

DIAGNOZA - GENEZA - PROGNOZA => PODSTAWA KAŻDEJ DECYZJI



afiliowane przy

Wydziale Nauk
Technicznych
Polskiej Akademii Nauk

Diagnostyka

ISSN 641-6414



Nr 1(41)/2007

RADA PROGRAMOWA

PRZEWODNICZĄCY:

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

REDAKTOR NACZELNY:

prof. dr hab. inż. **Ryszard MICHAŁSKI** *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

prof. **Wiktor FRID**
Royal Institute of Technology in Stockholm – Szwecja

dr inż. **Tomasz GAŁKA**
Instytut Energetyki w Warszawie

prof. dr hab. inż. **Jan KICIŃSKI**
IMP w Gdańsku

prof. dr hab. inż. **Jerzy KISIŁOWSKI**
Politechnika Warszawska

prof. dr hab. inż. **Daniel KUJAWSKI**
Western Michigan University – USA

prof. dr hab. **Wojciech MOCZULSKI**
Politechnika Śląska

prof. dr hab. inż. **Stanisław NIZIŃSKI**
UWM w Olsztynie

prof. **Vasyl OSADCHUK**
Politechnika Lwowska – Ukraina

prof. dr hab. inż. **Stanisław RADKOWSKI**
Politechnika Warszawska

prof. **Bob RANDALL**
University of South Wales – Australia

prof. dr **Raj B. K. N. RAO**
President COMADEM International – Anglia

prof. **Vasily S. SHEVCHENKO**
BSSR Academy of Sciences Mińsk – Białoruś

prof. **Menad SIDAHMED**
University of Technology Compiegne – Francja

prof. dr hab. inż. **Tadeusz UHL**
AGH w Krakowie

prof. **Vitalijus VOLKOVAS**
Kaunas University – Litwa

prof. dr hab. inż. **Andrzej WILK**
Politechnika Śląska

dr **Gajraj Singh YADAVA**
Indian Institute of Technology – Indie

prof. **Alexandr YAVLENSKY**
Aerospace University Sankt Petersburg – Rosja

prof. dr hab. inż. **Bogdan ŻÓŁTOWSKI**
UTP w Bydgoszczy

Wszystkie opublikowane prace uzyskały pozytywne recenzje wykonane przez niezależnych recenzentów. 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 z badań, innowacji i kształcenia w tych zagadnieniach.

WYDAWCA:

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

REDAKTOR NACZELNY:

prof. dr hab. inż. **Ryszard MICHAŁSKI**

SEKRETARZ REDAKCJI:

dr inż. **Sławomir WIERZBICKI**

CZŁONKOWIE KOMITETU REDAKCYJNEGO:

dr inż. **Krzysztof LIGIER**

dr inż. **Paweł MIKOŁAJCZAK**

ADRES REDAKCJI:

Uniwersytet Warmiński – Mazurski w Olsztynie
Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
10-736 Olsztyn, ul. Oczapowskiego 11
tel.: 089-523-48-11, fax: 089-523-34-63
www.uwm.edu.pl/wnt/diagnostyka
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

NAKLAD: 250 egzemplarzy

Wydanie dofinansowane przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Spis Treści

Nadim OBEID – The University of Jordan, Raj B.K.N. RAO – COMADEM International5 <i>A Step Toward A Universal Theory Of Failure Handling</i>	5
Marek WYLEŻOŁ – Politechnika Śląska15 <i>Reverse Engineering In Applications To Modal Analysis Of Virtual Models</i> <i>Inżynieria odwrotna w zastosowaniu do analizy modalnej modeli wirtualnych</i>	15
Zdzisław H. KLIM – Bombardier Aerospace Montréal, Paweł SZCZEPAŃSKI – WAT Warszawa, Marek BAŁAZIŃSKI – École Polytechnique of Montréal19 <i>Causes And Effects Of Cascading Failures In Aircraft Systems</i> <i>Przyczyny i skutki niezdatności kaskadowych w systemach samolotu</i>	19
Wojciech BATKO, Tomasz KORBIEL – AGH Kraków27 <i>Badania zbrojenia szybowego w oparciu o globalny współczynnik tłumienia</i> <i>Testing Of Shaft Reinforcement Using Global Attenuation Coefficient</i>	27
Marek ZBOIŃSKI – ITWL Warszawa39 <i>Modelowanie i identyfikacja wpływu kontaminacji cieczy roboczej na trwałość instalacji</i> <i>hydraulicznych statków powietrznych</i> <i>Modelling And Evaluation Of Effects Of Working Liquid's Contamination Upon Aircraft Hydraulic</i> <i>Units' Life</i>	39
Tomasz BURNOS – Akademia Morska w Szczecinie45 <i>Wpływ obciążenia chwilowego na proces diagnozowania agregatów typu ster strumieniowy</i> <i>The Impact Of Temporary Load On Thruster Condition Monitoring Process</i>	45
Zbigniew DAMIJAN – AGH Kraków49 <i>Badanie wpływu niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) na wybrane</i> <i>parametry elektrofizjologiczne organizmu</i> <i>The Effects Of Low-Frequency Magnetic Field ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) Exposure On Selected</i> <i>Physiological Parameters Of Human Body</i>	49
Zbigniew DAMIJAN – AGH Kraków55 <i>Badanie wpływu ekspozycji niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego ($f=7$ Hz, $B=330$ nT)</i> <i>na czynność bioelektryczną serca</i> <i>The Effects Of Low-Frequency Magnetic Filed Exposure ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) On The Level</i> <i>Of Bioelectric Activity Of Human Heart</i>	55
Stanisław Janusz CIEŚLAKOWSKI – Politechnika Radomska61 <i>Diagnozowanie bezpieczeństwa wagonów kolejowych w systemach rozrządzenia grawitacyjnego</i> <i>Diagnostics Of Rail Carriage Safety In Gravitational Marshalling Systems</i>	61
Michał HANZEL, Wojciech MOCZULSKI – Politechnika Śląska81 <i>System diagnostyki małych silników prądu stałego z wykorzystaniem metody identyfikacji</i> <i>System Of Diagnostics Of Small DC Motors With The Usage Of Identification Method</i>	81
Józef GRZYBOWSKI, Tomasz ROGALSKI, Paweł RZUCIDŁO – Politechnika Rzeszowska75 <i>Pokładowy system rejestracji PSR-04E</i> <i>On-Board Data Acquisition System PSR-04E</i>	75
Andrzej PUCHALSKI – Politechnika Radomska81 <i>Monitoring pokładowy mechatronicznych układów bezpieczeństwa pojazdu. Tendencje</i> <i>Monitoring Of Motor Vehicle's Mechatronic Safety Systems. Trends</i>	81
Piotr BIELAWSKI – Akademia Morska w Szczecinie85 <i>Model zarządzania obsługiwaniem maszyn okrętowych systemów napędowych</i> <i>The Model Of Maintenance Management Of Machines Of Ship Propulsion Systems</i>	85

Walter BARTELMUS, Radosław ZIMROZ, Wojciech SAWICKI – Politechnika Wroclawska	91
<i>Wpływ zmiennych warunków eksploatacji na proces oceny stanu przekładni planetarnych w układach napędowych koła czerpakowego koparek kołowych</i>	
<i>Influence Of Operational Condition To Diagnostic Process Of Planetary Gearbox In Driving System Used In Bucket Wheel Excavator</i>	
Eugeniusz GRUDZIŃSKI – Politechnika Wroclawska, Witalij NICZOGA, Ivan PRUDYUS – Politechnika Lwowska	101
<i>Diagnostowanie i monitoring struktur promieniujących pod kątem zagrożeń stwarzanych dla aparatury i ludzi</i>	
<i>Diagnostics And Monitoring Of Radiating Sources Regarding Hazards For People And Equipment</i>	
Warto przeczytać	110

A STEP TOWARD A UNIVERSAL THEORY OF FAILURE HANDLING

Nadim OBEID*, Raj B. K. N. RAO**

*Department of Computer Information Systems, King Abdullah School for Information Technology,
The University of Jordan, JORDAN

**COMADEM International, 307 Tiverton Road, Selly Oak, Birmingham B29 6DA, UK

Summary

We explore, in this paper, some of the fundamental requirements needed for a Universal Theory of Failure Handling. We shall show that dealing with failure touches on our reasoning, predictive, evaluative and judgmental capabilities and thus it requires the ability to reason with incomplete and uncertain temporal information. It also requires reasoning with events before they even happen and about the effect of actions for as long as these are relevant, even if the available time does not permit. There may also be a need for reasoning about the reasoning process itself. We shall discuss the notion of failure with respect to decision-making and knowledge. We give a very brief presentation of Dorner's logic of failure and research into artificial intelligence and its implication for handling failures. We shall propose means of computing the degrees of failure induced by humans and in physical systems. In addition, we shall initiate a discussion on reasoning with failures and put forward a proposal for an integrative and proactive approach to monitoring, diagnosis and learning from failures.

Keywords: logic, failure, reasoning, decision-making, learning, diagnosis, monitoring, time, event, nonmonotonic.

1. INTRODUCTION

Failure seems to be a fact of life and almost every human endeavor (whether it is in business, politics, medical, defence, science, engineering, technology and management) has its way cemented by layers of failures (Rao (2006)). It is everyone's ultimate goal to minimize the effect(s) of failure and to avoid, if at all possible. This phenomenon is shared by every discipline and/or every field of study and the patterns of behaviour to avoid or counter the effects of failure are quite similar. In addition to understanding a system, dealing with failure touches on our reasoning, predictive, evaluative and judgmental capabilities. It requires the ability to reason:

1. With *incomplete* and *uncertain* temporal information.
2. With events *before* they even happen.
3. About the *effect* of actions for as long as these are *relevant* and even if the available time does not permit.
4. About the *reasoning* process.

We aim, in this paper, to explore some of the requirements needed for a Universal Theory of Failure Handling. Section 2 is concerned with the notion of failure with respect to decision-making and knowledge. In section 3 we present a brief review of Dorner's logic of failure. Section 4 is concerned with research in artificial Intelligence and its implication for failure handling. In sections 5 and 6 we propose

means of computing the degrees of failure by humans and in physical systems respectively. In section 7 we discuss the notion of reasoning failure. In section 8 we put forward a proposal for an integrative and proactive approach to monitoring, diagnosis and learning from failures.

2. FAILURE WITH RESPECT TO DECISION-MAKING AND KNOWLEDGE

A *decision* is a choice of an action from a set of alternative actions. Despite its long history and the interdisciplinary interest in this topical area, decision theory has nothing to say about the *nature* of actions and *how* they may become available. One of the key issues that must be properly tackled is *what* makes a good decision. They are formally characterized as actions that maximize *expected utility*. This view presumes that every action is associated with some outcome(s) and it is the responsibility of the decision maker to decide the nature of the outcome. However, there is some doubt about the validity of the utility-based approach regarding the possibility of estimating the outcome of actions (especially over *long periods* of time) (cf. Hare (1963)). There are many complex situations/scenarios that require the reasoner to have the ability to formulate decisions in *unforeseen* circumstances and to change the assumptions that underlie decisions. The adequacy of the required information is decided by the criteria of *preference* employed by the decision maker. Decisions that satisfy the conditions of ideal *rationality* may not have the *opportunity* to be made.

This is partly because, even with coherent preferences, it may take longer than permitted to obtain the relevant information or to decide what is reasonable. Thus, decisions may have to be made with *incomplete* information. Furthermore, information not vindicated by the preference criteria may not be considered even if it is relevant to the decision(s).

Practical reasoning is a complicated process. Human-based systems have theories or *perceptions* of the world, learn *new* information which may lead them to *update* their theories, make decisions using the *acquired* knowledge, have definite *goals* and *intentions*, and may act based on *some* of the decisions. It is important to note that each of these steps is *susceptible* to failure. The world-view may be false. Even if *beliefs* are true, decisions may be *inappropriate* and action may fail. Any of these 'failure modes' can have a contributory role in a causal chain leading to a failure.

Failure occurs even in simple mundane tasks. The reasons for failure are numerous. Some of these reasons, just to mention a few, are:

1. Failure to *check* the appropriate information before acting.
2. Failure to check the *availability* of resources before a plan is carried out.
3. Making (inaccurate) *assumptions* and not *re-evaluating* their *validity* before acting.
4. Failure to consider other equally viable *alternatives*.
5. Failure to check for the correct order of a *sequence* of actions.

In complex situations and dealing with large complex systems, the tendency of *losing* sight/control is even greater. Some of the characteristics of decision-making in complex systems/situations are:

1. A failure in a complex system may not be *detectable* for long periods.
2. Complex systems/situations are *difficult* to evaluate.
3. A complex system can fail in numerous ways (*multicausal*).
4. The mode of failure of a complex system/situation is not easily *predictable*.
5. The crucial variables in a complex system/situation are not easily *identifiable*.
6. The more complex the system/situation, the greater is the possibility of *unexpected* failure.
7. Sometimes ideas are expressed *poorly* or are so *complicated* that those outside the group fail to *challenge* it because they may be seen as 'stupid' for not *understanding* it in the first place.
8. An *incorrect* assumption leads to incorrect *conclusion* or decision. In many situations, incomplete or misleading information may even

become the norm. Assuming a piece of evidence just to force the conclusion to fit the facts is seldom correct. This only results in more accumulated failures or in 'passing the buck' to wrong individuals.

9. Most industrial accidents result either from human *behaviour*, such as bypassing safety devices or failing to ensure that a machine is in a safe state before entering a hazardous zone, or from 'systematic failures', such as incorrect selection of safety devices. In some situations humans can be the worst of the worst.
10. The more the world grows '*nano*', the more the challenge becomes '*macro*'.
11. To understand the *root causes* of failure, it is important to comprehend the underlying *reasoning* and *decision-making* processes and why they sometimes fail miserably. The processes depend to a large degree on certain, correct and complete information and knowledge. However, *certainty* and *correctness* of information may need to be established and new knowledge may have to be discovered, generated and disseminated.

Reasoning and decision-making are closely associated with the gathering of the unbiased data and with the principles of accessing, manipulating and continuously evaluating intelligently different alternatives in order to choose the most appropriate for a given situation. Logic of different kinds is needed in order to correctly evaluate and manipulate information and knowledge. Logic is the ability, which allows us to generate knowledge from information. Development of *meta-diagnosis* through *meta-knowledge* will pave the way to successfully deal with failures.

3. THE LOGIC OF FAILURE

Dorner (1997) concluded that more often than not, humans completely fail to effectively manage complex systems. He states that:

1. Due to the slowness of our processing of conscious thought, we tend to make *shortcuts* in our decision-making (e.g. act before we have clearly defined what our goal is, or collected the required information).
2. We tend to *oversimplify* our models of complex systems by focusing only on one or two *key* variables and underestimating the importance of other interacting factors.
3. We are poor in *analyzing* and *forecasting* based on sequences of data in time. We tend to assume linear extrapolation of trends. We cannot cope well with accelerating or decelerating *changes*.

4. We tend to see new situations as simply *extensions of old*, established situations, and therefore apply old, established actions, which may not be appropriate.
5. We tend to *ignore* the possibility that actions we take now may have unintended side-effects, and may cause problems that currently do not exist.
6. We make "*ballistic*" decisions, where we do not monitor the outcomes of those decisions after we have made them.
7. We only act if we feel competent to do so. Without some expectation of success, we are likely to not act at all.
8. We form *simple hypotheses* and *limit* the search for information in order to preserve our own self-perception of competence.
9. We, sometimes, pursue planning, information gathering and structuring processes that go on interminably as a defense against the possibility that we are incompetent. This may keep us from making contact with the reality that our actions are not working.
10. We, sometimes and for self-protection, only solve those problems that we know we can solve, despite the fact that those may not be the most important or pressing problems.
11. We are not particularly effective at recalling past information and events, which can lead to us to repeat past and inappropriate decisions.

In more details, humans developed a tendency to deal with problems on an *ad hoc* basis (cf. P6): we fail because we tend to make a small mistake here, a small mistake there, and these mistakes add up (cf. p.7). He asserts that failure develops gradually according to its own logic. People court failure in predictable ways (cf. P.10) such as:

1. Acting without *prior analysis* of situations.
2. Failing to anticipate *side effects* and *long-term* repercussions.
3. Assuming the *absence* of immediately obvious negative effects means that the *correct* measures have been taken.
4. Being *blinded* to emerging needs and situational changes by *over-involvement*.

Dorner distinguishes between good decision-makers and poor decision-makers (cf p. 21). Good decision-makers have the following attributes:

1. They are more *sensitive* to subtle changes and act upon them more *aggressively*.
2. Their decisions take different aspects of the *entire* system into account, not just one aspect (cf. p.22).
3. They are more interested in the *causal* links behind events.
4. They often reflect on their own *behaviors*, make efforts to modify and structure them.

He cites the following as contributing to the faulty logic of decision-makers:

- a) The tendency of a group of experts to reinforce one another's conviction that they are doing everything right (pp. 33-34).
- b) We must often make do with tentative solutions because time-pressure forces us to act before we can gather complete information or outline a comprehensive plan. (p. 40).
- c) Planners and decision makers may have no direct access, or indeed no access at all, to information about the situation they must address. (p. 40).

He defines a "system" as "a network of many variables in causal relationships to one another." (p. 73) He suggests that it is "wise when correcting a deficiency to consider it within the context of its system" and "considering the system ... means recognizing the different ways the variables can affect one another ". Among the categories into which he groups such interrelationships are *feedback* (positive and negative), *buffering*, and *critical versus indicator variables*.

He describes large bureaucratic organizations as well-buffered systems. The intricacies of their structures are well suited to negative feedback, and they are reflective of general goals that are widely shared. Thus, bureaucracies are well positioned to continue consuming resources even though they may be poorly structured to address the objectives underlying the generalized goals.

Regarding the incompleteness of information *needed to make a rational choice*, he seems to implicitly propose resorting to record events, as they happen in time, which can be communicated/revisited to reduce uncertainty. He also emphasizes the need to deal with changes over time with prediction of how they may extend into the future, taking into account additional contingencies. He warns us of excessive planning and information gathering as they keep us from making contact with reality where we will not know whether or not our measures are working.

Ultimately, he suggests, "There is only one thing that does in fact matter, and that is the development of our common sense." (p. 198) Yet, in contradiction to that assertion, he reiterates: "Temporal configurations ... often seem beyond common sense. ... we do not give adequate attention to the characteristics of processes that unroll over time. (cf. p. 198).

4. ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) RESEARCH AND FAILURE

Dorner seems to emphasize analysis and proper decision-making. The areas that closely capture the spirit of Dorner's suggestion in Artificial Intelligence (AI) are planning and reasoning about actions and changes. It is important to note that at least one area of research in AI, namely reasoning with incomplete information, is based on a notion that failure and progress was hampered by failure.

A classical representation of an AI planning problem is as follows: an agent, in an initial situation/state, has available a set of actions where an action can be viewed as a partial function that transforms a state into another and it is only operative on a state if its preconditions (a set of conditions) are satisfied. A planning problem then becomes a search for a series of realistic actions that successively transform the initial state, S_0 , into a goal state, S_G . Given a state S , the change is driven by the performance of actions such as, e , to result in a new state, S_1 , if, e , is operative on S .

There is a need to formalize *commonsense* reasoning. The best that AI workers could provide, so far, is formalizing micro-worlds that represent limited domains of knowledge and reasoning (cf. (Davis (1991), Genesereth and Nilsson (1987))).

To check whether a plan has been successful, there is a need to check if the goal holds in the final state. This requires *predictive* reasoning: the ability to infer what may hold in later states that result from the performance of selected actions given the information about the initial/earlier states.

In addition to issues such as incomplete information, multiple agents, and continuous change, some of the problems associated with the formalization of action and change that are of interest to AI are: The Frame Problem, The Qualification Problem and the Ramification Problem.

4.1. The Frame Problem

The core of the frame problem is this: in any complex situation, there is a need to have to properly *frame* the problem in order to achieve a solution. This means identifying what is relevant and what is not, and determining the relevant information/knowledge needed to reach a solution. However, a proper framing of a problem requires a deep understanding of it.

For AI, the frame problem is the formalization of *inertial* reasoning; inferring what does not change when performing an action. Unlike many technically interesting problems that emerged in AI, it has attracted the interest of philosophers (cf. Pylyshyn (1987), Ford and Pylyshyn (1996)). It is open-ended, and can depend on a wide variety of circumstances. The purely logical Frame Problem can be solved using monotonic logic by simply writing explicit axioms (which may be infinite) stating what does

not change when an action is performed. The non-monotonic solutions, which are based on **failure**, treat inertia as a default; changes are assumed to occur only if there is some special reason for them to occur. Absence of change is inferred when an action is performed unless a reason for the change can be found in the action axioms.

4.2. The Qualification Problem

It arises generally in connection with the formalization of commonsense generalizations. Typically, these involve exceptions, which may iterate endlessly. In a sense, this problem is addressed somehow by the non-monotonic logic systems by allowing commonsense generalizations to be formulated as defaults: the initial generalization can be stated as an axiom and qualifications can be added incrementally in the form of further axioms. It is important to note that not every non-monotonic logic provides adequate mechanisms for qualification. Default logic, for instance, does not give the intuitively desired conclusions.

Several aspects of the Qualification Problem remain challenging research problems in AI. For instance, no distinction is made between actions that cannot be attempted (probably because they are known to fail or unrealistic) and those that can be attempted, may fail. With the latter type of actions, those that may fail, we may need to reason about failure and its consequences. There is a need for a theory that can account for the ways in which actions (and plans that contain them) may fail.

4.3. The Ramification Problem

It is essentially to formalize the indirect consequences of actions, where "indirect" effects, which are not delayed but are temporally immediate and causally derivative. It is closely related to the Frame Problem (cf. Thielscher (1989, 1996, 2000) and Giunchiglia, Kartha and Lifschitz (1997)).

4.4. The Need for Explicit Causal Information

Hanks and McDermott (1987) showed that the existing systems of nonmonotonic logic (cf Reiter (1980), McCarthy (1982)) were unable to give the right solution to the Yale shooting problem. Indeed, this example and other simpler examples (cf. Pearl (1988), Lifschitz (1990), Lin and Reiter (1994)) illustrated the need to include explicitly causal information in the input to defeasible reasoning.

Our knowledge of a situation is usually partial. Causal relations are no exceptions. It is, thus, difficult to conclusively confirm whether or not two arbitrarily selected facts are causally related. It seems that we usually apply a principle like Occam's razor: we assume that two facts are not causally related unless we have strong positive evidence that suggests otherwise. Thus, we may use a defeasible implication, that may fail sometimes, to capture causal relations.

5. HUMAN INDUCED FAILURES

Human beings seem to have the ability to solve complex problems. Such capability was more appreciated by the AI community when the attempt was, and still being made to capture such skills and expertise in automated intelligent systems.

The key for human success seems to lie in their innate ability to intelligently perceive, learn and reorganize their strategies and problem-solving heuristics. Saying that, we are admitting that failure is at the essence of such a process and it is unavoidably necessary to prevent failure in similar (complex) situations, where using analogical reasoning could be beneficial. However, given a novel complex situation and sufficient time pressure, it would be, according to the frame problem, highly unlikely for a single human being to identify the relevant features in time.

Such a statement is partly confirmed by Dorner's work. Looking at Dorner's logic without reference to, or justification as to why, humans behave as they do with regard to failure, we may conclude that some of the reasoning for failure are as follows:

1. Time pressure and process limitation may encourage us to act before we have clearly defined what the goal(s) is, or collected the required information.
2. Inappropriate modeling of complex systems.
3. Inability to identify new situations.
4. Underestimating the positive impact of an integrated monitoring and diagnostic system.
5. Underestimating the positive impact of recording past information, cases and events.
6. Underestimating the positive impact that learning could have on the reasoning process ability.
7. Inadequate use of a comprehensive theory of time and change to reason with.
8. Underestimating the frame, qualification and ramification problems.
9. Lack of culture and discipline leads to error-prone society.

Decision-making should possess adequate information together with the knowledge and experience required for evaluation and comparison. If not, it engages in search for appropriate information and required knowledge to carry out the process. However, extensive search will slow down the whole process to the point where it could be pointless. In other words, appropriately stored (and indexed) information and experience will facilitate the process of decision-making. The expectation is that the outcome of the process is the best conclusion that can be reached based on the available information. However, there may be difficulties and obstacles, which they somehow correspond to the reasons cited above, in reaching the best conclusion, such as:

- a) Time pressure and/or the need to act before the required information, knowledge and experience are determined.
- b) Incompleteness, incorrectness and/or uncertainty of information to be acted upon.
- c) Limited reasoning ability to understand (complex) interactions between the different components of a system/situation and inability to make a proper manipulation and evaluation of information and/or the possible alternatives.
- d) Lack of experience: not monitoring events and keeping records of previous encountered situations. This corresponds to (4) and (5) mentioned above.
- e) Only react when conditions reach an alarming point: there is not much consideration of the health of the components and/or interactions between the different components unless abnormality is exhibited through the conditions being monitored.

Avoiding failure in complex situations boils down to addressing those problems in the following way:

Let DHF = Degree of Human Failure

IK = Degree of Insufficiency of Knowledge (e.g., incompleteness, uncertainty, inaccuracy).

TP = Time Pressure (e.g., in the sense that the issue has not been given adequate Consideration)

LRA = Degree of the Limitation of Reasoning Ability.

LE = Lack of Experience.

TBI = Tardiness before Interference.

$$\text{HDF} = \text{IK} * \text{TP} * \text{LRA} * \text{LE} * \text{TBI}$$

6. FAILURES IN PHYSICAL SYSTEMS

Humans play an essential role in systems failure, which seem to fail for reasons that are quite compatible with those of systems. However, compared with systems and given time, they always have an alternative solution or view on the problem whereas a system may have choices limited by the encoded knowledge.

Most operational systems are developed to realize a certain functionality. Thus, the approach can be roughly divided into the following phases: (1) Analysis where (functional and non-functional) requirements are determined; (2) Design whose outcome is an appropriate model that guarantees that the objectives of the system can be realized; and finally (3) the actual development where the model is materialized into the operational system. The approach is model-based; experiential knowledge regarding the system functionality and the interactions between the different components hardly comes into play.

Failure, in physical systems, is the responsibility of the systems developer/engineer whose role is to build systems, following an agreed specification that performs its intended functions throughout its operational life without fail. All systems, however, ultimately fail to perform its intended functions during its operational life at some stage. However, we may attempt to reduce the negative impact of failure and use it in a beneficial way as an opportunity for learning and understanding more about the system.

The primary causes of failures in physical devices can be ascribed to:

1. Incorrect assumptions, due to the incompleteness of knowledge, with regard to system requirements.
2. Lack of knowledge of/about the function of the device being operated versus its design. The different components that constitute the system may not properly be integrated.
3. Faulty design/structure. Different components that constitute the system are not properly integrated to achieve its functionality. Control may not be appropriate. Encoded knowledge is incomplete, incorrect and/or inappropriate.
4. Incorrect operations/user error: Poor estimation of the effect of some behavior or maneuvering of the device.
5. Lack of knowledge about appropriate maintenance time and procedure. This may result in material deterioration/failures.
6. Inappropriate conditions/environment and poor fit between systems and its environment.

Let DD = Design defect.

IK = Degree of Insufficiency of Knowledge encoded in the system (e.g., incompleteness, uncertainty, inaccuracy).

HF = Human Factor .

Ig = Degree of Ignorance (e.g., in the sense that the issue has not been under consideration).

W = Degree of Wear.

DOF = Degree of Failure.

$$DOF = DD * IK * HF * Ig * W.$$

7. REASONING WITH FAILURE

The previous two sections show, nearly in full agreement with Dorner, that the causes of most failures whether it be human or physical can be traced back to:

1. Insufficiency of available knowledge (e.g., incompleteness, uncertainty, inaccuracy) and its proper management.
2. Time Pressure (e.g., in the sense that the issue has not given adequate consideration).
3. Natural wear and tear (aging).
4. Construction/design defects.

5. Technological/Manufacturing defects.
6. Defects due to improper use (poor maintenance).
7. Defects due to variations in the usage.
8. Limitations in reasoning ability.

There is quite an abundant literature that covers the above from various disciplines. However, little attention has been paid to the reasoning process and the possibility of its failure.

7.1. Towards Formalization of Practical Reasoning Processes

Practical reasoning processes involve many aspects such as determining reasoning goals, drawing inferences, making assumptions and evaluating alternatives. Furthermore, observations and/or tests that validate assumptions, decisions such as which reasoning goal to pursue and/or which assumptions to make, are basic component of a reasoning process. However, it is important to note that representation, knowledge and reasoning are entangled. It is, thus, not a straightforward matter to draw the line clearly between a failure and its associated cause(s) due to:

1. *Lack* of knowledge and/or misunderstanding.
2. *Misrepresentation* an/or inappropriate, characterization.
3. *Reasoning*.

It is quite reasonable to take the view that knowledge of a situation include:

1. Deep understanding and appropriate characterization: specifying its type, critical conditions that must be maintained etc.
2. *Manipulative* ability of desired actions together, with their preconditions and effects.
3. *Meta* reasoning and meta knowledge.
4. *Competencies*, which determine how well tasks are performed.

One way of formalizing the reasoning process would be to specify at each step:

- The rule that has been employed.
- Its justification (.g., the knowledge that has been employed).
- Its direct effects (e.g., the knowledge that has been created , what formulae, rules, and/or decisions have been enabled/disabled by the application of the rule, and so on).

A semantic account of the reasoning process can be given in terms of labeled transition systems.

A transition system is a pair:

$$T = \langle S, E \rangle.$$

Where:

S - is a non-empty set of reasoning states,

E - is a non-empty set of rules/events/actions (transitions) which act on S.

With every rule/event/action, $e \in E$, there is a transition, τ_e , such that $\tau_e(s) = t$, if the event/action, e , can transform the state, s , into the state, t .

In addition, a set S_0 of initial states can be specified.

Let AP be a fixed set of atomic propositions. Every state, $s \in S$, is assigned as a label the set of atomic propositions from AP that are true at s , i.e.,

$$L: S \rightarrow 2^{AP}$$

$$L(s) = \{A: A \text{ is true in } S\}.$$

The idea is that the atomic propositions (or what is hidden in them) describe adequately a reasoning state, including the values of all important variables and conditions.

Definition 7.1. A path (trace, history, execution), σ , in a transition system, $T = \langle S, E \rangle$, is a sequence of states and events/actions which transform every state into its successor:

$$\sigma = S_0 \rightarrow_{e_0} S_1 \rightarrow_{e_1} \rightarrow_{e_2} S_2 \dots$$

A path reflects a reasoning behavior regarding a goal.

7.2. Monitoring and Diagnosis of Reasoning Failure

It seems difficult to draw clearly the line between failures that are due to lack of knowledge, inappropriate use of knowledge and reasoning failure. In the same way that a system, which has the ability to learn has an advantage over a similar system that does not have such abilities. Also, a system that is not capable of monitoring and adapting its reasoning processes may be disadvantaged. Reasoning failures may mistakenly be considered knowledge failure. Furthermore, the system may not be able to predict and/or handle changes in its processes and/or environment and thus, incapable of adapting its knowledge and/or its reasoning to deal with the new circumstances.

In large and complex systems, there is a need to monitor the reasoning process and check its validity, and the validity of the consequences of decisions and to check their degree of conformity with what actually is expected. With the help of a diagnostic system and a meta-reasoning predictive ability of the reasoning process, we shall be able to determine whether a fault has occurred and how it could be corrected.

To be able to successfully carry out the process of detecting reasoning failure, there is a need for a description, in one form or another, of the expected reasoning behavior of the system. For instance, if the reasoning process is described in terms of rules, there will be a need for expectations, which may vary in their degree of generality and scope, about the effect of applying these rules such as: If this

reasoning rules is applied, the value(s) which is (are) produced will satisfy so and so conditions. A fault would then result from a mismatch between the expected behavior and the actual behavior. However, the system needs to identify which expectations are currently relevant to the reasoning process.

It is important to make a clear distinction between expectation failures and reasoning failures. An expectation failure is usually caused by the occurrence of an event, which was not predicted by the system. It may be the result of a reasoning failure, if knowledge about the unexpected event occurrence was within the scope of the system's knowledge and the system could have planned for such an event.

Once the system has detected an expectation failure, it must be able to determine what point in the reasoning process the detected failure was created. This task is quite difficult, because there is no guarantee that the system will detect every reasoning failure at the instant it occurs.

8. MONITORING, DIAGNOSIS AND LEARNING FROM FAILURES

Most modern complex systems (such as AI systems) are increasingly knowledge-rich, dynamic and able to make decisions in complex and real-life environment. To be successful and to continue to be useful, these systems must be adaptable to the situations with which they have to deal, able to **meta-reason** about their reasoning processes, and to learn from their experiences. This is because, in addition to the complexity of the domains and the incompleteness of the knowledge encoded in these systems, it is not possible to predict the situations and many uncontrolled variables, which the system will have to deal with and the information required to deal with each of those situations.

It seems difficult drawing clearly the line between failures that are due to lack of knowledge, inappropriate use of knowledge and reasoning failure. In the same way that a system, which has the ability to learn has an advantage over a similar system that does not have such abilities. Also, a system that is not capable of monitoring and adapting its reasoning processes may be disadvantaged. Reasoning failures may mistakenly be considered knowledge failure. Furthermore, the system may not be able to predict and/or handle changes in its processes and/or environment and thus, incapable of adapting its knowledge and/or its reasoning to deal with the new circumstances.

Machine Learning (ML) systems (e.g., (Mitchell (1997))) are concerned with enhancing a system ability. However, they do not interfere with the reasoning processes, which are employed in manipulating a system's knowledge.

Obeid, Salah and Rao (2006) suggests that an enterprise/large system needs to properly manage its knowledge in order to achieve successful management of its assets, react appropriately to external demands, cope with the need for change and decide when to initiate change. They propose that to be effective, Condition Monitoring, Diagnostics and Assessment (CM-D-A) should be integral components of the Knowledge Management (KM) activity in an ongoing adaptive learning process.

In fact, it is not sufficient to detect, understand the reasons and how to recover from a failure. There is a need to employ meta-reasoning in order to learn from the failure and avoid future failures.

It has been argued in Obeid and Rao (2005) that there is a need for a finite-past temporal formalism to explain the cause of failure in a physical system, which may be due the occurrence of some unexpected event(s).

It has also been proposed (cf. Obeid and Rao (2002; 2004; 2005)) that reasoning with diagnostic temporal knowledge requires a formalism that:

1. *employs* an explicit representation of time and events;
2. *embodies* default rules; and
3. *incorporates* a domain description and the rules governing change to ensure that change to a state resulting from the successful occurrence of an event is minimal.

Monitoring and diagnostic knowledge is temporal, incomplete and uncertain. An Integrated Condition Monitoring and Diagnosis (ICMD) system has to work with a model of the system being monitored where the notion of a modeling itself suggests incompleteness and uncertainty. Temporal uncertainty could be exhibited in different forms and in many contexts.

In addition to time, events are associated with causes. An appropriate representation of events, have to go together with by a representation of changes in states, which can be captured by changes in the truth-values of fluents.

The role of an integrated condition monitoring and diagnostic system is exactly to witness that a property fails to hold and to decide on an appropriate action in order to detect the root causes of such unpredictable and chaotic behavior. Condition Monitoring (CM) can be equated with run-time verification, requires the ability to reason about past states. However, there is a need to reason about the future states and all possible paths in order to be able to predict/plan the system's behavior, which require knowledge of the temporal properties that must hold.

However, it is not sufficient to detect, understand the reasons and how to recover from a failure. There is a need to employ meta-reasoning in order to learn from the failure and avoid future failures. Improvement of reasoning processes can

be achieved by continual monitoring and re-evaluation of their performance via the comparison between the actual and expected consequences. The system can adapt to new circumstances by noticing how the old ways of solving problems are inadequate and thus adjust its reasoning and its view of the world.

The laws of human reasoning should be closely related to the real situations as it is happening. The real systems are non-linear, non-stationary, multi-input and multi-output based, dynamic, fuzzy, chaotic and dynamic. As such, real situations are bound by imprecision and uncertainty and non-traditional methods of reasoning must be developed. Humans live in hope and reality. Like success failure is also a reality. As the complexity of human activity increase, uncertainties and poor-decision making confuses human mind, leading to chaos and failures of various degrees. A clear and intimate qualitative and quantitative relationship between human knowledge, set goal and intentions need to be established. This should tell us which course of positive actions to make in order to avoid failure at all costs. Humans are bestowed with innate meta reasoning and meta logic capability. Using this capability and by intelligently blending all the available tools, techniques and on-going developments (fuzzy logic, genetic algorithms, artificial neural networks, expert systems, pattern recognition, machine learning, hypertext, natural languages and high impact technologies), a robust and reliable solution could be found to minimise system's failures.

9. CONCLUSION

In 1973, Dr. Lofti Zadeh stated that "As the complexity of a system increases, our ability to make precise and yet significant statements about its behaviour diminishes until a threshold is reached beyond which precision and significance become almost mutually exclusive characteristics".

We have, in this paper, explored some of the fundamental requirements needed for a Universal Theory of Failure Handling. We have shown that dealing with failure touches on our reasoning, predictive, evaluative and judgmental capabilities and thus it requires the ability to reason:

1. with incomplete and uncertain temporal information;
2. with events before they even happen;
3. about the effect of actions for as long as these are relevant and even if the available time does not permit;
4. about the reasoning process itself.

We have discussed the notion of failure with respect to decision-making and knowledge. We have presented Dorner's logic of failure and research into artificial Intelligence and its implication for handling

failures. We have proposed means of computing the degrees of failure induced by humans and in physical systems.. In addition, we have opened a healthy discussion on reasoning with failures and put forward a proposal for an integrative and proactive approach to monitoring, diagnosis and learning from failures.

10. REFERENCES

- Davis, E., (1991), *Reasoning Common Sense*, San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Dorner D, (1997), *The Logic of Failure: Recognizing and Avoiding Error in Complex Situations*, HarperCollins Publishers.
- Ford, K. M. and Pylyshyn, Z. (eds.), (1996), *The Robot's Dilemma Revisited: The Frame Problem in Artificial Intelligence*, Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Co.
- Genesereth, M. and Nilsson, J., (1987), *Logical Foundations of Artificial Intelligence*, San Mateo, California: Morgan Kaufmann.
- Giunchiglia E., Kartha G. N. and Lifschitz V., (1997), Representing action: Indeterminacy and ramifications, *Artificial Intelligence*, Vol. 95, No. 2, 409-438.
- Hare R. M., (1963), *Freedom and Reason*, Oxford University Press, Oxford.
- Hanks S. and McDermott D., (1987), Nonmonotonic Logic and Temporal Projection, *Artificial Intelligence*, Vol. 33, 379-412.
- Lifschitz V., (1990), Frames in the space of situations, *Artificial Intelligence*, Vol. 46, 365-376.
- Lin, F., and Reiter, R., (1994), State constraints revisited, *Journal of Logic and Computation*, Vol. 4, 655-678.
- McCarthy J., (1982), Circumscription - A Form of Non-Monotonic Reasoning, *Artificial Intelligence*, Vol. 13, 27-39.
- Mitchell T., (1997), *Machine Learning*, McGraw Hill.
- Obeid N. and Rao, B.K.N., (2002), Innovative Trends in Knowledge Based Logical Reasoning in the Field of COMADEM, the Field, *International Journal of Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management (COMADEM)*, Vol. 5, No. 3, 5-13, UK.
- Obeid N. and Rao, B. K. N., (2004), Diagnostic Temporal Reasoning in Model-Based Diagnosis (MBD) of Dynamic System, *International Journal of Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management (COMADEM)*, Vol. 7, No. 1, 13-28, UK.
- Obeid N. and Rao, B. K. N. (2005), Temporal Aspects in Condition Monitoring & Root Cause Failure Diagnosis of Modern Complex Systems, *International Journal of Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management (COMADEM)*, Vol. 8, No. 3, UK.
- Obeid N., Salah I. and Rao, B. K. N. (2006), The Role of Knowledge Management in Diagnosing & Prognosing System's Failures. *Diagnostyka*, No.1 (37), 9 – 16, Poland.
- Pearl J., (1988), *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*, San Mateo, Calif.: Morgan Kaufmann.
- Pylyshyn, Zenon (ed.), (1987), *The Robot's Dilemma: The Frame Problem in Artificial Intelligence*, Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Co.
- Rao, B.K.N. (2006), Toward the Universal Theory of Failure, *International Proceedings of Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management (COMADEM)*, Published by Lulea University of Technology, Sweden. Pp. 85 – 101.
- Thielscher M., (1989), Ramification and causality, *Artificial Intelligence*, Vol. 89, No. 1-2, 317-364.
- Thielscher M., (1996), Causality and the qualification problem, in *KR'96: Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, Luigia Carlucci Aiello, Jon Doyle, and Stuart Shapiro, eds., San Francisco, California: Morgan Kaufmann, 51-62.
- Thielscher M., (2000), Representing the knowledge of a robot, in *KR2000: Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, Anthony G. Cohn, Fausto Giunchiglia, and Bart Selman, eds., San Francisco: Morgan Kaufmann, 109-120.
- Reiter, R., (1980), A logic for default reasoning, *Artificial Intelligence*, Vol. 13, 81-137.
- Zadeh, L.A. (1973). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning, Memorandum ERL-M411, Berkeley, October.



Professor **Nadim OBEID** holds a B.Sc in Mathematics (Lebanese University, 1979) and a B.Sc. in Business Administration (Lebanese University, 1980). He also holds A Postgraduate Diploma (Essex University, 1982), M.Sc. in Computer Studies (Essex University, 1983) and a Ph.D in

Computer Science (Essex University, 1987). In 1986, he joined the EUROTRA project as a Senior Research Officer and then in 1987, he took the post of a Lecturer in the department of Computer Science at Essex University. He took a leave of absence (without salary) from Essex University, in 1996, and became an associate Professor at Princess Sumaya University for Technology in Jordan where he was promoted in 2002 to a professor. In 2004, he joined, as a professor, King Abdullah II School for

Information Technology at the University of Jordan. The areas of research in which he is currently active are: Knowledge Representation, Multi-Agent Systems, Formalisation of Condition Monitoring and Diagnostic Reasoning, Knowledge Management and Logic of Universal Failure. He has been in the program committee of many international conferences. He has published around 20 publications in refereed international journals and more than 30 papers in edited books and refereed international conferences. He is the author of Winner of the Best Paper of the Year Award in the international journal of COMADEM (2001-2002).



Professor Dr. **Raj B. K. N. RAO** PhD, DTech is internationally recognised and respected for pioneering the development of the holistic discipline of Condition Monitoring and Diagnostic Management (COMADEM). His distinguished academic career spans nearly 40 years of

teaching, research and consultancy expertise in the fields of Environmental Engineering, Dynamics and Control and Human Factors in Engineering. He is the Director of COMADEM International and since 1988 he has successfully organised a series of COMADEM International events. He has published a number of refereed technical papers / books / journals / conference proceedings and has supervised and examined numerous doctoral research programmes. He is currently Visiting Professor at a number of Universities including the University of Glamorgan and Vellore Institute of Technology, India.

REVERSE ENGINEERING IN APPLICATIONS TO MODAL ANALYSIS OF VIRTUAL MODELS

Marek WYLEŻOŁ

Silesian University of Technology, Department of Fundamentals of Machinery Design
Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, Poland, e-mail: mwylezol@polsl.pl

Summary

The usage of a physical model as an input to design process is characteristic feature of inverse engineering. This approach is applied in such cases, when shape of a physical model was created inaccurately (in geometrical sense) using manual forming. Using the physical model is not possible to acquire complete knowledge about all the features of a final product (for example: modal values and its shapes). Therefore, surface of the physical model depends of quality of digitalization by 3D scanners. This shape is represented digitally as a cloud of points, depends usually triangularization. The obtained triangular mesh is a base for creation (using special programming tools): first - a surface model and next – a solid (hybrid) model, too. We can define material features for this model. Because of that, we can use the solid model to perform modal analysis, using the finite element method. In this paper the author presents an example of creating a virtual model of rear-view mirror lining and its usage to modal analysis.

Keywords: reverse engineering, virtual models, modal analysis.

INŻYNIERIA ODWROTNA W ZASTOSOWANIU DO ANALIZY MODALNEJ MODELI WIRTUALNYCH

Streszczenie

Cechą charakterystyczną procesu konstruowania realizowanego zgodnie z zasadami inżynierii odwrotnej jest stosowanie modelu fizycznego, jako elementu wejściowego do tego procesu. Podejście takie stosuje się głównie w przypadkach, gdy postać modelu fizycznego zostaje uzyskana w sposób przybliżony (w sensie geometrycznym), zwykle za pomocą ręcznego kształtowania. Dysponując modelem fizycznym niemożliwe jest poznanie takich własności przyszłego wytworu, jak np. parametry drganiowe (w szczególności częstości własne). Dlatego też modele takie poddaje się digitalizacji z użyciem skanerów 3D. Cyfrowa postać powierzchni modelu jest reprezentowana przez chmurę punktów. Chmura punktów podlega zwykle procesowi triangularyzacji. Otrzymana siatka trójkątów jest podstawą do otrzymania (z użyciem specjalnego oprogramowania) modelu powierzchniowego, a następnie bryłowego (hybrydowego). Dla modelu bryłowego możemy zdefiniować cechy tworzywowe. A dzięki temu, może być zastosowany do analizy częstotliwościowej z użyciem metody elementów skończonych. Artykuł dotyczy przykładu wykonania wirtualnego modelu obudowy lusterka wstecznego samochodu oraz wykonania jego analizy modalnej.

Słowa kluczowe: inżynieria odwrotna, modele wirtualne, analiza modalna.

INTRODUCTION

The usage of physical model as an input to design process [2] is a characteristic feature on inverse engineering.

When we have a physical model for disposed, precise determination of a design shape of the final element or its part is difficult or even impossible to unequivocal geometric determination (usually because of manual forming). Moreover, it is also impossible to recognize its features, such as complete geometrical shape, mass, volume or dynamic features (for example modal values).

Therefore, the surfaces of physical models are digitized [3, 5]. The result of digitalization process

is a cloud of points, usually transformed into triangular mesh, mapping shape of model surface.

On a base of such a digital record of the model surface it is possible to create a wireframe model, and next a surface model based on edges [7]. Finally, it is possible to create a solid model [6], using programming tools of CAx system. When we have the solid model we can define a sort of its material.

When we dispossess precise definition of the geometrical shape and material features, we can use the finite element method to recognize for example modes of the virtual model. The sequence of models creation is presented in Fig. 1.

In the stage of modeling this knowledge (about geometric shape and material) is very useful and, for example allows, to modify geometric and material features of the model to ensure effective vibration isolation of the final product.

In this paper the author presents an example of developing virtual model of a rear-view mirror lining (from the digitalization process of physical model, through wireframe, surface until solid model) and its usage to obtain the modal values (as a result of modal analysis using the Finite Element Method).

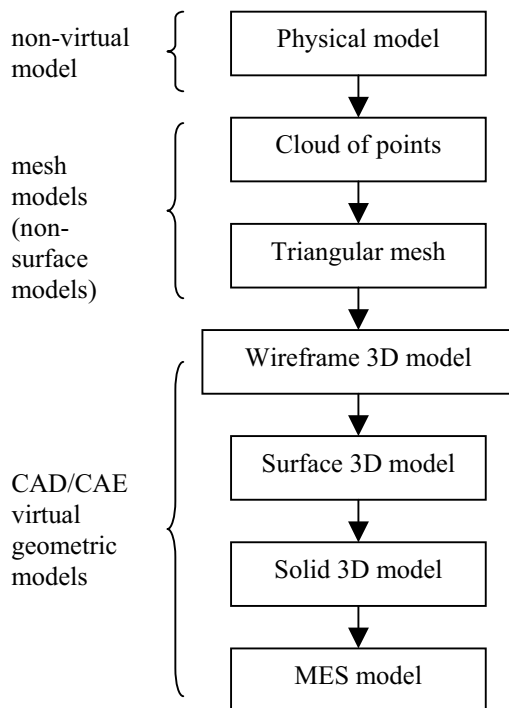


Fig. 1. Sequence of models evolution

1. PHYSICAL MODEL OF A CAR REAR-VIEW MIRROR LINING

The physical model of a rear-view mirror lining was made with ceramic material using manual forming techniques. Its external shape was inaccurate in geometrical sense; it only had an approximate character. The model shape maps only the external features of the surface.

Whereas interior elements of the lining should be modelled during solid model stage.



Fig. 2. Shape of the physical model of the rear-view mirror lining

2. DIGITALIZATION OF PHYSICAL MODEL SURFACE

Following the reverse engineering principles, the surface of the physical model was digitized. An optoelectronic 3D scanner [5] was used to carry out the operation.

A cloud of points was the result of digitalization process (Fig. 3). This cloud of points was transformed into a triangle mesh, as a result of triangularization process. This process was aided by the Mesh3D [5] system, which system controls the 3D scanner performance.

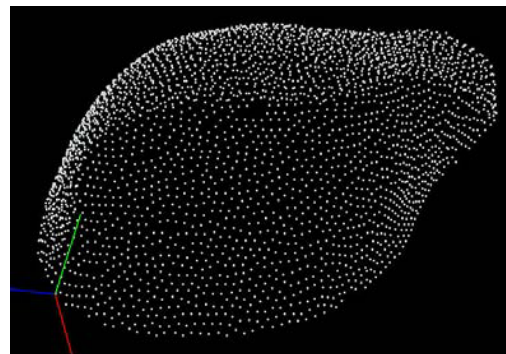


Fig. 3. A cloud of points as a digital model of the rear-view mirror lining

3. SURFACE AND SOLID VIRTUAL 3D MODELS

The model obtained as a result of digitalization process provides an input element to make a wireframe 3D model. The following activities (to obtain wireframe and surface models) were made using tools of two modules of the CAD/CAM/CAE *CATIA v5 r16* [1] system. They are: *Digitizer Shaped Editor* and *Generative Shape Design*.

Making proper activities on triangular mesh of the model we obtained approximate spline curves, creating wireframe model (Fig. 4).

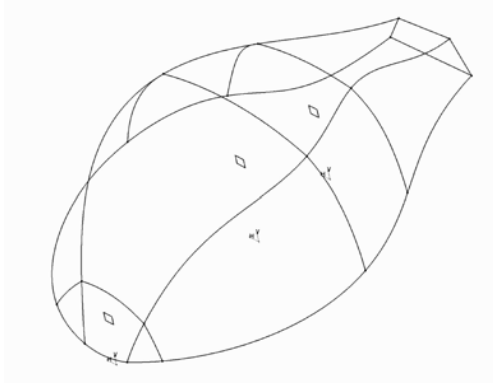


Fig. 4. Wireframe model of the rear-view mirror lining

In the next step using existing edges the fragments of surface were created. This way the wireframe-surface model was obtained (Fig. 5). This model consists of continuous parametrical surfaces of the class continuity G2 [4].

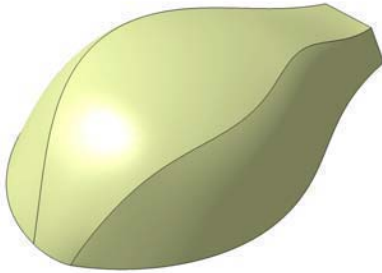


Fig. 5. Surface model of the rear-view mirror lining

The surface model mapped only the shape of exterior surface. Therefore using programming tools of the *Part Design* module [1] we obtained the solid model. This model was developed on constructional elements, situated in interior part of lining of mirror model (for example: strengthen ribs, Fig. 6).

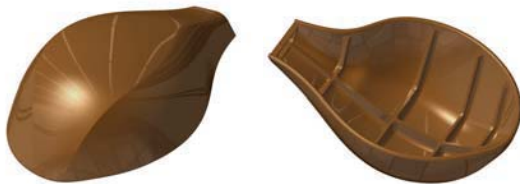


Fig. 6. Final solid model of the rear-view mirror lining (top and bottom views)

Besides, this model has characteristic features of plastic material. These features are necessary to its application in the finite element method to make virtual modal analysis.

4. APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD

The solid model was used as an input element to make modal analysis using the Finite Element Method. This Finite Element Method model and its analysis were made with the use of the *Generative Structural Analysis* module of *CATIA v5 r16* system [1].

Digitization of the model shape was made using tetrahedral line element with maximal side length 2 mm (Fig. 7). As a result we obtained 7272 nodes and 25019 finite elements.

The author assumed, that the lining would be rigid fixed in a place of its attaching to car body (in Fig. 7 we can notice visible constraint symbols of nodes, received of freedom degrees – “Clamp Constrain”).

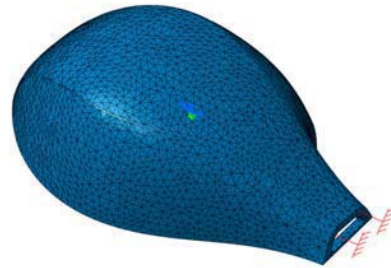


Fig. 7. Shape of Finite Element Model (clamp joint and tetrahedron mesh are visible)

5. OBTAINED RESULTS

The author obtained as a result of computation the values of 10 first low-order modes. Their numerical values were presented on Image Edition window (Fig. 8).

Together with numerical values the system delivers us qualitative information connected with parameters chosen by the user, for example shapes and values of deformations characteristic for own mode (Fig. 9).

Number of modes	Frequency (Hz)
1	143,124
2	163,207
3	540,778
4	665,13
5	1135,73
6	1803,7
7	2261,63
8	2469,35
9	2743,02
10	2798,02

Fig. 8. Numerical values of first ten low-order modes of the Finite Element Model

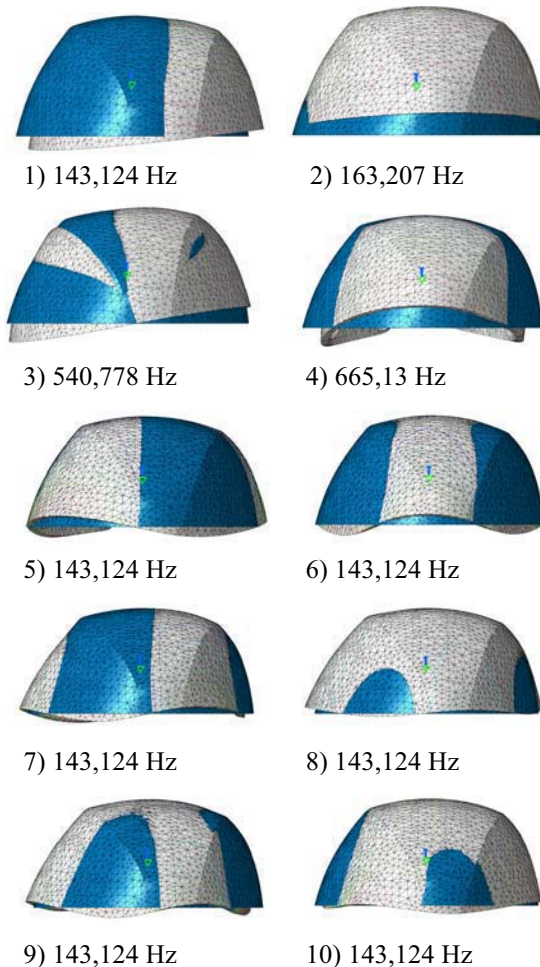


Fig. 9. Front views of first ten low-order mode shapes of the Finite Element Model (dark shape – standard element, grey shape – maximum displacement on each mode)

REFERENCES

- [1] CATIA v5 r16 – *Help Files*
- [2] Dietrych J.: *System and construction* (in Polish), WNT, Warszawa, 1985.
- [3] Chlebus E.: *CAX computer techniques in engineering of production* (in Polish), WNT, Warszawa, 2000.
- [4] Kiciak P.: *Fundamentals of modeling curves and surfaces* (in Polish), WNT, Warszawa, 2000.
- [5] <http://www.smarttech.pl>
- [6] Wyleżoł M.: *Solid modelling in CATIA system. Examples and exercises* (in Polish), HELION, Gliwice, 2002.
- [7] Wyleżoł M.: *CATIA. Fundamentals of surface and hybrid design* (in Polish), HELION, Gliwice, 2003.



Marek WYLEŻOŁ – Assistant Professor at the Department of Fundamentals of Machinery Design, Silesian University of Technology at Gliwice. His research is focused on: CAD and CAM methods and techniques, reverse engineering and machinery designing.

6. SUMMARY

The research carried out so far allows formulating the following conclusions:

- Reverse engineering should be used always in such cases, when it is impossible to unequivocally determine the constructional shape of a final product in the initial stage of the design process.
- Virtual models created on the base of digitalization of physical models allow exact identifying geometric features of the object shape, but their surface shape is not identical to the physical model shape.
- The usage of virtual models in initial stage of the design process makes it possible to forecast (with high precision level) their dynamic features (for example: natural frequencies and corresponding mode shapes). This facilitates determination of proper vibration isolation of the product just in the design process stage.

CAUSES AND EFFECTS OF CASCADING FAILURES IN AIRCRAFT SYSTEMS

Zdzisław H. KLIM*, Paweł SZCZEPAŃSKI**, Marek BAŁAZIŃSKI***
* Bombardier Aerospace, CA, 400 chemin de la Cote-Vertu Ouest,
Montréal, (Québec) H4S 1Y9, Canada, zdzislaw.klim@aero.bombardier.com
** Military University of Technology, Gen. S. Kaliskiego 2 St.,
00-908 Warsaw 49, Poland, pawel.szczepanski@wat.edu.pl
*** École Polytechnique of Montréal, C.P.6079 - succ. « Centre-ville »,
Montréal, (Québec) H3C 3A7, Canada, marek.balazinski@polymtl.ca

Summary

A cascading failure is a particular type of common-mode failure in which a single event, not necessarily hazardous in itself, can precipitate a series of other failures. The basic characteristic of a cascading failure is the propagation of an initial failure effect throughout the entire system or across and between the different systems. A domino effect is a principal characteristic of cascading failures when an initial event, which has little or no adverse effect on the aircraft, is transmitted downstream and one of the subsequent failures generates hazardous effects. Cascading failures are considered “low-probability high-consequence events”. The prediction and analysis of cascading failures are complex due to their random dynamic involving continuous and switching operations that suddenly change the system’s configuration. There are two methods that may be used for the purpose of this analysis: Event Tree Analysis (ETA) and Cause-Mode-Effect Analysis (CMEA).

Keywords: safety analysis, cascading failures, risk assessment, reliability, aircraft.

PRZYCZYNY I SKUTKI NIEZDATNOŚCI KASKADOWYCH W SYSTEMACH SAMOŁOTU

Streszczenie

Niezdatność kaskadowa jest inicjowana przez pojedyncze (niekoniecznie niebezpieczne) zdarzenie, po którym następują inne – tym razem już niebezpieczne w skutkach – zdarzenia. Cechą charakterystyczną niezdatności kaskadowej jest jej propagacja z miejsca jej powstania na bliższe, a następnie na - dalsze i coraz to dalsze otoczenie. Efekt domina jest jej główną właściwością, gdzie skutek jakiegoś niepozornego zdarzenia przekłada się, dajmy na to, na katastrofę lotniczą, kalectwo lub utratę życia czy też jakiś kataklizm ekologiczny. Niezdatność kaskadową postrzega się z jednej strony jako mało prawdopodobną, z drugiej zaś – jako bardzo dotkliwą w swych konsekwencjach. Przewidywanie tych niezdatności jest niezwykle utrudnione z racji ich znacznej przypadkowości, dynamiki i zmian strukturalnych systemu. Analizę niezdatności kaskadowych przedstawiono z wykorzystaniem dwóch metod: Analizy Drzewa Niezdatności (ETA) oraz Analizy Przyczyn i Skutków (CMEA).

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, niezdatności kaskadowe, szacowanie ryzyka, niezawodność, samolot.

1. INTRODUCTION

Some form of “fail-safe” design concept usually achieves the high levels of safety needed from essential aircraft systems, mainly through redundancy and isolation of systems, components and elements. However, this approach can be ineffective due to the possibility of common mode failure or cascading failures that may lead the aircraft into a hazardous situation with an unacceptable probability level.

Of particular concern when assessing failure conditions are cascading failures. A cascading failure is a propagation of equipment outages, one propagating another [1]. A cascading failure is a particular type of common-mode failure in which a single event, not necessarily hazardous in itself,

can precipitate a series of other failures. A cascading failure is not a single point failure or the occurrence of multiple concurrent failures but it is an event in which a component failure in the system/network will induce the failure of other components through normal system dynamics or behavior.

A cascading failure scenario is one in which an initial failure leads to subsequent failures or increases the likelihood of subsequent failures due to direct effects, such as a failed part striking or burning another system element; or due to indirect effects, such as the initial failure increasing the loading on other system elements. Cascading failures are considered “low-probability high-consequence events” [2].

In multi-channel systems the channels usually share the total system loads, so that in the event of a failure of one channel, its load or part of it, will be

shared between the remaining “healthy” channels. This increase in load is likely to produce some increase in the failure rate of the remaining channels. This situation applies to electrical or hydraulic systems, data transfer network or mechanical systems, such as, for example, a flight control system in which two or three actuators share the total load. An increased failure rate of multi-channel systems resulting from additional loading can have a marked effect on the risk of combined failures [3]. The subsequent failure due to an increasing load could be instantaneous or may be delayed by some varying time period. Cascading studies can also be conducted to analyze vulnerability of the system to acts of sabotage [4], [5].

The “classic” cascading failure is characterized by a rapid propagation of failures. However, the cause-effect chain of events, leading ultimately to a hazardous situation, has to be considered, even if the failure propagation is spread over a large period of operation [6]. Moreover, the triggering event may be a permanent or a temporary fault. Therefore, an important attribute of a cascading failure that requires consideration in the analysis is the time factor.

A cascading failure is a progression and generation of equipment outages, one precipitating another. The basic characteristic of a cascading failure is the propagation of an initial failure effect throughout the entire system or across and between the different systems. A domino effect is a principal characteristic of cascading failures when an initial event, which has little or no adverse effect on the aircraft, is transmitted downstream and one of the subsequent failures generates hazardous effects.

Given the kinds of large, interconnected applications that are increasingly deployed in modern, highly complex aircraft systems; the developers should consider the impact of cascading failures and mitigating strategies to address them. The systems that are exposed to cascading failures may have shared resources and/or shared messages, latencies or complex system human-machine interactions. The cascading failures can accelerate out of control, confounding human operators and denying them a chance for recovery. They may also neutralize redundancies, bypass firewalls or designed load paths, and exploit chance circumstances for which no designer could reasonably plan [7].

It is clear that these chains of contingencies are dependent on each other. In addition, several of them may cascade simultaneously. Consequently, the probability of these cascading failures occurring is much higher than the probability of a random (i.e. independent) tripping of k out of N components of the system.

In considering likely failure sequences, one has to take account of the fact that following a series of failures the flight crew will be under increased stress and may be more likely to make mistakes.

Therefore, the crew may contribute to cascading failure propagation by inserting an additional failure.

2. NATURE OF CASCADING FAILURES

2.1. Failure Identification

The prediction of rare events, which are likely to produce cascading failures, is by definition, bound to be very difficult unless previous experience points out the way. However, there are various precautions and techniques, which can considerably reduce the chances of such multiple failures.

The functional segregation of services and the physical separation of the components within the specific aircraft zone may prevent failure propagation or considerably decrease the probability of a cascading failure scenario. The containment of fragments of high-energy devices installed on aircraft in case of a failure and truly redundant (dissimilar) architecture of the system may preclude an initiating of the cascading failure chain. All these precautions and techniques, when correctly applied, result in the development of an in-depth defense strategy at the system and aircraft level against cascading failures. The defense strategy introduces several levels of protection, from a design and operations perspective, in order to preclude the domino effect of cascading failures before it reaches a safety critical point. The approach of minimizing the propagation of failure after the cascade has started is complementary to the usual approach of minimizing the risk of the first few cascading failures [8].

2.2. Characteristic of cascading failures

The nature of cascading failures may vary considerably and it is difficult to provide a common definition or characteristic of such an event that would apply to all possible scenarios. The following list of failure events presents various manifestations generated by cascading failures and highlights the insidiousness of this type of failure.

1. The ejection in flight of the cargo door resulted in the sudden depressurization, which subsequently led to the disruption of the floor structure causing a few passengers and parts of the aircraft to be ejected, rendering one engine inoperative and impairing the flight controls (tails surfaces) so that it would be impossible for the crew to regain control of the aircraft. This sequence of events finally leads to a catastrophe.

First failure: ejection of cargo door due to incorrect door latching

Cascading: between different systems

2. One tire blew out/failed during take-off following by a second tire blew-out. Subsequently, the wheels and brakes assemblies started rubbing the runway surface generating excessive heat. Crew decided for rejected take-off and was using the remaining brakes to stop

the aircraft. This action generated additional heat which coupled with the one created by failed tires originates a fire in the body gear wheels. Due to the initial delay in shutting down engines, which hampered the effective fire fighting, and coupled with a certain lack of coordination and proper deployment of the fire fighting equipment, the fire, originally confined to the body gear, grew into a conflagration and ultimately destroyed the aircraft.

First failure: tire blew-out during take-off

Cascading: between different systems

3. The failure of a joining sections of an air supply duct, causing leakage of hot air which in turn caused multiple failures of essential electrical circuits.

First failure: fracture of air supply duct

Cascading: between different systems

4. The loss of cooling provisions for avionic systems will increase the temperature and failure rate of the equipment ultimately leading to a series of cascading failures.

First failure: loss of cooling

Cascading: between different systems

It is also possible to observe a combination of different types of failure scenarios, for instance, an external event like rotor burst may strike many different components simultaneously and initiate cascading failure scenarios on various systems.

It may be concluded, based on the above discussion, that potential cascading failures should be analyzed in conjunction with a Common Cause Analysis, which includes zonal, particular risk, and common mode analyses, and should be considered as an essential and complementary part of the complete safety assessment at the system and aircraft level [9].

3. PREDICTION AND ANALYSIS OF CASCADING FAILURES

3.1. Issue Description

Predicting the evolution and effects of cascading failures has proven difficult. Some of the reasons for this difficulty are as follows. First, cascading failures are a hybrid phenomena due to their random dynamic involving continuous and switching operations (i.e. a discrete event that suddenly changes the system's configuration). Second, the evolution of any cascading failure depends on the initial condition of the system, and there are many possibilities for these conditions. Third, there are uncertainties in the system response when the initiating event occurs and in the availability of the protective devices. Fourth, the impact of latent failures and the intervention of human operators can completely change the course of cascading failures. Therefore, the assessment methodology for cascading failures should include an adequate model of system behavior and

sequences of cascading steps. This model should be able to evaluate all alternative cascading scenarios with the same initiating event. There are two methods that may be used for the purpose of this analysis: Event Tree Analysis (ETA) and Cause-Mode-Effect Analysis (CMEA).

3.2. Event Tree Analysis (ETA)

An event tree is a visual representation of all events, which can occur in a system. Event trees can be used to analyze systems in which all components are continuously operating or for systems in which some of the components are in a standby mode or in a latent failed state. The starting point, referred to as the initiating event, disrupts normal system operation. The event tree displays the sequence of events involving success and/or failure of the system components. An event tree may be quantified by using the event probabilities from a Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) or Fault Tree Analysis (FTA). The hazard probability for each chain of events is then easily computed.

In the case of safety-oriented systems, the event tree is used to identify various possible outcomes of the system following a given initiating event, which are an unsatisfactory event (component failure) or situation (external event). By analyzing all possible outcomes it is possible to determine those of them, which are leading to an undesirable hazard at the system or aircraft level.

The purpose of an event tree analysis (ETA) is to identify the sequence of events that follows a given failure or error since it could lead to a loss of the system's intended function. An event tree is a graphical illustration of potential outcomes that can result from a specific equipment failure or human error. Event tree analysis considers the response of personnel and safety systems in dealing with the failure. The results of an event tree analysis are "accident sequences" or "failure sequences" – a multi branched, chronological set of failures or errors that define an accident or system failure. ETA is very useful in analyzing the effect of safety systems or emergency procedures on accident prevention and mitigation. It produces useful information when used in parallel with FTA and FMEA.

A key distinction between FTA and ETA is that, in the latter, an initiating event is assumed to have occurred, whereas in FTA the failed state is an event for which the probability of occurrence is determined. The initiating event may be the result of a particular system failure, or it may be caused by some external circumstance such as a lightning or bird strike.

ETA can be used during the development and design phase of the system. It is particularly useful as a tool for demonstrating the efficiency of accident prevention and mitigation techniques. Therefore, the ETA is primarily used for safety analysis and could be very helpful in assessing cascading failures.

3.2.1. Event Tree Analysis Procedure

An ETA consists of the following steps:

1. Identifying an initiating event
The initiating event may be a system failure, equipment failure, human error, external event, or operation process upset that could have any one of several effects. Actual effects, or results realized, depend on how the system or operator responds to the event.
2. Identifying the response
Identifying which system or operator response is anticipated in reaction to the initiating event. This response can include action by subsystems, such as an automatic emergency shutdown triggered by the event, alarms to alert operators, operator actions taken in response to alarms, or even physical barriers to limit the effects of the initiating event. It is important to identify and to list these functions in chronological order of the designed response. For example, possible responses to “fuel level in a tank is too high and is increasing” might be; high-level indication or warning and crew action to close inlet valve. If other systems are affected by the initiating event, they should also be listed.
3. Constructing the event tree
First, the initiating event must be clearly defined and put on the left-hand side of the page (see below). Then, a chronological list of the functional responses must be defined and located across the top of the page. Next, it is necessary to define whether or not the success-failure of the function could affect the course of the events. If the answer is “yes”, the event tree

is branched to distinguish between success and failure of the function; success branches upward, failure downward. If the system function has no effect, the tree does not branch, but proceeds to the next system function (to the right).

4. Describing the event sequence
The event sequences are a variety of outcomes that could occur following the initiating event. Some of the sequences may represent success (e.g. a return to normal state or an orderly shutdown). Sequences that result in failure should be studied with the objective of improving the responses to the event in order to minimize the probability of failure or severity of the effects.

3.2.2. Event Tree Analysis Examples

Example 1

The residential gas-fireplace is held primarily in standby. Anticipating a potential gas leak, a cascading failure scenario, using the event tree method, is assessed as follows (fig. 1).

Example 2

The residential gas-fireplace is held primarily in standby. The installation is equipped with an automatic gas leakage detection and shutdown device. Anticipating a potential gas leak, a cascading failure scenario, using the event tree method, is assessed as follows (fig. 2).

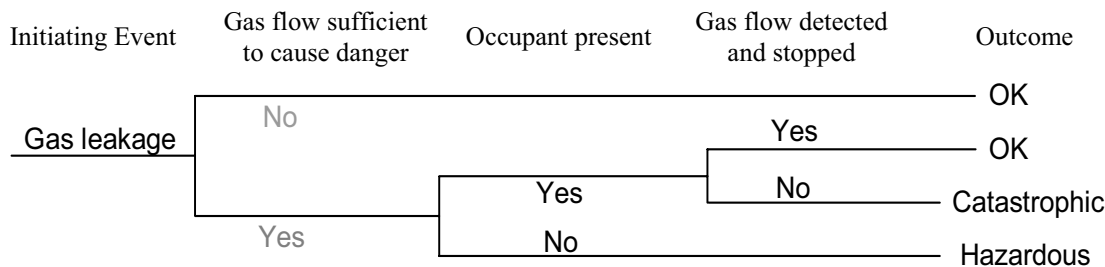


Fig. 1. Event tree analysis – example 1

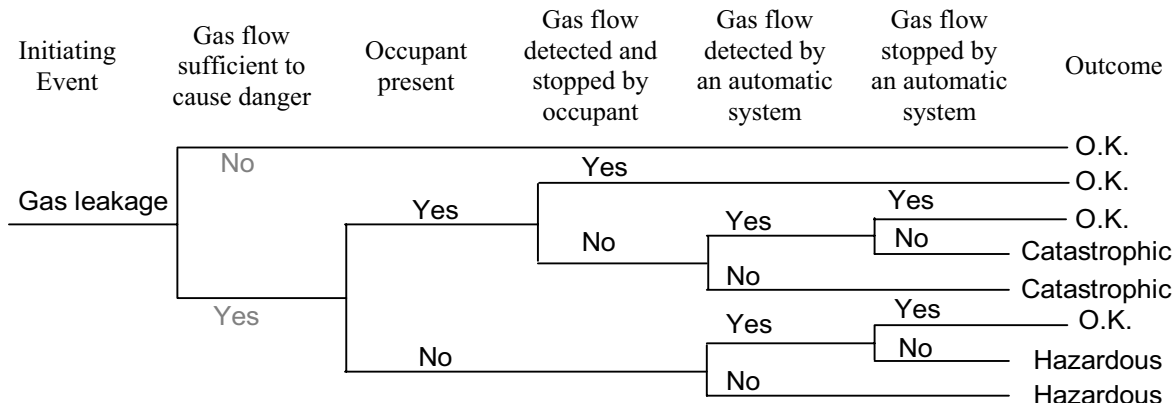


Fig. 2. Event tree analysis – example 2

3.2.3. Event Tree Flexibility

In an event tree there is considerable latitude in the definition of the event headings; functions, systems, and components can be shown on the same tree. Moreover, it is easy to combine multiple systems on the same tree if the initiating event can impact more than one system. These various event possibilities are listed as headings that represent the functions or systems required to mitigate an event's consequences.

The end result of each sequence is assumed to be either a successful, or safe, termination of the postulated sequence of events or a system failure state. In developing event trees for specific systems, care must be taken to correctly specify the expected system failure state. Care must also be exercised to ensure that the event headings are consistent with actual system response modes and are precisely related to system success criteria that can be translated to top events for system modeling.

The events are placed across the tree either according to the sequence of their occurrence (proceeding from left to right) or some other logical order reflecting operational interdependence. Consequently, the initiating event is always shown first and the total system outcome response is always shown last. The paths of vertical and horizontal lines below the event headings represent the various sequences. At a horizontal-vertical line junction, the system is successful if the path is upward; the system fails if the path is downward. A column at the far right of the tree identifies the various outcome events resulting from the path sequences.

This information is then used to determine the severity of the event sequence outcome and the level of attention that each component receives. In those areas where the system's state reveals the potential for unacceptable consequences, the qualitative tree analysis may be completed by quantification of the probability of success or failure at each junction. Then, the probability of the various system states can be estimated.

3.3. Cause – Mode – Effect – Analysis (CMEA)

Cascading failures can be also analyzed by the Cause-Mode-Effect method built for this purpose and considered as a complementary safety assessment procedure to the basic techniques used for aircraft safety assessment, such as, Failure Modes and Effects Analysis, Fault Tree Analysis, Zonal Safety Analysis, Particular Risk Analysis and Common Mode Analysis.

The Cause-Mode-Effect-Analysis (CMEA) is based on the "What if" method, the one most commonly used, as a concept, in developing a Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) or a Hazard and Operability Study (HAZOP) procedures of the failure analysis.

The CMEA is considered basically a qualitative method; however quantification of the

hazard under study may be added by using the related data and numerical methods for the probability calculation.

The Cause-Mode-Effect-Analysis represents a complete review of the potential chain of events (cascading failures), by assessing at each step of the analysis, the relationship between root cause, failure mode or degradation mechanism and resulting effect from the safety perspective. This analysis starts with a clear definition / description of the initiating event which may be a system component failure, external event or human error. The CMEA displays the sequence of the subsequent events based on the deductive / inductive analysis of the cause-mode-effect relationship. The analysis process is continued up to the ending failure mode called the final outcome and the effect of the outcome hazard at the aircraft level is the subject of the safety assessment.

3.3.1. Cause – Mode – Effect Concept

The relativism of the cause-mode-effect notion has to be clearly understood. These three elements could very easily lead to confusion. The basic definitions are as follows:

Cause – initiating event (failure, external event, human error),

Mode – type / nature of failure manifestation,

Effect – failure consequence on the user or operation from a safety perspective.

However, depending on the system breakdown for the purpose of the failure analysis, an effect may become the mode or be considered as the cause. This "floating" character of the failure attribute is widely explored by the Cause-Mode-Effect procedure. The initiating event may be described in terms of failure cause or failure mode and the first conclusion has to establish the effect of this event. Afterwards, this effect is considered as the next cause leading to the following effect. This procedure is continued up to the final outcome effect description and the assessment of its severity.

3.3.2. Propagation Prevention In-Depth Analysis

At each step of the analysis an additional question is asked about the available protection or mitigation, which would be able to stop the cascading failure propagation. This assessment is related to the inherent design characteristic of the system being able to preclude the propagation of a cascading failures chain.

The qualitative analysis should identify the level of hazard based on the outcome severity and the likelihood of occurrence despite the additional protection or mitigating measures. Should there be doubts regarding the effectiveness of the additional protection or mitigating measures intended to preclude a cascading failure, the analysis may be enhanced through the addition of a quantitative analysis (i.e. assigning probabilities to each event).

3.3.3. Cause – Mode – Effect Analysis Examples

The following examples are an application of the CMEA procedure on actual cascading failure scenarios. The CMEA is performed on a cargo door failure and tire burst both considered as initiating events in respective cascading failure scenarios.

Example 1– Cargo Door

The ejection in flight of the cargo door resulted in the sudden depressurization, which subsequently led to the disruption of the floor structure causing a few passengers and parts of the aircraft to be ejected, rendering one engine inoperative and impairing the flight controls (tails surfaces) so that it would be impossible for the crew to regain control of the aircraft. This sequence of events finally leads to a catastrophe (tab. 1).

Example 2 – Tire Burst

One tire blew-out / failed during take-off followed by a second tire burst. Subsequently, the wheel and brake assemblies started rubbing the runway surface generating excessive heat. The crew decided to perform a rejected take-off and was using the remaining brakes to stop the aircraft. This action generated the additional heat which coupled with the one created by failed tires originated a fire in the body gear wheels. Due to the initial delay in shutting down engines, which hampered the effective fire

fighting, and coupled with a certain lack of coordination and proper deployment of the fire fighting equipment, the fire, originally confined to the body gear, grew into a conflagration and ultimately destroyed the aircraft (tab. 2).

3.4. Documentation of the CMEA

The results from the Cause-Mode-Effect Analysis are presented in a tabulated format. For each initiating event there is a separate table. The first column provides the initiating event description. The subsequent columns present the evolution of the cascading scenario propagation and include all related information. It is easy, performing the analysis, to consider a next level failure within the same system or interconnected systems as well as human errors or an external event. The final column describes the outcome from cascading failures and includes an assessment of the final effect's severity. The separate row on the bottom table is used to summarize the designed protection or mitigation against failure propagation. The probability computation, if necessary, is provided in an adequate format (formula, Fault Tree, etc.).

The conclusion of the cascading failure analysis should discuss the final effect and severity, the available protection or mitigating measures and the probability of final outcome, if applicable.

Table 1. Cause – Mode – Effect Analysis: - Example 1– Cargo Door

Initiating Event	First Immediate Effect	Mode/Effect	Mode/Effect	Mode/Effect	Mode/Effect	Outcome and Severity
		Cause/Action	Cause/Action	Cause/Action	Cause/Action	
Cargo door ejection in flight	Sudden depressurization	Disruption of the floor structure	Passengers ejected			
			Parts of the aircraft ejected	Damage to the flight control surface on the tail	Loss of aircraft control	Loss of aircraft
				Engine inoperative due to parts ingestion		Catastrophic

POTENTIAL PROTECTION / MITIGATION

Design features	NONE	Design modification	NONE	NONE	NONE
Crew procedures					

Table 2. Cause – Mode – Effect Analysis: - Example 2–Tire Burst

Initiating Event	First Immediate Effect	Mode/Effect	Mode/Effect	Mode/Effect	Mode/Effect	Outcome and Severity
		Cause/Action	Cause/Action	Cause/Action	Cause/Action	
Tire blew out during take-off	Second tire blew out due to increased load	Wheels and brakes started rubbing the runway	Excessive heat generated	Originated fire		Loss of aircraft
		Pilot using brakes on the remaining wheels	Overloading brakes generate excessive heat			
				Delay in shutting down the engines	Hampered the effective fire fighting	Catastrophic
					Lack of coordination and proper deployment of fire fighting equipment	
POTENTIAL PROTECTION / MITIGATION						
NONE	NONE	NONE	NONE	Review emergency procedure for engine shut down	Review training and deployment procedures for fire fighting department	

4. CONCLUSION

All analyses related to cascading failures start with an initiating event. This event may be selected from the FMEA/FTA for each catastrophic failure scenario. Some supplementary initiating events may be generated through a Common Cause Analysis, primarily through a Zonal Safety Analysis or a Particular Risk Analysis.

Analyses related to cascading failures may be qualitative or quantitative. To show compliance to the regulatory requirements it is considered that the typically, a qualitative analysis is sufficient to demonstrate compliance, if this analysis shows that the adequate protection or mitigating measures are implemented in order to preclude the failure propagation and to protect the aircraft against a catastrophe.

In some cases, appropriate protection or mitigation may not preclude the hazard. In such cases, a probability computation of the cascading failure scenario should be performed. This probability, which has to be related to the final effect outcome, must be shown against this outcome's criticality. In order to demonstrate compliance, the level of hazard should be less critical than the level prescribed by the regulatory requirements.

REFERENCES

[1] Hines P., Huaiwei L., Dong J., Talukdar S., "Autonomous Agents and Cooperation for the Control of Cascading Failures in Electric Grids", Proceedings of the IEEE Conference on Networking, Sensing, and Control, Tucson, USA, March, 2005.

[2] Hardiman R. C., Kumbale M., Makarov Y. V., "Multi-Scenario Cascading Failure Analysis Using TRELSS", CIGRE/IEEE PES International Symposium on Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, Montreal, Quebec, Canada, October, 2003

[3] Klim Z. H., Balazinski M., "Risk Assessment for Continuing Airworthiness", 6e Congrès international de genie industriel, Besançon, France, juin, 2005.

[4] Makarov Y. V., Hardiman R. C., "Risk, Reliability, Cascading and Restructuring", Proceedings of the IEEE PES Annual Meeting, Toronto, Ontario, Canada, July, 2003.

[5] Motter A. E., Lai Y-Ch., "Cascade-Based Attacks on Complex Networks", Physical Review, E66, 0651021R, 2002.

[6] Talukdar S., Dong J., Hines P., Krogh B., "Distributed Model Predictive Control for the Mitigation of Cascading Failures", Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, Seville, Spain, December, 2005.

- [7] Klim Z. H., "Preliminary Hazard Analysis for the Design Alternatives Based on Fuzzy Methodology", Nord American Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS, 2004 – Fuzzy Sets, 23rd International Conference of NAFIPS, Banff, Alberta, Canada, June, 2004.
- [8] Dobson I., Carreras B. A., Newman D. E., "A branching process approximation to cascading load-dependent system failure", 37th Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii, January, 2004.
- [9] ARP 4761 – *Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment*, Society of Automotive Engineers, 1996.



Dr **Zdzisław KLIM** is a Senior Engineer Specialist at Bombardier Aerospace Reliability, Maintainability and Safety Department. His responsibilities include reliability and safety analysis for in service aircraft systems, technical support for new programs and developing the new methods for reliability and safety assessment. He currently teaches reliability to graduate students in the Department of Mechanical Engineering of the Ecole Polytechnique of Montreal. His research interests are in the fields of systems reliability and maintainability analysis, and safety and risk assessment. Mr. Klim holds bachelor and master degrees in mechanical engineering and a Ph.D. in reliability from Technical University of Wroclaw, Poland. He previously was an associate professor of mechanical engineering at Technical University of Wroclaw, Poland, and University of Sciences and Technologies of Oran, Algeria. He has more than 30 years of experience in the field of reliability, maintainability and safety analysis. He is the author of more than 50 technical papers and technical reports. He is a member of the Society of Automotive Engineers (SAE), Association of Professional Engineers of Quebec (O.I.Q.) and president of the Montreal Chapter of Society of the Reliability Engineers (SRE).



Dr **Paweł SZCZEPAŃSKI** is a specialist in the area of diagnostic of technical systems. He obtained his bachelor and master degrees in engineering from the Military University of Technology, J. Dąbrowski in Warsaw. He holds a doctoral degree (Ph.D.) from the same University based on his thesis presented in 1990 on the "Diagnostic of complex technical systems with multiple failures". Dr Szczepański is currently an assistant professor at the Institute of Mechatronic Systems of the Military University of Technology. He is the author of more than 50 research papers as well as two manuals. He is a member of the PTDT and PNTTE.



Dr **Marek BAŁAZIŃSKI** is a specialist in the area of manufacturing, fuzzy logic and genetic algorithms. He has obtained his bachelor, master and doctoral degrees from the Technical University of Cracow in Poland. Over the last several years, he has focused on metal cutting of hard and difficult to machine materials and on application of fuzzy logic and genetic algorithms in manufacturing.

Dr Bałaziński is currently professor and head of the Manufacturing Section in the Department of Mechanical Engineering at École Polytechnique of Montréal. Over the last ten years, he has published over 100 research papers and he is an active member of CIRP (The International Academy for Production Engineering).

BADANIA ZBROJENIA SZYBOWEGO W OPARCIU O GLOBALNY WSPÓLCZYNNIK TŁUMIENIA

Wojciech BATKO, Tomasz KORBIEL

AGH, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
30-059 Kraków; Al. Mickiewicza 30;
tel +48 12 617 36 71, fax +48 12 633 23 14, korbiel@imir.agh.edu.pl

Streszczenie

Szyby kopalniane są strategicznym ogniwem przy wydobyciu minerału metodami podziemnymi. Ze względu na funkcję mogą służyć do transportu urobku, maszyn i urządzeń oraz ludzi, ich zadaniem jest również odprowadzanie i dostarczanie do wyrobisk powietrza. W niektórych przypadkach stanowią drogę przy dostarczaniu do wyrobiska materiału podsadzkowego. Dlatego też konieczne jest utrzymanie szybów kopalnianych w należyтым stanie, umożliwiającym ich bezpieczne i bezawaryjne użytkowanie. W artykule opisano badania związane z diagnostyką zbrojenia szybowego. W trakcie tych badań opracowano nową metodę badania elementów zbrojenia. Przedstawione wyniki prowadzonych prac umożliwiają stosowania prezentowanych metod w innych zagadnieniach technicznych.

Słowa kluczowe: Diagnostyka techniczna, transformata falkowa, krzywe sklepane, analiza modalna.

TESTING OF SHAFT REINFORCEMENT USING GLOBAL ATTENUATION COEFFICIENT

Summary

Mine shafts are the strategic link for mineral output using underground methods. The shafts are used for transportation of landings, equipment, tools and people but also for providing air exchange to the headings. In some cases shafts are the way to supply heading with stowing. Therefore it is crucial to keep the shaft in proper condition, allowing their safe and failure-free usage. The paper describes research related to shaft reinforcement diagnostics. During the research a new method of testing was developed. The presented results allow using of the presented methods in other technical problems.

Keywords: Technical diagnostics, wavelet transform, spline, modal analysis.

1. GENEZA PROBLEMU

Jednym z problemów przy określaniu stanu technicznego szybu kopalnianego jest diagnostyka zbrojenia szybowego, pracującego w trudnych warunkach i agresywnym korozyjnie środowisku, która niekiedy może być jeszcze utrudniona poprzez utratę prostoliniowości toru jazdy naczyń wydobywczych spowodowane przemieszczeniem się górotworu. Dla szybów kopalni podziemnych, których długość niejednokrotnie przekracza 1000 m, ilość elementów, które należałoby jednorazowo przebadać wynosi kilkaset lub nawet około tysiąca. Stąd też dla obecnie stosowanych metod diagnostycznych badaniu poddaje się elementy wybierane drogą losową, korzystając z wcześniejszego doświadczenia badającego przy badaniu podobnych konstrukcji. Podejście takie nie daje pełnego obrazu stanu technicznego szybu kopalnianego i w pewnych okolicznościach może doprowadzić do nieszczęśliwego wypadku w wyniku uszkodzenia tychże elementów.

Dotychczasowe badania zbrojenia szybowego polegały na punktowym pomiarze grubości

poszczególnych elementów zbrojenia. Metoda ta daje przybliżoną informację na temat stanu tych elementów. Obarczona jest błędami, z których najistotniejszym jest pomiar punktowy. Korozja elementów zbrojenia w szybie często przebiega w ograniczonych obszarach. Są to zazwyczaj obszary profili zamkniętych, w których zgromadzone materiały sypkie utrzymują wilgoć. W tych miejscach dochodzi do korozji elektrochemicznej, w szybkim czasie zmniejszając grubość czynną elementów. Ponieważ są to profile zamknięte brak jest dostępu wizyjnego dla personelu przeprowadzającego inspekcje szybu. Powstało zapotrzebowanie opracowania nowej metody diagnostycznej umożliwiającej ocenę elementów zbrojenia szybowego. Głównym założeniem nowej metody jest jej skuteczność w wykrywaniu elementów skorodowanych na pewnych obszarach. Drugim założeniem jest operatywność, umożliwiająca skrócenie czasu pomiarów, a tym samym skrócenie czasu inspekcji szybu.

2. OCENA STANU ZBROJENIA SZYBOWEGO

Podstawowym aktem prawnym regulującym bezpieczną pracę urzędów górniczych jest Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. nr 139 poz.1169) wraz z Załącznikami. W dokumencie tym zawarte są również wymagania dla urzędów wyciągowych, w tym także wytyczne dopuszczalnego zużycia zbrojenia szybowego. Zgodnie z § 460 elementy konstrukcji stalowych zbrojenia podlegają wymianie, jeżeli zużycie przekroczy wartość dopuszczalnego zużycia lub 50% pierwotnego wymiaru nominalnego określonego w dokumentacji technicznej. Tak sformułowany przepis w sposób jednoznaczny określa kryteria oceny, jednak pozostaje do rozstrzygnięcia bardzo istotny problem identyfikacji elementów wykazujących największe zużycie. Głównym powodem takiego stanu rzeczy jest fakt, że zbrojenie szybowe jest złożoną konstrukcją składającą się w zależności od głębokości od kilkuset do kilku tysięcy elementów i z pośród takiej populacji trudno jest wybrać te wykazujące największe zużycie.

W praktyce eksploatacyjnej przyjęło się, że wskaźnikiem zużycia elementów stalowych zbrojenia jest grubość ścianki profilu mierzona za pomocą różnych technik, w tym głównie z wykorzystaniem metod ultradźwiękowych. Pomiaru takie napotykają jednak na szereg ograniczeń, a do głównych należą:

- Punktowy charakter pomiaru,
- Trudności pomiarowe w przypadku powierzchni skorodowanych, wżerów itp.,
- Brak informacji o sztywności badanej belki poddanej wymuszeniom dynamicznym,
- Konieczność odpowiedniego przygotowania powierzchni.

Zbadanie każdego elementu konstrukcji jest bardzo czasochłonne i praktycznie niemożliwe do przeprowadzenia podczas rutynowych kontroli i rewizji. Stąd też na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych lub innych przesłanek ustala się ograniczony zbiór elementów i poddaje się je okresowym kontrolom, przyjmując, że pozostałe zużywają się podobnie. Jednakże wybór ten może nie obejmować elementów najbardziej zużytych, co wprowadza niemożliwe do oszacowania błędy kontroli.

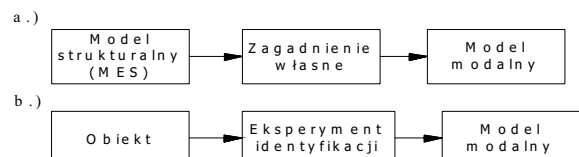
3. ANALIZA MODALNA ELEMENTÓW ZBROJENIA SZYBOWEGO

Analiza modalna jest jednym z powszechnie stosowanych na świecie narzędzi służących do badania własności dynamicznych konstrukcji mechanicznych. Można ją stosować dla układów spełniających następujące założenia:

- układ jest liniowy i jego dynamika może być opisana za pomocą równań różniczkowych zwyczajnych lub cząstkowych to znaczy że odpowiedź układu na dowolną kombinację wymuszeń jest równa kombinacji odpowiedzi na poszczególne wymuszenie zgodnie z zasadą superpozycji,
- współczynniki opisujące dynamikę są stałe w czasie pomiarów,
- układ spełnia zasadę wzajemności Maxwella, to znaczy że odpowiedź badanego układu w punkcie i -tym na wymuszenie w punkcie j -tym jest równa odpowiedzi w punkcie j -tym na to samo wymuszenie działające w punkcie i -tym,
- tłumienie w układzie jest małe lub proporcjonalne,
- możliwa jest obserwacja układu i rejestracja charakterystyk, których znajomość jest konieczna do przeprowadzenia procesu identyfikacji.

Po spełnieniu powyższych założeń analizę modalną można zdefiniować jako transformację złożonego układu, którego dynamika opisana jest za pomocą układu równań różniczkowych, na zbiór układów o jednym stopniu swobody opisanych za pomocą niezależnych równań różniczkowych drugiego rzędu.

Badanie własności dynamicznych można przeprowadzić badając doświadczalnie istniejącą konstrukcję lub jej prototyp lub też na podstawie badania modelu strukturalnego (rys. 1). Wynikiem przeprowadzenia analizy modalnej, dla danej konstrukcji, jest otrzymanie modelu modalnego, który następnie może zostać wykorzystany do analizy wytrzymałości zmęczeniowej, zachowań się konstrukcji pod wpływem różnego rodzaju wymuszeń czy też do modyfikacji własności dynamicznych.

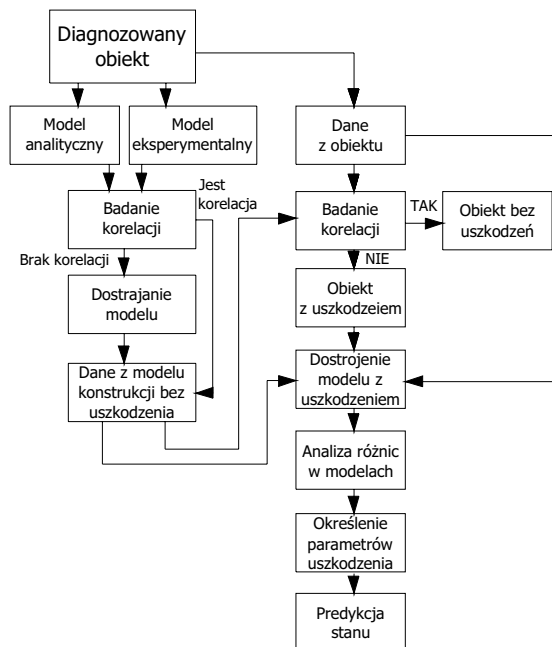


Rys. 1. Schemat budowy analizy modalnej:
a) teoretycznej, b) eksperymentalnej

Obecnie coraz częściej analizę modalną wykorzystuje się do diagnostyki maszyn i urządzeń (rys. 2).

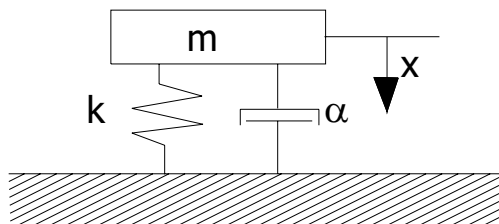
Wykorzystując tą metodę do diagnozowania śledzi się zmiany parametrów modelu, opisującego badany obiekt, powstające w wyniku zużycia lub awarii. Zmiany parametrów określane są w wyniku korelacji pomiędzy modelem modalnym stworzonym dla obiektu bez uszkodzeń a modelem modalnym stworzonym dla obiektu rzeczywistego podczas eksploatacji. Dysponując informacją o wpływie uszkodzenia na parametry modelu modalnego można ocenić ilościowo stopień uszkodzenia.

Model modalny jest zdefiniowany jako zbiór częstości własnych, współczynników tłumienia dla tych częstości oraz postaci drgań (wektorów modalnych). W sensie matematycznym jest to zbiór wartości własnych i wektorów własnych macierzy stanu układu.



Rys. 2. Zastosowanie analizy modalnej do diagnozowania stanu maszyn

Pojęcie analizy modalnej zostanie omówione na przykładzie układu o jednym stopniu swobody. Układ taki przedstawiony został na rys. 3.



Rys. 3. Schemat układu o jednym stopniu swobody

Dynamiczne równanie ruchu dla takiego układu ma postać:

$$m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + kx = f(t) \quad (1)$$

gdzie:

- m – masa układu,
- α – współczynnik tłumienia wiskotycznego,
- k – współczynnik sztywności,
- \ddot{x}, \dot{x}, x – przyspieszenie, prędkość, przemieszczenie masy m ,
- f – siła zewnętrzna działająca na układ.

Zakładając warunki początkowe zerowe ($\ddot{x} = 0, \dot{x} = 0, x = 0$) i stosując przekształcenie Laplace'a równanie (1) można zapisać w postaci:

$$(ms^2 + \alpha s + k)X(s) = F(s) \quad (2)$$

gdzie:

s – zmienna zespolona, $s = j\omega$.

Równanie (2) w zapisie uproszczonym przyjmuje postać:

$$Z(s)X(s) = F(s) \quad (3)$$

Wielkość $Z(s)$ nosi nazwę sztywności dynamicznej:

$$Z(s) = \frac{F(s)}{X(s)} \quad (4)$$

W praktyce do analizy układów mechanicznych stosuje się odwrotność sztywności dynamicznej zwaną podatnością dynamiczną:

$$Z(s)^{-1} = H(s) = \frac{X(s)}{F(s)} \quad (5)$$

Po uwzględnieniu zależności (2) podatność dynamiczną można zapisać w postaci:

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + \frac{\alpha}{m}s + \frac{k}{m}} \quad (6)$$

Mianownik w zależności (6) nosi nazwę równania charakterystycznego i umożliwia wyznaczenie współczynników tłumienia oraz częstości własnych układu. Wyznacza się je z biegunów układu czyli z pierwiastków równania charakterystycznego. Dla układu o jednym stopniu swobody bieguny równania charakterystycznego przyjmują postać:

$$\lambda_{1,2} = -\frac{\alpha}{m} \pm \sqrt{\left(\frac{\alpha}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}} \quad (7)$$

Rozwiązanie równania ruchu (1) dla przypadku ruchu swobodnego ma postać:

$$x(t) = x_1 e^{\lambda_1 t} + x_2 e^{\lambda_2 t} \quad (8)$$

gdzie:

x_1, x_2 – pierwiastki równania charakterystycznego.

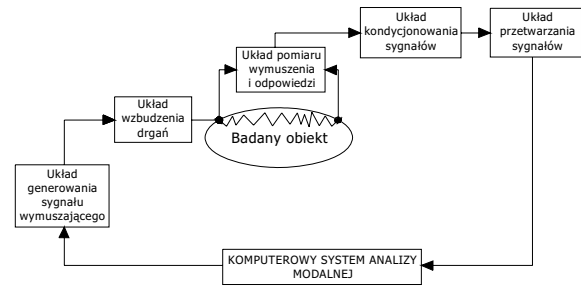
W przypadku tłumienia podkrytycznego pierwiastki te są zespolone i mają postać:

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \delta_1 + j\omega_1 \\ \lambda_2 &= \delta_2 + j\omega_2\end{aligned}\quad (9)$$

W praktycznych zastosowaniach model modalny otrzymuje się z modelu strukturalnego w wyniku rozwiązania zagadnienia własnego.

Modele strukturalne budowane są zgodnie z zasadami metody elementów skończonych polegającymi na dyskretyzacji układu o ciągłym rozkładzie parametrów tak by energia kinetyczna i potencjalna układu ciągłego i dyskretnego były jednakowe. W tym celu obiekt dzielony jest na elementy o wybranej strukturze. Powstałe elementy połączone są ze sobą za pomocą węzłów, które posiadają jeden lub więcej stopni swobody. Każdy element opisuje lokalne własności układu: masowe, sprężyste i tłumiące. Zbiór własności dla całego układu tworzy macierze globalne. Dyskretyzacja układu ciągłego pociąga za sobą konieczność przyjęcia pewnych założeń upraszczających. Założenia upraszczające wpływają na wyniki analizy, które przyjmują wartości przybliżone, dlatego też zastosowanie ich jest bardzo ograniczone. Dla poprawienia wyników analizy przeprowadza się dostrajanie modelu na podstawie znajomości własności zmierzonych na obiekcie rzeczywistym. W celu określenia stopnia dopasowania modelu strukturalnego do obiektu rzeczywistego wprowadza się kryteria zgodności. Podstawowym kryterium porównania modeli jest porównanie częstości własnych. Maksymalna dopuszczalna różnica częstości dla modelu analitycznego i doświadczalnego nie powinna przekraczać 1%. Kolejnym stosowanym kryterium zgodności jest wizualne porównanie postaci drgań. Celem tego porównania jest ustalenie par postaci drgań odpowiadających sobie, dzięki czemu można uniknąć błędnych postaci eksperymentalnych, jak również w przybliżeniu określić obszary, w których zgodność jest gorsza. Jeżeli kryteria zgodności nie przyjmują wartości satysfakcjonujących konieczne jest poprawienie modelu strukturalnego poprzez zmianę jego parametrów. Jest to proces złożony, gdyż nie wiadomo, które z elementów macierzy modelu strukturalnego są przyczyną niezgodności z wynikami eksperymentu.

Badanie własności obiektu rzeczywistego przeprowadza się w wyniku eksperymentu identyfikacyjnego, którego celem jest wymuszenie ruchu badanego układu oraz pomiar odpowiedzi. Na podstawie zmierzonych wielkości dokonywana jest estymacja charakterystyk dynamicznych. Do realizacji tego zadania stosowany jest system pomiarowy przedstawiony na rys. 4.



Rys. 4. Schemat systemu pomiarowego do realizacji eksperymentu w analizie modalnej

5. NUMERYCZNE BADANIA WPŁYWU ZMIANY PRZEKROJU ELEMENTÓW ZBROJENIA SZYBOWEGO NA WŁASNOŚCI DYNAMICZNE

Celem tych doświadczeń jest zbadanie wpływu zmiany przekroju poprzecznego elementów kształtowych na zmianę częstości własnych tych elementów. Umożliwiłoby to w późniejszym czasie zastosowanie metody badania częstości własnych do oceny dowolnego elementu stalowego pod względem jego sztywności, której określenie umożliwia oszacowanie zdolności do przenoszenia zadanych obciążeń ruchowych. Ewentualne zastosowanie tej metody do diagnozowania zbrojenia szybów kopalnianych umożliwiłoby kompleksowe i szybkie badanie wszystkich elementów nośnych zbrojenia i tym samym wyselekcjonowanie elementów najbardziej zużytych, ich monitoringu a w konsekwencji eksploatację w możliwie długim, racjonalnie uzasadnionym czasie.

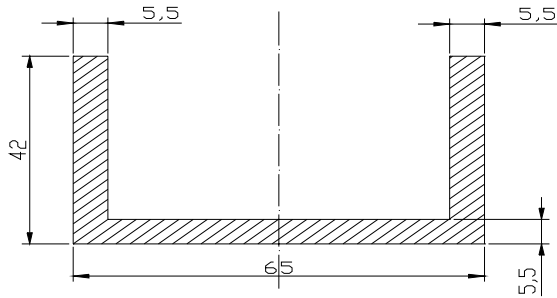
Do wykonania analizy modalnej z wykorzystaniem metody elementów skończonych zastosowane zostało oprogramowanie firmy Dassault Systèmes noszące nazwę CATIA V5R2. Jest to zintegrowany system CAD/CAM/CAE wspomagający proces tworzenia wyrobu praktycznie na każdym jego etapie począwszy od projektowania, poprzez etap symulacji i badań, a kończąc na przygotowaniu procesu obróbki. Dzięki bogatemu zestawowi narzędzi oraz nowoczesnym rozwiązaniom współbieżnego projektowania, symulacji, optymalizacji oraz wytwarzania, oprogramowanie to umożliwia podniesienie jakości usług projektowych oraz zwiększenie walory użytkowe tworzonych produktów.

Do wykonania analizy zależności pomiędzy zmianą przekroju poprzecznego elementu belkowego a częstością drgań własnych tegoż elementu konieczne było przyjęcie pewnych założeń:

- Do przeprowadzenia analizy użyte zostały elementy belkowe w postaci ceownika o wymiarach poprzecznych, różniących się względem wymiarów poprzecznych

nominalnych podanych na rys. 5 o odpowiednio 0%, 25% i 50%.

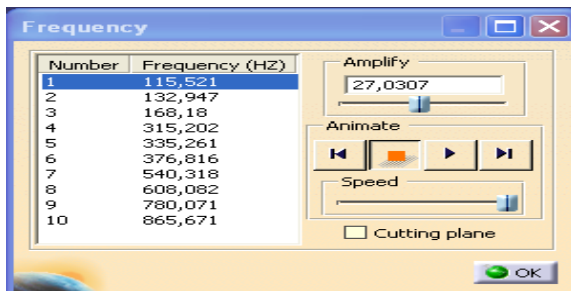
- Długość elementów belkowych poddanych analizie wynosiła 1,42 [m].
- Jako materiał, z którego wykonany został element, przyjęto stal o następujących parametrach:
Moduł Younga $E=2e+11$ [N/m²],
Współczynnik Poissona $\nu=0.266$,
Gęstość materiałowa $\rho=7860$ [kg/m³].



Rys. 5. Przekrój poprzeczny elementu belkowego poddanego analizie wraz z wymiarami nominalnymi

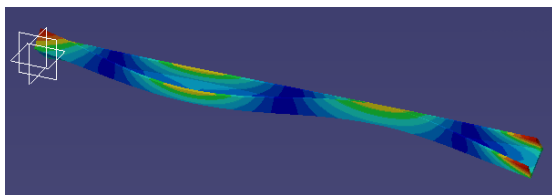
W wyniku wykonania analizy modalnej dla elementów belkowych o przekroju ceownika i wymiarach poprzecznych różniących się o 0%, 25% i 50% w stosunku do wymiarów nominalnych podanych na rys. 5 otrzymane następujące wartości częstości drgań własnych:

Dla elementu belkowego o wymiarach poprzecznych różniących się od wymiarów nominalnych o 0% otrzymano następujące częstości drgań własnych:



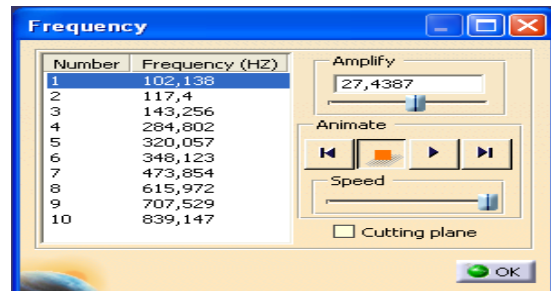
Rys. 6. Zestawienie częstości drgań własnych dla belki o wymiarach poprzecznych różniących się od wymiarów nominalnych o 0%

Przykładową postać dla 5 częstotliwości modalnej przedstawiono na rys. 7.



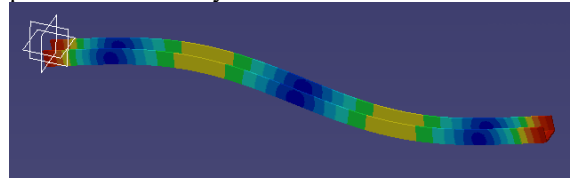
Rys. 7. Postać drgań własnych 5-tej częstotliwości modalnej dla belki o wymiarach poprzecznych różniących się od wymiarów nominalnych o 0%

Dla elementu belkowego o wymiarach poprzecznych różniących się od wymiarów nominalnych o 25% otrzymano następujące częstości drgań własnych:



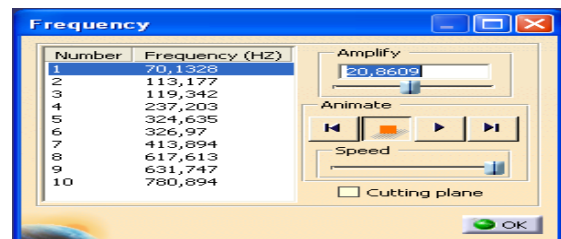
Rys. 8. Zestawienie częstości drgań własnych dla belki o wymiarach poprzecznych różniących się od wymiarów nominalnych o 25%

Natomiast postaci drgań dla 5 częstotliwości przedstawiono na rys. 9.



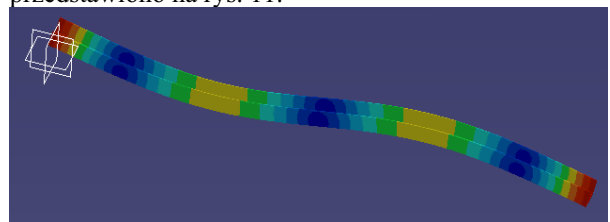
Rys. 9. Postać drgań własnych 5-tej częstotliwości modalnej dla belki o wymiarach poprzecznych różniących się od wymiarów nominalnych o 25%

Dla elementu belkowego o wymiarach poprzecznych różniących się od wymiarów nominalnych o 50% otrzymano następujące częstości drgań własnych:



Rys. 10. Zestawienie częstości drgań własnych dla belki o wymiarach poprzecznych różniących się od wymiarów nominalnych o 50%

Natomiast postaci drgań dla 5 częstotliwości przedstawiono na rys. 11.



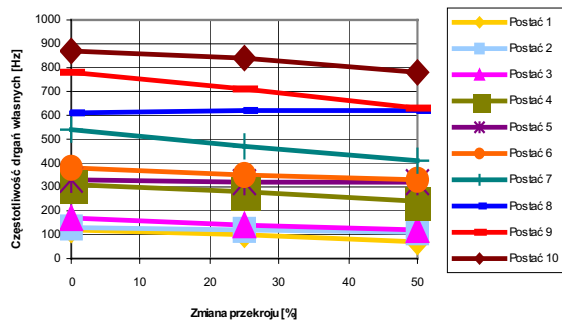
Rys. 11. Postać drgań własnych 5-tej częstotliwości modalnej dla belki o wymiarach poprzecznych różniących się od wymiarów nominalnych o 50%

W tabeli 1 dokonano zestawienia częstości drgań własnych dla poszczególnych rodzajów belki.

Tab. 1. Zestawienie częstości drgań własnych dla teoretycznej analizy modalnej elementów belkowych w postaci ceowników o różnym stopniu pocienienia przekroju poprzecznego względem wymiarów nominalnych

Stopień ściencienia [%]	Numer postaci									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Częstości drgań własnych [Hz]									
0	116	133	168	315	335	377	540	608	780	866
25	102	117	143	285	320	348	474	616	708	839
50	70	113	119	237	325	327	414	618	632	781

Na rys. 12 przeprowadzona została graficzna ilustracja zależności pomiędzy częstotliwością drgań własnych a zmianą przekroju poprzecznego badanego elementu belkowego w postaci ceownika.



Rys. 12. Zależność pomiędzy częstością drgań własnych a stopniem pocienienia przekroju poprzecznego elementu belkowego w postaci ceownika dla teoretycznej analizy modalnej

Z przeprowadzonej analizy zależności pomiędzy zmianą częstości drgań własnych a stopniem pocienienia przekroju poprzecznego elementu belkowego w postaci ceownika dla analizy modalnej teoretycznej wynika że:

- dla większości postaci drgań własnych można zaobserwować niewielki spadek częstotliwości drgań własnych wraz ze zmniejszaniem się grubości ścianek przekroju poprzecznego;
- zmiana przekroju poprzecznego o 25% powoduje spadek większości wartości częstości drgań własnych o 13%;
- dalsze zmniejszanie wymiarów poprzecznych do wartości 50% wymiarów nominalnych powoduje zmniejszenie się częstotliwości drgań własnych jednak zmiana ta nie jest już jednakowa dla większości częstości drgań własnych i waha się od 10% do 40%.

6. IDENTYFIKACJA WSPÓŁCZYNNIKÓW TŁUMIENIA

Przegląd prac poświęconych ocenom degradacji konstrukcji wskazuje na istnienie określonych

obszarów analiz, umożliwiających rozpoznawanie zmian zachodzących w ich stanie, wśród których metody analizy modalnej [3], [4] mają szerokie odniesienia. Jednakże w przypadku degradacji sztywnych elementów zbrojenia szybowego wyróżniające je przesunięcia w zakresie częstotliwości własnych są niewielkie. Wskazana jest dla nich analiza postaci własnych, w zadanych warunkach, co na ogół jest bardzo utrudnione. Analizując ogólne równanie dynamiczne układu w postaci:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = f(t), \quad (10)$$

gdzie:

M, C, K - macierze mas, tłumienia i sztywności,

\ddot{x}, \dot{x}, x - wektor przyspieszeń, prędkości i przemieszczeń,

f - wektor siły wymuszającej.

Można zauważyć, że zmiany w jednej z macierzy powodują również zmiany w innej. Czyli zmiana masy układu, spowodowana korozją wpłynie nie tylko na macierz mas, ale również na macierz tłumienia i sztywności. W klasycznej analizie modalnej, polegającej na identyfikacji wszystkich macierzy jednym z założeń jest stosunkowo niewielkie tłumienie w układzie. Wstępne badania wykazały jednak że stosowane w budownictwie podziemnym konstrukcje posiadają duże tłumienie.

Tą własność można wykorzystać do badania elementów, identyfikując współczynniki tłumienia. Zastosowanie charakterystyki tłumienia jako nośnika informacji dotyczącej stanu technicznego zbrojenia jest ograniczone skomplikowanym widmem odpowiedzi impulsowej. Jednym z rozwiązań jest analiza w dziedzinie czasu. Rozpatrując przypadek drgań swobodnych tłumionych punktu materialnego równanie (10) przyjmie postać:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0, \quad (11)$$

gdzie:

m, c, k - masa, współczynnik tłumienia i sztywności.

Wprowadzając oznaczenia:

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}; 2n = \frac{c}{m} \quad (12)$$

Równanie (11) przyjmie postać:

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + \omega_0^2 x = 0. \quad (13)$$

Równaniem charakterystycznym tego równania różniczkowego jest:

$$r^2 + 2nr + \omega_0^2 = 0, \quad (14)$$

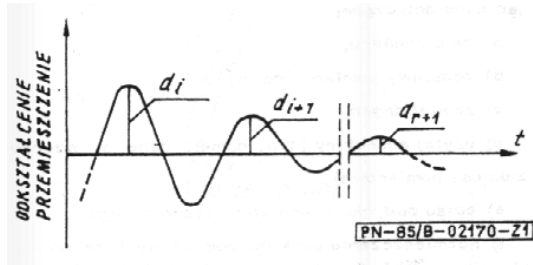
które posiada następujące pierwiastki:

$$r_{1,2} = -n \pm \sqrt{n^2 - \omega_0^2} = -n \pm i\sqrt{\omega_0^2 - n^2}, i = \sqrt{-1} \quad (15)$$

Zakładając przypadek tłumienia podkrytycznego, pierwiastki te są zespolone i rozwiązanie ogólne równania (15) przyjmuje postać:

$$x = e^{-nt} \left[c_1 \cos \sqrt{\omega_0^2 - n^2} t + c_2 \sin \sqrt{\omega_0^2 - n^2} t \right] \quad (16)$$

Z tego wynika że punkt materialny wykonuje drgania, których amplituda maleje jak na rys. 13.



Rys. 13. Drgania tłumione punktu materialnego

Z powyższego wynika że jeśli określimy amplitudę drgań w kolejnych cyklach to na ich podstawie można wyznaczyć logarytmiczny dekrement tłumienia korzystając z równania:

$$\delta = \ln \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{d_i}{d_{i+1}} \right) \quad (17)$$

Metodę tą można uogólnić na drgania obiektu. Jednak analizie podlegają tylko sygnały monocharmoniczne. W przypadkach eksploatacyjnych wymuszeń wzbudzeniu podlegają różne częstotliwości. Dodatkowo w sygnale znajdują się częstotliwości pochodzące od wymuszenia. Zastosowanie tej procedury byłoby możliwe po odfiltrowaniu poszczególnych częstotliwości własnych z sygnałów monocharmonicznych.

Jednakże powstaje problem zachowania fazy poszczególnych częstotliwości. Innym ograniczeniem jest niestacjonarność sygnału.

Jednym z lepszych narzędzi matematycznych stosowanych w analizie sygnałów niestacjonarnych jest transformata falkowa. Jądrzem tego przekształcenia jest rodzina funkcji falkowych o zadanych parametrach. W przypadku oceny współczynnika tłumienia istotną procedurą analizy sygnału jest odseparowanie części

monoharmonicznych. Jeśli do przekształcenia falkowego użyjemy falki o zwartym, jednopiętrowym widmie, uzyskamy informacje o zmianie zbieżności sygnału pomiarowego do falki o znanych cechach częstotliwościowych. Wykorzystując ten mechanizm można zbudować filtr falkowy, charakteryzujący się brakiem utraty informacji oraz zerowym przesunięciem fazy w analizowanym sygnale. Dobierając doświadczalnie ciąg współczynników a funkcji falkowej użytej w filtrze możemy uzyskać odpowiedni zakres częstotliwości z zadaną rozdzielczością. W doborze tym pomocna jest analiza gęstości widmowej mocy PSD (Power Spectral Density). Na tej podstawie można określić ilość i zakres występujących częstotliwości.

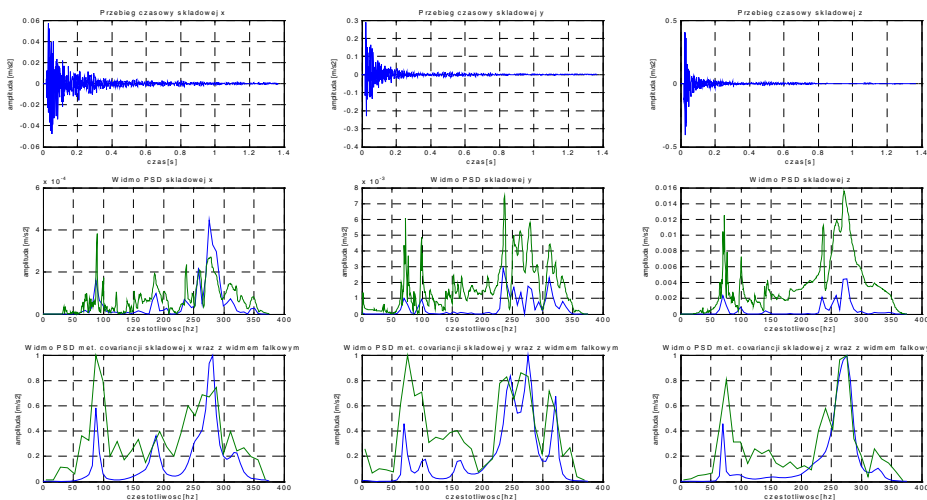
Do estymacji gęstości widmowej mocy można wykorzystać metodę kowariancji. Jej zastosowanie w rozpatrywanym problemie daje wynik przedstawiony rys. 14.

Ułamek tłumienia krytycznego jest stosowany w budownictwie i przy założeniu małej wartości oblicza się ze wzoru:

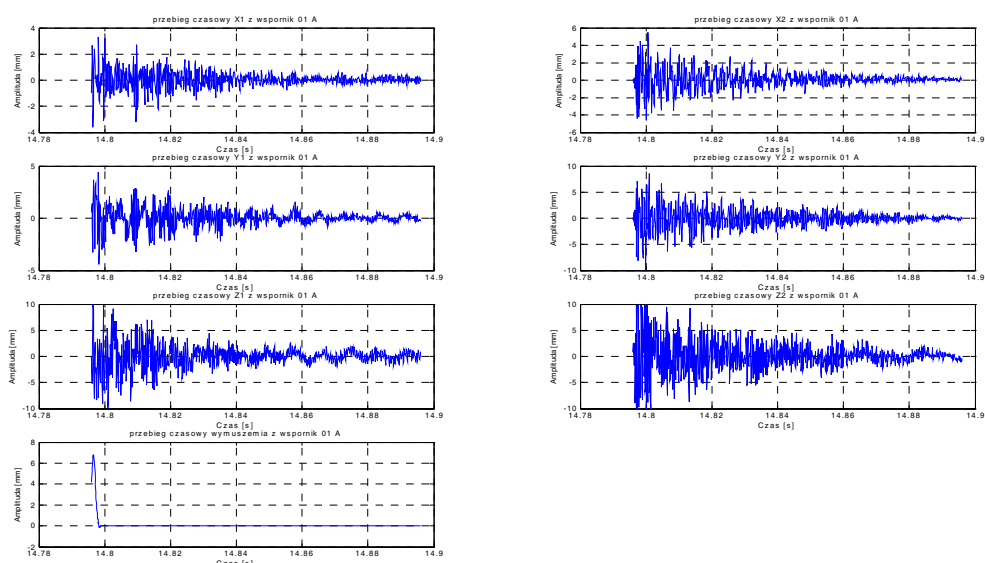
$$\xi = \frac{1}{N} \sum_N \frac{\delta_n}{2 \cdot \pi} \quad (18)$$

Dekompozycja falkowa została przeprowadzona dla każdego pasma częstotliwości. W zakresach tych sygnał wykazuje cechy sygnału monoharmonicznego.

Algorytm estymacji globalnego współczynnika tłumienia zastosowano do analizy sygnałów pozyskanych w trakcie badań szybu RUDNA I dnia 25-05-2003r. W pierwszym kroku należało określić wymaganą rozdzielczość metody. W tym celu przeprowadzono analizę sygnału dla wspornika nr01. przebiegi czasowe przedstawiono na rysunku poniżej (rys. 15). Górne wykresy przedstawiają przebiegi w osiach X, Y, z dla 2 czujników, natomiast ostatni wykres przedstawia przebieg siły wymuszającej.



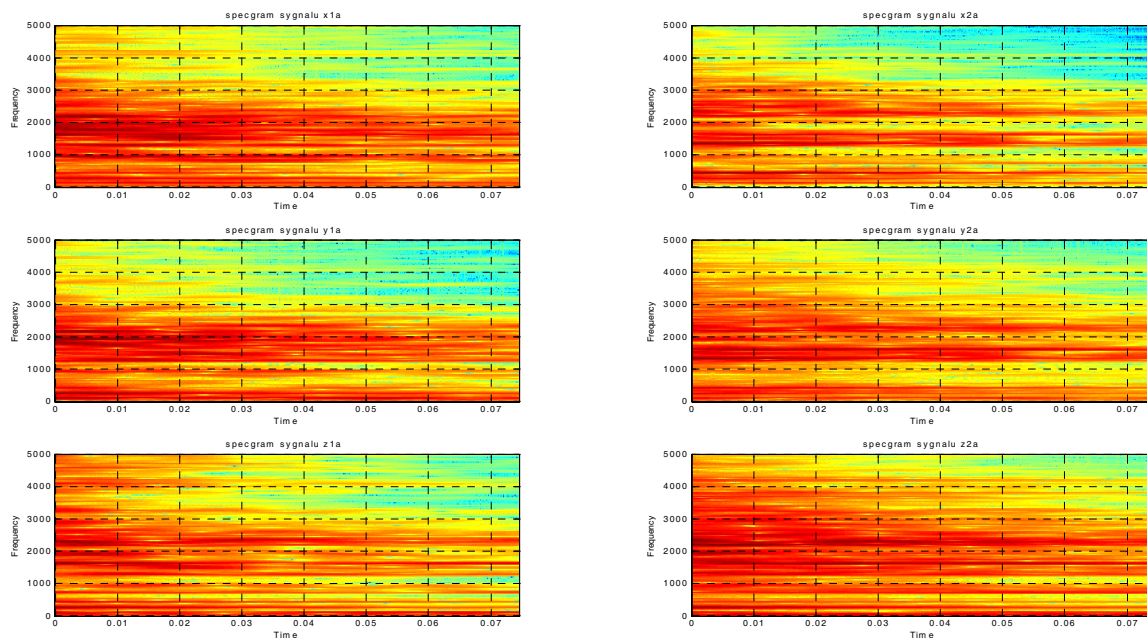
Rys. 14. Charakterystyka gęstości widmowej mocy sygnału



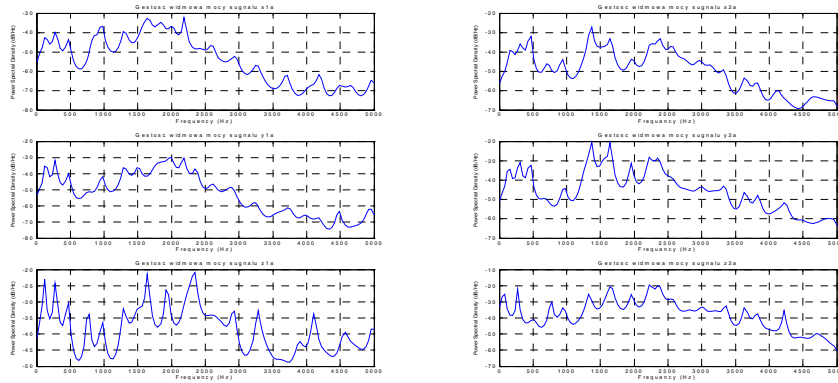
Rys. 15. Przebiegi czasowe dla sygnału pomiarowego belki nr 01

Dla powyższych przebiegów czasowych wykonano standardowe testy stacjonarności. Jednocześnie stwierdzono brak stacjonarności w tych sygnałach. Przeprowadzono więc krótkoczasową transformatę Fouriera (STFT) dla przebiegów odpowiedzi, której wyniki przedstawiono poniżej.

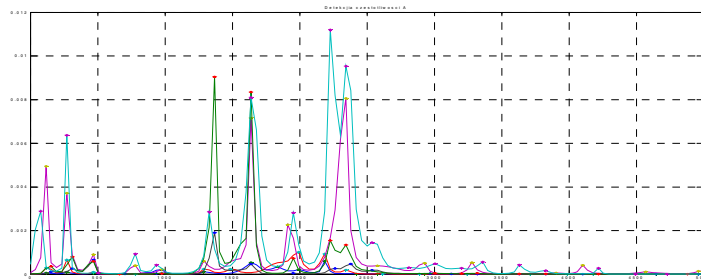
W celu określenia wymaganej rozdzielczości przeprowadzono estymacje widmowej gęstości mocy metodą kowariancji. Wyniki analiz przedstawiono na rys. 17 i 18.



Rys. 16. Krótkoczasowa transformata Fouriera dla sygnałów X1, X2, Y1, Y2, Z1, Z2



Rys. 17. Estymacja Gęstości Widmowej Mocy modelem 50 rzędu



Rys. 18. Detekcja poszczególnych częstotliwości dla pełnej sesji pomiarowej (3 pomiary po 2 czujniki w 3 osiach)

Z powyższych wykresów wynika że estymacja 50 rzędu jest wystarczająca dla identyfikacji znaczących częstotliwości. Analizy te powtórzono dla innych sygnałów. Otrzymano zbieżne wyniki. Na tej podstawie można wnioskować że dekompozycja falkowa na 5 poziomie uwzględni poszczególne składowe częstotliwościowe, dając odpowiednią rozdzielczość. Podniesienie rzędu dekompozycji nie dostarcza znaczących informacji, znacznie zwieszając czas obliczeń. Przyjęcie niższego rzędu spowoduje zamaskowanie niektórych częstotliwości.

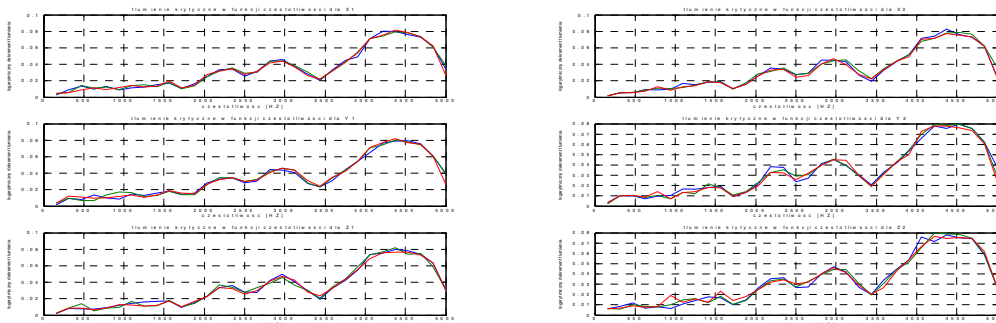
Dla tak przyjętych założeń wykonano analizę danych. Polegała ona na wielopakietowej dekompozycji poszczególnych sygnałów a następnie wyznaczenie logarytmicznego dekrementu tłumienia z poszczególnych

przebiegów czasowych. Wyniki zestawiono w postaci charakterystyki dekrementu tłumienia w funkcji częstotliwości. Przykładowy wykres dla sygnałów z belki nr 01 przedstawiono na rys. 19.

7. OPIS PROCEDUR POMIAROWYCH

Opracowana metodyka składa się z następujących działań:

1. Pomiary w szybie: Badania wykonuje zespół dwóch pracowników, przeszkolony w zakresie obsługi sprzętu pomiarowego oraz sygnalista-rewident szybowy. Spośród ekipy pomiarowej jeden dokonuje bezpośrednio pomiarów, a drugi zajmuje się archiwizacją danych, kontroluje przebieg badań itd.. Badania prowadzone są



Rys. 19. Logarytmiczny współczynnik tłumienia w funkcji częstotliwości

podczas jazdy naczyniem z góry w dół i wymagają postoju przy każdym badanym elemencie na czas niezbędny do wykonania badań. Badania prowadzone są z górnego piętra naczynia lub z głowicy Naczynie zatrzymywane jest zawsze w powtarzalny sposób: np. dla badania dźwigarów na wysokości połączenia z dźwigarem. W trakcie pomiarów, osoba badająca pobudza do drgań badany element poprzez uderzenie specjalnym młotkiem oraz rejestruje sygnał z czujnika przyspieszenia jako odpowiedź na wymuszenie.

2. Analiza wyników na powierzchni kopalni: Po zarejestrowaniu wszystkich sygnałów, w laboratorium na powierzchni, wykonuje się analizy wyników z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania. Algorytmy obliczeniowe bazują na analizie falkowej dającej możliwości obliczeń estymat punktowych lub funkcyjnych będących podstawą do wnioskowania diagnostycznego. Obliczone estymaty zezwalają na uzyskanie uporządkowanego zbioru identyfikatorów badanych elementów począwszy od elementu najbardziej zużytego do elementu o najlepszym stanie technicznym.

3. Identyfikacja najbardziej zużytych elementów w szybie. Otrzymany zbiór numerów badanych elementów zbrojenia zezwala na oznaczenie ich w szybie i wymianę lub, w przypadku nie przekroczenia dopuszczalnych wartości jego dalszą eksploatację z uwzględnieniem odpowiedniej okresowej kontroli. Elementy najbardziej zużyte można poddać dalszym badaniom np. poprzez dokładne rozpoznanie stanu za pomocą zaawansowanej techniki defektoskopowej.

Oprócz wiedzy na temat zaawansowania zużycia badanego elementu opisywana nowa metoda badawcza dostarcza innych bardzo ważnych informacji zezwalających na wnioskowanie o tym jak zachowuje się zbrojenie w warunkach wymuszeń dynamicznych, co jest nieosiągalne dla innych metod obecnie stosowanych.

Odpowiednie przetworzenie sygnału odpowiedzi zbrojenia na wymuszenie impulsowe daje możliwość identyfikacji tych miejsc w szybie, w których mogła nastąpić utrata sztywności i wymaga to podjęcia niezwłocznych zadań.

Proponowane w projekcie rozwiązanie może wprowadzić nową jakość w badaniach stanu zbrojenia szybowego, zezwoli na badanie i ocenę dowolnego elementu stalowego pod względem jego sztywności, co z kolei umożliwia oszacowanie jego zdolności do przenoszenia zadanych obciążeń ruchowych. Ponadto kompleksowe i szybkie badanie wszystkich elementów nośnych zbrojenia zezwoli na wybór z całej populacji zbioru najbardziej zużytych, ich monitoringu

a w konsekwencji eksploatację w możliwie długim, racjonalnie uzasadnionym czasie.

Takie podejście do problemu eksploatacji zbrojenia szybowego obecnie nie jest stosowane z powodu braku możliwości przeprowadzania szybkich i tanich pomiarów.

8. IMPLEMENTACJA OPRACOWANYCH ALGORYTMÓW

Budowa prototypowego systemu została oparta o przenośny komputer klasy PC. W układach pomiarowych został wykorzystany czujnik firmy PCB typ 356B08 oraz wzmacniacz ICP firmy Energocontrol typu: SC3000

Część pomiarowa algorytmów została zaimplementowana w środowisku LabView. Zbudowany został wirtualny przyrząd pomiarowy wyświetlający w trakcie pomiaru poszczególne charakterystyki. Część obliczeniowa została zaimplementowana w środowisku Matlab. Jednakże dla użytkownika nie jest dostępny pakiet Matlab-a, jest on wywoływany jako procedura wewnętrzna z programu w Labview. Procedura pomiarowa składa się z następujących kroków:

- 1) Przygotowanie danych konfiguracyjnych.
- 2) Zapis danych do karty pomiarowej.
- 3) Uaktywnienie pomiarów, oczekiwanie na impuls wyzwalający.
- 4) Po wystąpieniu warunku wyzwala następuje pomiar.
- 5) Odczyt danych z karty pomiarowej.
- 6) Przedstawienie przebiegów czasowych.
- 7) Sprawdzenie czy wartość średniokwadratowa sygnałów osiągnęła wymagany próg.
- 8) Wyczyszczenie bufora karty pomiarowej i zamknięcie kanału komunikacyjnego.
- 9) Usunięcie trendów liniowych w sygnale.
- 10) Normalizacja sygnału.
- 11) Obliczenie gęstości widmowej mocy oraz jej wyświetlenie.
- 12) Przeprowadzenie falkowej dekompozycji pakietowej.
- 13) Obliczenie współczynników falkowych.
- 14) Rekonstrukcja poszczególnych pakietów.
- 15) Przeliczenie funkcji pakietów na częstotliwość
- 16) Detekcja ekstremów w poszczególnych pakietach.
- 17) Wytypowanie ekstremów malejących.
- 18) Obliczenie stosunku tych ekstremów.
- 19) Obliczenie logarytmicznego dekrementu na podstawie tych stosunków.
- 20) Uśrednienie współczynników dla całych zakresów czasowych.
- 21) Wyświetlenie współczynników w funkcji częstotliwości.
- 22) Obliczenie wartości średnich wszystkich zrekonstruowanych sygnałów.
- 23) Wyświetlenie tych wartości w funkcji częstotliwości.

- 24) Uśrednienie logarytmicznego dekrementu tłumienia dla wszystkich sygnałów.
- 25) Wyświetlenie tych wyników.
- 26) Generacja raportu.
- 27) Zakończenie działania.

Po uruchomieniu programu pojawia się panel kontrolny przyrządu (rys. 20). Uruchomienie pomiaru następuje po naciśnięciu przycisku 1, w górnej części panelu. Przed przystąpieniem do pomiarów należy przeprowadzić ustawienia. W tym celu w obszarze 2, w ikonie „scan rate” wybieramy częstotliwość próbkowania – standardowo 2000Hz. Następnie wybieramy długość sygnału w polu „number of scans to acquire”. Standardowo wynosi ona 1024. Kolejnym ustawieniem jest poziom wyzwania. W polu „trigger level” można ustawić czułość na zbrocze wyzwajające. Ponieważ pomiar wykonywany jest automatycznie należy dobrać ten poziom aby w przypadku wymuszenia następował pomiar, natomiast w przypadku przestawiania czujnika lub innych zakłóceń przyrząd pozostawał w stanie gotowości. W polu „time limit” można ustawić czas w jakim przyrząd oczekuje na pomiar. Standardowo wynosi on 10 sekund. W polu „wspornik nr” należy wpisać dane identyfikujące badany element. Jeśli badane są wsporniki, należy podać jego numer, umiejscowienie oraz inne dane umożliwiające jego późniejszą identyfikację.

Na wykresach 3 (rys. 20) po wykonaniu pomiaru przedstawione zostaną przebiegi czasowe w osiach X, Y oraz Z.

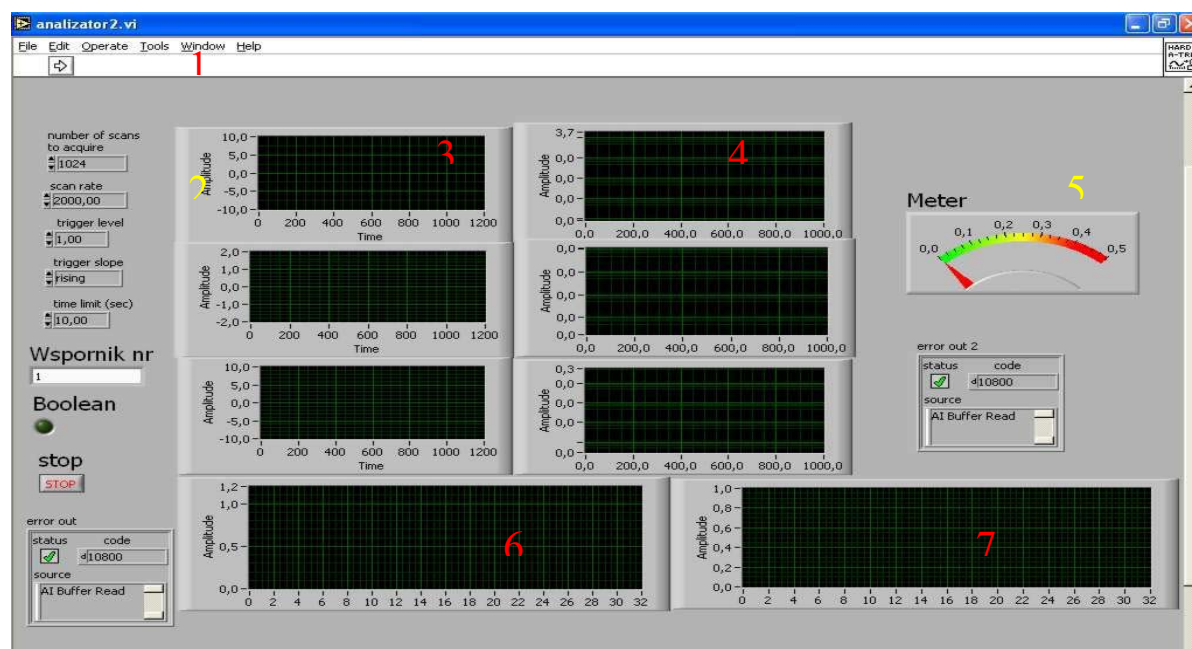
W oknach 4 (rys. 20) przedstawione są gęstości widmowe mocy poszczególnych przebiegów. Umożliwiają one identyfikację częstotliwości oraz weryfikację poprawności pomiaru. W oknie 6 (rys.

19) przedstawiona jest charakterystyka tłumienia wszystkich składowych w funkcji częstotliwości. Częstotliwość na tym wykresie przedstawiona jest jako poziom aproksymacji. W tej samej dziedzinie na wykresie 7 (rys. 20) przedstawione są widma falkowe Uśredniony dekrement tłumienia można odczytać z miernika 5 (rys. 20).

Program automatycznie generuje raport w postaci dokumentu html. Dokumenty te są zapisywane w katalogu *pomiar* w podkatalogu utworzonym z daty wykonywania pomiaru. Nazwa dokumentu utworzona jest z danych wpisanych w pole „wspornik nr” oraz godziny i minuty wykonywania pomiarów. Również w tym samym miejscu i tą samą nazwą generowany jest zbiór z rozszerzeniem *bin* zawierającym przebiegi czasowe mierzonych sygnałów.

8. WNIOSKI

Prezentowana metoda była weryfikowana w kilku kopalniach węgla kamiennego oraz miedzi. Weryfikacja metody polegała na porównaniu zmierzonej grubości ścianek poszczególnych elementów z ich globalnym współczynnikiem tłumienia. Z badań tych wynika że prezentowana metoda może służyć jako metoda selekcyjna. Po zbadaniu całości szybu, elementy, których globalny współczynnik tłumienia znacznie różni się od średniej z całego szybu powinny być przebadane innymi metodami. Istotną zaletą prezentowanej metody jest ocena nie tylko samego elementu ale również jego otoczenia, zwłaszcza mocowanie i posadowienie. Krótki czas pomiaru i analizy umożliwia szybkie badanie szybu.



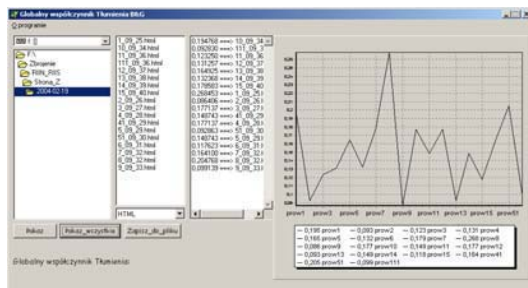
Rys. 19. Widok ekranu przyrządu pomiarowego

Z przeprowadzonej analizy numerycznej zależności pomiędzy zmianą częstości drgań własnych a stopniem pocienienia przekroju poprzecznego elementu belkowego w postaci ceownika dla analizy modalnej rzeczywistej wynika że:

- dla wszystkich postaci drgań własnych można zaobserwować niewielki spadek częstotliwości drgań własnych wraz ze zmniejszaniem się grubości ścianek przekroju poprzecznego.
- dla zmiany przekroju poprzecznego o 40% różnica w częstotliwości drgań własnych waha się od 2,2% dla postaci pierwszej do 17% dla postaci piątej. Dla pozostałych postaci różnice częstości drgań własnych znajdują się w podanym przedziale.
- zmiana przekroju o 50% nie wnosi większych zmian w przedziale rozrzutu wyników poza tym iż dolna granica przedziału wynosi 3,2% dla postaci pierwszej a górna 18% dla postaci drugiej.

Przeprowadzone badania pokazują że metoda pomiaru częstotliwości drgań własnych nie rokuje dużej przydatności dla diagnozowania stanu zużycia elementów zbrojenia szybowego.

Obecnie badanie zbrojenia szybowego w oparciu o globalny współczynnik tłumienia pomaga określić które współczynniki tłumienia zbadanych elementów zbrojenia odstają od pozostałych na podstawie zestawienia wszystkich zmierzonych wartości. Wynik takiego zestawienia przedstawiono na rys. 20.



Rys. 20. Zestawienie wyników pomiarów

Widać na rys. 20, że współczynnik tłumienia elementu nr 8 (proszek8) zdecydowanie odbiega od pozostałych wartości. Jest to podstawa do bardziej szczegółowego sprawdzenia jego stanu technicznego.

Na podstawie doświadczeń uzyskanych podczas testowania proponowanej metody możemy stwierdzić, że daje ona informacje jakościowe. Możliwe, że w przyszłości po udoskonaleniu algorytmu, jak i modyfikacji np. sposobu przeprowadzenia pomiaru będzie w stanie dawać miarodajne rezultaty w ocenie ilościowej stanu konstrukcji zbrojenia.

Warto również wspomnieć, że równolegle z naszymi badaniami powstaje kompleksowa baza

danych mająca na celu usprawnienie identyfikacji uszkodzeń w konstrukcjach szybowych, jak i umożliwiająca stworzenie archiwum sygnałów będących odpowiedzią impulsową badanego elementu zbrojenia. Może ono w przyszłości posłużyć to określenia np. linii trendu wspomagając algorytm decyzyjny w kwalifikowaniu danego elementu do grupy spełniającej bądź nie dane wymagania. Dodatkowo posiadanie tak kompleksowej bazy ułatwi testowanie nowych metod wykorzystujących odpowiedzi impulsowe przez co możliwe będzie ich wcześniejsze wykorzystanie bądź odrzucenie.

BIBLIOGRAFIA

1. Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G., Poggi J. M. *User's Guide: „Wavelet Toolbox for use with Matlab®”* Mathworks 1996.
2. LabView - *Measurements Manual*, National Instruments Corp. 2000.
3. LabView - *Signal Processing Toolset User Manual*, National Instruments Corp. 2001
4. Batko W., Ziółko M., *Zastosowanie teorii falek w diagnostyce technicznej*, Wydział IMiR AGH Kraków 2001.
5. Zieliński T. P., *Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, Wydział EAiE AGH Kraków 2002.



Prof. dr hab. inż. **Wojciech BATKO**, prof. zw. AGH ur. 1949. Kierownik Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH, autor i współautor ponad 230 publikacji, w tym 12 książkowych. Zajmuje się zagadnieniami dynamiki i wibroakustyki maszyn oraz zagadnieniami diagnostyki technicznej.



Dr inż. **Tomasz KORBIEL** jest adiunktem w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki AGH. Jego zainteresowania związane są z diagnostyką techniczną oraz systemami monitorującymi w technice.

MODELOWANIE I IDENTYFIKACJA WPLYWU KONTAMINACJI CIECZY ROBOCZEJ NA TRWAŁOŚĆ INSTALACJI HYDRAULICZNYCH STATKÓW POWIETRZNYCH

Marek ZBOIŃSKI

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
01-494 WARSZAWA, ul. Księcia Bolesława 6, tel./fax. (22) 685 22 99, marek.zboinski@itwl.pl

Streszczenie

Nowoczesna optymalizacja techniczno-ekonomiczna eksploatacji urządzeń hydraulicznych wymaga określenia trwałości elementów układu w zależności od warunków pracy. Takie podejście w eksploatacji statków powietrznych w szczególności dotyczy precyzyjnych par zespołów hydraulicznych wspomagających systemy sterowania statków powietrznych.

Na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych, badań stanów awaryjnych i wniosków z analizy statystycznej, opracowano metodę określania granicznego poziomu zanieczyszczenia cieczy roboczej określającego wrażliwość elementów układu hydraulicznego. Wyznaczenie wrażliwości zanieczyszczeniowej zespołów wzmacniaczy hydraulicznych stanowić będzie pomoc w opracowaniu urządzeń zabezpieczających przed wystąpieniem stanów awaryjnych w celu zapewnienia maksymalnego stopnia bezpieczeństwa lotów statków powietrznych.

Słowa kluczowe: statki powietrzne, układy hydrauliczne, modelowanie, procesy zużyciowe.

MODELLING AND EVALUATION OF EFFECTS OF WORKING LIQUID'S CONTAMINATION UPON AIRCRAFT HYDRAULIC UNITS' LIFE

Summary

Modern technological and economical optimisation of processes of operating hydraulic systems requires life of the system's components to be defined, depending on operating conditions. Such approach in the field of operating the aircraft applies in particular to precision pairs of hydraulic units that assist control systems of aircraft.

On the grounds of operation-based experience, investigation into failure modes, and conclusions drawn from statistical analysis, a method of determining the boundary level of liquid contamination has been developed. Determination of contamination susceptibility of units of hydraulic intensifiers would prove helpful in designing and developing safe-guarding systems/devices to protect aircraft against failure modes. This, in turn, is supposed to provide aircraft with the highest flight safety levels possible.

Keywords: aircrafts, hydraulic systems, modeling, wear mechanisms.

1. WSTĘP

Układy hydrauliczne statków powietrznych przeznaczone są do przekazywania energii w celu napędu i sterowania szeregiem zespołów konstrukcji płatowca. Funkcjonalnie można je podzielić na zasilające i układy odbioru energii. Ze względu na charakter odbioru energii są to układy wymagające ciągłego lub periodycznego zasilania. W układach płatowcowych zespoły instalacji hydraulicznej wymagające ciągłego odbioru energii są wykorzystywane przede wszystkim we wspomaganie systemów sterowania statków powietrznych.

Zespoły hydrauliczne wspomagające systemy sterowania wykorzystywane są od kilkadziesiąt lat. Ze względu na ich charakterystyki są na chwile obecną podstawowym zespołem. Przy małej masie

uzyskujemy duże siły i momenty. Płynność ruchu jest zdecydowanie lepsza w porównaniu z napędem elektrycznym czy pneumatycznym. Jednym z głównych mankamentów układów hydraulicznych jest zachowanie szczelności połączeń i wrażliwość na zanieczyszczenie cieczy roboczej. Systemy sterowania wymagają płynnego przekazania ruchu z drążka sterowego SP na powierzchnie sterowe.

Trwałość i niezawodność samych układów hydraulicznych zależy w decydującym stopniu od stanu technicznego cieczy roboczej, która jest czynnikiem przenoszącym energię w tych układach. Ciecz robocza w instalacji hydraulicznej musi spełnić wiele funkcji:

- nośnika energii;
- czynnika smarującego;
- czynnika odprowadzającego ciepło;

- czynnika ochrony przed utlenianiem powierzchni elementów zespołu;
- odprowadzenie produktów zużycia i cząstek zanieczyszczenia;
- uszczelniacza układu.

Jednocześnie wymaga się, aby posiadała szereg właściwości fizykochemicznych, jak i mechanicznych uwzględniając wyżej wymienione funkcje.

Zespoły wchodzące w skład układu hydraulicznego wspomagającego systemy sterowania to: wzmacniacze hydrauliczne (silniki hydrauliczne, serwomechanizmy), zawory, elektrozwory, rozdzielacze i filtry. Bezpośrednio na powierzchnie sterowe oddziałuje wzmacniacz. Wzmacniacz jest urządzeniem, w którym moc strumienia cieczy roboczej na wyjściu jest większa niż wykorzystywana do jego sterowania.

Pary suwakowe, obrotowe, elementy dławiące, kanały przepływowe tych zespołów wykonane są z bardzo dużą dokładnością i pasowane z bardzo małymi luzami, rzędu kilku mikrometrów oraz bardzo precyzyjnymi małymi przykryciami otworów przepływowych i kanałów. Przemieszczenie suwaka, trzona, obrót tarczy, odstąpienie i przysłonięcie odpowiedniego otworu przepływowego powoduje w ostateczności odpowiednie wychylenie powierzchni sterowych, a w efekcie żądane przemieszczenie statku powietrznego w przestrzeni. Niezawodność ich działania jest bardzo ważna z punktu bezpieczeństwa lotu i wykonania zadania.

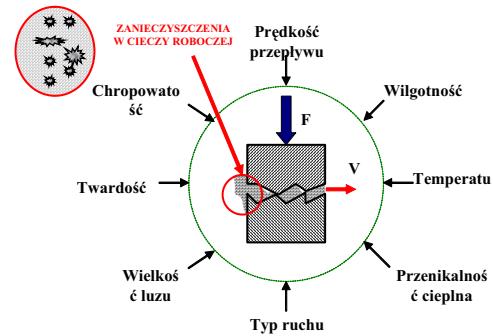
2. PROCESY ZUŻYCIA I POWSTAWANIA PRODUKTÓW ZUŻYWANIA W UKŁADACH HYDRAULICZNYCH

Rozwój konstrukcji lotniczych powoduje wzrost wymagań w stosunku do wchodzących w ich skład układów hydraulicznych. Następuje wzrost ciśnienia cieczy roboczej, przy jednoczesnym zmniejszających się gabarytach zespołów układów hydraulicznych statków powietrznych, co jest przyczyną wielu trudności produkcyjnych i eksploatacyjnych. Problem są także minimalne odkształcenie części. Konieczne jest stosowanie bardzo małych luzów w celu zminimalizowania przecieków między współpracującymi parami. Uzyskiwanie dużych mocy zespołów o niewielkich rozmiarach prowadzi do podniesienia temperatury cieczy roboczej, a tym samym do spadku jej lepkości. Pogarsza to własności smarne cieczy roboczej i zwiększa się zużycie węzłów tribologicznych (rys. 1).

Dla układów hydraulicznych podobnie jak w układach smarowania łożysk i przekładniach zachodzą procesy zużycia, których typy szeroko zostały opisane w literaturze [1, 2, 3, 4, 5] dlatego poniżej wymieniono charakterystyczne procesy:

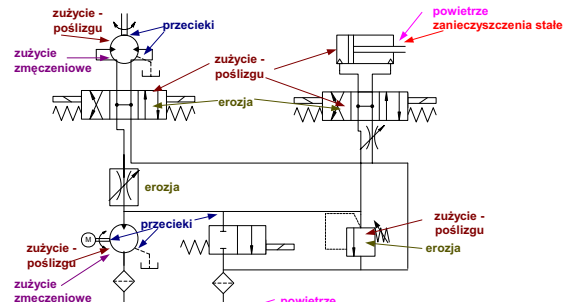
1. Zgrzewanie elementów stykających się powierzchni - **adhezja**.
2. Ścieranie - **abrazja**.
3. Zmęczenie - **pitting**

4. Rozwarstwienie - **delaminacja**
5. **Korozja**
6. Zużycie cieczy roboczej
7. rozkład chemiczny - oddziaływanie cieplne;
8. fizyczne - wymuszenia mechaniczne – ścinanie;
9. Blokowanie elementów układu - **silting**.



Rys. 1. Czynniki zwiększające siłę tarcia i proces zużywania pary tribologicznej

W układach rzeczywistych mamy do czynienia z występowaniem różnych typów zużywania jednocześnie i dlatego potrzebne jest ogromne doświadczenie w celu jednoznacznego określenia typu, przyczyny i źródła występowania zużywania.



Rys. 2. Miejsca zanieczyszczenia i zużycia elementów w typowym układzie hydraulicznym [6]

Układy hydrauliczne były diagnozowane w przeszłości przez kontrolę ciśnienia niezmiernie rzadziej poprzez pomiar natężenia przepływu cieczy co nie zawsze dawało obraz u występujących zjawisk związanych ze zużyciem. Na rys. 2 przedstawione są punkty powstawania zużycia i zanieczyszczeń w typowym układzie hydraulicznym.

3. MODELOWANIE PROCESÓW TRIBOLOGICZNYCH ZACHODZĄCYCH W UKŁADACH HYDRAULICZNYCH

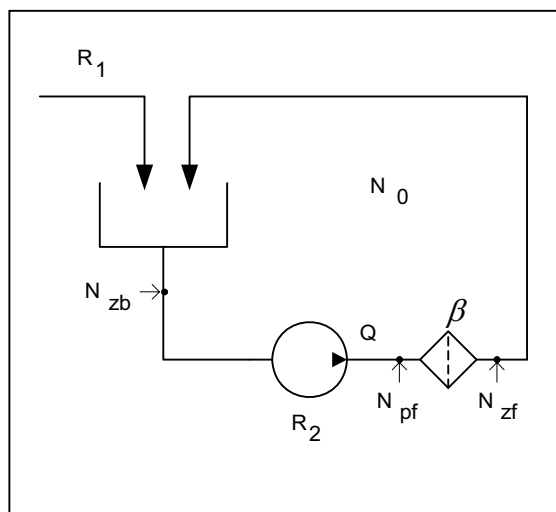
Z punktu widzenia diagnostyki układu hydraulicznego, ciecz robocza może być traktowana z jednej strony jako element (w sensie ogólnym), z drugiej zaś jako nośnik informacji diagnostycznej o stanie układu (produkty zużycia, degradacja właściwości w procesie eksploatacji, itd.). W tym

podejściu, diagnozowanie kontaminacji cieczy roboczej jest niezbędne do oceny stanu układu jak i samej cieczy.

Konieczność poznania wpływu kontaminacji na funkcjonowanie i niezawodność układu hydraulicznego wspomagania system sterowania samolotu wymaga opracowania modelu, który umożliwi określenie dopuszczalnego poziomu kontaminacji tolerowanej przez wzmacniacz hydrauliczny układu. Matematyczny opis zjawiska pozwoli na określenie źródeł generujących cząsteczki zużycia oraz wejść, przez które następuje ingresja obcych ciał stałych do układu, a także uzyskanie wiedzy o efektywności umieszczonych w układzie filtrów i prawidłowości ich rozmieszczenia. Na tej podstawie możliwe będzie opracowanie koncepcji systemu diagnostycznego kontaminacji w procesie eksploatacji układu hydraulicznego wspomagania system sterowania samolotu.

Do rozważań przyjęto trzy znane modele wychodzące z bilansu równowagi koncentracji zanieczyszczeń w układzie.

3.1. Model OSU (Oklahoma State University Model)



Rys. 3. Schemat modelu OSU [8]:

N_0 - początkowa koncentracja zanieczyszczeń w układzie;

N_{zb} - koncentracja zanieczyszczeń w zbiorniku; N_{pf} - koncentracja zanieczyszczeń przed filtrem;

N_{zf} - koncentracja zanieczyszczeń za filtrem;

R_1 - intensywności wprowadzania zanieczyszczeń z otoczenia;

R_2 - intensywność generowania zanieczyszczeń w układzie; Q - natężenie przepływu cieczy roboczej;

β - stosunek N_{pf} do N_{zf}

W modelu OSU [2] założono stałe wartości intensywności wprowadzania zanieczyszczeń z otoczenia (R_1) oraz w wyniku procesów zużycia

(R_2), a także jednolity rozkład wielkości cząstek w układzie.

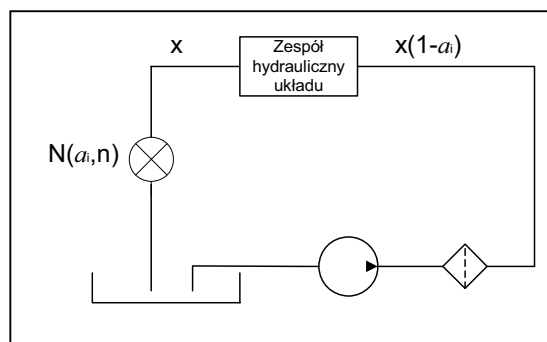
Koncentracja zanieczyszczeń przed filtrem (rys. 3) jest opisana zależnością:

$$N_{pf} = \frac{\beta}{\beta - 1} \frac{(R_1 + R_2)}{Q} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (1)$$

3.2. Model Andersona

Dokładniejsza analiza kontaminacji układu hydraulicznego została przeprowadzona przez Andersona według schematu przedstawionego na rys. 4. Model Andersona [7, 8] został opracowany przy następujących założeniach:

- podczas jednego cyklu cała ilość cieczy roboczej przepływa przez zespół hydrauliczny;
- czas trwania cyklu stanowi iloraz ilości cieczy w układzie i wydatku pompy;
- podczas jednego cyklu zespół hydrauliczny generuje x cząsteczek zanieczyszczeń;
- skuteczność usuwania cząsteczek i -tego rozmiaru (gdzie d_i odnosi się do charakterystycznego rozmiaru cząsteczek) wynosi a_i , gdzie: $0 \leq a_i \leq 1$;
- podczas każdego cyklu jest usuwane $a_i x$ cząsteczek z cieczy roboczej w wyniku:
 - niszczenia podczas przejścia przez zespół hydrauliczny układu,
 - wytrącania w zbiorniku,
 - zatrzymania przez filtr.



Rys. 4. Model Andersona [1]:

x - liczba cząstek generowanych przez zespół hydrauliczny; a_i - skuteczność usuwania cząstek z układu; $N(a_i, n)$ - koncentracja cząsteczek zanieczyszczeń; n - liczba cykli - przejście całej objętości cieczy roboczej przez układ liczone jako jeden cykl

Po n cyklach koncentracja cząsteczek wynosi:

$$N(a_i, n) = x + x \cdot (1 - a_i) + x \cdot (1 - a_i)^2 + \dots + x \cdot (1 - a_i)^{n-1} \quad (2)$$

Gdy liczba cykli dąży do nieskończoności ($n \rightarrow \infty$) koncentracja osiąga wartość graniczną:

$$N(a_i, \infty) \rightarrow \frac{x}{a_i} \quad (3)$$

Zależność koncentracji cząstek zanieczyszczeń od skuteczności filtrowania (wyrażonej współczynnikiem β) może być opisana następująco:

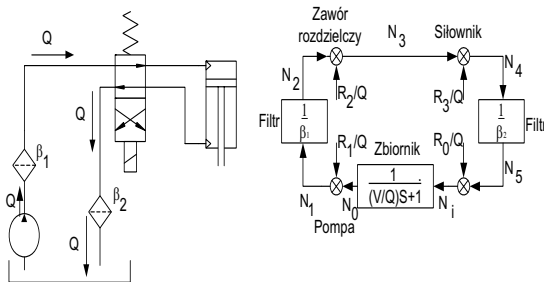
$$N(a_i, n) = x \frac{\beta_i^n - 1}{\beta_i - 1} \beta_i^{(1-n)} \quad (4)$$

3.3. Model DCC (Dynamic Contamination Control)

Dynamiczny model sterowania kontaminacją (DCC) cieczy roboczej układu hydraulicznego uwzględnia (rys. 5):

- wielowymiarowy model ingresji zanieczyszczeń z otoczenia;
- wielowymiarowy model generowania zanieczyszczeń w rozpatrywanym układzie hydraulicznym;

Na rys. 5 przedstawiono przykład układu hydraulicznego oraz jego model dynamiczny odwzorowany w przestrzeni zmiennej zespolonej s (z wykorzystaniem przekształcenia Laplace'a) umożliwiający przeprowadzenie badań symulacyjnych z zastosowaniem odpowiednich pakietów programowych (np. MATLAB-Simulink).



Rys. 5. Model DCC[8]:

$N_0 \dots N_5$ - koncentracja kontaminacji w poszczególnych liniach;

$R_0 \dots R_3$ - intensywność wnikania kontaminacji w danej linii układu odniesione do Q ;

Q - natężenie przepływu; β_1, β_2 - współczynniki dokładności filtrowania

Przedstawiony model stanowi uogólnienie przeprowadzonych dotychczas rozważań i umożliwia zastosowanie dostępnych narzędzi programistycznych w celu przeprowadzenia analizy wpływu wybranych czynników na niezawodność i trwałość układów hydraulicznych.

Przy uwzględnieniu wielu linii wysokiego ciśnienia, które wchodzi w skład układu hydraulicznego złożonego obiektu technicznego (np. statku powietrznego), poziom kontaminacji dla całego układu N_{uz} opisany jest zależnością:

$$N_{uz} = N_{lz} + N_{li} + N_{zb} = \sum_{i=1}^k \frac{R_{rij}}{Q} F_{uz} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^l \frac{R_{rij}}{\prod \beta_{mn}} + \frac{R_0}{Q} \quad (5)$$

gdzie :

N_{lz} - koncentracja kontaminacji w linii zasilającej;

N_{li} - koncentracja kontaminacji w i -tej ($i=1, 2 \dots m$) linii układu;

N_{zb} - koncentracja kontaminacji w linii niskiego ciśnienia (na wejściu do zbiornika);

R_{rij} - j -ty ($j=1, 2 \dots l$) wskaźnik wnikania kontaminacji do i -tej ($i=1, 2 \dots m$) linii układu;

R_0 - intensywności wprowadzania zanieczyszczeń z otoczenia;

n - liczba filtrów w i -tej linii między źródłem R_{rij} i linią niskiego ciśnienia (na wejściu do zbiornika);

k - liczba źródeł kontaminacji w linii wysokiego ciśnienia;

β_{mn} - współczynnik dokładności filtracji zależny od wymiaru cząstek;

m - liczba linii układu;

l - liczba źródeł kontaminacji w liniach układu.

4. DYSKUSJA PRZEDSTAWIONYCH MODELI

Modele OSU i Andersona opisują układ składający się z jednej linii, który jest pewnym uproszczeniem w stosunku do rzeczywistych układów. Wadami tych modeli są:

- przyjęcie stałego poziomu zużycia, co jest spełnione tylko dla normalnego zużycia;
- przyjęcie stałego wskaźnika usuwania zanieczyszczeń z układu;
- przyjęcie jednego źródła zanieczyszczeń w układzie (zbiornik) – w prawdziwym układzie jest ich więcej; to praktycznie każda para tribologiczna i uszczelnienie;
- rozpatrywana jest tylko jedna linia układu;
- nie są uwzględniane czynniki związane z właściwościami chemicznymi cieczy i ich dodatkami;
- przyjęte modele dostarczają informację o poziomie kontaminacji w zbiorniku, który reprezentuje cały układ.

Mimo pewnych ograniczeń modele dają pogląd na przebieg zjawisk związanych z kontaminacją cieczy roboczej układu hydraulicznego. Dostarczają wiedzy na temat rozkładu cząstek w układzie i uzyskiwanej koncentracji zanieczyszczeń w zależności od cech konstrukcyjnych poszczególnych elementów (filtry, zbiornik) oraz czasu, w jakim powinna odbywać się kontrola poziomu kontaminacji z uwzględnieniem miejsca poboru próbki.

Model DCC dostarcza natomiast informacji o poziomie kontaminacji w wybranym miejscu układu przez co pozwala na badanie skutków rozmieszczenia filtrów i ich dokładności. Umożliwiła rozwiązanie problemu kontroli kontaminacji układu przy użyciu technik cyfrowych, generując wiedzę o układzie w czasie rzeczywistym.

Ponadto daje możliwość stosowania czujników, które zainstalowane w układzie w odpowiednim miejscu będą – w połączeniu z technologią „inteligentnych filtrów” – stanowiły system czynnego monitorowania kontaminacji układu hydraulicznego.

5. IDENTYFIKACJA PROCESÓW ZUŻYWANIA W UKŁADZIE HYDRAULICZNYM – EKSPERYMENT CZYNNY

Układ badawczy, wykonany w celu określenia wpływu zanieczyszczeń na pracę poszczególnych elementów wzmacniacza, umożliwia uzyskiwanie założonych koncentracji zanieczyszczeń na zasadzie dozowania zanieczyszczeń testowych. Parametry funkcjonalne układu badawczego (ciśnienie robocze, natężenie przepływu, obciążenia zewnętrzne) przyjmują wartości podobne jak w układzie rzeczywistym – pokładowej instalacji hydraulicznej samolotu typu Su-22 [9].

Podczas badań użyto zanieczyszczeń standardowych ACFTD (AC Fine Test Dust) o znanym rozkładzie granulometrycznym i grawimetrycznym. W układzie rzeczywistym występują cząsteczki zanieczyszczeń o różnych wymiarach, przy czym cząsteczki duże nie muszą zawsze występować (np. w wyniku zatrzymania przez filtry), gdy tymczasem cząsteczki małe mogą występować niezależnie od cząsteczek dużych. Dlatego dozowane zanieczyszczenia standardowe uzyskane zostały za pomocą testu kwalifikacyjnego „single-cut”, który zapewnia jednostronnie ucięty przedział wymiarowy cząsteczek: 0÷5 µm, 0÷10 µm, 0÷20 µm, itd. przy masowym udziale 300 µg na litr cieczy roboczej.

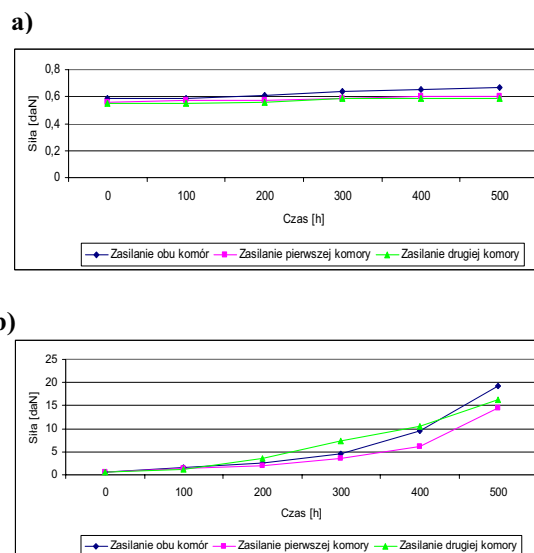
Na rys. 6 przedstawiono przebieg zmian siły, jaką należy przyłożyć do dźwigni sterującej płytkami rozdzielczymi we wzmacniaczu, aby uzyskać ich całkowite przemieszczenie. Siła ta charakteryzuje:

- tarcie w łożysku dźwigni sterującej,
- tarcie w połączeniach przegubowych łączących dźwignię sterującą płytkami,
- tarcie płytek rozdzielczych przy współpracy z przylgnia,
- tarcie wywołane powstaniem obliteracji.

Pomiar siły i badanie cieczy roboczej wykonano przy jednoczesnym i oddzielnym zasilaniu obydwu komór wzmacniacza co umożliwiło przeprowadzenie symulacji zasilania z instalacji głównej i wzmacniaczy jak w układzie rzeczywistym samolotu.

Na rys. 6a widać nieznaczny przyrost siły, który mieści się w dopuszczalnej granicy zgodnie z warunkami technicznymi określonymi przez producenta statku powietrznego. Poziom granulometryczny (rozkład ilościowo-wymiarowy) zanieczyszczeń zawartych w cieczy roboczej, mierzony w czasie badania, utrzymywany był na

poziomie 7 klasy czystości zgodnie z normą GOST 17216-71, co odpowiada 4 klasie wg normy NAS 1638. Natomiast po wprowadzeniu zanieczyszczeń testowych siła wzrastała wykładniczo i po czasie około 100 h przekroczyła wartość graniczną 2,1 daN przy poziomie 12 klasy czystości zgodnie z normą GOST (rys. 6b).



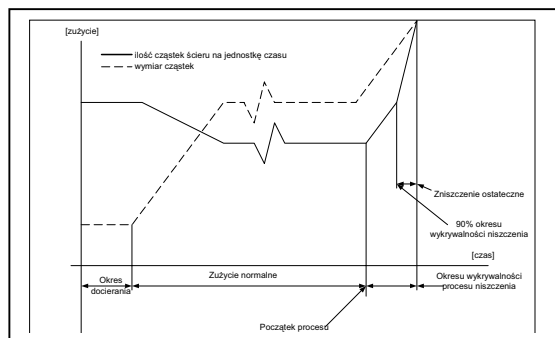
Rys. 6. Przebieg zmian siły, jaką należy przyłożyć do dźwigni sterującej płytkami rozdzielczymi w funkcji czasu dla różnych klas czystości cieczy roboczej [9]:

- a) 7 klasa czystości zgodnie z GOST 17216-71;
- b) 12 klasa czystości zgodnie z GOST 17216-71 dla przekroczenia wartości granicznej, 16 klasa w chwili zatarcia elementów rozdzielacza wzmacniacza hydraulicznego

Przykładowe charakterystyki zmian siły potrzebnej do sterowania płytkami rozdzielczymi przedstawiono ze względu na fakt, że są one zadawane przez pilota za pomocą drążka sterowego. Jeżeli siła przekroczy wartości graniczne, wówczas pilot ma trudności w sterowaniu samolotem, a nawet brak takiej możliwości.

6. PODSUMOWANIE

Cząstki zużycia tribologicznego przemieszczają się w cieczy roboczej występując w całym obiegu - układzie. Analiza próbki pobranej z dostępnego miejsca i ze względu na jego charakter dostarcza informacji diagnostycznej o stanie technicznym układu a zwłaszcza jego węzłów tribologicznych. Do oceny cząstek służą ww. metody, które stosowane są w zależności od przyjętych założeń formy pozyskiwania informacji. Proces diagnozowania zużycia w układzie determinuje krzywa Lorentza co przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Przebieg zużycia elementów trących układu w czasie – krzywa Lorentza

Informacje diagnostyczne uzyskiwane za pomocą monitorowania cząstek generowanych w układzie przez pary tribologiczne jest zależne od zastosowanych narzędzi pomiarowych i warunków eksploatacji. W zależności od rodzaju zastosowanych metod można uzyskać informacje zarówno o ilości jak i jakości uzyskiwanych produktów zużycia i na tej podstawie sądzić o stanie technicznym układu.

LITERATURA

- [1] Anderson D. P.: *Developments in Analytical Ferrography*. Wear Particles Atlas, Predict Technologies, June 1992.
- [2] Baczewski K.: *Zanieczyszczenia płynów eksploatacyjnych*. Paliwa, Oleje i Smary w eksploatacji nr 33, s. 8-11, Warszawa 1997.
- [3] Bińczak K., Lewitowicz J., Wolski J.: *System ewidencji, oceny i prognozowania stanu technicznego układów łożyskowania silników lotniczych i pokładowych instalacji hydraulicznych*. 4th International Conference Aircraft and Helicopters Diagnostics AIRDIAG '95, Warszawa 1995.
- [4] Borowik S.: *Wprowadzenie do inżynierii kontaminacji cieczy roboczych i precyzyjnych urządzeń płynowych*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy czystości lotniczych cieczy roboczych”, s. 23-39, Wrocław 1989.
- [5] Lewitowicz J., Zboiński M.: *Monitorowanie kontaminacji w procesie eksploatacji układów hydraulicznych statków powietrznych*. XIV Konferencja Naukowa Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane 2001.
- [6] Girtler J.: *Prawdopodobieństwo podjęcia prawidłowej decyzji diagnostycznej jako miara wiarygodności diagnozy*. Wybrane Problemy Eksploatacji Siłowni Okrętowych, Środowiskowe Zebranie Naukowe 25-26 kwietnia 1996 w Szczecinie, Szczecin 1996.
- [7] Borowczyk H., Zboiński M.: *Analiza wybranych modeli kontaminacji cieczy roboczej układu hydraulicznego*. Prace Naukowe ITWL. Zeszyt nr 11 s.5-16, Warszawa 2000.
- [8] Stecki S. J.: *Modeling of contamination control system*. First Annual Workshop on Total

Contamination Control, Monash University, Fluid Power Net Publications, s. 117-133, Melbourne 1998.

- [9] Zboiński M.: Program badań pracy nt.: „Badanie wrażliwości wzmacniaczy hydraulicznych statków powietrznych na produkty zużycia węzłów tribologicznych pkt. 3 harmonogramu - metodyka prowadzenia badań opracowania wyników” nr bibl. 12642. Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa 2000.
- [10] Żółtowski B., Ćwik Z.: *Leksykon diagnostyki technicznej*. Wyd. Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz 1996.



Dr inż. **Marek ZBOIŃSKI** jest kierownikiem pracowni diagnostyki tribologicznej w Zakładzie Silników Lotniczych Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych w Warszawie. Zajmuje się diagnostyką techniczną układów łożyskowania silników lotniczych i instalacji hydraulicznych. Kieruje Akredytowanym Laboratorium Cieczy Roboczych AB 138.

WPLYW OBCIĄŻENIA CHWILOWEGO NA PROCES DIAGNOZOWANIA AGREGATÓW TYPU STER STRUMIENIOWY

Tomasz BURNOS

Akademia Morska w Szczecinie, Zakład Diagnostyki i Remontów Maszyn Okrętowych
ul. Podgórna 51/53, 70-205 Szczecin, fax 091 431 85 42, e-mail: tomaszburnos@wp.pl

Streszczenie

W artykule omówiono wpływ zmiennych warunków obciążenia na proces diagnozowania okrętowych sterów strumieniowych. Wykazano konieczność uwzględnienia w procesie diagnozowania chwilowego obciążenia agregatu. Przytoczono przykład wykorzystania opracowanej metody w odniesieniu do wybranego sygnału diagnostycznego.

Słowa kluczowe: agregat typu ster strumieniowy, sygnał prądowy, przyspieszenia drgań.

THE IMPACT OF TEMPORARY LOAD ON THRUSTER CONDITION MONITORING PROCESS

Summary

The impact of temporary load on thruster condition monitoring process is presented in the paper. The necessity to consider the temporary load in condition monitoring process is shown. An example of diagnostic signal analyze with described method is presented.

Keywords: thruster, electric current signal, vibration acceleration.

WPROWADZENIE

Diagnozowanie maszyn lub zespołów maszyn (agregatów) z wykorzystaniem metod wibroakustycznych polega w większości przypadków na obserwacji miar sygnału wibroakustycznego w długim horyzoncie czasowym. Pozwala to na wyznaczenie trendów obserwowanych miar i odniesienie ich do ustalonych wartości granicznych. Aby tak prowadzony proces diagnozowania był skuteczny konieczne jest spełnienie podstawowego założenia: kolejne pomiary muszą być przeprowadzane w takich samych lub zbliżonych warunkach.

Spełnienie tak sformułowanego założenia nie jest trudne dla maszyn lub agregatów pracujących w systemach o ustabilizowanych parametrach pracy, jednak wiele systemów pracuje w zmiennych warunkach obciążenia. Konieczne jest więc uwzględnianie w procesie diagnozowania chwilowego obciążenia badanej maszyny.

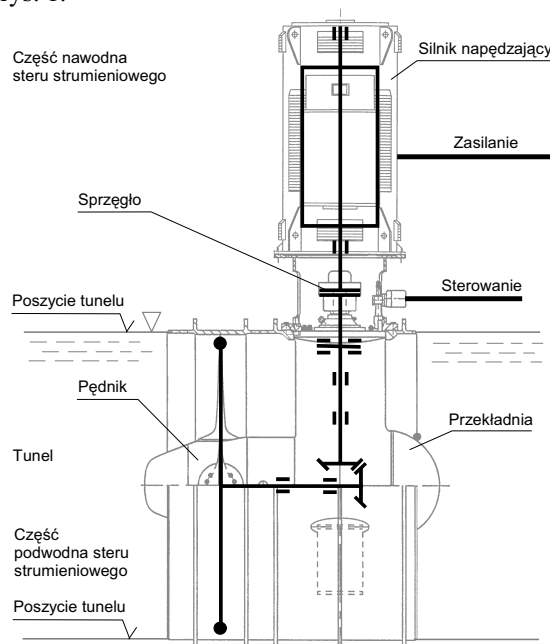
Aby zobrazować jak błędne może być wnioskowanie o stanie maszyny na podstawie losowego pomiaru przytoczony zostanie przykład obserwacji przeprowadzonych na okrętowych sterach strumieniowych.

1. WARUNKI PRACY OKRĘTOWEGO STERU STRUMIENIOWEGO

Przełykowe stery strumieniowe są montowane w części dziobowej oraz rufowej statku, służą do zwiększenia zdolności manewrowej jednostki. Ich zadaniem jest wywołanie strumienia, którego zwrot

skierowany jest prostopadle do osi wzdłużnej statku. Prom pasażersko-samochodowy „Polonia”, na którym prowadzone są badania, wyposażony jest w cztery stery strumieniowe, trzy w części dziobowej oraz jeden w części rufowej statku.

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 rys. 1.

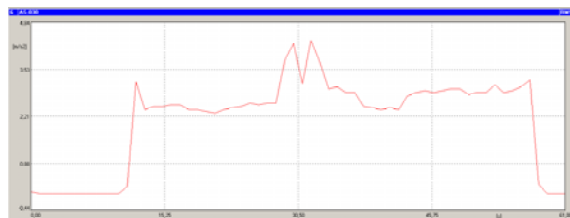


Rys. 1. Schemat steru strumieniowego [1]

Zapotrzebowanie na siłę naporu steru strumieniowego w procesie sterowania jednostki jest zmienne i zależy między innymi od:

- rodzaju manewru,
- ilości zamontowanych urządzeń tego typu,
- akwenu,
- warunków atmosferycznych,
- przebiegu manewrów.

W warunkach rzeczywistej eksploatacji steru, w trakcie manewrów portowych trwających od 5 minut do 1 godziny można zaobserwować od kilku do kilkudziesięciu zmian obciążenia agregatu. Przy czym zakres zmian zawiera się w granicach od biegu jałowego do obciążenia maksymalnego. Dodatkowo zmiany obciążenia, w zależności od umiejętności sternika oraz wymienionych warunków mogą się cechować różną dynamiką. Należy się spodziewać, że sygnały rejestrowane na elementach agregatu będą również cechowały się dużą zmiennością. Na rys. 2 przedstawiono przebieg wartości skutecznej przyspieszeń drgań korpusu przekładni steru dla całego czasu trwania manewrów.



Rys. 2. Przebieg wartości skutecznej przyspieszeń drgań korpusu przekładni

Jeżeli założyć, że badanie diagnostyczne zostanie wykonane w losowym przedziale czasu, to uzyskane wyniki mogą się znacznie różnić, w skrajnym przypadku dwukrotnie. Konieczne jest zapewnienie powtarzalności pomiarów poprzez uwzględnienie chwilowego obciążenia agregatu.

2. OBSERWACJA CHWILOWEGO OBCIĄŻENIA AGREGATU

W zależności od typu maszyn składających się na agregat możliwa jest obserwacja wielu parametrów pracy będących wskaźnikami obciążenia np.:

- dla pomp – ciśnienie tłoczenia,
- dla silników spalinowych – wychylenie listwy paliwowej,
- dla agregatów prądotwórczych – generowana moc elektryczna,
- dla sprzężarek – ciśnienie tłoczenia.

W przypadku agregatów typu ster strumieniowy, składających się z maszyny elektrycznej, układu transmisji mocy oraz maszyny wirnikowej wielkość chwilowej mocy mechanicznej może być określana na podstawie:

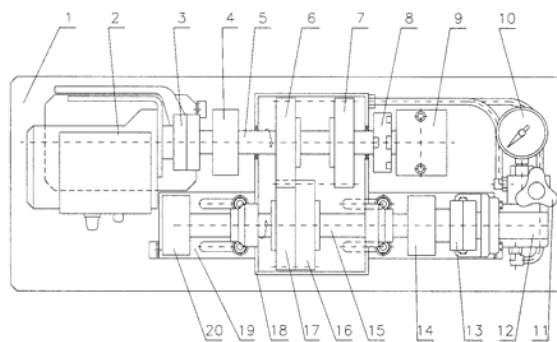
- pomiaru skręcenia wałów przekazujących moment obrotowy,

- pomiaru mocy elektrycznej pobieranej przez maszynę.

Wymienione metody wymagają skompletowania i wywzorcowania skomplikowanych torów pomiarowych, wykorzystujących między innymi urządzenia telemetryczne.

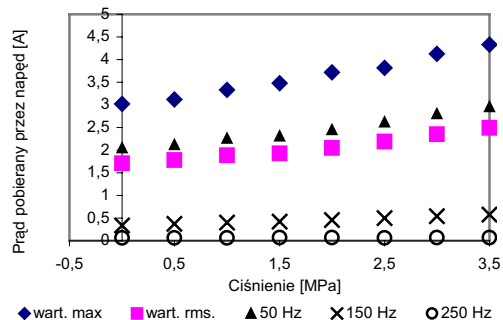
W przypadku diagnozowania agregatów wirnikowych napędzanych przez silniki elektryczne, nie zawsze konieczna jest dokładna znajomość mocy pobieranej przez napęd. W większości przypadków wystarczająca jest znajomość poziomu obciążenia w odniesieniu do obciążenia maksymalnego.

Zaproponowano, aby do oceny chwilowego obciążenia steru strumieniowego wykorzystać pomiar prądu pobieranego przez napęd. W tym celu przeprowadzono eksperyment czynny polegający na zmianie obciążenia modelu agregatu (rys. 3) i rejestracji wartości chwilowej prądu pobieranego przez napęd, przy założeniu stałych obrotów agregatu niezależnie od obciążenia.



Rys. 3. Schemat modelu agregatu wykorzystanego w eksperymencie: 1 – podstawa, 2 – regulator obrotów, 3 – sprzęgło, 4 – obudowa łożyska, 5 – wał wejściowy przekładni, 6 – koło zębate, 7 – koło zębate, 8, 9 – obudowa łożyska, 10 – manometr, 11 – zawór dławiaczy, 12 – pompa zębata, 13 – sprzęgło, 14 – obudowa łożyska, 15 – wał wyjściowy przekładni, 16 – koło zębate, 17 – koło zębate, 18 – obudowa przekładni, 19 – podstawa przekładni, 20 – obudowa łożyska

Następnie wyznaczono charakterystyki wybranych miar sygnału prądu pobieranego przez napęd w zależności od obciążenia (rys. 4).



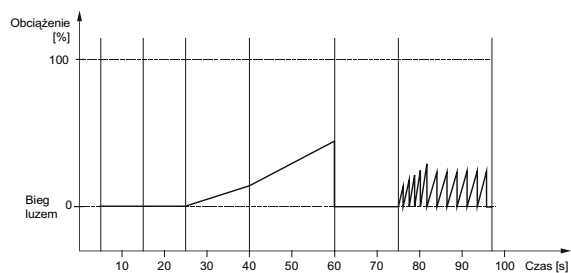
Rys. 4. Zależność miar prądu pobieranego przez napęd od ciśnienia wytwarzanego przez pompę

W celu wykazania związków pomiędzy poszczególnymi miarami wyznaczono współczynniki korelacji (tabela 1).

Tabela 1. Zestawienie współczynników korelacji poszczególnych miar ze zmianą ciśnienia wytwarzanego przez napęd

R^2	Wartość maksymalna	Wartość skuteczna (1 s)	Składowa 50 Hz	Składowa 150 Hz	Składowa 250 Hz
Ciśnienie wytwarzane przez pompę	0,9886	0,9745	0,9768	0,9907	0,4286

Aby wykazać przydatność proponowanej metody podczas częstych zmian obciążenia o różnej intensywności przeprowadzono eksperyment, w którym zmieniano obciążenie według założonego przebiegu (rys. 5). Poddano analizie miary uzyskanego sygnału prądowego (rys. 6).



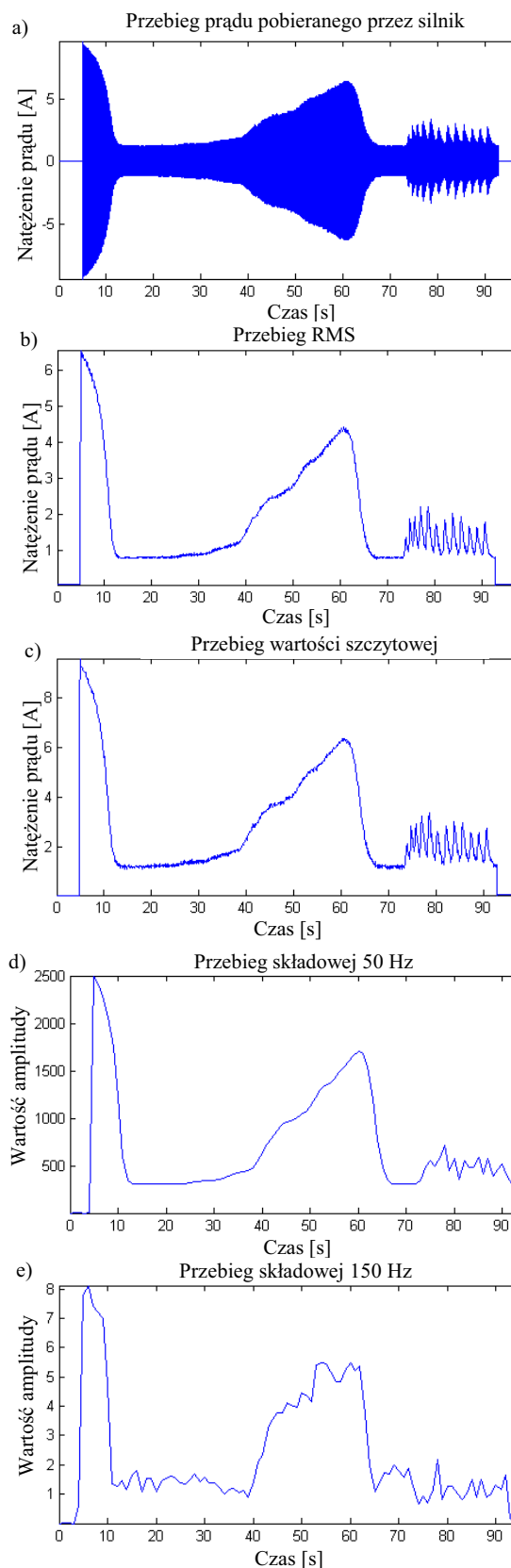
Rys. 5. Przebieg zmian obciążenia w eksperymencie

Również dla tego eksperymentu wyznaczono współczynniki korelacji poszczególnych przebiegów z przebiegiem obciążenia (tabela 2).

Tabela 2. Zestawienie współczynników korelacji poszczególnych miar z przyjętym przebiegiem zmian obciążenia

R^2	Wartość maksymalna	Wartość skuteczna (1 s)	Składowa 50 Hz	Składowa 150 Hz
Przebieg zmian obciążenia	0,9303	0,9234	0,8221	0,7312

Pomimo uzyskania najwyższego współczynnika korelacji dla przebiegu wartości szczytowej pobieranego prądu, na potrzeby pracy przyjęto przebieg wartości skutecznej jako wskaźnik chwilowego obciążenia agregatu. Zostało to podyktowane tendencją wartości szczytowej do chwilowych, losowych i znacznych zmian wartości.



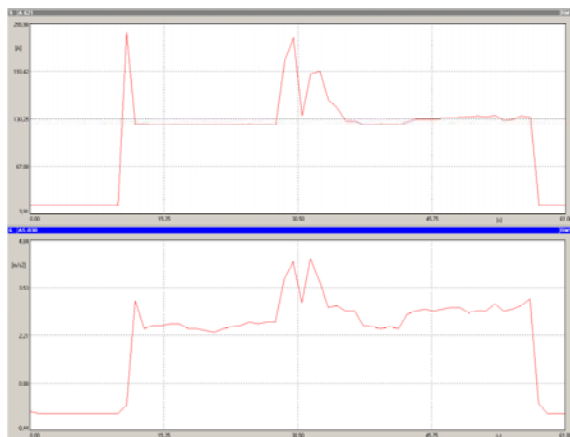
Rys. 6. Przebiegi prądu pobieranego przez napęd agregatu: a) przebieg wartości chwilowej prądu, b) przebieg wartości skutecznej prądu, c) przebieg wartości szczytowej prądu, d) przebieg składowej widma – 50 Hz, e) przebieg składowej widma – 150 Hz

3. ANALIZA SYGNAŁÓW GENEROWANYCH PODCZAS PRACY STERU STRUMIENIOWEGO UWZGLĘDNIAJĄCA WPŁYW OBCIĄŻENIA

Na podstawie dotychczasowych badań [1, 2, 3] wykazano, że w procesie diagnozowania zespołów steru strumieniowego, można wykorzystać:

- sygnały emisji akustycznej – diagnozowanie stanu skrzydeł śruby,
- sygnały drganiowe – diagnozowanie stanu elementów przekładni oraz elementów silnika elektrycznego.

Zarówno sygnały drganiowe jak i sygnały emisji akustycznej cechują się dużą zależnością od obciążenia (współczynnik R^2 na poziomie 0,99). Na rys. 7 przedstawiono przykładowe przebiegi wartości skutecznej prądu pobieranego przez napęd oraz wartości skutecznej przyspieszeń drgań korpusu przekładni w funkcji czasu.



Rys. 7. Przebiegi a) wartości skutecznej prądu pobieranego przez napęd oraz b) wartości skutecznej przyspieszeń drgań korpusu przekładni w funkcji czasu

Aby zapewnić powtarzalność warunków badania diagnostycznego opracowano algorytm selektywnej analizy sygnału względem obciążenia. Polega on na:

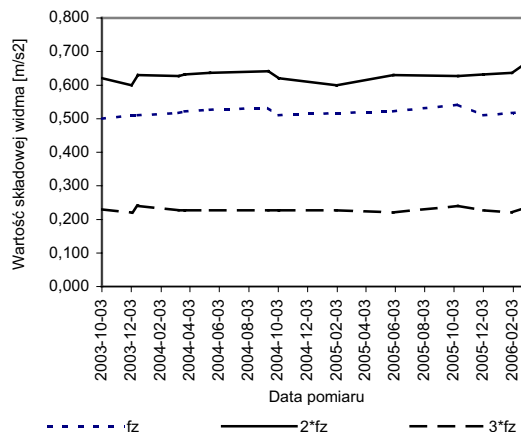
- podziale sygnału analizowanego oraz sygnału prądu pobieranego na określoną liczbę przedziałów, wynikającą m.in. z stosowanych metod analizy sygnału,
- przyjęciu wartości progowej prądu dla klasyfikacji sygnału,
- usunięciu z przebiegów części sygnału zarejestrowanej podczas rozbiegu agregatu,
- selekcji przedziałów sygnału prądowego w których wartość skuteczna prądu przekracza przyjętą wartość progową,
- selekcji przedziałów sygnału analizowanego odpowiadających przedziałom wyznaczonym w poprzednim kroku.

Zastosowanie takiego algorytmu pozwala na wyznaczenie z sygnału analizowanego odcinków

zarejestrowanych przy zbliżonym poziomie obciążenia.

PODSUMOWANIE

Zaproponowany algorytm zastosowano w odniesieniu do sygnałów drganiowych jak i emisji akustycznej. W trakcie trzyletnich badań prowadzonych na sterach strumieniowych wykazano, przydatność algorytmu. Miary analizowanych przedziałów sygnałów, znajdują się w wąskim przedziale wartości (rys. 8).



Rys. 8. Zmiany wartości składowych głównych widma w okresie prowadzenia badań, f_z – częstotliwość zazębienia

LITERATURA

- [1] Bielawski P., Burnos T., *Diagnozowanie agregatów typu maszyna elektryczna – przekładnia – pędnik*, Diagnostyka, Vol. 33, 2005, s. 19-24.
- [2] Burnos T.: *Zastosowanie sygnałów różnego typu w diagnozowaniu sterów strumieniowych*. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 2004, Nr 1(73), s. 101-115.
- [3] Burnos T., *Diagnozowanie agregatów okrętowych typu ster strumieniowy*, XXXIII Ogólnopolskie Sympozjum „Diagnostyka maszyn” Węgierska Górka 06-11.03.2006 r., streszczenia s. 42, CD, 10 s, Politechnika Śląska, Katowice 2006.



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

Zajmuje się problemami obsługiwanie maszyn okrętowych, w szczególności diagnozowaniem układów napędowych.

BADANIE WPLYWU NISKOCZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO POLA MAGNETYCZNEGO ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) NA WYBRANE PARAMETRY ELEKTROFIZJOLOGICZNE ORGANIZMU

Zbigniew DAMIJAN

Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
Laboratorium Akustyki Strukturalnej i Inżynierii Biomedycznej
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30, fax: (012) 617 31 12, email: damijan@imir.agh.edu.pl

Streszczenie

W wykonanych przez autora badaniach nt. wpływu infradźwięków na organizm człowieka prowadzonych w kabinie ciśnieniowej typu węgierskiego, bodziec generowano za pomocą głośników elektrodynamicznych GDN 30/80, oprócz ekspozycji dźwięku, czynnikiem zakłócającym było pole elektromagnetyczne (PEM). Pole elektryczne eliminowano przez zastosowanie siatki Faradaya. Czynnikiem zakłócającym pozostawało zmienne pole magnetyczne (PM) głośników ($f=7$ Hz, $B=330$ nT).

Autor postawił tezę, że PM niskiej częstotliwości może wpływać na organizm człowieka. Jako estymaty wpływu ekspozycji PM zaproponowano wariancję oraz wartość skuteczną sygnału EEG.

W eksperymencie uczestniczyło 28 ochotników, obojga płci. Uczestnicy zostali poddani 20 minutowej ekspozycji PM ($f=7$ Hz, $B=330$ nT). Badania przeprowadzono w roku 2003. Przeprowadzone analizy wskazują, że organizm człowieka jest wrażliwy na ekspozycję „bardzo słabego” PM, następują zmiany wartości wariancji oraz wartość skutecznej sygnału EEG.

Słowa kluczowe: niskoczęstotliwościowe pole magnetyczne, czynność bioelektryczna.

THE EFFECTS OF LOW-FREQUENCY MAGNETIC FIELD ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) EXPOSURE ON SELECTED PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF HUMAN BODY

Summary

In the author's research program to investigate the effects of infrasound exposure on the human body, tests were performed in a Hungarian type pressure cabin. The applied stimuli were generated by electrodynamic speakers GDB 30/80. Apart from sound exposure, the excitation was applied in the form of electromagnetic field (EMF). The electric field was eliminated by Faraday cage and magnetic field (MF) ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) remained as a disturbing agent.

The author put forward a hypothesis that that low frequency magnetic field might affect human body. Variance and the effective value of EEG signal are taken as estimates the effects of PM exposure.

The test group included 28 volunteers, both males and females. They were subjected to 20 min of MF exposure ($f=7$ Hz, $B=330$ nT). Tests were performed in 2003. The research data reveal human sensitivity to the 'weak' field exposure, which is borne out by the obtained variance values and effective values of EEG signals.

Keywords: low-frequency magnetic field, bioelectric activity.

1. WSTĘP

W 1960 roku R. König i F. Ankermtiller wykazali niezwykle dużą wrażliwość człowieka na niskoczęstotliwościowe pola elektromagnetyczne (ang. Ultra Low Frequencies ULF - zakres od 3 do 30 Hz). W związku z podejrzeniem wpływu elektryczności atmosferycznej na stan psychiczny ludzi, badali oni reakcje na zmienne pole elektryczne o częstotliwości 2 - 6 Hz i amplitudzie 1 do 5 V/m. Stwierdzili, że u wielu badanych po 8 - 12 minutowej ekspozycji pola, pojawiało się poczucie senności i istotne spowolnienie reakcji

motorycznych. Wynik badań był o tyle zaskakujący, że kilka lat wcześniej E. Hartman poszukując nowych efektów terapeutycznych, stosował znacznie silniejsze pola i podobnych zjawisk nie odkrył. Znacznie później okazało się, że duże amplitudy pól wywołują nieproporcjonalnie słabe reakcje, gdyż receptory biologiczne pól są silnie nieliniowe (zjawisko blokady) [6, 7, 10, 11].

Składowa magnetyczna pola EM o niskich częstotliwościach przenika organizmy właściwie bez żadnego tłumienia i o wiele silniej na nie oddziałuje. Biologiczny zakres częstotliwości pól wywołujących silne reakcje w organizmach żywych

rozciąga się od ułamków Hz do około 30 Hz. Pod względem amplitud pola dzieli się obecnie na dwa zakresy: pól słabych, od pT do nT oraz pól silnych od nT do mT. Podział ten wynika z odmiennego wpływu pól na organizmy, pola słabe działają biostymulacyjnie (przekaz informacji), natomiast pola silne - fizykoterapeutycznie [1, 2, 3, 6, 7, 10, 11].

Z wielu prac wynika, że strefa nieczułości układów biologicznych zawiera się w zakresie częstotliwości 45 - 75 Hz. W przypadku pól magnetycznych maksimum efektów biologicznych obserwuje się w czterech pasmach częstotliwości: do 0,02, (0,5 - 0,6), (5 - 6) oraz (8 - 11) Hz. Zarówno zakres wymienionych częstotliwości jak i amplitudy pól magnetycznych stosowane w eksperymentach były bardzo zbliżone do charakterystyk naturalnych pól magnetycznych występujących w przyrodzie. W dolnym zakresie częstotliwości są to pola typowe dla burz magnetycznych, spowodowanych prądami płynącymi w jonosferze i mikropulsacji pochodzenia magnetosferycznego. W zakresie wyższych częstotliwości są to pola typowe dla rezonansu jonosferycznego [4, 6, 8, 9].

Wiele prac poświęcono badaniom wpływu pól ULF na rytm serca. Wykazano związki pomiędzy specyfiką czasowego przebiegu pola magnetycznego a czynnością bioelektryczną serca. Podobnie jak w przypadku centralnego układu nerwowego, na pracę serca silnie oddziałują pola słabe. Dość dobrze udokumentowano wpływ pól naturalnych na przewodnictwo mięśnia sercowego [4, 6, 9, 10, 11].

2. CEL PRACY

Celem pracy były badania i analizy wpływu niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego o częstotliwości $f=7$ Hz i indukcji magnetycznej $B=330$ nT na wytypowane estymaty sygnału EEG. Hipoteza pracy została sformułowana następująco: ekspozycja niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego nie powoduje zmian wariancji (ozn. WA) oraz wartości skutecznej (RMS) sygnału EEG.

3. MATERIAŁ BADAWCZY

Ochotnicy do badań wpływu pola magnetycznego niskiej częstotliwości na czynność bioelektryczną mózgu zostali powiadomieni na temat ogólnego celu badań, zostali zapoznani ze sposobem realizacji eksperymentu oraz podpisali formularz zgody na udział w badaniu. Deklarowali, że nie mają problemów zdrowotnych i nie zażywają leków. Kwalifikacji do uczestnictwa w eksperymencie dokonywał lekarz ze względu na przebyte choroby i urazy neurologiczne, laryngologiczne oraz schorzenia ogólne. Na tym etapie, w wyniku pozytywnej weryfikacji, kwalifikowano do uczestnictwa w eksperymencie.

Do badań zakwalifikowano 28 ochotników obojga płci, 9 kobiet i 19 mężczyzn, w wieku 20 - 40 lat. Badani zostali poinformowani, by przed eksperymentem nie spożywać napojów pobudzających lub odurzających.

Stanowisko doświadczalne zaprojektowano i wykonano dla potrzeb eksperymentu. Składa się ono:

- z toru generowania bodźca (sygnał z pliku typu WAV wzmacniano wzmacniaczem mocy ELMUZ 2158 M, podawano na sześć głośników GDN 30/80 (z unieruchomionymi w sposób mechaniczny membranami i zaprojektowanym do tego celu systemem tłumiącym),
- toru analizy pola magnetycznego (magnetometr typu URSZULA 5 oraz system akwizycji PROSOG),
- kabiny typu ciśnieniowego,
- toru rejestracji i analizy czynności bioelektrycznych (EEG, EKG oraz EDA).

Kabina wykorzystana w badaniach to prostopadłościan o konstrukcji aluminiowej, szkielet samonośny, wzmacniany. Ma ona na celu izolowanie osoby badanej od warunków zewnętrznych laboratorium. W celu zmniejszenia wpływu pola elektrycznego głośników na osobę badaną, kabinę zabezpieczono wewnątrz siatką Faradaya.

W czasie eksperymentów panowały następujące warunki fizyczne:

- ciśnienie atmosferyczne - średnio 1000 hPa,
- temperatura - średnia 294 °K,
- wilgotność względna - 75%,
- poziom ciśnienia akustycznego - dla 7 Hz 60 dB HP (poziom tła),
- indukcja pola magnetycznego w okolicy głowy w czasie doświadczenia - 330 nT (1-20 Hz), 20 nT (50 Hz).

4. PROCEDURA BADANIA

Eksperyment przebiegał według następującego algorytmu:

- przygotowanie osoby do badania, założenie elektrod EEG,
- wejście badanego do kabiny, w trakcie eksperymentu uczestnik badań przebywał w kabinie na fotelu w pozycji półleżącej z zamkniętymi oczami (stan czuwania),
- sprawdzenie jakości połączeń (prawidłowa wartość impedancji między skórą głowy a elektrodą powinna być niższa od 5 kΩ),
- rozpoczęcie 35 minutowej, ciągłej akwizycji sygnału EEG (po 5 minutach - bez bodźca (ozn. etap I) - 20 minutowa ekspozycja niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego (II), wyłączenie ekspozycji, dalsza 10 minutowa akwizycja sygnału EEG, bez bodźca (III),
- zakończenie akwizycji sygnału EEG,
- zdjęcie elektrod, wyjście badanego z kabiny.

Zapis elektroencefalograficzny wykonano za pomocą 25 kanałowej głowicy SAM-25, wykorzystując do analiz 10 kanałów. Do akwizycji sygnałów stosowano oprogramowanie firmy MICROMED, z częstotliwością próbkowania 256 Hz / kanał. Stosowano stykowe elektrody krążkowe Ag/AgCl o średnicy 6 milimetrów, rozmieszczone podłużnie, równolegle, do linii strzałkowej (F_{p1} , F_3 , C_3 , P_3 , O_1 - dla lewej półkuli oraz, odpowiednio F_{p2} , F_4 , C_4 , P_4 , O_2 - dla prawej). Elektrody rozmieszczono zgodnie ze standardem „10 – 20”, stosując montaż dwubiegunowy. Elektrody odniesienia umieszczono na czole, potylicy głowy, oraz na płatku usznym. Kabina, fotel oraz osoba badana były uziemione.

Porównanie wartości zmiennych zależnych RMS oraz WA w kolejnych etapach czasowych eksperymentu (ozn. I, II, i III) wykorzystano do analizy wpływu ekspozycji bodźca na organizm człowieka.

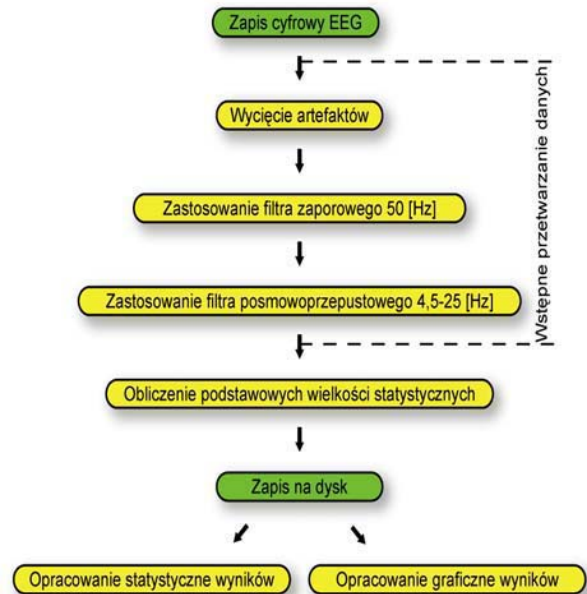
Przeprowadzono 28 badań, z uwagi na to, że kilka zapisów z powodów artefaktów nie nadawało się do analizy, do opracowania statystycznego zakwalifikowano 25 wyników.

Zarejestrowane przebiegi sygnałów EEG zostały zapisane jako pliki tekstowe ASCII. Usunięto z nich nagłówki, tak aby można było przeprowadzić obróbkę danych wejściowych i późniejszą analizę z wykorzystaniem pakietu obliczeniowego MATLAB (rys. 1).

Wylimitowanie artefaktów polegało na ograniczeniu amplitudy sygnału do wartości maksymalnej równej trzem odchyleniom standardowym wyznaczonym dla całego przebiegu.

W celu ograniczenia zakłóceń sygnału pochodzących z sieci elektrycznej 50 Hz zastosowano filtr dolnoprzepustowy Butterwortha pierwszego rzędu, do częstotliwości 50 Hz. W celu ograniczenia szerokości pasma poddanego późniejszej analizie użyto filtra pasmowo przepustowego Butterwortha ósmego rzędu, o częstotliwościach granicznych 4,5 - 25 Hz.

Stosowano okno pomiarowe o szerokości 256 punktów (1 sekunda).



Rys. 1. Algorytm przetwarzania danych

Wartości estymat sygnału EEG z 10 kanałów EEG wyznaczano dla każdej osoby, uśredniano - po kanałach - dla każdego etapu eksperymentu. Następnie wyniki uśredniono dla próby. Przykładowe estymaty sygnału EEG przedstawiono na rys. 2. Na wykresie linią pionową zaznaczono moment włączenia (5 min.) i wyłączenia (25 min.) ekspozycji bodźca.

Analizy statystyczne wyników przeprowadzono według algorytmu wnioskowania statystycznego na poziomie istotności $p = 0,05$.

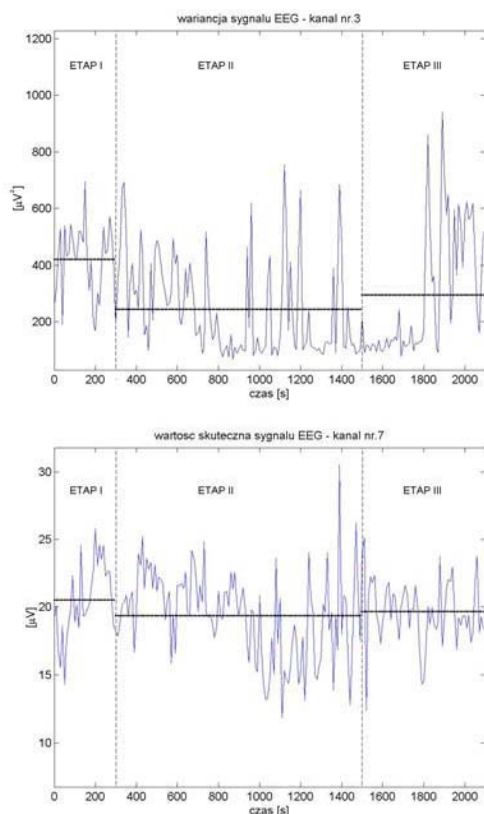
Przeprowadzone badania rodzaju rozkładu za pomocą testów: Kołmogorowa z poprawką Lillieforsa oraz W. Shapiro-Wilka wskazują, że analizowane zmienne nie posiadają rozkładu normalnego.

Istotność statystyczną różnic pomiędzy wartościami średnimi w kolejnych etapach eksperymentu szacowano przy użyciu nieparametrycznego testu Wilcoxon dla dwóch grup zmiennych zależnych.

Wyniki analiz istotności różnic dla zmiennej WA przedstawiono w tabeli 1 oraz na rys. 3.

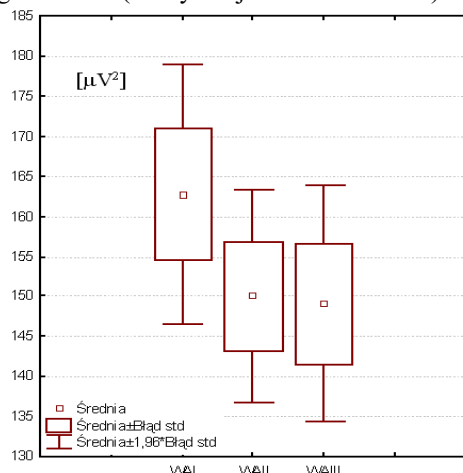
Tabela.1. Test Wilcoxon różnic średnich w kolejnych etapach eksperymentu

Para zmiennych	Test kolejności par Wilcoxon	
	Z	p
WAI&WAI	1,929	0,05363
WAI&WAI	4,148	0,00003
WAI&WAI	1,403	0,16052



Rys. 2. Przykładowe estymaty zmian wariancji oraz wartości skutecznej sygnału EEG, dla wybranych kanałów, w kolejnych etapach eksperymentu z zaznaczonymi trendami zmian

Przeprowadzone analizy zmian średniej wartości wariancji sygnału EEG pomiędzy poszczególnymi etapami eksperymentu (ETAP I, ETAP II, ETAP III) za pomocą testu Wilcozona wskazują, że: niskoczęstotliwościowe pole magnetyczne nie wpływa na zmiany wariancji sygnału EEG (dla sytuacji I i II oraz II i III).



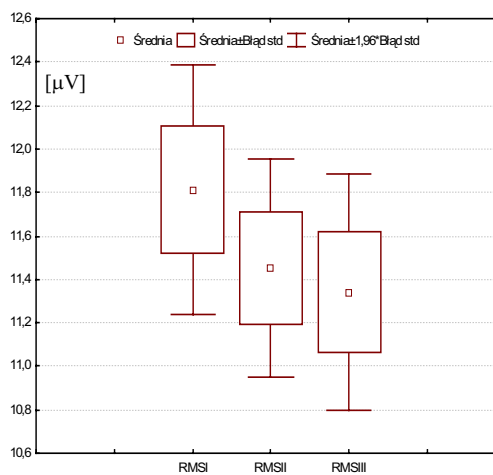
Rys. 3. Analizy zmian wariancji sygnału EEG w kolejnych etapach eksperymentu

Wyniki analiz przedstawiono w tabeli 2 oraz na rys. 4.

Tabela. 2. Test Wilcozona różnic średnich w kolejnych etapach eksperymentu

Para zmiennych	Test kolejności par Wilcozona	
	Z	p
RMSI&RMSII	2,134	0,03286
RMSI&RMSIII	4,235	0,00002
RMSII&RMSIII	1,986	0,04702

Przeprowadzone analizy zmian wartości skutecznej sygnału EEG pomiędzy poszczególnymi etapami eksperymentu (ETAP I, ETAP II oraz III) za pomocą testu Wilcozona wskazują, że różnice są statystycznie istotne (tab. 2).



Rys. 4. Analizy zmian wartości skutecznej sygnału EEG w kolejnych etapach eksperymentu

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i wykonanych analiz wpływu niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego na wybrane estymaty sygnału EEG wynika:

- Z analizy statystycznej zmian wartości wariancji sygnału EEG w kolejnych etapach eksperymentu można stwierdzić:
 - nie wykazano istotnych różnic wartości wariancji sygnału EEG pomiędzy I i II oraz II i III etapem eksperymentu,
 - wartość wariancji sygnału EEG między etapem I i III istotnie statystycznie maleje, ($W_{AIII} - W_{AI} = -13,62 \mu V^2$ z prawdopodobieństwem testowym $p=0,00003$),
 - w trakcie eksperymentu następuje spadek wartości wariancji sygnału EEG ($W_{AI} = 162,72 \mu V^2$, $W_{AII} = 150,06 \mu V^2$, $W_{AIII} = 149,10 \mu V^2$).
- Z analizy statystycznej zmian średniej wartości skutecznej sygnału EEG w kolejnych etapach eksperymentu można stwierdzić:
 - statystycznie istotny spadek wartości skutecznej sygnału EEG między etapami: I i II, I i III oraz II i III, które wynoszą, odpowiednio: RMSII -

RMSI = -0,36 μV ($p=0,03286$), RMSIII - RMSI = -0,47 μV ($p=0,00002$), RMSIII - RMSII = -0,11 μV ($p=0,04702$),

- w trakcie eksperymentu wartość skuteczna sygnału EEG maleje i odpowiednio dla każdego etapu przyjmuje wartość: RMSI = 11,81 μV , RMSII = 11,45 μV , RMSIII = 11,34 μV .
- 3. Wariacje, wartość skuteczną sygnału EEG można wykorzystać do analizy wpływu niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego na organizm człowieka.

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 zapewnianego przez Fundację Alfreda Jurzykowskiego.

Autor składa serdeczne podziękowanie za konsultacje medyczne Doktorowi n. med. Mariuszowi Grochala z 5 Wojskowego Szpitala Klinicznego w Krakowie.

LITERATURA

- [1] A. Ahlbom, M. Feychting, A. Gustavsson, J. Hallqvist, Ch. Johansen, L. Kheifets, J. H. Olsen, „Occupational Magnetic Field Exposure and Myocardial Infarction Incidence”, *Epidemiology* 15(4), 403-408, July 2004.
- [2] S. Ghione, C. Del Seppia, L. Mezzasalma, M. Emdin, P. Luschi, „Human head exposure to a 37 Hz electromagnetic field: Effects on blood pressure, somatosensory perception, and related parameters” *Bioelectromagnetics* 25:167-175, 2004.
- [3] F. Giesel, H. Tengg-Kobligk, I. Wilkinson, P. Siegler, C. W. Lieth, M. Frank, K. Lodemann, M. Essig, „Influence of Human Serum Albumin on Longitudinal and Transverse Relaxation Rates (R1 and R2) of Magnetic Resonance Contrast Agents”, *Investigative Radiology* 41(3), 222-228, March 2006.
- [4] J. H. Jeong, J. S. Kim, B. C. Lee, Y. S. Min, D. S. Kim, J. S. Ryu, K. S. Soh, K. M. Seo, U. D. Sohn, „Influence of exposure to electromagnetic field on the cardiovascular system”, *Autonomic & Autacoid Pharmacology*. Vol. 25, Page 17, January 2005.
- [5] M. Kosei, S. Hiroyuki, T. Kenji, N. Yoshiyuki, Y. Kuniaki, „Extremely low frequency magnetic fields originating from equipment used for assisted reproduction, umbilical cord and peripheral blood stem cell transplantation, transfusion, and hemodialysis”, *Bioelectromagnetics* 26, 69-73, 2005.
- [6] A. Kułak, A. Michalec, S. Zięba, K. Maślanka, J. Kubisz, „Czy pola elektromagnetyczne ELF mają wpływ na ludzi?”, Kraków: UJ, 2000.
- [7] M. Lupke, J. Rollwitz, M. Simko, „Cell Activating Capacity of 50 Hz Magnetic Fields to Release Reactive Oxygen Intermediates in Human Umbilical Cord Blood-derived Monocytes and in Mono Mac 6 Cells”, *Free Radical Research*, Vol. 38, September 2004.
- [8] V. Manni, A. Lisi, S. Rieti, A. Serafino, M. Ledda, L. Giuliani, D. Sacco, E. D'Emilia, S. Grimaldi, „Low electromagnetic field (50 Hz) induces differentiation on primary human oral keratinocytes (HOK)”, *Bioelectromagnetics* 25:118-126, 2004.
- [9] S. Micek, Z. Nieckarz, „Wpływ pola elektromagnetycznego bardzo niskiej częstotliwości na serce”, IX Krajowe Sympozjum Nauk Radiowych URSI: 1999.
- [10] M. T. Santini, A. Ferrante, G. Rainaldi, P. Indovina, P. L. Indovina, „Extremely low frequency (ELF) magnetic fields and apoptosis: a review”, *International Journal of Radiation Biology*, Volume 81, Number 1, January 2005.
- [11] M. Sosa, J. Bernal-Alvarado, M. Jimenez-Moreno, J. C. Hernandez, G. Gutierrez-Juarez, M. Vargas-Luna, R. Huerta, J. C. Villagomez-Castro, P. Palomares, „Magnetic field influence on electrical properties of human blood measured by impedance spectroscopy”, *Bioelectromagnetics*, 564-570, Oct 26(7), 2005.
- [12] PN-T-06580-1:2002, PN-T-06580-3:2002 *Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 1: Terminologia. i część 3: Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy.*



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.

BADANIE WPLYWU EKSPOZYCJI NISKOCZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO POLA MAGNETYCZNEGO ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) NA CZYNNOŚĆ BIOELEKTRYCZNĄ SERCA

Zbigniew DAMIJAN

Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
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 badaniach wykonanych w 2003 roku nt. wpływu infradźwięków na organizm człowieka, prowadzonych w kabinie ciśnieniowej wyposażonej w siatkę Faradaya, do ekspozycji bodźca stosowano głośniki elektrodynamiczne. Czynnikiem zakłócającym w eksperymencie pozostawało niskoczęstotliwościowe pole magnetyczne (PM).

Autor postawił pytanie, czy ekspozycja PM ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) może wpływać na czynność bioelektryczną serca. Na estymatę wpływu zaproponowano częstość występowania załamek QRS w sygnale EKG.

Każdy 35 minutowy, eksperyment składał się z trzech etapów. Etap I - 5 minutowy - bez ekspozycji bodźca. Etap II - z 20 minutową ekspozycją na uczestników - pola magnetycznego niskiej częstotliwości. Trzeci etap - 10 minutowy - bez ekspozycji bodźca. W każdym eksperymencie w sposób ciągły rejestrowano sygnał EKG.

Otrzymane wyniki i przeprowadzone analizy wskazują, że ekspozycja „bardzo słabego” PM nie wpływa na czynność bioelektryczną serca. Zastosowany podział psychologiczny różnicujący uczestników ze względu na cechy charakteru wskazał jednak, że na ekspozycję są wrażliwe osoby mające niską wartość wskaźnika Z - potrzeb sensorycznych.

Słowa kluczowe: niskoczęstotliwościowe pole magnetyczne, czynność bioelektryczna serca.

THE EFFECTS OF LOW-FREQUENCY MAGNETIC FIELD EXPOSURE ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) ON THE LEVEL OF BIOELECTRIC ACTIVITY OF HUMAN HEART

Summary

A research program was undertaken in 2003 to investigate the effects of infrasound exposure on humans. Experiments were conducted in the pressure cabin equipped with a Faraday cage. The applied excitations were generated by electrodynamic speakers. Low-frequency magnetic field (MF) remained as a disturbing agent.

The author put forward the hypothesis that MF exposure ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) might affect the bioelectric activity of heart. These impacts are estimated on the basis of frequency of QRS waves in ECG.

Each experiment lasted 35 minutes and involved three stages. In the first stage (1-5 min) there was no MF exposure. During the second stage participants were exposed to low-frequency magnetic field for 20 min. In the third stage (10 min) no MF exposure was applied. In each experiments the ECG records were monitored on the permanent basis.

Research data show that exposure to “very weak” magnetic field does not affect bioelectric activity of heart. Participants were divided into groups depending on their psychological profiles. Participants displaying low value of Z factor (expressing sensation-seeking needs) appear to be more sensitive to MF exposure.

Keywords: low-frequency magnetic field, bioelectric activity heart.

1. WSTĘP

Naturalne pola magnetyczne towarzyszyły powstawaniu pierwszych związków organicznych, uczestniczyły w kształtowaniu procesu ewolucji. Bez nich byłoby niemożliwe powstanie życia w obecnej formie [4, 5, 9].

Laureat nagrody Nobla, niemiecki fizyk, prof. Heisenberg stwierdził: „energia elektromagnetyczna jest podstawową energią, od której zależy życie organizmu”. Siły elektromagnetyczne występują w większości procesów metabolicznych zachodzących w żywym organizmie. Zachowują one homeostazę z naturalnym polem magnetycznym Ziemi.

Warunkują między innymi: przepływ krwi w naczyniach krwionośnych, przemieszczanie jonów w płynach zewnątrz i wewnątrzkomórkowych oraz prawidłowy proces przemiany materii. Procesy komunikacji międzykomórkowej, przepływ związków chemicznych (dyfuzja, osmoza, transport bierny i aktywny) odbywa się przy pomocy własnego pola elektromagnetycznego organizmu [1, 2, 3, 6, 7].

Wrażliwość człowieka na niskoczęstotliwościowe pola elektromagnetyczne oraz rozwój nowych technik pomiarowych zapoczątkował wzrost zainteresowania oddziaływaniem niskoczęstotliwościowych pól magnetycznych na organizm człowieka [8, 10, 11, 12].

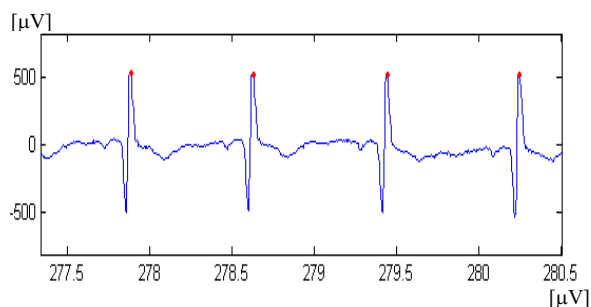
W badaniach przeprowadzonych w Laboratorium Akustyki Strukturalnej i Inżynierii Biomedycznej nt. „Badania wpływu dźwięków niskoczęstotliwościowych na organizm człowieka”, do generacji dźwięków stosowano głośniki elektrodynamiczne. Wraz z polem akustycznym na organizm człowieka w czasie eksperymentów oddziaływało pole elektromagnetyczne. Pole elektryczne było eliminowane przez zastosowanie siatki Faradaya. W czasie eksperymentu czynnikiem zakłócającym pozostawało zmienne pole magnetyczne.

W związku z powyższym podjęto badania wpływu ekspozycji niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego na czynność bioelektryczną serca (EKG). Otrzymane wyniki różnicowano za pomocą narzędzi psychometrii.

2. METODYKA BADAŃ

Celem pracy były analizy zmian wartości częstości występowania załamków QRS sygnału EKG pod wpływem ekspozycji niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego ($f=7$ Hz, $B = 330$ nT) na organizm człowieka. W pracy postawiono pytanie, czy osoby o różnych cechach osobowości - wyznaczanych testami Eysencka oraz Zuckermana – mogą różnie reagować na ekspozycję bodźca?

Do badań wpływu ekspozycji pola magnetycznego niskiej częstotliwości zakwalifikowano próbę 28 osób. Każdy 35 minutowy, eksperyment składał się z trzech etapów (sytuacji badawczych). Etap I - 5 minutowy - bez ekspozycji bodźca. Etap II - 20 minutowa ekspozycja na uczestników - pola magnetycznego niskiej częstotliwości. Trzeci etap - 10 minutowy - bez ekspozycji bodźca. Analizy zmian sygnału EKG polegały na wyznaczeniu średniej odległości czasowej pomiędzy załamkami QRS w poszczególnych etapach eksperymentu. Do detekcji załamków QRS opracowano skrypt wyznaczający maksymalne wartości sygnału EKG oraz obliczający odległości czasowe pomiędzy sąsiednimi załamkami R. Przykład realizacji sygnału EKG przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Przykładowa realizacja sygnału EKG z zaznaczonymi załamkami R

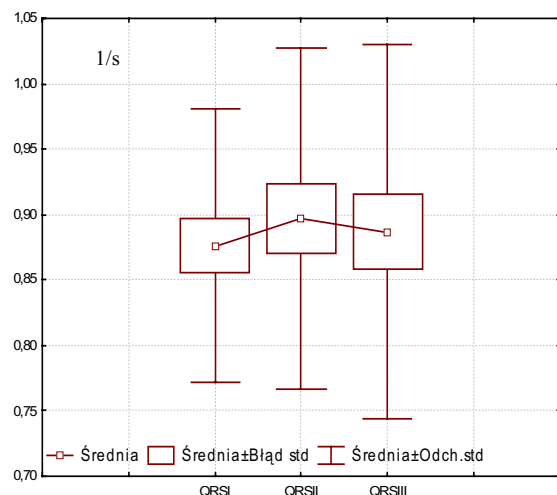
W analizach wyników badań, na poziomie istotności $p = 0,05$, przyjęto następującą hipotezę zerową H_0 : ekspozycja niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego na organizm człowieka nie powoduje zmian sygnału EKG tzn. częstości występowania załamków QRS w kolejnych etapach eksperymentu.

Przeprowadzone badania rodzaju rozkładu za pomocą testów Kołmogorowa z poprawką Lillieforsa oraz W. Shapiro-Wilka wskazują, że analizowane zmienne posiadają rozkład normalny.

Analizy zmian wartości średnich częstości występowania załamków QRS pomiędzy poszczególnymi etapami eksperymentu (I, II, oraz III) przeprowadzone za pomocą testu t wskazują, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o równości średnich. Ekspozycja niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego na organizm człowieka nie powoduje zmian częstości załamków R-R w kolejnych etapach eksperymentu. Wyniki analizy statystycznej przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Test t różnic średnich częstości w kolejnych etapach eksperymentu

Test t dla prób zależnych					
Zmienna	Średnia [1/s]	Odch. std	Różnica	Odch. std różnica	p
QRS I	0,876	0,104	-0,021	0,071	0,1548
QRS II	0,897	0,131			
QRS I	0,876	0,104	-0,011	0,085	0,5297
QRS III	0,887	0,143			
QRS II	0,897	0,131	-0,010	0,085	0,6527
QRS III	0,887	0,143			



Rys. 2. Analizy zmian wartości częstości załamek R w kolejnych etapach eksperymentu

Na podstawie analizy (tabela 1) nie stwierdzono wpływu niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego na czynność bioelektryczną serca.

W oparciu o wyniki testów psychologicznych dokonano podziału badanych (różnicowania) ze względu na rezultaty osiągnięte w kwestionariuszu EPQ-R dla trzech czynników struktury temperamentu (E – ekstrawersja, N – neurotyczność, P – psychotyczność) oraz w kwestionariuszu poszukiwania doznań Zuckermana (Z – potrzeba sensoryczna). Osoby osiągające niższe oceny w testach (poniżej mediany) oznaczono jako typ 0, natomiast osoby, które osiągnęły wyższe oceny (powyżej mediany) oznaczono jako typ 1.

W celu określenia wpływu bodźca na reakcję (tu, częstości występowania załamek QRS) osób o różnych cechach osobowości (E, N, P oraz Z, typ 0 lub 1) wyznaczano częstotliwość występowania załamek QRS w poszczególnych etapach eksperymentu. Dla każdej cechy psychologicznej – osoby podzielono na dwie grupy, z wyższym lub niższym poziomem danej cechy.

Przystępując do wnioskowania statystycznego przyjęto na poziomie istotności $p = 0,05$ hipotezę zerową H_0 : że, ekspozycja niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego na organizm człowieka nie powoduje zmian częstości występowania załamek QRS u badanych o różnych cechach osobowości, w kolejnych etapach eksperymentu.

Przeprowadzone badania rodzaju rozkładu wskazują, że analizowane zmienne mają rozkład normalny. Poziom istotności statystycznej różnic pomiędzy średnimi częstościami R-R w poszczególnych sytuacjach badawczych wyznaczano testem t dla grup zależnych.

Wyniki analiz istotności zmian przedstawiono w tabelach od 2 do 9.

Tabela 2. Test t różnic średnich wartości częstości QRS w kolejnych etapach eksperymentu u ekstrawertyków należących do grupy typ 1

Test t dla prób zależnych					
Zmienna	Średnia [1/s]	Odch. std	Różnica	Odch. std różnica	p
QRS I	0,884	0,130	-0,036	0,076	0,1015
QRS II	0,920	0,151			
QRS I	0,884	0,130	-0,022	0,080	0,3277
QRS III	0,906	0,163			
QRS II	0,920	0,151	-0,014	0,076	0,5064
QRS III	0,906	0,163			

Tabela 3. Test t różnic średnich wartości częstości QRS w kolejnych etapach eksperymentu u ekstrawertyków należących do grupy typ 0

Test t dla prób zależnych					
Zmienna	Średnia [1/s]	Odch. std	Różnica	Odch. std różnica	p
QRS I	0,866	0,061	-0,018	0,062	0,9259
QRS II	0,867	0,099			
QRS I	0,866	0,061	-0,032	0,092	0,9104
QRS III	0,863	0,115			
QRS II	0,867	0,099	-0,005	0,099	0,8709
QRS III	0,863	0,115			

Tabela 4. Test t różnic średnich wartości częstości QRS w kolejnych etapach eksperymentu u neurotyków należących do grupy typ 1

Test t dla prób zależnych					
Zmienna	Średnia [1/s]	Odch. std	Różnica	Odch. std różnica	P
QRS I	0,875	0,107	-0,024	0,051	0,1250
QRS II	0,899	0,107			
QRS I	0,875	0,107	-0,005	0,079	0,8160
QRS III	0,870	0,110			
QRS II	0,899	0,107	-0,029	0,085	0,2267
QRS III	0,870	0,110			

Tabela 5. Test t różnic średnich wartości częstości QRS w kolejnych etapach eksperymentu u neurotyków należących do grupy typ 0

Test t dla prób zależnych					
Zmienna	Średnia [1/s]	Odch. std	Różnica	Odch. std różnica	p
QRS I	0,877	0,106	-0,017	0,090	0,5457
QRS II	0,895	0,162			
QRS I	0,877	0,106	-0,031	0,091	0,2846
QRS III	0,908	0,180			
QRS II	0,895	0,162	-0,014	0,083	0,5942
QRS III	0,908	0,180			

Tabela 6. Test t różnic średnich wartości częstości QRS w kolejnych etapach eksperymentu u psychotyków należących do grupy typ 1

Test t dla prób zależnych					
Zmiana	Średnia [1/s]	Odch. std	Różnica	Odch. std różnica	p
QRS I	0,882	0,113	-0,007	0,040	0,5660
QRS II	0,889	0,116			
QRS I	0,882	0,113	-0,003	0,068	0,8640
QRS III	0,885	0,137			
QRS II	0,889	0,116	-0,003	0,085	0,8910
QRS III	0,885	0,137			

Tabela 7. Test t różnic średnich wartości częstości QRS w kolejnych etapach eksperymentu u psychotyków należących do grupy typ 0

Test t dla prób zależnych					
Zmienna	Średnia [1/s]	Odch. std	Różnica	Odch. std różnica	p
QRS I	0,870	0,099	-0,036	0,093	0,2052
QRS II	0,906	0,150			
QRS I	0,870	0,099	-0,019	0,102	0,5343
QRS III	0,889	0,155			
QRS II	0,906	0,150	-0,017	0,088	0,5132
QRS III	0,889	0,155			

Tabela 8. Test t - studenta różnic średnich wartości częstości QRS w kolejnych etapach eksperymentu dla osób, które osiągnęły wyższe (typ 1) wyniki w kwestionariuszu Zuckermana

Test t dla prób zależnych					
Zmienna	Średnia [1/s]	Odch. std	Różnica	Odch. std różnica	p
QRS I	0,881	0,118	-0,005	0,053	0,7269
QRS II	0,886	0,138			
QRS I	0,881	0,118	-0,034	0,068	0,0873
QRS III	0,915	0,157			
QRS II	0,886	0,138	-0,029	0,079	0,1971
QRS III	0,915	0,157			

Tabela 9. Test t różnic średnich wartości częstości QRS w kolejnych etapach eksperymentu dla osób, które osiągnęły niższe (typ 0) wyniki w kwestionariuszu Zuckermana

Test t dla prób zależnych					
Zmiana	Średnia [1/s]	Odch. std	Różnica	Odch. std różnica	p
QRS I	0,870	0,089	-0,041	0,087	0,1515
QRS II	0,911	0,126			
QRS I	0,870	0,089	-0,018	0,097	0,5419
QRS III	0,852	0,122			
QRS II	0,911	0,126	-0,059	0,067	0,0151
QRS III	0,852	0,122			

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Ekspozycja niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego na organizm człowieka nie powoduje zmian częstości występowania załamków QRS u badanych o różnych cechach osobowości, w kolejnych etapach eksperymentu (poza przypadkiem dla osób, które osiągnęły niższe (typ 0) wyniki w kwestionariuszu Zuckermana pomiędzy etapami II i III eksperymentu).

3. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i wykonanych analiz wpływu niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego na sygnał EKG wynika:

- niskoczęstotliwościowe pole magnetyczne nie wpływa na częstość występowania załamków QRS w sygnale EKG w kolejnych etapach eksperymentu (tabela 1),
- obserwuje się, nieistotny statystycznie, trend zwiększenia częstości QRS w etapie II oraz zmniejszenia po wyłączeniu ekspozycji bodźca (rys. 2).

Na podstawie analizy zmian wartości częstości występowania załamków QRS w sygnale EKG z podziałem badanych na „typ 0” lub „typ 1” czynnika E, N, P oraz wskaźnika Z można stwierdzić:

- u badanych zakwalifikowanych do grupy „typ 0” lub „typ 1” w kwestionariuszu Eysencka ekspozycja pola magnetycznego niskiej częstości nie powoduje istotnych statystycznie zmian w częstości występowania załamków QRS w kolejnych etapach eksperymentu,
- nie wykazano statystycznie istotnych zmian częstości występowania załamków QRS, pomiędzy I i II oraz I i III etapem eksperymentu, u osób „typ 0” wskaźnika Z,
- ekspozycja PM powoduje wzrost częstości występowania załamków QRS u badanych z niskim wskaźnikiem poziomu potrzeby sensorycznej, istotna statystycznie jest różnica między etapem II i III. (z prawdopodobieństwem testowym $p=0,0151$, tabela 9).

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 zapewnianego przez Fundację Alfreda Jurzykowskiego.

Autor składa serdeczne podziękowanie za konsultacje medyczne Doktorowi n. med. Mariuszowi Grochala z 5 Wojskowego Szpitala Klinicznego w Krakowie.

LITERATURA

- [1] S. Ghione, C. Del Seppia, L. Mezzasalma, M. Emdin, P. Luschi, „*Human head exposure to a 37 Hz electromagnetic field: effects on blood pressure, somatosensory perception, and related parameters.*”, *Bioelectromagnetics* 25:167-175, 2004.
- [2] J. H. Jeong, J. S. Kim, B. C. Lee, Y. S. Min, D. S. Kim, J. S. Ryu, K. S. Soh, K. M. Seo, U. D. Sohn, „*Influence of exposure to electromagnetic field on the cardiovascular system*”, *Autonomic & Autacoid Pharmacology*. Vol. 25, Page 17, January 2005.
- [3] M. Kosei, S. Hiroyuki, T. Kenji, N. Yoshiyuki, Y. Kuniaki, „*Extremely low frequency magnetic fields originating from equipment used for assisted reproduction, umbilical cord and peripheral blood stem cell transplantation, transfusion, and hemodialysis*”, *Bioelectromagnetics* 26, 69-73, 2005.
- [4] A. Kułak „*Pola elektromagnetyczne infraniskiej częstotliwości a żywa przyroda*”, Kraków, UJ, 1992.
- [5] A. Kułak, S. Michalec, K. Zięba, K. Maślanka, J. Kubisz, „*Czy pola elektromagnetyczne ELF mają wpływ na ludzi?*”, Kraków, UJ, 2000.
- [6] E. Lindstrom, P. Lindstrom, A. Berglund, E. Lundgren, K. H. Mild, „*Intracellular calcium oscillations in a T – cell line after exposure to extremely low frequency magnetic fields with variable frequencies and flux densities*”, *Bioelectromagnetics*, 1995.
- [7] M. Lupke, J. Rollwitz, M. Simko, „*Cell Activating Capacity of 50 Hz Magnetic Fields to Release Reactive Oxygen Intermediates in Human Umbilical Cord Blood-derived Monocytes and in Mono Mac 6 Cells*”, *Free Radical Research*, Vol. 38, September 2004.
- [8] V. Manni, A. Lisi, S. Rieti, A. Serafino, M. Ledda, L. Giuliani, D. Sacco, E. D'Emilia, S. Grimaldi, „*Low electromagnetic field (50 Hz) induces differentiation on primary human oral keratinocytes (HOK)*”, *Bioelectromagnetics* 25:118-126, 2004.
- [9] D. Micek, Z. Nieckarz, „*Wpływ pola elektromagnetycznego bardzo niskiej częstotliwości na serce*”, IX Krajowe Sympozjum Nauk Radiowych URSI: 1999.
- [10] M. T. Santini, A. Ferrante, G. Rainaldi, P. Indovina, P. L. Indovina, „*Extremely low frequency (ELF) magnetic fields and apoptosis: a review*”, *International Journal of Radiation Biology*, Volume 81, Number 1, January 2005.
- [11] Sieroń, G. Cieślak, A. Kawczyk-Krupka, T. Biniszkiwicz, A. Bilaska-Urban, M. Adamek, „*Zastosowanie pól magnetycznych w medycynie*”, Bielsko-Biała: α-Medica Press, 2000.
- [12] M. Sosa, J. Bernal-Alvarado, M. Jimenez-Moreno, J. C. Hernandez, G. Gutierrez-Juarez, M. Vargas-Luna, R. Huerta, J. C. Villagomez-Castro, P. Palomares, „*Magnetic field influence on electrical properties of human blood measured by impedance spectroscopy*”, *Bioelectromagnetics*, 564-70, Oct. 26(7), 2005.
- [13] PN-T-06580-1:2002, PN-T-06580-3:2002 *Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 1: Terminologia i część 3: Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy.*



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.

DIAGNOZOWANIE BEZPIECZEŃSTWA WAGONÓW KOLEJOWYCH W SYSTEMACH ROZRZĄDZANIA GRAWITACYJNEGO

Stanisław Janusz CIEŚLAKOWSKI

Instytut Systemów Transportowych, Politechnika Radomska
Wydział Transportu, 26-600 Radom, ul. Malczewskiego 20A

Streszczenie

W pracy opracowano metody diagnozowania zagrożenia bezpieczeństwa wagonów czynnikami technologiczno-konstrukcyjnymi.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, rozrządzenie grawitacyjne, wagon.

DIAGNOSTICS OF RAIL CARRIAGE SAFETY IN GRAVITATIONAL MARSHALLING SYSTEMS

Summary

The paper presents methods of diagnosing threats to carriage safety using technological and design factors.

Keywords: safety, gravitational marshalling, carriage.

1. WSTĘP

Przewozy kolejowe, polegające na przemieszczaniu osób i towarów, realizowane są dzięki pracy pociągów pasażerskich i towarowych [3, 5, 7].

Uruchamianie pociągów jest poprzedzane wykonywaniem pracy manewrowej, polegającej na zestawieniu wagonów w skład pociągu.

Praca manewrowa w ruchu pasażerskim jest znikoma w porównaniu do pracy manewrowej w ruchu towarowym [3, 5, 7].

W ruchu towarowym skład pociągu cechuje ciągła zmienność liczby wagonów, zmienność wielkości poszczególnych relacji wagonów, różnorodność przewożonych ładunków, różne występowanie stacji nadania i stacji przeznaczenia jako punktów naładunku i wyładunku wagonów [3, 5, 7].

W węzłach kolejowych na przecięciu zasadniczych ciągów tranzytowych oraz w pobliżu ośrodków przemysłowych o znacznej pracy ładunkowej, [3, 5, 7] zachodzi potrzeba wykonywania znacznej pracy manewrowej. Wagony przybywające do tych miejsc trzeba podzielić według kierunków odjazdu oraz stacji docelowych przewozu, a następnie zestawić je w pociągi.

Czynności te wykonuje się na stacjach rozrządowych, manewrowych i zakładowych.

Podstawowy zakres pracy manewrowej na tych stacjach stanowi rozrządzenie i zestawianie składów pociągów towarowych.

Duże stacje rozrządowe, manewrowe i zakładowe są wyposażone w systemy rozrządzenia grawitacyjnego umożliwiające najbardziej wydajne rozrządzenie wagonów.

Każdy wagon towarowy w czasie swojego tylko jednego obrotu jest przynajmniej 3 razy rozrządzany z wykorzystaniem systemów rozrządzenia grawitacyjnego [3, 5, 7]:

- po załadunku na stacji rozrządowej rejonu załadunku,
- przed wyładunkiem na stacji rozrządowej rejonu wyładunku,
- jako wagon próżny po wyładunku na stacji rozrządowej rejonu wyładunku.

Stacje wyposażone w systemy rozrządzenia grawitacyjnego budowane są i eksploatowane na kolejach zagranicznych, m.in. w krajach zachodnich. Przykładami są tu stacje rozrządowe Monachium Północ w Niemczech i Domodossola we Włoszech wybudowane w latach dziewięćdziesiątych XX wieku.

Na sieci PKP znajduje się 100 stacji rozrządowych, manewrowych i zakładowych z systemami rozrządzenia grawitacyjnego.

Wiele z nich wymaga modernizacji.

O negatywnych skutkach rozrządzenia może świadczyć wielkość strat ponoszonych w wyniku kolizji wagonów i rozbijania ładunków spowodowanych przez systemy rozrządzenia grawitacyjnego.

Straty te szacuje się w skali roku na ok. 100 mln złotych.

Systemy rozrządzenia grawitacyjnego mogą być przyczyną zagrożeń bezpieczeństwa nie tylko wagonów i ładunków, ale również ludzi pracujących na stacjach rozrządowych, manewrowych i zakładowych.

Stacje rozrządowe, manewrowe i zakładowe stanowią podstawowe ogniwo w organizacji przewozów ładunków.

Tak więc bezpieczeństwo transportu kolejowego zależy m.in. od bezpiecznego działania stacji rozrządowych, manewrowych i zakładowych,

których newralgicznymi systemami są systemy rozrządzenia grawitacyjnego.

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Z całego przeglądu literatury [4] wynika, że nie ma do tej pory opracowanych metod liczbowej oceny zagrożenia bezpieczeństwa wagonów w systemach rozrządzenia grawitacyjnego.

Obecnie w Polsce i innych krajach dokonuje się tylko jakościowej oceny zagrożenia bezpieczeństwa wagonów w systemach rozrządzenia grawitacyjnego.

Polega to na tym, że sprawdza się czy wagony nie mają zbyt dużych prędkości w wybranych punktach drogi staczenia i czy nie doganiają się w niektórych punktach tej drogi.

Można to zapisać następująco:

$$[(V \langle V_{\max} \rangle \wedge (\Delta t) \Delta t_{\min})] \Rightarrow [Z(t)=0] \quad (1)$$

gdzie:

V – prędkość wagonu,

V_{\max} – dopuszczalna prędkość wjazdu wagonu na hamulec,

Δt – odstęp czasu między wagonem poprzednim a następnym,

Δt_{\min} – minimalny odstęp czasu między wagonami potrzebny do przełożenia zwrotnicy lub nastawienia hamulca,

$Z(t)$ – zagrożenie bezpieczeństwa wagonu staczanego w czasie t w systemie rozrządzenia grawitacyjnego.

Projektując nowe systemy rozrządzenia grawitacyjnego lub modernizując już istniejące nie możemy stwierdzić, które z nich powodują mniejsze zagrożenie bezpieczeństwa wagonów i o ile.

Należy więc opracować funkcje F przekształcającą konfigurację systemu rozrządzenia grawitacyjnego K na zagrożenie bezpieczeństwa wagonów kolejowych w tym systemie $Z(t)$:

$$F : K \rightarrow Z(t) \quad (2)$$

Jako metodę badawczą zastosowano analizę planów schematycznych stref podziałowych oraz procesu technologicznego rozrządzenia wagonów i obliczenia analityczne symulujące staczenie wagonów.

Brak kryteriów liczbowej oceny bezpieczeństwa [4] nie pozwala w pełnej mierze szczególnie na etapie projektowania, ujawnić niedociągnięć i podjąć przedsięwzięcia które zwiększyłyby poziom bezpieczeństwa. Pojawiła się obecnie tendencja do szerokiego wykorzystywania probalistycznych metod oceny bezpieczeństwa [2, 6]. Przeciwnością bezpieczeństwa jest zagrożenie.

3. ZAGROŻENIE BEZPIECZEŃSTWA WAGONÓW CZYNNIKAMI TECHNOLOGICZNO-KONSTRUKCYJNYMI

Prawidłowość procesu rozrządzenia zależy od konieczności zachowania w odpowiednich punktach strefy rozgałęznej systemu rozrządzenia grawitacyjnego dostatecznej odległości między kolejno następującymi po sobie wagonami. Odległość ta jest potrzebna do wykonania czynności sterowniczych. Punktami tymi są zwrotnice, na których rozchodzą się drogi wagonów lub hamulce torowe, które po zjechaniu jednego wagonu powinny być nastawione na zahamowanie następnego wagonu.

Wagony oddzielają się od rozrządzanego składu w chwili przejeżdżania przez grzbiet górkę i od tej pory zaczyna się staczenie. W czasie staczenia z górkę zmieniają się odstęp czasu i odstęp czasu pomiędzy wagonami.

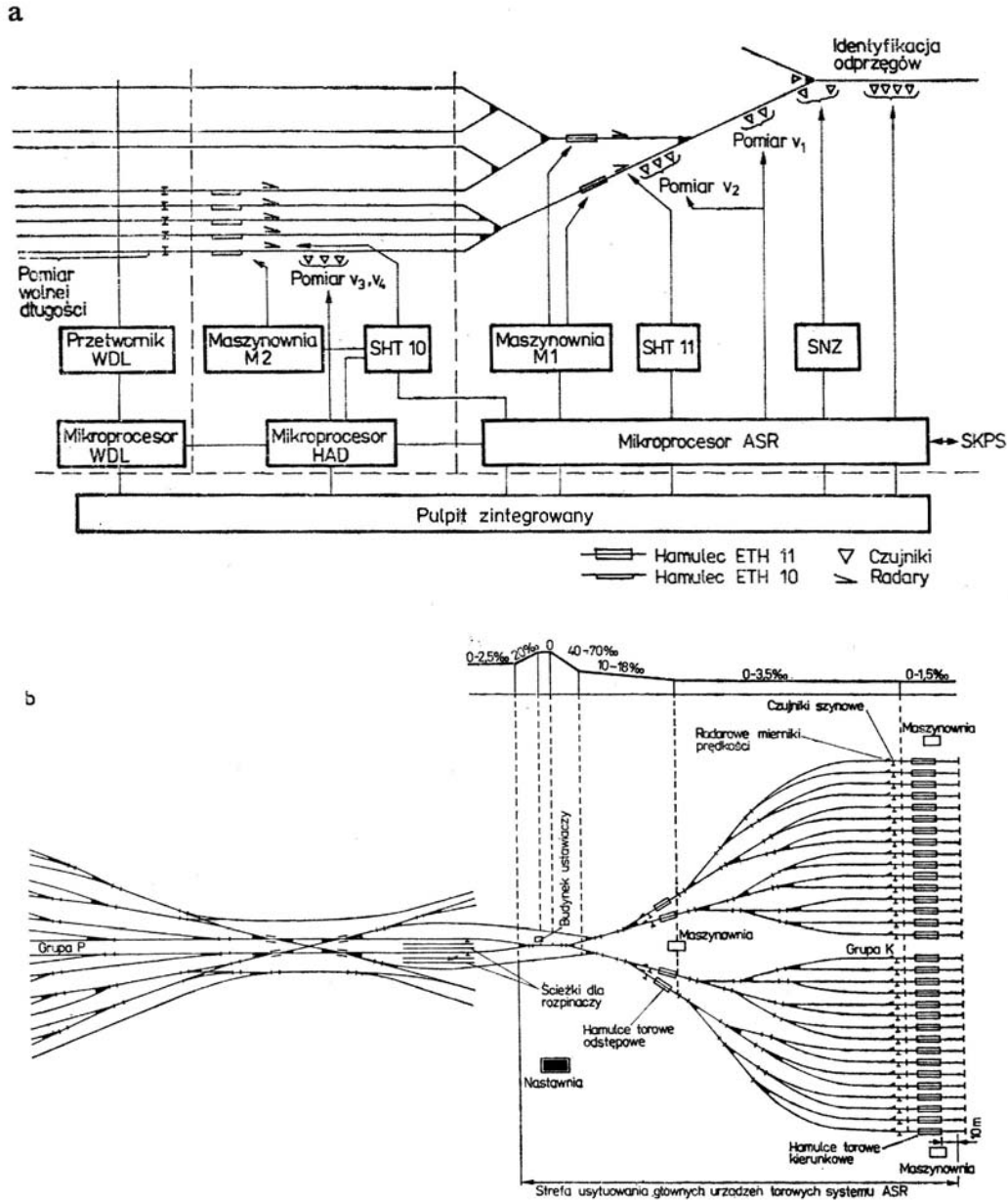
Jeżeli wszystkie wagony przetaczanego składu miałyby jednakowe długości między zderzakami i właściwości ruchowe, a przede wszystkim jednakowy opór jednostkowy, to przez każdy punkt na swojej wspólnej drodze aż do zwrotnicy podziałowej przejeżdżałyby one w tym samym odstępie czasu jaki miały na grzbiecie górkę.

W rzeczywistości opór jednostkowy poszczególnych wagonów przetaczanego składu waha się w pewnych granicach, wskutek czego czas przejazdu dwóch kolejnych wagonów od grzbietu górkę do zwrotnicy podziałowej jest zróżnicowany. Wagon ciężkobieźny przejedzie drogę od grzbietu górkę do określonego punktu na drodze staczenia w czasie dłuższym niż wagon lekkobieźny.

W celu zachowania potrzebnego odstępu czasu pomiędzy poprzedzającym wagonem ciężkobieźnym i następującym wagonem lekkobieźnym, instaluje się hamulce odstępowe (rys. 1) [3].

Na hamulcach, rozjazdach i łukach poziomych należałoby również kontrolować prędkość wagonów.

Widać stąd, że czynniki technologiczno-konstrukcyjne (prędkości napychania wagonów oraz konstrukcja planu i profilu systemu rozrządzenia grawitacyjnego) generują zagrożenie bezpieczeństwa wagonów przez element prędkości i element czasu.



Rys. 1. System automatycznego sterowania rozrządaniem: a – konfiguracja automatycznego systemu rozrządania (ASR), b - rozmieszczenie głównych urządzeń torowych systemu (ASR)

4. METODA DIAGNOZOWANIA ZAGROŻENIA BEZPIECZEŃSTWA WAGONÓW CZYNNIKIEM PRĘDKOŚCI

4.1. Metoda diagnozowania rzeczywistego zagrożenia bezpieczeństwa wagonów elementem prędkości na łukach poziomych

Maksymalną prędkość jazdy wagonu towarowego po łuku (także łuku rozjazd) ułożonym bez stosowania przechyłka toru autor proponuje obliczyć według wzoru służącego do obliczania minimalnych przechyłek w łukach.

Ponieważ łuki poziome i rozjazdy w systemach rozrządania grawitacyjnego są ułożone bez

przechyłki, to wzór ten należy zmodyfikować, zakładając, że przechyłka $h_{min} = 0$.

Pierwotna postać wzoru jest następująca [1]:

$$h_{min} = \frac{11,8V_{max}^2}{R} - 153 a_{max} \quad (3)$$

gdzie:

- R – promień łuku poziomego [m],
- h_{min} – przechyłka toru [mm],
- V_{max} – największa prędkość jazdy [km/h],
- a_{max} – największe przyspieszenie niezrównoważone = $0,6 \text{ m/s}^2$

Przyjmując $h_{min} = 0$, wzór (3) po przekształceniu ma postać:

$$V_{max} = 0,278 \sqrt{7,77 \cdot R} \quad [\text{m/s}] \quad (4)$$

Wynika stąd, że prędkość jazdy wagonu po łuku oraz rozjeździe na odgałęzienie nie powinna przekraczać prędkości wyliczonej ze wzoru (4).

Wiedząc, [3] że systemy rozrządzenia grawitacyjnego są wyposażone w rozjazdy o minimalnym promieniu łuku $R = 190$ m, a strefy podziałowe są konstruowane w ten sposób, że minimalny promień łuku poziomego wynosi $R = 150$ m, możemy podstawić do wzoru (4) $R = 150$ m.

Otrzymamy wówczas maksymalną prędkość $V_{\max} = 9,49$ m/s, której przekroczenie spowoduje zagrożenie bezpieczeństwa wagonów.

Ponieważ prędkości takiej w praktyce nie osiąga wagon w żadnym punkcie strefy podziałowej, to możemy stwierdzić, że nie występuje rzeczywiste zagrożenie bezpieczeństwa wagonów elementem prędkości na łukach poziomych.

4.2. Metoda diagnozowania zagrożenia bezpieczeństwa wagonów czynnikiem prędkości na hamulcach odstępowych

Prędkość wjazdu wagonów na hamulec odstępowy V_{HO} można wyznaczyć za pomocą funkcji wielu zmiennych [1]:

$$V_{HO} = f(K, PW) \quad (5)$$

K – konfiguracja systemu rozrządzenia grawitacyjnego,

PW – wybrane parametry wagonu.

Funkcję (5) można przedstawić za pomocą wzoru Maclaurina w następujący sposób [4]:

$$V_{HO} = 4,37 \sqrt{H-c} - \frac{2,19 \cdot L}{\sqrt{H-c}} \cdot w_o + R \quad (6)$$

gdzie:

L – odległość od wierzchołka góry rozrządowej do początku hamulców odstępowych [m],

H – wysokość między wierzchołkiem góry a początkiem hamulców odstępowych [m],

c – stała wynosząca dla prędkości napychania wagonów 1,4 m/s oraz 0,8 m/s odpowiednio 0,04 i 0,11,

w_o – jednostkowy opór toczenia wagonu [-],

R – reszta, która dla wykonanej aproksymacji wynosi $R = 0$.

Postać wzoru (6) została opracowana przy następujących założeniach:

- opór od powietrza został pominięty ze względu na jego znikomą wartość oddziaływania na wagon lekkobieżny (około 10 razy mniejszy od jednostkowego oporu toczenia wagonu),
- zmodyfikowane przyspieszenia ziemskie $g = 9,57$ m/s jak dla nowych wagonów lekkobieżnych $E_{anos} = 423$ W [4],
- liczba rozjazdów przejeżdżanych przez wagon między wierzchołkiem a hamulcem odstepowym wynosi $n = 3$ [4],
- współczynnik przy sumie katów zwrotu wynosi 0,008,
- suma kątów zwrotu wynosi $\alpha = 10^\circ$ [4].

Można przyjąć, z pewnym uproszczeniem, że jednostkowy opór toczenia dowolnego

j -tego wagonu jest zmienną losową o rozkładzie normalnym [4]

$$N(\bar{w}_o, \sigma_{wo}),$$

gdzie:

$$\bar{w}_o = 0,00311$$

$$\sigma_{wo} = 0,00101$$

Wobec tego wartość prędkości j -tego wagonu na hamulcu odstepowym jest również zmienną losową.

Wstawiając do wzoru (6) $w_o = \bar{w}_o$, otrzymujemy wzór na wartość oczekiwaną prędkości \bar{V}_{HO} .

Odchylenie standardowe wartości prędkości związane jest zależnością:

$$\sigma_{V_{HO}}^2 = \left(\frac{2,19 \cdot L}{\sqrt{H-c}} \right)^2 \sigma_{wo}^2 \quad (7)$$

Korzystając z funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa prędkości wjazdu j -tego wagonu na hamulec odstepowy oraz tablicy dystrybuanty rozkładu normalnego, można obliczyć zagrożenie bezpieczeństwa wagonów na hamulcach odstepowych, czyli prawdopodobieństwo wykolejenia wagonów na tych hamulcach.

Wykolejenie następuje, gdy prędkość wjazdu wagonów na hamulce odstepowe przekracza $V_{HO} = 8,5$ m/s.

Z przeprowadzonych obliczeń wynikają następujące wnioski:

- ilościowej oceny zagrożenia bezpieczeństwa wagonów na hamulcach odstepowych według opracowanej metody wystarczy dokonać dla jednego hamulca. Podejście takie jest uprawnione ze względu na symetrię układu torowego,
- zagrożenie bezpieczeństwa wagonów w systemie rozrządzenia grawitacyjnego, czyli prawdopodobieństwo ich wykolejenia na hamulcach odstepowych dla prędkości napychania wynoszących 1,4 m/s oraz 0,8 m/s wynosi odpowiednio 0,0107 oraz 0,00005,
- obliczenia te przeprowadzono dla $L = 138$ m i $H = 3,92$ m. Wymiary te odpowiadają 32-torowemu układowi z jednym torem grzbietowym,
- rzeczywiste prawdopodobieństwo zagrożenia bezpieczeństwa wagonów czynnikiem prędkości na hamulcach odstepowych otrzymamy, mnożąc obliczone prawdopodobieństwo przez prawdopodobieństwo pojawienia się wagonu czteroosiowego $p_4 = 0,9$ w systemie rozrządzenia grawitacyjnego i prawdopodobieństwo, że jest on ładowny $p_l = 0,85$.

4.3. Metoda diagnozowania zagrożenia bezpieczeństwa wagonów czynnikiem prędkości na hamulcach docelowych

Prędkość wjazdu wagonów na hamulec docelowy V_{HD} można wyznaczyć za pomocą funkcji opisanej wzorem (5).

Funkcję tę można przedstawić za pomocą wzoru Maclaurina w następujący sposób:

$$V_{HD} = 4,24 \sqrt{H_1 - 0,0016 \cdot L_1 - C_1} + \frac{2,12 \cdot L_1}{\sqrt{H_1 - 0,0016 \cdot L_1 - c_1}} \cdot w_o + R_1 \quad (8)$$

gdzie:

L_1 – odległość od wierzchołka góry rozrządowej do początku hamulców docelowych [m]

H_1 – wysokość między wierzchołkiem góry a początkiem hamulców docelowych [m],

c_1 – stała wynosząca dla prędkości napychania wagonów 1,4 m/s oraz 0,8 m/s odpowiednio 0,41

i 0,48,

w_o – jednostkowy opór toczenia wagonu,

R_1 – reszta, którą dla wykonanej aproksymacji można pominąć, gdyż jej wartość kształtuje się na poziomie – 0,13.

Wzór (8) został opracowany dla wagonu ciężkobieźnego, który identyfikuje się z wagonem 2-osiowym. Nie jest on hamowany na hamulcu odstępowym. Rozpatrujemy ruch tego wagonu na tor kierunkowy o najmniejszym oporze, gdyż na hamulcu docelowym tu zlokalizowanym, występuje największe zagrożenie wykolejenia wagonu 2-osiowego.

Korzystając z funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa prędkości wjazdu wagonu na ten hamulec docelowy oraz tablicy dystrybucyj rozkładu normalnego, można obliczyć prawdopodobieństwo zagrożenia bezpieczeństwa wagonów elementem prędkości na hamulcach docelowych.

Wykolejenie następuje, gdy prędkość wjazdu wagonów na hamulce przekracza $V_{HD}=5,5$ m/s [4].

Możemy więc napisać:

$$p_{V_{HD}} = p(V_{HD} > 5,5) \quad (9)$$

Obliczenia przeprowadzono dla $L_1 = 396,5$ m, $H_1 = 4,78$ m.

Prawdopodobieństwo zagrożenia bezpieczeństwa wagonów czynnikiem prędkości na hamulcach docelowych dla prędkości ich napychania 0,8 m/s i 1,4 m/s wynosi odpowiednio 0,9938 i 0,9989.

Rzeczywiste prawdopodobieństwo zagrożenia powyższego bezpieczeństwa otrzymamy, mnożąc obliczone prawdopodobieństwo przez prawdopodobieństwo pojawienia się wagonu 2-osiowego $p_2=0,1$ w systemie rozrządzenia grawitacyjnego oraz przez czynnik 1/16 ze względu na symetrię układu torowego oraz prawdopodobieństwa pojawienia się wagonu próżnego $p_p=0,15$.

5.4. Metoda diagnozowania zagrożenia bezpieczeństwa wagonów czynnikiem czasu

Najdłuższą drogą, w systemie rozrządzenia grawitacyjnego, na której wagon lekkobieźny może swobodnie podążać za wagonem ciężkobieźnym jest droga między wierzchołkiem góry rozrządowej a początkiem hamulca odstępowego.

Zagrożenie bezpieczeństwa wagonów czynnikiem czasu na hamulcu odstępowym wystąpi, gdy spełniony zostanie warunek:

$$t_{rz} < t_{tch} \quad (10)$$

gdzie:

t_{rz} – rzeczywisty czas następstwa wjazdu wagonu ciężkobieźnego i lekkobieźnego na hamulec odstępowy [s],

t_{tch} – czas technologiczny potrzebny do obsługi hamulca odstępowego [s].

Czasy te można obliczyć z następujących wzorów:

$$t_{rz} = T_o + t_{n4} - t_{p2} \quad (11)$$

$$t_{tch} = t_s + t_r + t_h \quad (12)$$

gdzie:

T_o – czas od chwili staczenia się wagonu poprzedniego do chwili staczenia wagonu następnego [s],

t_{n4} – czas od chwili rozpoczęcia staczenia wagonu następnego do chwili wjazdu na hamulec odstępowy [s],

t_{p2} – czas od chwili rozpoczęcia staczenia wagonu poprzedniego do chwili wjazdu na hamulec odstępowy [s],

t_s – czas sterowania (1,1s),

t_r – czas przetwarzania informacji przez człowieka w sytuacji wyboru (czas reakcji) [s],

$$t_r = 0,179 + 0,079 \log_2 n \quad (13)$$

gdzie:

n – liczba możliwych sytuacji,

t_h – czas podnoszenia hamulca torowego (0,83 s) [4].

Czas jazdy wagonu t w systemie rozrządzenia grawitacyjnego można obliczyć ze wzoru:

$$t = \frac{2 \cdot L_2}{V_o + V_k} \quad (14)$$

gdzie:

L_2 – droga przejazdu [m],

V_o – prędkość spychania wagonu [m/s],

V_k – prędkość wagonu w punkcie badanym (początek hamulca odstępowego) [m/s].

Funkcję tę można przedstawić za pomocą wzoru Maclaurina. Tak przedstawione funkcje dla t_{n4} i t_{p2} wstawiamy do wzoru (11).

Obliczamy wymagany czas technologiczny:

$$t_{tch} = 2,19 \text{ s}$$

Czas rzeczywisty następstwa wagonów na hamulcu odstępowym obliczony ze wzoru (11) przyjmuje postać:

$$t_{rz} = A + B \cdot w_o + R_2 \quad (15)$$

Dla wagonu 2-osiowego utożsamianego z wagonem ciężkobieźnym przy prędkości

napychania 0,8 m/s i 1,4 m/s wielkość A przyjmuje wartości odpowiednio 31,4 oraz 29,39. Natomiast wielkość B odpowiednio wartości 553,1 oraz 485,5.

Dla wagonu 4 osiowego utożsamianego z wagonem lekkobieżnym przy prędkości napychania 0,8 m/s i 1,4 m/s wielkość A przyjmuje wartości odpowiednio 32,09 oraz 27,54. Natomiast wielkość B odpowiednio wartości 45 oraz 29,3.

Maksymalna wartość R_2 wynosi 1,33 i może być pominięta.

Korzystając z funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa czasu rzeczywistego następstwa wagonów na hamulce odstępowe oraz tablicy dystrybucyjności rozkładu normalnego, można obliczyć prawdopodobieństwo zagrożenia bezpieczeństwa wagonów elementem czasu (przekroczenia czasu technologicznego co skutkuje dogonieniem wagonów i ich zderzeniem) na hamulcach odstępowych.

Prawdopodobieństwo to wynosi 0,00001 dla prędkości napychania wagonów $V_0 = 0,8$ m/s oraz 0,00008 dla prędkości napychania wagonów $V_0 = 1,4$ m/s.

Rzeczywiste prawdopodobieństwo zagrożenia powyższego bezpieczeństwa otrzymamy, mnożąc obliczone prawdopodobieństwo przez prawdopodobieństwo pojawienia się wagonu lekkobieżnego za wagonem ciężkobieżnym $p_{24} = 0,04$ oraz przez prawdopodobieństwo nierozdzielania się wagonów na inne tory przed hamulcem odstepowym $p_r = 0,4$.

6. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika, że zagrożenie bezpieczeństwa wagonów czynnikami technologiczno-konstrukcyjnymi z wynosi [4]:

$$Z=1-(1-p_4 \cdot p_r \cdot p_{VHO})(1-p_{24} \cdot p_r \cdot p_{IHO})(1-p_2 \cdot p_s \cdot p_p \cdot p_{VHD}) \quad (16)$$

gdzie:

p_{VHO} – prawdopodobieństwo wykolejenia wagonu na hamulcu odstepowym obliczone w rozdz. 4.2,

p_{IHO} – prawdopodobieństwo dogonienia się wagonów na hamulcu odstepowym obliczone w rozdz. 5,

p_{VHD} – prawdopodobieństwo wykolejenia wagonu na hamulcu docelowym obliczone w rozdz. 4.3.

Pozostałe oznaczenia podano w treści pracy.

Wstawiając dane liczbowe otrzymamy:

$$Z=1-(1-0,9 \cdot 0,85 \cdot 0,01)(1-0,04 \cdot 0,4 \cdot 0,00008) \cdot (1-0,1 \cdot 0,06 \cdot 0,15 \cdot 0,9989) \quad (17)$$

$$Z = 0,0085$$

LITERATURA

- [1] Bałuch H.: *Optymalizacja układów geometrycznych toru*, WKŁ, Warszawa 1983.
- [2] Brandowski A.: *Zasady nauki o bezpieczeństwie*, Krajowa Konferencja „Bezpieczeństwo i niezawodność, KONBiN, ITWL, Zakopane – Kościelisko, 22-25.11.99r.
- [3] Cieślakowski St. J.: *Stacje kolejowe*, WKŁ, Warszawa, 1992.
- [4] Cieślakowski St. J.: *Kształtowanie bezpieczeństwa wagonów w systemach rozrządzenia grawitacyjnego*, Praca naukowo-badawcza, 2005/47/P, Politechnika Radomska, Radom, 2004.
- [5] Gajda B.: *Stacje rozrządowe*, WKŁ, Warszawa, 1966.
- [6] Jaźwiński J., Ważyńska - Fiok K., *Bezpieczeństwo systemów*, Warszawa, PWN 1993.
- [7] Mikołajczyk J.: *Eksploatacja układów rozrządowych A-B-OB. I C-D stacji Tarnowskie Góry i problemy z niej wynikające w aspekcie złożonej organizacji przewozów, stanu infrastruktury torowej oraz zatrudnienia*, Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Aktualne problemy dotyczące funkcjonowanie górek rozrządowych na sieci PKP S.A.” Tarnowskie Góry, Zawiercie 14-15.05.05.



Dr inż. Stanisław **Janusz CIEŚLAKOWSKI** urodzony w 1951 roku we Wrocławiu, absolwent Kielecko-Radomskiej Wyższej Szkoły Inżynierskiej i Politechniki Warszawskiej. Uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych na Wydziale Transportu Politechniki

Warszawskiej. Ukończył studia podyplomowe w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy w Wyższej Inżynierskiej Szkole Bezpieczeństwa i Organizacji Pracy w Radomiu oraz Studium Pedagogiczne w Kielcach. Uzyskał stopień nauczyciela dyplomowanego. Jest autorem 140 publikacji naukowych, wśród których znajdują się skrypt i książka (podręcznik akademicki wydany przez WKŁ). Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Bezpieczeństwa i Niezawodności oraz Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji. Pracuje na stanowisku adiunkta na Politechnice Radomskiej, na Wydziale Transportu w Instytucie Systemów Transportowych, Zakładzie Organizacji i Techniki Transportu Kolejowego.

SYSTEM DIAGNOSTYKI MAŁYCH SILNIKÓW PRĄDU STAŁEGO Z WYKORZYSTANIEM METODY IDENTYFIKACJI

Michał HANZEL, Wojciech MOCZULSKI

Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice, e-mail: wmoczulski@polsl.pl

Streszczenie

W referacie opisano system diagnostyki małych silników prądu stałego, stosowanych w samochodach osobowych. Zaprojektowanie, skonstruowanie stanowiska pomiarowego, opracowanie metody i oprogramowania, a także weryfikacja takiego systemu były przedmiotem pracy dyplomowej magisterskiej pierwszego z autorów. Zastosowane podejście bazuje na modelu analitycznym silnika, opisującym część elektryczną i mechaniczną. Do detekcji i lokalizacji uszkodzeń wykorzystuje się dwie stałe: elektromechaniczną stałą czasową oraz elektromagnetyczną stałą czasową obwodu twornika. Estymacja wartości tych stałych następuje na podstawie zmierzonych wielkości: prędkości obrotowej i parametrów elektrycznych. Uzyskane wyniki porównywane są z wartościami wzorcowymi otrzymanymi z modelu. Otrzymane residua są klasyfikowane z wykorzystaniem prostego algorytmu progowego, a także przez rozmytą sieć neuronową. Wstępne badania weryfikacyjne, przeprowadzone dla kilku obiektów tego samego typu, potwierdziły poprawne działanie systemu.

Słowa kluczowe: diagnostyka z wykorzystaniem modelu, diagnostyka przez identyfikację, silnik elektryczny małej mocy, detekcja uszkodzeń, klasyfikacja residuów, logika rozmyta.

SYSTEM OF DIAGNOSTICS OF SMALL DC MOTORS WITH THE USAGE OF IDENTIFICATION METHOD

Summary

The paper deals with a system of diagnostics of small DC motors that are applied in personal cars. Design and development of a measuring stand, development of a method and respective software, and verification of this system were the subject of MSc thesis of the first author. The approach to the problem is based on analytical model of the motor, which describes both the electrical and mechanical parts of the object. Two time constants are applied in order to detect and isolate faults: electro-mechanical one and electro-magnetic time constant of the rotor circuit. These constants are estimated basing on such measured quantities as rotating speed and electric parameters. The obtained results are compared with pattern values calculated from the model. Received residuals are classified by using simple threshold algorithm, and by fuzzy neural network. The initial verification carried out for several motors of the same type confirmed correct operation of the diagnostic system.

Keywords: model-based diagnostics, diagnostics through identification, small-power DC motor, fault detection, classification of residuals, fuzzy logic.

WSTĘP

Silniki elektryczne prądu stałego małej mocy są wytwarzane masowo, znajdując zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, np. w motoryzacji. Wzrost niezawodności działania podzespołów samochodu, a także odpowiednia jakość oczekiwana przez klientów, powodują rozwój technik diagnostyki kontrolnej takich silników. Spośród różnych podejść na szczególną uwagę zasługuje diagnostyka wsparta modelowo.

Metody i techniki diagnozowania silników elektrycznych były przedmiotem wielu prac badawczych. Drugi z autorów uczestniczył w projekcie badawczym realizowanym w latach 1986-1987 pod kierunkiem D. Barschdorffa na Uniwersytecie Paderborn (RFN), w którym stosowano podejście bazujące na modelu [2], [9]. Prace dotyczące diagnostyki silników małej mocy

były również realizowane w zespole D. Filberta (Uniwersytet Techniczny w Berlinie) [4].

Autorzy podjęli próbę wykorzystania wspartych modelowo metod diagnostyki technicznej w celu zbudowania stanowiska badawczego pozwalającego na detekcję wybranych uszkodzeń silników elektrycznych małej mocy w sposób bezdemontażowy. Przebieg i wyniki tego projektu, będącego jednocześnie pracą magisterską pierwszego z autorów, omówione zostały w niniejszym artykule.

1. DETEKCJA I LOKALIZACJA USZKODZEŃ Z WYKORZYSTANIEM MODELI

W diagnostyce technicznej modele wykorzystywane są zarówno do detekcji jak i lokalizacji uszkodzeń.

Detekcja uszkodzeń polega na określeniu czy badany obiekt jest niesprawny/niezdalny. Modele stosowane w tej grupie opisują zależności pomiędzy sygnałami wejściowymi i wyjściowymi obiektu $U \Rightarrow Y$ oraz umożliwiają wykrycie zmian, których występowanie spowodowane jest tymi uszkodzeniami [6].

Celem lokalizacji uszkodzeń jest wyznaczenie rodzaju, miejsca i czasu wystąpienia uszkodzenia oraz jego identyfikacja, która dotyczy określenia rozmiaru uszkodzenia i charakteru jego zmienności w czasie, a nawet przyczyny uszkodzenia [10].

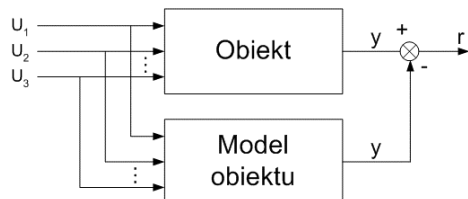
W przypadku detekcji uszkodzeń modele na ogół opisują działanie obiektu w stanie zdadności (brak uszkodzeń). Zwykle są to modele analityczne, neuronowe oraz rozmyte. Dzięki tym modelom wyznacza się residua, a więc różnice między sygnałami wyjściowymi obiektu (zmierzonymi), a sygnałami otrzymanymi na podstawie modelu. Jeżeli wartość residuum odbiega znacząco od zera, jest to symptomem uszkodzenia.

Wartości residuów są podstawą w detekcji uszkodzeń badanego obiektu, natomiast w celu lokalizacji uszkodzeń stosuje się zwykle binarną lub wielowartościową ocenę tych residuów (kwantyzacja) i dopiero na podstawie tak przetworzonych sygnałów diagnostycznych prowadzone jest wnioskowanie o uszkodzeniach [7]. Możliwe jest to dzięki zastosowaniu klasyfikatora, przekształcającego otrzymane residuum na jakościowy sygnał diagnostyczny.

Do detekcji uszkodzeń w diagnostyce najczęściej wykorzystuje się modele analityczne, które pozwalają uzyskać tzw. redundancję analityczną toru pomiarowego. Osiągnięte jest to poprzez wprowadzenie do systemu diagnostycznego modelu matematycznego badanego obiektu, a następnie porównanie wartości zmierzonego sygnału rzeczywistego z wartością tego sygnału wyliczoną na podstawie modelu (residuum).

W grupie modeli matematycznych stosowanych do detekcji uszkodzeń wyróżnić można [7]:

- modele fizyczne (równania ruchu, bilansowe, itp.),
- modele liniowe typu wejście – wyjście (transmitancje ciągłe lub dyskretne),
- liniowe równania stanu,
- obserwatory stanu i filtry Kalmana.



Rys. 1. Schemat generacji residuów z wykorzystaniem redundancji analitycznej [8]

Poza równaniami matematycznymi modele tworzy się również jako neuronowe czy rozmyte.

W tym przypadku mówi się o redundancji informacyjnej, której szczególnym przypadkiem jest redundancja analityczna [7].

2. SILNIK ELEKTRYCZNY DC MAŁEJ MOCY JAKO OBIEKT DIAGNOZOWANIA

Ponieważ celem badań było opracowanie systemu detekcji uszkodzeń, który łatwo można byłoby zweryfikować, a następnie mogłyby znaleźć zastosowanie praktyczne, postanowiono jako obiekt badań wybrać możliwie łatwo dostępny silnik wytwarzany masowo. Do silników takich zaliczyć można silniki prądu stałego małej mocy, stosowane w przemyśle samochodowym.

2.1. Opis obiektu diagnozowania

Przyjętymi w pracy obiektami badań są silniki elektryczne prądu stałego małej mocy ze wzbudzeniem od magnesów trwałych, wykorzystywane jako dodatkowy osprzęt (napęd mechanizmu wycieraczek) w samochodzie osobowym Fiat 126p (rys. 2).



Rys. 2. Badany silnik

Jak każda wirująca maszyna elektryczna badany silnik składa się ze stojana i wirnika.

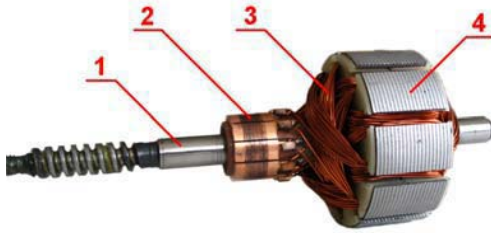
Stojan pokazany jest na rys. 3. Do jarzma stojana przymocowana jest para biegunów głównych w postaci magnesów trwałych wytwarzających pole magnetyczne. Wewnątrz korpusu znajduje się również tarcza łożyskowa, w której obraca się wał wirnika i która zapewnia jego centryczne ustawienie w stosunku do biegunów głównych oraz stojana.



Rys. 3. Stojan (magneśnica) silnika: 1 – jarzmo, 2 – magnesy trwałe, 3 – tarcza łożyskowa

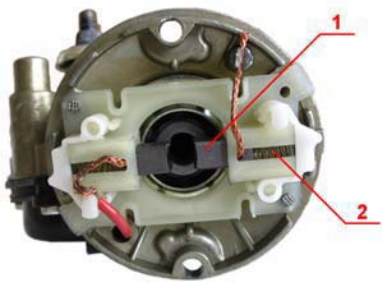
Rys. 4 przedstawia wirnik (twornik) badanego silnika. Można w nim wyróżnić pakiet blach wraz z izolacją (4), uzwojenie (3) oraz walcowy komutator (2). Ponadto wał wirnika (1) zakończony jest ślimakiem, dzięki czemu poprzez przekładnię

ślimakową moment obrotowy przekazywany jest do wałka wyjściowego reduktora.



Rys. 4. Wirnik (twornik) silnika

Aparat szczotkowy pokazany na rys. 5 dzięki sprężynom (2) i odpowiedniemu zamocowaniu szczotek (1) zapewnia ich prawidłowy docisk do powierzchni komutatora. Jednocześnie gwarantuje on izolację węzła szczotkowego względem korpusu silnika. W pokrywie znajduje się również niewielkie łożysko ślizgowe, które zapewnia odpowiednie ustawienie wirnika względem stojana i przyrządu szczotkowego.



Rys. 5. Aparat szczotkowy

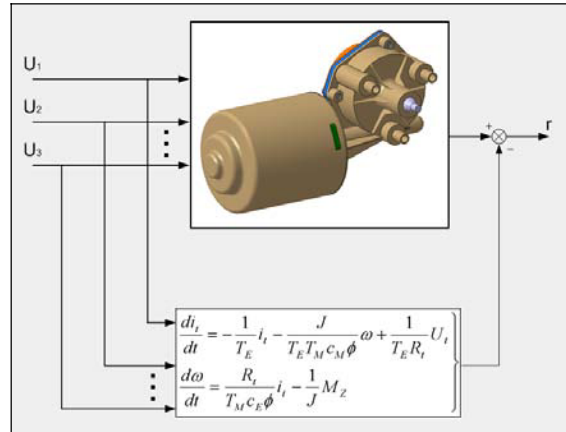
2.2. Budowa modelu analitycznego silnika

Podstawowym założeniem przyjętym w pracy była możliwość oceny stanu technicznego badanych obiektów w sposób bezdemontażowy. Umożliwiają to szeroko rozwijające się metody diagnostyczne wsparte na modelach, które ponadto pozwalają na wczesne rozpoznanie nieprawidłowego zachowania maszyny, a także na automatyzację procesu detekcji uszkodzeń i dlatego ten właśnie sposób został wykorzystany w realizowanym projekcie.

W pracy do detekcji uszkodzeń silników wykorzystana została tzw. redundancja analityczna toru pomiarowego (rys. 6), uzyskana dzięki wprowadzeniu do systemu diagnostycznego modelu badanego obiektu w postaci równań fizycznych.

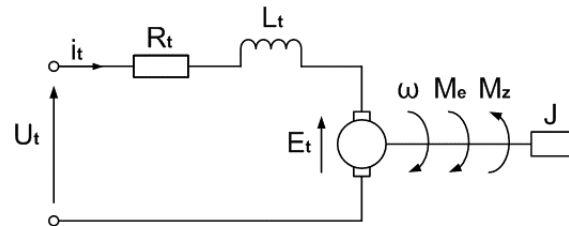
Poprzez porównanie wartości zmierzonego sygnału rzeczywistego z wartością tego sygnału wyliczoną na podstawie modelu otrzymuje się residuum, którego odpowiednie przekształcenie pozwala na określenie stanu technicznego badanego silnika.

Wykorzystanie równań fizycznych do budowy modelu pozwala na najpełniejsze opisanie związków zachodzących między zmiennymi w obiekcie jednak nie zawsze jest możliwość ich wyznaczenia.



Rys. 6. Wyznaczanie residuum

Pracę badanego silnika (przedstawionego w postaci schematu na rys. 7) można opisać na podstawie dwóch równań, równania opisującego część mechaniczną oraz równania opisującego część elektryczną silnika.



Rys. 7. Schemat ideowy silnika prądu stałego

Równanie elektryczne silnika prądu stałego można wyznaczyć na podstawie II prawa Kirchoffa, zwanego również bilansem napięć w oczku. Prawo to mówi, że w każdym zamkniętym obwodzie elektrycznym, zwanym oczkiem, suma algebraiczna napięć źródłowych równa się sumie algebraicznej napięć odbiornikowych, tj. spadków napięć na rezystancjach [11]:

$$\sum_i u_i = \sum_k e_k \tag{1}$$

Na podstawie (1) otrzymujemy dla silnika prądu stałego zależność (2).

$$U_t = U_{R_t} + U_{L_t} + U_{E_t} \tag{2}$$

Napięcie elementu rezystancyjnego zgodnie z prawem Ohma jest przedstawione za pomocą równania (3) [1].

$$U_{R_t} = i_t R_t \tag{3}$$

gdzie i_t jest prądem twornika.

Zależność (4) określa napięcie cewki (elementu indukcyjnego), które jest proporcjonalne do zmian prądu przepływającego przez uzwojenie [1].

$$U_{L_t} = L_t \frac{d}{dt} i_t \tag{4}$$

gdzie:

L_t oznacza indukcyjność obwodu twornika.

Wartość napięcia indukowanego w tworniku jest opisana równaniem (5).

$$U_{Et} = c_E \phi \omega \quad (5)$$

gdzie:

c_E – współczynnik stały dla danego silnika, zależny od jego parametrów konstrukcyjnych,

ϕ – strumień magnetyczny,

ω – prędkość kątowna twornika.

Podstawiając (3)-(5) do (2) otrzymujemy równanie różniczkowe opisujące część elektryczną silnika prądu stałego (6) [12].

$$U_t = R_t i_t + L_t \frac{d}{dt} i_t + c_E \phi \omega \quad (6)$$

Twornik badanego silnika porusza się ruchem obrotowym, możemy więc w oparciu o zasadę d'Alemberta zapisać równanie mechaniczne silnika (7) [12].

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_z \quad (7)$$

gdzie:

J – moment bezwładności wirnika,

ω – prędkość kątowna wirnika,

M_e – moment elektromagnetyczny,

M_z – zewnętrzny moment obrotowy działający na wał silnika.

Moment elektromagnetyczny M_e wytwarzany jest w wyniku wzajemnego oddziaływania strumienia magnetycznego ϕ oraz prądu i_t płynącego w uzwojeniu twornika, a jego wartość opisuje zależność (8) [5].

$$M_e = c_M \phi i_t \quad (8)$$

c_M – współczynnik stały dla danego silnika, zależny od jego parametrów konstrukcyjnych

Stałe $c_E \phi$ i $c_M \phi$ występujące w powyższych równaniach są sobie równe, a więc możemy zapisać [12]:

$$c_E \phi = c_M \phi = c \phi \quad (9)$$

Współczynnik $c \phi$ można określić biorąc pod uwagę fakt, że prędkość kątowna silnika jest wprost proporcjonalna do różnicy napięcia zasilającego i spadków na obwodzie twornika oraz odwrotnie proporcjonalna do strumienia magnetycznego, co opisane jest równaniem (10) [3].

$$\omega = \frac{U_t - R_t i_t}{c \phi} \quad (10)$$

stąd po przekształceniu otrzymujemy wzór na współczynnik $c \phi$ (11).

$$c \phi = \frac{U_t - R_t i_t}{\omega} \quad (11)$$

Uwzględniając powyższe wzory można wyprowadzić układ równań opisujący dynamikę silnika prądu stałego, który przedstawiony jest za pomocą zależności (12) [12].

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_t}{dt} &= -\frac{R_t}{L_t} i_t - \frac{c_E \phi}{L_t} \omega + \frac{U_t}{L_t} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{c_M \phi}{J} i_t - \frac{1}{J} M_z \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

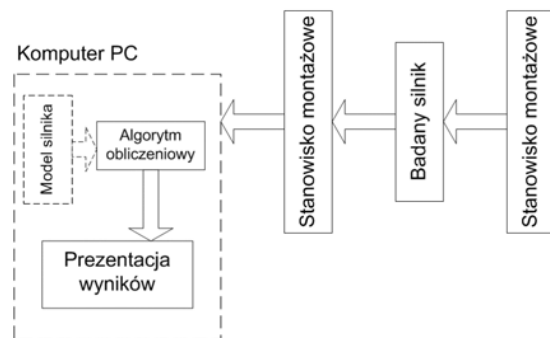
W rozważaniach dotyczących silników prądu stałego dogodnie jest posługiwać się elektromechaniczną stałą czasową T_M oraz elektromagnetyczną stałą czasową T_E obwodu twornika.

Po uwzględnieniu zależności na stałe czasowe T_M oraz T_E układ równań opisujący dynamikę silnika przedstawiają równania (13) [12].

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_t}{dt} &= -\frac{1}{T_E} i_t - \frac{J}{T_E T_M c_M \phi} \omega + \frac{1}{T_E R_t} U_t \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{R_t}{T_M c_E \phi} i_t - \frac{1}{J} M_z \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

2.3. Koncepcja systemu detekcji uszkodzeń

System detekcji uszkodzeń, zbudowany w ramach omawianej pracy przedstawiony został w postaci schematu blokowego na rys. 8.



Rys. 8. System detekcji uszkodzeń silników elektrycznych

Pierwszym elementem systemu jest stanowisko montażowe, na którym mocowany jest badany silnik. Następnie przy wykorzystaniu układu pomiarowego oraz określonych przyrządów określone są wartości podstawowych parametrów silnika.

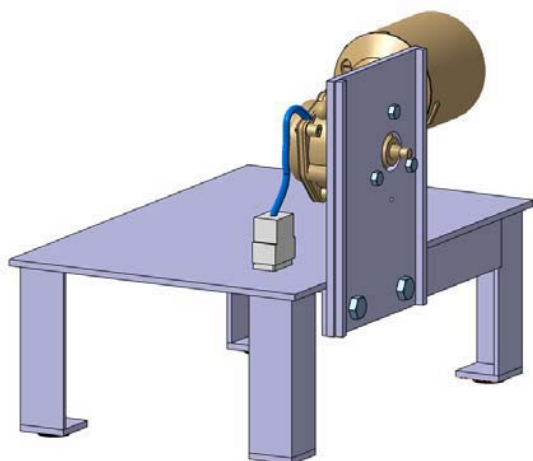
Otrzymane dane wprowadzane są do komputera wyposażonego w odpowiednie oprogramowanie. Algorytm programu porównuje zmierzone wartości z wartościami otrzymanymi z modelu badanego silnika i na tej podstawie generuje residua. Ocena wartości residuów pozwala na określenie aktualnego stanu technicznego badanego silnika. W przypadku wystąpienia uszkodzenia program określa jego rodzaj i prezentuje wyniki na ekranie monitora.

3. IMPLEMENTACJA SYSTEMU DIAGNOSTYKI SILNIKÓW

Weryfikacja systemu i opracowanych algorytmów wymagała budowy odpowiedniego stanowiska pomiarowego oraz oprogramowania nadzorującego pomiar, przetwarzanie wielkości mierzonych, wyliczanie residuów i wnioskowanie diagnostyczne.

3.1. Stanowisko montażowe

Stanowisko montażowe zostało wykonane w sposób umożliwiający zamocowanie silnika analogicznie do tego jak montowany jest on w samochodzie (rys. 9), dzięki czemu silnik pracuje swobodnie i zachowuje się tak samo jak w trakcie normalnej eksploatacji. Ponadto taki sposób montażu umożliwia pomiar sygnałów pochodzących od procesów towarzyszących jego działaniu, jak na przykład pomiar drgań.



Rys. 9. Stanowisko montażowe wraz z zamocowanym badanym silnikiem

3.2. Pomiar prędkości obrotowej i wielkości elektrycznych

Wyznaczenie wielkości elektrycznych badanego silnika oraz pomiar jego prędkości obrotowej przeprowadzany jest przy wykorzystaniu układu pomiarowego będącego częścią zbudowanego systemu, które przedstawione jest na rys. 10.

W obudowie wykonanego podzespołu umieszczony jest układ elektroniczny do pomiaru prędkości obrotowej oparty na mikrokontrolerze oraz odpowiednio połączone obwody elektryczne pozwalające na wyznaczenie parametrów elektrycznych silnika.

Przedni panel obudowy służy do podłączenia badanego silnika, zasilania oraz enkodera optycznego służącego do pomiaru prędkości obrotowej.

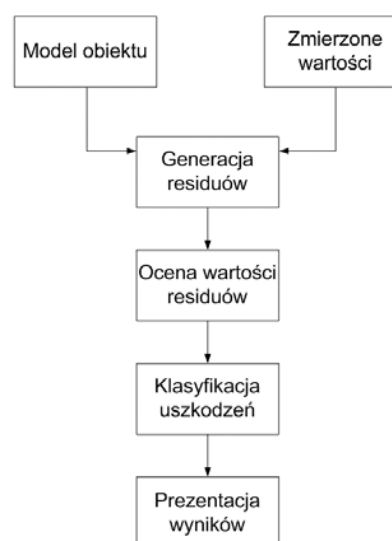


Rys. 10. Urządzenie do pomiaru prędkości obrotowej oraz wielkości elektrycznych

3.3. Oprogramowanie

Po dokonaniu pomiarów natężenia prądu, napięcia, rezystancji oraz prędkości obrotowej badanego silnika otrzymane wartości wprowadzane zostają do komputera PC wyposażonego w odpowiednie oprogramowanie.

Program będący częścią budowanego stanowiska został napisany w środowisku Matlab ver 6.5, przy czym kompatybilny jest również z wersjami nowszymi. Zasadę działania programu obrazuje algorytm na rys. 11.



Rys. 11. Zasada działania programu do detekcji uszkodzeń

Na podstawie wprowadzonych przez użytkownika wartości zmierzonych sygnałów

wyznaczane są stałe czasowe silnika (elektromechaniczna i elektromagnetyczna). Algorytm programu porównuje następnie uzyskane wyniki z wartościami wzorcowymi otrzymanymi z modelu i na tej podstawie wyznacza residua. Ocena wartości residuów pozwala na przypisanie ich do ustalonych przedziałów, dzięki czemu w kolejnym kroku na podstawie odpowiednich reguł wnioskowania określone są uszkodzenia silnika oraz jego stan.

4. WERYFIKACJA MODELU I SYSTEMU DETEKCJI USZKODZEŃ

Wykrywanie uszkodzeń na wykonanym stanowisku opiera się na bezpośrednim wykorzystaniu równań fizycznych do generacji residuów, co daje najbardziej odporną na zakłócenia pewną metodę detekcji.

Po odpowiednim przekształceniu układu równań opisującego pracę badanego silnika w stanie zdadności i bez obciążenia dodatkowym momentem zewnętrznym otrzymujemy zależności (14) oraz (15).

$$T_E = \frac{L \cdot i}{L \cdot i - U + c\phi \cdot \omega} \quad (14)$$

$$T_M = \frac{R \cdot i}{\omega \cdot c\phi} \quad (15)$$

Na podstawie (14) i (15) można wyznaczyć następujące residua:

$$r_E = T_E - \frac{L \cdot i}{L \cdot i - U + c\phi \cdot \omega} \quad (16)$$

$$r_M = T_M - \frac{R \cdot i}{\omega \cdot c\phi} \quad (17)$$

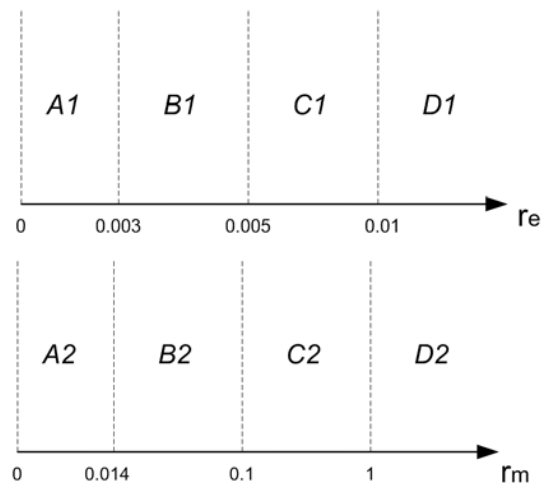
Residua wyznaczone jako różnice między wartościami wzorcowymi, a wartościami zmierzonymi są w kolejnym etapie oceniane. W wyniku tej oceny następuje ich przypisanie do odpowiednio określonych przedziałów.

W trakcie realizacji pracy do oceny residuów zostały wykorzystane dwie metody.

Pierwsza polega na ocenie ich wartości w sposób progowy. Na podstawie przeprowadzonych badań dla otrzymanych residuów określone zostały granice przedziałów (rys. 12), reguły wnioskowania oraz odpowiadająca im macierz diagnostyczna.

Przeprowadzone testy wykazały jednak, że system oparty na progowej ocenie otrzymanych wyników jest wrażliwy nie tylko na uszkodzenia, ale również na zakłócenia pomiarowe. Ponieważ w praktyce określenie stopnia wpływu tych zakłóceń na sygnały wyjściowe często jest niemożliwe do osiągnięcia, zachodzi prawdopodobieństwo wystąpienia fałszywych alarmów generowanych przez takie systemy. W celu zmniejszenia ryzyka powstania tego typu sytuacji stosowane są specjalne

metody przekształcania otrzymanych residuów w sygnały jakościowe określające stan obiektu, jak np. logika rozmyta.



Rys. 12. Granice przedziałów dla progowej oceny residuów

W realizowanym systemie parametry zbiorów rozmytych dobrane zostały na podstawie danych uczących dzięki zastosowaniu neuronowo-rozmytych adaptacyjnych technik wnioskowania (ANFIS – ang. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems). Wykorzystanie zgromadzonych danych pomiarowych pozwoliło w metodzie ANFIS na wygenerowanie wielu reguł typu IF-THEN, oraz na wyznaczenie funkcji przynależności do określonych zbiorów rozmytych dla wprowadzonych danych wejściowych oraz obliczenie wartości wyjściowych systemu.

Rys. 13 przedstawia strukturę otrzymanej sieci neuronowo – rozmytej.

Poszczególne warstwy sieci odpowiadają kolejnym operacjom jakie są wykonywane w celu zamiany wartości wejściowych w wyjście.

W pierwszym kroku wprowadzane zostają do systemu wartości otrzymanych residuów. Wartości te są następnie rozmywane, a więc następuje tzw. fuzyfikacja wejść, czyli określenie stopnia przynależności danej wartości do odpowiednich zbiorów rozmytych.

Wyniki testowania utworzonej sieci neuronowo-rozmytej pokazały, że najmniejszy błąd występuje przy zastosowaniu dla każdego z wejść 4 zbiorów rozmytych o gaussowskich funkcjach przynależności.

Kolejny etap wnioskowania polega na określeniu stopnia z jakim spełnione są przesłanki każdej z reguł. W przypadku przesłanek złożonych, mających charakter koniunkcyjny, do wyznaczenia stopnia zapłonu danej reguły stosowane są operatory *t-normy*. W pracy wykorzystany został operator *prod* będący iloczynem współczynników spełnienia wszystkich przesłanek prostych występujących w regule. Wynikiem są wartości określające stopień spełnienia danej reguły.

Uzyskane wyniki są następnie poddane agregacji, która polega na połączeniu otrzymanych wartości w jeden zbiór.

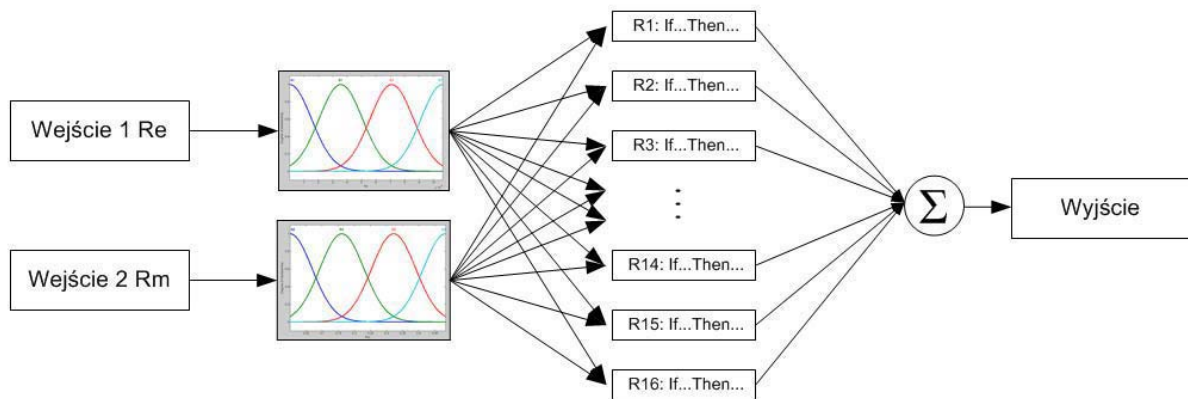
Ostatnim krokiem jest wyznaczenie ostrej wartości wyjścia na podstawie zbioru otrzymanego po agregacji. W opracowanym systemie do tego celu zastosowana została metoda Sugeno, w której ostrą wartość wyjścia wyznacza się w oparciu o wyliczenie średniej ważonej otrzymanych po agregacji wyników (rys. 14).

5. PODSUMOWANIE

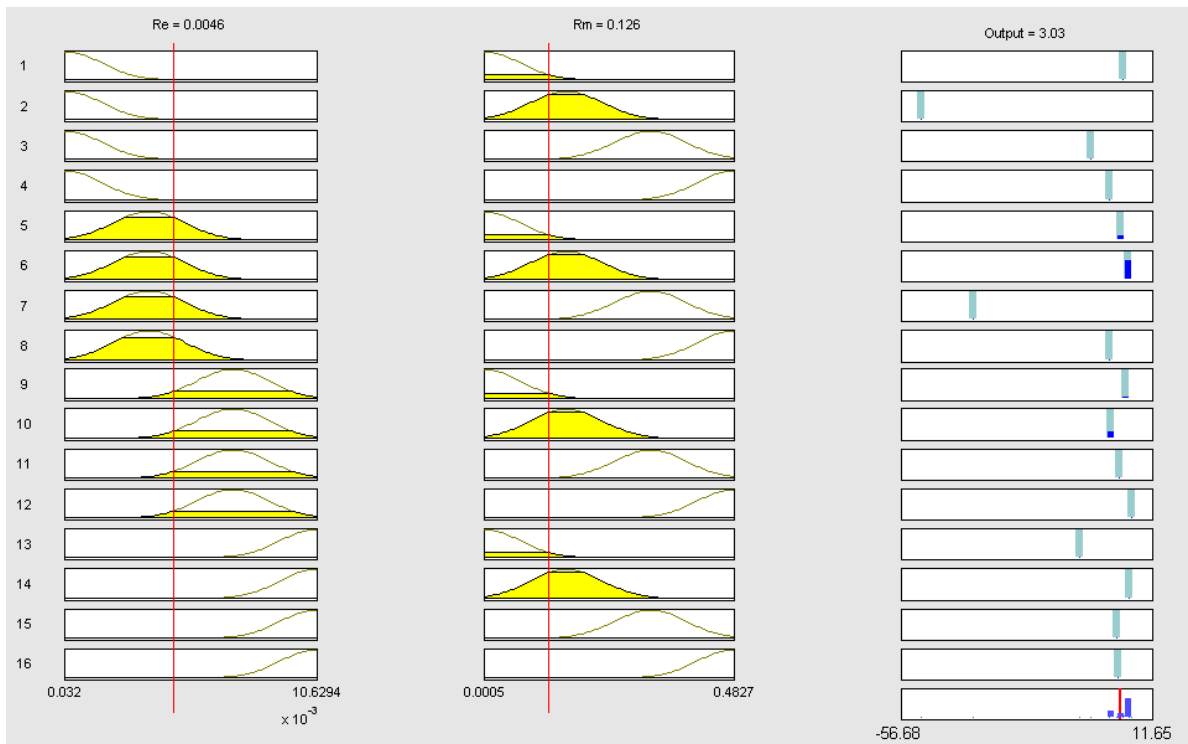
Tematyka przedstawiona w pracy dotyczy nowoczesnego podejścia do diagnostyki technicznej

maszyn pozwalającego na detekcję uszkodzeń badanych obiektów na podstawie matematycznego opisu ich działania.

Wykorzystanie równań fizycznych do budowy modelu jest często powiązane z trudnościami przy określeniu związków zachodzących między zmiennymi w obiekcie oraz na precyzyjne ustalenie danych wejściowych do modelu. Jeżeli utworzenie modelu matematycznego danego urządzenia (procesu) jest możliwe, to jest ono zwykle bardzo czasochłonne. Metoda ta jest jednak opłacalna ponieważ systemy diagnostyczne bazujące na wsparciu modelowym pozwalają na wykrywanie nawet niewielkich uszkodzeń.



Rys. 13. Struktura sieci neuronowo – rozmytej do oceny residuów



Rys. 14. Działanie reguł i wyznaczanie wyjścia układu

Opracowany system detekcji uszkodzeń dzięki wsparciu modelowemu pozwala na wczesne rozpoznawanie nieprawidłowej pracy badanego obiektu, co umożliwia niezwłoczne podjęcie działań naprawczych czy zabezpieczających. Wykorzystanie układów elektronicznych z określonymi czujnikami oraz odpowiedniego oprogramowania pozwala na zautomatyzowanie diagnozowania w takim systemie.

System można tak zmodyfikować, aby pełnił rolę systemu doradczego, który w przypadku wystąpienia uszkodzenia w badanym czy monitorowanym obiekcie mógłby przedstawiać użytkownikowi zalecenia dotyczące dalszego postępowania.

Ponadto wykorzystanie wiedzy ekspertów z danej dziedziny lub zgromadzonych danych statystycznych pozwala na opracowanie odpowiednich algorytmów umożliwiających poza oceną aktualnego stanu technicznego również prognozowanie tego stanu w określonym horyzoncie czasowym.

Uzyskane dotychczas wyniki pozwalają na zarysowanie kierunków dalszych badań w zakresie diagnostyki silników elektrycznych. Przedstawiona implementacja metody dotyczy zadania statycznego, typowego dla diagnostyki kontrolnej. Jednak nie ma większych przeszkód na to, aby można było zastosować opracowane rozwiązanie w diagnostyce eksploatacyjnej silników elektrycznych. Metoda ta odpowiadałaby wówczas wymaganiom identyfikacji on-line [7], [8]. Potwierdzenie tej hipotezy wymaga przeprowadzenia dalszych badań.

6. LITERATURA

- [1] Bajorek Z. *Maszyny elektryczne*. WNT, Warszawa 1977.
- [2] Barschdorff D., Moczulski W., Pfläging G. *Motordiagnose unter Anlaufbedingungen mit Hilfe von Mustererkennungsverfahren. Mustererkennung 1986*, 8. DAGM-Symposium, s. 149-153. Informatik-Fachberichte, Vol. 125, Springer Verlag, London 1986.
- [3] Bielawski S. *Teoria napędu elektrycznego*. WNT, Warszawa 1978.
- [4] Bradatsch T., Gühmann C., Röpke K., Schneider Ch., Filbert D. *Analytical Redundancy Methods for Diagnosing Electric Motors*. Applied Mathematics and Computer Science 3(3), 1993: s. 461-486.
- [5] Drozdowski P. *Wprowadzenie do napędów elektrycznych*. Politechnika Krakowska, Kraków 1998.
- [6] Hanzel M. *System detekcji uszkodzeń silników elektrycznych małej mocy*. Praca dyplomowa magisterska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice 2006.
- [7] Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalczyk Z., Cholewa W. *Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania* WNT, Warszawa 2002.
- [8] Kościelny J. M. *Diagnostyka zautomatyzowanych procesów przemysłowych*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001.
- [9] Moczulski W. *Sposób oceny stanu silników elektrycznych małej mocy obserwowanych w warunkach rozruchu*. XIII Sympozjon PKM. Pol. Szczecińska. Świnoujście 17-20.09.1987. Materiały konferencyjne (streszczenia) s. 282-283.
- [10] Moczulski W. *Diagnostyka techniczna. Metody pozyskiwania wiedzy*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [11] Praca zbiorowa pod redakcją B. Reymer *Poradnik mechanika*. Warszawa 1984.
- [12] Pelczewski W., Krynke M. *Metoda zmiennych stanu w analizie dynamiki układów napędowych*. WNT, Warszawa 1984.



mgr inż. **Michał HANZEL** jest absolwentem Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej w 2006r., gdzie studiował na kierunku „Automatyka i Robotyka” na specjalności „Projektowanie i eksploatacja maszyn”. Pracę dyplomową magisterską wykonał pod kierunkiem prof. Wojciecha Moczulskiego, uzyskując ocenę bardzo dobry z wyróżnieniem.



prof. dr hab. **Wojciech MOCZULSKI**, prof. zw. w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej oraz kierownik Zakładu Diagnostyki Technicznej. Jest autorem ponad 130 publikacji. Redaguje dział „Diagnostyka” w czasopiśmie „Zagadnienia Eksploatacji Maszyn”. Jest członkiem komitetu redakcyjnego czasopisma „Engineering Applications of Artificial Intelligence”.

POKŁADOWY SYSTEM REJESTRACJI PSR-04E

Józef GRZYBOWSKI, Tomasz ROGALSKI, Paweł RZUCIDŁO

Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Awioniki i Sterowania
35-959 Rzeszów, Al. Powstańców Warszawy 8, tel./fax: (17) 854 43 19, e-mail: aviog.pawelrz@prz.edu.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono koncepcję oraz praktyczną realizację pokładowego systemu rejestracji PSR-04E. System składa się z miniaturowego układu akwizycji danych i sieci modułów pomiarowych. Opracowany prototyp pozwala na konfigurację rejestratora do współpracy również z typowymi urządzeniami stosowanymi w awionice. Rejestrator posiada otwartą architekturę i umożliwia przyłączanie nowych urządzeń bez zmian w strukturze systemu rejestracji. Małe wymiary, wydajność, szybkość oraz możliwość rozproszonej zabudowy predysponują system zarówno do badań bezzałogowych aparatów latających jak również lekkich samolotów ogólnego przeznaczenia.

Słowa kluczowe: rejestrator, akwizycja danych, bezzałogowe aparaty latające, CAN.

ON-BOARD DATA ACQUISITION SYSTEM PSR-04E

Summary

This paper presents conception and practical realization of on-board data recording system PSR-04E. The system consists of miniaturized data acquisition unit and network of measurement units. Developed prototype enables configuration of recorder for operation with standard avionics devices. The architecture of recorder is open and enables connection of new devices without any changes in global structure of system. Small dimensions, high performance and possibility of scattered installation of particular modules make application of PSR-04E on board of unmanned air vehicles as well as general aviation aircraft possible.

Keywords: recorder, data acquisition, unmanned air vehicles, CAN.

1. PODSTAWOWE INFORMACJE O SYSTEMIE PSR-04E

Pokładowy rejestrator PSR-04E (rys. 1) jest miniaturowym systemem akwizycji danych przeznaczonym do badań bezzałogowych aparatów latających [2]. Opracowany prototyp pozwala na konfigurację rejestratora do współpracujących urządzeń i istniejących standardów sygnałów stosowanych w awionice. Rejestrator posiada otwartą architekturę, jest systemem rozproszonym i umożliwia przyłączenie nowych urządzeń bez zmian w strukturze systemu rejestracji [4]. Najważniejsze właściwości systemu to:

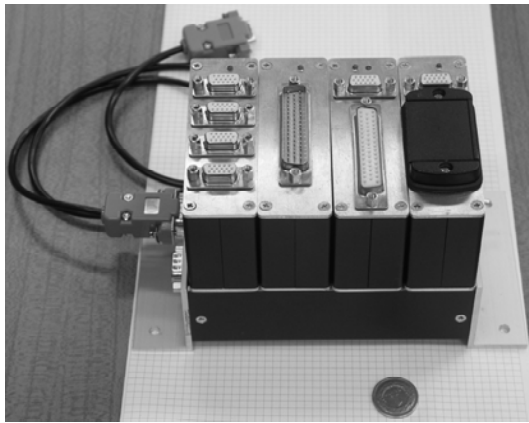
- możliwość zabudowy i dogodnego rozmieszczenia poszczególnych modułów w dostępnych miejscach na pokładzie samolotu bezzałogowego,
- połączenie modułów magistralą CAN2B [1] pozwalającą na instalację do kilkudziesięciu modułów w tym standardzie,
- przyjęcie protokołu CAN Aerospace [8] pozwalającego na bezpośrednie przyłączenie urządzeń awioniki pracujących w tym standardzie (np. centrala aerometryczna, układ odniesienia i kursu).

Pokładowy system rejestracji przeznaczony jest do akwizycji danych z przetworników i urządzeń pokładowych obiektów latających. Małe wymiary oraz możliwość zabudowy jako system rozproszony predysponują system szczególnie do badań bezzałogowych aparatów latających. System w podstawowej wersji składa się z:

- modułu akwizycji danych umożliwiającego rejestrację danych na standardowych kartach pamięci MMC (ang. *Multi Media Card*) o pojemnościach 64MB, 128MB lub 512MB, moduł posiada interfejs CAN2B,
- modułu cyfrowych wejść binarnych posiadającego 24 wejścia binarne z indywidualną separacją galwaniczną, interfejs CAN2B, jak również dwa interfejsy szeregowy RS232 z protokołami obsługi magnetometru TCM i odbiornika GPS35 (w standardzie NMEA),
- modułu standardowych wejść analogowych posiadającego 24 wejścia analogowe w układzie niesymetrycznym o programowalnym indywidualnie wzmocnieniu dla każdego kanału, interfejs CAN2B oraz opcjonalnie interfejs szeregowy RS232,

- modułu niskopoziomowych wejść analogowych o ustawianym sprzętowo i programowo wzmocnieniu, posiadającego 8 wejść różnicowych do współpracy z układami tensometrycznymi i interfejsem CAN2B.

Uzupełnieniem systemu jest moduł zasilania z dwoma gniazdami do przyłączenia dodatkowych urządzeń z interfejsem CAN. Przyjęcie standardu protokołu CAN Aerospace określa czas minimalnego okresu akwizycji danych na poziomie 20 [ms]. Moduł standaryzacji sygnałów tensometrycznych wykonany został jako moduł systemu z separacją galwaniczną grupy 8 wejść od magistrali CAN i zasilania. Wszystkie moduły są zbudowane na specjalizowanych układach mikrokomputerowych pozwalających na programowe ustawianie ich parametrów i kontrolę poprawności pracy poprzez magistralę CAN.



Rys. 1. Widok ogólny systemu PSR- 04E wraz z kompletem modułów i układem zasilania

2. STRUKTURA PRZESYŁANYCH DANYCH

CAN jest szeregowym, asynchronicznym systemem komunikacyjnym, łączącym czujniki i elementy wykonawcze elektronicznych stacji sterujących. Standard ten jest używany głównie w przemyśle samochodowym. Przepływ wiadomości pomiędzy indywidualnymi stacjami dołączonymi do magistrali CAN jest realizowany poprzez nadawanie w warunkach kontrolowanej rywalizacji opatrzonej odpowiednim priorytetem wiadomości lub ramek. Do wymiany danych przez magistralę w sieci używane są cztery rodzaje pakietów nazywanych zazwyczaj ramkami:

- danych,
- zdalnego wywołania,
- sygnalizacji błędu,
- przepełnienia.

Format ramki standardowej, zgodny ze specyfikacją systemu CAN 2.0A przedstawiono na rys. 2. Znaczenie poszczególnych elementów przedstawionych na rysunku jest następujące:

- SOF (*ang. Start of Frame*) - bit startowy ramki,
- pole arbitrażu (decyzyjne) zawierające dane określające dostęp do magistrali,
- identyfikator 11-bitowy transmitowanych ramek,
- bit zdalnego żądania transmisji RTR (*ang. Remote Transmission Request*), umożliwia stacji zaadresowanie i wysłanie wiadomości do innej określonej stacji,
- pole kontrolne, zawierające informację o budowie ramki danych,
- bit rozszerzenia identyfikatora IDE (*ang. Identifier Extension*),
- bit rezerwowy r, wartość 0,
- DLC (*ang. Data Length Code*) - pole wskazuje ile bajtów danych jest kolejno transmitowanych w polu danych,
- pole danych,
- pole CRC (*ang. Cyclic Redundancy Check*), zawiera sumę kontrolną wprowadzaną w celu zabezpieczenia transmitowanych danych przed błędami,
- pole potwierdzenia - służy do wysłania potwierdzenia poprawności odebrania ramek danych,
- przerwa ACK (*ang. ACKnowledge*) - pole, jest transmitowane w postaci recesywnej i może być nadpisane bitem dominującym transmitowanym przez inną stację dołączoną do magistrali, umożliwia to stacjom odbierającym wysłanie potwierdzenia odebrania poprawnej ramki danych,
- pole zakończenia ramki EOF (*ang. End of Frame*).

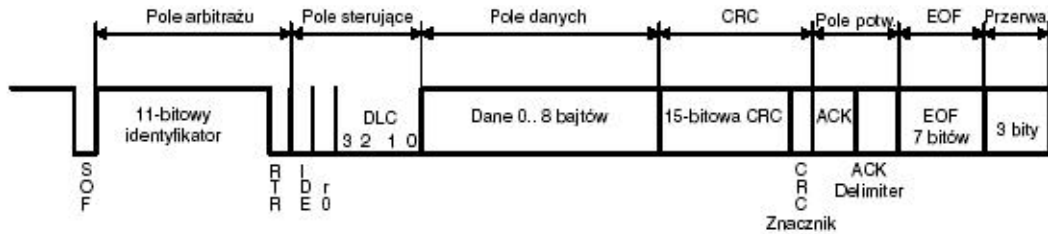
Przed następną ramką danych, która może być transmitowana, stacje odbierające potrzebują krótkiej przerwy umożliwiającej im przetworzenie lub przynajmniej zapamiętanie odebranych danych. Przerwa ta jest określona przez trzy recesywne bity pola przerwy kończącego ramkę danych. Wymiana informacji pomiędzy dwoma stacjami sieci może odbywać się w dwojaki sposób:

- przez odwołanie się do określonej stacji (zorientowanie na stację)
- przez podanie określonej wiadomości (zorientowanie na wiadomość).

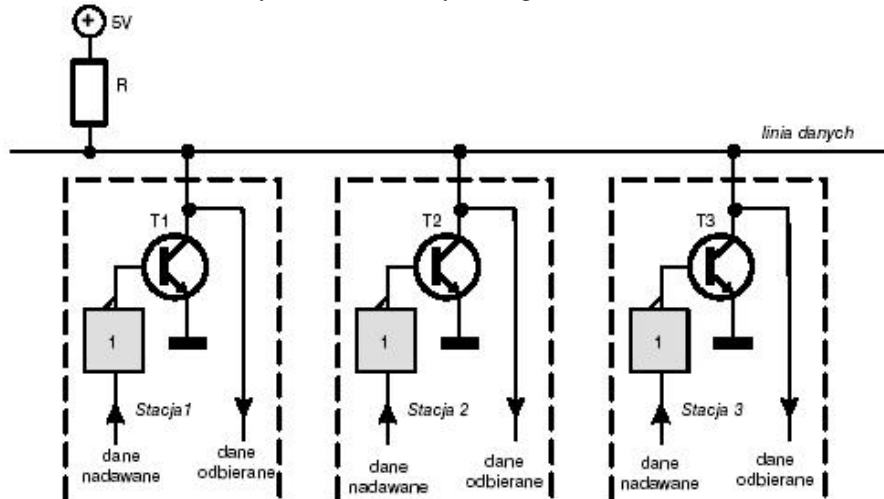
Podstawą działania systemu rejestracji PSR-04E jest standard transmisji CAN Aerospace. System wykorzystuje w tym standardzie dwa podstawowe obszary jednoznacznie przyporządkowanych identyfikatorów: dla trybu normalnej pracy oraz w celu konfiguracji poszczególnych modułów.

3. ARBITRAŻ, DETEKcja BŁĘDÓW

Ponieważ wszystkie stacje są dołączone do jednej magistrali CAN, to istnieje problem dostępu do magistrali. W celu uniknięcia konfliktów, w protokole CAN została zawarta procedura



Rys. 2. Ramka danych magistrali CAN



Rys. 3. Uproszczony schemat podłączenia do magistrali CAN obwodów I/O stacji

dostępu, która musi być przestrzegana przez wszystkie stacje wysyłające dane. W procedurze tej ważną rolę odgrywają bity dominujące i recesywne w polu arbitrażowym.

Zasadniczo każda stacja nadająca weryfikuje dane wysyłane na magistralę: wysyła bit, odbiera go z powrotem i porównuje z wysłanym. Jeżeli te dwa bity są identyczne, to transmisja wiadomości jest dozwolona. Jeżeli jednak te dwa bity nie są jednakowe, to pojawia się problem. Wspomniany bit recesywny (o wartości 1) może być nadpisany przez bit dominujący (wartość 0). Na rys. 3 przedstawiono w dużym uproszczeniu konfigurację obwodów dołączających stacje do magistrali. Są to stopnie wyjściowe w konfiguracji z otwartym kolektorem, które tworzą połączenie iloczynu galwanicznego (zwarne AND). W odniesieniu do stacji 1 transmitowany recesywnie bit 1 gwarantuje, że tranzystor T1 pozostaje odcięty (nie przewodzi). To oznacza, że poziom recesywny jest wstępnie ustawiony na magistrali. Po wysłaniu tego bitu stacja 1 odczytuje stan magistrali i określa bit, jaki został wysłany. Jeżeli później transmitowany jest dominujący bit (0), to tranzystor T1 zostaje włączony i zwiera linię magistrali do masy. Linia magistrali jest w stanie dominującym (0). Ponownie stacja 1 odczytuje zwrotnie bit, który wysłała. Jeżeli jedna z trzech stacji wysyła bit dominujący, to stan linii magistrali staje się dominujący (0) i inne stacje odczytują ten poziom.

Bardzo ważną cechą magistrali CAN jest jej nadzwyczajna zdolność wykrywania wielu błędów

podczas transmisji danych i odpowiedniego reagowania na nie. Przyjmując, że sieć pracuje osiem godzin dziennie przez 365 dni w roku, to wbudowany system zabezpieczenia przed błędami gwarantuje, że przez 1000 lat pracy tylko jeden błąd nie będzie wykryty. Jest to niezwykle ważne, gdyż nierozpoznane błędy mogą powodować, że fałszywe wyniki pomiarów będą przetwarzane.

Choć CAN jest efektywnym i bardzo niezawodnym systemem do przesyłania danych, to struktura ramki danych jest dość skomplikowana i może powodować trudności w zaprogramowaniu kontrolera. W celu ułatwienia tego procesu produkowane są gotowe sterowniki sieci CAN. Typowe interfejsy CAN składają się z trzech układów. Jedynym zadaniem sterownika jest wpisywanie bajtów danych, wypełnianie pola identyfikatora i pola DLC oraz odpowiednie ustawienie bitu RTR. Dane te są przesyłane do układu scalonego obsługującego protokół CAN, który obsługuje następujące procesy:

- obliczanie sumy kontrolnej CRC,
- dodawanie pozostałych pól,
- łączenie się z magistralą,
- transmisję danych,
- wykrywanie i usuwanie błędów.

Dane są wprowadzane do magistrali za pośrednictwem scalonego układu nadajnik-odbiornik, który jest połączony z wejściem magistrali. Mikrokontroler otrzymuje potwierdzenie pomyślnego wysłania danych, albo komunikat o błędzie i podejmuje odpowiednie działanie.

Analogiczna sytuacja występuje przy odbiorze danych. Sterownik CAN otrzymuje ramki, ponownie sprawdza sumę kontrolną. Usuwając następnie wszystkie zbędne pola i do mikrokontrolera przesyła otrzymane dane lub komunikat o błędzie transmisji.

4. MODUŁY REJESTRATORA

System PSR-04E posiada modułową architekturę. W zależności od potrzeb użytkownika i zastosowania poszczególne elementy składowe mogą być odpowiednio ze sobą komponowane. Rdzeń systemu stanowi moduł zasilania i magistrali MZSM-01 (rys. 4). Umożliwia on bezpośrednie przyłączenie czterech modułów systemu oraz posiada dwa gniazda rozszerzeń magistrali CAN. Moduł zawiera wewnętrzne źródło zasilania o pojemności 2.5 Ah.



Rys. 4. Moduł zasilania i magistrali MZSM-01

4.1. Główny moduł rejestratora MPSR-04

Moduł rejestratora systemu PSR-04E (rys. 5) zawiera mikrokomputer współpracujący z wymienną kartą pamięci MMC FLASH. Do rejestracji wykorzystywane są standardowe karty o pojemnościach 64MB, 128MMB, 256MB lub 512MB. Moduł rejestratora pobiera dane z magistrali CAN i w trybie *praca* zapisuje na karcie pamięci. Stan pracy modułu rejestratora sygnalizowany jest diodą LED (czerwona) umieszczoną przy złączu interfejsu szeregowego. Załączenie zasilania uruchamia program obsługujący wszystkie funkcje modułu rejestratora, które monitorowane są przez interfejs RS232.



Rys. 5. Moduł rejestratora MPSR-04

4.2. Moduł wejść cyfrowych MUWC-01

Moduł wejść binarnych zbiera informacje o stanie 24 sygnałów binarnych oraz dane pochodzące z magnetometru (TCM) i odbiornika GPS podłączonych do modułu poprzez interfejsy RS232 i wystawia dane na magistralę cyfrową CAN pracującą z częstotliwością 1 Mb/s. W typowej konfiguracji moduł współpracuje z magnetometrem i odbiornikiem GPS wysyłającym informacje w standardzie NMEA. Informacja o stanie wejść binarnych transmitowana jest z częstotliwością programowalną przez użytkownika. Kurs magnetyczny oraz współrzędne geograficzne transmitowane są po każdorazowym ich odbiorze z TCM i GPS. Moduł wykorzystuje 11-bitowe (standardowe) identyfikatory ramek przypisane do transmitowanych danych zgodnie ze specyfikacją CAN Aerospace.

Użytkownik ma możliwość konfigurowania następujących parametrów pracy modułu:

- częstotliwość odczytu sygnałów binarnych,
- częstotliwość transmisji RS232 z magnetometru i odbiornika GPS,
- numeru urządzenia.

Konfiguracja oraz odczyt parametrów pracy modułu odbywa się za pomocą interfejsu CAN. Moduł wyposażony został w zestaw dwóch diod sygnalizacyjnych przypisanych do magnetometru i odbiornika GPS (żółta – magnetometr, niebieska – GPS). Sygnalizują one wybrane stany niesprawności urządzeń.

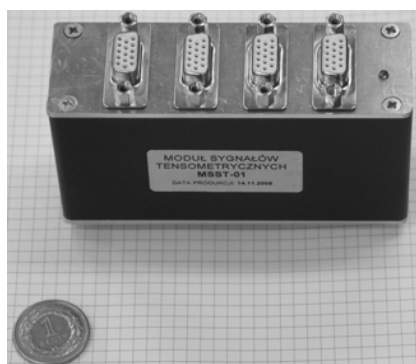
4.3. Moduł wejść analogowych MSWA-01

Moduł obsługuje grupę 24 wejść analogowych typu niesymetrycznego ze wspólną masą. Sygnały analogowe reprezentowane są przez liczbę binarną z przedziału 0-4095 odpowiadającą zakresowi mierzonego napięcia wejściowego. Zakres mierzonego napięcia wejściowego ustawiany jest programem nadzorującym odrębnie dla każdego sygnału wejściowego i wpisywany do rejestrów konfiguracyjnych rejestratora. Parametry ustawianych wartości współczynnika wzmocnienia dla modułu MSWA-01 można programować wartościami 0.5, 1, 2, 4, 8, 16. Dla współczynnika 0.5 zakres napięć wejściowych wynosi 0-12V, dla współczynnika 1 odpowiednio 6V, pozostałe współczynniki analogicznie zwiększają wzmocnienie.

Analogowe sygnały wejściowe przyłączone są do złącza umieszczonego na płycie czołowej modułu. Dla wzmocnienia 0.5 dopuszczalny zakres mierzonych napięć wynosi 12 V. Wszystkie sygnały „LO” kanałów są połączone razem ze wspólną masą obwodów wejściowych. Grupa 24 wejść jest separowana od układu zasilania i magistrali CAN.

4.4. Moduł standaryzacji sygnałów tensometrycznych MSST-01

Moduł MSST-01 (rys. 6) obsługuje grupę 8 wejść analogowych typu różnicowego. Sygnały analogowe próbkowane są za pośrednictwem 12-bitowego przetwornika A/C. Zakres napięcia wejściowego ustawiany jest dwójako. Struktura sprzętowa pozwala na zmianę współczynnika wzmocnienia układu wzmacniacza instrumentalnego w zakresie od 10 – 500. Ustawienie wzmocnienia indywidualnie dla każdego toru pomiarowego następuje przez załączenie zwory pozwalającej na wybór wzmocnienia K w czterech poziomach K=10, K=50, K=100, K=500. Zmiany wzmocnienia można dokonać również za pośrednictwem programu nadzorującego odrębnie dla każdego sygnału wejściowego (analogicznie jak w module MSWA-01). Parametry ustawianych wartości współczynnika wzmocnienia dla modułu można programować wartościami 0.5, 1, 2, 4, 8, 16. Dla współczynnika 0.5 zakres napięć wejściowych przy ustawionym wzmocnieniu K=10 wynosi od -0.2V od +0.2V, dla współczynnika 1 odpowiednio od -0.1V do 0.1V, pozostałe współczynniki zwiększają wzmocnienie w analogiczny sposób.



Rys. 6. Moduł standaryzacji sygnałów tensometrycznych MSST-01

Analogowe sygnały wejściowe przyłączone są do czterech złącz umieszczonych na płycie czołowej modułu. Każde złącze pozwala na przyłączenie dwóch mostków tensometrycznych. Do każdego gniazda można przyłączyć dwa zestawy tensometryczne. Wszystkie obwody wejściowe są separowane jako grupa ośmiu kanałów wejściowych od układu zasilania i magistrali CAN.

5. PROGRAM NADZORUJĄCY

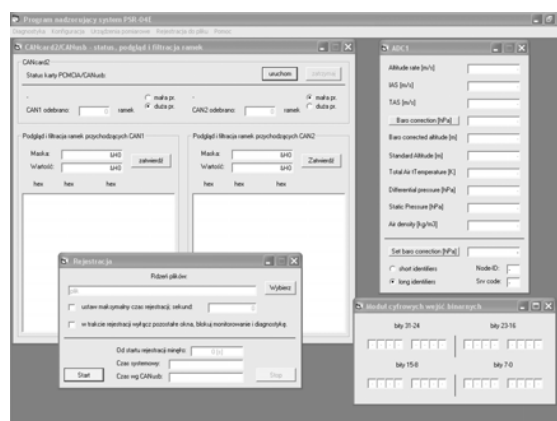
Podstawowe funkcje oprogramowania to:

- podgląd i filtracja pakietów informacji (ramek) pojawiających się na magistrali CAN,
- monitorowanie i kontrola pracy wybranych urządzeń systemu PSR-04E podłączonych do magistrali CAN,
- konfiguracja urządzeń systemu PSR-04E,
- rejestracja danych do pliku.

Program nadzorujący (rys. 7) umożliwia detekcję stanów awaryjnych magistrali i interfejsu łączącego ją z komputerem PC [6, 7]. Informuje on użytkownika o niesprawności systemu lub błędnym działaniu urządzeń w przypadku:

- wystąpienia błędu podczas transmisji/odbioru danych,
- pojawienia się na magistrali nieznanego pakietu danych,
- odłączenia magistrali,
- utraty komunikacji interfejsu z magistralą,
- utraty komunikacji interfejsu z PC,
- przepełnienia bufora FIFO interfejsu,
- nieprawidłowej instalacji interfejsu CAN-PC.

Wymagania sprzętowe w stosunku do komputera, na którym ma pracować oprogramowanie nadzorujące system PSR-04E są niewielkie i ograniczają się w praktyce do złącza USB (podczas prowadzonych testów procesor z zegarem 600MHz, 32MB RAM i szybka pamięć masowa w zupełności wystarczały). Dodatkowo, do pracy programu niezbędny jest interfejs CAN-USB lub karta CAN standardu PCMCIA.



Rys. 7. Główne okno programu nadzorującego



Rys. 8. Okno konfiguracji modułu standardowych wejść analogowych

Bieżące informacje dotyczące parametrów otrzymywanych z urządzeń pomiarowych wyświetlane są w odpowiednich oknach (przykład podano na rys. 8). W przypadku central aerometrycznych istnieje dodatkowo możliwość korekty ciśnienia odniesienia. Program pozwala również dokonywać dodatkowej rejestracji ramek danych przesyłanych za pośrednictwem magistrali CAN.

Aktualna wersja programu nadzorującego umożliwia monitorowanie pracy następujących urządzeń:

- modułu standardowych wejść analogowych,
- modułu wejść binarnych,
- modułu tensometrycznych wejść analogowych, central aerometrycznych: ADC1/2,
- modułów nawigacji: NAV(GNS) i GPS.

Struktura programu umożliwia łatwą rozbudowę jego funkcji o kolejne moduły specjalistyczne.

6. PODSUMOWANIE

Zastosowanie standardu CAN Aerospace w systemie PSR-04E pozwala na bezpośrednie przyłączenie urządzeń awioniki takich jak centrale aerometryczne, układy odniesienia AHRS czy też odbiorniki GPS pracujące z tym protokołem transmisji [3]. Zastosowanie magistrali CAN i możliwość współpracy systemu akwizycji z oprogramowaniem nadzorującym pozwala na dogodną kalibrację sygnałów i wielkości mierzonych.

Dla potrzeb prób w locie należy opracować dodatkowe moduły pomiarowe umożliwiające np. niezależny od sterowników serwomechanizmów pomiar wychylenia poszczególnych płaszczyzn sterowych [5]. Zakończenie badań prototypu w próbach w locie pozwoli na wykonanie serii informacyjnej systemu PSR-04E.

LITERATURA

- [1] *CAN Specification Version 2.0*, Robert Bosch GmbH 1991.
- [2] Grzybowski J., Rogalski T., Rzucidło P., *System akwizycji danych z magistralą CAN-Aerospace do badań bezzalagowych aparatów latających*, II Międzynarodowa Konferencja Naukowe Aspekty Bezzalagowych Aparatów Latających, Kielce-Cedzyna, 10-12 maja 2006;
- [3] Kopecki G., Rzucidło P., *Problems of Monitoring in the Fly-by-Wire System for Small Aircraft*, AIAA-2006-6340 Paper, AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit, Keystone, Colorado, 21-24 sierpnia 2006;
- [4] Pieniążek J., Rzucidło P., *Mikrokomputerowe systemy pomiarowe dla potrzeb lotnictwa*, III Konferencja Awioniki, Waplewo 2001 (również: Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej,

Mechanika, z. 56, Awionika, tom I, str. 193-201);

- [5] Rzucidło P., *Laboratory and Preliminary InFlight Tests of Electromechanical Actuators*, 2006-01-2414 SAE Paper, General Aviation Conference and Exhibition, Wichita, Kansas, 29-31 sierpnia 2006;
- [6] Rzucidło P., *Monitor magistrali CAN systemu pośredniego sterowania samolotem PZL-110*, Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej, Diagnostyka 31/2004, str. 37-42;
- [7] Rzucidło P., *Monitoring and Data Acquisition System for Experimental General Aviation Fly-by-Wire Aircraft*, AVIATION-2004 Conference, Wilno, 9-10 grudnia 2004;
- [8] Stock M., *CAN Aerospace - interface specification for airborne CAN applications V 1.6*, www.stockflightssystem.com, 2006;



Dr inż. **Józef GRZYBOWSKI** jest pracownikiem Katedry Awioniki i Sterowania na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Autor kilkudziesięciu publikacji z zakresu układów sterowania samolotem i systemów akwizycji. Obszar jego

zainteresowań naukowych to sterowanie rozmyte obiektami latającymi, systemy rejestracji oraz układy pomiarowe.



Dr inż. **Tomasz ROGALSKI** jest pracownikiem Katedry Awioniki i Sterowania na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Autor kilkudziesięciu publikacji z zakresu układów symulacji i sterowania samolotem.

Główne zainteresowania: symulatory lotu, układy mikroprocesorowe, systemy sterowania.



Dr inż. **Paweł RZUCIDŁO** jest pracownikiem Katedry Awioniki i Sterowania na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Autor kilkunastu publikacji z zakresu układów sterowania samolotem. Zainteresowania

naukowe: problem interakcji występujących w układzie pilot-samolot, systemy monitorujące oraz heurystyczne algorytmy sterowania.

MONITORING POKŁADOWY MECHATRONICZNYCH UKŁADÓW BEZPIECZEŃSTWA POJAZDU. TENDENCJE

Andrzej PUCHALSKI

Politechnika Radomska, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, ul. Chrobrego 45, 26-600 Radom

Streszczenie

Kontrola działania pojazdu w zakresie sprawności systemów bezpieczeństwa jest obok nadzoru pod kątem spełnienia wymagań ekologicznych głównym kierunkiem rozwoju pokładowych systemów diagnostycznych. W artykule określono tendencje towarzyszące temu rozwojowi. Przedstawiono podstawowe definicje i zasady funkcjonowania monitoringu pokładowego mechatronicznych układów bezpieczeństwa pasywnego i aktywnego pojazdu, opracowane i zalecane przez Amerykańską Agencję Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego. Scharakteryzowano zbiory danych, które należy rejestrować bezwarunkowo oraz warunkowo za pomocą pokładowych rejestratorów dynamiki pojazdu. Omówiono okresy rejestracji i próbkowania, zakresy, dokładność i rozdzielczość oraz możliwości odczytu danych gromadzonych w trakcie monitoringu układów hamulcowych, poduszek powietrznych i pasów bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: monitoring pokładowy, pojazd, mechatroniczne układy bezpieczeństwa.

MONITORING OF MOTOR VEHICLE'S MECHATRONIC SAFETY SYSTEMS. TRENDS

Summary

Condition monitoring of vehicle safety systems is beside to inspection of emission standards compliance the main direction of the development of board diagnostic system. In the article the trends attendant upon these progress are qualified. The article describes main definitions and final rules specified for the onboard motor vehicle crash event data monitoring by US Department of Transportation NHTSA. Data elements required for both all vehicles equipped with an event data recorder (EDR) and vehicles under specified conditions are considered. The requirements for the recording time, data sample rate, range, accuracy, resolution and retrievability of the data monitored in the vehicle's safety systems, such as brakes, air bags and seat belts are presented.

Keywords: onboard monitoring, vehicle, mechatronic safety system.

1. WSTĘP

Monitoring pojazdu za pomocą elektronicznych urządzeń pokładowych jest obecnie koniecznością zarówno ze względu na wymagania diagnostyki emisyjnej jak i mechatronicznych układów bezpieczeństwa biernego i czynnego pojazdu [1]. Rejestratory pokładowe związane z systemem bezpieczeństwa pojazdu pojawiły się co prawda już w latach 70-tych ubiegłego stulecia, ale służyły wówczas badaniom poduszek gazowych i czujników zderzeń realizowanych przez producentów pojazdów samochodowych. Ich dalszy rozwój i zastosowania stał się możliwy po wprowadzaniu do pojazdów mikrokontrolerów i sieci komunikacyjnych, a w szczególności elektronicznych modułów i magistrali poduszek powietrznych.

Pierwszy wprowadzony w 2004 roku ogólnosiwiatowy standard IEEE 1616

samochodowych „czarnych skrzynek” definiuje formaty oraz protokoły transmisji danych rejestratorów zdarzeń EDR (Event Data Recorder), nie określa jednak zbioru danych, które należy rejestrować [2].

Opublikowany w 2006 roku końcowy raport Departamentu Transportu Amerykańskiej Agencji Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego - NHTSA zaleca wyposażanie wszystkich samochodów w rejestratory zdarzeń EDR i podaje specyfikację minimalnego wymaganego zbioru danych wraz z ich zakresami, dokładnością i rozdzielczością [3]. Dokument nakłada też na producentów pojazdów samochodowych obowiązek informowania nowych nabywców o zainstalowaniu pokładowego rejestratora zdarzeń, poczynając od roku 2011.

Przedstawiane uregulowania dotyczą, z pewnymi wyjątkami, samochodów osobowych oraz innych pojazdów o masie całkowitej do 3855 kg i masie własnej do 2495 kg.

2. PODSTAWOWE DEFINICJE

Rejestrator zdarzeń EDR jest definiowany jako urządzenie lub funkcja służące do monitoringu pokładowego dynamiki pojazdu, rejestrujące serie danych w czasie poprzedzającym lub w trakcie zdefiniowanego zdarzenia, w celu ich odtworzenia w czasie późniejszym. Definicja ta nie obejmuje danych pochodzących z pokładowego zapisu audio i wideo.

Przez zdefiniowane zdarzenie należy rozumieć wypadek lub inną sytuację, która spowodowała, że został osiągnięty lub przekroczony poziom wyzwania rejestratora EDR. Poziom wyzwania rejestratora wyznacza zmiana prędkości pojazdu równa 8km/godz w czasie 150ms. Dla pojazdów rejestrujących także zmiany prędkości poprzecznej poziom wyzwania wyznaczany jest przez charakterystykę prędkości wzdłużnej i poprzecznej. Należy podkreślić, że przyjęta definicja poziomu wyzwania pozwala na prowadzenie monitoringu zdarzeń niezależnie od tego, czy próg wyzwania poduszek powietrznych został przekroczony.

Jako multizdarzenie zdefiniowano dwa zdarzenia odległe od siebie o czas nie przekraczający 5 sekund. W istniejących rozwiązaniach występują dwa rodzaje algorytmów ustalających "czas zero" zdarzenia.

W systemach pracujących w „stanie uśpienia”, „czas zero” odpowiada chwili uruchomienia algorytmu pracy rejestratora. Wyjście ze „stanu uśpienia” jest zapoczątkowywane przez zmianę przyspieszenia w określonym okresie czasu, np. o 2G przez 1ms.

W systemach przetwarzających dane z układu pomiaru przyspieszenia w sposób ciągły określenie „czasu zero” zdarzenia jest bardziej skomplikowane. „Czas zero” wyznacza pierwsza chwila, w której zarejestrowano zmianę prędkości pojazdu równą 0,8km/godz w ciągu 20 ms. Za koniec zdarzenia uznaje się moment, po którym zarejestrowana w ciągu 20 ms zmiana prędkości spadła poniżej 0,8km/godz.

Proces komputerowego monitoringu obejmuje przechwytywanie (capture) oraz rejestrację danych (record). Przechwytywanie oznacza buforowanie danych w pamięci tymczasowej rejestratora zdarzeń i ich aktualizację w przyjętym okresie próbkowania. Rejestracja to proces zapisu przechwyconych danych w pamięci nie ulotnej rejestratora zdarzeń w celu ich późniejszego odczytu.

3. ZASADY MONITORINGU UKŁADÓW BEZPIECZEŃSTWA POJAZDU

Każdy pojazd wyposażony w rejestrator zdarzeń EDR musi rejestrować 15 typów danych pochodzących z układów bezpieczeństwa pojazdu.

Dane te wraz z okresami rejestracji względem „czasu zero”, zakresami, dokładnością i rozdzielczością wyszczególniono w Tabeli 1.

Częstotliwość próbkowania sygnałów wynosi:

- 100 próbek /sekundę dla charakterystyki ΔV , zmian prędkości pojazdu w funkcji czasu oraz
- 2 próbki / sekundę dla sygnałów prędkości pojazdu, stopnia otwarcia przepustnicy i stopnia użycia pedału hamulca w funkcji czasu.

Zdefiniowano także 30 typów danych, uzyskiwanych w wyniku monitoringu warunkowego, jeżeli pojazd wyposażono w dane urządzenie lub funkcję.

Dla danych tych określono także okresy rejestracji względem „czasu zero” oraz częstotliwość próbkowania sygnałów.

Rejestracja przebiegów czasowych przyspieszeń poprzecznego, wzdłużnego i pionowego pojazdu wymaga zastosowania filtracji zgodnie z zaleceniami SAE J211-1, Class 60. Filtracja może być realizowana w trakcie gromadzenia danych lub na pełnym zarejestrowanym zbiorze danych.

Monitoring warunkowy obejmuje następujące parametry :

- przyspieszenie poprzeczne, wzdłużne i pionowe pojazdu,
- zmianę prędkości poprzecznej pojazdu,
- czas do osiągnięcia maksymalnej zmiany prędkości poprzecznej pojazdu,
- prędkość obrotową wału silnika,
- kąt obrotu osi poprzecznej pojazdu względem powierzchni jezdni,
- aktywność i status układów: ABS, kontroli stabilności ruchu, pasów bezpieczeństwa i zainstalowanych rodzajów poduszek powietrznych,
- kąt skrętu kierownicy,
- czasy do uruchomienia napinaczy pasów i napełnienia poduszek powietrznych, w tym także poszczególnych faz napełniania,
- pozycje i status układu pozycjonowania przednich siedzeń oraz charakterystykę kierowcy i pasażera zajmującego przedni prawy fotel.

Monitoring układów bezpieczeństwa pojazdu odbywa się według następujących zasad:

- jeżeli rejestracji dokonano w sytuacji, kiedy nastąpiło uruchomienie poduszek gazowych, wszystkie dane pochodzące z poprzedniego zdarzenia należy skasować z pamięci systemu i wpisać w sposób zabezpieczony przed usunięciem dane bieżące,
- jeżeli rejestracji dokonano bez uruchomienia poduszek gazowych, wszystkie dane pochodzące z poprzedniego zdarzenia należy skasować z pamięci systemu i wpisać dane bieżące. Rejestracja może obejmować jedno lub dwa ostatnie zdarzenia.

Tabela 1. Obligatoryjne dane rejestratora zdarzeń EDR.

Lp	Typ danych	Okres rejestracji	Zakres	Dokładność	Rozdzielczość
1.	DeltaV, wzdłużna	0 do 250 ms	-100 do +100 km/godz	+/- 5%	1 km/godz
2.	Maksymalna deltaV, wzdłużna	0 do 300 ms	-100 do +100 km/godz	+/- 5%	1 km/godz
3.	Czas do maksymalnej deltaV	0 do 300 ms	0 do 300 ms	+/- 3 ms	2,5 ms
4.	Maksymalna prędkość pojazdu	-5,0 do 0 sek	0 do 200 km/godz	+/- 1 km	1 km/godz
5.	Stopień otwarcia przepustnicy	-5,0 do 0 sek	0 do 100%	+/- 5%	1 %
6.	Użycie pedału hamulca	-5,0 do 0 sek	Tak / Nie		Tak / Nie
7.	Liczba cykli zasilenia EDR do zdarzenia	-1,0 sek	0 do 60.000	+/- 1 cykl	1 cykl
8.	Liczba cykli zasilenia EDR do odczytu danych	W chwili odczytu	0 do 60.000	+/- 1 cykl	1 cykl
9.	Stan zapięcia przednich pasów bezpieczeństwa	-1,0 sek	Tak / Nie		Tak / Nie
10.	Stan lampki kontrolnej przednich poduszek gazowych	-1,0 sek	Tak / Nie		Tak / Nie
11.	Czas napełniania przedniej poduszki gazowej dla poduszki jednofazowej lub czas pierwszej fazy napełniania poduszki wielofazowej kierowcy	zdarzenie	0 do 250 ms	+/- 2 ms	1 ms
12.	Czas napełniania przedniej poduszki gazowej dla poduszki jednofazowej lub czas pierwszej fazy napełniania poduszki wielofazowej pasażera	zdarzenie	0 do 250 ms	+/- 2 ms	1 ms
13.	Fakt zarejestrowania multizdarzenia	zdarzenie	1 lub 2		1 lub 2
14.	Czas multizdarzenia.	Jeżeli wystąpiło	0 do 5,0 sek	0,1 sek	0,1 sek
15.	Zakończenie rejestracji danych	Po rejestracji pełnego zbioru	Tak / Nie		Tak / Nie

Trwałość rejestratorów zdarzeń EDR bada się w trakcie testów zderzeniowych. Odczyt zarejestrowanych danych zgodnie z procedurami poszczególnych producentów powinien być możliwy co najmniej przez 10 dni po teście. Warunku tego nie muszą spełniać dane dotyczące stopnia otwarcia przepustnicy, użycia pedału hamulca oraz prędkości obrotowej wału silnika. Dane te wyłączone ze względu na fakt realizacji testów zderzeniowych z niepracującymi silnikami.

Podręcznik użytkownika każdego samochodu wyposażonego w pokładowy rejestrator zdarzeń EDR powinien zawierać podaną niżej informację.

„Ten pojazd jest wyposażony w rejestrator zdarzeń (EDR). Głównym jego celem jest rejestracja danych, w sytuacjach wypadku lub zagrożenia wypadkiem, takich jak uruchomienie systemu poduszek powietrznych lub uderzenie o przeszkodę na drodze, które ułatwią analizę działania systemów pokładowych pojazdu. EDR zaprojektowano tak, by można było rejestrować dane dotyczące dynamiki jazdy pojazdu oraz jego systemów bezpieczeństwa w krótkim okresie czasu,

typowo przez 30 sekund lub mniej. Rejestrator tego pojazdu gromadzi dane na temat:

- jak działają systemy Twojego pojazdu,
- czy zapięte były pasy bezpieczeństwa kierowcy i pasażera,
- czy i jeżeli tak to w jakim stopniu kierowca naciskał na pedał gazu oraz hamulca,
- jaka była prędkość pojazdu.

Dane te pozwalają na łatwiejsze zrozumienie okoliczności, które towarzyszyły wypadkowi. UWAGA. EDR rejestruje dane tylko w sytuacjach wypadku lub poważnego zagrożenia wypadkiem; żadne dane nie są gromadzone w trakcie normalnych warunków jazdy, nie są także zapisywane żadne informacje osobiste, takie jak nazwisko, imię, płeć, wiek i miejsce wypadku. Jednakże strona trzecia taka jak sąd ma możliwość uzyskania danych osobowych uczestników zdarzenia z innych źródeł.

Odczyt danych rejestratora wymaga specjalnego sprzętu i dostępu do pojazdu lub rejestratora zdarzeń EDR.”

Podręcznik użytkownika może także zawierać dodatkowe informacje dotyczące form, funkcji oraz możliwości pokładowego rejestratora zdarzeń.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy końcowego raportu Departamentu Transportu Amerykańskiej Agencji Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego NHTSA nt. pokładowych rejestratorów zdarzeń można sformułować następujące tendencje tego kierunku rozwoju pokładowych systemów diagnostycznych:

1. Rejestratory zdarzeń pokładowych gromadzą zarówno informacje techniczne na temat sprawności i działania poszczególnych układów i całego pojazdu jak i dane opisujące zachowanie się kierowcy i pasażerów przed, w trakcie i po zdefiniowanym zdarzeniu, bez danych osobowych. Rejestracja nie obejmuje zapisu danych pochodzących z pokładowego systemu audio i wideo.
2. Przyjęte definicje i rozwiązania dyskutowane są zarówno z producentami samochodów (GM, Daimler Chrysler, Ford, Toyota, Hyundai, Kia, Nissan i in.) jak i producentami systemów bezpieczeństwa (Delphi Automotive Systems, TRW Automotive i in.). Stwarza to duże szanse na szybkie ich upowszechnienie.
3. Opracowane zasady monitoringu mechatronicznych układów bezpieczeństwa biernego i czynnego pojazdu zmniejszają do niezbędnego, na dzień dzisiejszy, minimum ilość rejestrowanych danych, zarówno koniecznych jak i warunkowych. Zaproponowane wymagania wydają się być technologicznie neutralne,

możliwe do spełnienia przez większość funkcjonujących na rynku rejestratorów zdarzeń EDR, po aktualizacji oprogramowania, co prowadzi do racjonalizacji kosztów ich rozwoju.

4. Dokonana w raporcie standaryzacja danych umożliwi łatwiejsze zrozumienie i mniej kosztowne prowadzenie analiz okoliczności kolizji drogowych.
5. Omówione regulacje mają obowiązywać w USA, z pewnymi wyjątkami, od 1.IX.2010 roku. Czas poprzedzający wprowadzenie uregulowań powinien być wykorzystany na standaryzację i rozwój systemów zdalnego monitoringu pojazdów oraz ośrodków informacji wypadkowej.

LITERATURA

- [1] PUCHALSKI A.: *Systemy monitoringu pokładowego pojazdu*, Pojazd a Środowisko, Radom 13-15 czerwca 2005. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2005
- [2] KOWALICK T. M.: *IEEE Standard for Motor Vehicle Event Data Recorder*, IEEE, 2005
- [3] USDOT/NHTSA: *Event Data Recorders*. Docket No. NHTSA-2006-25666.

Dr inż. **Andrzej PUCHALSKI** jest adiunktem w Instytucie Eksploatacji Pojazdów i Maszyn Politechniki Radomskiej. W pracy naukowej zajmuje się zagadnieniami inżynierii eksploatacji oraz diagnostyki technicznej mechatronicznych układów pojazdów i maszyn. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Diagnostyki Technicznej.

MODEL ZARZĄDZANIA OBSŁUGIWANIEM MASZYN OKRĘTOWYCH SYSTEMÓW NAPĘDOWYCH

Piotr BIELAWSKI

Akademia Morska w Szczecinie, Katedra Diagnostyki i Remontów Maszyn
ul. Podgórna 51/53, 70-205 Szczecin, fax 091 431 85 42, e-mail: pbielaws@am.szczecin.pl

Streszczenie

Zaproponowano, bazując na pojęciu „jakość”, model zarządzania obsługiwaniem. Wskazano na konieczność i możliwość określania wartości pola tolerancji stanu zdatności maszyny w oparciu o pożądaną skuteczność i efektywność operacyjną statku. Przedstawiono możliwe kryteria określania wartości granicznych zużycia elementów maszyn i wykazano, że efektywność i skuteczność identyfikacji i odnow mają znaczący wpływ na osiąganą efektywność i skuteczność statku i przedsiębiorstwa żeglugowego. Wprowadzono pojęcie poziomu rozwoju metod i środków obsługiowania i uzasadniono konieczność budowy zintegrowanych systemów diagnozowania/telediagnozowania, napraw i regeneracji. Scharakteryzowano maszyny okrętowych systemów napędowych. Przedstawiono stan rozwoju i kierunki rozwoju metod i środków obsługiowania głównej maszyny – silnika spalinowego.

Słowa kluczowe: jakość statku, skuteczność i efektywność obsługiowania, metody diagnozowania, naprawy, regeneracje, zintegrowany system identyfikacji i odnowy.

THE MODEL OF MAINTENANCE MANAGEMENT OF MACHINES OF SHIP PROPULSION SYSTEMS

Summary

The model of maintenance management, based on "quality", is suggested in the paper. The necessity to describe values of tolerance field of healthy condition of machine, based on desired operational effectivity and efficiency of ship is pointed. The possible criteria to describe boundary values of wear of machine elements is presented, and it was proven that efficiency and effectivity of identification and renews are clincher of efficiency and effectivity of shipping company. The item of development of methods and tools of maintenance was innovated, and necessity to build the integrated system of condition monitoring / telemonitoring, repairs and reconditioning was justified. Machines of marine propulsion system are described. The state of development and development ways of methods and tools of maintenance of main machine – combustion engine.

Keywords: ship quality, effectivity and efficiency of maintenance, methods of condition monitoring, repairs, reconditioning, integrated system of identification and renew.

WSTĘP

Przedsiębiorstwo żeglugowe, tak jak każde inne przedsiębiorstwo, powinno swoim właścicielom lub współdziałowcom zapewniać oczekiwany poziom korzyści, najczęściej chodzi tu o korzyści finansowe.

Maszyny okrętowe stanowią trwałą, rzeczową majątek przedsiębiorstwa żeglugowego, są obiektem „zarządzania majątkiem (physical asset management)” i służą w tym przedsiębiorstwie do wytwarzania usług – usług transportowych. Zakłada się, że maszyny mogą wytwarzać usługi, jeżeli znajdują się w stanie zdatności. Czynności służące utrzymaniu i przywracaniu stanu zdatności nazywane są obsługiwaniem. Zarządzanie majątkiem przedsiębiorstwa żeglugowego musi uwzględniać specyficzne warunki funkcjonowania przedsiębiorstwa i konieczność optymalizacji kosztów obsługiowania głównych maszyn; do optymalnego sterowania obsługiwaniem potrzebne

są informacje o polityce przedsiębiorstwa w zakresie zarządzania majątkiem będącym obiektem obsługiowania. W takim zarządzaniu i obsługiwaniu pomocnym byłby model zależności między wielkościami opisującymi zarządzanie majątkiem i wielkościami opisującymi obsługiwanie z rozbiciem na wielkości diagnostyczne i wielkości opisujące stan techniczny elementów. Model taki powinien ułatwiać określanie wartości granicznych symptomów diagnostycznych i wartości granicznych parametrów stanu.

1. MODEL RELACJI ZARZĄDZANIE MAJĄTKIEM – OBSŁUGIWANIE

Proponuje się utworzyć model bazujący na pojęciu „jakość”. Jakość według ISO to ogół cech i właściwości wyrobu lub usługi, decydujących o zdolności wyrobu lub usługi do zaspokojenia stwierdzonych lub przewidywanych potrzeb [1].

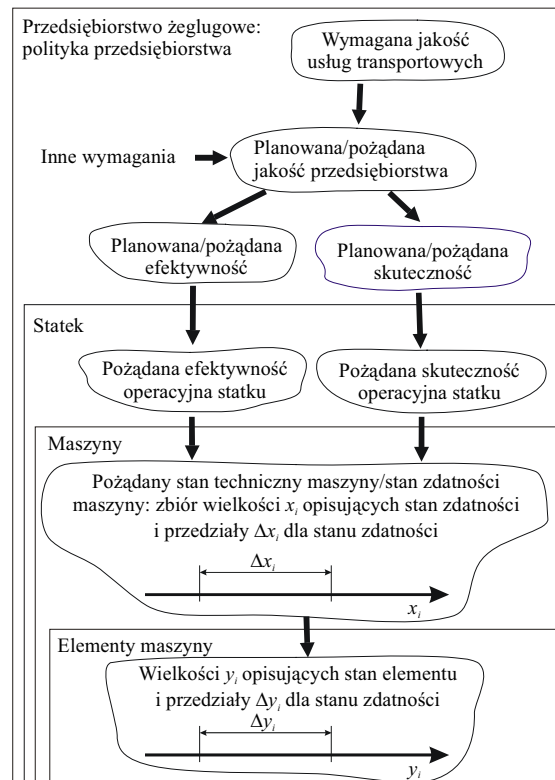
Ponieważ przyjmuje się, że przedsiębiorstwo to organizacja, która jest niezależna i elastyczna, chce się utrzymać i dalej rozwijać, dąży do: maksymalizacji zysku, podwyższania rentowności/efektywności, poszerzenia rynku zbytu, utrzymania płynności finansowej [2], to proponuje się przyjąć, że celem przedsiębiorstwa jest osiągnięcie i utrzymanie założonej jakości. W oparciu o literaturę dotyczącą jakości [3, 4, 5, 6, 7] proponuje się wprowadzić dwie ogólne miary jakości – efektywność i skuteczność. Efektywność przedsiębiorstwa to zdolność do realizacji strategii przedsiębiorstwa i osiągnięcia założonych celów. Skuteczność przedsiębiorstwa to stopień, w jakim planowane działania są zrealizowane i planowane wyniki osiągnięte (stopień osiągnięcia założonego celu). Miarą szczegółową efektywności przedsiębiorstwa jest efektywność gospodarowania wyrażana jako iloraz osiągniętych rezultatów do poniesionych nakładów.

Proponuje się dokonać dekompozycji przedsiębiorstwa żeglugowego na statek, maszynę, elementy maszyny. Wspierając się filozofią TPM (Total Productive Maintenance) i stosowaną tam definicją, że jakość to „wszystko co można poprawić”, można mówić o jakości przedsiębiorstwa, jakości statku, jakości systemu, jakości maszyny, jakości elementu [8]. Podobnie można mówić o jakości w tym o skuteczności i efektywności zarządzania majątkiem (przedsiębiorstwem), efektywności i skuteczności obsługi. Zgodnie z normami ISO dotyczącymi jakości, przedsiębiorstwo samo określa swoją jakość – jakość planowaną/pożądaną. Budując przedmiotowy model każdemu poziomowi dekompozycji przedsiębiorstwa żeglugowego należy przypisać wielkości opisujące jakość, rys. 1. Miarami jakości na poziomie statku a nawet maszyny mogą być np. gotowość i nieuszkodzalność. Gotowość (availability) – łączna cecha układu: człowiek–maszyna, opisująca jego zdolność do utrzymywania maszyny w wymaganym stanie technicznym zapewniającym jej dyspozycyjność (disposability), nieuszkodzalność (reliability) – cecha maszyny opisująca, jej zdolności do bezuszkodzeniowego działania, zgodnie z jej przeznaczeniem w zadanym czasie i ustalonych okolicznościach [9]).

Na poziomie maszyny należy wprowadzić wielkości opisujące stan zdatość maszyny i przedziały wartości tych wielkości dla stanu zdatości (wartości pola tolerancji stanu zdatości). Przykładami mogą być sprawność termodynamiczna, sprawność mechaniczna czy też wielkości charakteryzujące pracę maszyny. Na poziomie elementu należy wprowadzić wielkości opisujące stan techniczny elementu i przedziały wartości tych wielkości dla stanu zdatości (wartości pola tolerancji dla stanu zdatości) elementu.

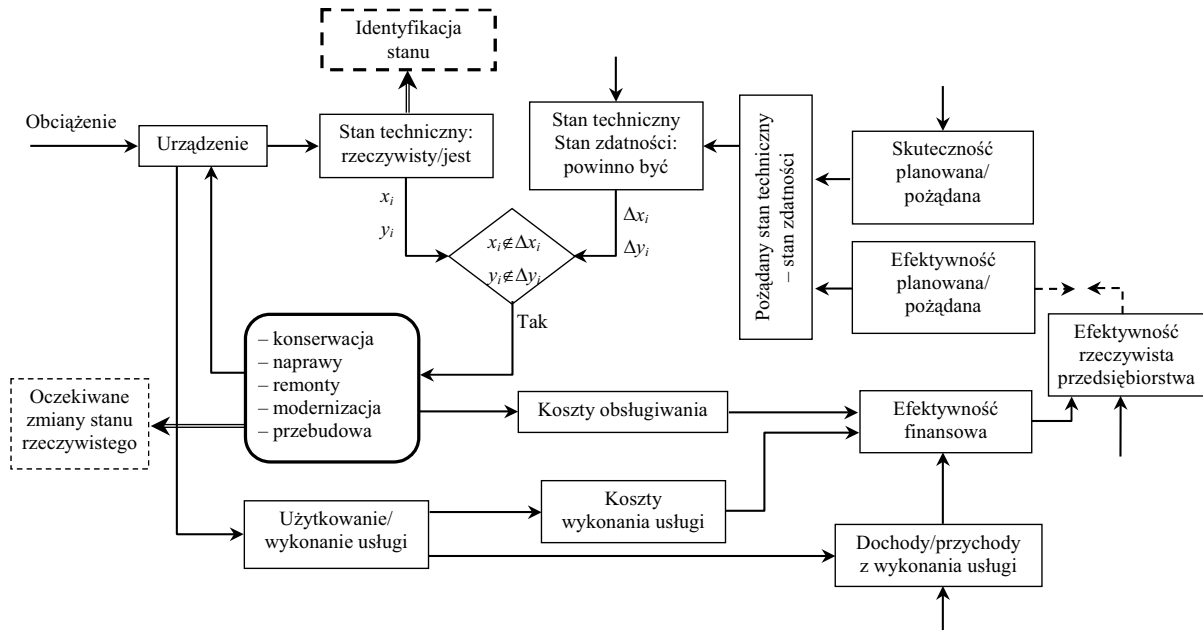
Bogata literatura tematu obsługiwaniem przedstawia jako układ regulacji stanu technicznego.

Taki układ można rozbudować o wielkości opisujące jakość na różnych poziomach dekompozycji przedsiębiorstwa. Powstanie w ten sposób przedstawione na rys. 2 sprzężenie zwrotne między jakością przedsiębiorstwa i jakością obsługi. Czynności ukierunkowane na polepszenie stanu technicznego lub przywracanie stanu zdatości podejmowane są (powinny być) po pojawieniu się nie akceptowalnej wartości różnicy między stanem rzeczywistym i pożądanym. Wartość pożądana powinna wynikać z wymaganego poziomu jakości przedsiębiorstwa: skuteczności i jakości przedsiębiorstwa. Między efektywnością i skutecznością obsługi a efektywnością i skutecznością przedsiębiorstwa istnieje sprzężenie zwrotne: rzeczywiste koszty wykonywania prac z zakresu obsługi wpływają znacząco na koszty i uzyskiwaną efektywność przedsiębiorstwa, różnice między oczekiwanymi i uzyskanymi zmianami stanu technicznego w wyniku podjętych prac obsługi wpływają na osiąganą skuteczność i efektywność przedsiębiorstwa.

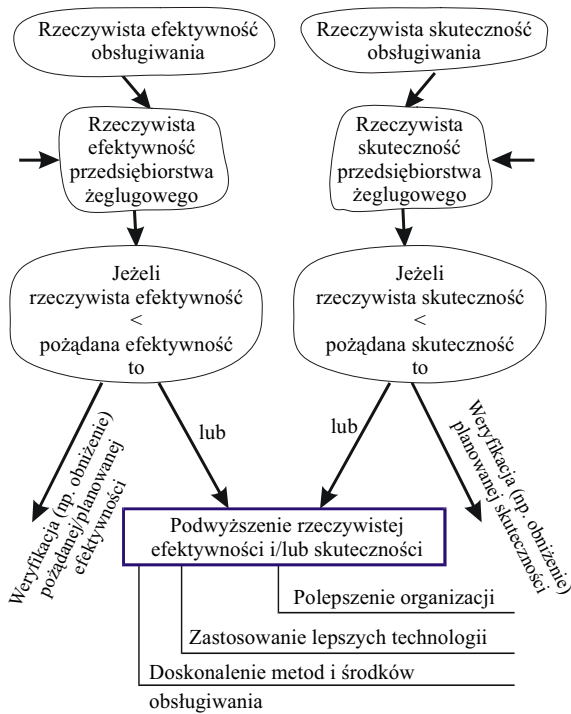


Rys. 1. Dekompozycja jakości przedsiębiorstwa żeglugowego

Jeżeli pojawią się nieakceptowalne różnice między rzeczywistą i pożądaną jakością przedsiębiorstwa, rys. 3, to zrównanie obydwu jakości możliwe jest albo poprzez obniżenie pożądanego poziomu jakości albo poprzez podwyższenie rzeczywistej jakości. Rzeczywistą jakość obsługi można podwyższyć między innymi poprzez polepszenie organizacji w przedsiębiorstwie, zastosowanie lepszych technologii projektowania i wytwarzania majątku



Rys. 2. Sprzężenie zwrotne między jakością przedsiębiorstwa i jakością obsługiwan



Rys. 3. Zrównywanie rzeczywistej i oczekiwanej jakości w przedsiębiorstwie

trwałego (maszyn) i/lub doskonalenie metod i środków obsługiwan.

Dążenie do osiągnięcia dużej skuteczności i efektywności przedsiębiorstwa skutkuje koniecznością zmniejszania wartości pola tolerancji stanu zdadności (wartości przedziału stanu zdadności). Mniejsza wartość pola stanu zdadności to większe wymagania stawiane w szczególności dwóm elementom obsługiwan: identyfikacji i odnowy. Koniecznym staje się dalsze doskonalenie tych elementów celem zwiększenia ich skuteczności i efektywności.

2. WPŁYW ROZWOJU METOD I ŚRODKÓW OBSŁUGIWANIA NA JAKOŚĆ PRZEDSIĘBIORSTWA

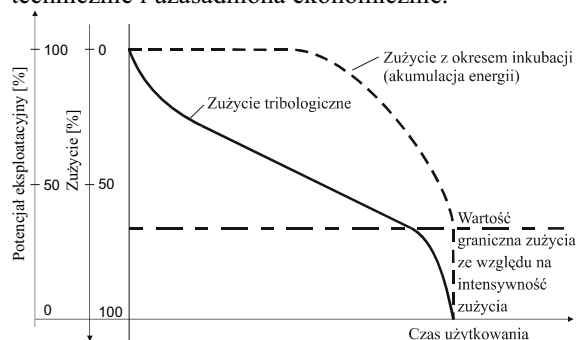
Elementy maszyn podczas ich wytwarzania uzyskują tzw. potencjał eksploatacyjny, który podczas eksploatacji maszyny, w której pracują ulega wyczerpywaniu w wyniku różnorodnych procesów zużycia. Graficznie przedstawiono to na rys. 4. Z różnych powodów praktycznych mających w końcowym efekcie wpływ na efektywność i skuteczność obsługiwan nie dopuszcza się do całkowitego wyczerpania potencjału eksploatacyjnego; wyznacza się granice zużycia elementu. Wartość graniczną określić można ze względu na:

- intensywność zużycia,
- naprawialność (podatność na naprawę) elementu,
- przydatność użytkową elementu (gotowość).

Na rys. 4 zobrazowano wartość graniczną ze względu na intensywność zużycia: wartość graniczna odpowiada drugiemu punktowi przecięcia na krzywej zużycia – początkowi intensywnego zużycia kończącego się destrukcją materiału i dalej awarią maszyny. Ma to wpływ na bezpieczeństwo maszyny i efektywność finansową przedsiębiorstwa.

Wartość graniczna ze względu na naprawialność zdeterminowana jest technologią i kosztami naprawy i dotyczy tylko tych elementów, których naprawy ujęto w planach obsługiwan. Ze względu na naprawialność, element jest zużyty w 100% jeżeli z powodu zaistniałego uszkodzenia (przekroczenia wartości granicznej naprawialności) naprawa elementu stała się niemożliwa lub ekonomicznie nieuzasadniona. W odniesieniu natomiast do całej maszyny potencjał eksploatacyjny jest większy od

zera (> 0), jeżeli naprawa maszyny jest możliwa technicznie i uzasadniona ekonomicznie.



Rys. 4. Potencjał eksploatacyjny/ zużycie elementu

Wartość graniczna ze względu na przydatność użytkową elementu zależy od wpływu stanu danego elementu na stan zdatności całej maszyny i na efektywność maszyny i przedsiębiorstwa.

Element wymaga odnowy jeżeli jedna z wartości granicznych zostanie osiągnięta. Rozwój terotechnologii [10, 11], a w szczególności rozwój technologii materiałów i technologii napraw powoduje (przy tym samym obciążeniu maszyny) wydłużenie czasu użytkowania i/lub zmniejszenie wartości granicznych ze względu na intensywność zużycia i naprawialność: maleje intensywność zużycia i wzrastają możliwości napraw.

Wartość graniczna zużycia elementu zdeterminowana jest polem tolerancji stanu zdatności maszyny. Rozwój metod i środków diagnostowania pozwala w coraz większym stopniu na identyfikację ważnych elementów maszyny (nie tylko na identyfikację stanu maszyny). Można mówić nie tylko o diagnostyce obiektowej, ale o diagnostyce zorientowanej na określone elementy maszyny. Możliwe jest przy tym obniżanie kosztów diagnostowania. Obniżeniu ulegają ceny systemów rozproszonych. Atrakcyjnymi ze względu na skuteczność i efektywność stają się systemy telediagnostowania.

Diagnostowanie elementów pozwala na coraz pełniejsze wykorzystanie potencjału eksploatacyjnego elementu. Coraz pełniejsze wykorzystanie potencjału eksploatacyjnego jest również następstwem rozwoju technologii (metod i środków) napraw i regeneracji elementów. Coraz większy jest udział elementów regenerowanych lub naprawianych podczas remontu maszyny. Polepsza się efektywność i skuteczność napraw i regeneracji elementów.

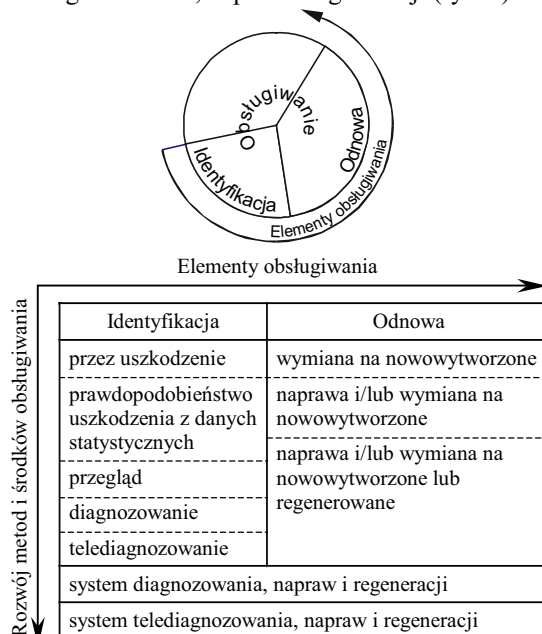
Naprawy w wielu przypadkach wykonuje się celem spowolnienia intensywności zużycia, a dopiero regeneracje służą przywracaniu potencjału eksploatacyjnego. W przypadku regeneracji wartość graniczna naprawialności staje się coraz niższa. Możliwe są wielokrotne regeneracje tego samego elementu.

Pełne wykorzystanie metod i środków diagnostowania oraz metod i środków napraw i regeneracji elementów wymaga jednak

optymalnego ich doboru i dopasowania do danego elementu.

Na rys. 5 przedstawiono poziomy rozwój dwóch elementów obsługiwanego: identyfikacji i odnowy. Miarami poziomu są efektywność i skuteczność. Za najbardziej skuteczną i efektywną identyfikację uważa się telediagnostowanie, a za najbardziej skuteczną i efektywną odnowę uważa się kolejno wykonywane naprawy i regeneracje. Wydaje się, że dalsze podwyższanie skuteczności i efektywności możliwe jest przez zintegrowanie identyfikacji i odnowy.

Należy zatem dążyć do tworzenia systemów diagnostowania, napraw i regeneracji lub systemów telediagnostowania, napraw i regeneracji (rys. 5).



Rys. 5. Rozwój metod i środków obsługiwanego

3. MASZyny OKRĘTOWYCH SYSTEMÓW NAPĘDOWYCH

Statki wyposażone są w skomplikowane i o dużej mocy systemy energetyczne. Maszyny okrętowych systemów energetycznych pracują w warunkach zależnych od stanu załadowania statku, warunków klimatycznych i stanu morza na trasie rejsu. Maszyny, ze względów bezpieczeństwa, poddawane są obowiązkowym przeglądom i są wielokrotnie remontowane. Koszty przeglądów i remontów stanowią znaczącą część kosztów statku.

Wzrost konkurencji w żegludzie (miedzy przewoźnikami/armatorami) narzuca wyższe wymagania odnośnie jakości usług transportowych. Następstwem jest zawężanie pola tolerancji stanu zdatności dla istotnych maszyn okrętowych. Węższe pola tolerancji skutkują zwiększeniem wymagań odnośnie jakości konserwacji i identyfikacji oraz prowadzą do wzrostu różnicy miedzy granicą naprawialności i przydatności użytkowej (następuje mniejsze wykorzystanie potencjału eksploatacyjnego elementu). Niewykorzystany potencjał

eksploatacyjny pozwala na naprawy takich elementów. Jeżeli nakład na wykonanie naprawy jest niewielki to taka naprawa może być traktowana jako konserwacja. Wzrost wymagań odnośnie jakości identyfikacji oznacza również wzrost wymagań stawianym badaniom diagnostycznym. Z racji takiej, że istnieją optymalne nakłady na obsługiwanie [13] (nieuzasadnione jest dążenie do diagnozowania każdej maszyny i każdego jej elementu) można wywnioskować, że należy badania diagnostyczne koncentrować na „ważnych” elementach maszyny. Ważne elementy maszyny powinny być zatem diagnozowane i naprawiane.

Postępując zgodnie z zasadami terotechnologii (inżynierii eksploatacji) należałoby technologię obsługiwania opracowywać na etapie projektowania maszyny: technologię obsługiwania należy bowiem dostosować do maszyny. Takie dostosowanie w wielu przypadkach wiąże się z koniecznością znalezienia i rozwoju nowych metod i środków obsługiwania, co musi być realizowane równolegle z rozwojem maszyn.

Rozwój okrętowych systemów napędowych zdeterminowany jest rodzajem dostępnych nośników energii. Na podstawie dostępnych analiz rozwoju systemów napędowych można stwierdzić, że do celów obsługiwania, maszyny wchodzące w skład obecnych i przyszłych systemów podzielić można na [8]:

- maszyny cieplne i maszyny elektryczne,
- maszyny wirnikowe i maszyny tłokowe,
- silniki i maszyny robocze.

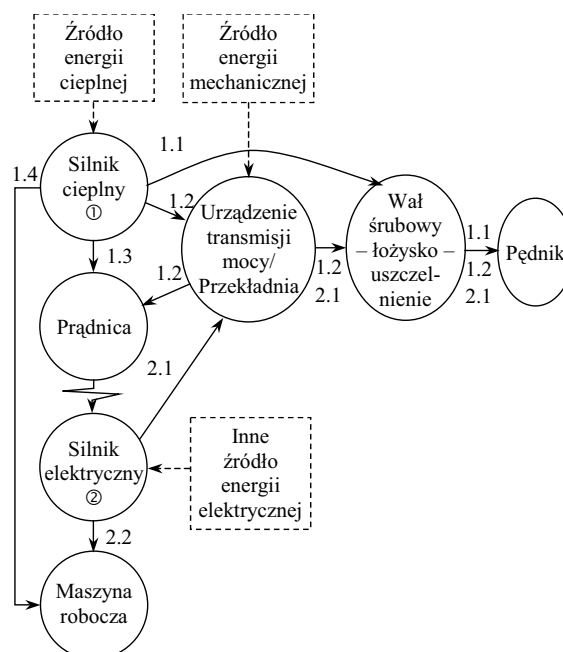
Rodzaje maszyn, konfiguracje systemów napędowych i możliwe strumienie energii przedstawiono na rys. 6.

Z analizy dostępności nośników energii wynika, że należy oczekiwać wzrostu znaczenia silników elektrycznych jakkolwiek silniki spalinowe zachowują swoją dominującą pozycję przez następne 20–30 lat. Nie należy spodziewać się również istotnych zmian konstrukcyjnych. Zatem metody i środki rozwijane z przeznaczeniem dla współczesnych maszyn okrętowych zachowają swoją przydatność na najbliższą przyszłość.

4. SYSTEM DIAGNOZOWANIA I NAPRAW OKRĘTOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH

W chwili obecnej za najważniejszą maszynę okrętową uważa się silnik spalinowy. W silnikach spalinowych, tak jak w innych maszynach cieplnych, realizowane są procesy robocze będące sumą pożądaných i niepożądaných zjawisk. Okresowe sygnały termodynamiczne np. przebiegi ciśnień medium roboczego ulegają modyfikacji (zmianom) na skutek przypadkowych zakłóceń oraz w wyniku zużycia elementów maszyny bezpośrednio oddziałujących na proces roboczy. Modyfikacje jako tzw. „zakłócenia” przebiegów termodynamicznych są już wykorzystywane jako symptomy diagnostyczne w szczególności

w diagnozowaniu tłokowych silników spalinowych, rzadziej sprężarek. Analizowane są przebiegi ciśnień w funkcji kąta obrotu wału. Występują jednak w dalszym ciągu duże problemy z dokładnym pomiarem ciśnień i kąta.



Rys. 6. Okrętowy system napędowy: rodzaje maszyn, konfiguracje i możliwe strumienie energii

Spalinowe silniki okrętowe są maszynami z mechanizmem tłokowo-korbowym często wodzikowym. Ze względu na efektywność i bezpieczeństwo dochodzi stosunkowo szybko do osiągnięcia granicznej wartości zużycia – do uszkodzenia elementów mechanizmu. Diagnozowanie elementów mechanizmu tłokowo-korbowego nie jest obecnie zbyt szerokie: Mierzone jest zużycie pierścieni tłokowych, nadzorowana jest praca łożysk ślizgowych poprzez pomiar ich temperatury, zapobiega się eksplozjom w skrzyni korbowej poprzez pomiar natężenia mgły olejowej.

Ponieważ dla elementów silnika spalinowego znacznie szybciej osiągana jest granica przydatności użytkowej niż granica naprawialności elementu, od dawna ważniejsze elementy silnika poddawane są naprawom i regeneracjom. Opracowane są technologie napraw a w niektórych przypadkach również regeneracji takich elementów jak grzybki i trzony zaworów, gniazda zaworów, tuleje cylindrowe, główce, denka tłoków, rowki w tłoku, trzony tłokowe, łożyska wodzika, czopy korbowe i czopy główne wałów korbowych. Naprawy wykonywane są głównie metodami obróbki ubytkowej z zastosowaniem specjalnych obrabiarek natomiast w regeneracjach stosuje się głównie napawanie, napawanie plazmowe, metalizację natryskową oraz galwaniczne i chemiczne chromowanie. Powszechne stosowanie napraw na statkach hamowane jednak między innymi wysokimi kosztami wdrożenia, natomiast powszechne

stosowanie elementów regenerowanych utrudniane jest głównie istniejącymi problemami organizacyjnymi.

Z powyższego przeglądu wynika, że stosowane metody diagnozowania nie są zorientowane na identyfikację elementów, które poddawane są najczęściej naprawom lub regeneracjom. Rozwój i wdrożenie metod diagnozowania zorientowanych na naprawiane elementy jest zatem jedną z możliwości podwyższenia jakości obsługiwanie silników.

Ponieważ zużycie elementów wpływa na przebieg procesu roboczego oraz prowadzi do modyfikacji sił generujących drgania korpusu i elementów mechanizmu to symptomami diagnostycznymi mogą być sygnały drgań prowadnic wodzika/korpusu maszyny oraz drgania skrętne i wzdłużne wału korbowego. Metody te zostały opisane w [12]. Problemami rozwojowymi tych metod, oprócz procedur wnioskowania, jest brak odpowiednich przetworników drgań wzdłużnych i skrętnych mierzonych bez stałego punktu odniesienia. Ponadto, przy diagnozowaniu w oparciu o drgania wzdłużne i skrętne należy uwzględnić dynamikę całego agregatu tzn. mechanizm tłokowo-korbowy maszyny tłokowej oraz wirnik maszyny współpracującej.

WNIOSKI

1. W zarządzaniu majątkiem przedsiębiorstwa pożądane jest tworzenie modeli ujmujących wpływ obsługiwanie na zarządzanie. Wydaje się, że możliwe jest utworzenie odpowiedniego modelu bazującego na pojęciu „jakość”.
2. Zaproponowany model może ułatwić sterowanie obsługiwaniem: ułatwić wyznaczenie wartości pola tolerancji stanu zdatności maszyn i elementów maszyn, ułatwić optymalizację kosztów obsługiwanie i ułatwić podejmowanie decyzji w zakresie zarządzania majątkiem.
3. Jedną z możliwości podwyższania jakości przedsiębiorstwa jest doskonalenie metod i środków obsługiwanie. Za obsługiwane o najwyższym poziomie rozwoju należy uznać obecnie telediagnozowanie zorientowane na elementy maszyn poddawane wielokrotnym naprawom.
4. W przypadku maszyn okrętowych istnieje konieczność zawężenia pola tolerancji stanu zdatności, co wymusi, dla ważnych elementów, wykonywanie badań diagnostycznych i wielokrotne naprawy.
5. Ponieważ silnik spalinowy pozostanie w najbliższej przyszłości najważniejszą maszyną okrętową uzasadnione są nakłady na doskonalenie metod i środków obsługiwanie. Istnieją możliwości wdrażania technologii napraw i rozwoju metod i środków diagnozowania zorientowanego na naprawiane elementy.

LITERATURA

1. PN-EN ISO 9000:2001. *Systemy zarządzania jakością. Podstawy i terminologia.*
2. Warnecke H.-J. H., *Handbuch der Instandhaltung*, 1992, Köln, Verlag TÜV Rheinland.
3. Foltys J., Piksa B., *Jakość w procesie globalizacji*, Problemy Jakości, 2005, s. 35-39.
4. Markowski A. (red.), *Nowy słownik poprawnej polszczyzny*, PWN, Warszawa 2004.
5. Polak A., *Sprawność i niezawodność zarządzania przedsiębiorstwem*, Problemy Jakości 2001, nr 4, s. 30.
6. Skalska I., Szkoda J., *Koncepcja modelu systemu zapewnienia jakości dla małych i średnich przedsiębiorstw świadczących usługi o znaczeniu lokalnym*, Problemy Jakości, 2005, s. 14-16.
7. Szymula M., *Rola kosztów w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Problemy Jakości, 2005, s. 40-41.
8. Bielawski P., *Wartości graniczne w obsługiwaniu urządzeń okrętowych*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 2006, Nr 10(82), s. 71-82.
9. Smalko Z., *Charakterystyki użyteczności układu człowiek maszyna*, Diagnostyka 4(40)/2006, s. 43-46.
10. Downarowicz, O., *Geneza i współczesność zarządzania zasobami techniki*, www.zie.pg.gda.pl.
11. Amadi-Echendu, J.E., *New Paradigms for Physical Asset Management*, EuroMaintenance 2006, 3rd World Congress on Maintenance, 20-22 June 2006, Basel, Switzerland.
12. Bielawski P., *Elementy diagnostyki mechanizmów tłokowo-korbowych maszyn okrętowych*, Studia Nr 39, WSM, Szczecin 2002.
13. Bielawski P., *Teoria i praktyka diagnostyczna w obsługiwaniu maszyn okrętowych*, Biuletyn WAT, Vol. LIII, Nr 5, 2004, s. 69-82.



Dr hab. inż. **Piotr BIELAWSKI** – profesor nadzw. AM, kierownik Katedry Diagnostyki i Remontów Maszyn Akademii Morskiej w Szczecinie.

Tematyka prac naukowych: metody i środki kontroli jakości elementów maszyn, montaż i ocena jakości montażu maszyn, diagnostyka maszyn okrętowych w szczególności maszyn z mechanizmem tłokowo-korbowym, analiza uszkodzeń, obsługiwane maszyn okrętowych.

WPLYW ZMIENNYCH WARUNKÓW EKSPLOATACJI NA PROCES OCENY STANU PRZEKŁADNI PLANETARNYCH W UKŁADACH NAPĘDOWYCH KOŁA CZERPAKOWEGO KOPAREK KOŁOWYCH

Walter BARTELMUS, Radosław ZIMROZ, Wojciech SAWICKI

Badawcze Laboratorium Diagnostyki i Wibroakustyki
Pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław, walter.bartelmus@pwr.wroc.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono wybrane aspekty diagnozowania wielostopniowych przekładni zębatych ze stopniem planetarnym stosowanych w układzie napędowym koła czerpakowego koparki kołowej. Kluczowym zagadnieniem jest identyfikacja warunków eksploatacyjnych, które mają wpływ na postać sygnału i wartości cech diagnostycznych. Zaproponowano dwa modele oddziaływań, wskazano wpływ struktury jako trzecie znaczące źródło modyfikujące sygnał odbierany na obudowie. Opisano cztery podejścia w identyfikacji warunków eksploatacyjnych – wykorzystujące informację z dodatkowych torów pomiarowych (pomiar prądu, analiza prędkości chwilowej) lub informacje zawartą w sygnale drganiowym (obwiednia, częstotliwość chwilowa) Wykazano ograniczenia analizy rzędów jako metody pozyskiwania cech diagnostycznych dla dużych zmienności warunków eksploatacyjnych rozumianych jako zmiany prędkości i obciążenia zewnętrznego.

Słowa kluczowe: diagnostyka, przekładnie planetarne, zmienne warunki obciążenia.

INFLUENCE OF OPERATIONAL CONDITION TO DIAGNOSTIC PROCESS OF PLANETARY GEARBOX IN DRIVING SYSTEM USED IN BUCKET WHEEL EXCAVATOR

Summary

The paper deals with some aspects of diagnostics of multi-stage gearboxes with a planetary stage that are used for driving bucket wheel excavator under varying operation factors. A crucial issue is identification of operational factors that significantly influence signal properties and values of diagnostic features. A two models of this influence are proposed, and significance of transmission path as a third factor that can modify signal is also underlined. Four approaches for operational condition identification are presented: two of them utilize information from additional channels (load/speed measurement), another two extract information directly from vibration signals (instantaneous frequency, load-related envelope) Additionally, application of order analysis as a tool for feature extraction under speed fluctuation condition and limitation of this method for wide range simultaneous load and speed variation are presented.

Keywords: diagnostics, planetary gearbox, time-varying conditions.

1. WPROWADZENIE

W pracy przedstawiono wybrane aspekty diagnozowania wielostopniowych przekładni zębatych ze stopniem planetarnym, stosowanych w układzie napędowym koła czerpakowego koparki kołowej. Ze względu na jednostkowy charakter obiektów ich diagnozowanie wymaga szczególnego indywidualnego podejścia. W pracy przedstawiono aktualne wyniki badań dotyczących tych zagadnień na przykładzie dwóch obiektów o różnych cechach konstrukcyjnych. Diagnozowanie układów napędowych omawianych w artykule jest zagadnieniem złożonym z kilku powodów:

- układy te są o skomplikowanej konstrukcji – wielostopniowa przekładnia zębata ze stopniem planetarnym;
- układy mają bardzo duże przełożenia ($uc=170$), co komplikuje proces rejestracji sygnałów na wolnoobrotowych stopniach;
- układy napędu koła czerpakowego – funkcjonują w warunkach zmiennego obciążenia (z częstymi przeciążeniami skutkującymi awaryjnym wyłączeniem);
- ze względu na przeciążenia często pracują w warunkach rozbiegu i nagłego hamowania;
- złożoność układu i w niektórych przypadkach nietypowe, współdzielone przekazywanie mocy skutkuje bardzo skomplikowaną kinematyką układu.

2. KINAMATYKA UKŁADU

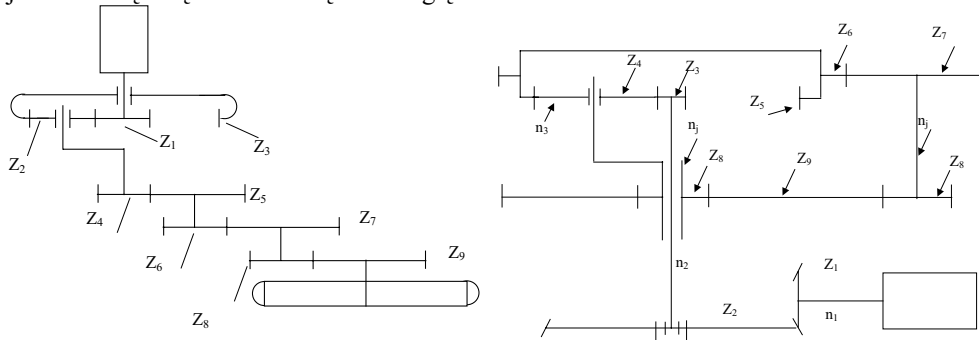
Rozwiązania konstrukcyjne, a co za tym idzie kinematyka układu może mieć znaczący wpływ na dobór metod diagnozowania (chodzi tu przede wszystkim o możliwości separacji pożądaných sygnałów). Na rys. 1 pokazano dwa rozwiązania konstrukcyjne, które obecnie są przedmiotem zainteresowań autorów.

Wyliczenia częstotliwości charakterystycznych, będących podstawą procesu diagnozowania (rozpoznawania i lokalizacji) uszkodzeń w przypadku tak złożonych obiektów z przekładnią planetarną jest zagadnieniem niebanalnym. Nie ma możliwości wykorzystania „uniwersalnych” wzorów (tak jak w przypadku przekładni walcowych czy stożkowych) – należy je wyprowadzić wykorzystując podstawowe prawa mechaniki. W pracach [6, 8, 9] pokazano procedurę wyznaczania zależności opisujących kinematykę obiektu z rys. 1a). Obiekt z rys. 1b) charakteryzuje się jeszcze większą złożonością ze względu na

podział przekazywanej mocy. Procedura wyznaczania zależności opisujących kinematykę obiektu z rys. 1b) zawarta jest w pracy [7]. W tabeli zestawiono częstotliwości charakterystyczne wyznaczone dla obu obiektów.

W tabeli 1 oznaczono częstotliwości zazębienia dla poszczególnych par kół zębatach np. f_{12} oznacza częstotliwość zazębienia między kołem pierwszym (1) i drugim (2), f_j oznacza częstotliwość obrotów jarzma przekładni planetarnej, f_{cz} oznacza częstotliwość wysypu czerpaków lub częstotliwość wejścia czerpaków w urabianą caliznę.

Postać sygnału drganiowego generowanego przez przekładnię nie zależy tylko od rozwiązań czynników konstrukcyjnych jakimi są liczby zębów i postaci konstrukcyjnej danej na schematach układów (kinematyki układu). Problematyka wpływu różnych czynników na postać sygnału drganiowego generowanego przez przekładnię zębate jest od wielu lat jednym z najważniejszych kierunków badawczych autorów.

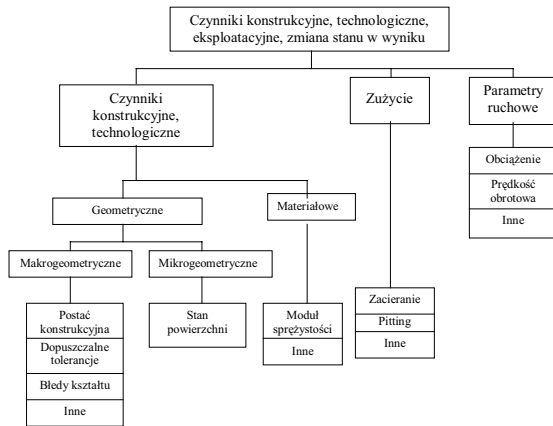


Rys. 1. Schematy układów z przekładniami planetarnymi do napędu koła czerpakowego

Tabela 1 Częstotliwości charakterystyczne wyznaczone dla obiektów z rys. 1.

Nazwa składowej	Wartość częstotliwości [Hz]	Komentarz
$f_{12}=f_{23}$	435	Zazębienie stopnia planetarnego
f_2	11,43	Częstotliwość wału koła 2
f_j	4,67	Częstotliwość jarzma
f_{45}	158,7	Częstotliwości zazębienia kolejnych stopni
f_{67}	57	
f_{89}	13,75	
Wszystkie obliczenia zostały dokonane przy założeniu $n_1=950$ RPM, gdzie n_1 – prędkość obrotowa wału wejściowego		
f_{12}	287	Stopień stożkowy na wejściu
f_{34}	99,9	Stopień planetarny
f_{67}	25,6	Częstotliwości zazębienia kolejnych stopni
f_{89}	8,76	
f_j	0,365	
f_{cz}	0,82 lub 0,91	Rozwiązanie konstrukcyjne z różną liczbą czerpaków
n_k	-----	5,5 obr/min
Wszystkie obliczenia zostały dokonane przy założeniu $n_1=957$ RPM, gdzie n_1 – prędkość obrotowa wału wejściowego		

Systematyka tych czynników przedstawiona w pracy [1], wyróżnia cztery grupy czynników: czynniki konstrukcyjne, technologiczne, eksploatacyjne i zmiana stanu.



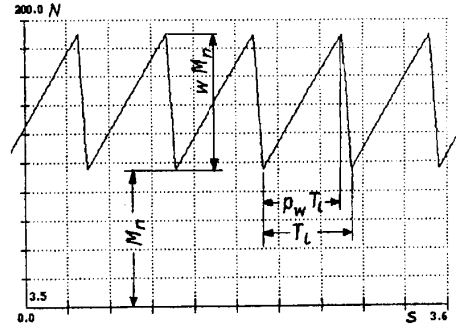
Rys. 2. Podział czynników wpływających na postać sygnału diagnostycznego [1]

W wielu pracach poświęconych diagnostyce czynniki z grupy eksploatacyjnych są pomijane najczęściej ze względu na ustalone warunki pracy obiektu. Jak już wspomniano w tym przypadku jest inaczej. Oprócz kinematyki samej przekładni istotna jest również identyfikacja zmian obciążenia.

Przekładnie w tym samym (prawidłowym) stanie technicznym mogą charakteryzować się różnymi wartościami cech diagnostycznych, ponadto struktura częstotliwościowa sygnału może być różna ze względu na nieliniowy charakter wpływu zmiennego obciążenia, zmiana obciążenia zewnętrznego ujemnie skorelowana ze zmianą prędkości obrotowej na wejściu przekładni powoduje zmianę częstotliwości charakterystycznych, co może skutkować także zmianą amplitud poszczególnych składowych a nawet grup składowych z pewnych zakresów częstotliwości (wpływ obudowy i tzw. ścieżki transmisji)

W zależności od rozwiązania konstrukcyjnego, charakterystyki obciążenia mogą się różnić ze względu na różne wartości prędkości obrotowej koła czerpakowego, liczby czerpaków, ich objętości itd. (zobacz tab. 1)

Na rys. 3 [1] pokazano teoretyczny przebieg zmienności obciążenia związany z warunkami pracy obciążenia zewnętrznego (koło czerpakowe). Postać sygnału reprezentującego obciążenie zależy od czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych koła czerpakowego (rys. 3b).



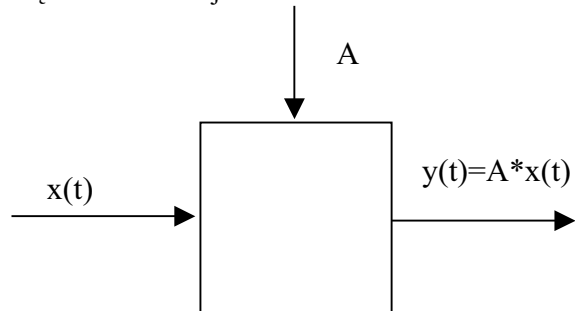
Rys. 3 a) Teoretyczny kształt zmian obciążenia [7]
b) Widok koła czerpakowego

2. WPŁYW ZMIENNYCH WARUNKÓW EKSPLOATACYJNYCH NA AMPLITUDE I STRUKTURĘ SYGNAŁU

Rozważmy następujący przykład: Maszyna generuje drgania opisane jako $x(t)$.

Przypadek 1) wolnozmiennie obciążenie o czasowo (okresowo) stałej wartości (fala prostokątna).

W wyniku zwiększenia obciążenia poziom drgań zostanie zwiększony A razy. Układ jest liniowy – zmienia się tylko amplituda sygnału – struktura częstotliwościowa jest taka sama.



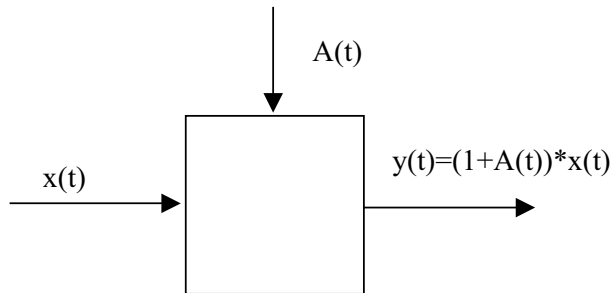
Rys. 4. Wpływ obciążenia na sygnał drganiowy z przekładni – stałe obciążenie

Zatem w procesie diagnozowania dla danej realizacji pomiarowej należy uwzględnić wzrost wartości cech diagnostycznych wywołany wzrostem obciążenia. Praktycznie można to zrealizować poprzez odpowiednie przeskalowanie cech diagnostycznych albo porównywanie wartości cech dla stanu „dobry” i „zły” dla tej samej wartości

obciążenia. Niestety to drugie rozwiązanie – choć bardzo proste – ze względów technicznych nie zawsze jest możliwe

Przypadek 2) okresowo zmienne obciążenie

Wg Randalla [11] okresowo zmienne obciążenie powoduje modulację amplitudy sygnału generowanego przez zazębienie. Zjawisko modulacji jest zjawiskiem nieliniowym i powoduje modyfikacje struktury częstotliwościowej widma sygnału drganiowego (powstają wstęgi boczne wokół częstotliwości zazębienia).



Rys. 5. Wpływ obciążenia na sygnał drganiowy z przekładni – okresowo zmienne obciążenie

Przyczyna modulacji amplitudowej - okresowo zmienne obciążenie – należy do grupy czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych, które w wyniku dają okresowe zmiany obciążenia i chwilowej prędkości obrotowej układu napędowego.

Czynniki wpływające na postać sygnału wynikające z cech konstrukcyjnych i eksploatacyjnych są następujące:

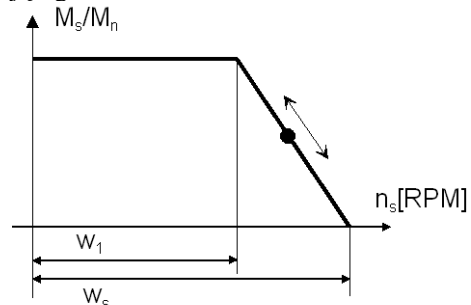
- cechy konstrukcyjne: silnika, sprzęgła łączącego silnik z przekładnią oraz koła czepakowego (np. liczba czepaków, ich objętość);
- parametry eksploatacyjne: sposób prowadzenia eksploatacji (założona wydajność, szerokość i głębokość zabierki), która w dużym stopniu zależy od umiejętności i doświadczenia operatora;
- uwarunkowania geologiczno – górniczych (rodzaj gruntu, obecność i liczba wtrąceń itp);
- warunki atmosferyczne (temperatura, opady).

Dotychczasowe prace prowadzone przez autorów [2-6, 8, 9] pozwoliły zdiagnozować nieprawidłową pracę jarzma w jednej z przekładni. Prawdopodobną przyczyną bicia jarzma są przekroczone wartości luzu w łożyskach przekładni planetarnej. Zauważono, że zmienność obciążenia ma znaczący wpływ na zachowanie się jarzma. Wzrost obciążenia powoduje wzrost amplitudy pierwszej harmonicznej jarzma oraz pojawienie się składowej o częstotliwości drugiej harmonicznej jarzma. Składowa o częstotliwości $f=2*$ harm. jarzma osiąga maksimum wartości chwilowej amplitudy dla maksymalnej wartości chwilowej obciążenia. Po oderwaniu urobku od calizny (wyjście czepaka z urabianego ośrodka) jarzmo gwałtownie wraca do normalnego ustawienia i następuje uderzenie. Takie zachowanie jarzma w bardzo krótkim czasie może

spowodować uszkodzenia lokalne kół w przekładni planetarnej, łącznie z całkowitą jej destrukcją.

Zaburzenie dynamiki typu uderowego powoduje szerokopasmowe zaburzenie struktury częstotliwościowej analizowanego sygnału drganiowego. Ze względu na losowy charakter wymuszeń pochodzących od obciążenia zewnętrznego opis zjawiska jest bardzo trudny – zaburzenia struktury częstotliwościowej wywołane skokową zmianą obciążenia silnie zależy od stopnia przeciążenia.

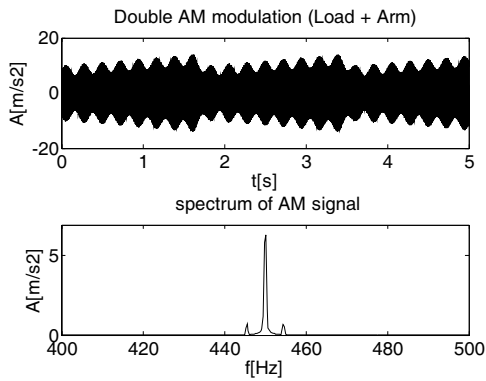
Oprócz modulacji amplitudowej zmiana obciążenia zewnętrznego układu napędowego powoduje zmianę punktu pracy układu silnik sprzęgło hydrokinetyczne, co objawia się także zmianą prędkości obrotowej na wejściu przekładni. Zmiana prędkości obrotowej na wale wejściowym przekładni powoduje zmianę częstotliwości charakterystycznych wszystkich wirujących elementów przekładni (wały, zazębienia, łożyska) czyli de facto zupełnie zmienia strukturę częstotliwościową sygnału. Jeżeli zmiana taka jest okresowa (tak jak w analizowanych przypadkach – okres związany jest z cyklem czepaka) dochodzi do zjawiska, które można opisać wykorzystując równania modulacji częstotliwości (FM) częstotliwości związanej z prędkością wejściową przez częstotliwość związaną z cyklem organu urabiającego.



Rys. 6. Charakterystyka silnika [1]

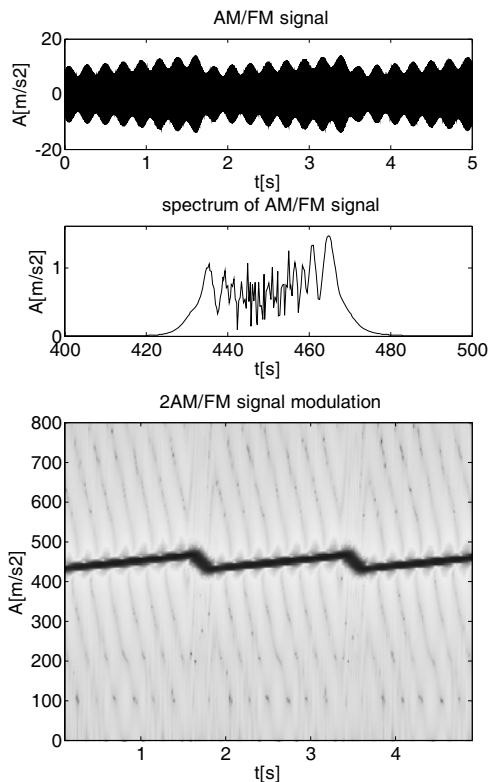
Ponieważ sygnały rzeczywiste dla obiektu z rys. 1a, mają skomplikowaną strukturę częstotliwościową zdecydowano zbudować model matematyczny sygnału dla przekładni pracującej w okresowo zmiennych warunkach obciążenia [15]. Wyniki uzyskane z modelu potwierdziły słuszność stawianych hipotez o występowaniu zjawisk o charakterze modulacyjnym. Model może także służyć jako źródło sygnałów o znanych i powtarzalnych właściwościach do testowania nowych metod przetwarzania sygnałów i budowania procedur diagnostycznych. W modelu uwzględniono wpływ nieprawidłowej pracy jarzma (AM) i zmienności obciążenia (AM/FM).

Na rys. 7 przedstawiono sygnał syntetyczny uwzględniający modulację AM pochodzącą od nieprawidłowej pracy jarzma (sygnał sinusoidalny) oraz modulację AM pochodzącą od zmienności obciążenia (sygnał piłokształtny – por. rys. 3a).



Rys. 7. Sygnał zmodulowany amplitudowo (obciążenie + jarzmo) – przebieg czasowy i widmo

Widmo takiego sygnału przedstawiono na rys. 7 – widoczne są składowe: o częstotliwości nośnej i składowe modulacyjne (wstęgi boczne pochodzące od jarzma). Wstęgi boczne pochodzące od zmienności obciążenia nie są widoczne ze względu na przyjętą rozdzielczość [15].



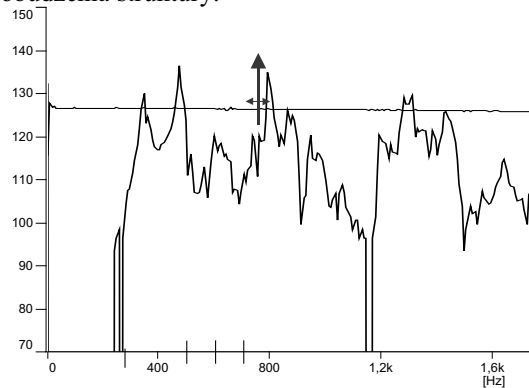
Rys. 8. a) Sygnał zmodulowany amplitudowo (obciążenie + jarzmo) i częstotliwościowo (obciążenie) – przebieg czasowy i widmo
b) Spektrogram sygnału z rys. 8a

Na rys. 8 pokazano sygnał zmodulowany amplitudowo (czynnik modulujący: sygnał obciążenia + nieprawidłowa praca jarzma) i częstotliwościowo (czynnik modulujący: sygnał

obciążenia). Widmo takiego sygnału nie jest użyteczne diagnostycznie. Analiza widmowa sygnału zmodulowanego częstotliwościowo nie ma uzasadnienia ze względu na efekt uśredniania realizowanego przez widmo dla pewnego zakresu pasma określonego przez zbiór częstotliwości chwilowych.

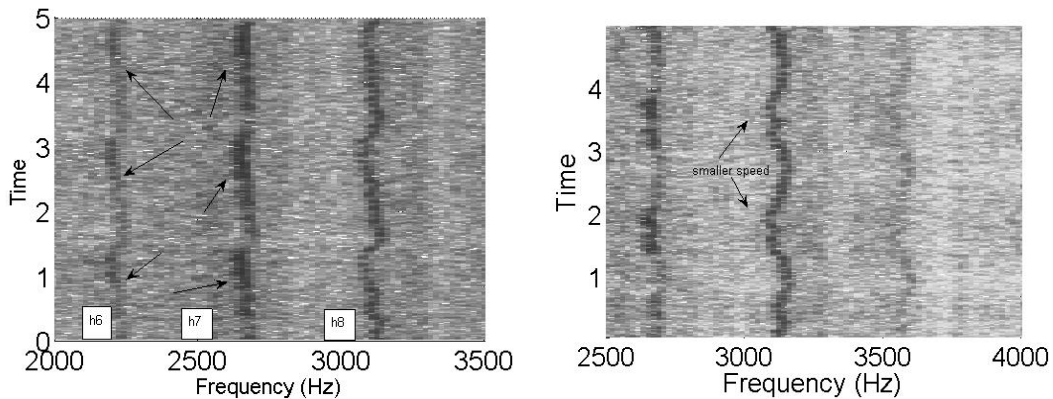
W celu analizy struktury częstotliwościowej należy zastosować np. spektrogram. Na rys. 8b – ze względu na przyjętą rozdzielczość i stosunkowo małe wartości częstotliwości sygnałów modulujących tzw. wstęgi boczne związane z modulacją amplitudy pochodząca od obciążenia czy jarzma nie są widoczne. Wyraźne są natomiast okresowe fluktuacje częstotliwości związane z modulacją częstotliwości pochodząca od obciążenia. Więcej na ten temat można znaleźć w pracy [15].

Modele sygnałów prezentowane na rys. 7-8 nie uwzględniają czynnika, który zdaniem autorów powinien być uwzględniony – zwłaszcza dla dużych zakresów zmienności obciążeń, co ma miejsce przy gruntach trudno urabialnych. Chodzi mianowicie o wpływ tzw. ścieżki transmisji sygnału i oddziaływanie obudowy. Na rys. 9 pokazano przykładową charakterystykę częstotliwościową obudowy uzyskaną na podstawie impulsowego pobudzenia struktury.

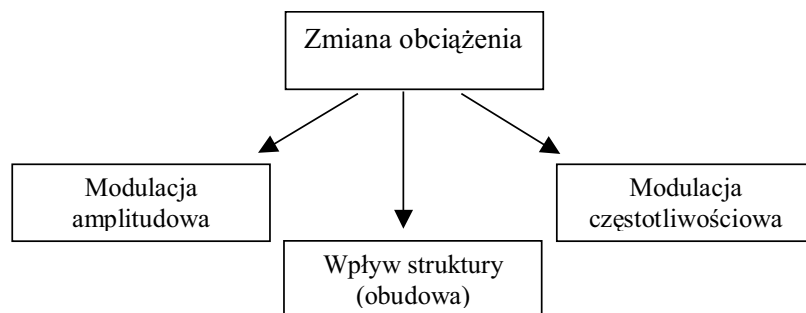


Rys. 9. Odpowiedź struktury na pobudzenie impulsowe [17]

Na podstawie rys. 10 można powiedzieć że przy dużych zakresach zmian obciążenia zmiany położenia prążków mogą być na tyle duże że pewne składowe mogą wejść w obszar rezonansu własnego struktury. Potwierdzenie tej hipotezy można znaleźć na spektrogramie obejmującym harmoniczne 6-8. Dla h8 widać zmienność ale kolor ten sam świadczy o stałej amplitudzie, a h7 ma dla malej prędkości ciemniejsze barwy bo składowa wchodzi w obszar rezonansu



Rys. 10. Mapa czasowo-częstotliwościowa dla sygnału z przekładni 1 – fragment obejmujący harmoniczne 6-8



Rys. 11. Czynniki wpływające na strukturę częstotliwościową sygnału diagnostycznego

Biorąc pod uwagę zaprezentowany tok rozumowania i poparty przykładami z rys. 3 i 6-10 można stwierdzić, że wpływ zmiennego obciążenia powoduje (rys. 11):

- modulację AM sygnału zazębienia;
- modulację FM sygnału zazębienia;
- modyfikację amplitud składowych lub grup składowych (pasm) spowodowanych oddziaływaniem obudowy i tzw. ścieżki transmisji,
- modyfikację wartości cech diagnostycznych.

2. PROCEDURY IDENTYFIKACJI OBCIĄŻENIA CHWILOWEGO

Istotą diagnostyki drganiowej jest detekcja zmiany stanu technicznego na podstawie cech diagnostycznych. W przypadku gdy wartość cech zależy od wartości chwilowej obciążenia można postawić pytanie co jest obiektem oceny: zmiana obciążenia czy obiekt?

Identyfikacja (wyodrębnienie) chwilowej informacji o wartości obciążenia i jej wykorzystanie do normalizacji (a w zasadzie skalowania) wartości cech diagnostycznych na podstawie której dokonana zostanie diagnoza jest absolutnie niezbędne.

Wykorzystując zależności przedstawione na rys. 6 (charakterystyka silnika) pomiędzy prędkością obrotową, a obciążeniem można charakteryzować wpływ obciążenia zarówno poprzez śledzenie

chwilowej wartości obciążenia bądź prędkości wejściowej.

2.1. Metody pozyskiwania informacji o obciążeniu

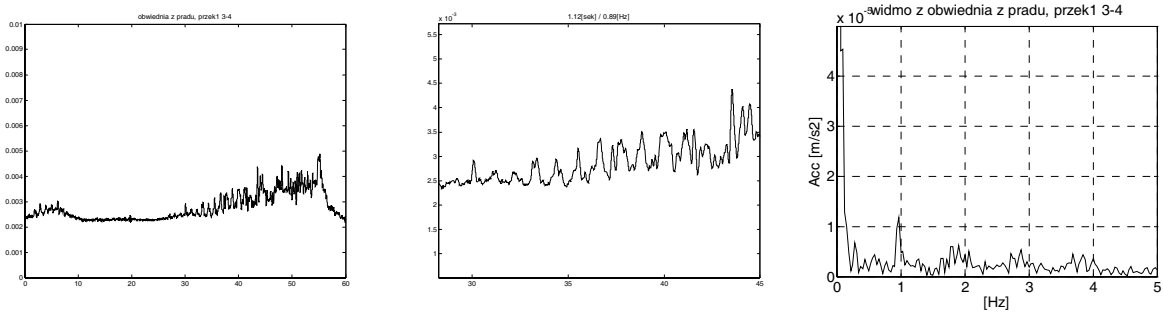
- **Bezpośrednia** - przez pomiar prądu pobieranego przez silnik

Wadą tej metody jest nie uwzględnianie wpływu sprzęgła Voitha (występujących poślizgów) – pomiar jest realizowany na silniku a rzeczywiste obciążenie przekładni może być inne.

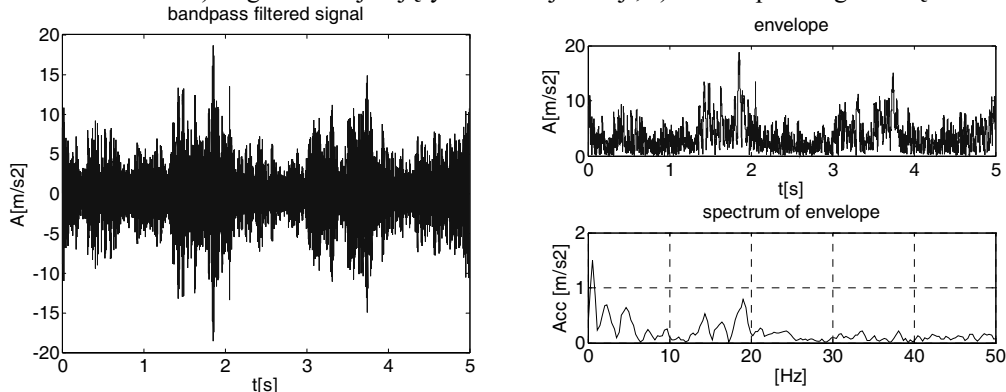
Na rys. 12a przedstawiono przykładowy przebieg obciążenia zarejestrowany na silniku. Widoczne są duże zmiany w poborze mocy wywołane zmianą obciążenia. Analiza fragmentu przebiegu pokazuje charakterystyczną cykliczność zmian obciążenia – analiza widmowa przebiegu jednoznacznie identyfikuje częstotliwość tych zmian która wynosi ok. 0.9 Hz i jest zgodna z częstotliwością czerpaka wyznaczoną w tabeli 1.

- **Pośrednia** - z wykorzystaniem informacji zawartej w sygnale drganiowym (demodulacja).

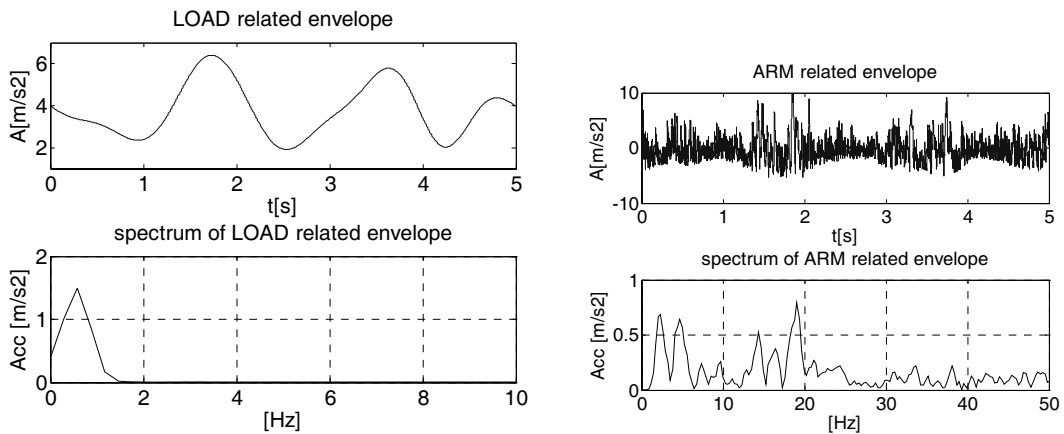
Stander [12, 13] zaproponował procedurę wykorzystującą zjawisko modulacji amplitudowej. Procedura polega na uzyskaniu wolnozmiennnej części obwiedni, która zawiera informacje o obciążeniu. Poniżej przedstawiono wyniki procedury w zastosowaniu do badanej przekładni.



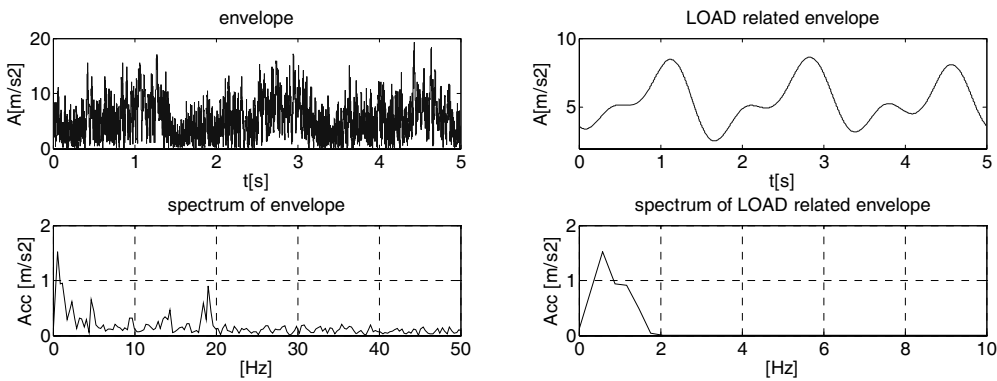
Rys. 12. Analiza obciążenia dla przekładni 1 sygn. 3-4– a) przykładowy przebieg obciążenia zarejestrowanych na silniku b) fragment obejmujący 30-50s rejestracji, c) widmo przebiegu obciążień



Rys. 13. Odfiltrowany przebieg czasowy (rys. a) obwódnie (rys. b) i widmo obwódnie (rys. c)



Rys. 14. Odseparowane modulacje pochodzące od zmian obciążenia (a) obwódnie b) widmo obwódnie i nieprawidłowej pracy jarzma (c) obwódnie, d) widmo obwódnie)

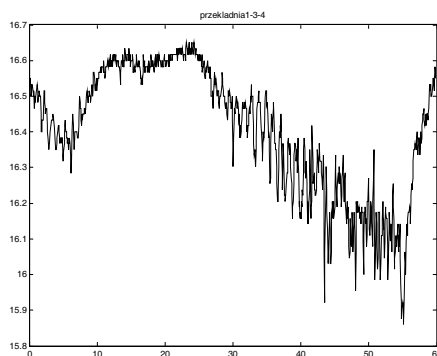


Rys. 15. Obwódnie i widmo obwódnie przed separacją (rys. a, b) oraz wyekstrahowana część obwódnie związana z obciążeniem (rys. c, d)

Praktyczne wykorzystanie tej procedury nastęrcza sporo trudności ze względu na niewielkie różnice w częstotliwości zmian obciążenia i częstotliwości jarzma oraz postać sygnału obciążenia (sygnał o określonym paśmie częstotliwości). Problemy związane z separacją tych sygnałów zostały zasygnalizowane w pracach [2, 9]. Poza tym uzyskana w ten sposób informacja o obciążeniu może być zakłócona przez wpływ obudowy

- **Pośrednia** - analiza prędkości chwilowej.

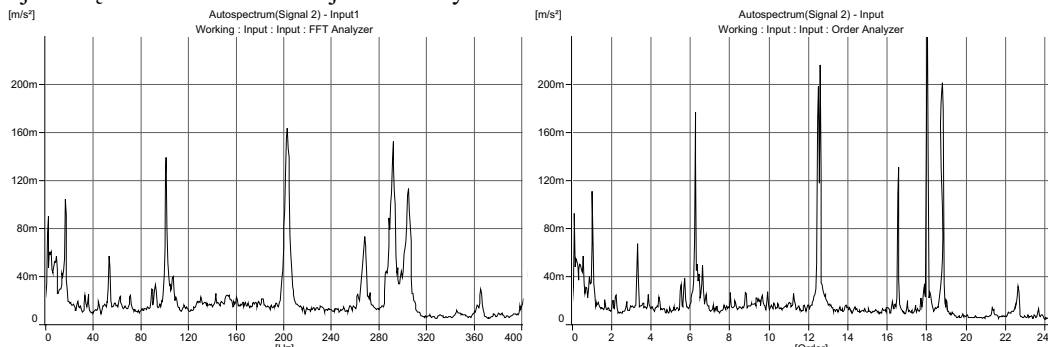
Wadą tej metody jest konieczność pomiaru prędkości obrotowej a zatem dodatkowego toru pomiarowego i odpowiedniego oprogramowania do przetwarzania sygnału. Ze względu na rejestrację w warunkach eksploatacyjnych pomiar nie zawsze jest możliwy z przyczyn technicznych (elementy wirujące są zwykle zabudowane ze względów BHP). Przedstawiony na rys. 16 przykładowy profil prędkości został wyznaczony dla sygnału zarejestrowanego w tym samym czasie co sygnał obciążenia z rys. 12. Widoczna jest ujemna korelacja pomiędzy chwilową wartością prądu i prędkości.



Rys. 16. Przykładowy profil prędkości dla przekładni 1 sygn. 3-4

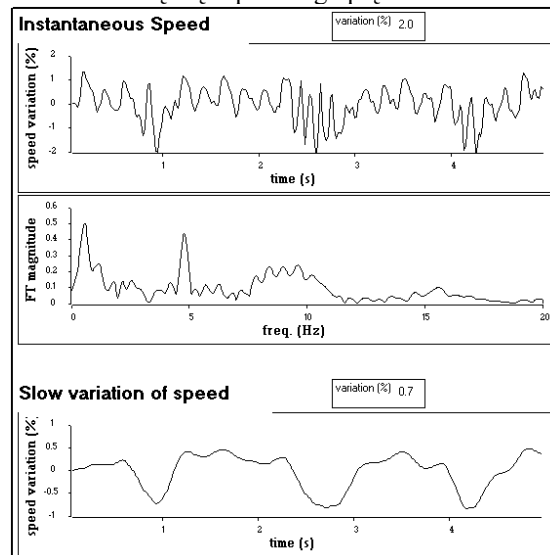
- **Pośrednia** - z wykorzystaniem informacji o prędkości chwilowej zawartej w sygnale drganiowym.

W pracy [10] zaproponowano procedurę przepróbkowania sygnału do dziedziny kąta co pozwala „wygładzić” widmo i usunąć efekty rozmycia spowodowane przez fluktuacje prędkości obrotowej. Procedura działa poprawnie w niewielkim zakresie zmienności prędkości. Próby zastosowania tej procedury do pozyskania informacji o częstotliwości chwilowej dla badanych



Rys. 18. Widmo i widmo rzędów – zakres analizowanych częstotliwości (0 – 400) Hz

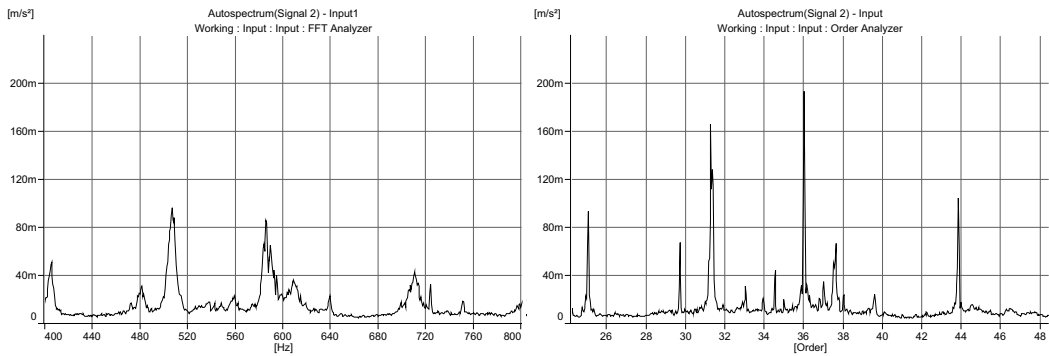
przekładni zakończyły się niepowodzeniem. Zimroz i Combet [16] zaproponowali nową metodę pozyskiwania informacji o chwilowej wartości częstotliwości co w prosty sposób prowadzi do informacji o prędkości wejściowej. Na rys. 17 pokazano wynik estymacji wartości chwilowej prędkości (warto zwrócić uwagę na zaburzenia występujące dla $t=\{1; 2,5; 4,2\}$), widmo tego przebiegu z wyraźnymi składowymi (0,55Hz – obciążenie, 4,5 Hz jarzmo) i odseparowaną wolnozmienną część przebiegu prędkości



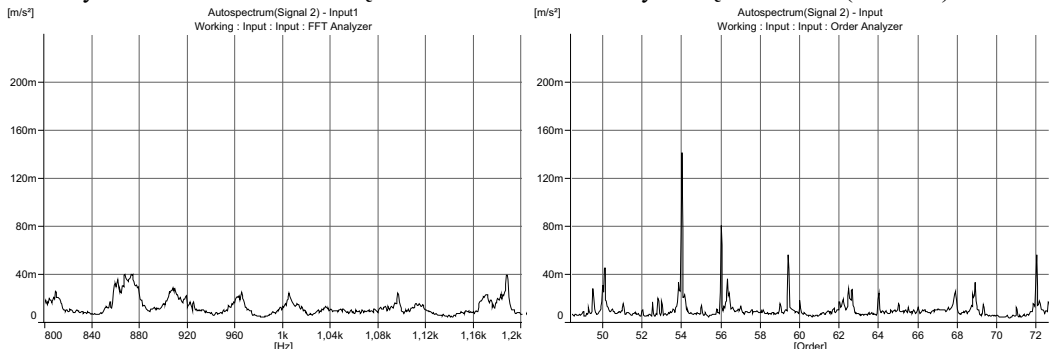
Rys. 17. Wynik procedury estymacji chwilowej wartości prędkości a) przebieg prędkości b) widmo sygnału z rys a) – widoczne składowe związane z obciążeniem i jarzmem (4,5Hz) c) wolnozmienna część sygnału związana ze zmianami obciążenia

3. ANALIZA RZĘDÓW

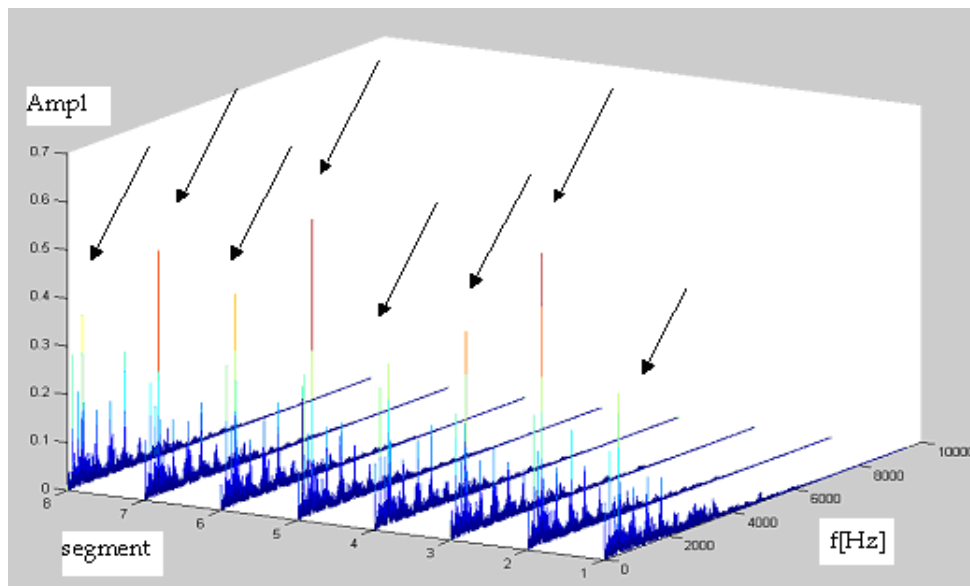
Jak już wspomniano jednym z problemów w analizie sygnałów z przekładni pracującej w warunkach zmiennego obciążenia jest fakt rozmycia widma. Efekt ten uniemożliwia czasem zidentyfikowanie składowych w widmie o charakterystycznych częstotliwościach i zawsze przekłamuje ich amplitudę. W przypadku małej zmienności obciążenia i braku oddziaływania obudowy można wykorzystać analizę rzędów (zob. także [14]).



Rys. 19. Widmo i widmo rzędów – zakres analizowanych częstotliwości (400-800) Hz



Rys. 20. Widmo i widmo rzędów – zakres analizowanych częstotliwości (800 – 1200) Hz



Rys. 21. Widmo wodospadowe sygnałów dla tego samego obiektu

Jak pokazano na rys. 18-20 uzyskano zdecydowana poprawę „przejrzystości” widma – nie jest rozmyte i możliwa jest precyzyjna identyfikacja składowych związanych z zazębieniem.

Zdaniem autorów dla analizowanego obiektu ta metoda nie zawsze może być zastosowana ze względu na duże wahania chwilowej wartości amplitud składowych – analiza rzędów koryguje widmo na osi częstotliwości – a nie amplitud. W tym przypadku analiza rzędów może zostać wykorzystana jako metoda pomocnicza w celu np. wstępnej identyfikacji struktury częstotliwościowej sygnału.

Na rys. 21 pokazano widmo wodospadowe wyznaczone z 4 sygnałów o długości 5s każdy. Sygnały te zarejestrowano w krótkich odstępach czasu wynikających z procedury pomiarowej systemu diagnostycznego. Dla wykazania zmienności amplitud z 4 realizacji utworzono 8 sygnałów po 2.5 s każdy. Zakres zmienności najważniejszej składowej (1 harmoniczna zazębienia stopnia planetarnego – oznaczona strzałkami) wynosi 100% (amplitudy: 0.3-0.6). Przy takim zakresie zmienności amplitud uśrednianie wydaje się nieuzasadnione.

4. WNIOSKI

W pracy wykazano że dla układów napędowych pracujących w napędach koła czerpakowego koparki kołowej ze względu na charakter pracy organu urabiającego i jego konstrukcję występuje duża zmienność obciążenia zewnętrznego w przekładni zębatej. Zmienność ta znacząco wpływa na postać sygnału drganiowego generowanego przez przekładnię. Wpływ ten dotyczy zarówno modyfikacji amplitud określonych składowych w widmie sygnału jak i modyfikacji struktury częstotliwościowej sygnału. Wskazano potencjalne przyczyny oddziaływania i przytoczono zaproponowane wcześniej modele zjawisk zachodzących w przekładni pracującej w warunkach zmiennego obciążenia. W procesie diagnozowania stanu technicznego wpływ zewnętrznego obciążenia musi zostać uwzględniony a wartość cech odpowiednio przeskalowana. Pozyskanie informacji o zmienności obciążenia ma zatem kluczowe znaczenie. W pracy przedstawiono możliwe podejścia w identyfikacji zmienności obciążenia i wskazano możliwe kłopoty z wyodrębnieniem informacji związane z konkretnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi. Wykazano że w niektórych przypadkach analiza rzędów pozwala uzyskać „czytelne” widmo w sensie częstotliwości ale poprzez uśrednianie wartości chwilowych amplitud składowych charakterystycznych może prowadzić do błędnej oceny stanu przekładni.

*Praca naukowa finansowana ze środków
Komitetu Badań Naukowych w latach 2005- 2008
jako projekt badawczy*

5. LITERATURA

- [1] Bartelmus W. *Diagnostyka Maszyn*. Górnictwo Odkrywkowe wyd. Śląsk 1988.
- [2] Bartelmus W., Zimroz R. *Identyfikacja warunków eksploatacyjnych na potrzeby diagnostyki przekładni planetarnej do napędu koła czerpakowego*. Diagnostyka 1(37)/2006.
- [3] Bartelmus W., Zimroz R. *Bucket wheel load variability identification on vibration analysis*. Mine Planing Equipment Selection 2006 Torino.
- [4] Bartelmus W., Zimroz R. *Influence of random varying load to vibration signal generated by gearboxes driving bucket wheel in excavators*. COMADEM 2006 Lulea.
- [5] Bartelmus W., Zimroz R., Hrynyszyn S. *Diagnostyka uszkodzeń lokalnych na podstawie sygnału drgań w maszynach górniczych*. Górnictwo Odkrywkowe 2005.
- [6] Bartelmus W., Zimroz R. *Planetary gearbox vibration signal analysis for condition monitoring*. COMADEM Conference Cranfield 2005.
- [7] W. Bartelmus, R. Zimroz, W. Sawicki, *Raport z projektu "Metoda diagnostyki drganiowej przekładni planetarnych w zmiennych warunkach obciążenia i z uwzględnieniem cyklostacjonarnej analizy sygnału"*. Etap I „Wykonanie pomiarów drgań złożonych układów z przekładniami planetarnymi”.
- [8] W. Bartelmus, R. Zimroz, W. Sawicki, S. Hrynyszyn. *Planetary Gearbox Condition Monitoring*. Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka 2005.
- [9] Bartelmus W., Zimroz R., Hrynyszyn S., *Identyfikacja warunków eksploatacyjnych na potrzeby diagnostyki przekładni planetarnej do napędu koła czerpakowego*. Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn Węgierska Górka 2006.
- [10] F. Bonnardot, M. El Badaoui, R. B. Randall, J. Danière, F. Guillet, *Use of the acceleration signal of a gearbox in order to perform angular resampling (with limited speed fluctuation)*, Mechanical Systems and Signal Processing 19 (2005), 766-785.
- [11] Randall R. B. *A new method of modeling gear faults*. 1982 Journal of Mechanical Design 104, 259-267.
- [12] Stander C. J., Heyns P. S., Schoombie W. *Using Vibration Monitoring For Local Fault Detection on Gears Operating Under Fluctuating Load Conditions*. Mechanical Systems And Signal Processing (2002) 16(6), 1005-1024
- [13] Stander C. J., Heyns P. S., *Fault detection on gearboxes operating at varying speeds and loads*, Proceedings of the 13th International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management, Houston, Texas, 3-8 December 2000, pp. 1011-1020.
- [14] Wojnar G., Łazarz B., Madej H: *Diagnozowanie przekładni zębatych w przypadku pracy ze zmiennymi w czasie prędkościami obrotowymi i obciążeniami*. Ogólnopolska Konferencja Diagnostyka Maszyn Węgierska Górka 2006.
- [15] Zimroz R. *Modelowanie sygnałów drganiowych generowanych przez przekładnie planetarne w warunkach zmiennego obciążenia* DIAG 2006
- [16] Zimroz R., Combet F. *Time varying outer load and speed estimation by vibration analysis – application to planetary gearbox diagnosis in a mining bucket wheel excavator*. DIAG 2006, reprinted in DIAGNOSTYKA 4(40) 2006, pp.7-14
- [17] Zimroz R. *Metoda diagnostyki wielostopniowych przekładni zębatych w układach napędowych przenośników taśmowych z zastosowaniem modelowania*. Rozprawa doktorska, Politechnika Wrocławska Wrocław 2002.

DIAGNOZOWANIE I MONITORING STRUKTUR PROMIENIUJĄCYCH POD KĄTEM ZAGROŻEŃ STWARZANYCH DLA APARATURY I LUDZI

Eugeniusz GRUDZIŃSKI¹, Witalij NICZOGA², Ivan PRUDYUS²

¹Institut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki, Wydział Elektroniki, Politechnika Wroclawska 50-370 Wroclaw, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, fax: (071) 322 34 73, email: eugeniusz.grudzinski@pwr.wroc.pl

²Institut Radioelektroniki, Telekomunikacji i Technik Elektronicznych Narodowego Uniwersytetu „Politechnika Lwowska” email: nich@ipm.lviv.ua, iprudus@polynet.lviv.ua

Streszczenie

Pola elektromagnetyczne wykorzystywane są dzisiaj we wszystkich dziedzinach życia ludzkiego. Począwszy od kuchenek mikrofalowych w gospodarstwie domowym, poprzez przemysł, medycynę, telekomunikację, radionawigację i przemysł obronny pola elektromagnetyczne znajdują wszędzie praktyczne zastosowanie. Znane są przypadki „samoistnego” otwierania się bram, garaży, uruchamiania sygnalizacji zabezpieczającej w energetyce lub kopalniach, zakłócenia pracy systemów pokładowych samolotów czy też wyzwalania zapalników bomb, min, itp. Wymaga to określenia zagrożeń stwarzanych przez te źródła dla ludzi jak też aparatury dla ich ochrony.

Słowa kluczowe: ochrona przed polami elektromagnetycznymi, bezpieczeństwo pracy, ochrona środowiska.

DIAGNOSTICS AND MONITORING OF RADIATING SOURCES REGARDING HAZARDS FOR PEOPLE AND EQUIPMENT

Summary

Today electromagnetic fields are used in practically all areas of human activity: in household microwave ovens, industry, medicine, telecommunications, radio navigation, the defense industry and so on. Cases of gates and garage doors opening of themselves, interference with the functioning of planes' onboard systems, setting off bombs, etc., are reported. For this reason hazards posed to both people and equipment by EMF sources should be determined in order to protect them.

Keywords: protection against electromagnetic radiation, work safety, environment protection.

1. WSTĘP

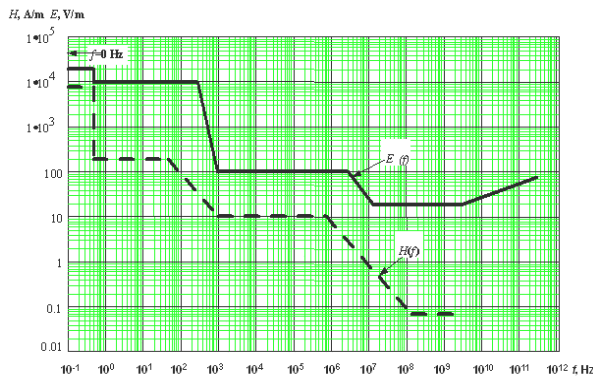
Współczesna cywilizacja wiąże się z wytwarzaniem coraz to większych ilości energii zawartych w bardzo szerokim zakresie częstotliwości. Począwszy od sieci i urządzeń elektroenergetycznych powszechnego użytku takich jak np. kuchenki mikrofalowe, telefony komórkowe, radiotelefony, urządzenia zdalnego sterowania, znajdujące się w naszych domach, poprzez monitory ekranowe i takie źródła jak: stacje nadawcze radiowe i telewizyjne, urządzenia radionadawcze występują dzisiaj w otoczeniu każdego człowieka [1].

Właściwości pola elektromagnetycznego (PEM) wykorzystywane są z powodzeniem zarówno przez przemysł i medycynę jak i wojsko. Jednym z takich przykładów są obecnie coraz częściej stosowane zapalniki bomb lub min odpalane lub wyzwalane drogą radiową. Z braku odpowiedniego zdiagnozowania problemu dochodzi w związku z tym do wypadków „samoistnych” detonacji bomb

(w wyniku uruchomienia zapalnika) lub wybuchu min od różnego rodzaju „przypadkowych” PEM w tym także podczas rozpoznawania pola minowego od pola promieniowanego przez indukcyjne wykrywacze min wykorzystywane w wojsku przez saperów [2].

Przebiegi dopuszczalnych poziomów natężeń pól elektromagnetycznych obowiązujących obecnie w Polsce dla całego zakresu częstotliwości dla obu składowych E i H PEM przedstawiono na rys. 1.

Zasady bezpieczeństwa pracy, ochrony ludności i środowiska przed szkodliwym działaniem pola elektromagnetycznego są w różnych krajach ustalone mniej lub bardziej szczegółowymi przepisami [3, 4]. W Polsce przepisy te wymagają między innymi, wstępnego oszacowania natężenia pola, prowadzenia okresowych pomiarów natężenia pola w otoczeniu tych obiektów, stosowania środków ochronnych, itp.



Rys. 1. Przebiegi dopuszczalnych poziomów natężeń PEM obowiązujących w Polsce

Dla prawidłowego wyznaczenia pola elektromagnetycznego często w warunkach terenowych niezbędna jest aparatura kontrolno-pomiarowa pokrywająca zarówno zadane pasma częstotliwości jak i poziomy mierzonych natężeń [3]. Przyrządy do pomiaru natężenia pola elektrycznego, magnetycznego i gęstości mocy mikrofalowej, pracujące w zakresie częstotliwości od pól statycznych po fale milimetrowe, opracowane i wykonane w Pracowni Ochrony Środowiska Elektromagnetycznego Politechniki Wrocławskiej są szeroko stosowane przez krajowe i zagraniczne służby kontrolno-pomiarowe. Przykładowy widok miernika i sond przedstawiają rys. 2, 3, 4 [4].



Rys. 2. Widok zestawu miernika MEH z sondami na pasmo od 1 kHz-3 GHz

Przykładowy widok miernika pola magnetycznego opracowanego na Ukrainie i jeden ze sposobów jego wykorzystywania podczas pomiarów prowadzonych wewnątrz i w bezpośrednim otoczeniu pojazdów samochodowych przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Miernik pola magnetycznego i jego praktyczne wykorzystanie

Na rys. 3, 4 i 5 przedstawiono sposób wykorzystania mierników PEM w różnych zakresach częstotliwości od kilku Hz do kilkudziesięciu GHz.



Rys. 4. Pomiary miernikiem MEH z sondą na pasmo od 300 MHz-50 GHz

Autorzy tego opracowania od wielu lat stosownie do aktualnych krajowych potrzeb w tej dziedzinie metrologii zajmowali się opracowaniami różnych typów sond i mierników pola elektromagnetycznego przeznaczonych do pracy w różnych przedziałach częstotliwości i mierzonych natężeń [5, 6]. Na Politechnice Lwowskiej wykorzystywane były w budowanych modelach mierników znane właściwości czujników pola elektromagnetycznego w funkcji częstotliwości, natomiast na Politechnice Wrocławskiej od ponad trzydziestu lat przyjęto jako standard opracowania szerokopasmowych a nawet superszerokopasmowych mierników pola elektromagnetycznego przy bardzo mocnym założeniu, że ich czułość winna być stała i największa w jego zadanym paśmie pomiarowym.

2. URZĄDZENIA ENERGETYCZNE

Jedną z powszechnie występujących w naszym bezpośrednim otoczeniu źródeł PEM jest częstotliwość 50 Hz pochodząca od instalacji elektroenergetycznych. Nim dotrze ona do naszych mieszkań i zakładów pracy wytwarzana jest w generatorach różnego rodzaju elektrowni. Duże gabaryty i moce tych generatorów oraz konieczność ciągłej kontroli poprawności pracy szeregu poszczególnych ich podzespołów możliwa jest poprzez stosowanie różnych systemów sygnalizacji i zabezpieczeń oraz układów automatyki i sterowania.

Przykładowy widok bloku energetycznego a także rodzaju i wielkości jego okablowania wraz z biegnącymi wzdłuż niego kablami i przewodami do pomiaru i sygnalizacji np. aktualnej temperatury łożysk generatora przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Wyznaczanie rozkładu PEM w otoczeniu instalacji zasilających różnych systemów

Szkodliwe oddziaływanie PEM objawiało się tutaj zakłócaniem własnych systemów zabezpieczania i ostrzegania poprzez uruchamianie alarmów i sygnalizowane rzekomego przekroczenia temperatury łożysk narzucając nieuzasadnione wyłączenie bloku. Monitoring i analiza rozkładów PEM w otoczeniu takiego bloku dla danego sposobu prowadzenia kabli pozwoliła na postawienie diagnozy o szkodliwym wpływie dużych poziomów pola magnetycznego związanego z wielkością aktualnie przepływającego prądu. Jego wielkość zależna od chwilowego obciążenia systemu energetycznego powodowała indukowanie się PEM w biegnących obok nich ekranowanych przewodach systemu sygnalizacji i sterowania. Nie pomogły tutaj zastosowane przez służby odpowiedzialne za monitoring i utrzymanie ruchu parametry wykorzystanych kabli w układach i instalacjach do kontroli i sygnalizacji. Ich dane katalogowe zapewniają rzeczywiście bardzo dobrą skuteczność ekranowania tyle, że dla w.cz. a nie częstotliwości sieciowej.

Trudno wyobrazić sobie dzisiaj życie bez elektryczności i różnego rodzaju urządzeń zasilanych energią elektryczną, co wiąże się z koniecznością doprowadzenia prądu elektrycznego do naszych miast, wsi, osiedli, domów, mieszkań. Wytwarzana w takich blokach energia elektryczna przesyłana jest za pomocą sieci elektroenergetycznych wysokiego a następnie niskiego napięcia do naszych domów, mieszkań, zakładów pracy, szpitali, itp. i jest częstotliwością, z którą wszyscy mamy powszechnie do czynienia [7]. Instalacje elektroenergetyczne wysokiego i średniego napięcia przecinają każdy kraj, a nawet duże miasta, wzdłuż i wszerz i tylko w samej Polsce mają długość rzędu kilkudziesięciu tysięcy kilometrów. W wyniku przeprowadzonego monitoringu w świetle obowiązujących przepisów największe „zagrożenie optyczne” stwarzają widoczne z okien lub balkonów linie wysokiego napięcia przebiegające często w bezpośrednim otoczeniu budynków, co ilustruje rys. 6.

Znacznie większe efekty „terapeutyczne” co do szkodliwości odnosi dopiero ich porównanie z polami występującymi w pobliżu instalacji elektrycznej wszechobecnej w mieszkaniach i zasilanych z niej urządzeń powszechnego użytku takich jak np. czajnik elektryczny, suszarka czy lutownica, kuchenka elektryczna, odbiornik radiowy lub telewizyjny, toster, gofrownica, komputer, spawarka, itp.



Rys. 6. Sieć elektroenergetyczna wysokiego napięcia

Pola elektromagnetyczne wytwarzane przez tego typu urządzenia wykorzystywane w gospodarstwie domowym są dobrze rozpoznane i nie stanowią bezpośredniego zagrożenia dla ludzi natomiast są głównie źródłem zakłóceń dla znajdujących się w pobliżu odbiorników radiowych, telewizyjnych, itp.

Przykład oddziaływania sieci elektroenergetycznej 50 Hz na ludzi stanowią inkubatory. Na rys. 7 przedstawiono 2 typy inkubatorów podczas wykonywania pomiarów PEM w ich bezpośrednim otoczeniu oraz wewnątrz. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że indukowane wewnątrz inkubatorów pola elektromagnetyczne pomimo bardzo małej częstotliwości i relatywnie dużych najwyższych dopuszczalnych natężeń oddziałują na bardzo małe i słabe istoty. Z racji zagrożenia dla ich życia winny być one dodatkowo chronione od innych zagrożeń, a w tym przypadku od nadmiernego napromieniowywania przez pole elektromagnetyczne.



Rys. 7. Inkubatory podczas wyznaczania PEM

Jednym z głównych źródeł PEM (występującego w inkubatorach i ich bezpośrednim otoczeniu) jest składowa magnetyczna wytwarzana przez grzałkę elektryczną wykorzystywaną do utrzymywania stałej znacznie wyższej od temperatury otoczenia temperatury wewnątrz inkubatora. Dawka napromieniowania zależna jest tutaj od czasu przebywania w inkubatorze, różnicy temperatur występujących w pomieszczeniu, a także od częstotliwości ingerowania z zewnątrz przez personel medyczny. Widok pulpitu sterowniczego jednego z inkubatorów z sygnalizacją aktualnej

temperatury otoczenia i ustalonej temperatury panującej wewnątrz przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Panel sterowniczy typowego inkubatora

3. POJAZDY DROGOWE I SZYNOWE

Pomimo ciągle rosnących cen paliw samochód jest dzisiaj powszechnie stosowanym środkiem transportu. Instalacje elektryczne niskiego napięcia rozprowadzone wiązką elektryczną po całym pojeździe powodują, że przepływający przez nie prąd jest źródłem pola magnetycznego. Na kierowcę oddziałują, więc PEM wytwarzane przez sam pojazd samochodowy a także w opinii wielu autorów także pola indukowane „spotykane” przez kierowców w czasie jazdy. Prace takie prowadzone są i były w wielu krajach. Dowodem na to mają być często spotykane, nawet na prostych odcinkach dróg, znaki (tzw. czarne punkty) ostrzegające kierowców, stąd próba przebadania niektórych z nich pod kątem oddziaływania PEM w relacji do ilości kolizji drogowych [2]. Widoczne są tu różnice w poziomach zmierzonego PEM na prostym odcinku drogi (pkt. 1, 2, 3) i znajdującej się obok miejscowości (pkt. 4, 5, 6) (rys. 9). Z tego też powodu prowadzone są dalsze prace badawcze nad oddziaływaniem na kierowcę PEM występującego w tzw. czarnych punktach, itp.



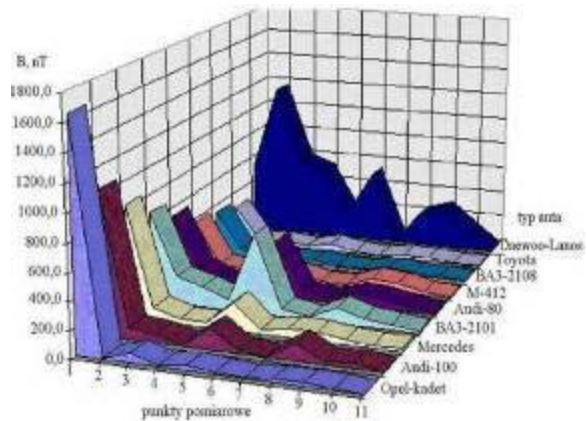
Rys. 9. „Czarny punkt” i przykładowe zmiany PEM w okolicy jednego z nich

Przykładowe pomiary pól elektromagnetycznych prowadzonych w otoczeniu różnego typu pojazdów samochodowych przedstawiono na rys. 3 i 10.



Rys. 10. Wyznaczanie PEM w otoczeniu różnego rodzaju pojazdów

Uzyskane wyniki pomiarów i rozkłady PEM generowanych przez instalacje elektryczne różnych pojazdów w zależności od jego marki przedstawiono na rys. 11. Podobne pomiary przeprowadzono dla różnego typu pojazdów szynowych, elektrobusów i maszyn pracujących na trakcjach elektrycznych w Polsce i Ukrainie.



Rys. 11. Przykładowe rozkłady zmian PEM dla kilku różnych samochodów

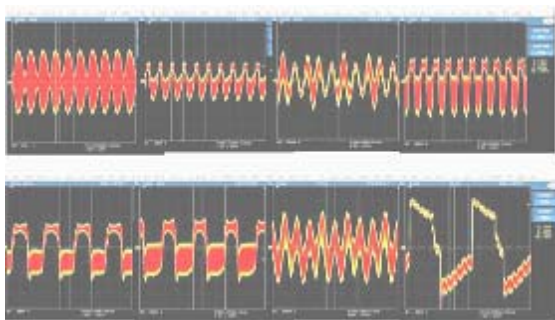


Rys. 12. Pomiary w otoczeniu taboru i traktów kolejowych

Generalnie zwiększone poziomy pola magnetycznego występują tutaj najczęściej bezpośrednio za plecami maszynisty i pochodzą głównie od przewodów prowadzących prąd z pantografu. W przypadku tzw. trójczłonów najczęściej były to miejsca przeznaczone dla podróżnych a znajdujące się bezpośrednio nad siłnikami.

4. TELEFONIA STACJONARNA

Coraz częściej pojawiają się problemy związane z brakiem odporności na PEM urządzeń powszechnego użytku, a nawet całych systemów. PEM może oddziaływać, bowiem bezpośrednio na badany obiekt lub poprzez sprzężenie się z dołączonymi do urządzenia doprowadzeniami stanowiącymi potencjalną anteną odbiorczą. Jednym z takich systemów jest telefonia stacjonarna. Sieć dostępową oraz dystrybucyjną telefonii stacjonarnej jest niezwykle rozbudowana i wbrew pozorom pomimo pracy w stosunkowo niskim zakresie częstotliwości szczególnie podatna na oddziaływania pola elektromagnetycznego. Często dochodzi tutaj do pojawiania się sygnałów zniekształcających sygnał w słuchawce mikrofonu telefonu stacjonarnego. Gdy wymiana aparatu nie dała zadowalających skutków zaczęto poszukiwać ewentualnego źródła tych zakłóceń. Przeprowadzone zostały wstępne pomiary poziomu natężenia pola elektromagnetycznego miernikiem MEH w całym zakresie częstotliwości od 5 Hz – 50 GHz, a dla określenia „potencjalnego sprawcy” wykonano także jego dokładną analizę widmową. Wynik tego oddziaływania pierwotnie słyszalny tylko w telefonie spowodował w konsekwencji wyeliminowanie zagrożenia pochodzącego od pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez źle skonfigurowany system anten stacji bazowej telefonii komórkowej. Zarejestrowany przykład odpowiedzi telefonu na zwiększony poziom PEM (mający swój fizyczny, bo słyszalny wpływ na pracę telefonów abonenckich) został przedstawiony na rys. 12 w postaci odpowiedzi telefonu napromieniowywanego w układzie wzorca z linią TEM pracującą w zakresie częstotliwości od 30 – 1000 MHz.



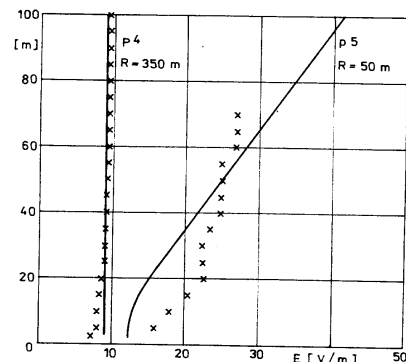
Rys. 12. Przykładowe odpowiedzi telefonu na PEM z zakresu 30-1000 MHz

Jest to klasyczny przykład braku odpowiednich norm dotyczących konieczności badania telefonów również w tym zakresie, w których to „same pięknie gadają” szczególnie te umieszczone w pobliżu stacji bazowej telefonii komórkowej. Sytuacja jest jeszcze o tyle ciekawsza ze zmierzony PEM są znacznie poniżej dopuszczalnych poziomów uznanych za bezpieczne dla ludzi powodując natomiast znaczne

zakłócanie pracy różnego rodzaju sprzętu i urządzeń poczynając od zwykłego telefonu.

5. NADAJNIKI RADIOWE I TV

Obserwatorium astronomiczne w Piwnicach pod Toruniem ilustruje obawy, co do możliwości ewentualnego szkodliwego wpływu PEM na zaproponowaną lokalizację nadajnika długofalowego w pobliskim Solcu Kujawskim. Ze względu na znaczne moce (w przypadku nadajnika długofalowego są to MW) przed zatwierdzeniem nowej lokalizacji i podjęciem decyzji o jego budowie musiały być przeprowadzone dokładne badania, stwierdzające brak jakiegokolwiek wpływu PEM na cały znajdujący się w jego bezpośrednim otoczeniu kompleks obserwatorium po jego wybudowaniu. Było to zagadnienie niezmiernie istotne ze względu na dużą granicę strefy bezpiecznej dla ludzi sięgającą kilku kilometrów i nieznaną dotychczas oraz nierozpoznany wpływ PEM promieniowanego w tak niskim zakresie częstotliwości (fale długie) na aktualnie użytkowaną w/w obserwatorium aparaturę kontrolno-pomiarową oraz poszczególne jej podzespoły.



Rys. 13. Przewidywane rozkłady PEM w otoczeniu anten nadajnika i ich weryfikacja eksperymentalna

Dla praktycznego zrealizowania tego zadania przed podjęciem decyzji, co do poprawności przyjętej lokalizacji stacji nadawczej wykorzystano balon wielokrotnego użycia stosowany w Laboratorium Wzorców i Metrologii Pola Elektromagnetycznego PWt. do wynoszenia w przestrzeń bezkierunkowych sond pomiarowych miernika MEH i wyznaczania rozkładów PEM w przekrojach pionowych nawet do 400m. Na rys. 13 przedstawiono uzyskane wyniki z analiz teoretycznych zweryfikowane eksperymentalnie miernikiem MEH z sondą wynoszoną w przestrzeń za pomocą w/w balonu. Na rys. 14 przedstawiono widok z lotu ptaka całego kompleksu obserwatorium astronomicznego oraz wykorzystanie balonu wielokrotnego użycia do wynoszenia w przestrzeń tym razem anteny nadawczej wykorzystywanej do lokalnego opromieniowywania poszczególnych elementów anten oraz budynków i instalacji badanego obiektu i całego kompleksu obserwatorium.



Rys. 14. Widok kompleksu obserwatorium astronomicznego w Piwnicach pod Toruniem



Rys. 15. Połączenie masztu antenowego stacji bazowej telefonii komórkowej i sieci elektroenergetycznej

6. TELEFONIA KOMÓRKOWA

W ostatnich latach obserwuje się gwałtowny rozwój telefonii komórkowej. Obecnie w Polsce jest, około 30 mln posiadaczy ręcznych telefonów komórkowych. Szybki rozwój telefonii komórkowej powoduje, że stacje bazowe sytuowane są w zależności od gęstości zabudowy i potencjalnej ilości abonentów nawet, co kilkadziesiąt, a nawet kilkanaście metrów od siebie. Coraz większą popularnością cieszą się również tzw. mikrocele tzn. anteny montowane wewnątrz budynków przeznaczone tylko do ich obsługi. Mobilność systemów komunikacji obok bezspornych korzyści niesie jednak za sobą pewne niedogodności i niebezpieczeństwa wystąpienia tzw. niepokojów społecznych. Praktycznym takim „szkodliwym” przykładem może być transmisja poprzez sieć elektroenergetyczną, itp. pól wysokiej częstotliwości pochodzących od nadajników stacji bazowych telefonii komórkowej do mieszkań.

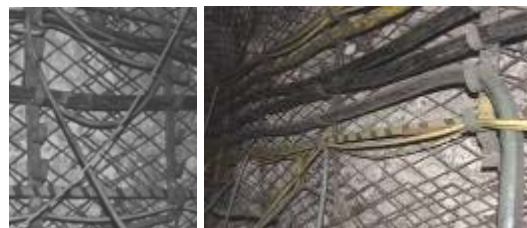
Szczególnie dotyczy to takich sytuacji, kiedy anteny stacji bazowych, z powodu protestów mieszkańców, zamiast na dachu jednego z osiedlowych bloków zostają umieszczone na wolnostojącym maszcie antenowym posadowionym obok lub na terenie pobliskiej podstacji elektroenergetycznej. Przykładowe usytuowania takich masztów antenowych stacji bazowej telefonii komórkowej i najbliższego ich otoczenia pokazano na rys. 15.

Szkodliwe oddziaływanie pola elektromagnetycznego ma dla niektórych ekip pomiarowych połączenie pola pochodzącego od sieci elektroenergetycznych z polem wytwarzanym przez anteny stacji bazowych telefonii komórkowej.

Poziom szkodliwego oddziaływania PEM pochodzącego rzekomo od telefonii komórkowej, we wszystkich nawiedzonych mieszkaniach namierzono tutaj tzw. „superszerokopasmowy” miernikiem smogu. Jednak zgodnie z instrukcją obsługi wskazania tego miernika są słuszne jedynie dla częstotliwości 50 Hz. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na relację pomiędzy dopuszczalnymi poziomami PEM uznanymi za bezpieczne dla zdrowia w różnych podzakresach częstotliwości. Dopuszczalne poziomy PEM, uznawane za bezpieczne dla zdrowia w różnych krajach generalnie rosną wraz z długością fali lub maleją z częstotliwością pracy źródła.

7. INNE ŹRÓDŁA

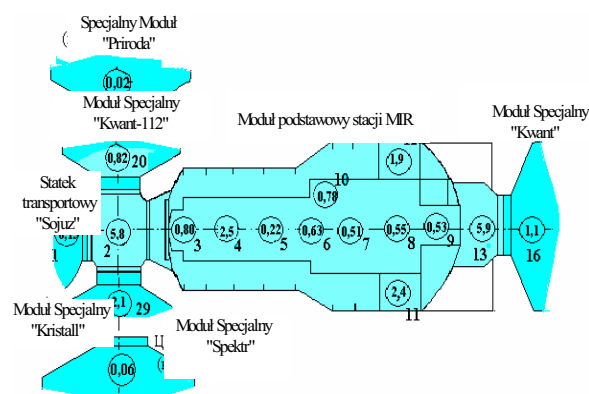
Kolejnym przykładem szkodliwego oddziaływania PEM na ludzi i aparaturę jest zakłócanie własnych systemów zabezpieczania i ostrzegania stosowane w kopalniach, itp. (dla zapewnienia bezpiecznej pracy ludzi i urządzeń) [7, 8]. Zakłócenia te pochodzą najczęściej od własnych urządzeń i systemów lub wprost od własnych instalacji elektroenergetycznych. Na rys. 16 przedstawiono przykładowy widok sposobu prowadzenia kabli energetycznych oraz biegnących wzdłuż niego kabli od sygnalizacji dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy w kopalniach.



Rys. 16. Przykładowe instalacje w kopalniach

Przechodząc w zakres znacznie większych wysokości szkodliwe oddziaływanie PEM zauważono także w kosmosie u astronautów. W czasie długotrwałych lotów, występowały u nich między innymi zaburzenia snu. Po wielu dociekliwych badaniach, w tym także po pomiarach rozkładu pola magnetycznego występującego we wnętrzu kabiny, stwierdzono że zamiana głowy z nogami podczas spania diametralnie poprawiła ich samopoczucie nie bez wpływu na bezpieczeństwo

i pomyślność prowadzonej misji. Przykład ilustrujący pomiary rozkładu PEM w statku kosmicznym oraz jego poziomy występujące w poszczególnych modułach zostały przedstawione na rys. 17 [7].



Rys. 17. Stacja kosmiczna MIR podczas prowadzenia pomiarów rozkładu PEM w poszczególnych modułach

Sygnalizowanie zagrożenia dla ludzi stanowi przykład stacji radarowych pracujących z mocami w impulsie rzędu MW zakłócających poprawny odbiór obrazu (a czasami i dźwięku) w trakcie odbioru programu telewizyjnego. Podczas analizowania rozkładów PEM okazało się, że pozwolenia na budowę zostały wydane na podstawie pomiarów przeprowadzonych na wysokości do 1.8 m „zgodnie z przepisami”, podczas gdy już istniejąca i nowo powstająca tam zabudowa znacznie te wysokości przekracza (rys. 18). Powodowało to lokalne przekroczenia dopuszczalnych poziomów PEM w mieszkaniach po otwarciu okien, na balkonach i tarasach oraz dachach budynków, podczas gdy w pobliżu stacji takie poziomy wcale nie występowały (rys. 19).



Rys. 18. Anteny stacji radarowych widoczne z okien mieszkania i placu zabaw nowo powstającego osiedla



Rys. 19. Brak zagrożenia w bezpośrednim otoczeniu „ogrodzenia” i przekroczenia daleko za ...

8. WNIOSKI

Szybki rozwój technologiczny powoduje, że naszym najbliższym otoczeniu pojawia się szereg urządzeń elektrycznych, elektronicznych i telekomunikacyjnych. Ich funkcjonowanie, związane z emisją pola elektromagnetycznego powstającego w ich otoczeniu, jako efekt bezpośrednio lub pośrednio związany z ich pracą oddziałuje zarówno na samą aparaturę jak i na obiekty biologiczne w tym szczególności ludzi.

Przykładem jest sieć elektroenergetyczna i wszystkie zasilane z niej urządzenia (w tym np. elektryczne ogrzewanie podłogowe) oraz ujawniająca się duża wrażliwość niektórych osób oraz systemów uczulonych na ten „niewidzialny” problem. Dochodzi też do paradoksalnych sytuacji, gdy na zamkniętym terenie na bramie wjazdowej sygnalizowana jest obecność źródła pola, a przekroczenia występują w znacznych odległościach poza ogrodzeniem terenu, na którym to „niebezpieczne źródło lub źródła” się znajdują (rys. 18, 19).

Duże poziomy zmienne w czasie natężenia prądu płynącego w instalacjach elektrycznych w kopalniach w zależności od aktualnego obciążenia systemu energetycznego powodują indukowanie się, zmiennych w czasie, PEM w biegnących obok nich przewodach systemów sygnalizacji, sterowania, itp. W efekcie doprowadza to do bardzo niebezpiecznych sytuacji w postaci nieuzasadnionych sygnalizacji nieistniejących ewentualnych zagrożeń, a w konsekwencji do ich bagatelizowania przez nadzór.

Określenie progu szkodliwego oddziaływania PEM z punktu widzenia tzw. napromieniowania ludzi wciąż nie jest jednoznaczne. Często przekroczenie granicy państwowej nawet sąsiadujących z sobą krajów zmienia te wartości graniczne lub nie daje wiedzy na ten temat z powodu luk w przepisach. Wynika to z faktu, iż badania dotyczące szkodliwego oddziaływania PEM są bardzo kosztowne i długotrwałe, a aktualna wiedza na ten temat jest wciąż bardzo powierzchowna.

PEM jest obecnie bardzo modnym a dodatkowo niewidzialnym czynnikiem związanym z ekologią i wpływem na zachowanie się zarówno ludzi, jak i wszelkiego rodzaju sprzętu oraz aparatury kontrolno-pomiarowej, itp.

Potwierdzeniem tego mogą być powszechnie dziś stosowane telefony komórkowe mające niemal samych zwolenników, natomiast konieczne do ich funkcjonowania wysokie wieże (maszty przekaźnikowe), które rosną jak grzyby po deszczu, budzą powszechne protesty. W praktyce objawia się to rosnącą ilością telefonów komórkowych (w Polsce 30 mln) oraz posługiwanie się nimi i napromieniowywanie się już przez przedszkolaków.

Podobnie jak dla różnorodnych mierników stosowanych w metrologii PEM w zależności od rodzaju pobudzenia uzyskiwane są różne i znacznie różniące się odpowiedzi (wskazania) otrzymujemy różne reakcje sprzętu elektronicznego w różnych przedziałach częstotliwości a nawet przy zmianie kierunku tych zmian. Podejmowane w związku z tym błędne decyzje i sposób sterowania poprzez „niepoprawne” zachowanie się w/w aparatury w otoczeniu zmiennego w czasie pola elektromagnetycznego decyduje bardzo często o odpowiedzialności za życie ludzkie i drogi sprzęt, na którym jest ono zamontowane. Wskazuje to na konieczność dalszego prowadzenia pomiarów w tej najmniej dokładnej dziedzinie metrologii, dalszej współpracy i wymiany doświadczeń tak w kraju jak i na arenie międzynarodowej. Laboratorium Wzorców i Metrologii Pola Elektromagnetycznego Politechniki Wrocławskiej prowadzi szereg badań różnej aparatury kontrolno-pomiarowej dysponując stanowiskami pierwotnych i wtórnych wzorców pola elektromagnetycznego pracujących w zakresie częstotliwości do 50 GHz [9].

Podobnie niewłaściwy dobór mocy i sposobu ustawienia anten telefonii komórkowej może również powodować zakłócenia w pracy innych systemów np. telefonii stacjonarnej, tak jak wydanie pozwoleń pod zabudowę mieszkaniową terenu na podstawie wyników pomiarów na wysokości do 1.8 m.

Jest to bardzo istotne gdyż oddziaływanie PEM na człowieka może zachodzić na skutek bezpośredniego odbioru energii przez organizm lub pośrednio w wyniku odbioru energii przez różnego rodzaju konstrukcje przewodzące np. duże konstrukcje naziemnych anten satelitarnych, żurawie i dźwigi, ogrodzenia czy pojazdy w kopalniach odkrywkowych, itp. (rys. 20). Skutkiem tego może być poprzez lokalne zwiększenie natężenia pola elektromagnetycznego również przepływ prądu przez ciało człowieka przy ich bezpośrednim dotknięciu.



Rys. 20. Konstrukcje i pojazdy w kopalniach odkrywkowych

W zależności od położenia, pogody, itp. w polach takich mogą występować także wyładowania, powodujące bezpośrednio zakłócenia radioelektryczne u okolicznych odbiorców RTV. Generalnie iskrzenia powstają w otwartych obwodach elektrycznych natomiast w obwodach zamkniętych następuje indukowanie się prądów. Mogą być one bezpośrednią przyczyną zagrożeń wybuchowych i pożarowych w składach lub stacjach paliw, kopalniach odkrywkowych, kamieniołomach, itp.

Oprócz tego energia pola elektromagnetycznego przez elementy jego bezpośredniego otoczenia może być również przyczyną zakłóceń w pracy szeregu automatycznych urządzeń kontroli i sterowania w elektrowni, kopalni a także powszechnie dziś stosowanych stymulatorów serca i elektronicznych implantach medycznych.

LITERATURA

- [1]. Grudziński E., Nichoga W.: *Małe i duże pola oraz ich "szkodliwa rola"*? Krajowe Sympozjum Telekomunikacji, KST 2005, Bydgoszcz 7-9 wrzesień 2005.
- [2]. Grudziński E., Nichoga W.: *Miara i wiara oraz ich wpływ na oddziaływanie pól elektromagnetycznych w środowisku człowieka*, URSI Poznań, 7 - 8. 04.2005, s.298-303.
- [3]. Grudziński E., Nichoga V., Sopilnyk L., *Aspekty aparaturowe w ochronie przed polami elektromagnetycznymi*, Biuletyn WAT, vol.LII, Nr 04 (2003) s.55-70.
- [4]. Grudziński E., Rozwalka K., *Szerokopasmowe pomiary pola magnetycznego w ochronie pracy i środowiska - stan dotychczasowy i najnowsze trendy*, Przegląd Elektrotechniczny nr 2/2004, ss. 81-88.
- [5]. Nichoga V., Grudzinski E., Dub P., Sopilnyk L., *Сравнительная оценка предельно допустимых уровней воздействия электромагнитных полей, нормированных в Польше, Украине и России и вопросы их метрологии*. V International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology, EMC-2003, Saint Petersburg, Russia, September 16-19, 2003, pp.381-384.
- [6]. Grudzinski E., Nichoga V., Sopilnyk L., *Problems with interpreting measurement result*

in electromagnetic field metrology due to differences and changes in national protective regulation, International Carpatian Conference on EMC, ICC'02, Rzeszow - Lancut, 19-20.09.2002, pp. I.1.1 - I.1.5.

- [7]. Grudziński E., Nichoga V., *Wpływ pola elektromagnetycznego na samopoczucie, zdrowie i bezpieczeństwo*, ELSAF'2005 „Bezpieczeństwo elektryczne”. Instytut Energoelektryki P.Wr., Wrocław, 14-16.09.2005, s. 177-186.
- [8]. Prudyus I. Prots R. Storozh V., *Protection noiseproof device on radiating cables*, TCSET 2006, Lviv-Slavsko, 28.02- 04.03.2006, ss. 262-265.
- [9]. Grudziński E., *Wytwarzanie i pomiar wzorcowych pól elektromagnetycznych*. Monografia, Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 1998, 178 s.



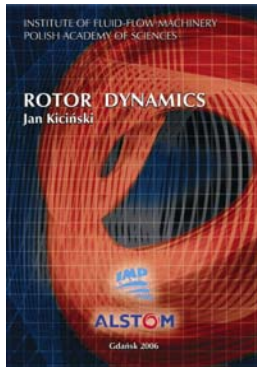
Dr hab. inż. **Eugeniusz GRUDZIŃSKI** urodzony w 1948r. Kierownik akredytowanego w PCA Laboratorium Wzorców i Metrologii Pola Elektromagnetycznego w zakresie częstotliwości do 50 GHz (AB 361, AP 078) w ITTA PWr. Autor i współautor 160 prac .



Prof. dr hab. inż. **Witalij NICZOGA** urodzony w 1938r. Pracownik Instytutu Mechaniczno - Fizycznego oraz Instytutu Telekomunikacji, Radioelektroniki i Techniki Elektronicznych Narodowego Uniwersytetu „Politechnika Lwowska” Autor i współautor 250 prac



Prof. dr hab. inż. **Ivan PRUDIUS** urodzony w 1942r. Dyrektor Instytutu Telekomunikacji, Radioelektroniki i Techniki Elektronicznych Narodowego Uniwersytetu „Politechnika Lwowska”. Autor i współautor ponad 170 prac



Rotor Dynamics **Jan KICIŃSKI**

The present monograph is a sort of summary of multi-years research activities, both personal and those conducted by the research team headed by prof. J. Kiciński. Most of all, the monograph presents a concept and research tool having the form of a coherent computer environment, bearing the name of MESWIR, which can be used for analysing the dynamic state of rotating machines within the linear and, most of all, non-linear range.

What is characteristic of the book is that it proposes a uniform and continuous model of system operation within the entire range of rotating machine rotational speed, including conditions when the stability limit is exceeded. This way, using one research tool we can analyse both qualitative transformation of the vibration pattern after the system exceeds the stability limit, and generation of non-elliptical displacement trajectories and complex vibration spectra within the stable regime of machine operation.

The present book includes voluminous material recorded during the experiments performed on real objects. Publishing this material was only possible due to author's cooperation with the domestic power industry and with over ten research teams, within the framework of large all-Polish Government Projects.

Of extreme importance here was the long lasting cooperation with ALSTOM Power Sp. z o.o., having their seats in Elbląg (Poland).



Condition Monitoring of Open Cast Mining Machinery **Walter BARTELMUS**

Książka "Condition Monitoring of Open Cast Mining Machinery" zajmuje się wykorzystaniem monitorowania stanu maszyn jako podstawowego elementu racjonalnego ich utrzymania. Zwrócono uwagę, że

w praktyce przemysłowej diagnostyka techniczna wykorzystywana jest w małym zakresie. Stan ten upatrywany jest w braku odpowiedniej wiedzy o metodach diagnostyki technicznej zarówno przez służby utrzymania maszyn oraz służby wykorzystujące je w eksploatacji. Powoduje to rozpowszechnienie metody diagnostyki technicznej maszyn jest niemożliwe. Dla poprawy sytuacji absolwenci uczelni technicznej powinni mieć podstawową wiedzę w tym zakresie. Książka jest głównie poświęcona maszynom górnictwa

odkrywkowego ale przedmiot diagnostyki technicznej jest traktowany w sposób ogólny tak więc może być ona stosowana do nauczania diagnostyki technicznej również dla innych maszyn. Zawartość książki umożliwia zrozumienie wpływu czynników konstrukcyjnych, technologicznych eksploatacyjnych i zmiany stanu maszyny na sygnał diagnostyczny. Książka jest wprowadzeniem do zrozumienia zagadnienia wpływu w/w czynników na sygnał diagnostyczny i daje czytelnikom podstawę do prawidłowego wnioskowania diagnostycznego.



Teoria i inżynieria systemów **Czesław CEMPEL**

Książka stanowi znakomite kompendium wiedzy z teorii i inżynierii systemów. Zaprezentowano klasyczne modele wzrostu systemów oraz metody twórczego myślenia. W odróżnieniu jednak od

wielu podręczników i skryptów książka przedstawia także najnowsze osiągnięcia inżynierii wiedzy, w tym inżynierii wirtualnej, co więcej przybliży czytelnikowi algorytmy i procedury dostępu do zasobów wiedzy w sieci i sposoby jej wykorzystania. Wyraźnie daje się odczuć, po lekturze tekstu książki, że zagadnienia w niej poruszane pasjonują Autora, zostały głęboko przemyślane na gruncie filozoficznym i egzystencjalnym i że przekazywane treści mają bardzo zindywidualizowany charakter.

Studując poszczególne rozdziały, czytelnik przechodzi od ogólnych definicji teorii systemów, poprzez modele szczegółowe, przykłady ich rozwiązania, na adaptacji w warunkach gospodarczych kończąc. Książka ma charakter hipertekstowy, a więc każdy kogo jakieś zagadnienie interesuje, w szczególności może je pogłębić korzystając z bardzo aktualnych pozycji literaturowych bądź przytoczonych linków do sieci www.

Autor podkreśla, że jesteśmy świadkami przełomu cywilizacyjnego, który związany jest z kształtowaniem się społeczeństw informacyjnych, stawiających w centrum swoich zainteresowań rozwój cywilizacji wiedzy. Niesie to ze sobą nowe wyzwania dla nauki i edukacji. Jak wielu współczesnych wybitnych intelektualistów, Autor recenzowanej książki do najważniejszych wyzwań nowej epoki zalicza powszechność i poziom wykształcenia warunkujących możliwość wykorzystania i efektywnego użytkowania wiedzy, podstawowego dobra cywilizacji informatycznej. Wymaga to ukształtowania nowego, holistycznego widzenia świata, które dzięki systemowemu ujęciu pozwoli porządkować intensywny wzrost informacji.

Recenzenci publikowanych prac:

prof. dr hab. inż. Wojciech BATKO

prof. dr hab. Czesław CEMPEL

prof. dr hab. inż. Wojciech CHOLEWA

dr hab. inż. Tadeusz DĄBROWSKI, prof. WAT

prof. dr hab. inż. Zbigniew DĄBROWSKI

dr hab. inż. Janusz GARDULSKI, prof. PŚ

prof. dr hab. inż. Lech GŁADYSIEWICZ

prof. dr hab. inż. Jan KICIŃSKI

dr hab. inż. Zbigniew KORCZEWSKI, prof. AMW

dr hab. inż. Piotr KRZYWORZEKA, prof. AGH

prof. dr hab. inż. Janusz KWAŚNIEWSKI

prof. dr hab. inż. Stanisław NIZIŃSKI

prof. dr inż. Adam W. SKOREK

prof. dr hab. inż. Janusz SZPYTKO

prof. dr hab. inż. Ryszard TADEUSIEWICZ

dr hab. inż. Andrzej TOMCZYK

dr hab. inż. Teodor WINKLER, prof. PŚ

prof. dr hab. inż. Maciej WOROPAY

Druk:

Centrum Graficzne „GRYF”, ul. Pieniężnego 13/2, 10-003 Olsztyn, tel. / fax: 089-527-24-30

Oprawa:

Zakład Poligraficzny, UWM Olsztyn, ul. Heweliusza 3, 10-724 Olsztyn
tel. 089-523-45-06, fax: 089-523-47-37



Uniwersytet Warmiński -
Mazurski w Olsztynie
Wydział Nauk Technicznych
Katedra Budowy, Eksploatacji
Pojazdów i Maszyn



Polskie Towarzystwo
Diagnostyki Technicznej

Zespół Diagnostyki SE KBM PAN



Instytut Maszyn Przepływowych
PAN Gdańsk



Akademia Marynarki Wojennej
w Gdyni
Wydział Mechaniczno-Elektryczny
Instytut Konstrukcji
i Eksploatacji Okrętów

IV MIĘDZYNARODOWY KONGRES DIAGNOSTYKI TECHNICZNEJ



09-12 WRZEŚNIA 2008
OLSZTYN POLSKA
Komunikat nr 1

<http://www.uwm.edu.pl/wnt/kongres>

Wszystkie opublikowane w czasopiśmie artykuły uzyskały pozytywne recenzje, wykonane przez niezależnych recenzentów.

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.