologiczne (oklejenie sit filtrujących cukrzycą) występuje losowo i może powodować znaczne przekroczenie wartości dopuszczalnych drgań. Okresowe (planowe) badania diagnostyczne mogą nie wykazać (w danej chwili) wystąpienia niewyważenia. Jedynym sposobem oceny stanu dynamicznego związanego z losowymi oddziaływaniami jest ciągły monitoring drgań. Prostym rozwiązaniem i stosunkowo niekosztownym jest zastosowanie przetworników drgań z czujnikami zamontowanymi na stałe na obudowie łożyskowania wału wirówki. Przetwornik drgań powinien mieć wbudowane systemy alarmowe informujące o przekroczeniu wartości ostrzegawczych i granicznych (dopuszczalnych), a ich „skasowania" może dokonać osoba do tego uprawniona. Można również zastosować awaryjne wyłączenie maszyny np. w przypadku przekroczenia dwukrotnej wartości dopuszczalnej. Takie rozwiązanie pozwala na zabezpieczenie maszyny przed nieoczekiwanymi przeciążeniami, a dodatkowo staje się metodą diagnozowania procesu technologicznego (identyfikacja niewłaściwej gęstości cukrzycy).

W przypadku diagnostyki wirówek cukrowniczych, zarówno ciągłych (ACWW 1000) jak i okresowych (AWO 1000), często stosuje się analizę drgań w funkcji prędkości obrotowej wału. Pozwala ona na zidentyfikowanie prędkości krytycznych wywołujących nadmierne drgania (prędkości robocze są większe od prędkości rezonansowych). Zasadnym więc jest zaprojektowanie wałów wirówek z trwałym znacznikiem fazy, przeznaczonym do współpracy z czujnikiem optycznym. Znacznik fazy powinien być umieszczony na powierzchni kontrastowej (najlepiej czarnej, matowej) w miejscach odsłoniętych wału. Bardzo przydatnym byłoby również uwzględnienie uchwytów czujników optycznych, przymocowanych do obudowy wirówki. Proponowane rozwiązanie przydatne jest również do wyważania wirówek w łożyskach własnych.

W przypadku wirówek AWO 1000 zalecane jest okresowe (co dwie, trzy kampanie) badanie struktury materiału bębnów, przy wykorzystaniu metod rentgenowskich lub ultradźwiękowych. Użytkownicy wirówek często rezygnują z tych badań ze względu na kłopotliwy demontaż bębnów. Wprowadzając zmianę konstrukcyjną obudowy bębna, polegającą na wykonaniu dodatkowych otworów dostępowych do powierzchni zewnętrznej bębna. Takie otwory producent przewidział w tylnej części wirówki, jednak są one usytuowane w miejscu trudnodostępnym i nie zapewniają pomiarów dla całej wysokości bębna. Proponowane zmiany konstrukcyjne pokazano na rys.3 – 4.



Rys.3. Schemat wirówki ACWW 1000 z zaznaczonymi zmianami konstrukcyjnymi poprawiającymi diagnozowalność maszyny (1 – uchwyt czujnika fotooptycznego, 2 – trwały znacznik fazy umieszczony na tle kontrastowym, 3 – czujnik drgań zamontowany na stałe, 4 – przetwornik drgań z wbudowanymi sygnałami alarmowymi)



Rys.4. Schemat wirówki AWO 1000 z zaznaczonymi zmianami konstrukcyjnymi poprawiającymi diagnozowalność maszyny (1 – otwór w osłonie wału do mocowania czujnika fotooptycznego, pod którym znajduje się znacznik fazy, 2 – klapa do luku rewizyjnego bębna)

5. PODSUMOWANIE

W pracy wskazano na potrzebę uwzględniania diagnozowalności w projektowaniu maszyn. Przestawiono koncepcję projektowania maszyn zorientowaną na diagnozowanie uszkodzeń. Podano wytyczne i algorytmy diagnozowania maszyn w procesie projektowania oraz przykładowe rozwiązania konstrukcyjne prowadzące do poprawienia diagnozowalności maszyn.

LITERATURA

1. Michalski R. i inni: Diagnostyka uszkodzeń układów mechanicznych maszyn roboczych z wykorzystaniem metod inżynierii wiedzy zorientowanej eksploatacyjnie. Sprawozdanie z projektu badawczego KBN nr 5T07B03622, maszynopis Olsztyn 2004.
2. PN-IEC 706-2.: Studia obsługiwalności w fazie projektowania. PKN 1996.
3. PN-IEC 812.: Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń. PKN 1994.

Prof. dr hab. inż. Ryszard MICHALSKI jest kierownikiem Katedry Eksploatacji Pojazdów i maszyn oraz dziekanem Wydziału Nauk Technicznych UWM w Olsztynie. W działalności naukowej zajmuje się diagnostyką techniczną, niezawodnością, technologią napraw i analizą systemową eksploatacji pojazdów i maszyn roboczych.

SYSTEMY INFORMATYCZNE WSPOMAGAJĄCE UTRZYMANIE RUCHU MASZYN

Paweł MIKOŁAJCZAK, Krzysztof LIGIER

Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, WNT, UWM w Olsztynie
ul. Oczapowskiego 11, 10-718 Olsztyn, tel.: 089-5234811, e-mail: pawel.mikolajczak@uwm.edu.pl

Streszczenie

Analizując wytyczne norm dotyczących zarządzania jakością w przedsiębiorstwach można zauważyć, że wiele zagadnień tam poruszanych związanych jest z oceną zdolności procesów, monitorowaniem stanu zasobów przedsiębiorstwa, prognozowaniem potencjalnych niezgodności i identyfikacją ich przyczyn. Nietrudno zauważyć, że zagadnienia te są związane z celami jakie przypisywane są utrzymaniu ruchu maszyn, a w tym diagnostyce technicznej. Wobec tego warto zastanowić się, czy przez wdrożenie odpowiednich systemów informatycznych (SI) klasy CMMS (Computerised Maintenance Management System) nie można osiągnąć spełnienia zaleceń norm odnośnie poprawienia jakości funkcjonowania maszyn, warunków pracy i wyrobu lub usługi? W pracy przedstawiono zalecenia zawarte w normie ISO 9004:2000, które mają ścisły związek z oceną stanu obiektów technicznych, podając jednocześnie przykłady SI wspomagających utrzymanie ruchu maszyn.

Słowa kluczowe: systemy informatyczne, utrzymanie maszyn, zarządzanie jakością, prognozowanie

INFORMATION SYSTEM SUPPORTING MACHINE MAINTENANCE

Summary

The analysis of the quality control standards in enterprises makes visible that great number of issues brought up there is connected with process efficiency evaluation, enterprise resources state monitoring, potential inconsistency prediction and identification of their reasons. It is not difficult to admit that the issues are connected with aims, which are attributed to machine maintenance, including technical diagnostics. One must consider, if implementation of the proper information systems (SI) of class CMMS (Computerized Maintenance Management System) makes it possible to fulfill demands of the standards in order to improve machine maintenance quality, work conditions and product or service? The paper includes the recommendations enclosed in ISO 9004:2000 standards, which refer closely to machine state evaluation, presenting also examples of SI that are supporting machine maintenance.

Keywords: information systems, machine maintenance, quality control, prediction

1. WPROWADZENIE

W nowoczesnych organizacjach gospodarczych i administracyjnych wyraźnie kształtuje się konieczność zastosowań systemów informatycznych wspomagających zarządzanie tymi organizacjami. Jest to związane przede wszystkim z dużą ilością informacji, która musi być odpowiednio przetworzona i wykorzystana w możliwie krótkim czasie. W przypadku utrzymania maszyn problem ten jest szczególnie ważny gdy eksploatowana jest znaczna ilość obiektów technicznych. Oprócz wewnętrznych potrzeb szybkiego dostępu do informacji, które mogą być w różny sposób określony w zależności od specyfiki przedsiębiorstwa, istnieje szereg zaleceń norm dotyczących wykorzystania informacji o zasobach (w tym zasobach technicznych). Na przykład norma [7] zaleca aby organizacje prowadziły pomiary:

- czasu reakcji na powstałe uszkodzenia,
- niezawodności,
- wykorzystania zasobów,
- alokacji kosztów i opracowanie metod ich zmniejszania,
- kosztów zapobiegania i oceny,
- kosztów niezgodności, kosztów uszkodzeń,
- kosztów cyklu życia maszyn.

Aby skutecznie oceniać zasoby przedsiębiorstwa należy prowadzić rejestr informacji o zdarzeniach eksploatacyjnych tych zasobów. Ze względu na treść można dokonać podziału informacji na [4]:

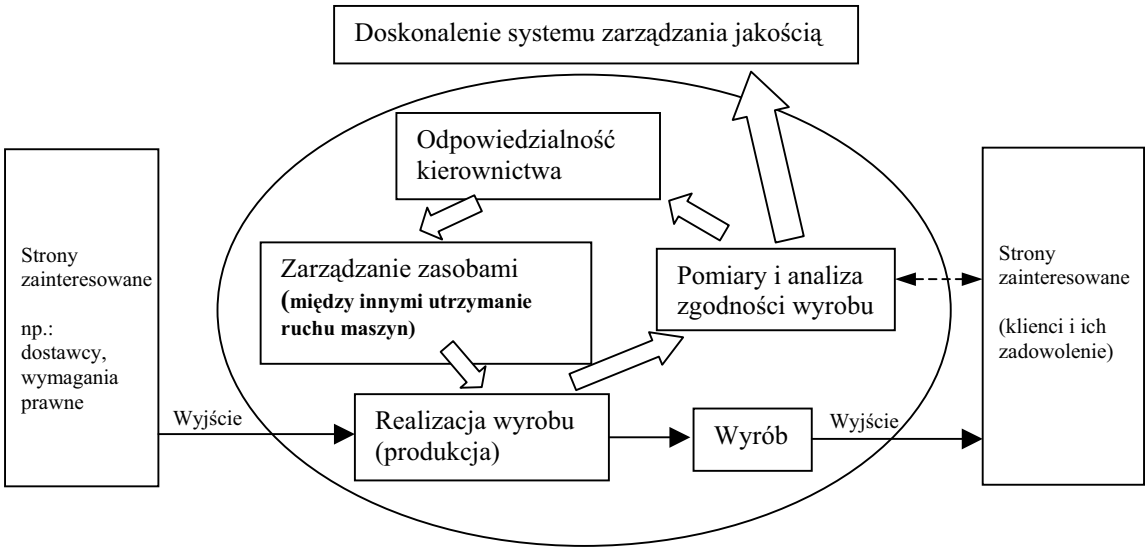
Informacje faktograficzne - opisujące stan zasobu w danym czasie *t*. Informacje faktograficzne stanowią podstawowe zasoby informacyjne w systemach ewidencyjnych, systemach informowania kierownictwa itp.

Informacje semantyczne, które określają znaczenie (sens) zasobu - udzielają odpowiedzi na pytanie „Co znaczy zasób Z ?".

Informacje proceduralne - opisują sposób działania zasobu - służą do analizy i przetwarzania innych informacji.

Informacje klasyfikacyjne - stanowią kryteria przypisywania zasobu do określonej klasy lub rozpoznania tego zasobu w zadanym zbiorze.
Informacje strukturalne - opisują budowę (strukturę) zasobu.

Nowoczesne przedsiębiorstwa starają się przyjmować podejście procesowe podczas opracowywania, wdrażania i doskonalenia systemu zarządzania jakością. Oznacza to, że organizacje te powinne zidentyfikować powiązania pomiędzy różnymi działaniami (produkcją, utrzymaniem maszyn, obsługą klientów itp.). Zaletą takiego podejścia jest zapewnienie nadzoru nad poszczególnymi elementami w całym systemie procesów, jak też nad ich kombinacją i wzajemnym oddziaływaniem. Wydaje się, że bez odpowiednio opracowanego systemu informatycznego nie można skutecznie realizować takiego podejścia. Dodatkowo, analizując podstawowe wymagania stawiane w tzw. *Dyrektywie Maszynowej 98/37/WE*, wdrożonej Rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 10.04.2003 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn i elementów bezpieczeństwa (Dz.U. Nr 91 poz.858) można sformułować podstawowy postulat dotyczący eksploatacji maszyn: każda organizacja (przedsiębiorstwo) musi podejmować działania mające na celu zapewnienie, że maszyny udostępniane pracownikom są właściwie przygotowane do pracy i mogą być użytkowane bez narażenia bezpieczeństwa pracowników. Na rys.1 przedstawiono model systemu zarządzania jakością, którego podstawą jest system procesów z uwzględnieniem miejsca utrzymania ruchu maszyn i urządzeń.



Rys.1. Model procesowy systemu zarządzania jakością z wyróżnieniem miejsca utrzymania ruchu maszyn
Opracowanie własne na podstawie [7]

Decyzja o wprowadzeniu nowego systemu informatycznego w przedsiębiorstwie jest zawsze decyzją trudną. Aby ją podjąć trzeba być przekonanym o jej słuszności. Kiedy zatem wprowadzenie systemu klasy CMMS (Computerised Maintenance Management System)? Można spróbować podjąć taką decyzję odpowiadając na przedstawione poniżej pytania [8].

- Czy pod opieką służb technicznych przedsiębiorstwa znajduje się znaczna liczba urządzeń ? Czy ich obsługa jest złożona?
- Czy urządzenia podlegają planowym działaniom Czy plany działań podlegają częstym modyfikacjom ?
- Czy w przedsiębiorstwie prowadzone są prace modernizacyjne i inwestycyjne o dużym stopniu złożoności, wymagające szczegółowego planowania i nadzoru nad ich wykonaniem ?
- Czy zarządzanie dokumentacją maszyn i urządzeń oraz procedur ich obsługi nie nastręcza problemów?
- Czy nie występują problemy we współpracy służb technicznych ze służbami produkcyjnymi, polegające na słabym przepływie informacji?
- Czy nie pojawia się potrzeba wprowadzenia obiektywnych wskaźników oceny służb technicznych?
- Czy służby techniczne są zobowiązane do przeprowadzania okresowych analiz statystycznych swojej działalności ?
- Czy nie ma potrzeby obniżenia zapasów magazynowych materiałów i części zamiennych? Czy jesteśmy zainteresowani śledzeniem stanów magazynowych, w tym także magazynków podręcznych?
- Czy istnieje potrzeba określania rzeczywistych kosztów pracy urządzeń, np. w celu ustalenia opłacalności produkcji ?

- Czy nie ma potrzeby określenia stopnia zaangażowania pracowników służb technicznych w poszczególne prace?
- Czy są działania służb technicznych wykonywane siłami zewnętrznymi ? Czy nie ma konieczności rozliczania tych prac i oceny ich opłacalności ?
- Czy działalność służb technicznych odbywa się w ramach z góry zaplanowanych budżetów na poszczególne rodzaje prac? Czy trzeba na bieżąco śledzić rozplanowane i wydane środki ?
- Czy służby techniczne uczestniczą w przygotowaniu budżetów na kolejne lata ?
- Czy w przedsiębiorstwie funkcjonuje lub ma zostać wprowadzony system jakości? Czy w związku z tym nie jest konieczny stały i łatwy dostęp do informacji o stanie technicznym urządzeń?

Jeżeli chociaż część odpowiedzi będzie twierdząca, będzie to oznaczało, że warto zainwestować w rozwiązanie informatyczne wspierające utrzymanie maszyn, cele wdrożenia powinny być zgodne z uzyskanymi odpowiedziami. Decydując się już na wdrożenie SI należy zastanowić się jeszcze nad jednym pytaniem: czy skorzystać z gotowej aplikacji oferowanej przez profesjonalne firmy informatyczne, czy budować SI od podstaw? Przyjęcie pierwszego lub drugiego rozwiązania niesie ze sobą pewne wady i zalety, których zestawienie przedstawiono w tab.1.

Tab.1. Zestawienie zalet i wad wariantów SI utrzymania ruchu maszyn

Wariant SI	Zalety	Wady
Gotowa aplikacja	- szybki termin wdrożenia; - system przetestowany i zweryfikowany; - na ogół system utworzony przez liczną grupę ekspertów; - możliwość zapoznania się z opiniami wcześniejszych użytkowników.	- konieczność przetwarzania nadmiaru danych (niepotrzebnych informacji); - nieuwzględnienie wymogów szczególnych; - na ogół brak możliwości dokonywania zmian „na życzenie" w SI; - przepłacenie za część modułów nie używanych.
Według własnego projektu	- dobre dopasowanie do własnych potrzeb (kadrowych, specyfiki przedsiębiorstwa, stosowanych wskaźników cenowych, stosowanych określeń – terminologii itp.); - możliwość dokonania nawet istotnych zmian po etapie testowania; - możliwość uwzględniania najnowszych metod utrzymania ruchu maszyn	- trudności w precyzyjnym określeniu terminu i kosztu wdrożenia; - konieczność prowadzenia szczegółowego testowania; - niezbędne zaangażowanie znacznej liczby pracowników z różnych działów w projekcie; - zagrożenie złego sprecyzowania celów projektu.

W przypadku podjęcia decyzji o budowie nowego SI klasy CMMS należy brać pod uwagę następujące zagadnienia[6]:

optymalnego kierowania eksploatacją maszyn: zasady planowania użytkowania maszyn, terminów obsług technicznych, organizacja systemu zbierania i przetwarzania informacji;

optymalizacji struktur organizacyjnych systemu eksploatacji: zasady prawidłowej współpracy systemu obsługi z systemem użytkowania, wybranie odpowiedniej strategii wykorzystania obiektów zaplecza technicznego;

optymalizacji własności eksploatacyjnych maszyn: sposób badania i kryteria oceny aktualnego stanu technicznego maszyn, wybór częstości i zakresu obsług technicznych, wybór miar trwałości maszyn, sposoby badania i oceny niezawodności maszyn.

W punkcie drugim przedstawiono przykładowe SI wykorzystywane w utrzymaniu ruchu maszyn, opisując tylko przykładowe moduły systemów bezpośrednio związane z tematem artykułu. Szczegółowe rozważania nt. SI eksploatacji obiektów technicznych można znaleźć np. w pracy: [6].

2. PRZYKŁADY SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH KLASY CMMS

2.1. System *plan9000*

Podrozdział opracowano na podstawie: [8].

System *plan9000* firmy „4TECH Systemy Informatyczne" jest systemem wspomagającym służby, których zakres działania to: gospodarka remontowa, utrzymanie ruchu, serwis, modernizacje i inwestycje. System ten składa się z modułu „Administratora" i czterech modułów funkcjonalnych:

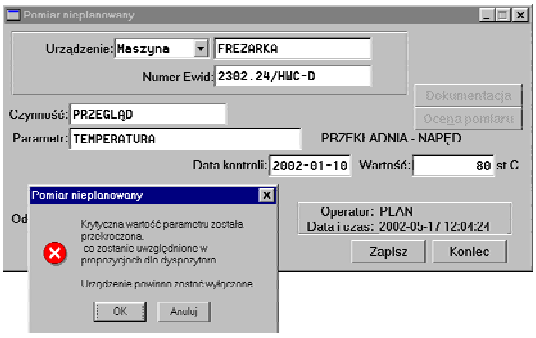
- gospodarka remontowa;
- katalogi;
- kadry;
- ewidencje.

Każdy z wymienionych modułów oprócz szeregu swoich charakterystycznych funkcji zawiera bogate zestawienia raportów.

Moduł „Gospodarka remontowa" obsługuje funkcje:

1. dyspozycje
2. plan czynności
3. zlecenia czynności
4. diagnostyka
5. zgłoszenia
6. definicje czynności obsługowych
7. zamówienia

ad. 1. Dyspozycje - przeznaczone do podejmowania decyzji dotyczących potrzeby wykonania czynności obsługowych, sygnałów diagnostycznych powstałych po stwierdzeniu przekroczenia dopuszczalnych/krytycznych parametrów pracy urządzenia.
ad. 2. Plan czynności - można tworzyć „ręcznie” lub automatycznie zgodnie ze zdefiniowanym czasem trwania i odstępami między czynnościami.
ad. 3. Zlecenia czynności obsługowych są podstawą rejestracji wykonania prac. Przykładowo mogą informować o wymaganiach dotyczących części zamiennych, wykonawcach prac. Do zleceń dołączane są informacje o kosztach.
ad. 4. System umożliwia zaplanowanie i zarejestrowanie pomiarów charakterystycznych parametrów pracy urządzeń. Istnieje możliwość wykorzystywania danych zbieranych przez automatyczne czujniki. Przykład okna programu związanego z diagnostyką pokazano na rys.2.

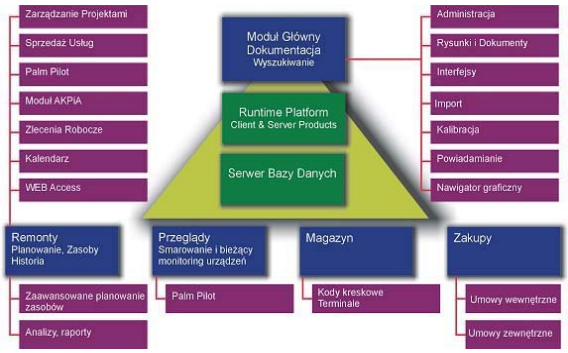


Rys.2. Okno aplikacji *plan9000* – ostrzeżenie o awarii maszyny

ad. 5. Zgłoszenia powstają głównie na produkcji gdy nastąpi awaria. Mogą także dotyczyć m. in. potrzeby wykonania konserwacji czy modernizacji. Zgłoszenia są kierowane do „Dyspozytora”. Innym przykładem wykorzystania mogą być zgłoszenia kierowane do działu zaopatrzenia.
ad. 6. Dla każdego typu urządzenia można zdefiniować typowe czynności obsługowe. Czynnościom tym można nadać różne cechy. Mogą być automatycznie na określonych zasadach umieszczane w planie.

2.2. System Remontowy API Pro

Rozdział opracowano na podstawie: [9].
System informatyczny API Pro został opracowany przez firmę Api Maintenance Systems A/S, twórcy dedykowanego i specjalistycznego rozwiązania w zakresie systemów remontowych, a rozpowszechniany w Polsce przez firmę Betacom z Warszawy. Oferowane rozwiązanie opiera się na kompleksowej obsłudze procesu remontowego oraz utrzymania ruchu maszyn. Poszczególne moduły systemu przedstawiono na rys.3.
Moduł Dokumentacja jest rdzeniem systemu API. Jego elastyczność jest unikalna i możliwa do zastosowania w każdej firmie niezależnie od wielkości i branży. Umożliwia kodyfikację urządzeń, tworzenie wielopoziomowych struktur technologicznych i funkcjonalnych, jest bazą wiedzy o historii urządzeń i zdarzeń. Pozwala na śledzenie kosztów w dowolnym przekroju. Zarządza dokumentacją techniczną posiadanych zasobów.
Moduł Remonty pozwala zarządzać wszystkimi rodzajami napraw i remontów, od usterek nieplanowanych poprzez planowanie przeglądów, remontów i kampanii remontowych. Funkcja *Zlecenia Roboczego* pozwala śledzić i zarządzać wszystkimi zasobami przedsiębiorstwa. Posiada funkcjonalność zarządzania Projektami. Istnieje możliwość integracji z istniejącymi systemami pomiarowymi i sterującymi. Umożliwia dostęp poprzez Internet i intranet.
Moduł Przeglądy-Inspekcja jego istotą jest poprzez odpowiednie zaplanowanie, realizacją i kontrolę przeglądów urządzeń wyeliminowanie w jak największym zakresie nieprzewidzianych awarii. Zapobieganie awariom jest zdecydowanie tańsze od ich usuwania.



Rys.3. Struktura systemu API Pro

2.3. System IMPACT xp

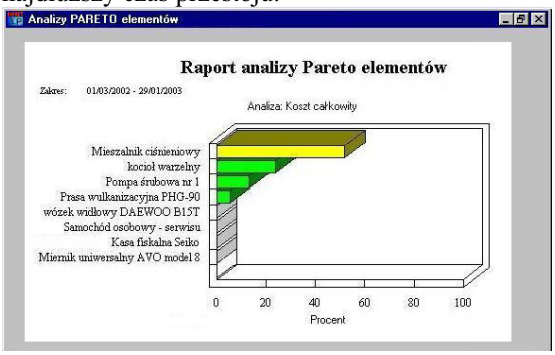
Rozdział opracowano na podstawie: [10].
System jest autorstwa brytyjskiej firmy Soft Solution Group Ltd. W Polsce dystrybutorem aplikacji IMPACTxp jest Centrum Przemysłowo-Usługowe ZETO Sp. z o.o. w Jeleniej Górze. System może być skonfigurowany z wymienionych niżej modułów:

- Podstawowy moduł serwisowy
- Budżet i koszty
- Sterowanie zapasami
- Zakupy serwisowe
- Pulpit pomocy
- Zarządzanie przebiegami
- Zarządzanie narzędziami
- Zarządzanie kontraktami
- Zarządzanie projektem
- Monitorowanie
- Kontrola kalibracji
- Dokumentacja
- Zdjęcia i rysunki CAD
- Baza wiedzy
- Kody paskowe

- Interfejs podstawowy
- Interfejs MFG/PRO
- Katalogi
- Generator raportów

Moduł Monitorowanie umożliwia dokonywanie bieżących pomiarów parametrów charakterystycznych dla pracy danej grupy maszun tj. temperatura, ciśnienie, napięcie elektryczne, itp. następnie zestawia je z wielkościami zawartymi w bazie. Proces monitorowania oparty jest na charakterystycznych cechach związanych z każdą częścią maszyny, które same lub w powiązaniu z innymi, mogą dostarczyć informacji diagnostycznych.
Wskaźnik warunku może być dowolnego typu pod warunkiem, iż jest zapisywany w sposób cyfrowy. Do zadań pracownika technicznego należy wybranie najbardziej stosownych wskaźników, które zostaną następnie wyszczególnione w IMPACTxp wraz z zakresem (definiującym dopuszczalną tolerancję warunków działania). Zgodnie z ustalonymi wcześniej cyklami, do systemu doprowadzane są wyniki odczytów z poszczególnych urządzeń: ręcznie lub automatycznie (import danych z zewnętrznego systemu monitorowania). Następnie IMPACTxp analizuje odczyty i biorąc pod uwagę zakres założonych tolerancji alarmuje, gdy którekolwiek urządzenie wykaże odmienne zachowanie lub prawdopodobnie zmierza do stanu awaryjnego.

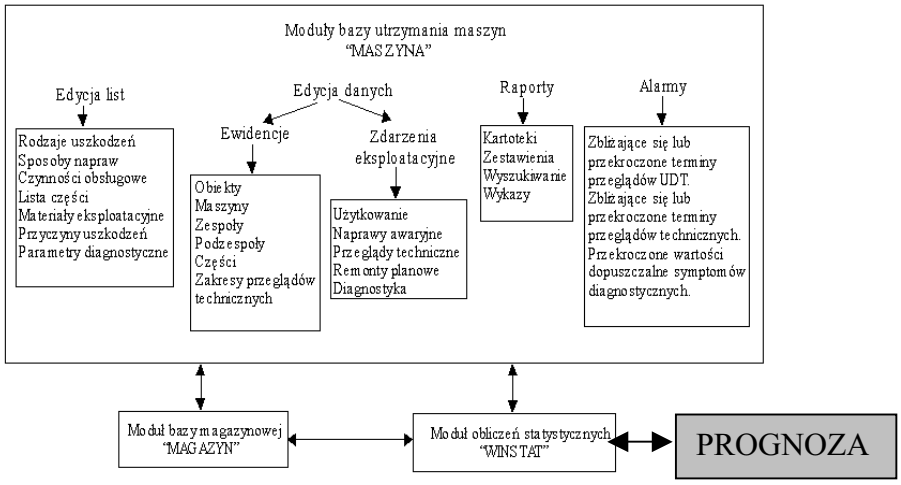
Jako przykład okna systemu IMPACTxp podano na rys.4 raport z wykorzystaniem analizy PARETO, w którym określa się grupę urządzeń dla których w danym okresie wykonano najwięcej prac, wartość robocizny, materiałów lub kosztów całkowitych była największa lub też wystąpił najdłuższy czas przestoju.



Rys.4. Przykład raportu systemu IMPACTxp

5.3. System „MASZYNA"

System wspomagający utrzymanie ruchu maszyn MASZYNA został opisany w pracy [2]. Jego strukturę przedstawiono na rys.5.



Rys.5. Struktura aplikacji MASZYNA wspomagający utrzymanie ruchu obiektów technicznych

W porównaniu do opisu systemu przedstawionego w [2], obecnie został dobudowany moduł PROGNOZA , który pozwala na dokonanie analizy prognozowania wg modeli szeregów czasowych [3]. W szeregu czasowym wyróżnia się składową systematyczną oraz składową przypadkową (wahania okresowe). W przypadku, gdy występuje składowa systematyczna w postaci stałego poziomu i wahania przypadkowe, do prognozowania w programie zastosowano modele ze stałym poziomem zmiennej prognozowanej, wykorzystując przy tym trzy metody: naiwną, średniej ruchomej prostej oraz średniej ruchomej ważonej. Budując prognozy na podstawie tych metod, prognoza przyjmuje zasadę *status quo*, postawę pasywną wobec prognozowanego zjawiska oraz regułę podstawową. Metody te pozwalają na wyznaczenie prognozy tylko na jeden okres.

W przypadku, gdy w szeregu czasowym obserwuje się trend zmiany wartości badanego zjawiska i wahania przypadkowe, do prognozowania wykorzystano modele analityczne, przewidziane dla tendencji rozwojowych. Modele te należy stosować do prognozowania zjawisk,

które charakteryzowały się w przeszłości regularnymi zmianami, dającymi się opisać za pomocą funkcji czasu. Zakłada się tu nie tylko niezmienność kierunku trendu, ale również stałość charakteru zmian zjawiska wyrażoną przez niezmienność postaci analitycznej funkcji trendu. W systemie uwzględniono postać liniową, potęgową oraz wykładniczą.

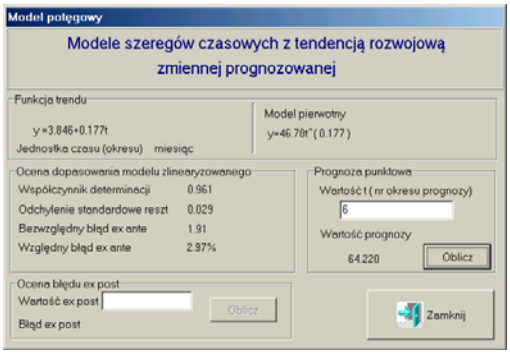
Do prognozowania wartości szeregów czasowych z wahaniami okresowymi wykorzystano również trzy postacie analityczne (liniowy, potęgowy, wykładniczy), przy jednoczesnym podziale na modele addytywne i multiplikatywne. W pierwszym przypadku model przyjmuje postać ogólną:

$$y_{ti} = \hat{y}_t + c_i + e_t,\ t = 1,...,n,\ i = 1,...,r.$$

W modelu multiplikatywnym przyjmuje się, że obserwowane wartości zmiennej prognozowanej są iloczynem składowych szeregu czasowego. Wówczas postać ogólną modelu można zapisać jako: $y_{ti} = \hat{y}_t c_i e_t,\ t = 1,...,n,\ i = 1,...,r$,

gdzie: y_{ti} - rzeczywista wartość prognozowanej zmiennej zmierzona w chwili *t* w *i*-tej fazie cyklu, $\hat{y}_t$ - teoretyczna wartość prognozowanej zmiennej zmierzona w chwili *t* wyznaczona z modelu, c_i – wskaźnik sezonowości, e_t – reszta w czasie *t*, *r* – liczba faz cyklu. Oczywiście modele potęgowe i wykładnicze przyjmą odpowiednią dla siebie postać [1].

Na rys.6 podano przykład okna programu, w którym została wyznaczona prognozowana wartość czasu trwania przeglądu technicznego wentylatora w 6 miesiącu roku kalendarzowego.



Rys.6. Przykładowe okno programu PROGNOZA

3. PODSUMOWANIE

Analizując tendencje rozwojowe SI CMMS można zauważyć, że coraz częściej stosowane jest w nich podejście procesowe, uwzględniające rożne aspekty utrzymania maszyn. Wiąże się to z tym, że w gospodarce rynkowej trudno oddzielić od siebie zagadnienia techniczne od ekonomicznych czy organizacyjnych. Wydaje się również, że coraz ważniejszym dla inżynierów działów utrzymania ruchu staje się zagadnienie prognozowania (stanu technicznego, kosztów, pracochłonności), wobec tego decydując się na wdrożenie SI warto zastanowić się czy system ten jest odpowiedni do i posiada moduł prognostyczny.

LITERATURA

1. Cielak M. i inni. Prognozowanie gospodarcze. PWN Warszawa 2002r.
2. Mikołajczak P. Komputerowa baza utrzymania maszyn MASZYNA, wspomagająca zarządzanie systemem eksploatacji. IX Kongres Eksploatacji Urządzeń technicznych, tom 2. Krynica 2001r.
3. Radzikowska B. i inni. Metody prognozowania. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego. Wrocław 2000r.
4. Wrycza S. Analiza i projektowanie systemów informatycznych zarządzania. PWN. Warszawa 1999r.
5. Żółtowski B. Podstawy diagnostyki maszyn. Wyd. ATR. Bydgoszcz 1996r.
6. Żółtowski B. Niziński S. System informatyczny eksploatacji pojazdów mechanicznych. PWSZ im Stanisława Staszica. Piła 2004r.
7. PN-EN ISO 9004. Systemy zarządzania jakością. Wytyczne doskonalenia funkcjonowania. PKN 2001.
8. http://www.4tech.com.pl - Materiały informacyjne nt.: systemu „plan9000”.
9. http://www.betacom.com.pl - Materiały informacyjne nt.: systemu remontowego „API Pro”.
10. http://www.impactxp.com.pl - Materiały informacyjne nt.: systemu wspomagającego zarządzanie gospodarką remontową i służbami utrzymania ruchu IMPACTxp.

Dr inż. Paweł Mikołajczak pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Eksploatacji i Pojazdów i Maszyn Wydziału Nauk Technicznych UWM w Olsztynie. Od wielu lat zajmuje się diagnostyką wibroa-kustyczną, jest autorem wielu artykułów i ekspertyz z tego zakresu. Członek PTDT, redaktor „Diagnostyki”.

Mgr inż. Krzysztof Ligier jest asystentem w Katedrze Eksploatacji Pojazdów i Maszyn Wydziału Nauk Technicznych UWM w Olsztynie. Jest członkiem Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacji, redaktorem czasopisma „Diagnostyka”. Zajmuje się problemami eksploatacji i diagnostyki maszyn i urządzeń technicznych.

PRZEWODNIK METODYCZNY DLA PRZEPROWADZENIA INSPEKCJI JEDNOSTEK ZASILAJĄCYCH LOKOMOTYWY ELEKTRYCZNE Z ZASTOSOWANIEM METALOWO MAGNETYCZNEJ PAMIĘCI

Anatoly A. DUBOV

"Energodiagnostika" Co. Ltd., Moscow, Russia

Streszczenie:

Niezawodność jednostek napędowych lokomotyw elektrycznych jest jednym z najważniejszych warunków bezawaryjnej pracy kół napędowych lokomotyw. W obecnych czasach, pomiary optyczne oraz metody kontroli oparte o cząstki magnetyczne są podstawowymi metodami badania jednostek napędowych lokomotyw elektrycznych, w szczególności stosowane dla reguł naprawczych lokomotyw elektrycznych „CS". Metoda metalowo – magnetycznej pamięci jest efektywną metodą dla szacowania stanu naprężeniowo – odkształceniowego obiektów, która staje sie coraz szerzej i częściej stosowaną w praktyce. Metoda ta jest nie – niszczącą metodą, opierającą się na rejestracji i analizie rozprzestrzeniania się pól magnetycznych po powierzchni obiektu w celu ustalenia stref koncentracji naprężeń, defektów i niejednorodności metalowych i zespawanych konstrukcji.

Słowa kluczowe: niezawodność, jednostki napędowe lokomotyw elektrycznych, metalowo magnetyczna pamięć

METHODICAL GUIDELINE
FOR INSPECTION OF ELECTRIC LOCOMOTIVE POWER UNITS
(FROG, SHAFT AND SPLINE JOINTS) USING THE METAL MAGNETIC MEMORY

Summary:

Reliability of electric locomotive power units is the most important condition of electric locomotive wheel gear trouble-free operation. At present visual-measuring inspection and the magnetic-particle method are the basic methods of electric locomotive power units inspection according to the "CS" electric locomotive Repair Rules. The method of Metal Magnetic Memory is an effective method for equipment stress-strained state assessment, which becomes more and more widely spread in practice. MMM is a non-destructive testing method based on registration and analysis of self-magnetic leakage fields distribution on products surface for determination of stress concentration zones, defects, metal and welded joints structure inhomogeneity.

Keywords: reliability, electric locomotive power unit, metal magnetic memory

1. GENERAL

Reliability of electric locomotive power units (including frogs, shafts and spline joints) is the most important condition of electric locomotive wheel gear trouble-free operation.

The problem of unexpected electric locomotive power units fatigue failures cannot be solved using traditional non-destructive testing methods (UT, MPI, eddy-current method, etc.) since they are oriented to detecting the already developed defects, which is insufficient for providing their reliability. Besides, inspection of complex-shape units using the traditional NDT methods is impossible in a number of cases and requires large effort.

At present visual-measuring inspection and the magnetic-particle method are the basic methods of electric locomotive power units inspection according to the "CS" electric locomotive Repair Rules (CT/4015).

Mechanical stress concentration zones are the main sources of units damaging, in which corrosion and fatigue processes flow the most intensively. Units damaging occurs, as a rule, unexpectedly and are of fatigue nature. Thus, for timely detection of susceptible to damaging units, methods of engineering diagnostics having correlation with mechanical stresses are required.

The method of Metal Magnetic Memory (MMM) is an effective method for equipment stress-strained state assessment, which becomes more and more widely spread in practice.

According to GOST R 52081-2003 the metal magnetic memory (MMM) is an aftereffect, which becomes apparent in the form of residual magnetization of products and welded joints metal formed in the course of their fabrication and cooling in a weak magnetic field or in the form of irreversible changing of products magnetization in stress concentration and damaging zones due to working loads.

MMM is a non-destructive testing method based on registration and analysis of self-magnetic leakage fields (SMLF) distribution on products surface for

determination of stress concentration zones (SCZs), defects, metal and welded joints structure inhomogeneity.

SMLF is a magnetic leakage field occurring on the product surface in the zones of dislocations stable slipbands under the influence of operational or residual stresses and in zones of maximum inhomogeneity of metal structure.

All units have in the initial state the residual magnetization formed naturally at their fabrication. In conditions of operation this magnetization changes and re-distributes under the influence of working loads.

Under the action of vibration processes, torque and bending moments as well as of tensile-compression forces occurring in parts and units at electric locomotive motion, an appropriate stress field forms in shear plane with the maximum metal strain in weakened part sections. Stable dislocation slipbands and glide pads occur in the same area on parts surface long before reaching the metal yield strength. The moment of stable dislocation slipbands occurrence is related to internal stresses (tensile and compression stresses) level and direction. Stable dislocation slipbands, occurring under the influence of cyclic loads repeating in the same place, may develop to channels with dimensions up to tens and hundreds of microns by depth and width, which will be already notable at the macrolevel. Plastic strain develops and, finally, cracks initiate along these channels boundaries. By virtue of the magnetomechanical effect SMLF with an appropriate orientation and, as a rule, with sign alternation occurs on the part section surface, where stable dislocation slipbands have formed.

The many-years experience in investigation of magnetic fields distribution on various types of equipment revealed presence of stable sign alternation lines of the H_p magnetic field normal component or its abrupt local variation in SCZs being the sources of metal damaging development. The same local variations of the H_p field were revealed in the course of special industrial experiments on many inspected electric locomotive power units.

For quantitative assessment of stress concentration level the gradient (variation intensity) of the H_p magnetic field normal and (or) tangential component in SCZs is determined:

$$K_{in} = \frac{\left|\Delta H_p\right|}{\Delta x},$$

where K_{in} – is the magnetic leakage field gradient or the stress intensity magnetic factor characterized by metal magnetization variation intensity in SCZs and, accordingly, by the H_p field variation intensity; $\left|\Delta H_p\right|$ - is the modulus of the H_p field difference between the two adjacent inspection points located on identical sections Δx. At using a PC-based instrument the field gradient (dH_p/dx) is determined automatically.

Basic advantages of the MMM method:

- application of special magnetizing devices is note required as the phenomenon of units magnetization in the process of their operation is used;
- locations of stress concentrations are unknown beforehand and are determined in the course of inspection;
- metal dressing or any other preparation of the test surface is not required;
- small-sized instruments, self-contained power supply and recording systems are used to perform inspection by the proposed method.

The main task of the MMM method is detecting of SCZs – the anomalous magnetic leakage field zones – on the inspected units surface. Then, using a specialized program “MMM-System”, parts sorting by the degree of their susceptibility to damaging in SCZs is carried out. Parts screening and sorting may be done directly at inspection by K_{in} values corresponding to a specific part metal pre-failure limiting state. K_{in} value corresponding to metal limiting state is determined in the course of experimental investigations separately for each part.

For timely detecting parts and units with the maximum stress concentration as well as for carrying out non-destructive testing prior to their installation on an electric locomotive, it is recommended to apply the metal magnetic memory method. This methodical guideline is developed for inspection of the most damageable units of railway motors (frog, shaft, spline joints). Limiting values of K_{in} for the listed above parts and units were determined in the course of experimental works at “Moscow-Sortirovochnaya” depot and at Yaroslavl Repair Plant.

The considered magnetic method of electric locomotive power units diagnostics may be used both independently and (or) in combination with other destructive and non-destructive testing methods. According to this MG it is not recommended to apply the magnetic-particle method with artificial magnetization at parts inspection.

2. DESIGNATION AND APPLICATION SCOPE

2.1. This methodical guideline (MG) specifies the procedure of electric locomotive power units (frog, shaft, spline joints) inspection using the MMM method both as an independent type of inspection and in combination with other non-destructive testing (NDT) methods.

2.2. This MG may be applied for sorting of new and used parts and units by their susceptibility to damaging.

2.3. This MG covers power parts and units of this family (or model) electric locomotives and may be applied at quality inspection of electric locomotive power parts and units of other families with corrective changing of quantitative criteria of metal limiting state to another

standard size of parts and steel grade, of which they are fabricated.

2.4. This MG is based on SMLF recording along parts surface in the areas of their most probable damaging. SMLF characterize metal residual magnetization distribution formed under the influence of working and residual stresses.

2.5. This MG allow:
- detecting new parts with metal defects and areas of inadmissibly high residual stress concentration;
- carrying out parts sorting at their repairs and detecting parts operating in the most stressed conditions and susceptible to damaging (or already damaged);
- detecting part sections (new and used) with the maximum stress concentration and timely performing their repairs using grinding and various strengthening and recovery technologies;
- reducing the scope of inspection and parts replacement.

2.6. The MMM method is primary relative to other NDT methods. Upon detecting SCZs by the MMM method, part surface grinding is carried out in these zones and a visual-measuring inspection is performed. To detect cracks presence in SCZs it is feasible to used an eddy-current inspection or colour flaw detection.

3. INSPECTION INSTRUMENTS AND THIR OPERATING PRINCIPLE

3.1. Table 1 gives characteristics of instruments used at inspection by the MMM method.

3.2. To measure the magnetic leakage field intensity along the pipeline surface TSCM-2FM and TSC-1M instruments with flux-gate converters are used. Field meters or gradiometers can be used as sensors for these instruments.

3.3. The operating principle and conditions of a specialized TSC-2FM-type magnetometer equipped with a flux-gate converter with the magnetic field (H_p) intensity-measuring sensor are given in the instrument's passport. This instrument is designed for inspection of small-diameter parts and units.

3.4. To improve inspection effectiveness and speed a TSC-1M-type instrument (tester of stress concentration) is used. The instrument is equipped with special scanning devices incorporating a length-measuring sensor, two or more flux-gate converters for the magnetic field intensity measuring along the part surface. Appendix 1 gives the description of the TSC-1M instrument and the specialized sensors. Besides, the instrument has a lighted screen for displaying the graphical information, permanent memory and the program for automatic processing of the H_p field measurement results by pre-specified criteria. The detailed description of the instrument, its operating principle and operating manual are given in the technical passport.

3.5. TSC-2FM and TSC-1M instruments are adjusted for the H_p magnetic field intensity measurement (A/m) on a reference coil certified in Rosstandard.

The error of the H_p field measurements at inspection of a part with undressed surface does not exceed 5%.

Application of this technique is most effective on condition that the inspection object's surface is not dressed to metallic luster and there is no artificial magnetization (for instance, after the magnetic-particle inspection).

3.6. The EMIC-1-type instrument (electromagnetic indicator of cracks) is used for detecting surface cracks presence in SCZs. The instrument is applied, first of all, for detecting of cracks in stress concentration zones. And weld surface dressing is not required. The EMIC-1 instrument operating principle description is given in the technical passport..

4. INSPECTION TECHNIQUE

4.1. Preparation for inspection.

Parts inspection is carried out in finished-product workshops at manufacturing plants or at depot at their repairs. Metal dressing is not required to provide SMLF measurements on parts surface. Oils and dirt should be removed from parts surface.

At inspection by the MMM method parts should not contact each other. It is recommended to locate parts of the same type in the same position isolated from metallic products and structures. It is better to locate them on wooden tables or decks. Each part is inspected separately using the required devices and specialized sensors. Type of sensors is given in the description of the inspection technique for each part.

Two specialists carry out inspection. One of them performs scanning with the instrument sensor along the part surface. Another specialist (assistant) helps in parts preparation for inspection and makes records and notes in the part log or logbook, makes the necessary marks with chalk or paint directly on the part surface in the course of inspection.

At appropriate conditions (small pipeline dimensions, large experience of an operator in MMM inspection) inspection may be carried out by one operator provided the safety rules are observed.

4.2. The technique for frogs inspection.

4.2.1. Inspection of used frogs.

Surfaces on both sides and pivots filler junctions are inspected on frogs. Fig. 1 shows the scheme of a frog surface inspection using Type 2 and Type 3 sensors allowing simultaneous measurement by three measurement channels. Fig.1 shows the direction of scanning at inspection with arrows.

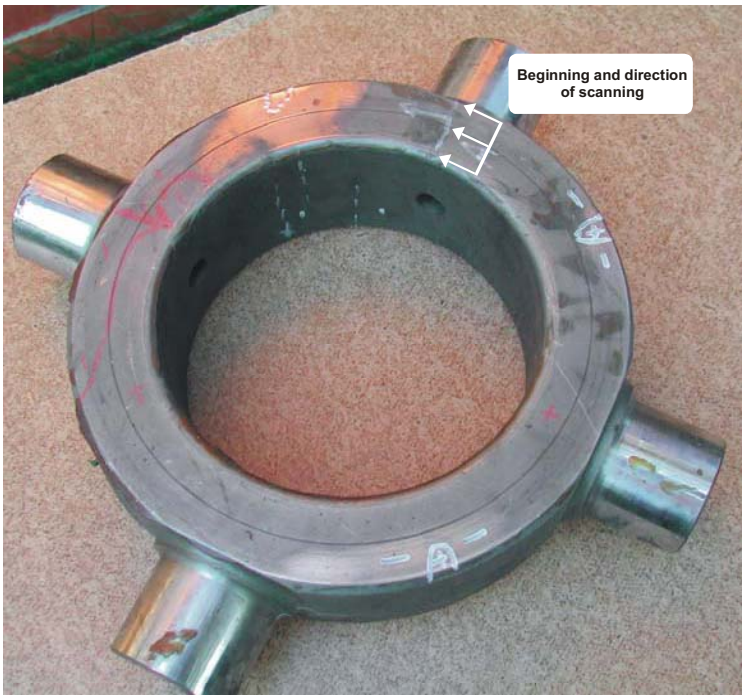


Fig. 1. Scheme of frogs surface inspection using a specialized three-channel sensor

Measurement of the H_p magnetic field normal component simultaneously by three circumferences along the entire perimeter (internal, mean and external frog diameter) is carried out on frogs surface. At inspection zones with the maximum value of the H_p field and its gradient (dH_p/dx) along each measurement channel are recorded. These zones are marked with paint or special soft-tip pen on the frog surface. Inspection is repeated in a similar way on the opposite side of the frog.

Frogs, on which field gradient values of $dH_p/dx \geq 150 \div 200 \times 10^3 (A/m^2)$ were recorded on butt-ends surface at inspection, are marked with a special symbol, sorted separately and referred to the group of frogs subject to repairs. Frogs, on which field gradient values of $dH_p/dx \leq 150 \times 10^3$ (A/m^2) were recorded on butt-ends surface at inspection, are referred to the group of frogs with satisfactory butt-ends surface state and may be admitted to further operation.

Fig.2 shows the scheme of fillet junctions inspection on frog pivots using specialized sensors. A specialized sensor incorporates flux-gate two-component converters 1 for simultaneous measuring of the magnetic field normal and tangential components and an annular device 2 for scanning along the perimeter of the pivot fillet junction.

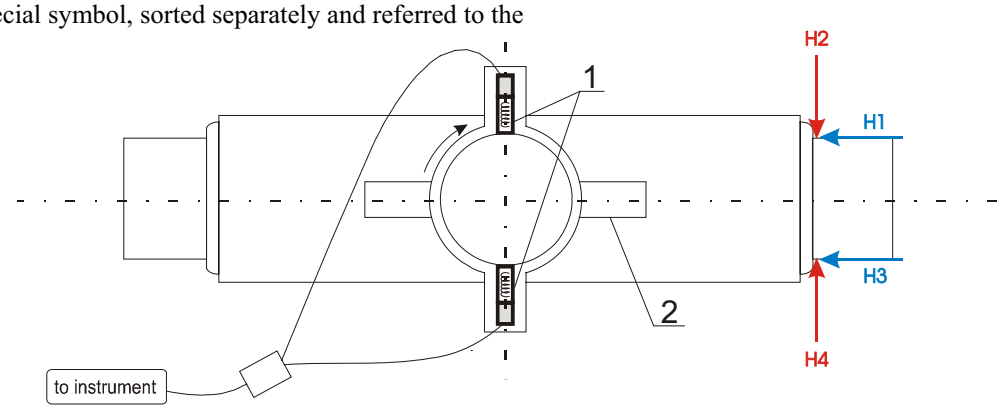


Fig. 2. Scheme of fillet junctions inspection on frog pivots using a specialized sensor
1 – flux-gate converters;
2 – device for scanning along a fillet junction perimeter

Scanning at inspection is carried out in the "timer" mode set on the TSC-1M instrument by turning the annular device by 180 degrees relative to the beginning (reference point) of scanning marked prior to inspection with a special symbol directly on the fillet. One flux-gate converter

performs measurement of the magnetic field along the first half of the fillet perimeter, and another converter performs measurement along the second half of the fillet. The annular scanning device in combination with two flux-gate sensors allows carrying out inspection simultaneously along the entire pivot fillet perimeter.

For the sake of convenience of all pivot fillet junctions alternate inspection it is recommended to install the frog on a wooden shaft or a wooden support (see Fig.3).

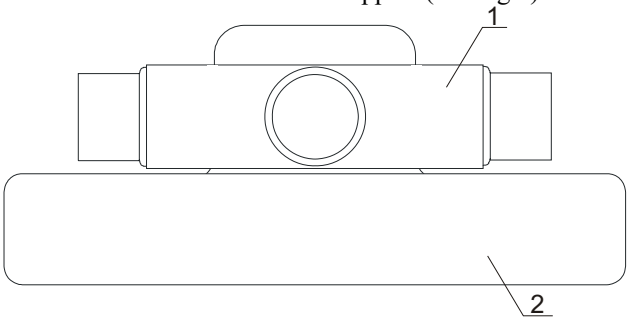


Fig. 3. Wooden support for frogs inspection by the MMM method
1 – frog;
2 – wooden support for inspection.

At inspection zones with the maximum field and its gradient (dH_p/dx) value along each measurement channel (4 channels in total, two of them measure the normal field component, and two – the tangential field component) are recorded. Frog pivots, on which field gradient values of $dH_p/dx \geq 70 \div 100 \times 10^3 (A/m^2)$ were recorded at inspection along any measurement channel, are marked with paint, and this frog is referred to the group subject to repairs.

Frogs, on which field gradient values of less than $70 \times 10^3 (A/m^2)$ were recorded at inspection of pivot fillet junctions, are referred to the group of frogs with satisfactory pivots state and may be admitted to further operation.

Fig.4 shows the example of a used frog surface inspection results with the field gradient value in some areas of greater than $200 \times 10^3 (A/m^2)$. Photo 1 shows stress concentration lines corresponding to the H_p magnetic field sign alternation lines, detected at inspection, and Photo 2 shows a microcrack detected using the chip in the area of the maximum field gradient value with magnification x100. Fig.5 shows the examples of pivot fillet junctions inspection results with field gradient values of greater than $100 \times 10^3 (A/m^2)$.

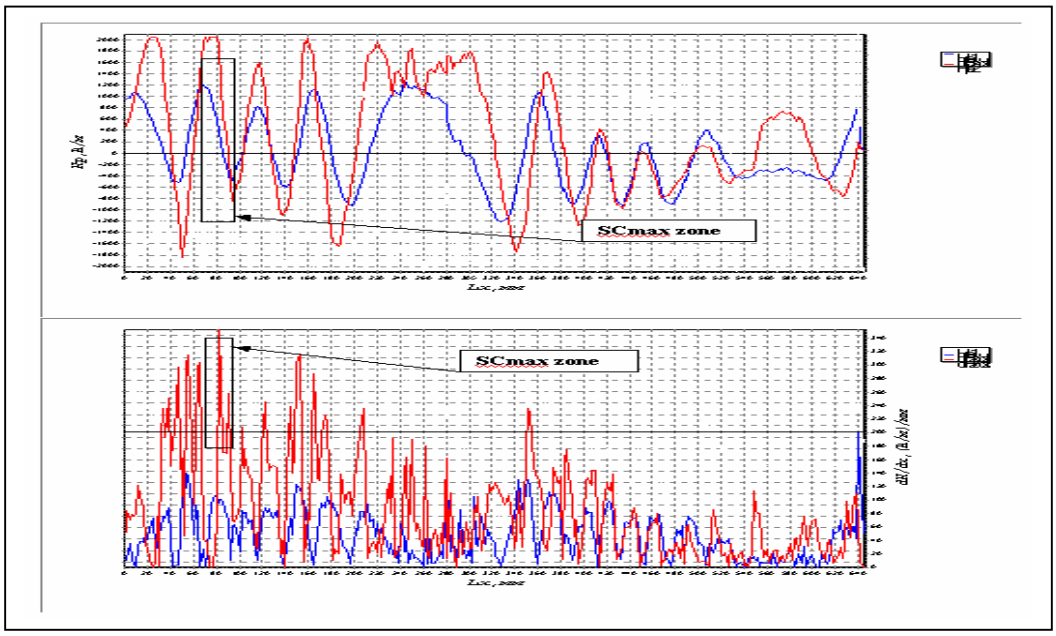
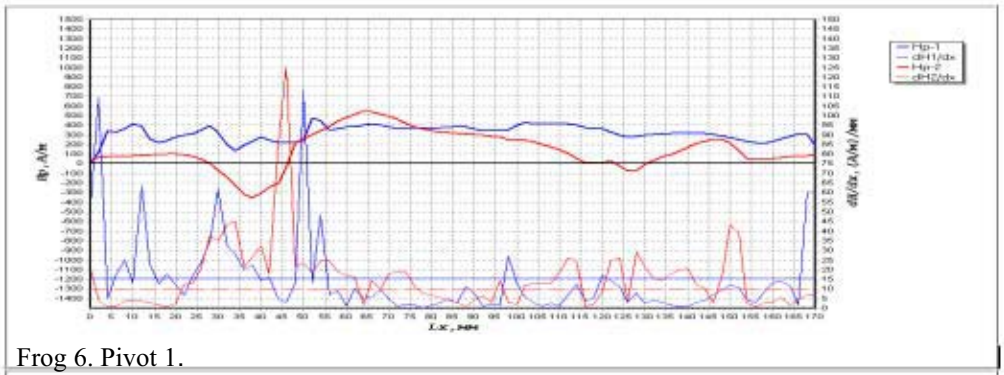
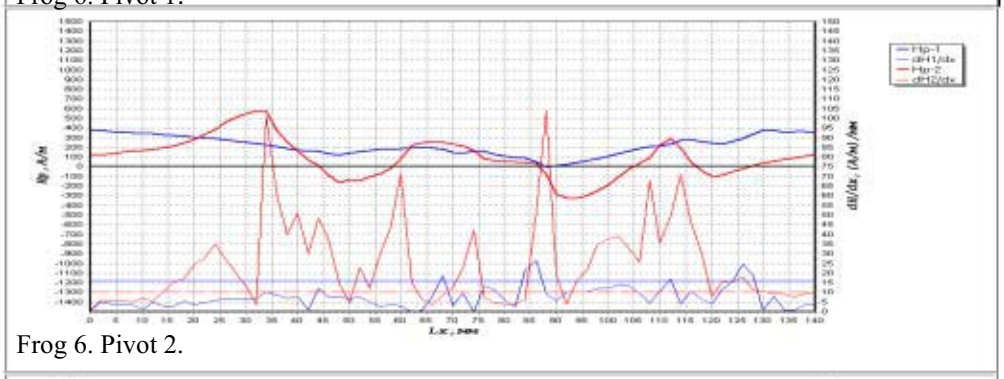


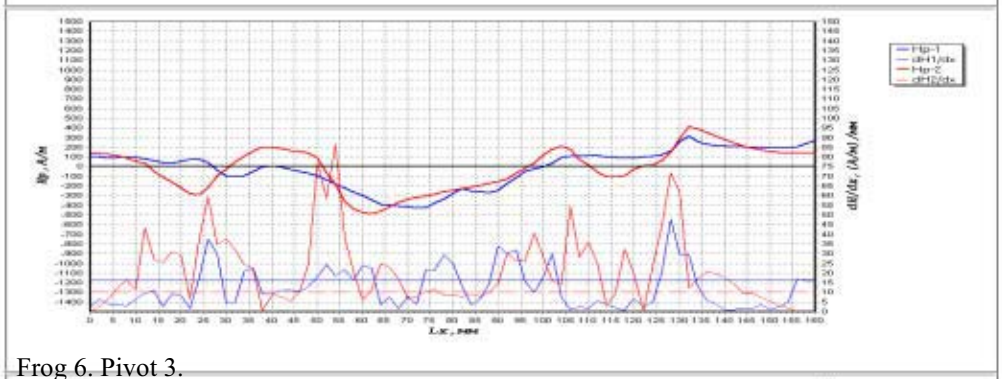
Fig. 4 Distribution of the H_p field and intensity factor dH/dx on the surface of frog # 6 (side A)
Frog 6. Side A. External diameter



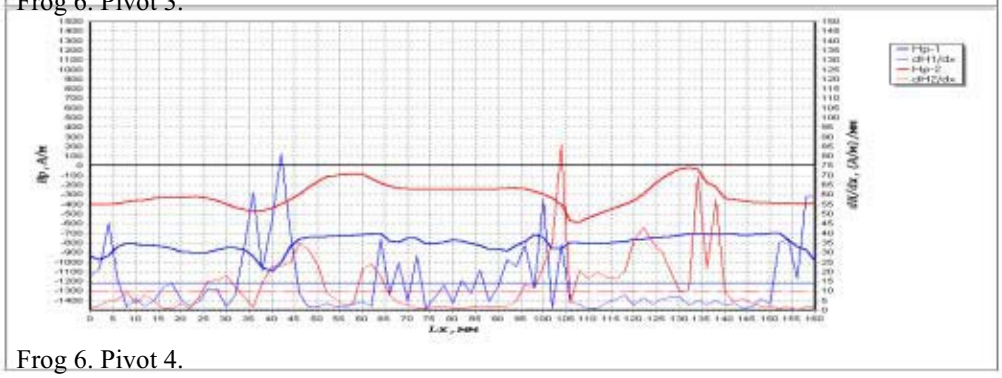
Frog 6. Pivot 1.



Frog 6. Pivot 2.

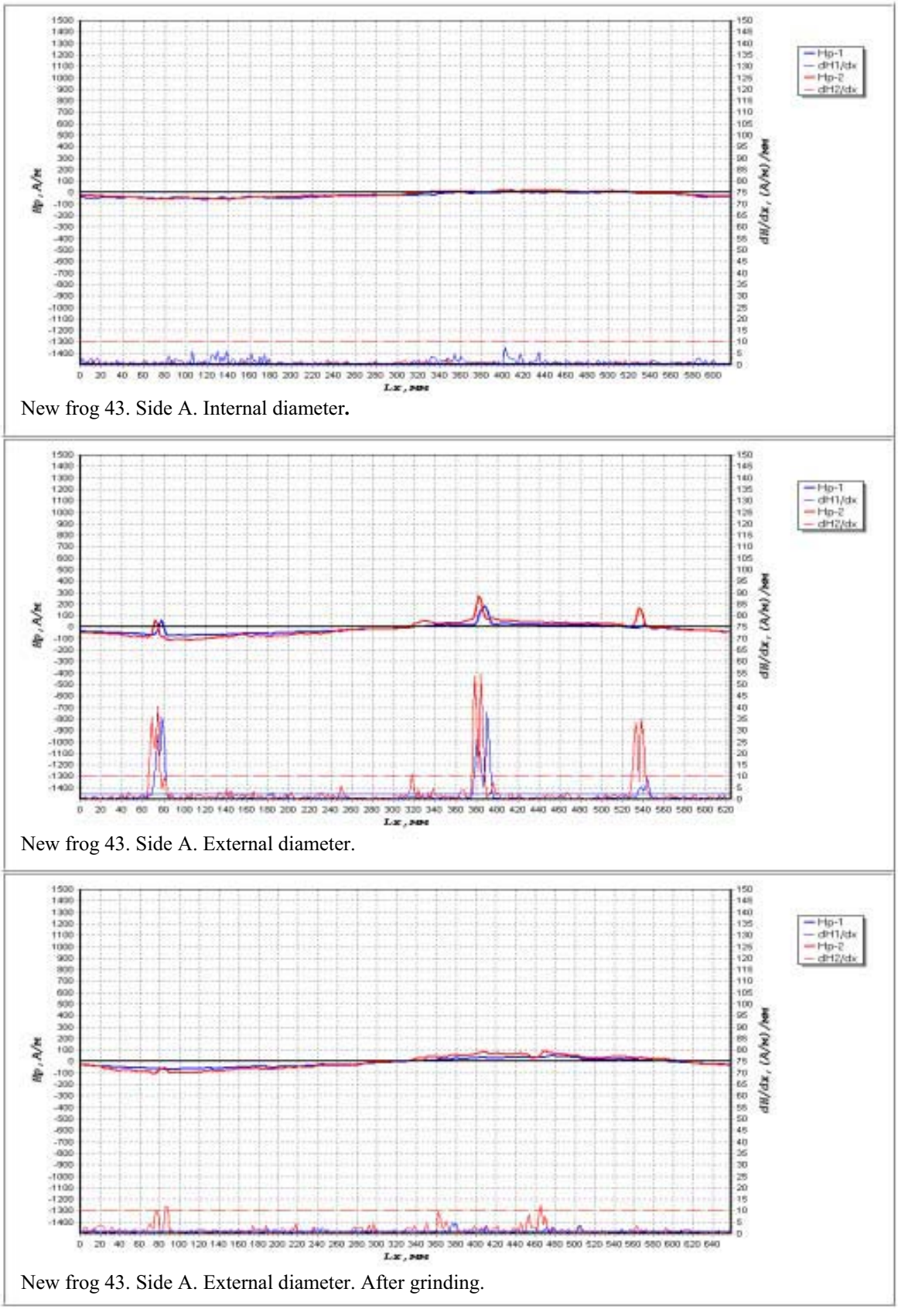


Frog 6. Pivot 3.



Frog 6. Pivot 4.

Fig. 5. Results of frog #6 pivots inspection



New frog 43. Side A. Internal diameter**.**

New frog 43. Side A. External diameter.

New frog 43. Side A. External diameter. After grinding.

Fig. 6. Results of inspection along external and internal diameters of a new frog # 43

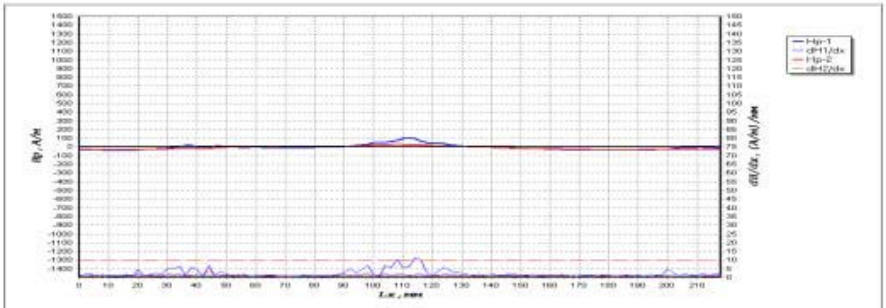
4.2.2. Inspection of new frogs.

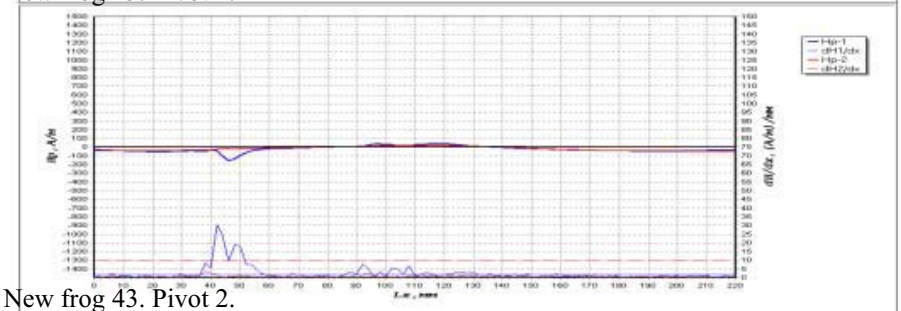
New frogs inspection is carried out in a similar way according to inspection schemes shown in Fig.1 and Fig.2. The main task of new frogs inspection is detecting of maximum residual stress concentration zones determined by the process of their fabrication.

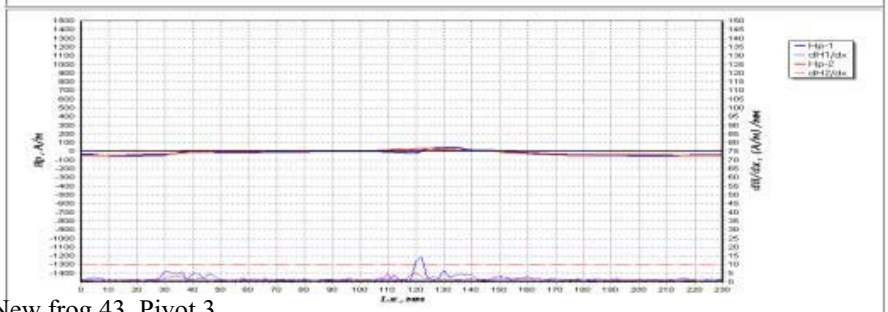
Frogs, on which field gradient dH_p/dx values of greater than $30\times10^3 (A/m^2)$ were recorded at inspection on the butt-ends surface and with the field gradient values of greater than $10\times10^3 (A/m^2)$ on pivot fillet junctions, are subject to grinding in these areas with re-inspection by the MMM method.

New frogs, on which areas with field gradients below the reported values were detected by the MMM method, may be admitted for operation.

Fig.6 and 7 present examples of inspection results of pivots surface and fillet junctions on new frogs respectively. Areas of the H_p magnetic field local surges recorded on the frog surface 43 (see Fig.6) correspond to stress concentration (SC) zones on the structure inhomogeneity.


New frog 43. Pivot 1.


New frog 43. Pivot 2.


New frog 43. Pivot 3.

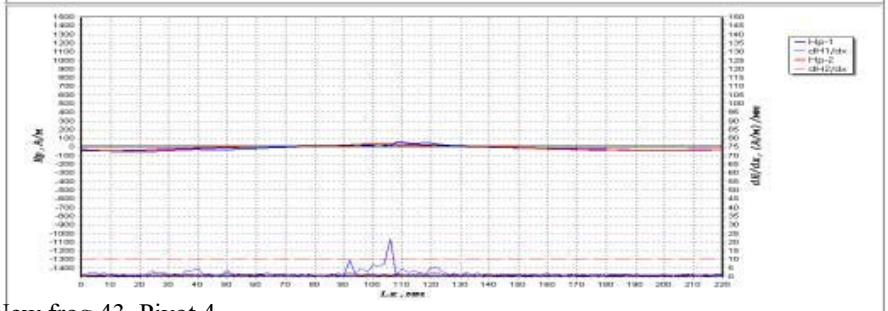

New frog 43. Pivot 4.

Fig. 7. Results of a new frog #43 pivots inspection

Photo 3 shows SC zones detected on the Frog #43 surface at inspection along the external diameter.

At additional inspection with a "TEMP-3"-Type (CNIITMASH) hardness meter an increased hardness of 500-550 HB was revealed in a SC zone. The average frogs surface hardness outside SC zones was 450-480 HB. It should be noted that the average hardness of side frog surfaces is about 600 HB.

4.3. The technique for drive shafts inspection

Three sections in spline zones, a spline junction and four generatrixes along the shaft with bias by 90° relative to each other are inspected at drive shafts repairs. Shafts inspection by the MMM method is carried out directly after the visual-tool examination. Fig.8 shows the scheme of a drive shaft inspection using a two-channel sensor (Type 2). The direction of scanning at inspection is indicated with arrows in Fig.8. At inspection in these units zones with the maximum values of the H_p field and its gradient (dH_p/dx) along each measurement channel. These zones are marked with paint or special soft-tip pen on the surface. Shafts, on which field gradient values of $dH_p/dx \geq 10 \div 20 \times 10^3$ (A/m^2) were recorded at inspection on any of the indicated in Fig.8 units, are marked with a special symbol, sorted separately and referred to the shaft group subject to repairs.

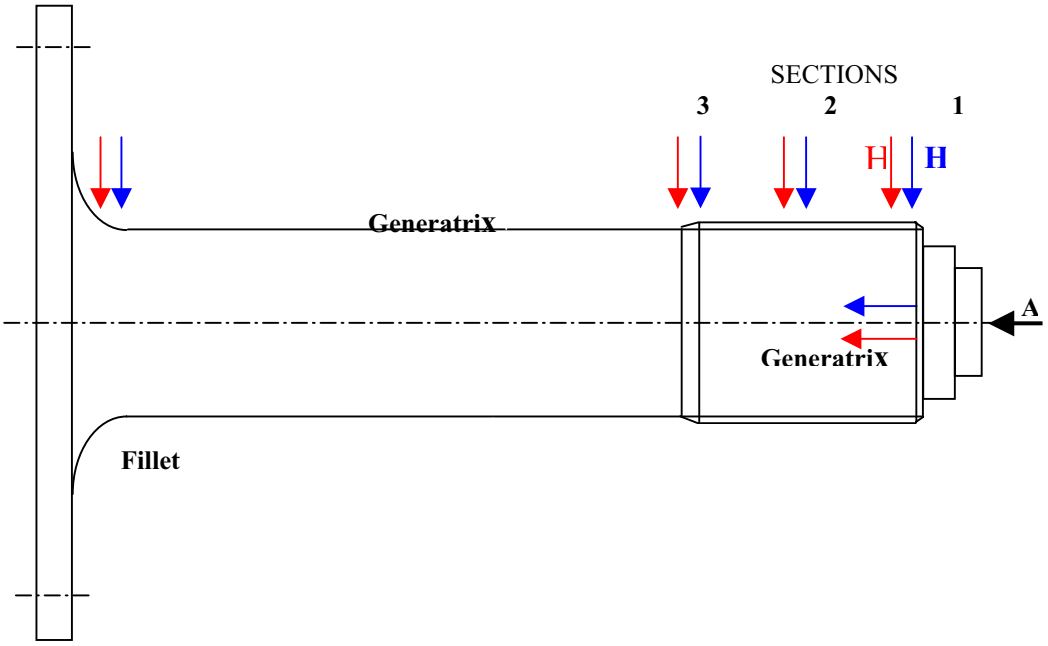


Fig. 8. Scheme of shaft sections inspection by the metal magnetic memory method.

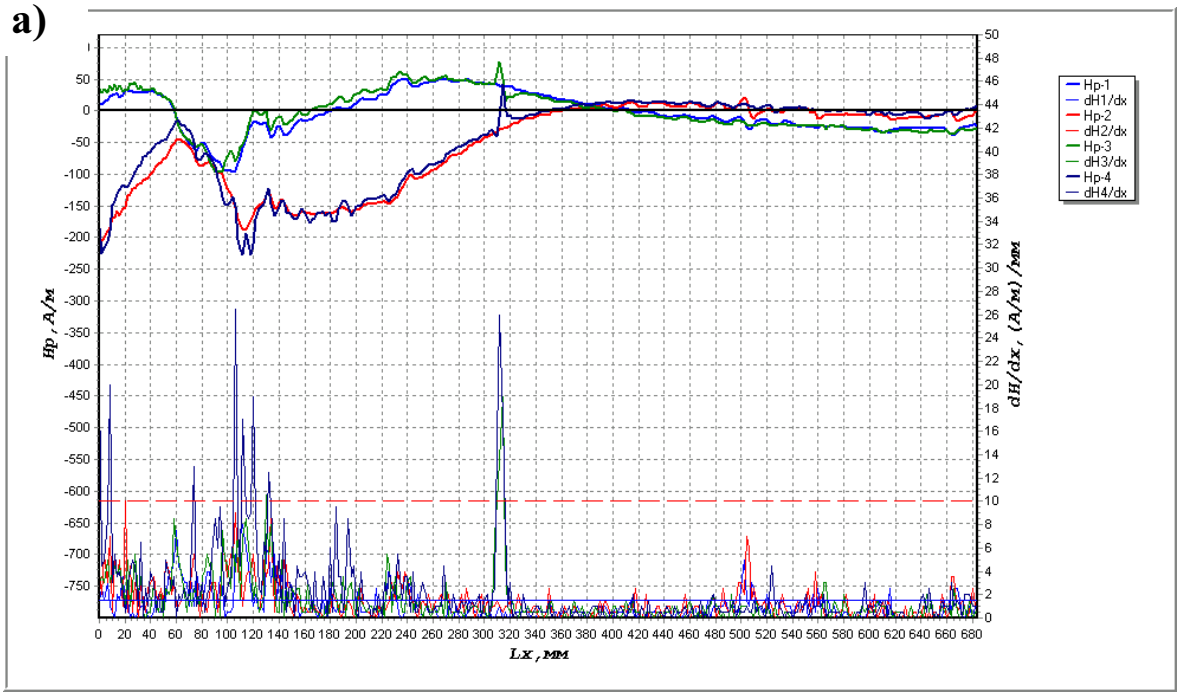
It is recommended to perform metal surface grinding and to repeat inspection on these shafts in SC zones detected by the MMM method. Grinding should be carried out before the time the magnetic anomalies disappear in SC zones. If after grinding in SC zones geometrical shaft dimensions are within acceptable limits, such shafts may be admitted for further operation.

Shafts, on which maximum field gradient values of $dH_p/dx \leq 10 \times 10^3$ (A/m^2) were recorded at inspection in SC zones, are referred to the group of shafts with satisfactory state and may be admitted to further operation.

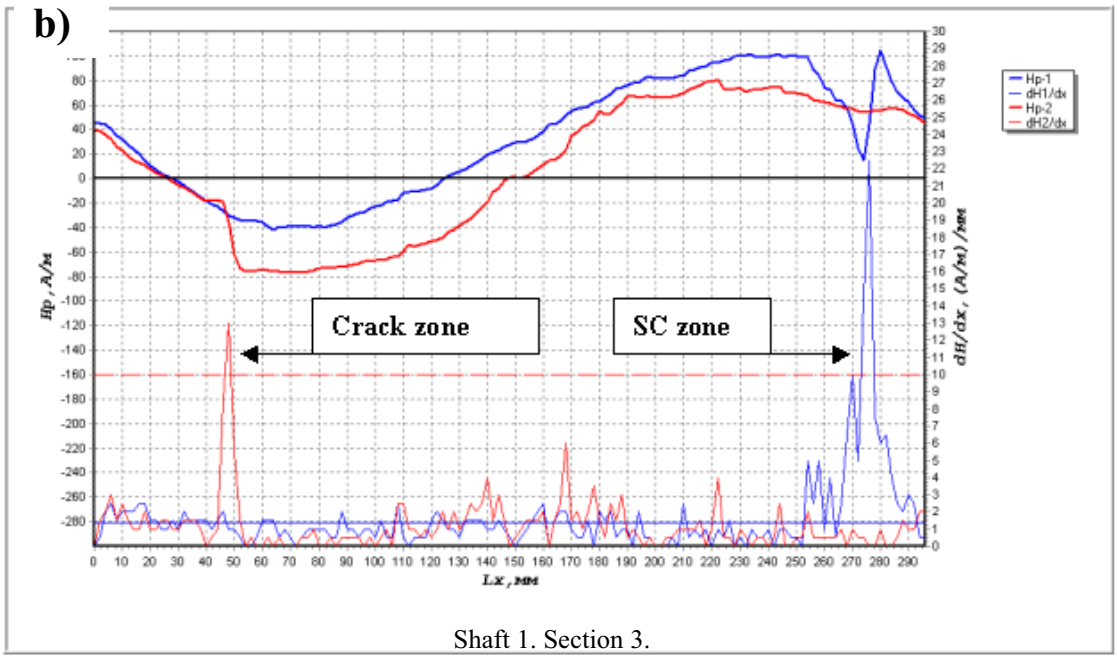
Note: On shafts with artificial magnetization (the H_p magnetic field on the shaft butt-end is greater than 1000 *A/m*) the acceptable values of the field gradient (dH_p/dx) are, as a rule, large. The limiting values of the field gradient for such shafts are established experimentally based on the inspection results statistics set.

Fig.9*a* shows inspection results by the MMM method of a drive shaft with a satisfactory state in section 3. Fig.9*b* shows the shaft inspection results with crack propagation starting in section 3, in the area of transition from splines to the shaft base metal. It is seen in Fig.9*b* that in the propagating crack area the field gradient value approaches 13×10^3 (A/m^2). And a SC zones with the field gradient value of 23×10^3 (A/m^2) was detected at a distance of ~210 mm along the shaft perimeter in section 3. At lengthwise scanning along the two diametrically opposite shaft generatrixes SC zones with the field gradient value of 26×10^3 (A/m^2) were detected on this shaft at a distance of 310 мм from the end (see Fig.*10a*). At lengthwise shaft scanning, i.e. perpendicular to the crack, the field gradient value in the crack zone approaches $28 \times 10^3 (A/m^2)$.

This shaft cannot be admitted for further operation and is subject to replacement.



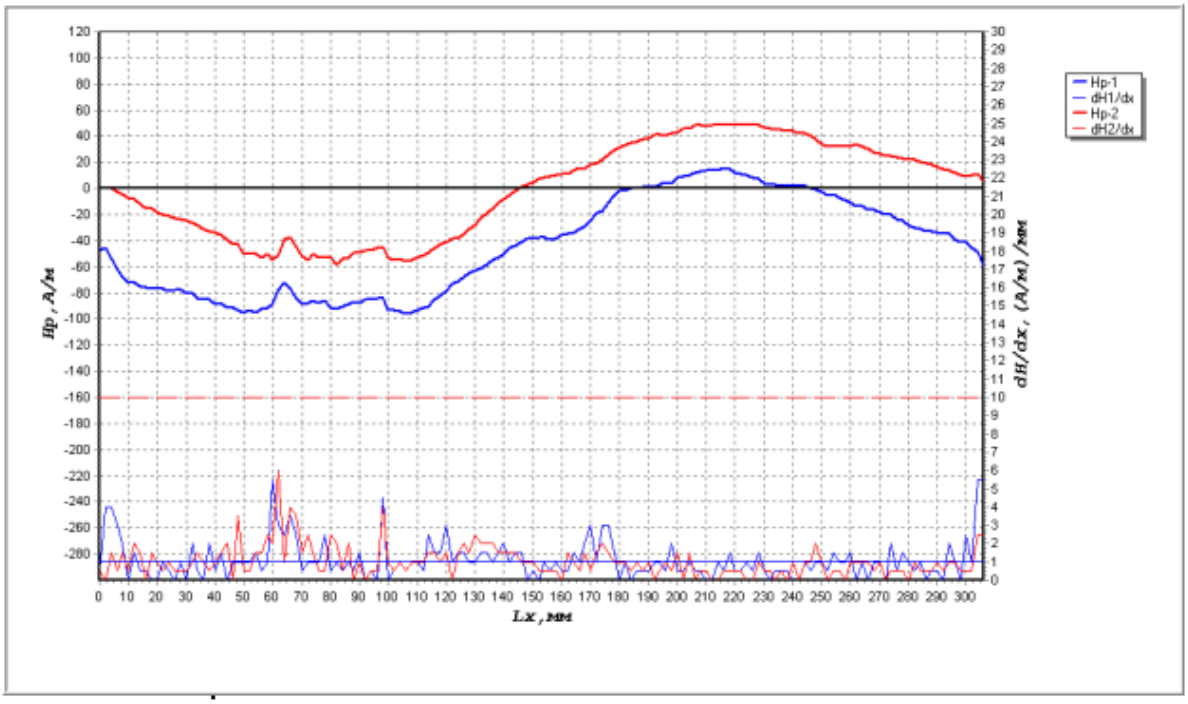
H_p field distribution along the shaft generatrix.



Shaft 1. Section 3.

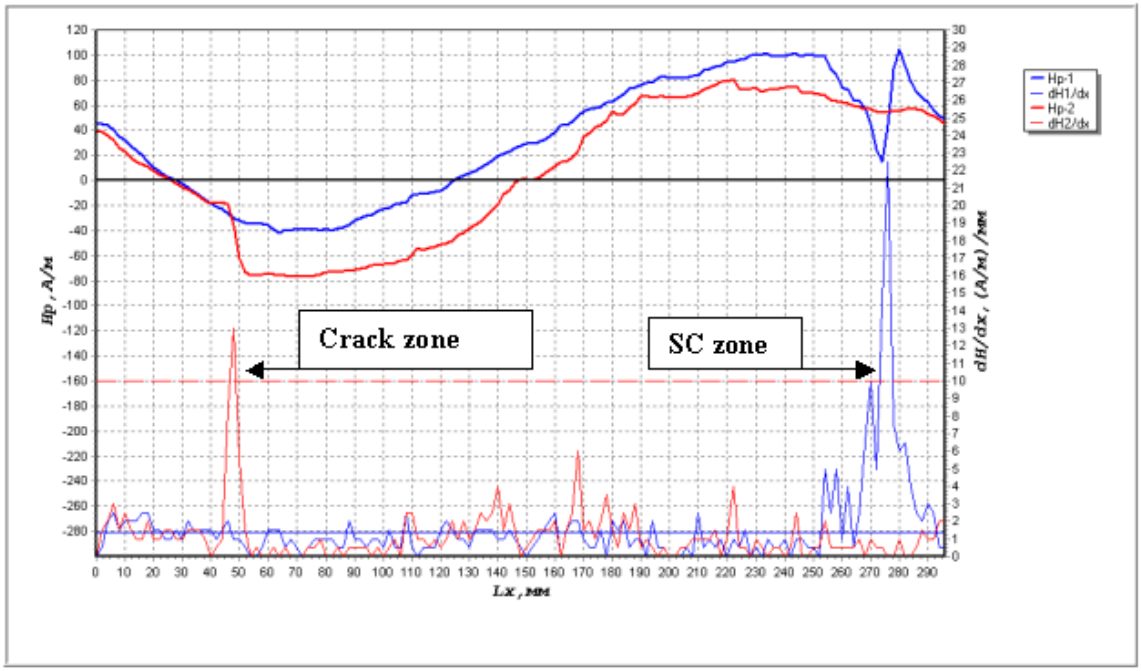
H_p field distribution in the section 3 of the shaft

Fig. 10. Results of inspection by the MMM method of a shaft with a developing crack



Shaft 5. Section 3.

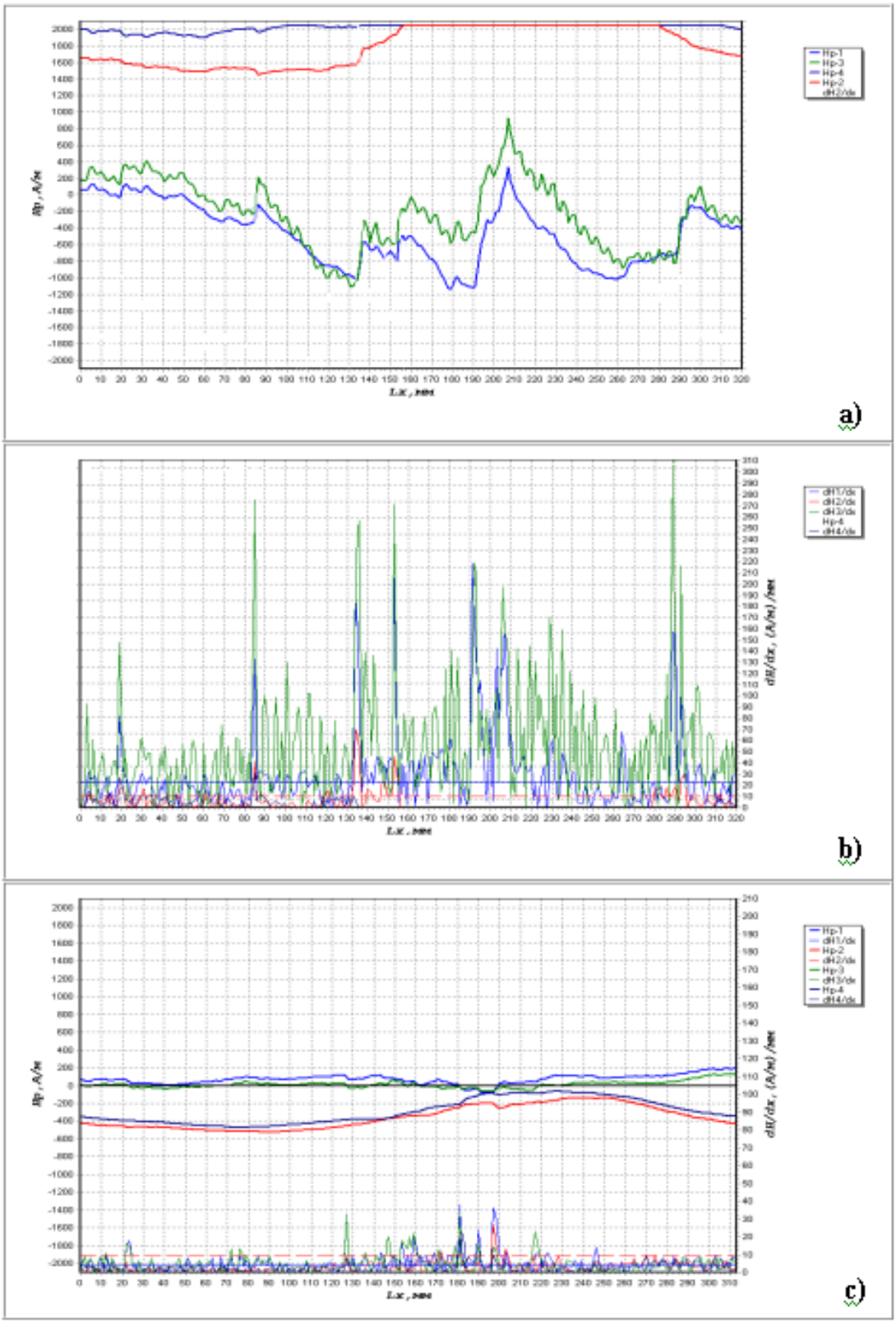
Fig. 9*a* Results of inspection by the MMM method of a shaft in a satisfactory condition



Shaft 1. Section 3.

Fig. 9*b* Results of inspection by the MMM method of a shaft with a developing crack.

Fig.*11a* and *11b* shows the results of a drive shaft inspection in section 3 with a repair deposition at Novosibirsk Electric Locomotive repair Plant. Fig.*11c* shows for the sake of comparison the results of a similar shaft inspection in section 3 without deposition.



1 H_p field gradient distribution

Fig. 11. Results of inspection by the MMM method along the shaft perimeter with a repair deposit (a, b) and of a deposit-free shaft (c)

Fig.11 demonstrates an abruptly different shaft state in splines area. It is obvious that after splines deposition high residual stresses remain causing in operating conditions the accelerated shafts failure. It should be noted that till date there are no methods of residual stresses inspection suitable for wide practical application at machine-building and repair plants. In this connection it is recommended to use the MMM method for solution of this problem. Express inspection by the MMM method can be carried out after performing deposition on drive shafts, and shafts with high level of residual stresses should not be admitted for operation.

4.4. The technique for railway motor spline junctions inspection.

Photo 4 shows the picture of one of the splines. Fig.12 shows the scheme of gear wheel splines inspection using a four-channel scanning device. The direction of scanning at inspection of mating part splines is indicated with arrows in Fig.13. At inspection on measurement channel (sensor) is installed on the pin and another – into the slot. At a four-channel measurement scheme two pins and two slots may be simultaneously inspected. Thus, all slots and pins of the same spline are sequentially, and then all pins and slots of a drive motor mating spline are inspected in a similar way. Zones with maximum values of the field gradient *(dH_p/dx)* are recorded at inspection on each pin and of the field gradient $(\Delta H_p / \Delta b)$ between the two adjacent measurement channels (pin-slot), where Δb - is the base distance between the two measurement channels (sensors) set in the menu at the TSC-1M instrument at adjustment. These areas are marked with paint or a soft-tip pen on a specific pin surface of a specific spline junction.

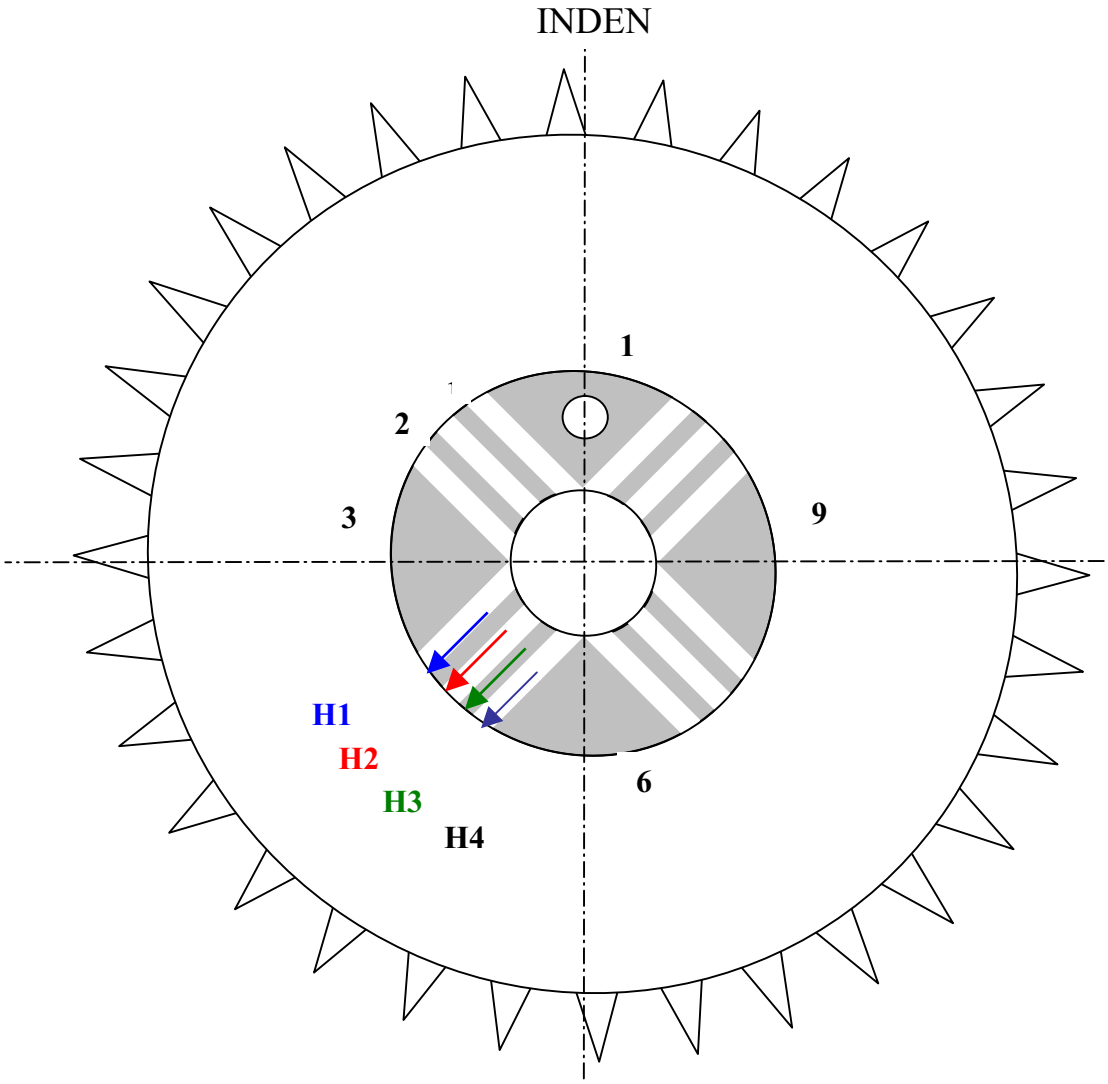


Fig. 12 Scheme of spline joints inspection on a wheel

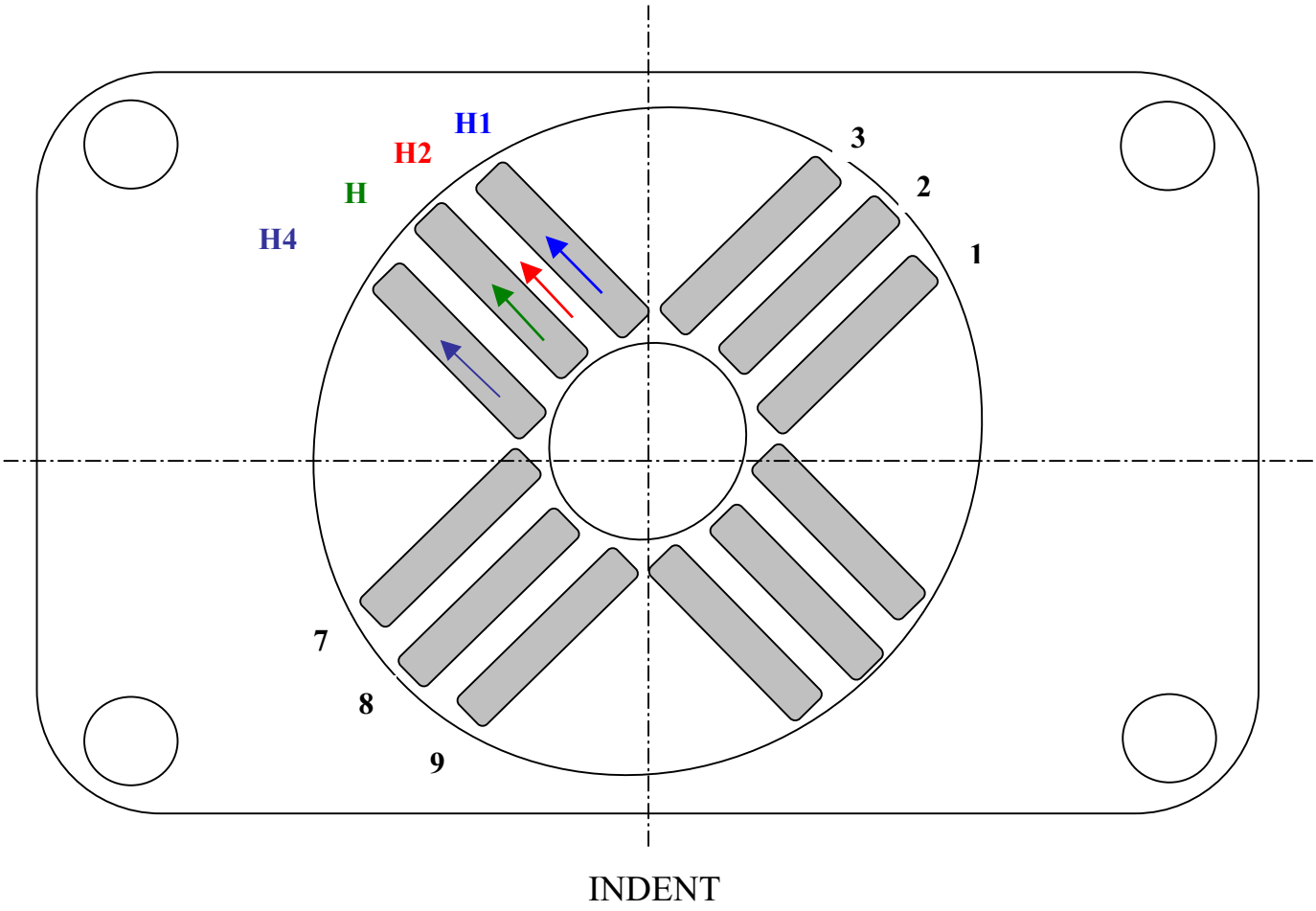


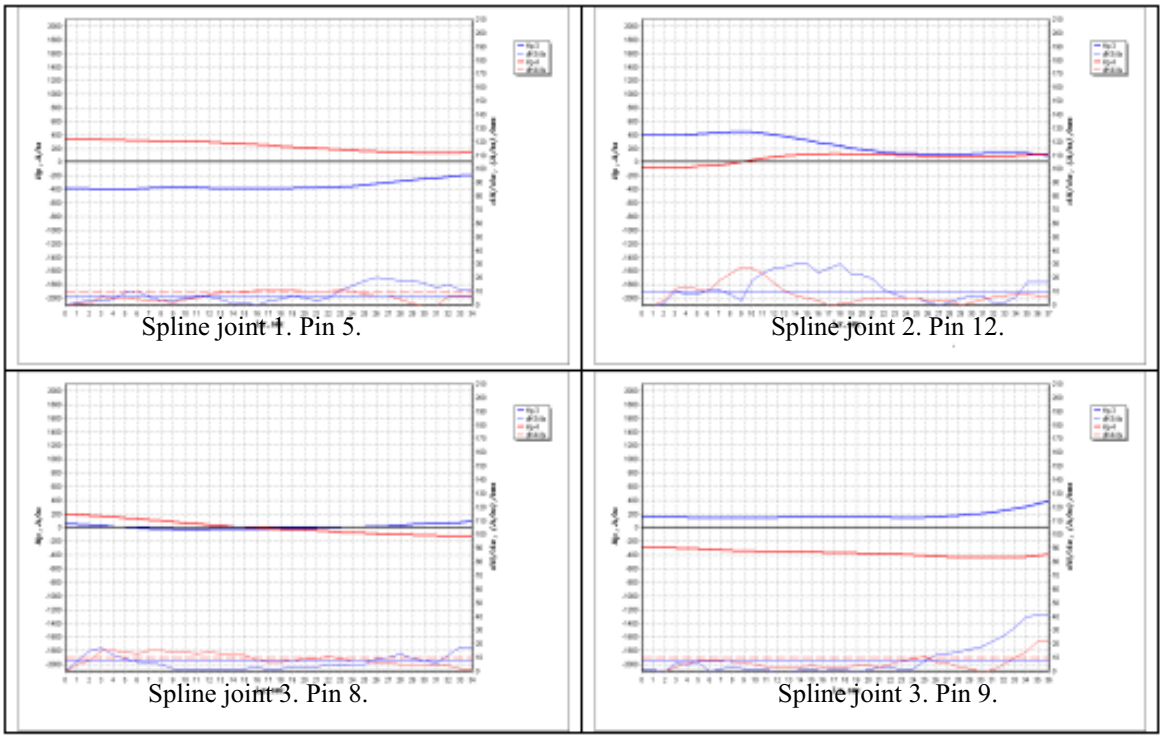
Fig. 13 Scheme of spline joints inspection on a counterpart

Spline junctions, on which field gradient values of $dH_p/dx \geq 300\text{-}400\times10^3$ (A/m^2) on individual pins or filed gradient (pin-slot) at a based distance Δb values of $(\Delta H_p / \Delta b) \geq 200\text{-}300\times10^3$ (A/m^2) were recorded at inspection, are marked with a special symbol, sorted separately and referred to the shaft group subject to repairs. On pins and slots of spline junctions in areas of maximum gradient values it is recommended to perform metal surface grinding and to repeat inspection. Grinding should be carried out before the time the magnetic anomalies disappear in SC zones. If after grinding of individual pins and slots geometrical shaft dimensions are within acceptable limits, such shafts may be admitted for further operation.

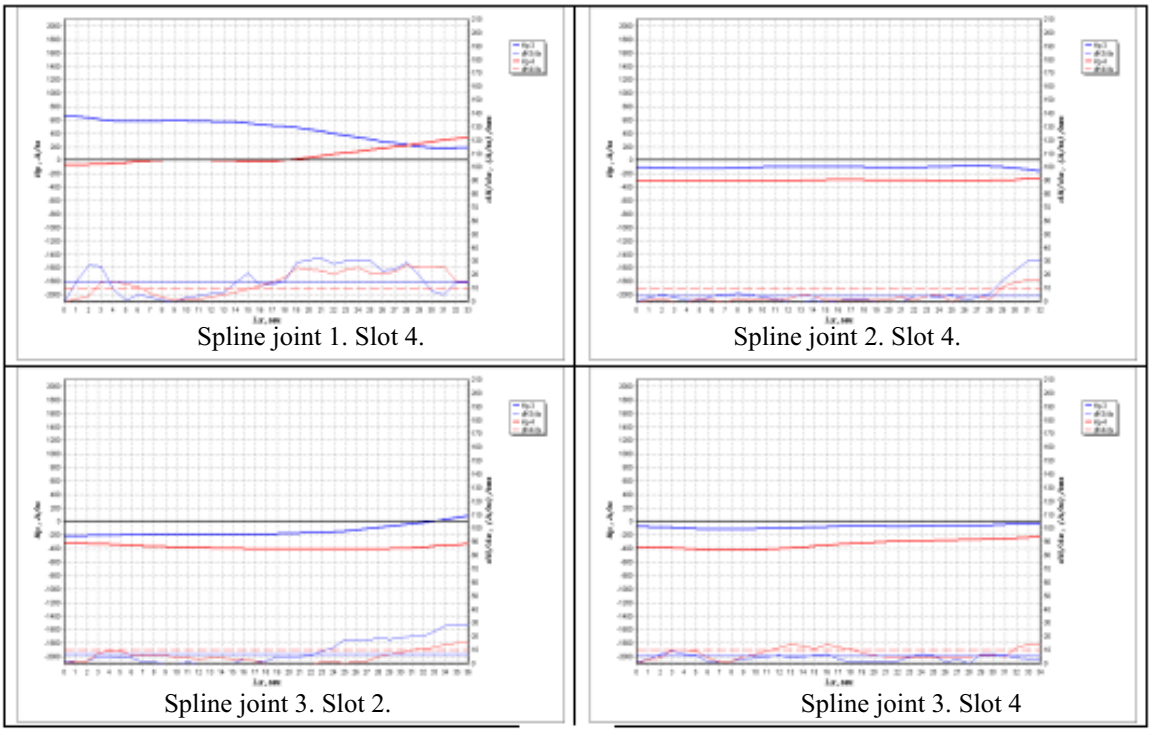
Spline junctions, on which at pins and slots inspection the recorded field gradient values by each measurement channel and at a base distance between the adjacent measurement channels (pin-slot) did not exceed the above indicated limiting values, are referred to the group of shafts with satisfactory state and may be admitted to further operation.

Note: On spline junctions with high artificial magnetization (the H_p magnetic field on pins shaft butt-ends is greater than 1000 A/m) the acceptable values of the field gradient $(dH_p/dx$ and $\Delta H_p / \Delta b)$, are, as a rule, large (3-5 times greater than the field gradients values at natural magnetization). The limiting values of field gradients for such spline junctions are established experimentally based on the inspection results statistics set.

Fig.14 shows inspection results of individual pins and slots of a spline junction in a satisfactory state. Fig.15 shows inspection results of individual pins and slots of a spline junction with field gradient values by individual pins exceeding the above-indicated limiting values.

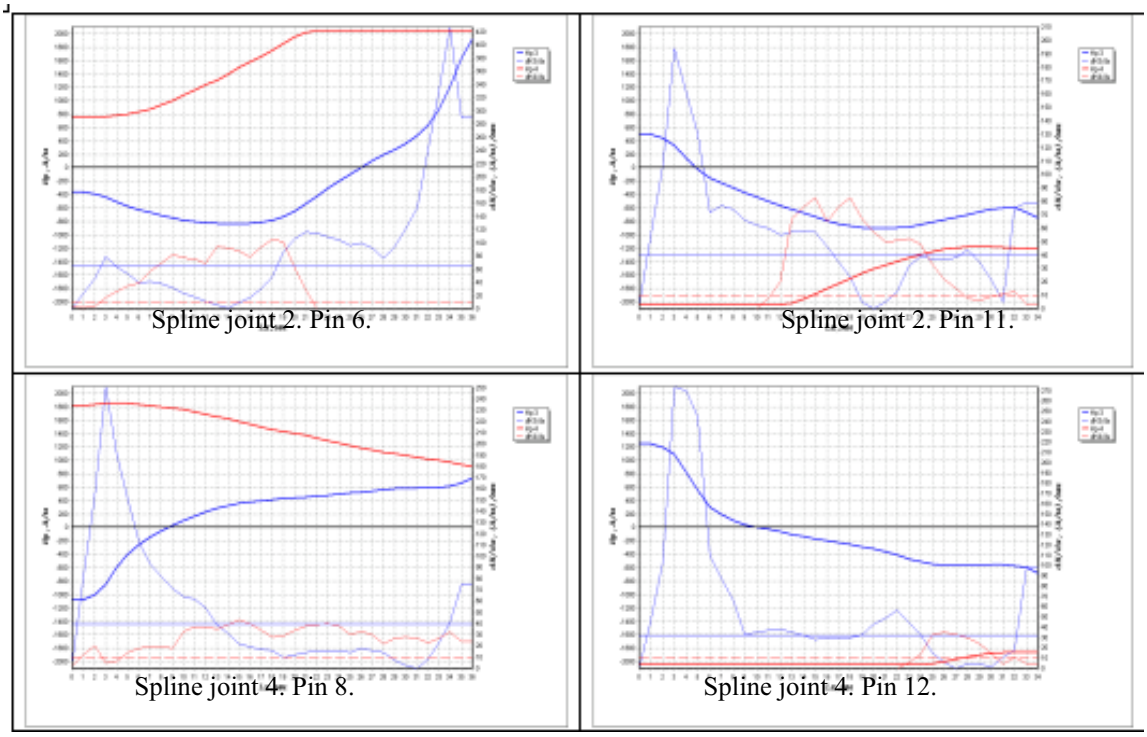


Pins.

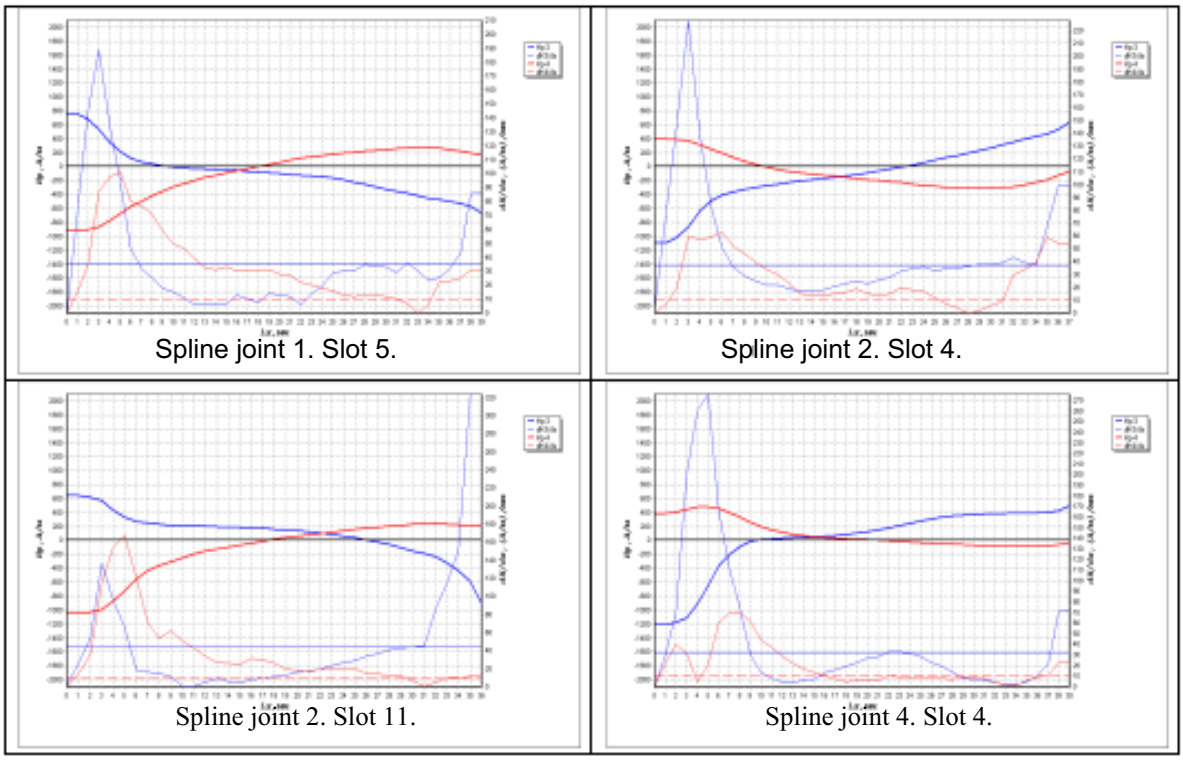


Slots.

Fig. 14. Inspection results of individual pins and slots of spline joints on a wheel being in a satisfactory state



Pins.



Slots.

Fig. 15. Inspection results of individual pins and slots of spline joints with maximum values of the H_p field gradient

5. REGISTRATION OF INSPECTION RESULTS

5.1. Appendix 2 gives the form of the Report on MMM-inspection results. Results of inspection by other methods are written as separate reports. Results of all carried out measurements are written as a Conclusion supplemented by parts logbooks.
The Conclusion shall indicate:
- inspection scope;
- description of inspection results with indication of SCZs in the part logbook;
- conclusions and measures on parts reliability assurance.

5.2. Specialists and Heads of organization performing inspection are responsible for quality and authenticity of works on parts inspection. The Conclusion is signed by work executors and by the laboratory or Technical Control Division manager.

6. QUALIFICATION OF SPECIALISTS

6.1 Obtaining of reliable results at carrying out pipes magnetic inspection depends to a great extent on experts qualification and experience.
Persons trained specially in metal magnetic memory method with certification by Level I and II at "Energodiagnostika" Certification and Training Center (Moscow) are admitted to carry out inspection.

6.2 Persons having knowledge of "CS" electric locomotives Repair Rules" (CT/4015) are admitted to carry out inspection.

6.3 Qualified HPS engineering staff of the maintenance company conducts general supervision of works on electric locomotive parts diagnostics. Expert certified by Qualification Level II signs the conclusion on MMM-inspection results.

7. SAFETY

7.1 Persons involved in electric locomotive parts inspection should know and observe safety rules established for employees of this enterprise.

7.2 Prior to access to magnetic inspection, all persons involved in the work should pass an appropriate safety instruction with signing in a special log.

Characteristics of magnetic instruments designed and manufactured by "Energodiagnostika" Co. Ltd.

Table 1.

Instrument name	Type of indication	Magnetic field Hp intensity measurement range, A/m	Instrument designation	Power supply	Overall dimensions	Weight, kg
TSC-1M tester of stress нconcentration-system for measurement, recording and peocessing of equipment's stress-strained state using the method of metal magnetic memory	liquid-crystalline graphic indicator sound signal	±2000	Detection of maximum stress concentration zones	Off-line mode - storage batteries (4x1,2V) orgalvanic elements (4x1,5V) steady-state mode 5-6 V	230x105x40	0,5
TSCM-2FM tester of stress concentration magnetometric	LED digital indicator, sound signal	±1999	Detection of maximum stress concentration zone	Galvanic elements (2x1,5V) or storage batteries (2.x1,2V)	120x60x25	0,3
EMIC-1 (2) electromagnetic indicator of cracks (flaw detector)	LED indicator, sound signal	------	Bdetecting of surface cracks 0,2 mm deep and greater	storage batteries (2.x1,2V),	160x85x30	0,35

GŁÓWNY ORGANIZATOR
Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów
ul. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
tel.: (52) 340-82-83, fax.: (52) 340-82-86
e-mail: kmrip@mail. atr.bydgoszcz.pl
http://wm.atr.bydgoszcz.pl/index.html

STRUKTURA ORGANIZACYJNA KATEDRY

- Zakład Diagnostyki Technicznej
- Zakład Samochodów i Ciągników

BADANIA PODSTAWOWE I STOSOWANE

- Badania dynamiki maszyn
- Badania diagnostyczne maszyn
- Badania niezawodnościowe
- Informatyczne systemy diagnostyczne

OFERTA DLA FIRM

- Doradztwo inwestycyjne i techniczne w zakresie diagnozowania maszyn, pojazdów i ciągników oraz układów hydrauliki maszynowej
- Projektowanie diagnostycznych systemów eksploatacji maszyn
- Powłoki malarskie wykonywane w polu elektrostatycznym
- Filtry i filtracja mediów roboczych w maszynach
- Ekspertyzy w zakresie oceny stanu maszyn, bezpieczeństwa ruchu, wyceny wartości maszyn, przyczyn awarii, jakości maszyn

KURSY DOSKONALĄCE

- Diagnostyka i eksploatacja maszyn
- Walka z drganiami i hałasem
- Systemu jakości w przedsiębiorstwie
- Naprawa i regeneracja maszyn
- Przepisy ruchu drogowego

INDYWIDUALNE STUDIA DOKTORANCKIE W OBSZARZE EKSPLOATACJI MASZYN

W Katedrze pracują samodzielni pracownicy naukowi:
Prof. Czesław CEMPEL, Prof. Bogdan ŻÓŁTOWSKI, Prof. nadzw. Henryk TYLICKI

Wszystkie opublikowane prace w czasopiśmie uzyskały pozytywne recenzje.
Redakcja zastrzega sobie prawo korekty nadesłanych artykułów.
Kolejność umieszczenia prac w czasopiśmie zależy od terminu ich nadesłania i otrzymania ostatecznej, pozytywnej recenzji.
Wytyczne do publikowania w DIAGNOSTYCE można znaleźć na stronie internetowej:
http://www.uwm.edu.pl/wnt/diagnostyka

Redakcja informuje, że istnieje możliwość zamieszczania w DIAGNOSTYCE ogłoszeń i reklam.
Jednocześnie prosimy czytelników o nadsyłanie uwag i propozycji dotyczących formy i treści naszego czasopisma. Zachęcamy również wszystkich do czynnego udziału w jego kształtowaniu poprzez nadsyłanie własnych opracowań związanych z problematyką diagnostyki technicznej. Zwracamy się z prośbą o nadsyłanie informacji o wydanych własnych pracach nt. diagnostyki technicznej oraz innych pracach wartych przeczytania, dostępnych zarówno w kraju jak i zagranicą.