

3(527) 2016

# **Mining**

**INFORMATICS AUTOMATION  
AND ELECTRICAL ENGINEERING**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL



**INFORMATICS  
INFORMATYKA**

**ELECTRICAL ENGINEERING  
ELEKTRONIKA**

**AUTOMATION  
AUTOMATYKA**

CZASOPISMO NAUKOWO-TECHNICZNE

*Mining – Informatics Automation and Electrical Engineering*

## **The Scientific Council “Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering”**

### **Chairman of the Scientific Board:**

**Stanisław Cierpisz**, Institute of Innovative Technologies EMAG, Katowice (Poland)

### **Secretary of the Scientific Board:**

**Marek Sikora**, Institute of Innovative Technologies EMAG, Katowice (Poland)

### **Members of the Scientific Board**

**Darius Andriukatis**, Kaunas University of Technology, Kaunas (Lithuania)

**Naj Aziz**, University of Wollongong, Wollongong (Australia)

**George L. Danko**, University of Nevada, Reno (USA)

**Marian Dolipski**, Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)

**Józef Dubiński**, Central Mining Institute, Katowice (Poland)

**Horst Gondek**, Technical University of Ostrava, Ostrava (Czech Republic)

**Stanisław Kozielski**, Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)

**Constantin Lupu**, National Institute for R&D in Mine Safety and Protection to Explosion, Petrosani (Romania)

**Bogdan Miedziński**, Institute of Innovative Technologies EMAG, Katowice (Poland)

**Anatoly Mnukhin**, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev (Ukraine)

**Yuan Shujie**, Anhui University of Science and Technology, Huainan (China)

### **Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering is edited by the board consisting of:**

Editor in Chief – **Marek Sikora**

Deputy Editor in Chief – **Artur Kozłowski**

Managing Editor – **Marcin Michalak**

### **associate editors:**

**Włodzimierz Boroń** (*technological processes*)

**Janusz Reś** (*mechanics*)

**Marian Wójcik** (*power electronics*)

**Marek Jaszczuk** (*automation*)

**Andrzej Leśniak** (*applied IT*)

**Stanisław Wasilewski** (*telecommunications*)

**Marcin Małachowski** (*safety*)

Proofreading – **Mariusz Pleszak, Barbara Flisiuk**

Layout – **Mariusz Kurpierz**

TECHNOLOGICAL PROCESSES

MECHANICS

POWER ELECTRONICS

AUTOMATION

APPLIED IT

TELECOMMUNICATIONS

SAFETY

PROCESY TECHNOLOGICZNE

MECHANIKA

ENERGOELEKTRONIKA

AUTOMATYKA

INFORMATYKA STOSOWANA

TELEKOMUNIKACJA

BEZPIECZEŃSTWO

ISSN 2449-6421

---

## Table of Contents

*Tomasz Molenda, Sławomir Chmielarz*

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Galvanic separation of analogue signals .....    | 5  |
| Separacja galwaniczna sygnałów analogowych ..... | 54 |

*Witold Biały*

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Analysis of machines work time during machinery and equipment supply for longwalls ..... | 11 |
| Analiza czasu pracy maszyn przy zbrojeniu ścian wydobywczych .....                       | 61 |

*Grzegorz Kwiatkowski, Marcin Michalak*

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Computer system architecture for Polish-language documents search with the use of queries in a natural language .....               | 16 |
| Koncepcja architektury systemu komputerowego wyszukiwania dokumentów w języku polskim przy pomocy zapytań w języku naturalnym ..... | 67 |

*Marian Hyla*

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Setting the range of reactive power regulation for a salient-poles motor based on the measurement of the synchronous work state ..... | 24 |
| Wyznaczanie zakresu regulacji mocy biernej silnika z biegunami jawnymi na podstawie pomiarów stanu pracy synchronicznej .....         | 76 |

*Jarosław Tokarczyk, Jan Kania*

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Systems and tracks of self-powered suspended monorails for transportation of people in horizontal workings and workings with inclination up to 45° ..... | 31 |
| Układy i trasy transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym do przewozu ludzi w wyrobiskach poziomych oraz pochyłych o nachyleniu do 45° .....   | 83 |

*W. Kostenko, T. Kostenko*

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quality estimation of influence of energy resources extraction on environment in Ukraine ..... | 40 |
| Ocena jakościowa wpływu wydobywania nośników energii na środowisko naturalne Ukrainy .....     | 92 |

*V.N. Shoffa, V.N. Cicerjugin, B. Miedzinski, A. Kozłowski, J. Wosik*

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Miniature ball contact sensor for locating singular points of a control magnetic field .....       | 49  |
| Miniaturowy czujnik stykowy do lokalizacji punktów osobliwych magnetycznego pola sterującego ..... | 102 |

Publisher's address: Leopolda 31, 40-189 Katowice, Poland, tel. +48 32 2007 700, 2007 570  
fax: +48 32 2007 701, e-mail: miag@ibemag.pl, www.mia. ibemag.pl



TOMASZ MOLEND  
SŁAWOMIR CHMIELARZ

## GALVANIC SEPARATION OF ANALOGUE SIGNALS

The article deals with the issues of galvanic separation of analogue circuits and methods to perform it. The authors described capacitive, inductive and optical couplings, separation with the use of processing as well as non-linearity correction of optoelectronic materials characteristics. The available solutions were presented and their characteristics.

WITOLD BIAŁY

## ANALYSIS OF MACHINES WORK TIME DURING MACHINERY AND EQUIPMENT SUPPLY FOR LONGWALLS

Machinery and equipment supply to longwalls is related to the launch of a mining excavation and is one of the key elements of hard coal beds exploitation. The process is based on supplying all indispensable machines and devices to the longwall so that the exploitation could proceed efficiently. In order to ensure better efficiency, it is necessary to find the causes of breakdowns within the process and to counteract them successfully. The objective of these operations will be to raise the production preparedness of machines and devices involved in the process. The increase of this preparedness depends largely on the technical condition of employed machines and devices and their proper selection. This will ensure failure-free and downtime-free progress of the operations.

GRZEGORZ KWIATKOWSKI  
MARCIN MICHALAK

## COMPUTER SYSTEM ARCHITECTURE FOR POLISH-LANGUAGE DOCUMENTS SEARCH WITH THE USE OF QUERIES IN A NATURAL LANGUAGE

The article features an architecture concept of a system to search for information in text documents with the use of natural-language queries. The basic element of the proposed solution is the application of query expansion as a method to improve the quality of achieved results. As there are no such tools for the Polish language, the authors proposed how to prepare suitable assets from input data for this purpose. The prepared system will be applied for information search in specialized documents, such as technical and diagnostic documentation of mining machines.

MARIAN HYL

## SETTING THE RANGE OF REACTIVE POWER REGULATION FOR A SALIENT-POLES MOTOR BASED ON THE MEASUREMENT OF THE SYNCHRONOUS WORK STATE

The article features a method of determining synchronous reactance in the axes d and q for a synchronous motor with salient poles based on measuring basic electrical quantities in the state of synchronous work. The admissible operating range of the machine was discussed. The motor with salient poles was described by means of a phasor diagram. The author presented dependencies which allow to determine the solution searched for. The method was presented in a graphical manner. Finally, the author discussed the possibility to reduce the search range of available solutions.

TOMASZ MOLEND  
SŁAWOMIR CHMIELARZ

## SEPARACJA GALWANICZNA SYGNAŁÓW ANALOGOWYCH

Artykuł poświęcony jest zagadnieniom związanym z separacją galwaniczną obwodów analogowych i sposobom jej realizacji. Opisano w nim sprzężenia pojemnościowe, indukcyjne i optyczne, separację z zastosowaniem przetwarzania oraz linearyzację charakterystyk elementów optoelektronicznych. Przedstawiono dostępne rozwiązania i ich właściwości.

WITOLD BIAŁY

## ANALIZA CZASU PRACY MASZYN PRZY ZBROJENIU ŚCIAN WYDOBYWCZYCH

Zbrojenie ścian – pojęcie związane z uruchomieniem ścianowego wyrobiska eksploatacyjnego – jest jednym z ważniejszych elementów procesu eksploatacji pokładów węgla kamiennego. Polega ono na wprowadzeniu do przyszłej ściany eksploatacyjnej wszystkich niezbędnych maszyn i urządzeń, aby proces eksploatacji mógł przebiegać w sposób efektywny. Aby zapewnić jego odpowiednią efektywność oraz wydajność, należy znaleźć przyczyny najczęściej w nim występujących awarii i skutecznie im przeciwdziałać. Celem tych działań będzie zwiększenie dyspozycyjności produkcyjnej maszyn i urządzeń biorących udział w procesie. Na zwiększenie dyspozycyjności produkcyjnej istotny wpływ ma stan techniczny maszyn i urządzeń stosowanych przy zbrojeniu ścian oraz ich odpowiedni dobór. Realizacja tych działań zapewni w dużym stopniu bezawaryjny i bezprze-stojowy postęp prac.

GRZEGORZ KWIATKOWSKI  
MARCIN MICHALAK

## KONCEPCJA ARCHITEKTURY SYSTEMU KOMPUTEROWEGO WYSZUKIWANIA DOKUMENTÓW W JĘZYKU POLSKIM PRZY POMOCY ZAPYTAŃ W JĘZYKU NATURALNYM

Artykuł przedstawia koncepcję architektury systemu wyszukiwania informacji w dokumentach tekstowych, z wykorzystaniem zapytań w języku naturalnym. Zasadniczym elementem proponowanego rozwiązania jest wykorzystanie metody ekspansji zapytań, jako sposobu na poprawę jakości uzyskiwanych wyników. Ponieważ brak jest tego typu narzędzi dedykowanych dla języka polskiego, zaproponowano także sposób przygotowania odpowiednich do tego celu zasobów z danych wejściowych. Przygotowywany system znajdzie zastosowanie w wyszukiwaniu informacji w dokumentach specjalistycznych, jakimi są dokumentacje techniczne i diagnostyczne maszyn górniczych.

MARIAN HYL

## WYZNACZANIE ZAKRESU REGULACJI MOCY BIERNEJ SILNIKA Z BIEGUNAMI JAWNYMI NA PODSTAWIE POMIARÓW STANU PRACY SYNCHRONICZNEJ

W artykule przedstawiono metodę wyznaczania reaktancji synchronicznych w osi d i q dla silnika synchronicznego z biegunami jawnymi na podstawie pomiarów podstawowych wielkości elektrycznych w stanie pracy synchronicznej. Omówiono dopuszczalny zakres pracy maszyn. Zaprezentowano opis silnika z biegunami jawnymi za pomocą wykresu wskazowego. Przedstawiono zależności umożliwiające wyznaczenie poszukiwanego rozwiązania. Zaprezentowano graficzną ilustrację metody. Omówiono możliwość ograniczenia zakresu poszukiwań dostępnych rozwiązań.

JAROSŁAW TOKARCZYK  
JAN KANIA

SYSTEMS AND TRACKS OF SELF-POWERED SUSPENDED  
MONORAILS FOR TRANSPORTATION OF PEOPLE  
IN HORIZONTAL WORKINGS AND WORKINGS  
WITH INCLINATION UP TO 45°

The article presents the number of transport systems and the length of the routes on which people are transported in Polish mines. A legal status in Poland and China and the guidance of the Regional Office of Arnsberg in Germany were presented. The actual speed as a function of time recorded during exploitation of the suspended monorail in the mining conditions is shown. A technical potential maximum velocity of the suspended drivetrains is identified. Extended criterial model for assessment of effects of overloads to operators and transported team as well as algorithm for identification of effects of dynamic overloads are presented. Example of simulation result, i.e. behaviour of virtual model of Hybrid III dummy during its transportation in a cabin on a curve, is given.

W. KOSTENKO  
T. KOSTENKO

QUALITY ESTIMATION OF INFLUENCE OF ENERGY  
RESOURCES EXTRACTION ON ENVIRONMENT IN UKRAINE

The article features the impact of technological extraction processes of basic Ukrainian energy resources on the environment – i.e. coal and gas extracted by means of open mining, underground mining and bore mining. The authors discuss qualitative indicators of the negative impact of preparation and mineral extraction processes on different biosphere components. The article presents a comparative table of the impact indicators, like the nature, size and duration for different extraction methods. Finally, prospective ways were shown how to develop the energy resources base in Ukraine.

V.N. SHOFFA  
V.N. CICERJUKIN  
B. MIEDZINSKI  
A. KOZŁOWSKI  
J. WOSIK

MINIATURE BALL CONTACT SENSOR FOR LOCATING  
SINGULAR POINTS OF A CONTROL MAGNETIC FIELD

The article presents the results of research (obtained by use of a specially developed contact sensor) regarding the completion of singular points of the spatial magnetic field for selected systems of miniature relays controlled by coils and / or permanent magnets. The authors have shown that appropriate formation of the control magnetic field ensures a high degree of integration and miniaturization of the structure of electromagnetic contact systems.

JAROSŁAW TOKARCZYK  
JAN KANIA

UKŁADY I TRASY TRANSPORTU KOLEJKAMI  
PODWIESZONYMI Z NAPĘDEM WŁASNYM DO PRZEWÓZU  
LUDZI W WYROBISKACH POZIOMYCH ORAZ POCHYŁYCH  
O NACHYLENIU DO 45°

W artykule przedstawiono liczbę układów transportowych i długości tras, na których prowadzona jest jazda ludzi. Zaprezentowano stan prawny obowiązujący w Polsce i Chinach oraz wytyczne Okręgowego Urzędu Arnsberg w Niemczech. Zamieszczono rzeczywiste prędkości jazdy w funkcji czasu, zarejestrowane podczas eksploatacji kolejki podwieszanej w zakładzie górniczym. Określono techniczne możliwości prędkości maksymalnej dla wybranego ciągnika kolejki podwieszanej. Przedstawiono rozszerzony model kryterialny do oceny skutków przeciążeń oddziałujących na operatorów i przewożoną załogę oraz algorytm identyfikacji skutków przeciążeń dynamicznych. Zaprezentowano przykładowe wyniki symulacji – zachowanie się wirtualnego modelu manekina Hybrid III podczas jazdy kabiną osobową na zakręcie.

W. KOSTENKO  
T. KOSTENKO

OCENA JAKOŚCIOWA WPLYWU WYDOBYCIA NOŚNIKÓW  
ENERGII NA ŚRODOWISKO NATURALNE UKRAINY

W artykule przedstawiono wpływ na środowisko naturalne procesów technologicznych wydobywania głównych ukraińskich zasobów energetycznych – węgla i gazu – sposobem odkrywkowym, podziemnym i otworowym. Przytoczono jakościowe wskaźniki negatywnego wpływu procesów udostępnienia i wydobywania kopaliny na różne składniki biosfery. Przedstawiono tabelę porównawczą wskaźników oddziaływania, takich jak charakter, wielkość i czas trwania w różnych procesach wydobywania. Ukazano potencjalne sposoby rozwoju bazy zasobów energetycznych Ukrainy.

V.N. SHOFFA  
V.N. CICERJUKIN  
B. MIEDZINSKI  
A. KOZŁOWSKI  
J. WOSIK

MINIATUROWY CZUJNIK KONTAKTOWY  
DLA REALIZACJI POJEDYNCZYCH PUNKTÓW POLA  
MAGNETYCZNEGO ZASILAJĄCEGO

Artykuł przedstawia wyniki badań (uzyskane za pomocą specjalnie zaprojektowanego czujnika kontaktowego) dotyczące realizacji pojedynczych punktów przestrzennego pola magnetycznego dla wybranych systemów miniaturowych przekaźników sterowanych przez cewki lub magnesy stałe. Pokazano, że właściwy sposób tworzenia pola magnetycznego zapewnia wysoki stopień integracji i miniaturyzacji konstrukcji zestykowych systemów elektromagnetycznych.

# Galvanic separation of analogue signals

*The article deals with the issues of galvanic separation of analogue circuits and methods to perform it. The authors described capacitive, inductive and optical couplings, separation with the use of processing as well as non-linearity correction of optoelectronic materials characteristics. The available solutions were presented and their characteristics.*

key words: *galvanic separation, analogue systems, Pulse-Width Modulation (PWM), non-linearity correction*

## 1. INTRODUCTION

---

The analysis of solutions applied for the last few decades in devices equipped with analogue interfaces allows to observe a marked tendency to reduce the analogue part of these devices to an indispensable minimum. Thanks to the development and availability of AC and CA transducers, signal processors and programmable logic systems, it is possible to perform processing and transmission in a digital form in more and more applications. The same tendency is true about signal separation circuits. However, in particular cases it is still necessary to perform separation of analogue signals. Systemic separation of analogue circuits is usually more difficult than in the case of bi-stable signals, mostly due to the required linearity. The applied solutions depend on the parameters of separated signals (e.g. required accuracy, linearity, frequency band, amplitude), the requirements of separation as such (e.g. required isolation gaps, withstand voltage) and the function the separation performs.

## 2. INDUCTIVE AND CAPACITIVE COUPLINGS

---

The most frequently used types of couplings – capacitive and inductive – are linear and have certain amplitude and phase transfer characteristics in the function of frequency. Coupling characteristics result from the elements that are used to construct them and

from spurious reactance. What is more, the couplings do not transfer the direct component.

Thus if the separated analogue signal includes the direct component and slow-changing components, and/or the transfer characteristics of the coupling do not allow to send the signal directly due to its too irregular waveform, it is necessary to apply input signal modulation of the carrier wave on the primary side of the separation and its de-modulation on the secondary side. This way it is possible to move the spectrum of the separated signal to such a position that the ratio of the signal width to its carrier frequency is adequately small and refers to the frequency range at which the wave of the coupling transfer characteristics is acceptably regular. The type of modulation and demodulation, along with a proper systemic solution differ depending on a concrete case. However, they are always related to higher systemic complication and higher energy demand.

In practical solutions, the carrier frequency is usually higher than 100 kHz, while the frequencies of transferred signals achieve the values of several dozen kHz. Due to physical characteristics, such as the decreasing capacity of the coupling (due to the increasing distance between the capacitor covers) and the decreasing mutual inductance (due to the increasing distance between the coils of the primary and secondary side of separation), the possibilities to achieve the required isolation gaps and breakdown resistance may be limited. The technological development allowed for inductive and capacitive separation in analogue integrated circuits. In the case of

integrated isolated instrumental amplifiers, the use of internal transformers to perform couplings allows to maintain resolution from 12 to 16 bits and a carrier band up to several hundred kHz, however, their maximal voltage hardly ever reaches 10 kV and is often lower. Integrated amplifiers which make use of internal capacitive coupling have lower accuracy, not more than 12 bits, lower carrier band and lower maximum voltage, yet their production costs are lower too. Optical separators are fast, have low production costs and high voltage (typically from 4 to 7 kV) but, due to relatively high non-linearity, they are not used for direct analogue separation that requires high accuracy [1]. Inductive and capacitive couplings are used for galvanic separation of analogue signals, for example those in intrinsically safe separation circuits. In telephone and warning systems there are barrier systems which ensure galvanic separation at two-way transmission of analogue signals. Inductive coupling is used in AUI barriers by the TELOS company. These barriers not only perform galvanic separation for two-way separation of analogue signals, but also transmit other signals, e.g. signals about loop closing or changing the power supply polarity [9].

### 3. OPTICAL COUPLINGS

There are many different types of optocoupling elements on the market. The most commonly used is the element containing a LED diode and phototran-

sistor. As photodetectors it is possible to use optothyristors, optotriacs and FET transistors as well. Their major task is to ensure separation of bi-stable signals, and for this purpose their parameters are usually optimized, i.e. small delay times or the possibility to cooperate with logic systems. As far as the key aspects of analogue separation are concerned, optoelectronic separating elements can transfer the direct component. However, their DC transfer characteristics are usually non-linear. There are two alternative methods of using non-linear optoelectronic elements to separate analogue signals: separation with the use of processing and separation with the use of non-linearity correction of elements characteristics.

#### 3.1. Separation with the use of processing

If optoelectronic non-linear elements are to be used to send an analogue signal, they have to be applied in such a way so that they could work in a bi-stable manner, with the use of analogue signal amplitude to modulate the width of the sent pulses of constant frequency (PWM – Pulse-Width Modulation) or to modulate the frequency of sent pulses of constant width. The drawback of this solution is higher complexity of the circuit on the primary and secondary side. The advantage, in turn, is the possibility to reduce power consumption by working at the minimum sufficient amplitude level. A sample block diagram of an analogue separation circuit with processing can be seen in Fig. 1.

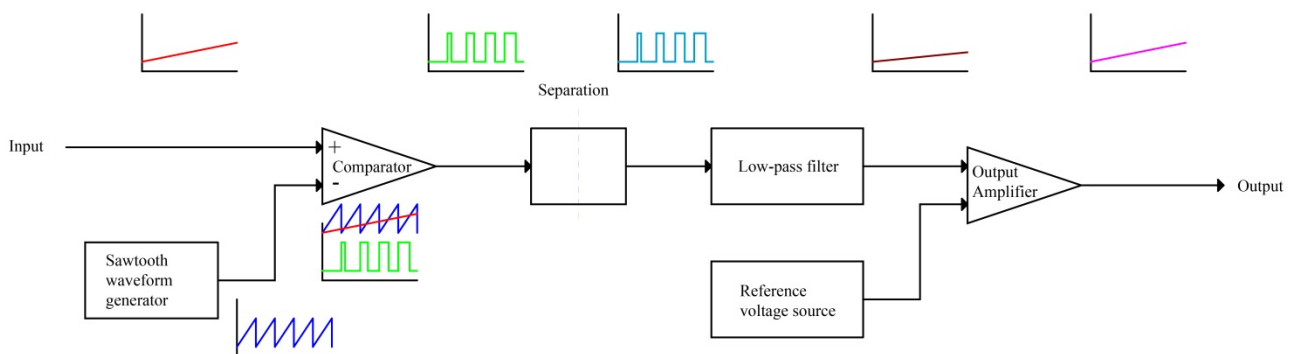


Fig. 1. Block diagram of analogue separation circuit with processing

#### 3.2. Separation with the use of non-linearity correction of elements characteristics

Optoelectronic elements allow to perform separation with or without the use of a carrier waveform, as they transfer the constant component and slow-changing components. In such a situation, however, it is necessary to ensure the linearity of the carrier am-

plitude characteristics in the required working range. To provide the non-linearity characteristics of optoelectronic elements, feedforward- and feedback-based circuits are used. With such a solution, the accuracy of the non-linearity correction is mainly the result of the similarity of the elements characteristics, not only of the depth of the feedback, which is typical for feedback-based circuits in general.

#### 4. NON-LINEARITY COMPENSATION

One of the most commonly used linear optocouplers is a circuit which includes a LED diode and a feedback PIN photo diode on the primary side, while on the secondary side – an output PIN photo diode. The LED diode is optically coupled with the separated PIN photodiode and the separated feedback photo diode. The feedback photo diode is lit by a small part of the luminous flux of the LED diode. This way it is possible to obtain a feedback signal which is used to regulate the drive current of the diode. This solution allows to compensate the non-linearity of the LED diode characteristics as well as time and thermal variability of the characteristics – this is an important advantage in comparison with compensation systems based solely on the similarity of characteristics of adequately connected, separate elements. On the output PIN photo diode a signal is obtained which is linearly dependant on the controlling luminous flux generated by the LED diode. Time and temperature stability of the input-output coupling coefficient is ensured by the use of adapted PIN pho-

todiodes whose current suits exactly the luminous flux of the LED diode. In this arrangement the photo diode can be used as a photovoltaic or photoconductive element. When the photo diode is used as a photovoltaic element, it operates as a current source, similarly to a semiconductor diode polarized in the direction of conductivity. Then the values of current and output voltage depend on load resistance and the luminous flux. When the photo diode is used as a photoconductive element, the diode is primarily polarized in the reverse direction by an external source. Then the value of output current is proportional to the luminous flux [12]. One of the advantages of using the diode as a photoconductive element is the possibility to achieve a wider transfer band, of about 200 kHz, in comparison with the band of 40 kHz that can be achieved with the diode as a photovoltaic element [7]. Examples of such circuits are IL300 manufactured by VISHAY as well as HCNR200 and HCNR201 by AVAGO. Figure 2 features a basic operating system of an amplifier which separates a unipolar signal with input and output for positive voltages.

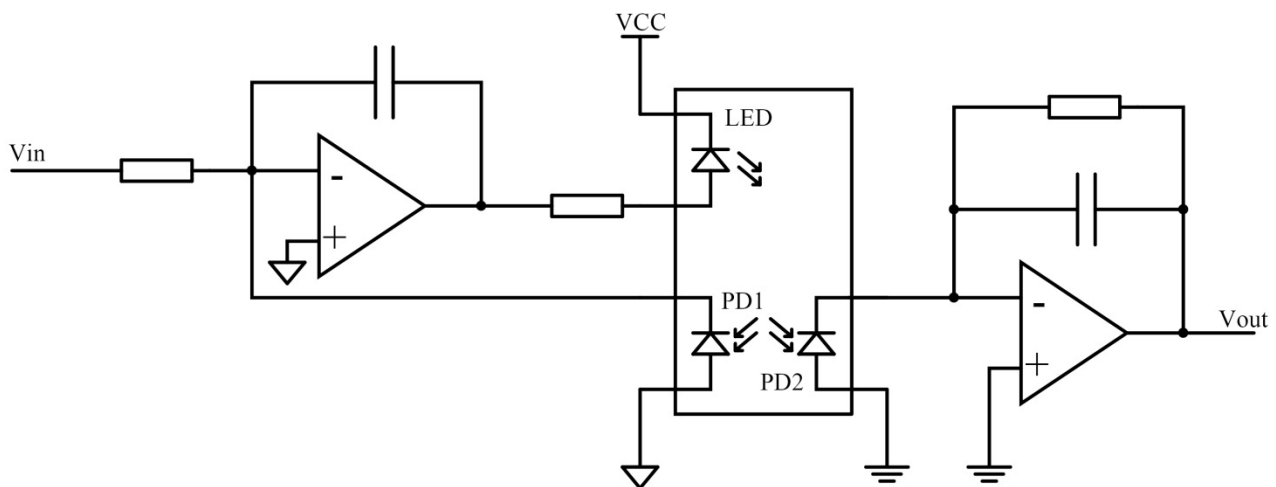


Fig. 2. Basic operating circuit of an amplifier which separates a unipolar signal with input and output for positive voltages (based on [3])

Thanks to its simple internal structure, the circuit is very universal in terms of its functionality and can be used in numerous configurations presented in [3].

In analogue optocouplers, for example in H11Fxm optocouplers, IRED diodes are used as well as symmetrical, two-sided FET phototransistors. This element can be used as a resistor with separated control or as an analogue switch [6]. In order to avoid signal distortion caused by non-linear characteristics of output resistance in the IRED diode current function, the elements can be used with adequately small

changes of the current amplitude. It is also possible to use them to separate signals with bigger amplitude ranges, thanks to the use of a feedback circuit, in which two optocouplers are used, in order to compensate non-linearity. Then the same current flows through series-connected LED diodes of two optocouplers. One optocoupler is used for separation, while the output of the other works in the feedback circuit of the diode regulation system [5]. An example of the above application is presented in Fig. 3.

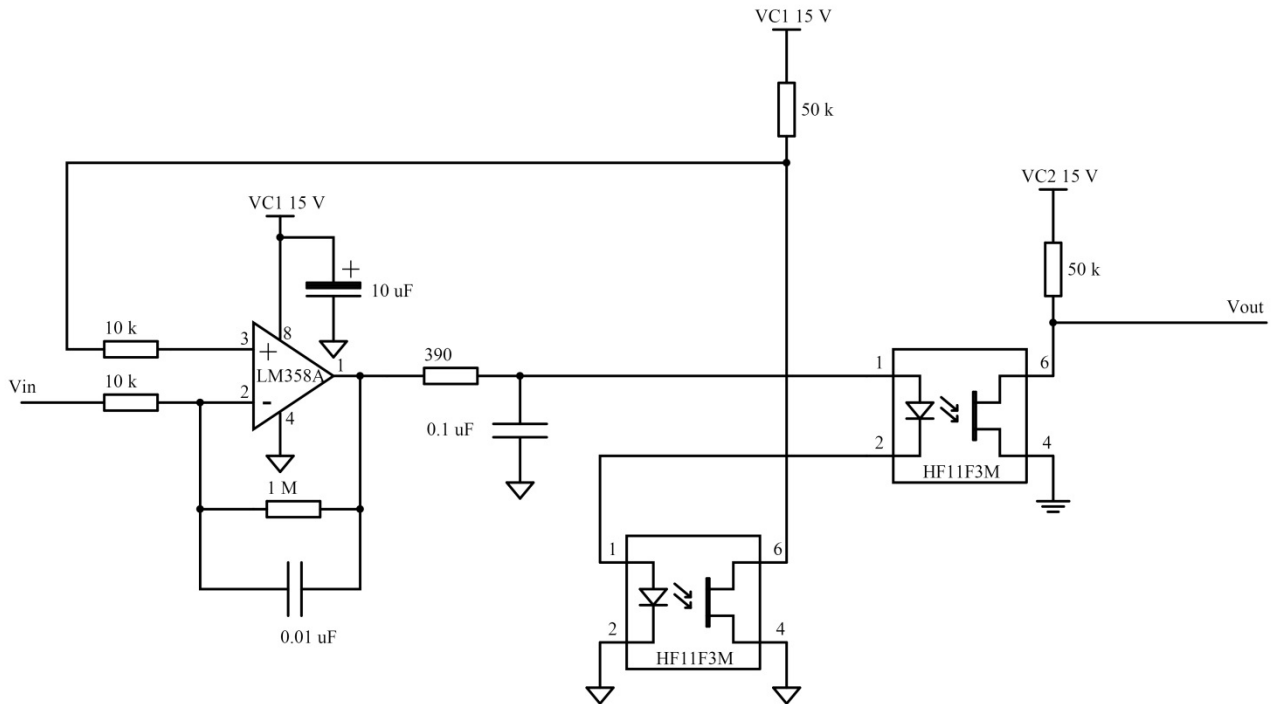


Fig. 3. Non-linearity compensation circuit of optocoupler characteristics which makes use of the characteristics similarity (based on [5])

However, it is important to note that such a compensation method is based only on the characteristics similarity. Therefore, due to minimal differences between the characteristics of applied elements, even those coming from the same production lot, the non-linearity correction accuracy is limited. A more advantageous compensation method is the above described, dedicated solution with two photodetectors integrated in one element: one for separation and the other for feedback. In this case the coupling is performed through the real luminous flux which falls on the output photodetector and the feedback photodetector simultaneously.

In the case of optical analogue coupling a solution is also an optocoupler, i.e. one with the input in the form of a LED diode and an output in the form of a photo-conductive cell. These elements operate like an electronically controlled potentiometer which has a resistor as an output element. The voltage in this resistor can be DC and/or AC, while the amplitude can vary between 0 and the maximal value determined by admissible parameters. Since the input proportionally affects the amplitude of the complex waveform at the output, the element can act as an analogue control element with optical separation. The conductivity characteristics of such an optocoupler (output resistance depending on input current) has a wide dynamical range and, additionally, the output resistance changes in a manner which is close to the linear one in the range of two or more decades. Still,

such elements have a disadvantage, i.e. the hysteresis phenomenon or memory effect whose idea is that the input resistance depends not only on the temporary value of input current but also on the value that this current had adopted for a longer period of time. The material used in the output photoresistor is the factor which determines the hysteresis characteristics, characteristics of the resistance dependency on temperature, conductivity characteristics incline, and response time. When using optocouplers of this type it is necessary to take into account the above dependencies [10].

## 5. READY-TO-USE SOLUTIONS AVAILABLE ON THE MARKET

Separation of analogue circuits is performed inside integrated systems as well. The Analog Devices company uses the iCoupler technology to make the ADuM4190 isolated error amplifier, which is dedicated chiefly to linear feedback power supplies. The iCoupler technology is also applied in many digital photo camera [2, 4]. In order to perform feedback in convertors, one can use optocouplers whose conductivity coefficient changes with time and temperature. The application of an amplifier with separation, whose characteristics do not change with time and temperature, enables to achieve better pulse response,



higher power density and better stability of the power supply system controlled by the amplifier. The circuit has a wide range of supply voltages of the primary and secondary side, from 3 to 22 V, band width of 400 kHz, temperature range from 40 to 125°C, and isolation strength of 5000 V rms. The reference voltage for the error amplifier with the accuracy of 1% is provided by an internal, precise 1.225 V source. The inverting and non-inverting inputs of the amplifier on the primary side are accessible from the outside when feedback voltage is to be connected from the output of the isolated convertor controlled by the circuit, through a suitable voltage divider. The output of this

amplifier is also accessible from the outside, enabling to connect RC compensation elements. In the circuit structure the output voltage of the amplifier on the primary side is used to modulate the width of pulses sent with the use of a separation transformer, similarly as in digital iCoupler separators. On the secondary side the PWM signal is processed into voltage which controls the output error amplifier. The output signal of this amplifier is accessible on the secondary side directly or through an extra transistor output stage [2]. The application and functional block diagram of the ADuM4190 amplifier can be seen in Fig. 4.

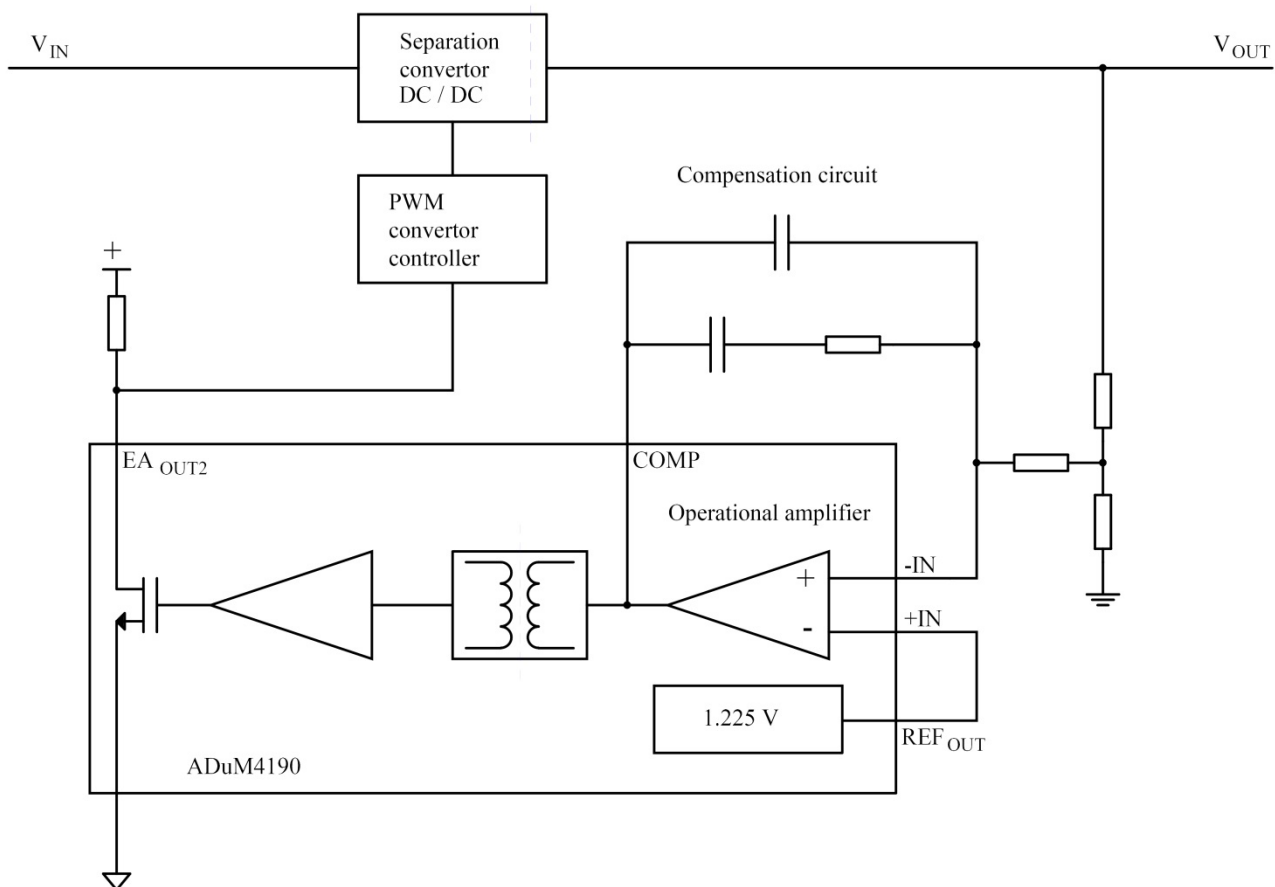


Fig. 4. The application and functional block diagram of the ADuM4190 amp

## 6. SEPARATION IN TELEPHONE AND WARNING SYSTEMS

In applications such as intrinsically safe devices and systems, which require isolation gaps that are impossible to achieve inside integrated circuits, a practical solution are dedicated interface systems adapted to connect to external, discreet separation elements. An example of such a solution are integrated circuits IA3222 and IA3223 by Silabs [11] which allow to have a separated interface of a telephone

line. Figure 5 features a functional block diagram of the interface with the use of the above mentioned circuits.

Capacitive coupling, which is galvanic separation between the IA3223 codec circuit and the IA3222 linear interface circuit, is composed of three condensers with rated capacity of 0.7 pF, placed in adequate lines between the circuits. The fact that the required coupling capacity is very small makes it easier to ensure the required isolation gaps. These circuits are used for galvanic separation of analogue signals with two-way transmission in telephone and warning systems, for example

in TBI barriers made by COMONET. Similarly to the barrier described in section 2, this barrier performs not only galvanic separation for two-way separation of

analogue signals, but also transmits the signals, e.g. signals about loop closing or changing the power supply polarity [8].

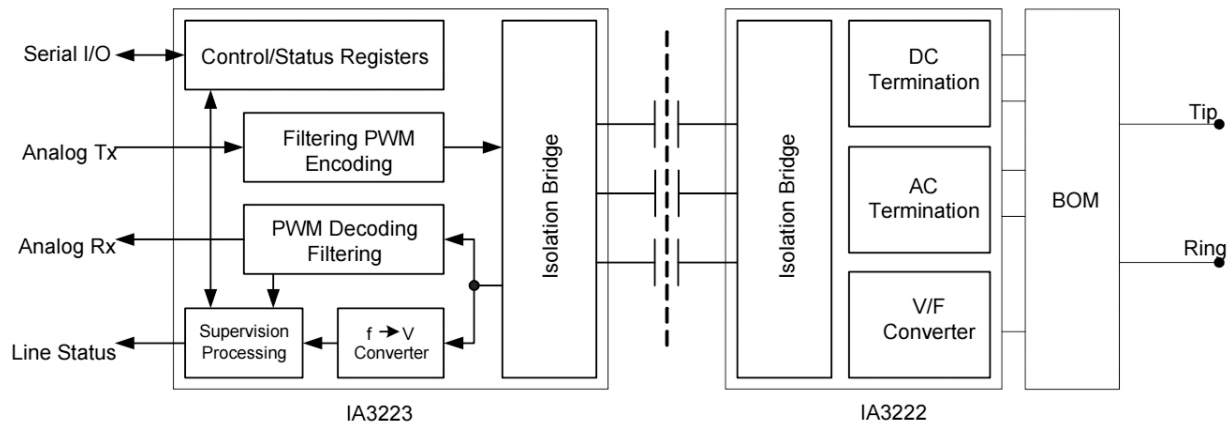


Fig. 5. Functional block diagram of the interface with the use of IA3222 and IA3223 circuits [11]

## 7. CONCLUSIONS

The separation of analogue signals is more complicated than the separation of digital ones. These days there is a strong tendency to carry out analogue-to-digital conversion of the signal and to perform the separation on the digital side. With the increase in the number of analogue channels which have to be separated, the advantages of digital-side separation are clearly seen, as this kind of separation allows to send data from many analogue channels through one separated digital channel. Otherwise, these data would require a separate separation circuit for each channel or they would need modulation and different carrier frequencies for particular channels within one separation circuit. In spite of rapid development of digital technologies, analogue separation solutions are still used in some applications. For example, in applications which require constant and low energy consumption it is easier to achieve the above assumptions by using a low-power analogue circuit with separation than by using a signal processor of FPGA circuit and performing the signal separation in a digital form. Another area of application are security systems due to the possibility to ensure minimum operating times. Digital separation of these systems, including processing, separation and analysis on the digital side, would result in too big delays. Elements available on the market allow to select the best suitable solution of analogue separation.

## References

1. Analog Devices Inc.: *Engineeri: Linear Circuit Design Handbo-*ok, 1<sup>st</sup> Edition, 10.04.2008, pp. 2.33.
2. Analog Devices Inc.: *High Stability Isolated Error Amplifier Data Sheet ADuM4190*, Rev. 0 2013.
3. Avago Technologies: *High-Linearity Analog Optocouplers Data Sheet HCNR200 and HCNR201*, 01.07.2014.
4. Chmielarz S., Molenda T.: *Modern technologies of galvanic separation of digital signals and their possible applications in intrinsically safe devices*, Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering, 3(523), 2015, 59-67.
5. Haidar S.: *Use a photoelectric-FET optocoupler as a linear voltage-controlled potentiometer* [online], available at: <http://www.edn.com/design/analog/4368893/Use-a-photoelectric-FET-optocoupler-as-a-linear-voltage-controlled-potentiometer>.
6. Fairchild Semiconductor Corporation: *Photo FET Optocouplers Data Sheet H11F1M, H11F2M, H11F3M*, Rev. 1.0.5 2007.
7. IXYS Integrated Circuits Division: *LOC Series Linear Optocouplers Application Note: AN-107*, 10.09.2013.
8. Miśkiewicz K., Wojaczek A., Dzierżko J.: *New elements of the HETMAN telecommunications system*, Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering 10(452), 2008, pp. 36-41.
9. Miśkiewicz K., Wojaczek A.: *TELOS intrinsically safe telephone system*, Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering, 10(441), 2007, pp. 28-32.
10. PerkinElmer Optoelectronics: *Photoconductive Cells and Analog Optoisolators (Vactrols®)*, CA-274 Rev A 1001 2001.
11. Silicon Laboratories Inc.: *DAA Chipset with Analog Interface Data Sheet IA3222/23*, Rev. 5.0 2011.
12. Vishay Semiconductors: *Linear Optocoupler, High Gain Stability, Wide Bandwidth Data Sheet IL300*, Revision: 08-Apr-05.

TOMASZ MOLENDĄ, M.Sc.  
 SŁAWOMIR CHMIELARZ, M.Sc.  
 Institute of innovative Technologies EMAG  
 ul. Leopolda 31, 40-189 Katowice  
 {tmolenda, schmielarz}@ibemag.pl

# Analysis of machines work time during machinery and equipment supply for longwalls

*Machinery and equipment supply to longwalls is related to the launch of a mining excavation and is one of the key elements of hard coal beds exploitation. The process is based on supplying all indispensable machines and devices to the longwall so that the exploitation could proceed efficiently. In order to ensure better efficiency, it is necessary to find the causes of breakdowns within the process and to counteract them successfully. The objective of these operations will be to raise the production preparedness of machines and devices involved in the process. The increase of this preparedness depends largely on the technical condition of employed machines and devices and their proper selection. This will ensure failure-free and downtime-free progress of the operations.*

Key words: *machinery and equipment supply to longwalls, failures, machines*

## 1. INTRODUCTION

---

Each organization should create such rules and regulations that would enable to achieve a specific order. These rules and regulations should have realistic features as far as their degree of specification and flexibility are concerned, as each organization should catch up with the changing operating conditions.

Machinery and equipment supply to the longwall is related to the launch of an excavation. The process is based on placing a chain conveyor and powered support in the roadway, installing winning machines, making suitable hydraulic and electric connections, and providing proper communication means.

Machinery and equipment supply is one of the key elements of hard coal exploitation. In order to ensure better efficiency of this process, it is necessary to find the causes of breakdowns and to counteract them successfully. This is done to increase the production preparedness of the machines. Based on thorough reports and analyses of failures it is possible to find weak points of the process as well as facilitate and optimize the work of people and machines. Thanks to the obtained information we know where to invest and where to make changes. The discussion undertaken in the article is related to the process of machinery and equipment supply to the longwall with

due regard given to the important roles of machines and devices used in the process.

## 2. MACHINE SYSTEMS IN MINING

---

A machine is a device for performing useful work based on the supplied energy or processing one type of energy into another. According to the EU regulations (directive 89/392/EU) a machine is composed of connected elements out of which at least one is movable. A machine is also a set of single machines which are connected in such a way that it works as a whole. The usability of machines is demonstrated, most frequently, as the processing of matter carried out in the working system of the machine [4].

The operating principle of the machine and its control systems should be dedicated to the user's needs. The way the machine is operated by the user, positions of its particular assemblies, parts, lighting, and the user's body posture have significant impact on the accuracy of performed work. The following domains of knowledge describe dependencies between machines and humans [6]:

- Bionics – a domain situated on the border between technology and biology; a new scientific branch which originated from the efforts of biol-

ogists and electronic engineers. Bionics – a science dealing with the study of living organisms and biological processes in order to use them as patterns for technological structures – etymology: **bio**(logy) + (electro)**nic**s.

- Ergonomics – a domain of science dealing with rules and methods to adapt devices to human physical and mental features. Ergonomics – a science studying relations between the working environment and psychological and physical capabilities of a human being – etymology: from the Greek **érgon** – work and **nómos** – natural law.
- Anthropometry – a branch of anthropology dealing with human body measurements and proportions – etymology: from the Greek **ánthrōpos** – human; **metréō** – measure.

Underground coal mining makes use of a wide variety of machines in order to increase the output and work efficiency and to improve working conditions.

The following groups of machine systems are used in hard coal mines:

- Machines working in faces, such as: shearers/ploughs, loaders, conveyors, and supports. As the faces move due to advancing exploitation, these machines are movable or walking. This group also comprises machines and devices for stowing exploited excavations.
- Machines for preparing development workings – usually self-propelled or sliding.
- Machines and devices for underground (horizontal) transport – conveyors or underground railway systems.
- Machines for vertical transport – winders. These are stationary machines which transport mined rock, materials and people along shafts with the use of ropes.
- Machines for sorting, enrichment and transport of mine rock to the surface – stationary devices.
- Pumps for dewatering underground excavations.
- Stationary fans placed on the surface, near ventilation shafts. There are also movable fans which work in underground excavations in places where circular ventilation is not available.
- Machines and devices for power supply, indispensable for proper operations of the mine (electric energy, compressed air, water).

The increasing exploitation efficiency results in longer operating ability of machines and devices, fewer breakdowns and downtimes, proper organization and maintenance. This way it is possible to maintain production continuity, increase efficiency, improve the quality of products, and reduce exploitation costs of machines and devices, i.e. reduce the costs of production and the final product [8].

### 3. MACHINES AND DEVICES WORK TIME DURING SUPPLY OF MACHINERY AND EQUIPMENT TO THE LONGWALL

Machinery and equipment supply to longwalls is, in the most general sense, the preparation of excavations for mining in the shortest possible time. The excavations are prepared with respect to mechanical, electrical, mining, and hydraulic aspects.

In addition, the process includes the preparation of mined rock transport by means of belt conveyors in bottom roads. The following underground machines and devices are employed in the process:

- suspended and floor-mounted railways,
- locomotives,
- winches,
- power supply generators,
- self-propelled chain hoists,
- impact wrenches.

Figure 1 features a sample diagram of the support of a longwall at the crossroads with a face.

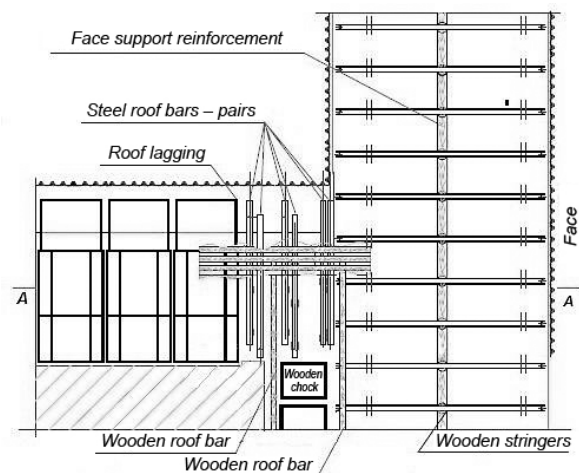


Fig. 1 Longwall support at the crossroads with a face

The technical condition of employed machines and devices, as well as their proper selection, ensure failure-free and downtime-free progress of the machinery and equipment supply. Therefore the supplied equipment should comply with strict technical and security requirements.

Here the key issue are failures which make the equipment unable to perform its useful work. Failure frequency is closely related to reliability and is impacted by working conditions, age of the machine and the personnel's abilities.

As far as new machines are concerned, failures result from constructional, technological and material errors, as well as too short testing time of the proto-

type. In the case of old machines, in turn, failure causes lie in the wear of elements and subassemblies.

According to Polish regulations, a failure is a violent and unexpected breakdown or damage of a building, mechanism or device, which results in breaking its working continuity or deprives it of its properties. More frequently, however, a failure is understood as a technical breakdown happening due to mechanical, electrical or hydraulic reasons and making it impossible to continue one's work safely and in compliance with valid regulations.

As it was mentioned earlier, the machinery and equipment supply process is an important element of the mining process. Failure-free and properly performed machinery supply results in suitable start-up and exploitation of the longwall which, in turn, brings certain financial effects to the mine.

Figure 2 features a sample longwall after a completed machinery and equipment supply process, ready for exploitation.

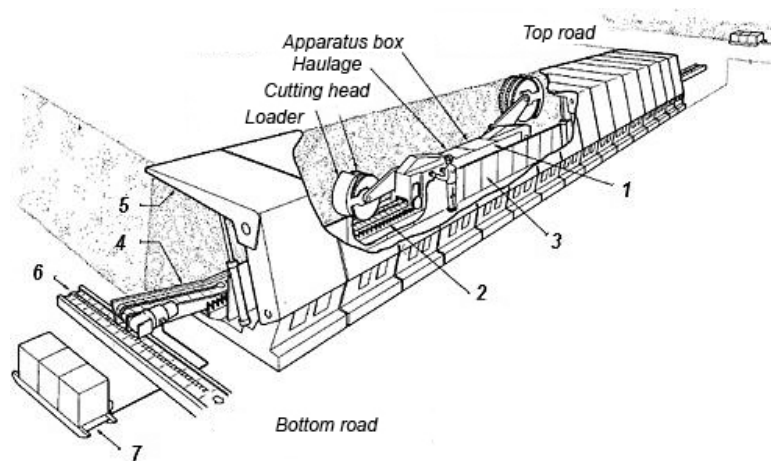


Fig. 2 Shearer longwall face ready for exploitation:

1 – shearer, 2 – ladder, 3 – gate, 4 – chain conveyor, 5 – support, 6 – (chain) beam stage loader, 7 – apparatus box

The block diagram in Figure 3 presents the factors which determine the use of nominal work time:

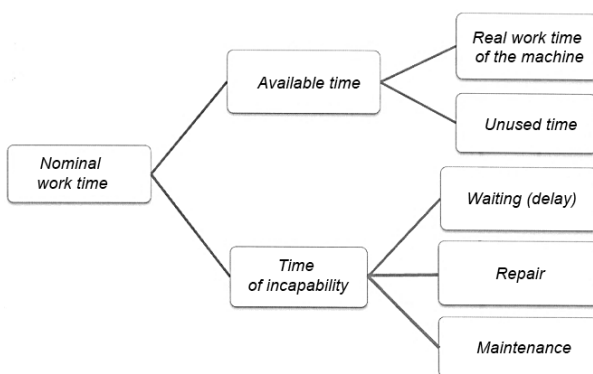


Fig. 3 Use of nominal work time of a machine

The following factors significantly influence the nominal work time of the machine (Fig. 3) [1, 7]:

- the exploitation of machines and equipment while they are usable (in full working order),
- failure frequency related to reliability,
- time of repairs and maintenance (prevention),
- delays in repairs which prolong the period of the machine disability.

Planned shutdowns during the machines operation result from the characteristics of their exploitation processes. Each machine or device has certain check-ups scheduled by the manufacturer: periodical, detailed or shift-related checkups. The objective is to test the current technical state of the device and prevent any possible breakdowns that might happen during its operation. These works include, for example, checking oil, cleaning fuel filters, checking the coolant level, etc.

#### 4. DOWNTIMES IN THE PROCESS OF MACHINERY AND EQUIPMENT SUPPLY TO THE LONGWALL

The machinery and equipment supply process, the succession of performed tasks and related downtimes (both planned shutdowns and failures) are presented in Table 1 [5]. The analysis was made for a longwall in a coal mine belonging to the JSW S.A. coal mining company.

**Table 1**

**Machinery and equipment supply process and downtimes**

| Stages                                        | 8 days | 7 days | 9 days                                              | 10 days                                             | 18 days                               | 5 days |
|-----------------------------------------------|--------|--------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|--------|
| Installation of suspended railway             | 18 pcs | 90 pcs | 125 pcs                                             | 60 pcs                                              |                                       |        |
| Wrenching of pipes φ 180                      |        | 200 m  | 240 m                                               | 260 m                                               |                                       |        |
| Wrenching of pipes φ 120                      |        | 210 m  | 230 m                                               |                                                     |                                       |        |
| Setting of support unit                       |        |        | 31 pcs                                              | 50 pcs                                              | 35 pcs                                |        |
| Installation of cable protectors              |        |        | 25 pcs                                              | 5 pcs                                               |                                       |        |
| Floor underworking                            |        | 15 m   | 16 m                                                | 12 m                                                | 16 m                                  |        |
| Installation of top sections                  |        | 56 pcs | 56 pcs                                              |                                                     |                                       |        |
| Installation of a shearer                     |        |        |                                                     | Installation of a double-ended ranging drum shearer |                                       |        |
| Installation of the first route               |        |        | Route layout, structure assembly, belt installation |                                                     |                                       |        |
| Installation of the second route              |        |        | Route layout, structure assembly, belt installation |                                                     |                                       |        |
| Installation of pans of the beam stage loader |        |        |                                                     | Installation of pans and gates                      | Installation of pans, chain, scrapers |        |
| Installation of pans of the belt conveyor     |        |        |                                                     | Installation of scrapes                             |                                       |        |
| DOWNTIMES due to failures                     | —      | —      | —                                                   | ×                                                   | ×                                     | —      |
| DOWNTIMES due to other reasons                | ×      | ×      | ×                                                   | ×                                                   | ×                                     | ×      |

To better illustrate the issue, the process in the longwall was divided into four stages (Table 1). To show the exploitation time of the machines supplied to the longwall, some machines for transporting indispensable materials were used, i.e. suspended railways.

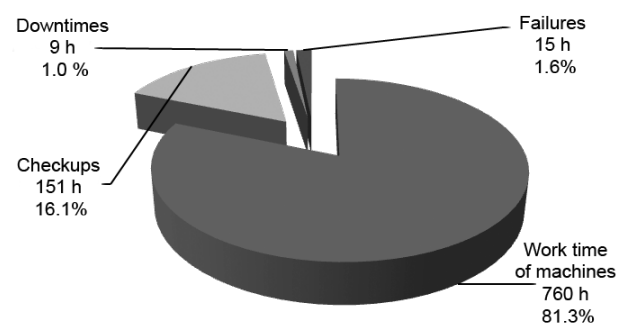
In the course of the machinery and equipment supply process, which according to Table 1 lasted 57 days, there were 8 downtimes out of which 6 were due to exceeding values of the machine parameter while 2 were caused by breakdowns.

In general, the total number of downtimes (8) can (and should be) treated as the time of disability – unplanned breaks in operational continuity. The main reason for 6 downtimes of the suspended railway were exceeding temperature values of water used for cooling the exhaust fumes of the railway. Therefore the downtime needed to be long enough for the temperature to reach the desired level – each time over one hour. In one case there was an exceeded temperature value of oil in the suspended railway, caused by the oil decrease. Due to this event it was necessary to supply oil which caused a downtime of almost one hour.

The remaining two failures were caused by breakdowns of the hose which supplies oil necessary for setting winches.

Due to the occurred events, the planned tasks were not completed during the scheduled shift.

The total work time with downtimes that caused disturbances in the process was presented in a diagram in Fig. 4.



*Fig. 4. Efficient work time and downtimes of machines and devices during their supply to the longwall*

## 5. CONCLUSIONS

The issue of maximal possible use of machines work time is present in practically all industrial sectors. Hard coal mining is not an exception here, as each time a downtime happens it is necessary to analyze the causes of failures of those machines and devices whose downtimes impact the operational continuity the most.

The analysis should show whether the failure was caused by one of the following:

- human factor (improper exploitation, maintenance and service),
- the machines as such (errors in construction and manufacturing),
- other causes, for example difficult working conditions.

After completing the analysis it is necessary to identify actions to be undertaken by the relevant personnel in order to reduce the number of downtimes and to improve financial results of the mine.

The following conclusions can be drawn from the analysis of the machinery and equipment supply process described in the article:

- downtimes and failures which occur during the process are related mainly to machines which transport heavy elements to the areas where the process takes place,
- the main reason of failures proved to be very difficult climatic conditions in the mine, i.e. high humidity and air temperature.

A properly performed machinery supply process accompanied by adequate selection of machines and devices to the existing geological and mining conditions [2, 3] have a significant effect on future production efficiency and financial results of the mine.

Failures of particular machines and devices result in major losses for the mine. Therefore it seems justifiable to launch such actions [8] that would help reduce the number of potential failures.

## References

1. Biały W.: *Volba dobývacích kombajnů na základě výzkumů rozpojitelnosti uhlí*. VŠB-TU Ostrava, Monografie, Fakulta strojní Ostrava, 2009, p. 122.
2. Biały W.: *The selection of optimal method determining mechanical properties of coal layers*. Management Systems in Production Engineering, 2011, 2, pp. 26-30.
3. Biały W.: *Innovative solutions applied in tools for determining coal mechanical properties*. Management Systems in Production Engineering, 2015, 4(20), pp. 202-209.
4. Biały W.: *Maszynoznawstwo dla niemechaników. (Machine engineering for non-mechanics)*. Wydawnictwo PKJS Gliwice 2010, p. 406.
5. Chanas Ł.: *Wpływ przestojów maszyn górniczych na efekty ekonomiczne kopalni węgla kamiennego. (Impact of mining machines downtimes on economic effect of a coal mine)*. MSc thesis, Silesian University of Technology, Zabrze 2014.
6. Doroszewski W., red. *Słownik języka polskiego (Dictionary of the Polish language)* 1996-1996, vol. 1-11. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
7. Kapusta M., Nowak-Senderowska D.: *Awarie i przestoje w procesie zbrojenia ścian w pokładach węgla kamiennego. (Failures and downtimes in the process of machinery and equipment supply to longwalls in hard coal beds)*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. 2013
8. Kołodziej S.: *Psychologiczne uwarunkowania przedsiębiorczości. (Psychological determinants of entrepreneurship)*. Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series, 2004, No 22, pp. 71-80.

*WITOLD BIAŁY, Ph.D., D.Sc, Professor  
Faculty of Organization and Management  
Institute of Production Engineering  
Silesian University of Technology  
ul. Roosevelta 26, Zabrze*

# Computer system architecture for Polish-language documents search with the use of queries in a natural language

*The article features an architecture concept of a system to search for information in text documents with the use of natural-language queries. The basic element of the proposed solution is the application of query expansion as a method to improve the quality of achieved results. As there are no such tools for the Polish language, the authors proposed how to prepare suitable assets from input data for this purpose. The prepared system will be applied for information search in specialized documents, such as technical and diagnostic documentation of mining machines.*

Key words: machine diagnostics, natural language processing, searching for information

## 1. INTRODUCTION

---

Searching for information in available text assets is an important element of information processing. Apart from the most obvious example, i.e. web browsers, there are many other applications of such systems in medicine (searching for information in the patient's electronic files [21], searching medical documentation by the patient him/herself [6]) or science (searching for partial names of genes in domain documents of genomics [19]). In addition, information search is of significant importance in product recommendation systems or for searching the product range of an internet store. The task of searching text documents can be carried out by a dedicated computer system, with the use of natural language as a method to define queries.

Diagnostics has key significance while working with industrial machines, particularly those which are exploited continuously, for example belt conveyors applied in hard coal mining. During the diagnostic process it may be necessary to analyze the domain knowledge in the range of methods that can be applied in the process. Information about diagnostic methods for conveyors can be available as text documents or web pages with technical documentation.

This documentation, apart from presenting a certain diagnostic method, may also contain a computer program (model) or algorithm which enables to use the method.

Searching for specialized information requires that a certain asset, containing specialized knowledge, should be available. It often proves practical that the information about a certain domain should be looked for by means of computer software. The software for information search makes use of a specially prepared asset in the form of data to be searched (e.g. a collection of text documents). In the article the authors will present architecture which allows to develop searching systems for different specialized applications. The search results returned by the system will be presented in the HTML format which will contain a summary of identified documents adapted to the submitted query.

The objective of the article is to present an architecture concept of a system which can assist the user in searching for information during the diagnostic process of a belt conveyor. The presented architecture will enable to develop information search systems. These systems will allow to work with sets of domain documents when looking for certain information. This issue might concern, for example, medicine or scientific research in other domains.



The article is organized as follows: first the origins of the domain information search were presented briefly, then the use of natural language processing in information search systems was described. In addition, the authors discussed the issue of searching for information and, more specifically, the issue of searching texts about industrial machines diagnostics. Further in the article there is a detailed description of the proposed architecture components, followed by the description of algorithms for adapting documents and algorithms of query expansion. Next the authors deal with those issues of natural language processing that are important for the selected elements of the proposed architecture. Then the article features a sample application of the proposed architecture in searching for information about the belt conveyor diagnostic methods. Finally, there come conclusions, along with further works description.

## 2. SEARCHING FOR INFORMATION AND NATURAL LANGUAGE ANALYSIS

---

Natural language processing is a domain of information technology which deals with the analysis of texts with the use of computer software. Searching text documents and related tasks belong to the area of natural language processing. These issues were described, for example, in [13].

The developed software makes use of natural language processing with a view to searching for information – for example as an element of web browsers – as well as other less complex components which can be used in the developed system of information search. A question arises: why not using the existing solutions, such as web browsers or full-text search engines? Here, some difficulties arise when we use web browsers to search our own collection of documents. These are, for example: the lack of certain data from the given domain or their incompleteness, low configurability in the range of using one's own methods and algorithms, or problems with the lack of certain words in the web browser assets.

It is not possible to use a commonly available browser, such as Google, for one's own collection of documents, due to impossible integration and modification of methods used by such browsers, or due to the lack of access to technical documentation of algorithms responsible for key stages of the searching process. An example of such a state can be the presentation of the found documents to the user. This problem concerns particularly the methods used to assess the accuracy of search results.

A more appropriate solution might be a context search engine. However, though it has certain advantages, it might be difficult to use and extend. The use of natural language processing in software for searching requires that the method should be adapted to the Polish language. The application of methods used in searching engines, such as query expansion and the methods of natural language processing, gives a good theoretical basis to build one's own system.

Developing one's own information search system it is important to search information stored in the form of document collections which should be then processed in order to be searched. For initial processing of the collection it is necessary to have natural language processing tools. A query to a search system is written in a natural language. Natural language processing is used to process the contents of the query submitted to the search system by the user. Based on the processed query, the system looks for documents matching the submitted query. Both in the case of documents collection processing and query processing, the first tool of natural language processing that is applied is the unification of the word form. For example, the word **“dogs”** is changed to the basic form **“dog”**. This change is called lemmatization. Its fulfilment is the responsibility of a program called lemmatizer. In the proposed architecture the authors did not define what kind of a lemmatizer should be used. Each information search system should have a lemmatizer which is ready to work with the vocabulary of the given domain.

The proposed architecture is to analyze texts in Polish. Apart from queries expansion, an information search system should solve the issue of ranking, i.e. distribution of those elements from the found ones which best suit the query. The best suited results should be presented to the user as the first. The architecture presented in this article will be used as a methodology for testing the possibility to improve ranking methods and to apply ranking in queries expansion.

The proposed architecture has been developed to fulfil the following research tasks:

- analysis and development of methods to improve search results on the query level;
- architecture for texts in the given domain requires dedicated data and methods, for example for such words as “horizontal belt conveyor”;
- testing and developing methods for query expansion, which is important in the case of domain texts;
- development of semantic assets for the purposes of query expansion;

- testing and analysis of the role of paraphrases and concepts in query expansion with respect to the valid literature;
- application in specialized texts in Polish;
- analysis of search selection methods to be applied in a research system;
- testing the use of machine learning methods and other algorithms for query expansion;
- testing methods of ranking search results and their application in query expansion;
- testing methods of ranking results that can be used for presenting the search results to the user;
- analysis of methods for making automatic suggestions for the user about queries that can be alternatives to the queries submitted by the user.

### 3. SYSTEM ARCHITECTURE

IT systems used for automatic document search have certain limitations, typical of their kind. These limitations are related to differences between natural languages, for example in the range of words inflection or conjugation. Therefore natural language processing tools should be prepared. The tools would allow to take these differences into account in the information search process. Another phenomenon which becomes an issue in the process of an automatic search system development is accessibility to computer linguistics assets which contain the domain vocabulary. Such a vocabulary should be understood as, for example, assets containing key words, proper names, multi-element words, or semantic dictionaries. The assets allow to process texts from a concrete domain. In such assets the domain vocabulary is scarce as they should contain the vocabulary that is used most frequently, while the domain vocabulary is not commonly used. Due to the above, commonly accessible systems contain few words from the domain the user is interested in.

The system for the Polish language presented in the article, allowing to search for information in texts about industrial machines diagnostics, is an example of a system in which the domain vocabulary is used and which is burdened with the above described problems.

The architecture proposed in the article is to be adapted to the domain texts analysis. According to the authors' knowledge, the topic of an automatic system searching for information in the domain of industrial machines diagnostics has not been investigated so far.

Another issue related to the presented system is the fact that each domain has its own specifics. Though there are systems for many kinds of domain texts, they are not dedicated to the Polish language. What is more, there are no systems for automatic information search in the domain of industrial machines diagnostics for all natural languages. These are important reasons to develop one's own solutions.

Another frequent problem is the preparation of language assets as such. This happens due to small amount of text data accessible for analysis. There are also difficulties when it comes to using accessible software. They are related to the use of one's own linguistic assets of a concrete domain in already existing search systems, such as IR Terrier [15].

The domain vocabulary is usually one of weak points of many systems which use natural language processing. Based on this it is possible to apply a query expansion mechanism, i.e. automatic expansion of the query to improve the accuracy of obtained results.

Figure 1 features the components of the proposed architecture.

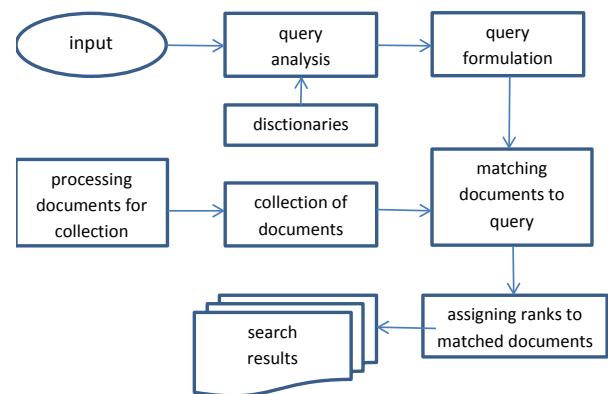


Fig. 1 Architecture of the search system with division to components

The architecture is developed in such a way that it serves as a basis for constructing systems for searching two kinds of assets: text documents and hyperlinks to WWW pages. The architecture presented here is to fulfil conditions similar to the IR Terier Platform [15]. Terier is a functionally complete searching system. It has been designed for the English language, however it is possible to adapt it to other natural languages. The group of languages served by Terier does not contain a solution that would enable to use the platform for the Polish language. The support for Polish would require a dedicated lemmatizer able to integrate multi-element words into single words that could be properly entered into the system. An example of such a word is

**“belt conveyor”**. The words that form a multi-element word should not be processed by the system as independent words but should be indexed as a whole. This is the first difference between the proposed system and the Terier Platform.

The other difference is the use of one's own language assets adapted to the domain for whose purposes the proposed-architecture-based system is used. Further in the article the term repository will stand for the system components which are responsible for storing collections of text documents or links to WWW pages, as well as the contents of Internet pages in modified forms. We assume that all data are already in repositories. The architecture has to take into account the possibility to use the queries submitted to the system or documents stored in repositories in order to acquire concepts and put them, together with their relations, in the semantic dictionary. The concepts are terms which have common features. They also can be abstract terms of the domain for which the system is developed. This issue is described in details in [5], [9] and [20]. The data acquired this way will be used for queries expansion.

The subsections below describe the components of the proposed architecture.

### 3.1. Component for the dialogue with the user

The task of this component is to receive a query from the user. Here the mechanism of generating query suggestions is applied. The component formulates the query based on the question asked by the user. While the query is formulated, its expansion is done too. The query expansion is based on enriching automatically the words of the question with words that will raise the accuracy of the query. Further in the article one can find examples of query expansion methods. In addition, the component is used to acquire paraphrases and concepts based on queries from the users. The purpose of this operation is to extend the vocabulary that can be used for query expansion.

In Fig. 1 it is possible to note that the dialog with the user is conducted by an input component and query analysis component. The query analysis component is also responsible for generating suggestions for the user. This stage is not marked in the figure, as only the basic search stages are presented there. The input component is also used for the acquisition of data that are useful at further stages of the analysis. In addition, this component is responsible for formulating queries which is based on processing the question submitted by the user. The first stage is the removal of the least important words and performing the

lemmatization of other words from the given query. Another stage is the change of words to a form suitable for the applied algorithm of matching the query to the document.

### 3.2. Component for matching queries to documents

The task of this component is to match documents in repositories to the submitted query. The matching process is based on saving the words of the query and the words which describe the stored documents into a common data representation, for example in a vector space of words or as an inverted index. Further in the article one can find descriptions of matching methods proposed in the architecture.

### 3.3. Component for processing WWW pages

The component is used for processing WWW pages included in the repository of pages from the given domain. In the presented architecture the task for this component is to automatically search for key words in WWW pages. In order to take key words from the pages, the terminology extraction method is used [13]. The component performs methods which allow to check what diagnostic methods the given WWW page or text document include. In order to obtain information about a diagnostic method described in the document, the component, apart from key words, will extract specialized vocabulary. It will also extract relations between the machine and the diagnostic method described in the given document. Here is an example of such a relation: **diagnostic method (mathematical model of damages of a belt conveyor, belt conveyor)**.

Apart from the extraction of relations [13], automatic categorization of the document will be performed, i.e. established categories will be assigned to the document, for example: **computer algorithms, mathematical models, computer programs**, as well as the elements of diagnosed machines. Assigning a category is done to extend the description of the found document with extra data which will help the user analyze the search results. Examples of such information are: **type of diagnostic method** or **type of machine element**. Another stage in processing the acquired WWW page is lemmatization and normalization within the acquired document. Additionally, there will be extraction of the WWW page address and a semantic description will be added: the words of the processed document will be the basis to identify multi-element names, such as for example **belt conveyor**. Apart from the mentioned linguistic data,

the document will be searched in terms of concepts and paraphrases. An example of a concept is **electrical circuit**. Paraphrases, in turn, are sentences like **the electrical circuit needs repair, we must repair the electrical circuit**. Thus paraphrases are different ways of building the same sentence.

The component in Fig. 1 is presented as the processing of documents added to the collection of documents and links. In addition, an analogical component will be developed to process text documents in the same way.

### 3.4. Repository component

The component is responsible for storing documents and web pages contents in the form of an inverted index. Additionally, the component stores key words and proper names within the repository. There is a semantic dictionary including words from inverted indexes which will be enriched with semantic features and relations. The repository also has a dictionary of multi-element words and compounds which are included in the stored documents and are helpful in the searching process. Concepts are included in the semantic dictionary while paraphrases [14] in a separated dictionary within the repository. In Fig. 1 repositories are marked as a collection of documents and a collection of links.

### 3.5. Result generator component

The result generator component is responsible for returning the results of the query after the results are assessed with the use of algorithms which will rank the identified documents. The ranking will allow to achieve better organization of the found documents. An example of such an algorithm is the one proposed in [11] or the one in [4] which assigns ranks with the use of a neural network and numerical optimization methods. The component puts focus on the list of matching documents while the user will get results in the form of a HTML page. The results will contain the summaries of the matching documents. Automatic summarizing is a process of presenting the information from a text document in an abridged form. It is performed automatically by any summarizing component, for example an author's original component or one of the available solutions.

In Fig. 1 one can see a ranking component which returns ordered search results. These results were previously summarized automatically, which is not a basic step in the search system operations, but only an auxiliary one.

## 4. MATCHING ALGORITHMS

Algorithms for matching the query to the documents contained in the collection is the key element of the search system. The method of inverted indexes will be used as the basic algorithm. An alternative algorithm to be used in the proposed architecture is the Vector Space Model where queries and words from the repository are depicted as vectors. The method of inverted indexes is based on mapping words with documents in order to determine relations between words and documents by analyzing how many times the given word appears in the document [12]. In addition, the Nearest Centroid Classifier will be analyzed – a classification method which uses the term of affine geometry (centroid) [16]. A description of matching methods can be found in [13].

Query expansion algorithms are an important element of a searching system [1][3][10][13]. Original, prototype methods will be used as expansion algorithms. The first method is based on using a semantic dictionary which was developed within the search system and will make use of proper names. Here, we search pWordNet<sup>1</sup> [8] for semantic relations which are assigned to the given word. If the word does not exist in the semantic dictionary, one's own semantic assets are searched. These assets include synonyms and hypernyms for the word from the query. For query expansion, lemmatization is used.

The second method makes use of the semantic dictionary, developed within the system, as input data. Another input are domain proper names stored in the repository, results summaries of similar queries as well as acquired paraphrases [14].

The third method uses semantic features of domain nouns for query expansion. A semantic feature is a semantic description of a given noun. The features will be assigned to nouns in documents and to results summaries of similar queries. Here lemmatization is applied, along with acquired paraphrases.

The fourth method makes use of biclustering for the selection of words that are similar to those used in the query, with the purpose to use the latter in the query expansion. Biclustering of matrix elements is based on searching for lines subsets and columns subsets of the given matrix. The common part of these subsets will contain elements which are more similar (or even identical) to each other than elements in the whole matrix.

The fifth method is the examination of argument analysis for query expansion [17]. The argument analy-

<sup>1</sup> pWordNet is a graph-based dictionary with semantic relations between words in the Polish language

sis is based on automatic acquisition of arguments from the text document. The acquired documents have a form of sentences which describe the arguments in favour of the given diagnostic method or in favour of conclusions about the given method. For this purpose one can use words from sentences which describe the advantages or drawbacks of a given diagnostic tool contained in the document. The term of co-reference is applied as another method of query expansion. Co-reference is the connection of an entity from the text with the knowledge existing beyond this text. An example of such relation can be: **President of Polish Football Association and Zbigniew Boniek**. This relation will change once a new president is elected. In the query expansion process we will use words that are connected by cross-document co-reference. Cross-document co-reference should be understood as different appearances of the same entity in different documents. It occurs when an entity appears in documents interchangeably: once as a general entity, the other time as a concrete instance of the given entity. An example is: a belt conveyor and a concrete model of a belt conveyor. The issue of cross-document co-reference was described in [7].

## 5. NATURAL LANGUAGE PROCESSING

Natural language processing is a significant element of an information search system. The following natural language processing issues are used in the proposed architecture: lemmatization and dictionary of multi-element words. The acquisition of these data will be done manually based on data from repositories. The data include proper names as well as abridged and full forms of some words, for example PTG – mining belt conveyor (abbreviation from Polish “przenośnik taśmowy górniczy”) or SAGA – automatic fire extinguishing unit (“samoczynny agregat górniczy”).

Making suggestions for queries will be elaborated based on the history of queries as well as biclustering and natural language processing. Making suggestions while a question is asked is done by suggesting to the user what kind of a phrase can be added to the query based on the already entered phrase. An example of such a query can be the following phrase suggestions: belt conveyor, damaged belt conveyor, conveyor of the type GWAREK-1000. A review of query suggestion methods can be found in [18].

Currently there are only few commonly available tools for query expansion. Similarly, there are few solutions for document expansion. According to the knowledge of the authors, there are no solutions dedicated to the Polish language.

There is limited support for the Polish language in popular complex solutions of information search systems, such as for example Lucene Solar Xapian.

The proposed architecture is distinguished by its dedication to the Polish language and the use of original algorithms for query expansion.

The developed architecture can be used, for example, as an element of opinion retrieval. The opinion retrieval process is organized as follows. First, by means of a search system, documents about certain products or services are searched for. Next, we check which sentences from the found documents include opinions. Examples of opinions can be: **“the device is badly made”** or **“the printer is economical”**. A detailed description of opinion retrieval can be found in [2]. The issue of opinion retrieval can be treated as an evaluation task for the developed search system or an application of a ready search system. Original semantic assets were developed specifically for the purposes of this architecture. The system made with the use of the proposed architecture will allow to search web pages and text documents stored in the system repository. The system is developed for the purposes of domain texts, for example for texts about diagnostics of mining machines.

## 6. SAMPLE APPLICATION

A query to the search system, developed on the basis of the proposed architecture, should be entered from the keyboard. We enter what we are looking for, for example: knowledge about the diagnostics of mining machines. The information searched for can refer to IT tools that can be used during the diagnostics of a belt conveyor. This information can be obtained from technical documentation. An example of such information can be the answer to the question whether there is software or algorithms that can be used to diagnose key circuits of a vertical belt conveyor. An example of information searched for is a computer model of the belt conveyor. The application of the search system and the descriptions of each step are presented below:

1. The user enters a query to the system.
2. A query suggestion aims at presenting parts of alternative queries to the user. These queries are generated automatically by the system and they are topically related to the user's query.
3. Preliminary analysis of the query, i.e. lemmatization and deletion of words which occur very often but do not carry any important information (words like: **or**, **and**). Additionally, multi-element words will be integrated.

4. Query expansion based on adding words related to the query, such as synonyms or inflected forms. This is one of query expansion methods.
5. Matching documents to the query aimed at selecting documents which include words from the query. A vector model will be used in the example. The Boolean matching process is based on identifying whether the word occurs in the document. This will allow to select matching documents. It is important to note that multi-element words have been integrated.
6. Returning results for the submitted query.

For the quoted example about the conveyor, particular stages will have the following forms:

1. Query: “Is there a computer Model of the belt conveyor?”
2. Possible suggestions are presented in Table 1.
3. The result of stage three for the query submitted by the user: **“there is a computer model of the belt conveyor”**.
4. Sample extensions of words from the query are presented in Table 2.
5. There is a computer model of the belt conveyor  $D1=(1,1,1)$ .
6. Results for the query are presented in Table 3.

**Table 1**

**Suggestions for the query “Is there a computer Model of the belt conveyor”**

| Query                                          | Suggestion                                              |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Is there a computer Model of the belt conveyor | Is there a computer Model of the mining belt conveyor   |
| Is there a computer Model of the belt conveyor | Is there a computer Model of the vertical belt conveyor |

**Table 2**

**Possible expansions of words from the query “Is there a computer Model of the belt conveyor”**

| word     | expansions  |
|----------|-------------|
| model    | algorithm   |
| computer | IT, digital |

**Table 3**

**Result of a sample query**

A computer model of the belt conveyor was developed on the basis of a block model and mathematical model. The model was digitized.

## 7. CONCLUSIONS AND FURTHER WORKS

The article features an architecture concept of a system to search for information in text documents with the use of queries in a natural language. Particularly, the system is designed to search for information in specialized documents, such as technical documentation of mining machines, for example documentation concerning the diagnostics of such machines. The proposed architecture contains query expansion methods which have significant impact on information search by means of expanding the user's query with extra words. There are no systems which could carry out query expansion for the Polish language. The tool would need proper input data which have to be prepared earlier. The article presents a concept of such assets. In domain texts there are many multi-element words. The system for searching domain texts should properly process multi-element words and abbreviations with a view to achieving better searching accuracy. In the fourth section of the article the authors described different query expansion methods which are an important element of the information search system architecture. The next step to improve the searching accuracy is the preparation of assets, such as dictionaries describing the vocabulary of the domain for which the information search system is developed. Apart from the listed elements, it is possible to use queries submitted to the system. Here the natural-language contents of the submitted queries are used along with the previously obtained results of information search in text documents. What distinguishes this architecture from others is its dedication to the Polish language.

Further works will focus on preparing an information search system that will use the architecture proposed in the article in its basic range. This will be done to examine experimentally, together with extension of the prototype system, the elements of the system related to the information search, by means of the prototype system development. It is planned to add successive elements proposed in the architecture. Additionally, natural language processing methods and assets will be applied. This is necessary for the system to search the documents properly. The elements are: lemmatization, semantic assets, multi-element words, paraphrases, key words, or extraction of information from specialized terminology. Within the successive iterations of the system the following prototype system elements will be extended: queries extension, automatic suggestions for queries, search results summaries, results ranking prototype, methods for multi-element words. The second objective to

fulfil during the system extension is to analyze the applicability of the selected machine learning methods to the above presented information search issues. The third objective to achieve within the further works is to carry out examination concerning the reduction of documents search to the issue of documents classification, followed by the comparison of these two approaches for domain texts in Polish. In order to check the quality of classification methods, the developed methods will be used to classify documents and to categorize the found documents according to the selected thematic category. In this research sensitivity analysis and data selection methods will be used.

#### References

1. Abberley D., Kirby D., Renals S., Robinson T.: *The THISL broadcast news retrieval system*. w Proc. ESCA Workshop on Accessing Information In Spoken Audio, Cambridge, 1999 pp., 14–19
2. Liu B.: *Sentiment analysis and opinion mining*, Synthesis Lectures on Human Language Technologies, 2012, 5(1) pp. 1-167.
3. de Campos L. M., Fernandez J. M., Huete, J. F.: *Query expansion in information retrieval systems using a Bayesian network-based thesaurus*, Proceedings of the Fourteenth Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, pp. 53 – 60, San Francisco, 1998
4. Chapelle O., Chang Y.: *Yahoo! Learning to Rank Challenge Overview*, Journal of Machine Learning Research Proceedings Track, 2011, 14 pp. 1–24
5. Deveaud R., Sanjuan E., Bellot P.: *Accurate and Effective Latent Concept Modeling for Ad Hoc Information Retrieval*. Document Numerique, 2014, 17(1), pp. 61-84
6. Dramé K., Mougin F., Diallo G.: *Query Expansion using External Resources for Improving Information Retrieval in the Bio-medical Domain*, w *Proceedings of the ShARE/CLEF eHealth Evaluation Lab*, 2014, pp. 189-194
7. Dutta S., Weikum G.: *Cross-document Co-reference Resolution using Sample-based Clustering with Knowledge Enrichment*. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 2015, 3 pp. 15-28
8. Hajnicz E.: *Automatyczne tworzenie semantycznych słowników walencyjnych* (in Polish). Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2011
9. Jiang X., Tan A.-H.: *Mining Ontological Knowledge from Domain-Specific Text Documents*, Proc. Of Fifth IEEE International Conference on Data Mining (ICDM 2005), pp. 665-668
10. Kakde Y.: *A Survey of Query Expansion until June 2012*, Indian Institute of Technology, Bombay 2012.
11. Luo T., Wang D., Liu R., Pan Y.: *Stochastic Top-k ListNet*, Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Lisbon, 2015, pp. 676–684
12. Manning C. D., Raghavan P., Schütze H.: *Introduction to Information Retrieval*, Cambridge University Press, NewYork, 2008
13. Mykowiecka A.: *Inżynieria lingwistyczna. Komputerowe przetwarzanie tekstów w języku naturalnym* (in Polish), Wydawnictwo PWJSTK, Warszawa, 2008
14. Obrębska A.: *Algorytmy słowotwórczego parafrazowania* (in Polish), Primum Verbum, Łódź 2014
15. Ounis L., Amati G., Plachouras V., He B., Macdonald C., Johnson D.: *Terrier Information Retrieval Platform*. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3408, 517-519
16. Salton G., Wong A., Yang C. S.: *A vector space model for automatic indexing*, Communications of the ACM, 1975, 18(11) pp. 613-620
17. Sardianos C., Katakis I., Petasis G., Karkaletsis V.: *Argument Extraction from News*, Proceedings of the 2nd Workshop on Argumentation Mining, Denver, 2015, pp. 56–66
18. Shinde P., Joshi P.: *Survey of various query suggestion system*, International Journal Of Engineering and Computer Science, 2014, 3(12), pp. 9576-9580
19. Stokes N., Li Y., Cavedon L., Zobel J.: *Exploring abbreviation expansion for Genomic Information Retrieval*. Proceedings of the Australasian Language Technology Workshop, 2007, pp. 100-108
20. Szwed P.: *Enhancing Concept Extraction from Polish Texts with Rule Management*, Communications in Computer and Information Science, 2016, 613 pp. 341-356
21. Zheng J., Yu H.: *Key Concept Identification for Medical Information Retrieval*, Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 2015, pp. 579-584

GRZEGORZ KWIATKOWSKI, M.Sc.

Institute of Informatics

Silesian University of Technology

ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice

gkwiatkowski@polsl.pl

MARCIN MICHALAK, Ph.D.

Institute of Innovative Technologies EMAG

ul. Leopolda 31, 40-189 Katowice

mmichalak@ibemag.pl

# Setting the range of reactive power regulation for a salient-poles motor based on the measurement of the synchronous work state

*The article features a method of determining synchronous reactance in the axes  $d$  and  $q$  for a synchronous motor with salient poles based on measuring basic electrical quantities in the state of synchronous work. The admissible operating range of the machine was discussed. The motor with salient poles was described by means of a phasor diagram. The author presented dependencies which allow to determine the solution searched for. The method was presented in a graphical manner. Finally, the author discussed the possibility to reduce the search range of available solutions.*

Key words: synchronous motor, electrical drive, reactive power compensation

## 1. INTRODUCTION

---

Slow-speed high power synchronous motors are usually manufactured as salient-pole machines. In motors with salient poles the excitation winding is wound onto the poles of the rotor (field system). The core of the rotor is symmetrical to the salient pole axis which is marked as axis  $d$  and to the longitudinal axis marked as axis  $q$  which is perpendicular to  $d$ . Synchronous reactance has different values in both axes. This allows to achieve a starting torque, called reluctance torque, at the direct start-up from the supply network [1, 5, 8]. However, the lack of reactance symmetry in the axes  $d$  and  $q$  complicates significantly the mathematical description and analysis of the motor operations, particularly in dynamic states [6, 7].

In the state of synchronous work, when the motor is loaded with a braking torque (active power), the rotor axis does not coincide with the axis of the rotating field generated by the windings of the stator. The axis is shifted by the  $\vartheta$  angle, also called power angle. Synchronous work is possible in a limited range of the power angle.

Under-loaded synchronous motors are often used as regulated reactive power compensators. Reactive power regulation is administered by changing the current in the excitation winding of the motor [3, 4]. The assessment of the reactive power regulation range requires that one

should be familiar with synchronous reactance in the axes  $d$  and  $q$ . Improperly determined excitation current may cause the power angle to exceed the admissible value and the motor to fall out of synchronism.

There are methods to determine electromagnetic parameters of a synchronous machine by measuring current quenching at a motionless rotor [6]. This requires, however, that the axis of the field system should be placed very accurately with respect to the flow of the stator supplied from a DC current source.

The rotors of high power machines weigh several tonnes and are usually permanently integrated with the operated devices whose weights are similar or bigger. Setting the motor shaft in a proper position, in order to determine the reactance with the use of above mentioned method, is practically impossible in such cases.

Another method to determine synchronous reactance is the small slip method based on measuring the pulsations of the stator current envelope at an open excitation circuit. Voltages induced in the open excitation circuit during sub-synchronous work require that the supply voltage should be reduced to about 10% of nominal voltage. Obtaining such voltage values is impossible in industrial power supply grids and requires a special testing stand.

Determining the reactance by means of a synchronous short circuit trial requires that the motor should be driven by a different machine. This is difficult or even impossible to fulfil.



The author of the article assumed motor-based work of the synchronous machine and a plus sign of reactive power when the motor absorbs inductive reactive power and a minus sign when the power is returned to the network (absorbing capacitive reactive power from the network).

Using a synchronous machine as a reactive power compensator requires that an admissible work range should be determined. Figure 1 features a diagram of boundary loads of the synchronous machine [2].

The input equations to describe the synchronous machine are vector equations describing a 3-phase AC machine saved in the common rotating coordinate system [1, 4, 5, 6, 7, 8]. However, it is most convenient to describe it in the system of  $d, q, 0$  coordinates rotating concurrently with the rotor. In such a system the windings of the stator and the rotor, placed in the axes  $d$  and  $q$  respectively, are motionless with respect to each other, thus they can be treated as the windings of a transformer with stable inductance values.

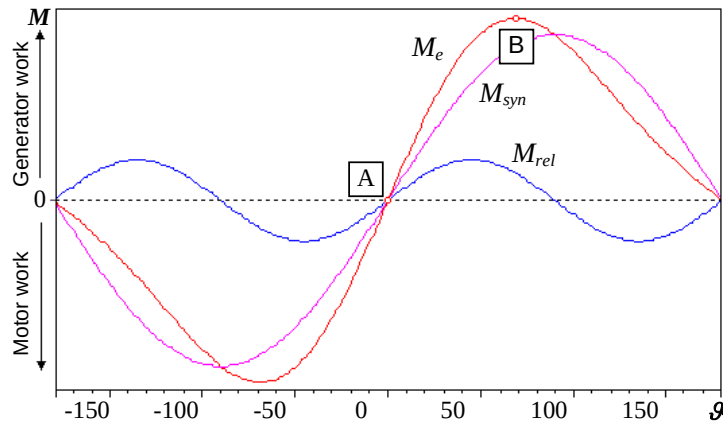


Fig. 2. Electromagnetic torque of a motor with salient poles:  $M_{rel}$  – reluctance torque,  $M_{syn}$  – synchronous torque,  $M_e$  – resultant torque

Figure 3 features a diagram of windings of the salient-pole machine in the axes  $d$  and  $q$ . The symbols  $d$  and  $q$  stand for quantities related to the windings of the stator,  $f$  represents the quantities related to excitation winding, while  $D$  and  $Q$  – quantities related to damping windings.

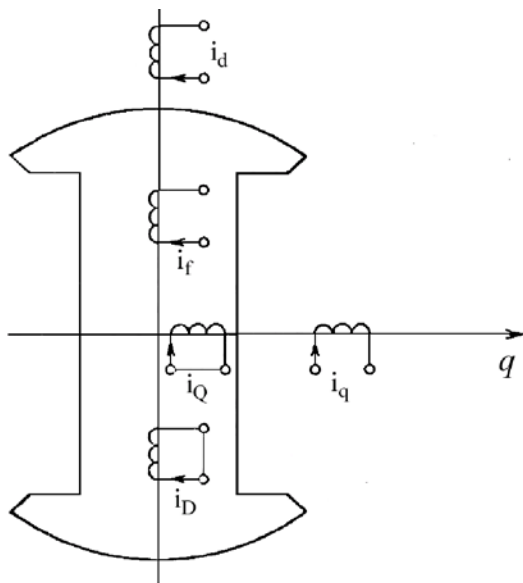


Fig. 3. Winding of a salient-pole synchronous machine in the  $dq$  coordinate system  
[author's own elaboration]

The equations describing the state of the synchronous machine operations [1, 4, 5, 6, 7] are significantly simplified when it is assumed that the work proceeds in the synchronous state. If we assume that the waveforms of voltages, currents and linked fluxes are symmetrical sinusoids, then in the steady state the time derivatives of fluxes and currents in damping circuits can be equated to zero, which allows to disregard the impact of damping windings.

A convenient way to illustrate the work of the motor is to present mutual relations by means of a phasor diagram. When determining a phasor diagram for high-power motors, the resistance values of stator windings are disregarded, as their impact on the motor operations is insignificant in comparison with the impact of synchronous reactance values in the longitudinal and lateral axis.

Figure 4 features a phasor diagram of the synchronous motor with salient poles in the  $dq$  coordinate system, disregarding losses in the stator winding.

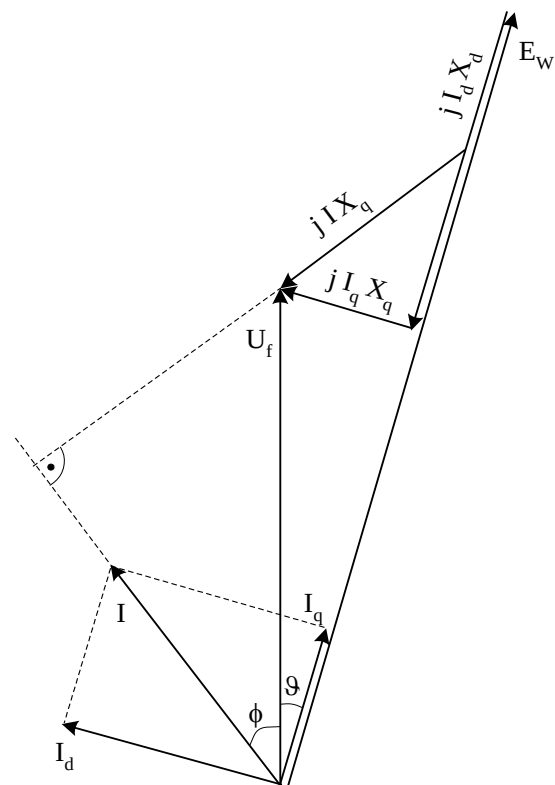


Fig. 4. Phasor diagram of a synchronous motor with salient poles

Based on the phasor diagram from Fig. 4 it is possible to write three independent equations:

$$\begin{cases} P = mU_f \frac{E_w}{X_d} \sin \vartheta + \frac{mU_f^2}{2} \sin 2\vartheta \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \\ Q = -\frac{mU_f^2}{X_q} + m \frac{U_f E_w}{X_d} \cos \vartheta + mU_f^2 \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cos^2 \vartheta \\ E_w = \frac{I_w}{k_w} \end{cases} \quad (1)$$

where:

$m$  – number of phases,

$P$  – active power

$Q$  – reactive power

$U_f$  – phase-to-phase voltage,

$E_w$  – electromotive force induced in the winding of the stator,

$I_w$  – excitation current,

$X_d$  – synchronous reactance in axis  $d$ ,

$X_q$  – synchronous reactance in axis  $q$ .

$\vartheta$  – power angle,

$k_w$  – motor constant.

Taking into account the dependency on  $E_w$ , it is possible to write the following:

$$\begin{cases} P = mU_f \frac{I_w}{k_w X_d} \sin \vartheta + \frac{mU_f^2}{2} \sin 2\vartheta \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \\ Q = -\frac{mU_f^2}{X_q} + m \frac{U_f I_w}{k_w X_d} \cos \vartheta + mU_f^2 \cos^2 \vartheta \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \end{cases} \quad (2)$$

The power angle  $\vartheta$  can be expressed as follows:

$$\frac{\cos \vartheta}{\sin \vartheta} = \frac{mU_f^2}{X_q P} - \frac{Q}{P} \quad (3)$$

Assuming that the values  $P$ ,  $Q$ ,  $U_f$ ,  $I_w$  (e.g. nominal values) are known, it means that two independent equations (2) are a function of three unknown variables:

$$\begin{cases} P = f(k_w, X_d, X_q) \\ Q = f(k_w, X_d, X_q) \end{cases} \quad (4)$$

Thus it is impossible to determine the variables searched for with the use of analytical calculations.

Determining the reactance values  $X_d$ ,  $X_q$  and the  $k_w$  coefficient requires that we know at least 3 points of the motor work described by  $P$ ,  $Q$ ,  $I_w$ . The  $P$ ,  $Q$ ,  $I_w$  values can be read from measurement devices during synchronous work of the motor. Assuming that one of necessary operating points is determined by nominal parameters given on the nameplate of the motor, the measurements have to be done for two different operating points, other than the nominal operating point.

Knowing the values  $P$ ,  $Q$ ,  $I_w$  for three different operating points of the motor, it is possible to enter equations for the values of  $X_d$ ,  $X_q$  and  $k_w$ . However, high degree of the equations complexity makes it impossible to solve them in an analytical manner..

The solution can be achieved by means of an iterative algorithm which investigates mutual relations of the  $X_d$ ,  $X_q$ ,  $k_w$  parameters for the known operating points of the machine.

For the set changes of  $X_q$ , based on (3) it is possible to determine the value of the power angle  $\vartheta$  and then, for the set changes of  $X_d$ , determine the value of the  $k_w$  coefficient in compliance with the following dependency:

$$k_w = \frac{I_w}{\frac{PX_d}{mU_f \sin \vartheta} - U_f \left( \frac{X_d}{X_q} - 1 \right) \cos \vartheta} \quad (5)$$

What we are looking for are such values of reactance  $X_d$  and  $X_q$  for which the value of the  $k_w$  coefficient is the same in each of the selected operating points.

In order to illustrate the method, the GAe-1716t/01 synchronous motor was used with rated data presented in Tab.1.

**Table 1.**  
**Rated data of GAe-1716t/01 motor**

| Rated power (mechanical) | $P_{mN}$ [kW]          | 3150         |
|--------------------------|------------------------|--------------|
| Active power             | $P_N$ [kW]             | 3274         |
| Stator voltage           | $U_{N(Y)}$ [V]         | 6000         |
| Stator current           | $I_N$ [A]              | 350          |
| Excitation voltage       | $U_{wN}$ [V]           | 90           |
| Excitation current       | $I_{wN}$ [A]           | 313          |
| Power factor             | $\cos \varphi_N$       | 0.9 capacity |
| Rotating speed           | $n_n$ [rotations/ min] | 375          |
| Frequency                | $f_n$ [HZ]             | 50           |

### 3. DETERMINING SYNCHRONOUS REACTANCE VALUES

The impact of reactance  $X_d$  and  $X_q$  on the value of the  $k_w$  coefficient was illustrated for the nominal operating point of the motor which is described by the values  $P_N$ ,  $Q_N$ ,  $U_{fN}$ ,  $I_{wN}$ . Figure 5 features a diagram of the  $k_w=f(X_d, X_q)$  function for the nominal operating point of the GAe-1716t/01 motor.

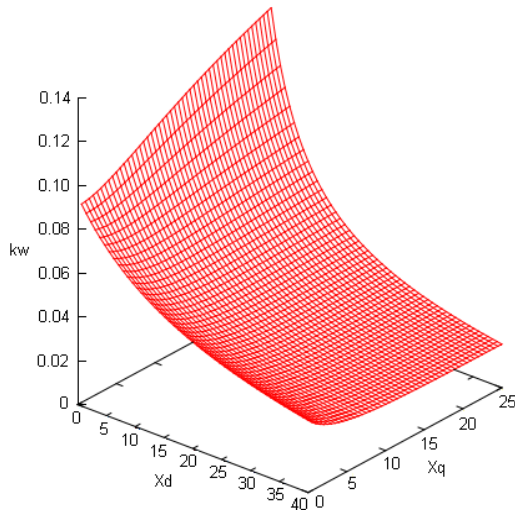


Fig. 5. Impact of  $X_d$ ,  $X_q$  parameters on the value of the  $k_w$  coefficient at rated parameter values for the GAe-1716t/01 motor

It is important to note that the  $k_w$  parameter is the motor constant, which means that it remains unchanged irrespective of the operating state of the driving system for constant values of  $X_d$  and  $X_q$ . The changing value of the  $k_w$  coefficient in Fig. 5 results from the changes in the  $X_d$  and  $X_q$  reactance values in the process of the diagram preparation.

The shape presented in Fig. 5 is described in a 3D space, which means that in order to determine the value of the  $k_w$  coefficient, it is necessary to investigate its variability values for at least three different operating points of the motor. Table 2 features measurement values for two remaining operating states at the rated supply voltage  $U_{fN}$ .

**Table 2.**  
Measurement values for the GAe-1716t/01 motor

| Active power<br>$P$ [kW] | Reactive power<br>$Q$ [kVar] | Excitation<br>current $I_w$ [A] |
|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1636.8                   | -1127.5                      | 250                             |
| 327.4                    | -2556.0                      | 313                             |

For the presented measurement values the variability of the  $k_w$  coefficient was drawn, depending on the  $X_d$  and  $X_q$  parameters and was placed on a common diagram with the waveform determined for rated parameters. The results are shown in Fig. 6.

The drawn shapes cross each other in places where the  $k_w$  coefficient values are equal, while the points where all three shapes cross are points of potential values of reactance  $X_q$  and  $X_d$ .

Figure 7 features the projections of the drawn shapes against the  $X_d X_q$  plane. Potential values of the  $X_d$  and  $X_q$  reactance are placed in the points where three colours meet.

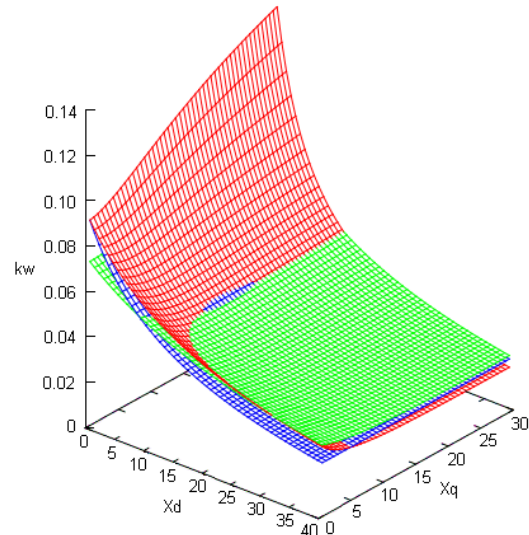


Fig. 6. Impact of the  $X_d$ ,  $X_q$  parameters on the value of the  $k_w$  coefficient for selected operating points of the GAe-1716t/01 motor

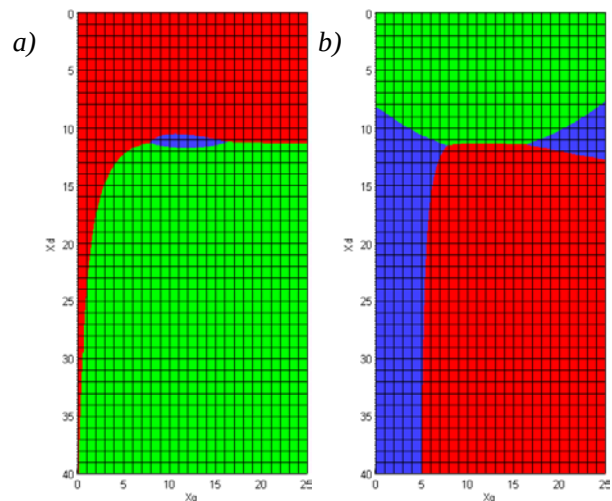


Fig. 7. Projection of the diagram of  $X_d$ ,  $X_q$  parameters impact on the value of the  $k_w$  coefficient for selected operating points of the GAe-1716t/01 motor against the  $X_d X_q$  plane: a) top view, b) bottom view

Figure 8 features a projection of common edges of particular shapes from Fig. 6 against the  $X_q X_d$  plane.

Determining common points of three curves in a 2D space, it is possible to determine potential values of the  $X_q$  and  $X_d$  reactance.

As one can see in Fig. 8, there are two points,  $A(X_{q1}, X_d)$  and  $B(X_{q2}, X_d)$  which fulfil the condition of the  $k_w$  coefficient invariability. Due to the lack of symmetry of the rotor of the salient-poles motor, the reactance in the axis  $d$  is always bigger than the reactance in the axis  $q$ . For this reason it is necessary to reject point  $B$  and the solution sought for are the coordinates of point  $A$  from Fig. 8. For the presented example, the determined reactance values are the following:  $X_q = 7,82 \Omega$  and  $X_d = 11,38 \Omega$ .

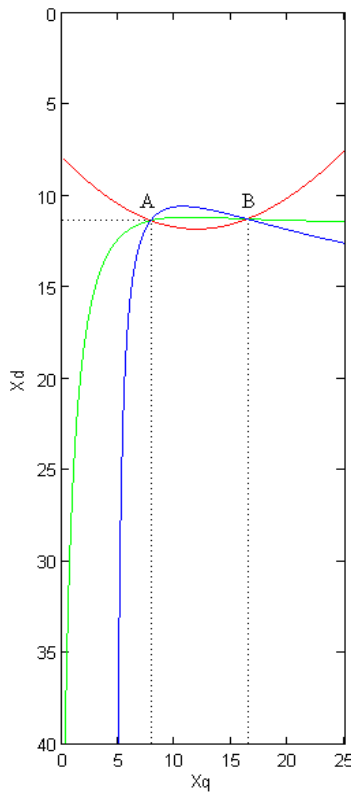


Fig. 8. Projection of common edges of the  $k_w$  coefficient dependency shapes against the  $X_q X_d$  plane for different operating points of the GAe-1716t/01 motor

Using an analogical method, it is possible to determine the values of the  $X_q$  and  $X_d$  reactance, at the assumption that the  $E_w$  electromotive force is stable. However, in this case the measurements of operating states should be conducted at the same excitation current and the same change of the active power load.

The method of looking for a common value of the  $k_w$  coefficient in order to determine synchronic reactance values assumes that the magnetic circuit is linear. To minimize the impact of saturation, it is necessary to select measurement points at the possibly small values of the excitation current.

#### 4. RESTRICTING THE SEARCH AREA

The shapes of the  $k_w=f(X_d, X_q)$  function diagram are not always as regular as those in Fig. 6.

Figure 9 features a diagram of the  $k_w=f(X_q, X_d)$  function for the operating point  $P=0,6P_N$ ,  $Q=2159001$  kVA,  $I_w=110$  A, which is a stable point of synchronous operations for the considered motor at an assumed load.

The “ragged” edges of the shape result from the adopted calculation step with respect to the axes  $X_q$  and  $X_d$  when the diagram is drawn. In reality, in these

places there is a full band with no ragged edges that are seen in Fig.9. A too big calculation step may lead to bigger errors or even make it impossible to determine common values of the  $k_w$  coefficient, which means that it would be impossible to determine, even roughly, the  $X_d$  and  $X_q$  reactance values.

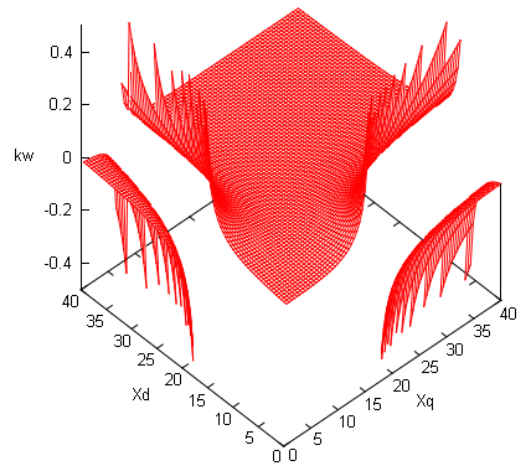


Fig. 9. Diagram of function  $k_w=f(X_q, X_d)$  for the GAe-1716t/01 motor at  $P=0,6P_N$ ,  $I_w=110$  A,  $Q=2159001$  kVA

As one can see in Fig. 9, the obtained shape consists of several segments. The segmentation is caused by the discontinuity of the  $\text{ctg}$  function. It is impossible to determine the  $\vartheta$  angle from the dependency (3) for some combinations of the  $X_d$  and  $X_q$  values. Such a shape of the function produces extra intersections of the edges of all considered areas for different operating points of the motor, thus giving extra solutions which are inaccurate from the point of view of the motor operations.

For motor-based work the minimal power angle  $\vartheta$  is 0. With consideration of the condition  $\vartheta \geq 0$  in (3), we obtain the following:

$$X_q \leq \frac{mU_f^2}{Q} \quad (6)$$

For the considered example the search area of a solution can be limited to the value  $X_{q\max}=16,6744 \Omega$  determined on the basis of the dependency (6).

The  $k_w$  coefficient, which is the motor constant, must be higher than 0. In the light of two above assumptions it is possible to restrict the range of the sought solution.

Figure 10 features a graphic representation of the impact of the  $X_d$ ,  $X_q$  parameters on the value of the  $k_w$  coefficient for selected operating points of the motor, with respect to the restrictions in the area where the solution is sought.

The figures are graphic illustration of the iterative method for determining parameters. The method enables to read reactance parameters in both axes.

The use of the iterative calculation method to determine the values of the  $X_d$  and  $X_q$  reactance enables to achieve a result of the assumed accuracy. The iterative method should narrow the search to the values close to the  $k_w$  coefficient until the achieved error is smaller than the required accuracy. It is important to have a suitably small initial step in order to avoid situations presented in Fig. 9 and 10 in the form of ragged bands for the drawn functions  $k_w=f(X_q, X_d)$ .

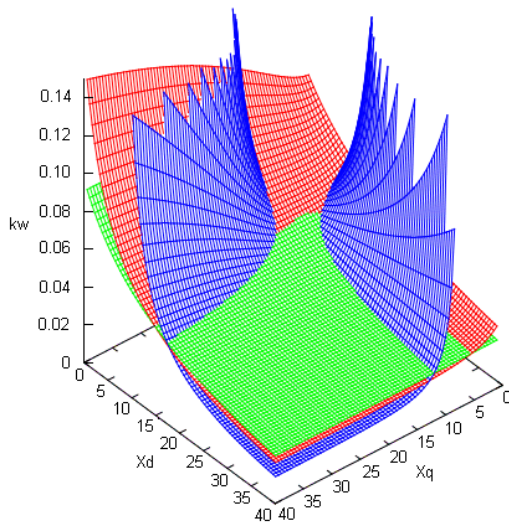


Fig. 10. Impact of  $X_d$ ,  $X_q$  parameters on the value of the  $k_w$  coefficient for the selected operating points of the GAe-1716t/01 motor with restricted search area for  $P=0,6P_N$ ,  $I_w=110$  A,  $Q=2159001$  kVA

## 5. CONCLUSIONS

The knowledge of synchronous reactance values in the longitudinal and lateral axis for a salient-pole machine is indispensable for determining the range of reactive power regulation which ensures safe operations of the motor in the synchronous state [3]. The

$X_d$  and  $X_q$  parameters can be determined on the basis of measurements of basic electrical quantities (active power, reactive power, excitation current) in the state of synchronous work. However, it is necessary to take into account a security margin related to the admissible power angle in dynamic states.

As the dependencies between different operating points of the synchronous-state motor are very complex, it is not possible to achieve the result in an analytical manner. The solution to this problem is the iterative method which looks for a solution according to the criterion of the same value of the  $k_w$  coefficient. Restricting the search area to values related to possible states of the machines with working motors eliminates potentially inaccurate values of the determined synchronous reactance and allows to achieve a solution of any assumed accuracy.

## References

1. Bajorek Z.: *Teoria maszyn elektrycznych (Theory of electrical machines)*, Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1987.
2. Glinka T.: *Maszyny synchroniczne jako kompensatory mocy biernej i filtry wyższych harmonicznych (Synchronous machines as reactive power compensators and higher harmonics filters)*. Wiadomości Elektrotechniczne, R.81, No 8 2013.
3. Hyla M.: *Power supply unit for the excitation of a synchronous motor with a reactive power regulator*. Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering, 2015, No 1(521), pp.57-61
4. Kaczmarek T., Zawirski K.: *Układy napędowe z silnikiem synchronicznym*, (Driving systems with synchronous motors). Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2000.
5. Latek W.: *Teoria maszyn elektrycznych (Theory of Electric Machines)*. WNT, Warszawa 1987
6. Paszek W.: *Dynamika maszyn elektrycznych prądu przemiennego (Dynamics of alternating current electrical machines)*. Helion, Gliwice 1998
7. Paszek W.: *Stany nieustalone maszyn elektrycznych prądu przemiennego (Nonstationary states of alternating current electrical machines)*. WNT, Warszawa, 1986.
8. Plamitzer A.: *Maszyny elektryczne (Electrical machines)*. WNT, Warszawa 1986.

MARIAN HYLA, PhD Eng.  
Silesian University of Technology  
Faculty of Electrical Engineering  
ul. B. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice  
marian.hyla@polsl.pl



# Systems and tracks of self-powered suspended monorails for transportation of people in horizontal workings and workings with inclination up to 45°

*The article presents the number of transport systems and the length of the routes on which people are transported in Polish mines. A legal status in Poland and China and the guidance of the Regional Office of Arnsberg in Germany were presented. The actual speed as a function of time recorded during exploitation of the suspended monorail in the mining conditions is shown. A technical potential maximum velocity of the suspended drivetrains is identified. Extended criterial model for assessment of effects of overloads to operators and transported team as well as algorithm for identification of effects of dynamic overloads are presented. Example of simulation result, i.e. behaviour of virtual model of Hybrid III dummy during its transportation in a cabin on a curve, is given.*

key words: underground mining, suspended monorail, virtual prototyping, FEM

## 1. THE USAGE OF SYSTEMS AND TRACKS OF SELF-POWERED SUSPENDED MONORAILS FOR TRANSPORTATION OF PEOPLE IN POLISH MINES

The analysis of the transportation track length and the number of self-powered suspended monorails in horizontal workings and workings with inclination of up to 45° was conducted in the period from 2000 to 2012, with reference to the total length of transportation tracks and the number of active mines in service (Fig. 1, Table 1) [1,2].

The analysis (Table 1, Figure 1) indicates that, with the closing of mines, the total length of tracks decreased, while the length of self-powered suspended monorail tracks is increasing regardless of the decreasing number of active mines still in service.

The total length of tracks decreased from 2,217 km in 2000 to 1,753 km in 2012, i.e. by approximately 21%. Within the same period, the number of active mines decreased from 42 to 31, i.e. by approximately 24%. On the other hand, the length of transportation tracks of self-powered suspended monorails was systematically extended from 152 km in 2000 to 826 km in 2012, i.e.

approximately 5.5 times. The average track length of self-powered suspended monorails per one mine increased from 3.6 km in 2000 to 26.6 km in 2012, i.e. approximately 7.4 times. The number of self-powered suspended monorails rose from 211 in 2007 to 471 in 2012, i.e. approximately 2.2 times.

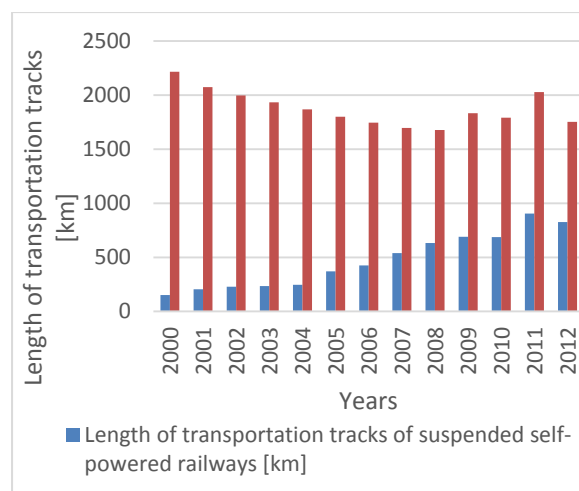


Fig. 1. The length of transportation tracks of suspended monorails in horizontal workings and workings with inclination of up to 45° [1, 2]

**Table 1.**

**The length of transportation tracks and the number of self-powered suspended monorails in horizontal workings and workings with inclinations up to 45° [1,2]**

| No. | Year | Length of transportation tracks of self-powered suspended monorails [km] | Total length of transportation tracks [km] | Number of self-powered suspended monorails [pcs] | Number of mines [pcs] | Average track length of self-powered suspended monorails per one mine [km] | Number of self-powered suspended monorails [pcs] |
|-----|------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|     | 1    | 2                                                                        | 3                                          | 4                                                | 5                     | 6                                                                          | 7                                                |
| 1   | 2000 | 152                                                                      | 2217                                       | -                                                | 42                    | 3.6                                                                        | -                                                |
| 2   | 2001 | 204                                                                      | 2074                                       | -                                                | 42                    | 4.9                                                                        | -                                                |
| 3   | 2002 | 228                                                                      | 1997                                       | -                                                | 41                    | 5.6                                                                        | -                                                |
| 4   | 2003 | 235                                                                      | 1933                                       | -                                                | 39                    | 6.0                                                                        | -                                                |
| 5   | 2004 | 246                                                                      | 1868                                       | -                                                | 35                    | 7.0                                                                        | -                                                |
| 6   | 2005 | 371                                                                      | 1801                                       | -                                                | 33                    | 11.2                                                                       | -                                                |
| 7   | 2006 | 425                                                                      | 1745                                       | -                                                | 33                    | 12.9                                                                       | -                                                |
| 8   | 2007 | 540                                                                      | 1697                                       | 211                                              | 32                    | 16.9                                                                       | 6.6                                              |
| 9   | 2008 | 632                                                                      | 1677                                       | 246                                              | 31                    | 19.8                                                                       | 7.7                                              |
| 10  | 2009 | 691                                                                      | 1833                                       | 286                                              | 31                    | 22.3                                                                       | 9.2                                              |
| 11  | 2010 | 688                                                                      | 1792                                       | 322                                              | 31                    | 21.5                                                                       | 10.1                                             |
| 11  | 2011 | 905                                                                      | 2029                                       | 394                                              | 31                    | 29.2                                                                       | 12.7                                             |
| 12  | 2012 | 826                                                                      | 1753                                       | 471                                              | 31                    | 26.6                                                                       | 15.2                                             |

On average, the number of self-powered suspended monorails per one mine increased from 6.6 in 2007 to 15.2 in 2012, i.e. approximately 2.4 times.

The analysis conducted indicates that there is a dynamic growth in the transportation by self-powered suspended monorails, particularly in the years 2005-2012.

The number of transportation systems and track length of self-powered suspended monorails for people

transportation in the individual organisational units of the coal industry in 2013 is presented in Table 2 [2].

The analysis shows that in coal mines in 2013, the personnel was transported by self-powered suspended monorails in 81 transportation systems with the total track length of 159.5 km [2].

**Table 2.**

**The number of transportation systems and the length of tracks for people transportation [2]**

| No. | Organisational unit | Number of transportation systems [pcs] | Length of tracks for people transportation [km] |
|-----|---------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|
|     | 1                   | 2                                      | 3                                               |
| 1   | KW S.A.             | 37                                     | 72.3                                            |
| 2   | JSW S.A.            | 21                                     | 28.4                                            |
| 3   | KHW S.A.            | 3                                      | 9.8                                             |
| 4   | PKW S. A.           | 3                                      | 7.2                                             |
| 5   | LW Bogdanka S.A.    | 12                                     | 37.1                                            |
| 6   | PG Silesia          | 4                                      | 3.5                                             |
| 7   | ZG Siltech          | 1                                      | 1.2                                             |
|     | Total               | 81                                     | 159.5                                           |



## 2. THE RULES FOR USING SUSPENDED MONORAILS IN UNDERGROUND PARTS OF MINES

The analysis of selected issues concerning the transportation by self-powered suspended monorails has been conducted on the basis of the applicable legal acts in Poland [12, 14, 19], Germany [18], Russia [5], China [6] and Vietnam [5].

Particular attention was put on the provisions regulating the speed of people transportation by self-powered means of transport and the conditions of its fulfilment. The normative documents [6, 18] indicate that the travelling speed of diesel-powered suspended monorails should be lower than 3.0 m/s, while the source documents [5, 12, 14, 19] stipulate that it cannot exceed 2.0 m/s.

## 2.1. Legal status in Poland

The specific provisions concerning traffic regulation and management of deposits in underground mining plants producing hard coal and lignite, developed according to the Decree No. 38 of the Minister of Mines and Energy dated 10.10.1973, in force since 01.01.1974 [14], specify that the monorail speed while transporting materials and people should not exceed 2 m/s.

It was also found that the distance between the most protruding part of the monorail or the material transported and the support or other equipment should be at least 0.4 m, and not less than 0.8 m in the reloading area (Fig. 2).

The provisions specified that, in the case of people transportation, there should be a passage in the boarding and alighting areas, which is at least 1.0 m wide (counting from the contour of the transportation cabin) and 1.8 m high, while the distance between the floor and the bottom edge of the passenger cabin or the material container of the monorail should not be less than 0.5 m (Fig. 2). The guidelines for using suspended monorails, the Ministry of Mines – the Mining Department, Katowice, November 1978 [19], superseding the “Temporary Guidelines for using suspended monorails issued by the Mining Department of the Ministry of Mines and Energy (MGiE) in 1971 received a new provision stipulating that the inclination of workings where a monorail is intended to be installed should not exceed  $45^{\circ}$ , while the monorail speed during transportation of materials and people should not be greater than 2 m/s. Changes in the transportation equipment used, particularly related to the replacement of floor-mounted and suspended monorails with rope drive into self-powered railways began in 2003. The regulations governing monorail transportation were also amended.

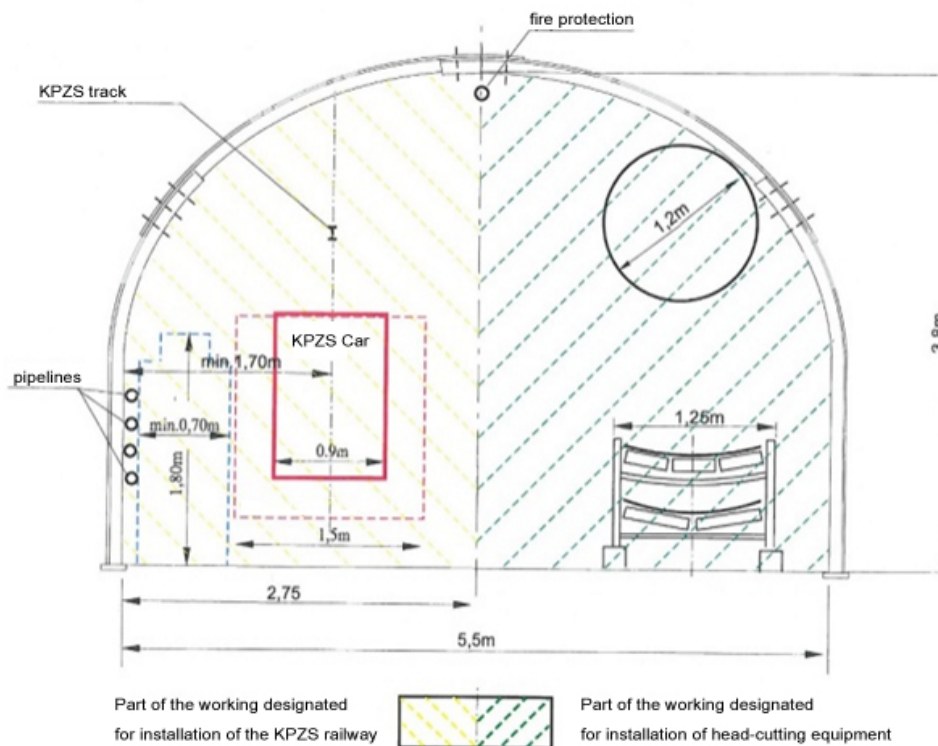


Fig. 2. Cross-section of the working with equipment constructed of a V/10 support [2]

The requirements related to the commissioning and operational safety of transportation systems were specified in the Regulation of the Minister of the Economy of 25 June 2010 concerning occupational safety and health, traffic regulation and specialised fire-fighting protective equipment in underground mining facilities, Dz. U. [Journal of Laws] No. 139, Item 1169 [13]. The requirements for operational safety specified in the Regulation govern, amongst others, the issues concerning:

- maintenance of the technical condition and the principles of operating and servicing in accordance with the specifications of the operation and maintenance manual (DTR);
- maintenance of workings and system installations to ensure that the dimensions of workings for transportation are secured (Fig. 2);
- the obligations of traffic supervisors and service staff related to the organisation of works and the inspections of the means of transport;
- provision of signalling, communication and traffic protection devices;
- organisation and conditions for the transportation of materials or people, where the speed of people transportation by rope-driven and self-powered means of transport cannot exceed 2 m/s.

The rules for using suspended monorails in underground parts of mines were also specified, amongst others, in the following normative acts [1, 2, 20]:

- Directive 2006/42/EC – The safety of machinery, introduced by the Regulation of the Minister of Economy, Labour and Social Policy of 21 October 2008 concerning the fundamental requirements for machines (Dz. U. [Journal of Laws] No. 199, Item 1228),
- Directive 94/9/EC of the European Parliament and of the Council of 23 March 1994 on the approximation of the laws of the Member States concerning equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres, introduced by
- Regulation of the Minister of the Economy of 22 December 2005 concerning the fundamental requirements for equipment and protective systems in-

tended for use in potentially explosive atmospheres (Dz. U. [Journal of Laws] No. 263, Item 2203),

- Directive 97/23/EC of the European Parliament and of the Council of 29 May 1997 on the approximation of the laws of the Member States concerning pressure equipment, introduced by the Regulation of the Minister of the Economy of 21 December 2005 concerning the fundamental requirements for pressure equipment and assemblies (Dz. U. [Journal of Laws] No. 263, Item 2200),
- The Regulation of the Minister of the Economy of 19 August 2005 concerning the specific requirements for combustion engines in terms of limiting the emission of gaseous and particulate pollutants from combustion engines (Dz. U. [Journal of Laws] No. 202, Item 1681).
- PN, PN-EN, material and subject standards for the components used in the construction of monorails.

The safety requirements for operating the means of transport in the underground parts of mines included in the normative acts forced the producers of drivetrains and their users to limit the speed of people transportation to 2 m/s in the case of rope-driven and self-powered means of transport. They also forced the users to construct and maintain workings and install the transportation systems in a manner to ensure that the dimensions of workings for transportation are secured [1, 2, 20, 21].

## 2.2. Legal status in Germany – Guidelines by the Regional Office in Arnsberg

The provisions included in the guidelines by the Regional Office in Arnsberg, the Division of Mining and Energy in Nordrhein-Westfalen (NRW) [18], for battery-powered and diesel-powered suspended railways in underground facilities of coal mines from 14.12.2005 (Guidelines for a suspended monorail) indicate that the transportation speed of rope-driven and self-powered means of transport cannot exceed 3.0 m/s. On the other hand, an increase in the travelling speed of drivetrains and railways to over 2.0 m/s makes it necessary to extend the clearance gauge to the dimensions presented in Fig. 3 [18].

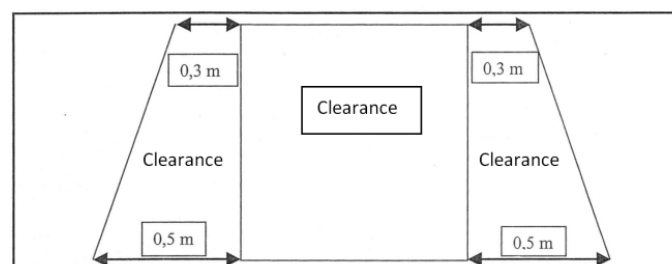


Fig. 3. Spatial profile for the travelling speed  $> 2.0$  m/s [18]

### 2.3. Legal status in China – Normative documents of the Mining Industry Standard of the People’s Republic of China

The safety status of transportation equipment in coal mining is based on the “Normative documents of

the Mining Industry Standard of the People's Republic of China" (date of issue: 08.12.2000) [6]. The normative documents [6] indicate that the travelling speed of diesel-powered suspended monorails should be lower than 3.0 m/s (Table 3).

**Table 3.**

### Transportation parameters for self-powered suspended monorails [6]

|                           |                       |                   |    |    |    |     |     |
|---------------------------|-----------------------|-------------------|----|----|----|-----|-----|
| Maximum drawbar pull [kN] |                       | 15                | 30 | 60 | 90 | 120 | 160 |
| Maximum speed [m/s]       |                       | ≤3                |    |    |    |     |     |
| Inclination [°]           |                       | ≤25               |    |    |    |     |     |
| Rail type                 |                       | I 140 E           |    |    |    |     |     |
| Turning radius [m]        | in a vertical plane   | 8                 |    |    |    |     |     |
|                           | in a horizontal plane | 4                 |    |    |    |     |     |
| Standard for the rail     |                       | I 140 E DIN 20593 |    |    |    |     |     |

### 3. IDENTIFICATION AND MONITORING OF THE OPERATING PARAMETERS OF SUSPENDED MONORAIL DRIVETRAINS

Diesel self-powered suspended mining drivetrains equipped with recorders of operational parameters installed in the power supply unit of the control and diagnostic system may be used for verifying the performance of machines. The data which are registered and stored on a memory card or transmitted to a selected recipient make it possible to analyse the values of pressure, temperature, travelling speed, rotational speed of the engine (RPM) as well as emergency states and faults of the drivetrain. Moreover, the data allow for evaluating the control function of the ma-

chine. In order to send the data in a particular frequency band, it is necessary to choose a proper data transmission system. The signals generated in the control system of a diesel-powered drivetrain may be visualised, for example in a control room. Depending on the user's communication structure, a diesel-powered drivetrain can be optionally equipped with devices for transmitting the performance parameters of the drivetrain via the following modems: UHF, VHF, Wi-Fi and a docking station.

For example, the publications [20, 21] present the analysis of people transportation speed. The speed of people transportation primarily ranged between 1.1 and 1.5 m/s. Figure 4 presents a sample graph showing the variable speed of people transportation in a mine.

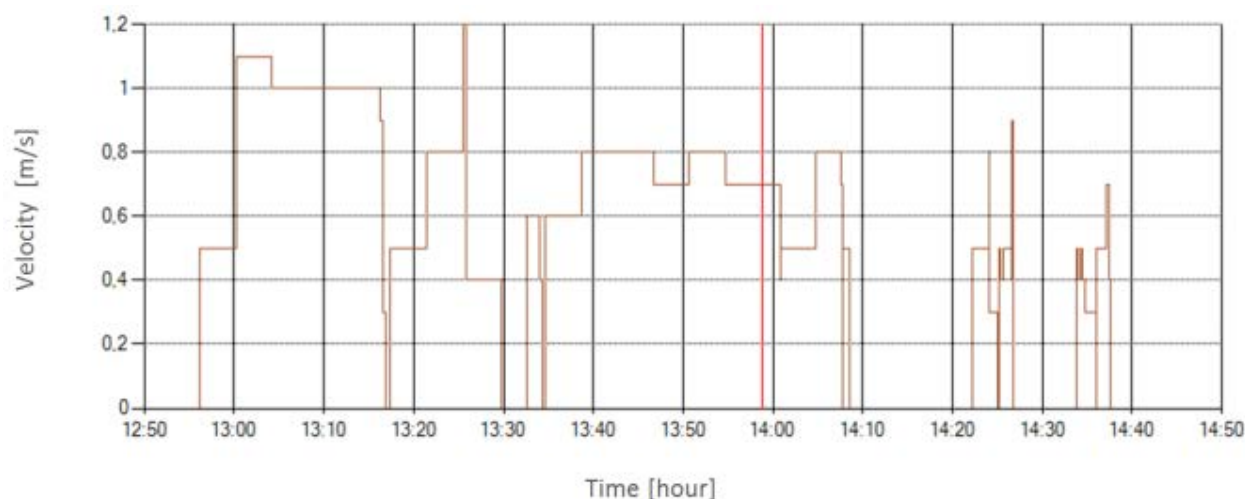


Fig. 4. The graph of velocity of people transportation registered in the mine

#### 4. TECHNICAL FEASIBILITY OF INCREASING THE SPEED OF PEOPLE TRANSPORTATION BY SUSPENDED MONORAILS

The suspended drivetrains are self-propelled diesel machines used for the transportation of materials and people [7, 8]. They have a modular design which makes it possible to adapt their configuration to transportation systems. The suspended drivetrains type KP may be installed in three versions, depending on the mining and geological conditions as well as on the design of the drive: KPCS – drivetrains equipped with friction drives, KPZS – drivetrains equipped with HZA gear drives as well as KPCZ – drivetrains equipped with friction and gear drives. The drive units of a drivetrain are powered from a diesel-hydraulic aggregate with an anti-explosion structure, with power ratings of 95 or 148 kW. The nominal drawbar pull for the particular types of drives is equal to 20 kN (for a single friction drive) and 30 kN (for a single gear drive) [7, 8]. Growing transportation weight makes the drawbar pull of suspended monorails increase in a systematic manner. This can be attributed, amongst others, to the load exerted by a longitudinal force on the rail joint [9, 10, 11]. The basic parameters of the KPCS-148 type drive include: the power of the combustion engine equal to 148 kW and the nominal drawbar pull of 4 friction drives equal to 80 kN. The calculations verifying the possibility to transport people in eight 8-person cabins with two drivetrains having the drawbar pull of 40 kN, with the weight of 9,520 kg (total weight: 18,020 kg), presented in Figure 5 [1, 2, 20, 21], indicated that it was technically possible to reach the travelling speed of 3.9 m/s for self-powered drivetrains. With inclinations of the transportation route exceeding 10°, the speed must not be greater than 2.0 m/s (Fig. 5).

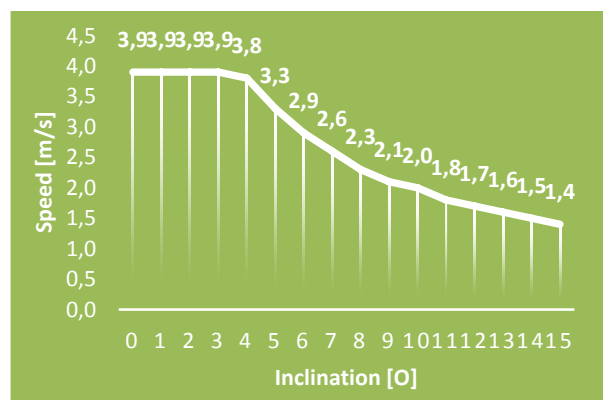


Fig. 5. The travelling speed of self-powered means of transport versus track inclination [1, 2, 20, 21]

The technical analysis of the locomotives in terms of the travelling speed indicates that it is possible to increase the speed of transporting people by self-powered means of transport.

#### 5. IMPACT OF TRANSPORTATION MEAN ON SUSPENDED TRACK AND ON USERS OF THIS TRANSPORTATION MEAN

Means for transportation of people and materials in horizontal workings and workings inclined up to 45° in underground mining plants should be equipped with emergency braking devices, according to the requirements included in the Regulation of the Minister of Economy [4]. Besides driving-and-braking systems, which are present in drivetrains, the suspended monorail is equipped with braking cars, which additionally protect the transported team. Most often they are installed in front of and behind the cabins for transportation of people. After exceeding the speed settings the braking systems are activated automatically, i.e.:

- braking systems of drivetrain:
  - inductive sensors are activated at speed 2.5-2.6 m/s,
  - mechanical centrifugal detectors of rotational speed are activated at speed 2.7-2.8 m/s
- braking cars or systems of braking cars are activated at speed  $3.0 \pm 0.2$  m/s.

Each emergency braking is spontaneous, what results in dynamic overloads having impact both on suspended track as well as on frames of mine yielding support, which is commonly used in roadways of hard coal mines in Poland. According to the Annex No. 4 *Detailed rules for management of operation in workings* to the Regulation [4], the load to support arches should not exceed 40 kN. This load limit has not been changed for many years despite the fact that in this time the conditions of underground suspended transportation as well as parameters of roadway supports changed in the result of new technical and material solutions. At the same time, in the last years, the size of frame as well as cross-sections of yielding support sections increased. In the past, steel arch yielding supports of KS, KO18 or KO21 profile were used in roadways. In 1980-ties the transportation workings and near-wall roadways were made of support of frame size 7, while at present the dimensions of workings for transportation significantly increased and their frames are of size 9, 10 or bigger. With time, due to increasing demand for transportation of more loads, the cross-section of transportation workings was increased. It also required increase of cross-section of the sections

used to build the arches of roadway support. From stand tests that were carried out at the Central Mining Institute it results that load-bearing capacity of arch supports (rigid supports) for V29 and bigger profiles exceeds 800 kN [14], while from simulations made at

the KOMAG Institute of Mining Technology it results that FEM computational model of a single arch of roadway support in a yielding state losses its stability at load of about 300 kN. Deformation of support arch is presented in Fig. 6.

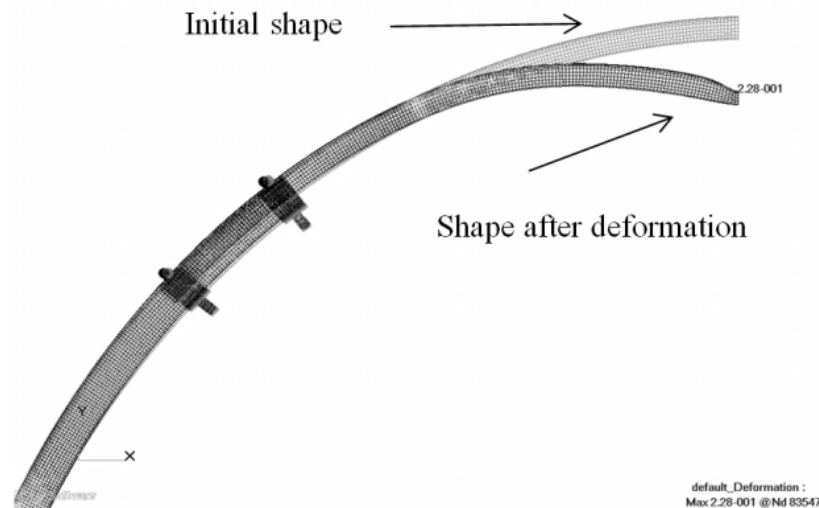


Fig. 6. Deformation of support arch under concentrated load 300 kN [16]

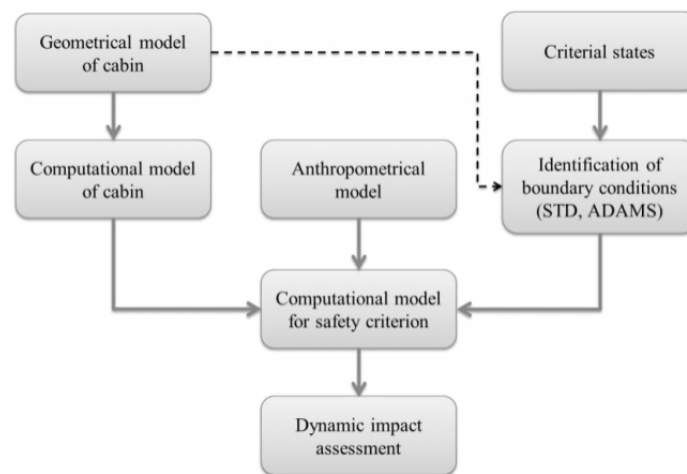


Fig. 7. Algorithm for identification of results of dynamic overloads [16]

Moreover, from MBS numerical simulations it results that load to one suspension caused by transportation system, which in static conditions is of 50 kN, increases maximally by 50% in the case of emergency braking. This increase depends on the method of installation and stabilization of suspended track.

Due to longer way to the workplace, the time of effective work of mining team shortens. However, increase of speed of suspended monorails transporting people extends that time.

Increase of travel speed requires simulation and experimental tests to assess the impact of emergency braking on the transported team. Computer simula-

tions enable to calculate the man-machine relative displacements during braking and their impact on human body. So-called extended criterial models, including the model of geometrical features of machine and model of anthropometric features, are used for that purpose. Extended criterial models enable assessment of safety of operators and team during transportation. It especially refers to the emergency states with accompanied dynamic overloads. For that purpose it is necessary to combine the MBS method with the FEM method according to the presented algorithm, Fig. 7.



Characteristics of acceleration determined by MBS method are boundary conditions in computational models used in FEM. Computational models of operators' cabins or cabins for transportation of people are completed with virtual counterparts of HYBRID III dummies [3]. In this way they create an anthropotechnical system [17]. The example of anthropotechnical system, including 50th percentile dummy model of anthropometric features placed in a cabin for transportation of people, is given in Fig. 8.

Numerical simulations enable assessment of safety of use of transportation mean in critical states, which can cause injuries to user of this transportation mean and which cannot be assessed in real conditions, e.g.: sudden braking or acceleration, derailment, collision or ride on a curve at exceeded speed. Sample results of simulation of transportation of a virtual dummy

model placed in a cabin on a curve of radius 4 m at speed 0.5 m/s, 2 m/s and 5 m/s are given in Fig. 9.

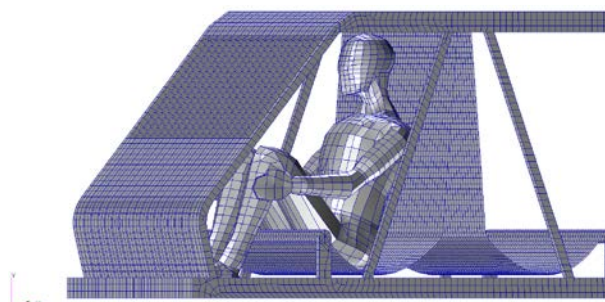


Fig. 8. Virtual counterpart of Hybrid III dummy placed in a suspended monorail's cabin for transportation of people [15]

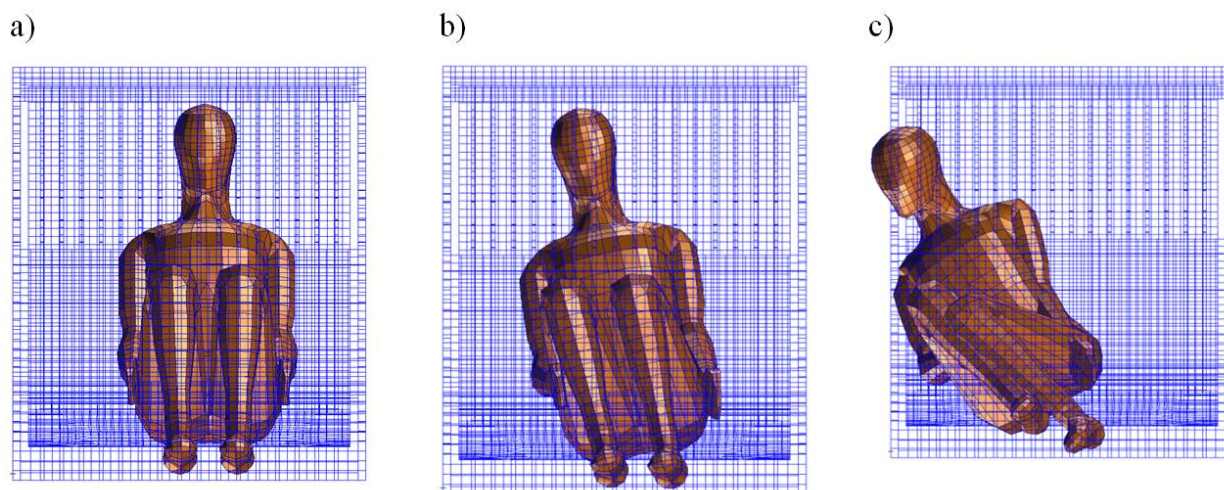


Fig. 9. Behaviour of a virtual model of Hybrid III dummy during travel in a cabin on a curve at speed: a) 0.5 m/s, b) 2m/s, c) 5m/s [15]

Use of extended criterial model is also useful in assessment of passive safety systems in cabins, e.g. automatic seat belts and other protective components installed in a passenger space of cabins for transportation of people or cabins' operators. These assessment is realized by means of a quantitative method – e.g. a HIC (Head Injury Criterion) parameter is calculated [12].

## 6. SUMMARY

Suspended monorails are developed in the quickest way among all auxiliary transportation means in the Polish hard coal mining industry. They are used for transportation of more and more people, while their tracks are still extended. It is a long-term trend and thus the work on increasing the speed of transportation

of people by suspended monorails with own drive should be intensified. State-of-the-art software tools enable assessment of impact of speed of transportation mean on safety of its users (operators and transported team) with significant reduction of underground tests. Guidelines for designing the suspended transportation systems, which will enable faster and safe travel, will be the result of this assessment. It requires collaboration between scientific centres, i.e. technical universities and research institutes as well as manufacturers of transportation systems.

## Bibliography

1. Budniok T., Zasadni W., Kania J., Mrowiec H., Rusinek J., Szymiczek K., Chluba G.: *Możliwości zwiększenia prędkości transportu ludzi kolejkami podwieszonymi z napędem własnym* (The possibilities to increase the speed of people transportation by self-powered suspended monorails), in: *Mechanisation of transportation works*, Rybnik, 2014, pp. 37-51.

2. Budniok T., Zasadni W., Mrowiec H., Kania J., Rusinek J., Szymiczek K.: Analiza możliwości zwiększenia prędkości jazdy ludzi kolejkami podwieszonymi z napędem własnym (Analysis of the possibilities to increase the travelling speed of people in self-powered suspended monorails), The 22nd International Science and Technology Conference TEMAG 2014, pp. 35-49.
3. Cheng H., Rizer A.L., Obergefell A.: Articulated total body model – Version V. User's manual, Air Force Research Laboratory, Dayton 1998.
4. Decree of minister of Economy of 28 June 2002 on industrial safety, operational management as well as special firefighting control in underground mining plants (Journal of laws 2002 vol. 139 item, 1169 with further alterations.).
5. Normative documents concerning safety, as well as the approval and surveillance activities in the mining industry, the Federal Mining and Industrial Supervision of Russia, Series 05, Issue 12, The safety of transportation equipment in coal mining, a collection of documents, Moscow 2004
6. Normative documents of the Mining Industry Standard of the People's Republic of China, 08.12.2000
7. Operation and Maintenance Manual – Suspended drivetrain type KP-95, Original manual, Świerklany, December 2013 (unpublished)
8. Operation and Maintenance Manual – Suspended drivetrain type KP-148, Original Manual No. KP-148/12/2012, Becker – Warkop, Świerklany, December 2012 (unpublished)
9. Operation and Maintenance Manual – Universal drive track type BWTU – 50/120 for suspended railways, Original Manual No. BWTU 50/120, Becker – Warkop, Świerklany, September 2011 (unpublished).
10. Koczwarą J., Kmita P.: Bezpieczeństwo pracy w aspekcie stosowania urządzeń transportowych w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny (Safety of work in terms of using transportation equipment in underground mining plants producing hard coal), the 3rd International Conference entitled "Operational safety of transportation equipment in the mining industry", Ustroń, 2007
11. Mrowiec H., Drobisz M., Raszka W.: Wózki hamulcowe oraz inne urządzenia hamowania awaryjnego w transporcie kolejkami podwieszonymi z napędem własnym w świetle obowiązujących przepisów i norm (Braking cars and other emergency braking systems in the transportation by self-powered suspended railways in the light of applicable provisions and standards), the 7th International Conference on the Operational safety of transportation equipment in the mining industry, 2011
12. Regulation of the Minister of the Economy of 25 June 2010 concerning occupational safety and health, traffic regulation and specialised fire-fighting protective equipment in underground mining facilities (Dz. U. [Journal of Laws] No. 139, Item 1169 and from 2006, No. 124, Item 863).
13. Rotkegel M.: LPw Steel Arch Support – Designing and Test Results. Journal of Sustainable Mining, 2013, 12(1), pp. 34-40.
14. Specific provisions concerning traffic regulation and management of deposits in underground mining plants producing hard coal and lignite, developed according to the Decree No. 38 of the Minister of Mines and Energy dated 10.10.1973.
15. Tokarczyk J.: Ocena rozwiązań konstrukcyjnych górniczych środków transportu pomocniczego dla kryterium bezpieczeństwa (The assessment of design solutions of auxiliary underground transportation system for the safety criterion). KOMAG Institute of Mining Technology, 2014, (unpublished).
16. Tokarczyk J., Winkler T.: Numerical simulation of dynamic impact of loads, transported by suspended monorails, on yielding arch supports. Coal International, 2013, 5, pp. 47-51.
17. Winkler T.: Komputerowo wspomagane projektowanie systemów antropotechnicznych (Computer-aided designing of anthropotechnical systems). WNT, Warszawa, 2005.
18. Guidelines by the Regional Office in Arnsberg, the Division of Mining and Energy in Nordrhein-Westfalen (NRW), for battery-powered and diesel-powered suspended railways (KSP) in underground facilities of coal mines from 14.12. 2005 (Guidelines for a suspended monorail).
19. Guidelines for using suspended railways, the Ministry of Mines, Mining Department, Katowice, November 1978
20. Zasadni W., Kania J., Rusinek J.: Rozwój systemu transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym, a możliwości jego wykorzystania (Development of the transportation system with self-powered suspended monorails and the possibilities of its application), the 15th International Technical and Scientific Conference KOMTECH 2014, pp. 101-112.
21. Zasadni W., Kania J., Tokarczyk J., Rusinek J., Szymiczek K.: Możliwości zwiększenia prędkości jazdy ludzi kolejkami podwieszonymi z napędem własnym (Possibilities to increase the travelling speed of people in self-powered suspended monorails). The 17th Conference entitled "Problems of safety and health protection in the Polish mining industry", Zawiercie, 2015, pp. 1-10

*JAROSŁAW TOKARCZYK, Ph.D.*  
*Institute of Mining Technology KOMAG*  
*ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice*  
*JAN KANIA, Ph.D.*  
*Faculty of Mining and Geology*  
*Silesian University of Technology*  
*ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice*  
*jan.kania@polsl.pl*

## Quality estimation of influence of energy resources extraction on environment in Ukraine

*The article features the impact of technological extraction processes of basic Ukrainian energy resources on the environment – i.e. coal and gas extracted by means of open mining, underground mining and bore mining. The authors discuss qualitative indicators of the negative impact of preparation and mineral extraction processes on different biosphere components. The article presents a comparative table of the impact indicators, like the nature, size and duration for different extraction methods. Finally, prospective ways were shown how to develop the energy resources base in Ukraine.*

Keywords: *energy resources, environmental impact, extraction method, biosphere components*

### 1. INTRODUCTION

---

It is hardly possible to imagine a modern country without energy resources, i.e. the resources of electrical, mechanical, chemical, or nuclear energy. However, the distribution of energy resources in the world is irregular, some countries have abundant resources, the others – limited ones. Due to this fact the majority of countries depend on other countries in this respect. It would seem that in the civilized world there should be mutual responsibility in this domain, manifested by the exchange of resources and products. Such a situation would foster the overall development of humanity. This is not the case, though. International relations are described by instability which leads to crises and conflicts, both local and global. This is characteristic not only of modern Ukraine but also other European countries with similar problems, and breaches normal functioning of these countries. In order to mitigate possible inconvenience in international commercial relations, a country and its industry should create their own reserves for short-term disturbances in resources delivery or develop their own resource bases in case of long-term problems. The most reliable way to do it is to apply a “mixed” method combining the two above options.

Nowadays the extraction of gas, oil and coal does not provide full energetic safety of our civilization. This is particularly important for Ukraine which has very limited amount of energy resources indispensable for the country to function.

Therefore geological survey and extraction of coal, gas-coal and gas-oil deposits in sedimentary rock becomes an issue of national safety. An important related issue is the necessity to assess possible negative impact of energy resources extraction and to minimize possible hazards. Ukraine’s energetic potential consists of coal deposits, which are expected to last for about 300 years, quite limited deposits of oil and deposits of natural gas and shale gas, preliminarily estimated as several quintillion cubic meters.

Ukraine has significantly large deposits of radioactive ores, still, the country lacks technological infrastructure to prepare fuels from these resources. There are also rich resources of peat. Each year the country accumulates the reserves of vegetal (renewable) biomass energy resources in the form of wood, bushes and straw. There is a large potential in the so called unconventional energy sources (wind, geothermal heat, solar energy and others), however their exploitation requires significant capital expenditures and time – and there is a lack of both.

While preparing one’s own energy resources base it is necessary to consider the impact which results



from human activities. First of all, this refers to ecological issues. With low production culture, practically any technology of mineral resources extraction may cause significant damages to the natural environment – impossible to remove for decades. Such a threat evokes certain feelings in the society, opinions and confrontational behaviour which are often emotional and lack objective justification. Therefore, while assessing the impact of mines on the natural environment one has to apply a scientific approach and reliable information. This should be the basis to predict an organization's operations already in the design phase and should constitute certain recommendations for state- and community-level monitoring of these operations.

The objective of this article is to determine quality aspects of processes which take place in the natural environment while extracting coal by means of open mining and underground mining and while extracting oil by bore mining. To better fulfil the objective, it is worth presenting some general information about the biosphere – an environment which is a zone of life and energy resources. The biosphere is the ambiance of the Earth, a space where all living organisms function. In other words, the biosphere is the zone of Earth in which life is possible.

Several components of the biosphere are distinguished. They differ from one another in terms of quality. The first one is the lithosphere – a rigid outermost shell of the Earth. Here the basic flammable energy resources are deposited, such as biomass, peat, coal, gas, and oil. The hydrosphere is the mass of water on, under and above the Earth. The atmosphere is the layer of gases surrounding the planet. An integral part of the biosphere are different physical fields which lack rest mass but affect material objects: gravitation, temperature, different-range electromagnetic radiation, elementary particles flows, pressure, and others. Many of these fields occur not only in the terrestrial space but also in our solar system and the whole universe. The connection of these fields parameters allows the basic mass of water to be in a liquid state, which is a universal dissolvent and environment for chemical and physical reactions of substances. In the process of evolution a specific form of matter developed in the Earth. The matter consists of organic cells or biota, represented by bacteria, fungi, flora and fauna.

Powerful biochemical processes that were taking place in the Earth during the period of 5-6 billion years resulted in the current geological and climatic state of the planet. Another evolution stage was the appearance of humans. The formation of peoples and nations led to the establishment of countries, reli-

gious-, cultural-, scientific-, and educational institutions, offices, organizations, etc. This stage of the biosphere development is called noosphere, a term introduced by a Ukrainian scientist Vladimir Vernadsky.

The noosphere consists of the anthroposphere (community of people as organisms), the technosphere (artificial objects made by people and natural objects modified as a result of human activity) and the sociosphere (social factors characteristic of the given stage of people's development and their mutual relations with nature). The active function of the noosphere lies in securing the growing needs of humans, resulting from the rapid development of the Earth's population and increasing needs of this population. These objectives can be fulfilled by instruments, machines, trade, industry, and agriculture developed and undertaken by people. All these aspects relate to the technosphere which was developing intensively in the period of 2-3 centuries after the industrial revolution. The technosphere depends on the noosphere and cannot function separately.

When assessing the impact of minerals extraction processes on the natural environment, first it is necessary to determine the components (character), scale (volume, surface and others) and duration of the impact of particular technological operations, or their types, on the biosphere elements.

## 2. TECHNOLOGICAL PROCESSES OF COAL EXTRACTION BY OPEN MINING

---

After the geological survey and design works a deposit is prepared for exploitation. The ecosystem of an opencast mine and its natural surroundings contains not only the mining excavation as such but also certain facilities on the surface which are indispensable for the mine to function. This infrastructure includes roads, railways, power lines, pipelines, and canals responsible for the drainage of mine and surface water. The ecosystem also covers sanitary and protection zones around stationary emission sources, rock dumps, water tanks, sedimentation basins, and other objects.

The impact of opencast mines on the landscape is manifested by modifications in the lay of the land and appearance of technogenic forms – negative (denudation) and positive (accumulative) ones. According to today's requirements, the surfaces used for buildings and other facilities of an opencast mine (openings, workshops, storage buildings, outside dumps, tanks and basins, accommodation units, pipelines, railways

and roads, power lines, power substations, etc.) should be located, if possible, in the areas with no agricultural and forest importance. However, mining facilities often occupy surfaces of several dozen hectares, so it is difficult to fully comply with these requirements. In each case the preparation of the site starts with the removal of the fertile soil layer and its deposition on unoccupied spaces with the purpose of later reclamation. While the deposit is extracted, the working space of the opencast mine is also prepared for spoil removal but first the soil layer is removed.

Unfortunately, modern methods of dump-based storage of soil do not ensure that the soil remains fertile. What is more, after several or several dozen years of storage the soil properties undergo degradation.

The construction of an opencast mine causes significant changes in the landscape and, from the point of view of ecology, it breaches the balance of the natural environment. The key objects of the mine are: mining excavation and outside dumps (Fig. 1).

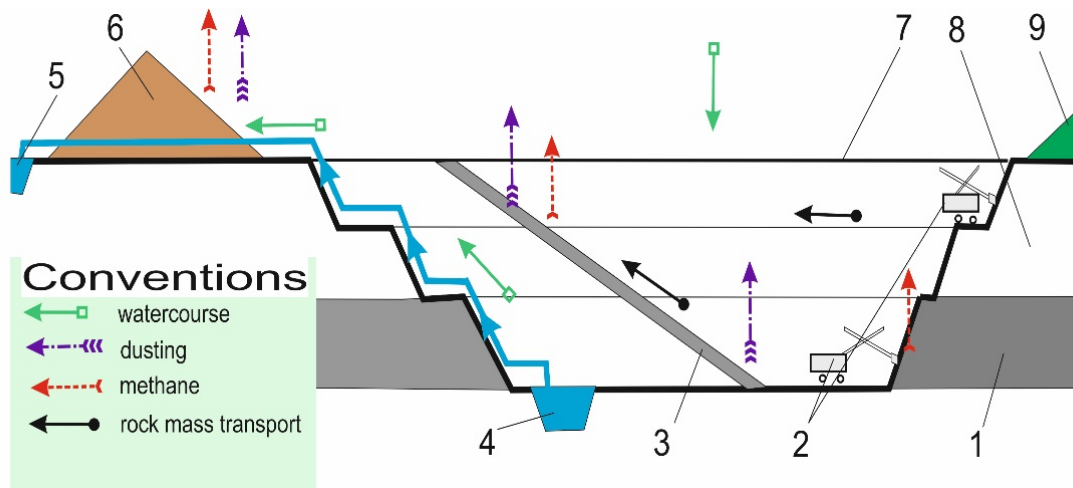


Fig. 1. Scheme of technological process of coal extraction by open mining:

1 – coal seam; 2 – winning machine; 3 – transport drift; 4 – sump; 5 – water draining device; 6 – outside dump; 7 – surface; 8 – spoil; 9 – fertile soil layer

Exploitation works include the following basic production processes: winning, loading, transport and shipment of mineral resources. In open mining the winning process is based on separating mineral resources from the rock mass with simultaneous loosening of the rock. The latter is performed by means of blasting or with the use of different mechanisms and machines. When the coal seam is developed and extracted, and the spoil and coal are transported, loaded and unloaded, there are significant volumes of rock dust and coal dust emitted, whose overall weight is estimated at 1-2% of the developing and exploiting mined rock flows.

If the roof of the seam is made of consolidated rock, its crushing is performed by blasting. Usually, several dozen holes filled with tonnes of explosives are fired. This results in significant distortions of the rock mass on a large area. Besides, the explosions are accompanied by strong acoustic waves which disturb the balance of the ecosystem.

With the proceeding coal extraction methane and other polluting gases are emitted from the seam. Their volume is estimated on the basis of the seams gas content and the layers of barren rock.

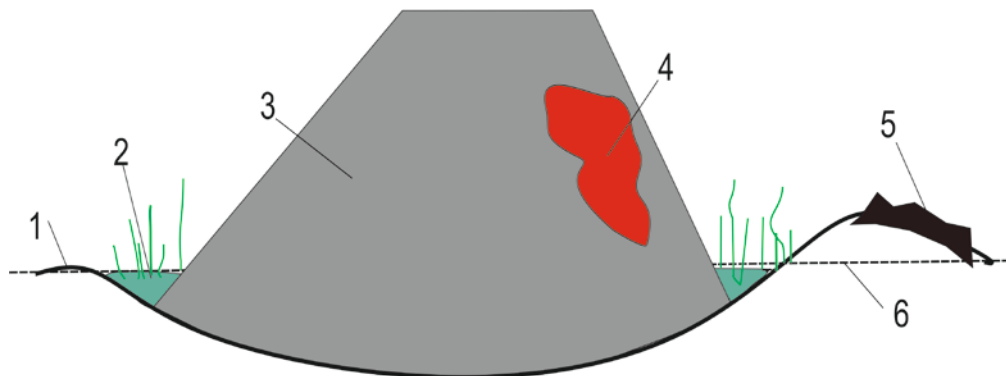
During the exploitation of brown coal seams by means of open mining there are cases of self-ignition. As a result of that, a significant amount of toxic and greenhouse gases is emitted. The volume of the emission generated during a fire can be assessed based on the volume of burnt coal. Self-heating and self-ignition occur too when brown coal is stored on dumps or in silos, particularly after rain and due to wind.

In opencast mines there are also open fires which originate when the mine facilities or electrical devices start to burn due to external energy. In this case the volume of the emission should be assessed based on the type and amount of burnt substances.

During the construction of an opencast mine and during its preliminary operations the spoil rocks are located on the surface in the form of cone-shaped dumps, crests, flat-top elevations, and others. The mass of rocks accumulated on the dumps amounts to several dozen million tonnes. The weight of this material causes lowering of the surface on which the material is stored and rising of the floor beyond the limits of the dump. As a result of that, waterlogged land originates around the dumps. What is more, the infrastructure elements located in the dumps vicinity

get deformed (buildings, roads, pipelines, power lines, etc.). The observations undertaken so far have proven that negative phenomena of floor deformation

were registered at a distance of 100 m from the dumps (Fig. 2).



*Fig. 2. Scheme of negative impact of rock dump: 1 – profile of deformed surface; 2 – waterlogged part of the surface; 3 – rock dump; 4 – source of self-heating or burning; 5 – deformed road; 6 – original surface level*

The mass of dumped rocks consists of minerals containing significant amounts of coal, sulphur, phosphorus, iron, and other elements which, in the presence of water, react with oxygen in the atmosphere. These are exothermic reactions related to heat emission. This process also employs bacteria which, feeding on pyrites, produce elemental sulphur. This kind of sulphur burns very violently and, reacting with moisture, creates concentrated sulphuric acid vapours. These factors lead to the generation of self-heat and self-ignition sources whose presence causes disturbances in the gas and heat balance of the open-cast mine ecosystem.

The temperature of rock mass at the depth where exploitation works are conducted is several degrees higher than the average annual temperature on the surface. Such temperature differences determine the changes in heat balance and evoke climatic disturbances of the ecosystem.

The development of excavations (half-pits, levels, holes, etc.) disturbs the system of surface and underground water streams forcing them to flow towards the opencast mine excavation. In order to change the flow direction to the opposite one, special canals and ditches are constructed. This, of course, causes significant changes in the ecosystem.

### **3. TECHNOLOGICAL PROCESSES OF COAL EXTRACTION BY UNDERGROUND MINING**

In the case of underground mining, the boundaries of the underground mining area and those of the surface mining facilities do not coincide. The area of the mine covers the surface of shafts, test pits, industrial

areas, dumps, as well as such facilities as road and railways working for the mine.

In this area and in its vicinity the basis (background) of the biota is subject to degradation or total destruction. The technosphere objects affected by mining exploitation require renovation or transfer to a different place. Here it is important to note the negative impact of underworking of surface buildings and objects located beyond the boundaries of the mine but still on the mining area [5].

The impact of underground excavations on the landscape results in the following elements occurring on the surface:

- rock dumps from open deposits and waste rock;
- tanks for flotation tailings and slurry where waste rock, remaining after ore enrichment, is deposited;
- caves and cavities of different shapes and depths.

Caves and cavities on the surface result from roof falls. They differ in terms of shapes and sizes, thus it is possible to distinguish the following:

- subsidence troughs occurring after the exploitation of deposits of middle (1.5-3 m) and high thickness with horizontal, saddle or flat beddings. The troughs of the rock mass are located in the retarded caving zone. When the seam is very thick and steep, it is possible to have trough-like terraced caves – subsidence troughs in this case will be directed towards the caving (Fig. 3);
- chimney (canyon) caving occurs above the goafs of thick, flat or steep deposits. In these conditions subsidence troughs are often located in the caving zone;
- circle-shaped caving can occur in places where steep deposits are exploited.

Bare rocks within the retarded caving zone, waste dumps surfaces, tanks and slurry basins are often sources of dust. Moreover, during the exploitation of energy resources, phytotoxic elements carried by dust and smoke may penetrate to the air. They may occur in groundwater which forms its chemical composition in subsidence troughs and dumped rocks. This way, apart from their impact on the lay of the land, underground excavations may also cause pollution of fertile soil, plants and underground water.

The sizes and shapes of dumps depend on a few factors, particularly on the technologies of deposits extraction and dumps formation. To put it simply, cone-shape dumps are formed with the use of wagons

and skips, flat-top elevations and crests – with car and rail transport, while multi-layer dumps shaped as terraced platforms are formed when the amount of the dumped rock is big. Flotation tailings and slurry tanks in processing plants and power engineering plants (electrical power plants, heat generation plants) are usually located next to ground depressions. These depressions are gradually filled up creating flat or flat surfaces. The flotation tailings and slurry tanks can be elevated above the ground level with the use of ramparts. Then they have a form of flat elevations surrounded by slopes whose curves are determined by natural descent of the rocks the rampart is made of.

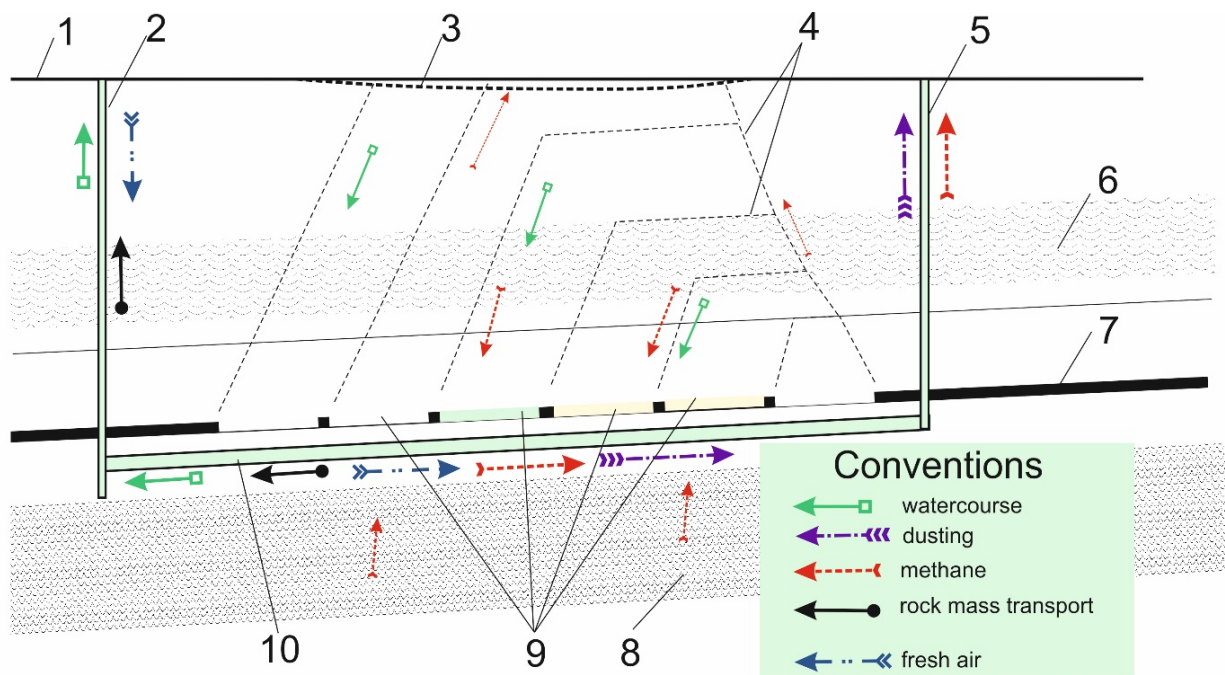


Fig. 3. Scheme of technological process of coal extraction by underground mining: 1 – ground surface; 2 – ventilating shaft; 3 – trough; 4 – cross sections of virgin rock; 5 – ventilating shaft; 6 – methane sandstones of seam roof; 7 – coal seam; 8 – methane sandstones of seam roof; 9 – goafs; 10 – main excavation

The negative impact of rock dumps on the natural environment is, basically, similar to that observed in open mining. Thus the following phenomena occur:

- rocks burn and significant amounts of toxic and greenhouse gases are emitted;
- liquid substances containing coal are washed off dumps, while surface and ground water is polluted with phenols as a result of precipitation;
- wind erosion causes that significant amounts of low-radioactive dust coming from burning rock dumps rise into the air;
- clouds of hot dust are dispersed in long distances causing tree leaves within the radius of 400 m to char;

- the ground is loaded with amassed rock dumps and forced out; as a result of that ramparts are formed which damage the neighbouring railways, roads, pipelines, power lines, buildings, and other facilities (the impact of the ground movement was registered as far as over 100 m from the dumps);
- increased humidity of waste dumps results in landslides and mud flows;
- when the weather is dry and sunny there are frequent landslides of rocks on the dump slopes; this is related to changes in physical and mechanical properties of the drying material;



- deposits are contaminated with waste products – as a result of mining there are significant amounts of metal, oil products, explosive products, wood and other materials left under the ground;
- excavation driving processes result in breaching the continuity of the rock mass; hydrological and geological character of surface and underground water is changed – the water flows towards the excavations which increases the risk of flooding;
- technological operations related to mining, loading, transport, and dumping generate dust which significantly worsens the atmosphere of the ecosystem;
- during exploitation works carboniferous rocks emit a large amount of greenhouse gases consisting basically of methane and carbon dioxide;
- boiler plants, coherent plants, vacuum pumps and other stationary devices emit greenhouse and toxic gases to the atmosphere;
- fans generate noises which exceed admissible limits;
- the surface of the dump is a source of increased radiative background.

The above list shows that the scale of contamination due to underground mining is similar to that of open mining while the negative impact is even greater in some cases.

#### 4. TECHNOLOGICAL PROCESSES OF ENERGY RESOURCES EXTRACTION BY BORE MINING

The technology of bore mining requires that drilling fields should be prepared, i.e. platforms, roads, liquids and slurry tanks, and other types of facilities should be constructed. For the purposes of the deposit exploitation it is necessary to construct pipelines. All these undertakings result in significantly large areas of land being covered by industrial facilities and slurry storage facilities (Fig. 4).

Bore mining of gases and other minerals is accompanied by a number of negative phenomena, such as: waste gases generated by internal combustion engines, emergency gas emission occurring during the seams opening or during fires, degradation of the basic biota, disturbances of the technosphere background, heat emission, noise pollution, or exceeded radiation background. Currently, a good solution that neutralizes the impact of these factors is the use of directional drilling which allows to reduce the number of vertical drills and diminish this type of negative impact.



*Fig. 4. Typical view of an area where gas deposits are exploited*

Currently, vertical degasification holes are drilled in carboniferous rock mass according to both traditional and directional methods. A directional hole in the San Juan basin (Colorado, USA) drains almost seven times more methane from virgin seams than

from an average vertical hole. It is estimated that in this basin it is possible to obtain 50-75% of the total deposits of methane with the use of directional drilling. Such efficiency is much better than with the use of standard degasification methods. Besides, direc-

tional drilling allows to reduce significantly the number of drilling sites and the indispensable infrastructure accordingly.

The network of horizontal directional holes, where cracking is performed, evokes stress changes and deformations of a significant part of the rock mass. As a result of that a large volume of methane will pass into a free state. The diffusion time of the total volume of gas from the rock mass can be from several minutes to several dozen years. The latter period is

much longer than the operating time of drilled holes. Residual free methane gradually rises to the surface, finding fissures and cavities, including geological disturbances of the rock mass. This methane will appear on the surface in several or several dozen years. In analogical conditions in hard coal mines the methane occurs in explosive concentrations and destroys the biota on the surface.

**Table 1.**

**Qualitative assessment of the impact of different types of energy resources production on the biosphere components**

| Biosphere element      | Impact indicator                                                |                                                                          |                                             | Energy resource extraction method |                     |             |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------|
|                        | Nature                                                          | Size                                                                     | Time                                        | Open mining                       | Under-ground mining | Bore mining |
| <i>Lithosphere</i>     | Large area of land occupied by mining facilities                | Area of mining facilities                                                | Period of the mine operation                | +                                 | +                   | +           |
|                        | Breaches of landscape                                           |                                                                          |                                             | +                                 | +                   | +           |
|                        | Muddled surface near external dumps                             | Area of mechanical protection zone                                       | Until the dump is reclaimed                 | +                                 | +                   | –           |
|                        | Deposit goafs contaminated with industrial waste                | Area of goafs                                                            | For good                                    | –                                 | +                   | +           |
| <i>Hydrosphere</i>     | Changes in hydrological system                                  | Mining area                                                              | Period of the mine operation                | +                                 | +                   | +           |
|                        | Worse quality of running water due to dumps                     | Volume of dumps                                                          |                                             | +                                 | +                   | +           |
|                        | Surface water contaminated with solutions after cracking        | Volume of solutions drained after cracking                               | Until the solutions are processed           | –                                 | –                   | +           |
|                        | Deposits contaminated with residual solutions after cracking    | Volume of solutions left after cracking                                  | For good                                    | –                                 | –                   | +           |
| <i>Atmosphere</i>      | Dust generated due to mining, transport, processing and storage | 1-2% of the extraction output                                            | Period of the mine operation                | +                                 | +                   | +           |
|                        | Emergency emission of gases during fires                        | Proportionally to the burned volume                                      | Until the fire is extinguished              | +                                 | +                   | +           |
|                        | Emission of mobile sources                                      | Fuel consumption                                                         | Period of the mine operation                | +                                 | +                   | –           |
|                        | Emission of stationary sources                                  | From the emission sources to the limits of sanitary and protection zones |                                             | +                                 | +                   | –           |
|                        | Emission of greenhouse gases from the seam                      | Proportionally to the output of extracted coal                           | Period of the mine operation                | +                                 | +                   | –           |
|                        | Emergency emissions from rock dumps                             | Proportionally to the area of burning                                    | Until the fire on the dumps is extinguished | +                                 | +                   | –           |
| <i>Biota</i>           | Degradation of the original biota                               | Area of (sanitary) protection zones                                      | Period of the mine operation                | +                                 | +                   | +           |
| <i>Noosphere</i>       | Disturbances of technosphere background                         | Area of the industrial facility                                          |                                             | +                                 | +                   | +           |
|                        | Seismic damages of technosphere objects                         | In the propagation zone of explosion-generated vibrations                |                                             | +                                 | +                   | +           |
| <i>Physical fields</i> | Increased radiative background                                  | Area of the dump and level of radiation                                  |                                             | +                                 | +                   | +           |
|                        | Noise pollution                                                 | Level of noise                                                           |                                             | +                                 | +                   | +           |
|                        | Heat emission                                                   | Temperature of gases and volume of extraction output                     |                                             | +                                 | +                   | +           |

A decisive factor in methane extraction from coal seams is the permeability of the rock mass understood as the combination of its natural porosity and microporosity caused by cleavage (natural separation of coal). The use of modern technologies of gas extraction from sedimentary rocks allows to reduce the sizes of slurry tanks and drilling fluid tanks and to achieve compact sites for drilling rigs.

In order to create or enlarge fissures, a fluid with a filling material is forced into the seam while its speed and pressure are gradually increased. Eventually, the seam is not able to absorb the fluid as quickly as it is forced into the fissures. At that moment the pressure is high enough to separate the coal seam along the existing weak zones. Apart from the fluid, the fissures receive sand (or any other filler) thanks to which they remain open when the pressure decreases. This kind of holes stimulation by hydraulic fracturing increases methane drainage 5 to 20 times.

Underground water which is obtained from the holes is forced into isolated underground formations or used for irrigation. This water usually contains acidic sodium carbonate and chlorides. The deposit can also be contaminated with the fluids and solutions remaining after the cracking process. These solutions contain many organic and non-organic substances, however, the presence of benzole and phenol compounds, chlorides, oxygen, as well as high temperature and pressure, allow to put forward a hypothesis that dioxins will occur in the places of hydraulic fracturing of the rock mass.

The depth of gas seams is responsible not only for the quality and content of methane but also for the costs of its extraction. For example, in a shallow bedding (under 300 m), the process of forming a geological structure may cause the gas to leak out until the coal is covered by a sufficiently impermeable layer of rock. On the other hand, the depth of gas seams affects the cost of drilling methane-drainage holes from the surface.

The best illustrative method to estimate the level of negative impact of different resource production methods on the biosphere elements is to take into account their quality features and put them into a table [1-4]. In Table 1 each method of extraction is accompanied by the types of its negative impact on the biosphere (lithosphere, hydrosphere, etc.) elements. In addition, three basic parameters of this impact are presented: nature, size and time.

## 5. CONCLUSIONS

According to the data from the beginning of this century, the majority of coal mines in Ukraine are in poor financial condition. The costs of extracted coal,

as well as the number of failures and accidents, are one of the highest in the world. The situation can be improved by complex exploitation of mining resources. This can be done by processing not only coal but also mined rock which contains barren rock, moisture and elements in the gaseous state.

The barren rock extracted in a mine constitutes up to one third of the transported mined rock. A sensible way to use it would be to leave it in the mine as a construction material or as an additive for building mixtures, e.g. for road construction. In the Donbas Coal Basin where the amount of water is, on average, five times smaller than in other regions of Ukraine, it is recommended to lead water waste to such a state that it could be used for technical and irrigation purposes. The statistics show that there are three cubic meters of mine water per one tonne of the extracted mineral.

A good solution for the future would be to utilize geothermal energy for the purposes of the mine and external users. An advantage of this energy resource is that it is not taxed and its deposits are practically inexhaustible – limited only by the duration of excavations through which the energy carrier passes.

The most advantageous solution is to take up the exploitation of carboniferous deposits as coal and gas deposits, i.e. simultaneous extraction of methane and coal. According to different assessments, the Donbas deposits have from 12 to 25 quintillion cubic meters of gas in the fixed state. Now, in the best of cases, we use only 20-25% of methane contained in the rock mass and passing into the fixed state in places where mining operations are carried on. A larger volume of utilized gas, processed into electrical energy and heat, will allow to lower the price of coal, increase the safety of underground operations and improve ecological conditions of sanitary and protection zones around mines.

Stable, safe and economically justified operations of coal mines can significantly improve Ukraine's internal energy market. This, in turn, would increase the country's independence of imported energy resources. In today's conditions that would be difficult to achieve but the problem has to be solved in the future. Therefore now it is time to develop a strategy how to put these ideas into practice.

The issue of open mining of brown coal remains unsolved. The state-owned Aleksandriyugol opencast mines do not work and a significant part of their unique, though obsolete, equipment was liquidated. The majority of opencast mines were converted into water tanks during the reclamation processes. What is more, the technologies of liquid fuels production that were used in Germany in 1940s or in the RSA for the

last four decades have not found application in Ukraine so far. Quick revival will not be possible without significant investments in this domain.

The most reliable way for Ukraine to ensure energetic independence is to take up bore mining of oil and gas. This technology has the lowest and best manageable ecological risk. It is highly viable to increase the industrial deposits of gas when taking into account the gas accumulated in sandstone and shale. The most prospective direction to exploit Ukrainian deposits in an ecological way is to extract coal-bed methane simultaneously with coal. This was successfully employed by the A.F. Zasyadko mine. The implementation of state-of-the-art technological solutions, such as multi-thread “bunches” of directional holes, cracking and holes depression, results in several times bigger volumes of extracted coal at a sufficient safety level, including proper ecological safety level.

#### References

1. Ekologicheskyye problemy gornovo proizvodstva, pererabotka y razmyeshanye otkhodov, 1995.
2. Kolokolov O., Khomyenko N.: Okhrana okruzhayushchey srede pri podzemnoy razrabotke mestorozhdyeny polyeznykh iskopayemykh. Donetsk, 1986.
3. Mirzayev G., Ivanov B.: Ekologiya gornovo proizvodstva. Nidra, 1991.
4. Pyevzner M., Kostovyetsky V.: Ekologiya gornovo proizvodstva. Nidra, 1990.
5. Vovk O., Isaenko V., Kravyets V., Vovk O.: Vplyv pidzemnykh robit na stan dovkillia. Ukrainian Ministry of Science and Sport, 2011.

*W. KOSTENKO, Ph.D., D.Sc., Professor  
Donetsk National Technical University*

*T. KOSTENKO, Ph.D.  
Cherkassy Institute of Fire Safety  
National University of Civil Defense of Ukraine*



V.N. SHOFFA  
V.N. CICERJUKIN  
B. MIEDZINSKI  
A. KOZLOWSKI  
J. WOSIK

## Miniature ball contact sensor for locating singular points of a control magnetic field

*The article presents the results of research (obtained by use of a specially developed contact sensor) regarding the completion of singular points of the spatial magnetic field for selected systems of miniature relays controlled by coils and / or permanent magnets. The authors have shown that appropriate formation of the control magnetic field ensures a high degree of integration and miniaturization of the structure of electromagnetic contact systems.*

### 1. INTRODUCTION

---

Technological progress and material achievements of recent times enable designers and engineers to develop new solutions of electromechanical devices structure with a high degree of miniaturization and integration. These devices include miniature connectors, different contact switches, both so-called "dry" as well as mercury wetted, and various types of valves( hydraulic, pneumatic) and/or electromagnetic attenuators. Such miniature components can be controlled manually or as a function of the displacement-actuators, the two- and/ or multi-positioned-switches (sensors), and electromagnetic relays operating both under mono- or multi-stable conditions. Currently this group of devices includes, for example, super-miniature reeds of a glass envelope length of 5-7mm manufactured traditionally [1,2] as well as switches based on the micromechanical device structure (so-called MEMS switches) in which the magnetic system volume does not exceed  $2\text{-}3\text{ mm}^3$  [3-5]. The group also includes reeds made of micro-machine technology whose dimensions are of  $2\times 1.4\times 0.75\text{mm}$  [6]. The MAGNASPHERE company has developed miniature, hermetically sealed switching elements in a metal casing in which the core function and contact performance is executed by a ferromagnetic ball of 2-3 mm diameter [7].

For all these devices the control is accomplished either by means of coils (including electro-deposited) [3] or moving permanent magnets [6,7]. In the latter case, in order to enhance the sensitivity and reduce the size, one has to reduce the so-called "differential movement of the control element". This is basically achieved at the cost of the increase in the magnetic field gradient along the movement direction of the control element [1]. High field gradients occur most frequently in areas close to singular points where the field strength is equal to zero. Therefore the completion of the singular points is very important to properly design the device structure.

### 2. ANALYSIS OF SELECTED MAGNETIC SYSTEMS, EXPERIMENTAL TESTING AND DISCUSSION

---

The systems selected for the analysis were magnetic systems with permanent magnets energizing the miniature contact sensor in which both the core and the contact function were performed by a small ball made of a soft ferromagnetic material. Additionally, the ball can be wetted with mercury in order to improve the quality of contact performance under very small values of the contact force. For the purposes of the analysis very small dimensions of the soft magnetic ball (not pre-magnetized) were assumed. If the dimensions of

the ball are small enough in comparison with these of the source of the magnetic field (electromagnet or permanent magnet), whereas, the ball is magnetized evenly (uniformly) by an outer magnetic field and will possess a high relative value of the magnetic permeability, then, in order to determine the value of force  $F_z$  (acting on it by the external field) along the  $z$ -direction, one can use the following formula [9]:

$$F_z = \frac{4\pi}{\mu_0} \cdot R_b^3 \cdot B \cdot \frac{\partial B}{\partial z} \quad (1)$$

where:

$\mu_0$  – is a magnetic permeability of air

$R_b$  – radius of the ball

$B$  – module of a magnetic induction vector  $B$  in the reporting point under the absence of the ball.

The application of the above formula with the use of the calculation results of the magnetic field distribution due to the permanent magnet (using the method of the equivalent solenoid [9]) provides satisfactory results, from a practical point of view, both in the case of the induction  $B$  and the force  $F_z$  values. Figure 1 shows the comparison of the analysis and measurement results of the distribution of vector components  $B_x$  and  $B_z$  of the magnetic flux density along the  $x$ - and  $z$ -axis for the axially magnetized ring-shaped permanent magnet made of a 1BI material of the following dimensions:  $D = 11.5\text{mm}$ ,  $d = 7.5\text{mm}$ ,  $h = 4.4\text{mm}$  (for the selected point at  $y = 0$  and  $z = 5.2\text{mm}$ ). Whereas, Fig. 2 presents the distribution (along the  $z$ -axis) of calculated and measured values of the force  $F_z$  due to the magnetic field of the

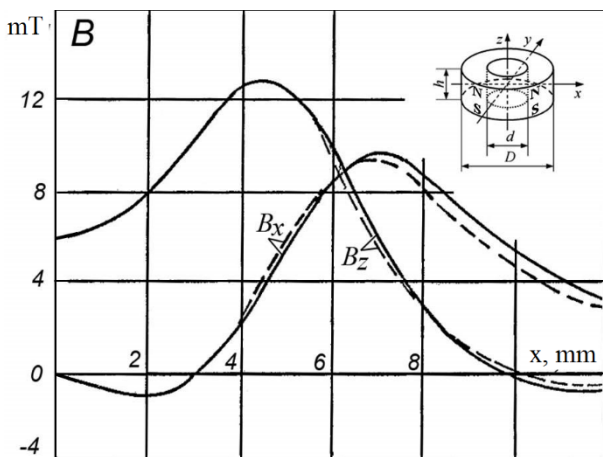


Fig. 1. Distribution of  $B_x$  and  $B_z$  components along the  $x$ -axis due to axially magnetized ring-shaped magnet (made of a material 1BI of dimensions:  $D = 11.5\text{mm}$ ,  $d = 7.5\text{mm}$ ,  $h = 4.4\text{mm}$ ) for selected point at  $y = 0$  and  $z = 5.2\text{mm}$  (solid lines – experimental data, dashed lines – calculations)

billet magnet ( $11.5\text{ mm} \times 7\text{mm} \times 11.5\text{mm}$ , material 24BA210) on the steel ball. The curves 1 refer to a ball of radius  $R_b = 0.5\text{mm}$  (for the selected point at  $z = 5\text{ mm}$  and  $y = 0\text{ mm}$ ), whereas the curves 2 – a ball of radius  $R_b = 1.6\text{mm}$  (at the point  $z = 6.1\text{mm}$  and  $y = 0\text{ mm}$ ) respectively. The curves are indicated in relative values  $F_z / F_b$  (referred to the ball weight  $F_b$ ) to demonstrate the resistance of the ball sensor to external mechanical vibrations.

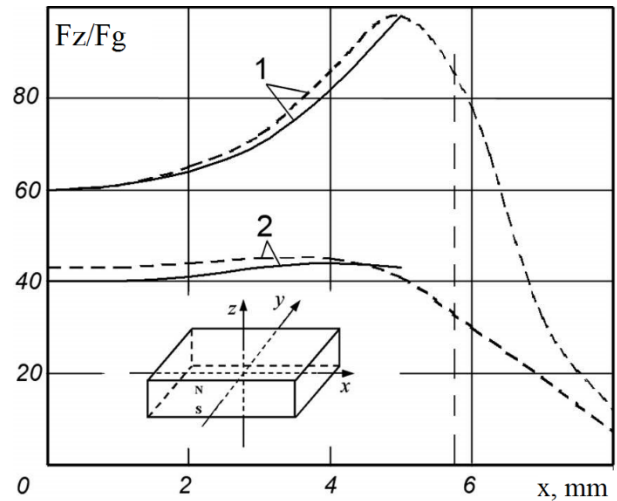


Fig. 2. Distribution of the force  $F_z$  value, acting on the steel ball due to the magnetic field of the billet magnet (material 24BA210,  $11.5\text{mm} \times 11.5\text{mm} \times 7\text{mm}$ ). Solid lines – experimental data, dashed lines – calculations,  $F_g$  – ball weight

The equation (1) shows that the electromagnetic force acting on the ball is directed toward the increasing induction module and is equal to zero at the points where the induction is zero or reaches its extremum. However, in those points where the maximum occurs the ball is in a stable state, whereas in places where it reaches the minimum (including zero-singular point) it is unstable (during the movement along the  $z$  axis). In order to increase the force  $F_z$  value, one has to increase either the module or gradient of the magnetic flux density. However, the increase in the induction value is limited due to saturation of flux conducting elements (generated by an energizing electromagnet) or is limited by restriction of magnetic energy of permanent magnets. High gradient, in turn, can be achieved by suitable design of the magnetic circuit structure. This circuit should ensure suitable distribution of the magnetic induction value along the trajectory of motion of the balls with alternately changing values of minima and maxima. It may, for example, be in the form of an annular axially magnetized permanent magnet (Fig. 3) [10]. The figure 3 features only the  $B_z$  component since for

an axial symmetrical arrangement the component along the  $z$  axis is equal to the  $B$  vector. If the magnet (1) is fixed to move the magnetic ball contact (2) along the  $z$  axis, whereas the centre of ball (3) is located between the singular point A and one of the maxima of the induction module (points 0 and C), for example at point G, the electromagnetic force exerted to the ball is directed toward the point C. In this situation, the ball moves to the right and will close the respective contact (4). On the other hand, while moving the magnet (1) in such a way that a singular point is on the right side of the ball centre, one obtains a change of direction of the force – towards the point 0. In this case, the ball will move in a step way and will close the opposite contact.

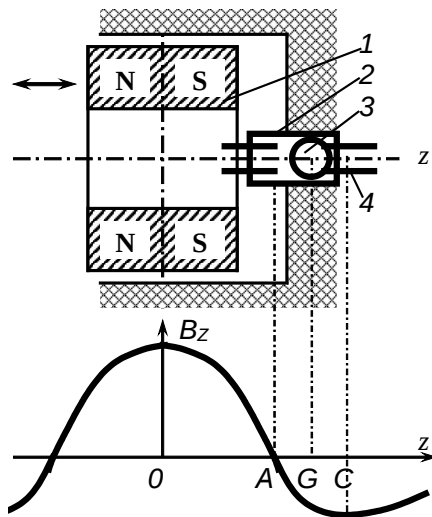


Fig. 3. Controlling the magnetic contact switch by means of a single ring-shaped permanent magnet magnetized axially

The application of the two ring-shaped permanent magnets (1) and (5), magnetized axially but opposite to each other (Fig. 4) [11], allows to increase the magnetic induction gradient in the area of the ball (3). This enables to accomplish a controllable switch with snap action without the necessity to use mechanical spring-return force, due to magnets repulsion interaction.

The required distribution of the magnetic induction value can also be obtained by means of planar permanent magnets. In a system made of two such magnets, (1) and (5) arranged as shown in Figure 5 [12], the distribution of the magnetic induction module with alternating maxima and minima occurs along the  $x$  axis. The displacement of the singular point from the A to A' position is done by moving a permanent magnet (1) along the  $x$ -axis (shown by dotted lines). Under the electromagnetic force that is directed to the point C (the maximum of induction module), the ball

(3) moves to the left. During the operation of such a switch the interaction of permanent magnets (1) and (5) not only provides the snap action of the ball but also results in abrupt displacement of the moving magnet (1) and its placing in extreme positions.

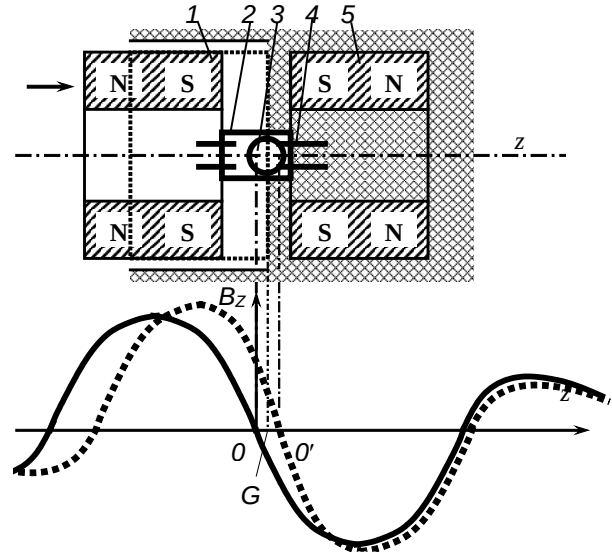


Fig. 4. Controlling the magnetic contact switch by means of two axially magnetized ring-shaped permanent magnets arranged coaxially but opposite to each other

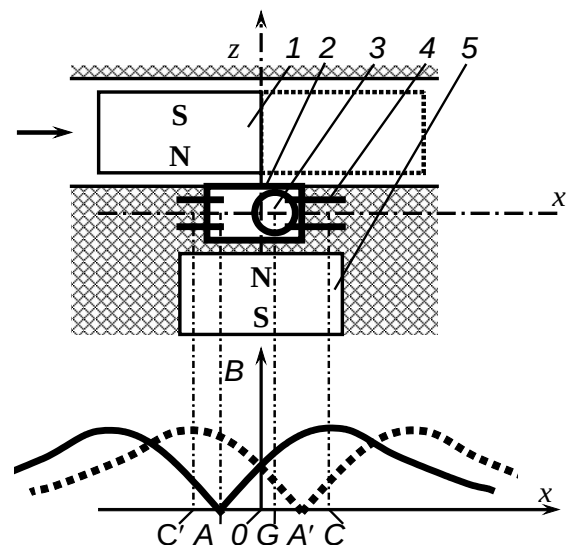


Fig. 5. Magnetic contact sensor controlled by means of two rod-shaped permanent magnets

Figure 6 shows the magnet system in which, through the use of original composition of permanent magnets, a very high gradient is induced in the area of the ball location, which significantly increases the value of the electromagnetic force [13]. The applied permanent magnets (1), (2), (6) and (7) are placed on

two opposite sides of the ball contact, along the  $x$  axis. Here, each pair of magnetic poles is located opposite to each other and relative to the opposite pair. The pair of magnets (6) and (7) is immovable, and the pair of magnets (1) and (2) moves along the  $x$ -axis on either side of the transverse  $z$  axis. In the starting position the two pairs of magnets are arranged symmetrically with respect to the  $z$  axis. The minimum (zero) module of magnetic induction (singular point) occurs at the point 0. Therefore, the ball (4) cannot keep up at this point of unstable equilibrium and goes to one of the terminal positions, for example, to the right to the point C with the maximum induction closing at this contact (5). If we move a pair of magnets (1) - (2) to the right (dotted line in Fig. 6), the singular point ( $0'$ ) will shift right to the center of the ball (4) (point G). As a result, the electromagnetic force will be directed to the point C with the maximum induction. Therefore, the ball (4) moves to the left and changes over the contact.

After release, the moving pair of magnets (1) - (2) returns immediately to the symmetrical position (multi-function device of bistable operation). Please note, however, that the length of movement of the

pair of magnets (1) - (2) should be less than the dimension of one magnet along the  $x$ -axis. Otherwise, automatic return to the starting magnets position will never occur.

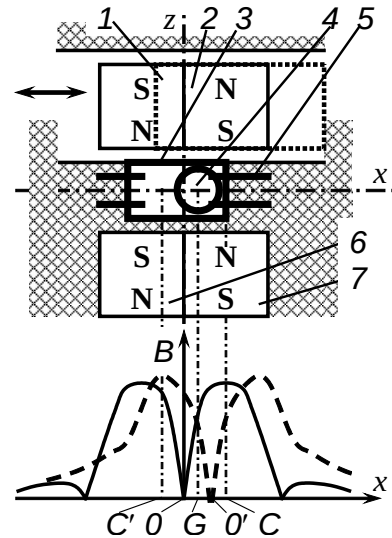


Fig. 6. Magnetic contact sensor controlled by means of four rod-shaped permanent magnets

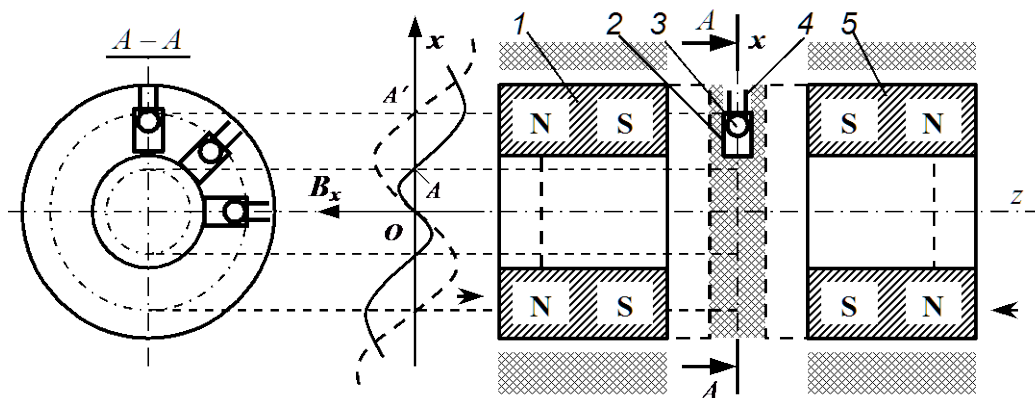


Fig. 7. Multicontacts switch controlled by means of two coaxial oppositely disposed ring-shaped permanent magnets magnetized axially

A multiple contact switch shown in Fig. 7 consists of two movable (along  $z$ -axis) ring-shaped permanent magnets (1) and (5) and a number of stationary reeds (2) laid out along the periphery [11]. In this case maxima and minima of the magnetic induction module appear after the each other along the  $x$  axis; while the  $x$  axis is any radial axis passing through the center of the gap between the magnets (1) and (5). The curves passing through points A-A' represent (in 3-dimensional space) the geometric location of the singular points. In the initial position of the magnets, the area corresponding to the singular point A is shifted from the ball (3) to the  $z$ -axis, whereas the electromagnetic force – in the opposite direction (towards

the maximum value of induction). When approaching the magnets (dotted lines) the singular point and its periphery move towards the A' location and are situated on the other side of the ball centre. The electromagnetic force also changes direction thereby displacing the balls.

The utilization of the above discussed control principle of the contact ball sensor enables to design and to assembly any electromagnetic relay [14]. The source of the driving force in this case can be both flat and / or 3-dimensional coils. The required position and desired displacement of singular points is thus performed by proper selection of current values in the energizing windings.

### 3. CONCLUSIONS

Proper design and fabrication of any electromagnetic contact device with a high degree of integration requires both an appropriate value and space distribution of the driving magnetic field with suitable completion of singular points. Adequate positioning of the singular points can be achieved either by respective shaping of an energizing permanent magnet, selection of its dimensions and magnetic material parameters and/or by the arrangement of the magnets relative to each other, either by current waveform selection in the driving coil performed by any technique including this of an electron beam evaporation. The various modern structures of both miniature contact switches and electromechanical relays can be implemented by employing a miniature ball contact sensor and its control principle.

#### References

1. Karabanov S.M., Maizels R.M., Shoffa V.N.: *Reed switches and equipment on their basis*. Monograph, Publishing House "Intel-ekt", 2011 (in Russian)
2. Shoffa V.N.: *Design principles and properties of miniature and sub-miniature reed switches*. Proc. of 2<sup>nd</sup> Int. Conf., 2008, Publishing House "Poligraph", 2009 (in Russian)
3. Varadan V., Vinoj K., Dzoze K.: *High Frequency MEMS and their applications*. Technosfera, Moskva, 2004 (in Russian)
4. Ruan M., Shen J., Wheeler C.: *Latching microelectromagnetic relays*. Sensors and Actuators A: Physical, 2001, 91(3) pp. 346-350
5. Gueissaz F., Piguat D.: *The microreed and ultra-small passive mems magnetic proximity sensor designed for portable applications*. Proc. of 14<sup>th</sup> IEEE Conf. Micro Electro Mechanical Systems, MEMS, 2001
6. Torosawa H., Arima N.: *Reed switches developed using micro-machine technology*. OKI Technical Review, 2005, Issue 202, vol 72, No 2, pp. 76-79
7. www.magnasphere.com. Revised 10/24/2007,
8. Shoffa V.N.: *Analysis of magnetic fields of electrical apparatus*. Monograph, MEI 1994 (in Russian),
9. Shoffa V.N., Cicerjukin V.N.: *Analysis of magnetic systems of multifunctional all-or nothing devices implementing the method of equivalent solenoid*. Elektricestvo, 1988, No 4, pp.77-80 (in Russian),
10. Shoffa V.N., Cicerjukin V.N.: Switch. UdSSR patent 1032492, published No 28, 1983 (in Russian),
11. Shoffa V.N., Cicerjukin V.N.: Switch. UdSSR patent 1072131, published No 5, 1984 (in Russian),
12. Cicerjukin V.N., Shoffa V.N.: Switch. UdSSR patent 1164804, published No 24, 1985 (in Russian),
13. Cicerjukin V.N., Shoffa V.N., Zareckas V.S., Pikutis G.V.: Switch. UdSSR 1399834, published No 20, 1988, (in Russian),
14. Cicerjukin V.N., Shoffa V.N.: Commutator. UdSSR patent 1592877, published No 34, 1990 (in Russian).

V.N.SHOFFA, V.N. CICERJUKIN,  
Moscow Power Engineering Institute  
National Research University,  
ul. Krasnokazarmennaya 14, Moscow, 111250 Russia  
shoffavn@mail.ru

B. MIEDZINSKI, Ph.D., D.Sc., Professor,  
A. KOZLOWSKI, Ph.D., J. WOSIK, Ph.D.,  
Institute of Innovative Technologies EMAG,  
ul. Leopolda 31, 40-189 Katowice  
{b.miedzinski, a.kozlowski, j.wosik}@ibemag.pl

# Separacja galwaniczna sygnałów analogowych

*Artykuł poświęcony jest zagadnieniom związanym z separacją galwaniczną obwodów analogowych i sposobom jej realizacji. Opisano w nim sprzężenia pojemnościowe, indukcyjne i optyczne, separację z zastosowaniem przetwarzania oraz linearyzację charakterystyk elementów optoelektronicznych. Przedstawiono dostępne rozwiązania i ich właściwości.*

słowa kluczowe: separacja galwaniczna, układy analogowe, PWM, linearyzacja

## 1. WSTĘP

---

Analiza rozwiązań stosowanych w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat w urządzeniach wyposażonych w interfejsy analogowe pozwala zaobserwować wyraźną tendencję do redukcji części analogowej tych urządzeń do niezbędnego minimum. Dzięki rozwojowi i dostępności przetworników AC i CA, procesorów sygnałowych i układów logiki programowalnej przetwarzanie, obróbka i przesyłanie realizowane są w coraz większym obszarze zastosowań w postaci cyfrowej. Ta sama tendencja dotyczy również układów separacji sygnałów, w szczególnych przypadkach jednak nadal zachodzi potrzeba realizacji separacji sygnałów analogowych. Realizacja układowa separacji obwodów analogowych, przede wszystkim ze względu na wymaganą liniowość, stanowi zwykle większą trudność niż w przypadku sygnałów dwustanowych. Stosowane rozwiązania uzależnione są od parametrów separowanych sygnałów (np. wymagana dokładność, liniowość, pasmo częstotliwości, amplituda) i wymagań dotyczących samej separacji (np. wymagane odstępki izolacyjne, wytrzymałość napięciowa) oraz funkcji, jaką ona spełnia.

## 2. SPRZĘŻENIA INDUKCYJNE I POJEMNOŚCIOWE

---

Najczęściej wykorzystywane rodzaje sprzężenia – pojemnościowe i indukcyjne – są liniowe oraz posiadają określone amplitudowe i fazowe charakterystyki

przenoszenia w funkcji częstotliwości. Charakterystyki sprzężeń wynikają z samych zastosowanych do ich realizacji elementów oraz reaktancji pasożytniczych, a ponadto sprzężenia te nie przenoszą składowej stałej. Jeżeli zatem separowany sygnał analogowy zawiera składową stałą i składowe wolnozmiennne i/lub charakterystyka przenoszenia sprzężenia nie pozwala przesyłać tego sygnału bezpośrednio ze względu na jej zbyt nierównomierny przebieg, jest konieczne stosowanie modulacji sygnałem wejściowym przebiegu nośnego po stronie pierwotnej i demodulacji po stronie wtórnej separacji. Dzięki temu jest możliwe takie przesunięcie w dziedzinie częstotliwości widma separowanego sygnału, przy którym stosunek jego szerokości do częstotliwości nośnej jest odpowiednio mały oraz odpowiada takiemu zakresowi częstotliwości, przy którym przebieg charakterystyk przenoszenia sprzężenia jest akceptowalnie równomierny. Rodzaj modulacji i demodulacji oraz odpowiednie rozwiązanie układowe różnią się w zależności od konkretnego przypadku, zawsze jednak wiążą się z większą komplikacją układową oraz z większym zapotrzebowaniem na energię.

W praktycznych rozwiązaniach częstotliwość nośnej jest zwykle większa niż 100 kHz, a częstotliwości przenoszonych sygnałów sięgają dziesiątek kHz. Ze względu na właściwości fizyczne, takie jak spadek pojemności sprzężenia wraz ze zwiększaniem odległości pomiędzy okładkami kondensatora oraz spadek indukcyjności wzajemnej wraz ze zwiększaniem odległości pomiędzy cewkami strony pierwotnej i wtórnej separacji, możliwości uzyskania wymaganych odstępów izolacyjnych i wytrzymałości na przebicie mogą być ograniczone. Postęp technologii

umożliwił realizację zarówno separacji indukcyjnej, jak i pojemnościowej wewnątrz analogowych układów scalonych. W przypadku scalonych, izolowanych wzmacniaczy instrumentalnych wykorzystanie do realizacji sprzężenia wewnętrznych transformatorów pozwala zachować rozdzielczość 12 do 16 bitów i pasmo przenoszenia do kilkuset kHz, ale ich maksymalne napięcie rzadko przekracza 10 kV, a często jest niższe. Scalone wzmacniacze wykorzystujące wewnętrzne sprzężenie pojemnościowe charakteryzują się niższą dokładnością, co najwyżej do 12 bitów, mniejszym pasmem przenoszenia i niższymi maksymalnymi napięciami, ale koszty ich wytworzenia są mniejsze. Separatory optyczne są szybkie, mają niskie koszty realizacji i wysokie napięcia (typowo od 4 do 7 kV), ale ze względu na znaczną nieliniowość nie są stosowane do bezpośredniej separacji analogowej wymagającej dużej dokładności [1].

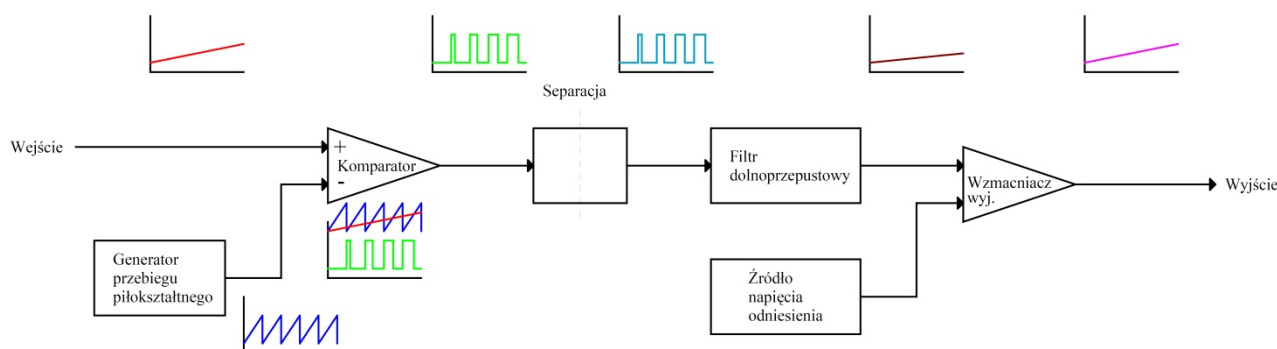
### 3. SPRZĘŻENIA OPTYCZNE

Na rynku dostępnych jest wiele różnych rodzajów elementów optoizolacyjnych. Najbardziej rozpowszechnionym z nich jest element zawierający diodę LED i fototranzystor. W roli fotodetektorów wykorzystywane są również optotryistory, optotriaki oraz tranzystory FET. Ich głównym zastosowaniem jest zapewnienie separacji sygnałów dwustanowych i pod takim względem zwykle zoptymalizowane są ich pa-

rametry, np. niewielkie czasy opóźnień, czy możliwość bezpośredniej współpracy z układami logicznymi. Uwzględniając aspekty istotne dla separacji analogowej, separujące elementy optoelektroniczne mogą przenosić składową stałą, zwykle jednak ich stałoprądowe charakterystyki przenoszenia są nieliniowe. Stosowane są dwa alternatywne sposoby wykorzystania nieliniowych elementów optoelektronicznych do separacji sygnałów analogowych: separacja z zastosowaniem przetwarzania oraz separacja z zastosowaniem linearyzacji charakterystyk elementów.

#### 3.1. Separacja z zastosowaniem przetwarzania

Rozwiązaniem pozwalającym na użycie elementów optoelektronicznych o nieliniowej charakterystyce do przesyłania sygnału analogowego jest wykorzystanie ich w taki sposób, aby pracowały dwustanowo, przy zastosowaniu modulacji amplitudą sygnału analogowego szerokości przesyłanych impulsów o stałej częstotliwości (PWM) albo częstotliwości przesyłanych impulsów o stałej szerokości. Wadą tego rozwiązania jest większa komplikacja układu po stronie pierwotnej i wtórnej, natomiast istotną zaletę stanowi możliwość ograniczenia poboru mocy poprzez pracę przy minimalnym, wystarczającym do tego celu poziomie amplitudy. Przykładowy schemat blokowy układu separacji analogowej z przetwarzaniem przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy układu separacji analogowej z przetwarzaniem

#### 3.2. Separacja z zastosowaniem linearyzacji charakterystyk elementów

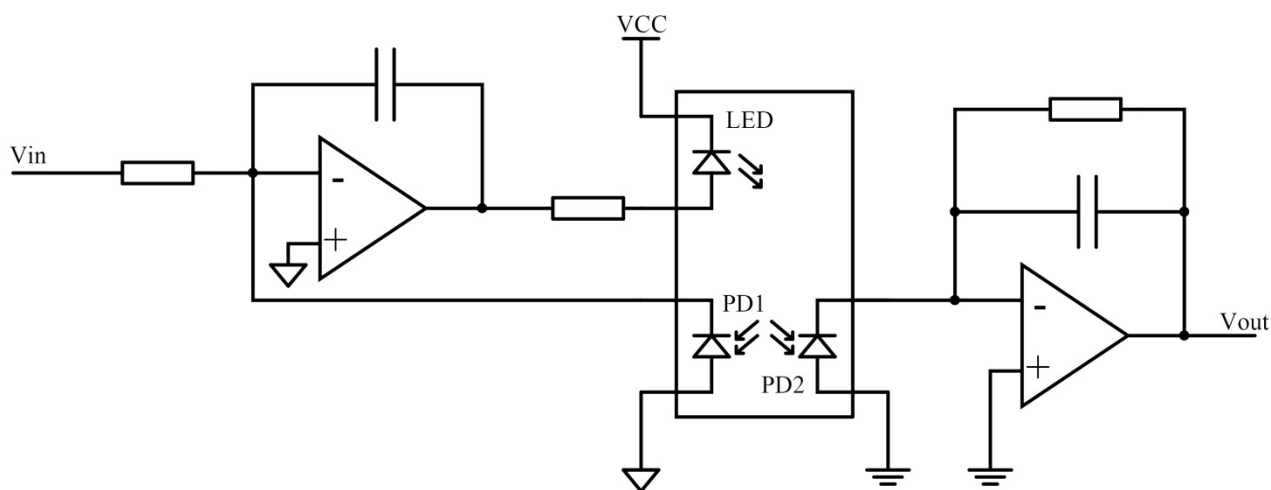
Elementy optoelektroniczne pozwalają zrealizować zarówno separację z wykorzystaniem przebiegu nośnego, jak też bez niego, ponieważ przenoszą one składową stałą i składowe wolnozmiennne. Wówczas jednak konieczne staje się zapewnienie liniowości charakterystyki amplitudowej przenoszenia w wyma-

ganym zakresie pracy. Do linearyzacji charakterystyk elementów optoelektronicznych stosowane są zarówno układy ze sprzężeniem w przód (ang. *feedforward*), jak też ze sprzężeniem zwrotnym (ang. *feedback*). Przy takim rozwiązaniu dokładność linearyzacji wynika głównie z podobieństwa charakterystyk elementów, a nie tylko z głębokości sprzężenia zwrotnego, co jest typowe dla układów ze sprzężeniem zwrotnym w ogólności.

#### 4. KOMPENSACJA NIELINIOWOŚCI

Jednym z najbardziej rozpowszechnionych optoizolatorów liniowych jest układ zawierający w swojej strukturze po stronie pierwotnej diodę LED i fotodiodę PIN sprzężenia zwrotnego, a po stronie wtórnej – wyjściową fotodiodę PIN. Dioda LED jest sprzężona optycznie z separowaną wyjściową fotodiodą PIN oraz separowaną fotodiodą sprzężenia zwrotnego. Fotodioda sprzężenia zwrotnego oświetlana jest przez niewielką część strumienia świetlnego diody LED, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie sygnału sprzężenia zwrotnego, wykorzystywanego do regulacji prądu wysterowania diody LED. Rozwiązanie to pozwala kompensować nieliniowość charakterystyki diody LED oraz czasową i termiczną zmienność tej charakterystyki, co stanowi bardzo istotną zaletę w porównaniu z układami kompensacji bazującymi wyłącznie na podobieństwie charakterystyk odpowiednio połączonych, osobnych elementów. Na wyjściowej fotodiodzie PIN uzyskiwany jest sygnał liniowo zależny od sterującego strumienia świetlnego wytworzonego przez diodę LED. Stabilność czasowa i temperaturowa współczynnika sprzężenia wyjścia z wejściem jest zapewniona poprzez zastosowanie dopasowanych fotodiod PIN, których prąd dokładnie odpo-

wiada strumieniowi świetlnemu diody LED. Fotodioda w tym układzie może być wykorzystywana, jako element fotowoltaiczny albo jako element fotoprzewodzący (ang. *photoconductive*). Przy wykorzystaniu fotodiody, jako elementu fotowoltaicznego pracuje ona jako źródło prądowe, analogicznie jak dioda półprzewodnikowa spolaryzowana w kierunku przewodzenia. Wartości prądu i napięcia wyjściowego zależą wtedy od rezystancji obciążającej oraz strumienia świetlnego. Przy wykorzystaniu fotodiody, jako elementu fotoprzewodzącego jest ona wstępnie spolaryzowana w kierunku zaporowym przez zewnętrzne źródło. Wartość prądu wyjściowego jest wówczas proporcjonalna bezpośrednio do strumienia świetlnego [12]. Jedną z korzyści, jakimi charakteryzuje się wykorzystanie diody, jako elementu fotoprzewodzącego, jest możliwość uzyskania szerszego pasma przenoszenia, rzędu 200 kHz, w porównaniu do pasma rzędu 40 kHz możliwego do uzyskania przy wykorzystaniu diody jako elementu fotowoltaicznego [7]. Przykładowe układy tego rodzaju to zgodne pod względem wyprowadzeń IL300 produkcji VISHAY oraz HCNR200 i HCNR201 produkcji AVAGO. Podstawowy układ pracy wzmacniacza separującego sygnał unipolarny z wejściem i wyjściem dla napięć dodatnich przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Podstawowy układ pracy wzmacniacza separującego sygnał unipolarny z wejściem i wyjściem dla napięć dodatnich (na podstawie [3])

Dzięki prostej strukturze wewnętrznej układ jest bardzo uniwersalny pod względem funkcjonalnym i może być wykorzystywany w licznych konfiguracjach przedstawionych w karcie katalogowej [3].

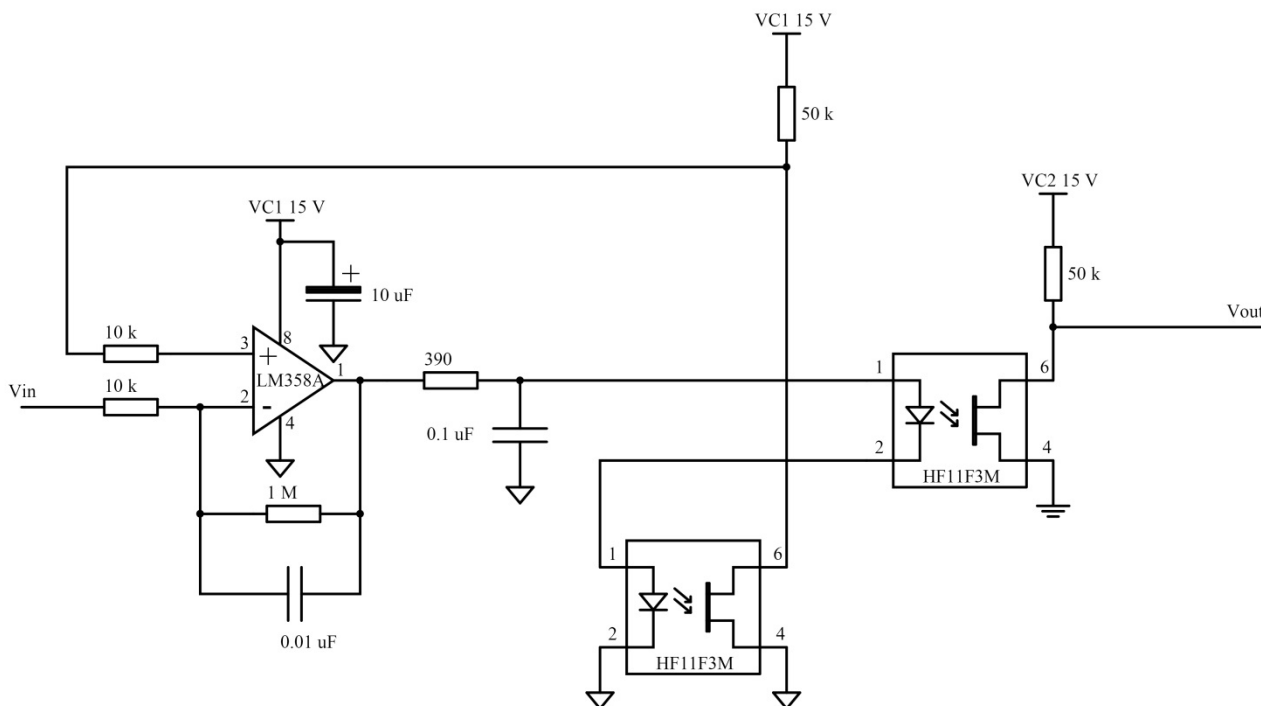
W transoptorach analogowych wykorzystywane są również diody IRED i symetryczne, dwustronne fototranzystory FET, na przykład w transoptorach

serii H11Fxm. Element ten może być wykorzystywany, jako rezystor z separowanym sterowaniem, jak również wyłącznik analogowy [6]. W celu uniknięcia zniekształceń sygnału, spowodowanych nieliniowością charakterystyki rezystancji wyjściowej w funkcji prądu diody IRED, elementy te mogą być wykorzystywane przy odpowiednio niewielkim zakresie



zmian jego amplitudy. Możliwe jest również zastosowanie ich do separacji sygnałów o większym zakresie amplitudy dzięki wykorzystaniu układu sprzężenia zwrotnego w celu skompensowania nieliniowości, w którym zastosowane są dwa transoptory tego typu. Przez szeregowo połączone diody LED obydwu

transoptorów płynie wówczas ten sam prąd, przy czym jeden z nich wykorzystywany jest do realizacji separacji, a wyjście drugiego pracuje w układzie sprzężenia zwrotnego układuysterującego diody [5]. Przykład powyższego zastosowania przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Układ kompensacji nieliniowości charakterystyki transoptora wykorzystujący podobieństwo charakterystyk (na podstawie [5])

Należy jednak zaznaczyć, że taki sposób kompensacji opiera się jedynie na podobieństwie charakterystyk, zatem ze względu na minimalne różnice charakterystyk zastosowanych elementów, nawet pochodzących z tej samej serii produkcyjnej, dokładność linearyzacji jest ograniczona. Korzystniejszym sposobem kompensacji jest opisane powyżej, dedykowane rozwiązanie ze zintegrowanymi w jednym elemencie dwoma fotodetektorami: jednym do realizacji separacji i drugim, przeznaczonym do realizacji sprzężenia zwrotnego. Sprzężenie w tym przypadku następuje poprzez rzeczywisty strumień świetlny, padający jednocześnie na fotodetektor wyjściowy i fotodetektor sprzężenia zwrotnego.

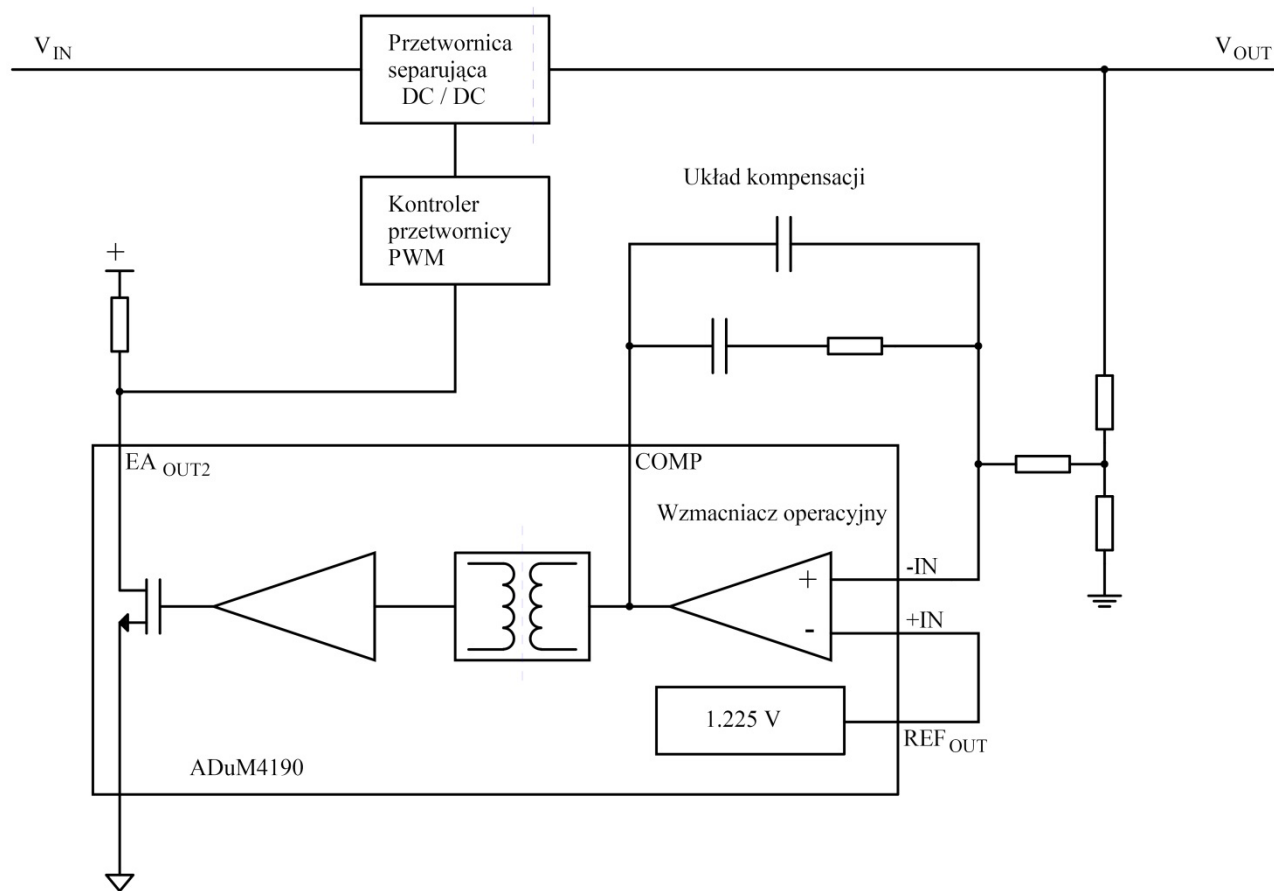
Rozwiązaniem w przypadku sprzężenia optycznego analogowego jest również transoptor ze stopniem wejściowym w postaci diody LED i wyjściowym w postaci komórki fotoprzewodzącej. Elementy te działają jak elektrycznie sterowany potencjometr, którego elementem wyjściowym jest rezystor. Napięcie na tym rezystorze może być złożone, DC i/lub AC, a amplituda może zawierać się pomiędzy 0 a wartością maksymalną, wynikającą z paramet-

trów dopuszczalnych. Ponieważ wejście wpływa na amplitudę złożonego przebiegu na wyjściu w sposób proporcjonalny, element ten może spełniać funkcję analogowego elementu sterującego z separacją optyczną. Charakterystyka przenoszenia tego typu transoptora (rezystancja wyjściowa w zależności od prądu wejściowego) posiada duży zakres dynamiczny, a w dodatku rezystancja wyjściowa zmienia się w sposób zbliżony do liniowego w zakresie dwóch lub więcej dekad. Elementy tego typu przejawiają jednak niekorzystną cechę, którą jest zjawisko histerezy, efekt pamięci, polegający na tym, że rezystancja wejściowa zależy nie tylko od aktualnej wartości chwilowej prądu wejściowego, ale również od wartości, jaką wcześniej prąd ten przez dłuższy czas przyjmował. Czynnikiem determinującym charakterystykę histerezy, charakterystykę zależności rezystancji od temperatury, nachylenie charakterystyki przenoszenia i czas odpowiedzi jest materiał zastosowany w wyjściowym fotorezystorze. Stosując transoptory tego rodzaju, należy uwzględniać występowanie powyższych zależności [10].

## 5. DOSTĘPNE NA RYNKU GOTOWE ROZWIĄZANIA

Separacja obwodów analogowych jest realizowana również całkowicie wewnątrz struktury układów scalonych. Firma Analog Devices wykorzystuje do realizacji izolowanego wzmacniacza błędów ADuM4190, dedykowanego głównie do zastosowań w sprzężeniu zwrotnym impulsowych układów zasilania, technologię iCoupler, wykorzystaną wcześniej w bogatej ofercie separatorów cyfrowych [2, 4]. Do realizacji sprzężenia zwrotnego w przetwornicach powszechnie wykorzystywane są transoptory, których współczynnik przenoszenia zmienia się z czasem oraz pod wpływem temperatury. Zastosowanie wzmacniacza z separacją, którego charakterystyka nie zmienia się pod wpływem tych czynników, umożliwia uzyskanie lepszej odpowiedzi impulsowej, większej gęstości mocy i poprawy stabilności sterowanego nim układu zasilania. In Układ charakteryzuje się szerokim zakresem napięć zasilania stron pierwotnej i wtórnej, od 3 do 22 V, szerokością pasma 400 kHz, zakresem temperatur pracy od 40 do 125°C oraz

wytrzymałością izolacji 5000 V rms. Napięcie odniesienia dla wzmacniacza błędów o dokładności 1% jest zapewnione przez wewnętrzne, precyzyjne źródło 1,225 V. Wejścia odwracające i nieodwracające wzmacniacza po stronie pierwotnej są dostępne na zewnątrz celem dołączenia napięcia sprzężenia zwrotnego z wyjścia sterowanej przez układ izolowanej przetwornicy przez odpowiedni dzielnik napięciowy. Wyjście tego wzmacniacza również jest dostępne na zewnątrz, co umożliwia dołączenie elementów kompensacji RC. W strukturze układu napięcie wyjściowe wzmacniacza po stronie pierwotnej wykorzystywane jest do modulowania szerokości impulsów przesyłanych przy wykorzystaniu transformatora separującego, analogicznie jak w separatorach cyfrowych iCoupler. Po stronie wtórnej sygnał PWM jest przetwarzany na napięcie sterujące wyjściowym wzmacniaczem błędów, którego sygnał wyjściowy dostępny jest po stronie wtórnej zarówno bezpośrednio, jak i poprzez dodatkowy tranzystorowy stopień wyjściowy [2]. Zastosowanie oraz funkcjonalny schemat blokowy wzmacniacza ADuM4190 przedstawiono na rys. 4.

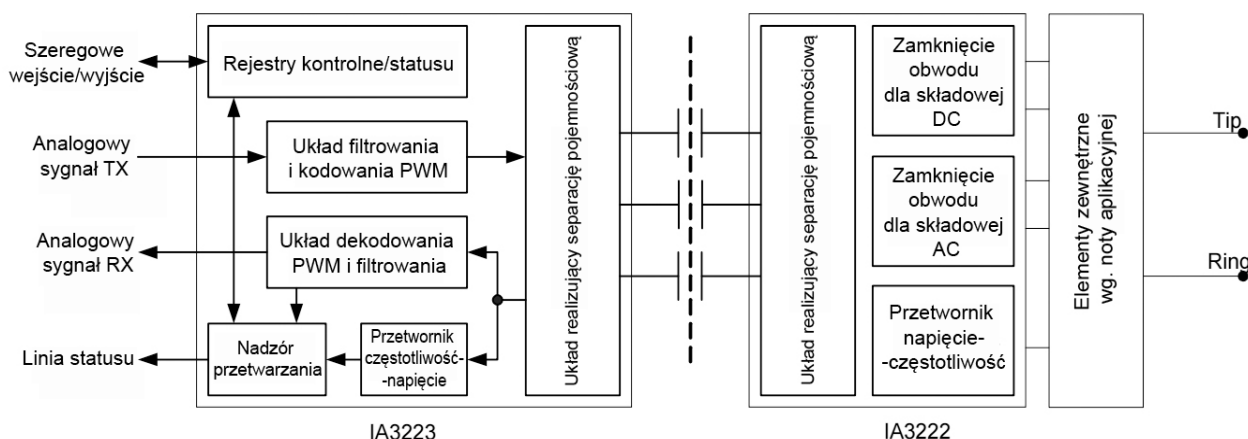


Rys. 4. Zastosowanie oraz funkcjonalny schemat blokowy wzmacniacza ADuM4190 (na podstawie [2])

## 6. SEPARATION IN TELEPHONE AND WARNING SYSTEMS

W aplikacjach takich jak urządzenia i systemy iskrobezpieczne, wymagających zachowania odstępów izolacyjnych niemożliwych do uzyskania wewnątrz układów scalonych, bardzo praktycznym rozwiązaniem są dedykowane układy interfejsów,

przystosowane do dołączenia zewnętrznych, dyskretnych elementów separujących. Przykładem takiego rozwiązania są układy scalone IA3222 i IA3223 firmy Silabs [11], pozwalające zrealizować separowany interfejs linii telefonicznej. Funkcjonalny schemat blokowy interfejsu z zastosowaniem tych układów przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Funkcjonalny schemat blokowy interfejsu z zastosowaniem układów IA3222 i IA3223 [11]

Sprzężenie pojemnościowe, będące separacją galwaniczną pomiędzy układem kodeka IA3223 a układem interfejsu liniowego IA3222, stanowią trzy kondensatory o pojemności nominalnej 0,7 pF, umieszczone w odpowiednich liniach pomiędzy układami. Bardzo niewielka wymagana pojemność sprzężenia znacząco ułatwia zapewnienie wymaganych odstępów izolacyjnych. Układy te stosowane są do galwanicznej separacji sygnałów analogowych z dwukierunkową transmisją w systemach łączności telefonicznej i alarmowej, przykładowo w barierach TBI firmy COMONET. Tak jak w przypadku bariery opisanej w rozdz. 2., bariera ta realizuje nie tylko separację galwaniczną dla dwukierunkowej separacji sygnałów analogowych, ale również transmituje sygnały, np. zamknięcia pętli, czy zmianę biegunowości zasilania [8].

## 7. PODSUMOWANIE

Separacja sygnałów analogowych jest bardziej skomplikowana niż separacja sygnałów cyfrowych. Występuje obecnie silna tendencja do przeprowadzania konwersji analogowo cyfrowej sygnału oraz realizacji separacji po stronie cyfrowej. Wraz ze wzrostem liczby kanałów analogowych koniecznych do

odseparowania uwidaczniają się zalety realizacji separacji po stronie cyfrowej, ponieważ pozwala ona przesyłać szeregowo jednym separowanym kanałem cyfrowym dane z większej liczby kanałów analogowych, które w innym przypadku wymagałyby osobnego układu separacji dla każdego z nich albo zastosowania modulacji i różnych częstotliwości nośnych dla poszczególnych kanałów przy jednym układzie separacji. Pomimo szybkiego rozwoju techniki cyfrowej, w niektórych zastosowaniach rozwiązania analogowe związane z separacją nadal są jednak wykorzystywane. Na przykład w aplikacjach wymagających działania ciągłego i jednocześnie niskiego poboru energii łatwiej osiągnąć powyższe założenia, stosując niskomocowy układ analogowy z separacją, niż np. procesor sygnałowy albo układ FPGA i realizując separację sygnału w postaci cyfrowej. Innym obszarem ich zastosowań, ze względu na możliwość zapewnienia minimalnych czasów zadziałania, są układy zabezpieczeń, których realizacja z przetwarzaniem, separacją i analizą po stronie cyfrowej wprowadzałaby zbyt duże opóźnienia. Dostępne na rynku elementy pozwalają dobrać rozwiązanie separacji analogowej stosownie do potrzeb.

## Literatura

1. Analog Devices Inc. Engineeri: *Linear Circuit Design Handbook*, 1<sup>st</sup> Edition, 10.04.2008, pp. 2.33.
2. Analog Devices Inc.: *High Stability Isolated Error Amplifier Data Sheet ADuM4190*, Rev. 0 2013.
3. Avago Technologies: *High-Linearity Analog Optocouplers Data Sheet HCNR200 and HCNR201*, 01.07.2014.
4. Chmielarz S., Molenda T.: *Nowoczesne technologie separacji galwanicznej sygnałów cyfrowych i ich przewidywane zastosowania w urządzeniach iskrobezpiecznych*. Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering, 3(523), 2015, 59-67.
5. Haidar S.: *Use a photoelectric-FET optocoupler as a linear voltage-controlled potentiometer* [online], dostępny w Inter-necie: <http://www.edn.com/design/analog/4368893/Use-a-photoelectric-FET-optocoupler-as-a-linear-voltage-controlled-potentiometer>.
6. Fairchild Semiconductor Corporation: *Photo FET Optocouplers Data Sheet H11F1M, H11F2M, H11F3M*, Rev. 1.0.5 2007.
7. IXYS Integrated Circuits Division: *LOC Series Linear Optocouplers Application Note: AN-107*, 10.09.2013.
8. Miśkiewicz K., Wojaczek A., Dzierżko J.: *Nowe elementy systemu telekomunikacyjnego HETMAN*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 10(452), 2008, pp. 36-41
9. Miśkiewicz K., Wojaczek A.: *System telefonii iskrobezpiecznej TELOS*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 10(441), 2007, pp. 28-32
10. PerkinElmer Optoelectronics: *Photoconductive Cells and Analog Optoisolators (Vactrols®)*, CA-274 Rev A 1001 2001.
11. Silicon Laboratories Inc.: *DAA Chipset with Analog Interface Data Sheet IA3222/23*, Rev. 5.0 2011.
12. Vishay Semiconductors: *Linear Optocoupler, High Gain Stability, Wide Bandwidth Data Sheet IL300*, Revision: 08-Apr-05.

mgr inż. TOMASZ MOLEND  
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG  
ul. Leopolda 31, 40-189 Katowice  
t.molenda@ibemag.pl  
mgr inż. SŁAWOMIR CHMIELARZ  
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG  
ul. Leopolda 31, 40-189 Katowice  
s.chmielarz@ibemag.pl

## Analiza czasu pracy maszyn przy zbrojeniu ścian wydobywczych

*Zbrojenie ścian – pojęcie związane z uruchomieniem ścianowego wyrobiska eksploatacyjnego – jest jednym z ważniejszych elementów procesu eksploatacji pokładów węgla kamiennego. Polega ono na wprowadzeniu do przyszłej ściany eksploatacyjnej wszystkich niezbędnych maszyn i urządzeń, aby proces eksploatacji mógł przebiegać w sposób efektywny. Aby zapewnić jego odpowiednią efektywność oraz wydajność, należy znaleźć przyczyny najczęściej w nim występujących awarii i skutecznie im przeciwdziałać. Celem tych działań będzie zwiększenie dyspozycyjności produkcyjnej maszyn i urządzeń biorących udział w procesie. Na zwiększenie dyspozycyjności produkcyjnej istotny wpływ ma stan techniczny maszyn i urządzeń stosowanych przy zbrojeniu ścian oraz ich odpowiedni dobór. Realizacja tych działań zapewni w dużym stopniu bezawaryjny i bezprzestojowy postęp prac.*

Słowa kluczowe: zbrojenie ścian wydobywczych, awarie, maszyny

### 1. WPROWADZENIE

---

Zadaniem każdej organizacji (przedsiębiorstwa) jest stworzenie takich zasad i reguł, według których można osiągnąć ściśle określony porządek. Te zasady i reguły powinny mieć rozsądny zakres zarówno szczegółowości, jak i elastyczności, ponieważ organizacja (przedsiębiorstwo) musi być stale dostosowywana do zmieniających się warunków działania.

Firmy produkcyjne – w tym także kopalnie węgla kamiennego – w sferze efektywności i bezpieczeństwa w procesie technologicznym koncentrują wysiłki głównie na przygotowaniu procedur, jakie należy przedsięwziąć w przypadku wystąpienia katastrof, awarii sprzętowych, czy też usuwania ich skutków. W rzeczywistości przeważająca liczba przestojów maszyn czy urządzeń następuje w wyniku awarii, błędów ludzkich, czy też działań planowych. Aby uzyskać wysoką efektywność pracy, należy położyć szczególny nacisk na zminimalizowanie lub całkowite wyeliminowanie wszystkich przyczyn przestojów, co w pierwszej kolejności sprowadza się do wnikliwej i systematycznej analizy poszczególnych etapów prac.

Zbrojenie ściany – to pojęcie związane z uruchomieniem ścianowego wyrobiska eksploatacyjnego. Polega ono na wprowadzeniu do chodnika (lub rozciągki) zgrzeblowego przenośnika ścianowego, obu-

dowy zmechanizowanej, zamontowaniu maszyn urabiających, wykonaniu odpowiednich połączeń hydraulicznych, elektrycznych i środków łączności.

Zbrojenie ścian jest jednym z ważniejszych elementów procesu eksploatacji pokładów węgla kamiennego. Sposobem na zapewnienie większej efektywności i wydajności tych prac jest znalezienie przyczyn najczęstszych awarii i przeciwdziałanie im po to, aby zwiększyć dyspozycyjność produkcyjną maszyn. Na podstawie wnikliwych raportów oraz analiz awaryjności można wyciągać wnioski, które mają na celu znalezienie (wskazanie) słabszych „ogniw” procesu oraz ułatwienie optymalizacji pracy ludzi i maszyn. Dzięki tak pozyskanym informacjom wiemy, gdzie inwestować i gdzie wprowadzać zmiany. Rozważania, które są przedmiotem niniejszego artykułu, dotyczą przebiegu procesu zbrojenia ścian wydobywczych w kopalni z uwzględnieniem istotnej roli maszyn i urządzeń stosowanych w tym procesie.

### 2. SYSTEMY MASZYNOWE W GÓRNICTWIE

---

Maszyna – to urządzenie do wykonywania pracy użytecznej kosztem dostarczanej energii lub przetwarzania jednego rodzaju energii na inny. Według ustaleń Unii Europejskiej (dyrektywa nr 89/392/EWG)

maszynę tworzą powiązane ze sobą elementy, z których co najmniej jeden jest ruchomy. Maszyną jest również zespół pojedynczych maszyn połączonych ze sobą tak, że działa on jako całość. Użyteczne działanie maszyn uzewnętrznia się najczęściej jako przetworzenie materii realizowane w układzie roboczym maszyny [4].

Sposób działania maszyny oraz systemy sterowania nią powinny być dostosowane do obsługującego. Sposób, w jaki obsługiwana jest maszyna, usytuowanie poszczególnych jej zespołów, części, oświetlenie, a także ułożenie pozycji ciała pracownika mają ogromny wpływ na dokładność wykonywanej pracy. Dziedziny wiedzy, które opisują zależności pomiędzy maszyną a człowiekiem, to [6]:

- bionika – dziedzina wiedzy z pogranicza techniki i biologii; nowa gałąź nauki powstała z połączenia wysiłków biologów i elektroników, zajmująca się badaniem organizmów żywych i procesów biologicznych w celu wykorzystania ich jako wzorów dla konstrukcji urządzeń technicznych (etymologia: **bio**[logia] + **[elektro]nika**).
- ergonomia – dziedzina nauki zajmująca się zasadami i metodami dostosowania urządzeń i narzędzi do cech fizycznych i psychicznych człowieka; nauka badająca związki zachodzące pomiędzy warunkami i środowiskiem pracy a możliwościami psychofizycznymi człowieka (gr. **érgon** – praca, dzieło, **nómos** – prawo).
- antropometria – dział antropologii traktujący o wymiarach ludzkiego ciała i proporcjach zachodzących między nimi (gr. **ánthrōpos** – człowiek, **metréō** – mierzę).

Branża górnictwa podziemnego korzysta z szerokiej gamy maszyn, dzięki czemu następuje wzrost wydobywania, wydajności oraz poprawa w WPROWADZENIE arunków bezpieczeństwa pracy.

W kopalniach węgla kamiennego można wyróżnić kilka grup systemów maszynowych, do których należą:

- maszyny wykorzystywane w przodkach eksploatacyjnych, takie jak kombajny/strugi, ładowarki, przenośniki czy odbudowy wyrobisk; w związku z ciągłym przemieszczaniem się przodków, wskutek eksploatacji, są to maszyny przesuwne lub kroczące; do tej grupy zaliczamy również maszyny/urządzenia związane z podszadaniem wyeksploatowanych wyrobisk;
- maszyny wykorzystywane do wykonywania wyrobisk przygotowawczych – najczęściej samojezdne lub przesuwne;
- maszyny i urządzenia służące do transportu podziemnego (transport poziomy) – należą do nich przenośniki lub podziemna kolej kopalniana;

- maszyny służące do transportu pionowego – maszyny wyciągowe; należą one do maszyn stacjonarnych, które z wykorzystaniem lin przemieszczają prowadzone wzdłuż szybu pojemniki z urobkiem, materiałami lub pracownikami;
- maszyny służące do sortowania, wzbogacania oraz transportu urobku na powierzchni kopalni – są to urządzenia stacjonarne.
- pompy służące do odwadniania wyrobisk podziemnych.
- wentylatory stacjonarne, znajdujące się na powierzchni przy szybach wentylacyjnych; ponadto spotyka się również wentylatory przenośne, które znajdują się w podziemnych wyrobiskach wszędzie tam, gdzie nie ma wentylacji okrzężnej;
- maszyny i urządzenia służące do zasilania w nośniki energii niezbędnej do prawidłowego funkcjonowania kopalni (energia elektryczna, sprężone powietrze, woda).

Poprzez poprawę efektywności eksploataowania, która w praktyce przekłada się na wzrost (wydłużenie) zdatności maszyn i urządzeń, ograniczenia awarii i przestojów, a także właściwą organizację i realizację prac obsługowych oraz konserwacyjnych, możliwe jest utrzymanie ciągłości produkcji, zwiększenie wydajności i poprawa jakości produkowanych wyrobów oraz ograniczenie kosztów eksploatacji maszyn i urządzeń, a co za tym idzie – ograniczenie kosztów produkcji i produktu [8].

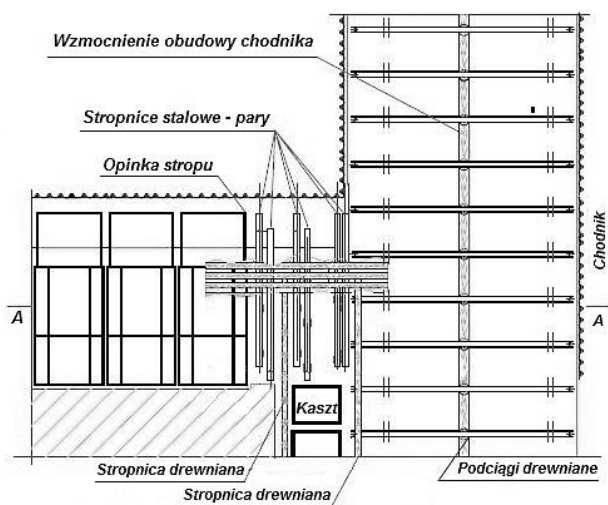
### 3. CZAS PRACY MASZYN I URZĄDZEŃ PRZY ZBROJENIU ŚCIAN

Proces zbrojenia ścian wydobywczych – to najogólniej przygotowanie wyrobisk, w możliwie jak najkrótszym czasie, do procesu eksploatacji. Zbrojenie ścian polega na przygotowaniu wyrobisk pod względem mechanicznym, elektrycznym, górnictwem i hydraulicznym.

Do zakresu prac zbrojeniowych należy również przygotowanie tras odstawy urobku przenośnikami taśmowymi w chodnikach podścianowych. Do grupy podstawowych maszyn i urządzeń stosowanych w podziemnych zakładach górniczych przy zbrojeniu ścian wydobywczych należą:

- kolejki podwieszane i naspagowe,
- lokomotywy torowe,
- kołowroty,
- agregaty zasilające,
- samojezdne wyciągniki łańcuchowe,
- zakrętaki udarowe.

Dla zobrazowania procesu zbrojenia na rys. 1. przedstawiony został przykładowy schemat zabudowy jednej ze ścian wydobywczych na skrzyżowaniu z chodnikiem.



Rys. 1. Schemat zabudowy ściany na skrzyżowaniu z chodnikiem

Stan techniczny maszyn i urządzeń stosowanych przy zbrojeniu ścian oraz ich odpowiedni dobór do zadań zapewniają w dużym stopniu bezawaryjny i bezprzestojowy postęp tych prac. Dlatego sprzęt ten powinien spełniać wysokie wymagania zarówno pod względem technicznym, jak i bezpieczeństwa.

Najbardziej niebezpieczne są awarie sprzętu, w wyniku których dochodzi do utraty zdolności wykonywania pracy. Jest to ściśle związane z niezawodnością.

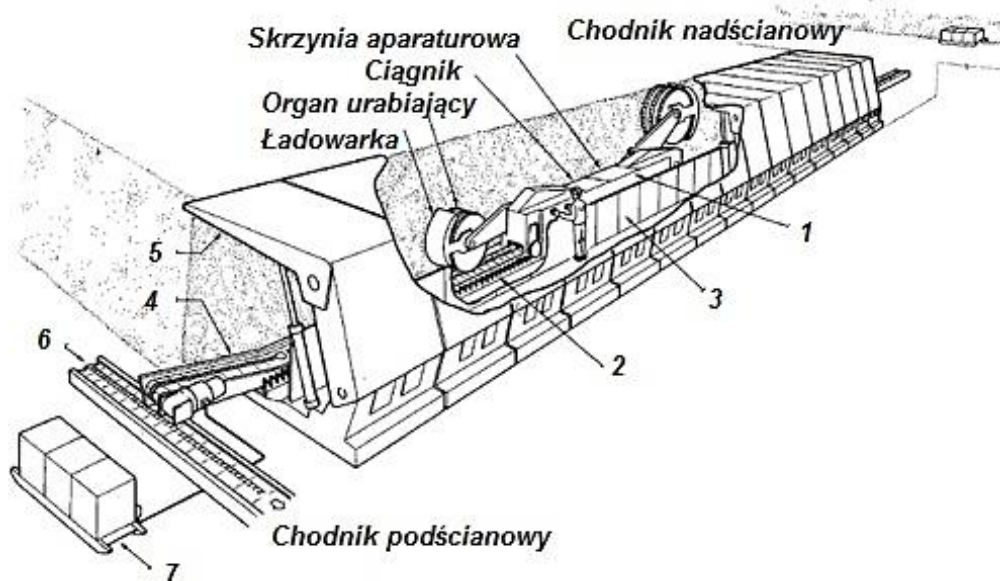
Bardzo istotny wpływ na poziom uszkodzeń mają warunki pracy, wiek maszyny, a także wiedza obsługujących.

W przypadku maszyn nowych główną przyczyną awarii są błędy konstrukcyjne, technologiczne, materiałowe oraz zbyt krótki okres testowania prototypu. Natomiast w maszynach „starych” głównym powodem wystąpienia usterek jest zużycie elementów bądź podzespołów.

W polskich przepisach poprzez awarię rozumie się gwałtowne i nieprzewidziane uszkodzenie bądź zniszczenie dowolnego obiektu budowlanego, mechanizmu technicznego, czy też urządzeń technicznych, które powoduje przerwę w ich użytkowaniu lub pozbawienie ich odpowiednich właściwości. Częściej jednak uważa się, że awaria jest to usterka techniczna, która może być następstwem przyczyn mechanicznych, elektrycznych bądź hydraulicznych i związana jest z urządzeniem technicznym, uniemożliwiając kontynuowanie pracy w sposób bezpieczny, zgodny z przepisami.

Jak już wspomniano, proces zbrojenia ścian jest bardzo istotnym elementem procesu wydobywczego. Bezawaryjny przebieg zbrojenia ściany oraz poprawność jego wykonania przekłada się na właściwy ruch i eksploatację ściany wydobywczej, co ma nierozdzielny związek z efektami ekonomicznymi zakładu górniczego.

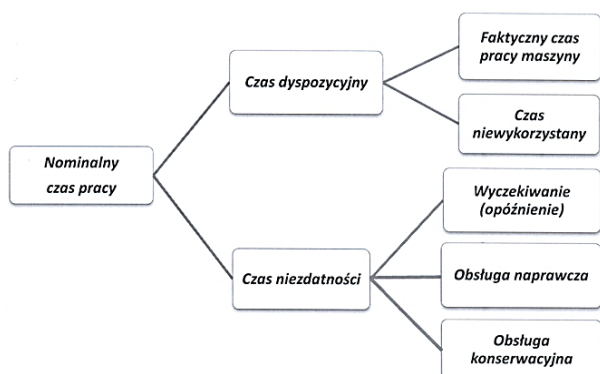
Przykład ściany kombajnowej po procesie zbrojenia, przygotowanej do procesu eksploatacji, przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Ściana kombajnowa gotowa do eksploatacji ściany węglowej:

1 – kombajn, 2 – drabinka, 3 – zastawka, 4 – zgrzeblowy przenośnik ścianowy, 5 – obudowa ścianowa, 6 – przenośnik podścianowy (zgrzeblowy), 7 – skrzynia aparaturowa

Klasyfikację czynników mających wpływ na wykorzystanie nominalnego czasu pracy można przedstawić w formie schematu blokowego (rys. 3).



Rys. 3. Wykorzystanie nominalnego czasu pracy maszyny

Uwzględniając czynniki mające wpływ na wykorzystanie nominalnego czasu pracy maszyny czy urządzenia, można zauważyć, że istotny wpływ na ten czas mają (rys. 3) [1, 7]:

- wykorzystanie maszyn i urządzeń w ramach czasu, w jakim są one zdadne do użytku (w pełni sprawne),
- częstotliwość wystąpienia awarii, związana z niezawodnością,

- czas trwania działań naprawczych i konserwacyjnych (zapobiegawczych),
- opóźnienia w procesach naprawczych, które wpływają na wydłużenie czasu niezdatności do użytku.

Przerwy planowe, które występują w trakcie pracy maszyn, wynikają z procesu eksploatacji tych urządzeń. Każda maszyna czy urządzenie ma zgodnie z harmonogramem podanym przez wytwórcę zaplanowane przeglądy okresowe, szczegółowe czy zmianowe. Celem tych przeglądów jest zbadanie bieżącego stanu technicznego oraz zabezpieczenie maszyny/urządzenia przed wszelkimi uszkodzeniami w trakcie wykonywania prac. Do tego typu działań można zaliczyć np.: sprawdzanie stanu oleju, czyszczenie filtra paliwa, stan płynu chłodzącego itp.

#### 4. PRZERWY WYSTĘPUJĄCE W TRAKCIE ZBROJENIA ŚCIANY WYDOBYWCZEJ

Przebieg zbrojenia ściany oraz kolejność wykonywania prac i związane z tym przestoje (planowe oraz awarie) przedstawiono w tabeli 1. [5]. Analizę wykonano dla jednej ze ścian w kopalni należącej do JSW SA.

Tabela 1.

##### Prace zbrojeniowe oraz przestoje

| Etapy                                | 8 dni   | 7 dni   | 9 dni                                                        | 10 dni                                    | 18 dni                            | 5 dni |
|--------------------------------------|---------|---------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|-------|
| Montaż kolejki podwieszanej          | 18 szt. | 90 szt. | 125 szt.                                                     | 60 szt.                                   |                                   |       |
| Skręcanie rur $\phi$ 180             |         | 200 m   | 240 m                                                        | 260 m                                     |                                   |       |
| Skręcanie rur $\phi$ 120             |         | 210 m   | 230 m                                                        |                                           |                                   |       |
| Rozpieranie sekcji                   |         |         | 31 szt.                                                      | 50 szt.                                   | 35 szt.                           |       |
| Montaż jezdni kablowych              |         |         | 25 szt.                                                      | 5 szt.                                    |                                   |       |
| Podbierka spągu pod PZP              |         | 15 m    | 16 m                                                         | 12 m                                      | 16 m                              |       |
| Montaż nadstawek                     |         | 56 szt. | 56 szt.                                                      |                                           |                                   |       |
| Montaż ścianowego kombajnu           |         |         |                                                              | Montaż ścianowego kombajnu dwuramionowego |                                   |       |
| Montaż trasy pierwszej               |         |         | Wytyczenie trasy, złożenie konstrukcji, napędu, montaż taśmy |                                           |                                   |       |
| Montaż trasy drugiej                 |         |         | Wytyczenie trasy, złożenie konstrukcji, napędu, montaż taśmy |                                           |                                   |       |
| Montaż rynien przenośnika podścian.  |         |         |                                                              | Montaż rynien oraz zastawek               | Montaż rynien, łańcucha, zgrzebeł |       |
| Montaż rynien przenośnika ścianowego |         |         |                                                              | Montaż zgrzebeł                           |                                   |       |
| PRZESTOJE w wyniku awarii            | —       | —       | —                                                            | x                                         | x                                 | —     |
| PRZESTOJE z innej przyczyny          | x       | x       | x                                                            | x                                         | x                                 | x     |



Dla lepszego zobrazowania przebieg prac zbrojeniowych w ścianie podzielono na etapy (tab. 1). Jako przykład czasu eksploatacji maszyn do zbrojenia ściany wydobywczej posłużono się maszynami, które zostały wykorzystane do transportu materiałów niezbędnych do uzbrojenia ściany. Tymi maszynami były kolejki podwieszane.

W trakcie zbrojenia ściany, które zgodnie z tab. 1. trwało 57 dni, miało miejsce 8 przestojów, z których 6 było spowodowanych przekroczeniami dopuszczalnych wartości parametrów maszyny, a 2 – awarią.

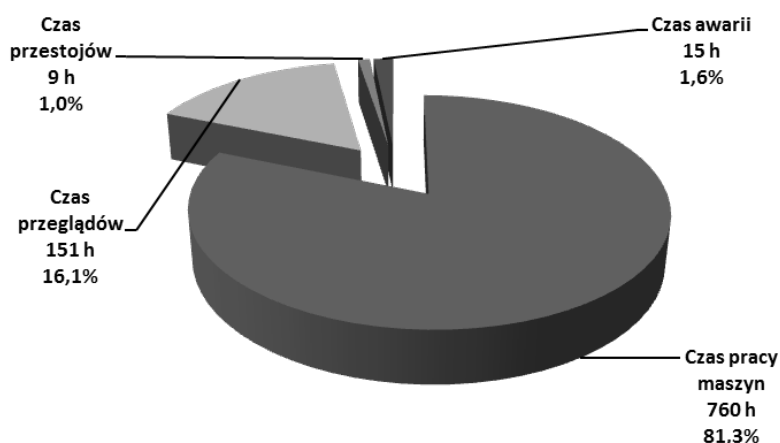
Generalnie, sumę przestojów (8) można (i należy) potraktować jako czas niezdatności – nieplanowane przerwy w pracy. Główną przyczyną sześciu przerw w pracy kolejki podwieszanej było przekroczenie dopuszczalnej temperatury wody, która chłodzi spa-

liny kolejki. W związku z powyższym postój trwał tak długo, aż woda osiągnęła właściwą temperaturę – za każdym razem czas ten wynosił ponad 1 godzinę. W jednym przypadku nastąpiło przekroczenie temperatury oleju w kolejce podwieszanej w związku z ubytkiem oleju. W wyniku zaistniałego zdarzenia trzeba było dostarczyć i uzupełnić olej, co było przyczyną prawie jednogodzinnej przerwy.

Pozostałe dwie awarie były spowodowane uszkodzeniem węża, który doprowadza olej niezbędny do pracy podciągarek.

W wyniku zaistniałych zdarzeń zadania, które były przewidziane do wykonania na zmianie, nie zostały wykonane całkowicie.

Całkowity czas pracy wraz z przerwami, które spowodowały zakłócenia w zbrojeniu ściany, został przedstawiony w formie wykresu na rys. 4.



Rys. 4. Efektywny czas pracy oraz przestojów maszyn i urządzeń podczas zbrojenia ściany

## 5. PODSUMOWANIE

Problem maksymalnego wykorzystania dyspozycyjnego czasu maszyn jest zagadnieniem, z którym spotykamy się praktycznie we wszystkich branżach przemysłu. Górnictwo węgla kamiennego nie jest przypadkiem odosobnionym. Za każdym razem należy przeanalizować przyczyny awarii oraz ich skutki dla kopalni, jakie są wynikiem powstawania awarii tych maszyn/urządzeń, które mają największy wpływ na przestoje.

Analiza ta powinna wykazać, czy przyczyny awarii zostały spowodowane przez:

- czynnik ludzki (błędy w eksploatacji, konserwacji, obsłudze),
- same urządzenia (błędy konstrukcyjne, wykonawcze),
- inne, niezwiązane z wcześniej wymienionymi kryteriami, np. szczególnie trudne warunki pracy.

Po przeprowadzeniu ww. analizy należy wskazać na działania, jakie należałoby podjąć przez osoby obsługujące te maszyny/urządzenia, aby zminimalizować przerwy w pracy, a które mają istotny wpływ na wyniki ekonomiczne osiągnięte przez kopalnię.

W wyniku przeprowadzonej analizy zbrojenia ściany wydobywczej można stwierdzić, że:

- przestoje i awarie, które pojawiają się na etapie zbrojenia ścian, dotyczą głównie maszyn transportujących ciężkie elementy sprzętu do rejonów, w których odbywa się zbrojenie,
- główną przyczyną przerw okazały się bardzo trudne warunki klimatyczne panujące w kopalni – wysoka wilgotność oraz temperatura powietrza.

Prawidłowo wykonane zbrojenie ściany wydobywczej oraz właściwy dobór maszyn i urządzeń do istniejących warunków geologiczno-górnictwowych [2, 3] istotnie wpływają na przyszłe wyniki produkcyjne kopalni (wydajność) oraz osiągnięte efekty ekonomiczne.

Awarie poszczególnych maszyn/urządzeń niosą za sobą duże straty dla kopalni, dlatego zasadnym wydaje się zaproponowanie takich działań [8], które pomogłyby ograniczyć liczbę potencjalnych awarii.

#### Literatura

1. Biały W.: *Volba dobývacích kombajnů na základě výzkumů rozpojitelnosti uhlí*, VŠB-TU Ostrava, Monografie, Fakulta strojní, Ostrava 2009, ISBN 978-80-248-2032-3. s. 122.
2. Biały W.: The selection of optimal method determining mechanical properties of coal layers. *Management Systems in Production Engineering*, 2011, 2, pp. 26-30.
3. Biały W.: *Innovative solutions applied in tools for determining coal mechanical properties*. *Management Systems in Production Engineering*, 2015, 4(20), pp. 202-209.
4. Biały W.: *Maszynoznawstwo dla niemechaników*, Wydawnictwo PKJS, Gliwice 2010, s. 406
5. Chanas Ł.: *Wpływ przestołów maszyn górniczych na efekty ekonomiczne kopalni węgla kamiennego*, praca magisterska, Politechnika Śląska, Zabrze 2014 (niepublikowana).
6. *Słownik języka polskiego*, red. W. Doroszewski, t. 1-11, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996-1997.
7. Kapusta M., Nowak-Senderowska D.: *Awarie i przestoje w procesie zbrojenia ścian w pokładach węgla kamiennego*, *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, 2013, nr 4
8. Kołodziej S.: *Psychologiczne uwarunkowania przedsiębiorczości*. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Organizacja i Zarządzanie*, 2004, 22, s. 71-80.

dr hab. inż. WITOLD BIAŁY  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
Instytut Inżynierii Produkcji  
Politechnika Śląska  
ul. Roosevelta 26, Zabrze

# Koncepcja architektury systemu komputerowego wyszukiwania dokumentów w języku polskim przy pomocy zapytań w języku naturalnym

*Artykuł przedstawia koncepcję architektury systemu wyszukiwania informacji w dokumentach tekstowych, z wykorzystaniem zapytań w języku naturalnym. Zasadniczym elementem proponowanego rozwiązania jest wykorzystanie metody ekspansji zapytań, jako sposobu na poprawę jakości uzyskiwanych wyników. Ponieważ brak jest tego typu narzędzi dedykowanych dla języka polskiego, zaproponowano także sposób przygotowania odpowiednich do tego celu zasobów z danych wejściowych. Przygotowywany system znajdzie zastosowanie w wyszukiwaniu informacji w dokumentach specjalistycznych, jakimi są dokumentacje techniczne i diagnostyczne maszyn górniczych.*

Słowa kluczowe: *diagnostyka maszyn, przetwarzanie języka naturalnego, wyszukiwanie informacji*

## 1. WSTĘP

---

Wyszukiwanie informacji w dostępnych zasobach tekstowych stanowi ważny element przetwarzania informacji. Poza najbardziej znanym przykładem, jakim są wyszukiwarki internetowe, można podać wiele innych zastosowań tego typu systemów w medycynie (wyszukiwanie informacji w elektronicznych kartotekach pacjenta 21 samodzielne przeszukiwanie dokumentacji medycznej przez pacjenta 6) czy nauce (wyszukiwanie niepełnych nazw genów w dokumentach dziedzinowych w genomice 19). Wyszukiwanie informacji ma też istotne znaczenie w takich systemach jak systemy rekomendacji produktów lub do przeszukiwania oferty sklepu internetowego. Zagadnienie przeszukiwania zbiorów dokumentów tekstowych może zrealizować dedykowany system komputerowy, z wykorzystaniem języka naturalnego, jako sposobu definiowania zapytań.

Diagnostyka ma kluczowe znaczenie w pracy z maszynami przemysłowymi, zwłaszcza z tymi, których eksploatacja przebiega w sposób ciągły. Przykładem takich maszyn są przenośniki taśmowe, stosowane w górnictwie węgla kamiennego. Podczas

diagnostyki może zachodzić potrzeba analizy wiedzy dziedzinowej w zakresie metod, z których można skorzystać w celu jej przeprowadzenia. Informacje na temat metod diagnostyki przenośników mogą być z kolei dostępne w postaci dokumentów tekstowych lub stron internetowych zawierających dokumentację techniczną. Dokumentacja ta, poza prezentacją danej metody, może zawierać również program (model) komputerowy lub algorytm, który pozwala na wykorzystanie danej metody diagnostycznej.

Wyszukiwanie informacji specjalistycznych wymaga istnienia zasobu, który zawiera wiedzę specjalistyczną. Często istnieje praktyczna potrzeba, aby informacji na temat danej dziedziny wiedzy poszukiwać przy pomocy oprogramowania komputerowego. Oprogramowanie do wyszukiwania informacji wykorzystuje specjalnie przygotowany zasób jako dane do przeszukiwania (na przykład kolekcję dokumentów tekstowych). W artykule zostanie zaprezentowana architektura, która pozwoli tworzyć systemy wyszukiwania dla różnych specjalistycznych zastosowań. Wyniki wyszukiwania zwrócone przez system zostaną zaprezentowane w postaci strony w formacie HTML, która będzie zawierać streszczenia wyszukanych dokumentów dopasowanych do zadanego zapytania.

Celem artykułu jest przedstawienie koncepcji architektury systemu, który może pomóc na przykład w wyszukiwaniu informacji potrzebnych w trakcie diagnostyki przenośnika taśmowego. Przedstawiona tu zostanie architektura, która pozwoli tworzyć systemy wyszukiwania informacji. Systemy, które pozwolą na pracę ze zbiorami dokumentów dziedzinowych w poszukiwaniu określonej informacji. Problem ten może na przykład dotyczyć medycyny lub badań naukowych w innych dziedzinach.

Układ artykułu jest następujący: na wstępie opisano krótko genezę problemu wyszukiwania informacji dziedzinowych, dalej opisano wykorzystanie przetwarzania języka naturalnego w systemach wyszukiwania informacji. W artykule przedstawiono także zagadnienie wyszukiwania informacji oraz problem przeszukiwania tekstów z dziedziny diagnostyki maszyn przemysłowych. W dalszej części przedstawiono szczegółowy opis komponentów proponowanej architektury systemu wyszukiwania informacji a kolejny punkt zawiera opis algorytmów dopasowania dokumentów oraz algorytmów ekspansji zapytania. Następnie przedstawiono opis zagadnień przetwarzania języka naturalnego istotnych w wybranych elementach zaproponowanej architektury. Przedostatnia część to opis przykładu wykorzystania proponowanej architektury do wyszukiwania informacji na temat metod diagnostyki przenośnika taśmowego. Artykuł kończy się podsumowaniem oraz opisem dalszych prac planowanych do zrealizowania w tym zagadnieniu.

## 2. WYSZUKIWANIE INFORMACJI I ANALIZA JĘZYKA NATURALNEGO

Przetwarzanie języka naturalnego jest dziedziną informatyki, która zajmuje się analizą tekstów przez oprogramowanie komputerowe. Przeszukiwanie dokumentów tekstowych, jak również zadania pomocnicze, znajdują się w obszarze przetwarzania języka naturalnego. Zagadnienia te opisano na przykład w 13.

Oprogramowanie opracowane wykorzystuje przetwarzanie języka naturalnego w celu wyszukania informacji – na przykład, jako element wyszukiwarek internetowych – jak również mniej rozbudowane komponenty, których można użyć w tworzonej systemie wyszukiwania informacji. Powstaje pytanie: dlaczego, skoro istnieją gotowe rozwiązania czy to wyszukiwarki internetowe czy też silniki wyszukiwania pełnokontekstowego, nie wykorzystać już dostępnych rozwiązań? Utrudnienia, które występują, gdy skorzystamy z wyszukiwarek internetowych do

przeszukiwania własnej kolekcji dokumentów, to na przykład: brak pewnych danych z danej dziedziny tematycznej lub ich niekompletność, mała konfigurowalność w zakresie wykorzystania własnych metod i algorytmów czy problemy z brakiem pewnych słów w zasobach wyszukiwarki.

Praca ogólnodostępnej wyszukiwarki, takiej jak na przykład Google, na własnej kolekcji dokumentów jest niemożliwa, ze względu na brak możliwości przeprowadzenia integracji oraz modyfikacji metod stosowanych przez wyszukiwarki ogólnodostępne czy też z powodu braku dostępu do dokumentacji technicznej algorytmów odpowiedzialnych za kluczowe etapy wyszukiwania. Przykładem takiego etapu wyszukiwania może być prezentowanie wyszukanych dokumentów użytkownikowi. Problem ten dotyczy zwłaszcza metod stosowanych do oceny trafności wyników wyszukiwania.

Bardziej odpowiednim rozwiązaniem wydaje się silnik wyszukiwania kontekstowego, który mimo swoich zalet może być trudny w użyciu jak również rozbudowie. Zastosowane metody przetwarzania języka naturalnego w oprogramowaniu do przeszukiwania wymagają dostosowania do języka polskiego. Zrealizowanie metod stosowanych w silnikach wyszukiwania takich jak ekspansja zapytań oraz metod przetwarzania języka naturalnego daje dobre podstawy teoretyczne do budowy własnego systemu.

Tworząc własny system wyszukiwania informacji istotne jest przeszukiwanie informacji przechowywanej w postaci całych kolekcji dokumentów, które należy wstępnie przetworzyć, aby można było je przeszukiwać. Do zrealizowania przetwarzania wstępnego kolekcji dokumentów potrzebne są narzędzia do przetwarzania języka naturalnego. Zapytanie do systemu wyszukiwania jest zapisane w języku naturalnym. Przetwarzanie języka naturalnego jest wykorzystywane, aby przetworzyć treść zapytania kierowanego do systemu wyszukiwania przez użytkownika. Na podstawie przetwarzanego zapytania system wyszukuje dokumenty pasujące do zadanego zapytania, zarówno w przypadku przetwarzania kolekcji dokumentów jak również w przypadku realizacji zapytań. Jako pierwsze narzędzie przetwarzania języka naturalnego wykorzystywane jest, ujednolicenie form słowa. Na przykład słowo „**psy**” zamieniamy na jego formę podstawową „**pies**”. Zamianę tą nazywamy lematyzacją. Za jej realizację odpowiedzialny jest program zwany lematyzatorem. W zaproponowanej architekturze nie jest zdefiniowane, jaki lematyzator należy zastosować. Każdy system wyszukiwania informacji powinien zawierać lematyzator przygotowany do pracy ze słownictwem dla danej dziedziny tematycznej.

Proponowana architektura ma analizować teksty w języku polskim. W systemach wyszukiwania informacji, poza rozszerzaniem zapytań, istotny jest problem rangowania, czyli rozmieszczania tych spośród znalezionych dokumentów, które są najlepiej dopasowane do zapytania. Najlepiej dopasowane wyniki powinny być prezentowane użytkownikowi w pierwszej kolejności. Przedstawiona w artykule architektura zostanie wykorzystana, jako metodologia do badań nad możliwością poprawy metod rangowania oraz zastosowania rangowania do ekspansji zapytań.

Proponowana architektura ma służyć kilku wymienionym poniżej celom badawczym:

- analiza i budowa metod do poprawy wyników wyszukiwania na poziomie zapytania;
- architektura dla tekstów z danej dziedziny wymaga dedykowanych danych i metod na przykład dla słów takich jak przenośnik taśmowy poziomy;
- badanie i tworzenie metod rozszerzania zapytania, które jest istotne w przypadku tekstów dziedzinowych;
- budowa zasobów semantycznych na potrzeby rozszerzania zapytania;
- badanie i analiza roli parafraz i konceptów w rozszerzaniu zapytań w odniesieniu do literatury problemu;
- zastosowanie do tekstów specjalistycznych w języku polskim;
- analiza metod wyboru wyszukiwania w celu zastosowania w systemie badawczym;
- badanie wykorzystania metod uczenia maszynowego i innych algorytmów do rozszerzania zapytań;
- badanie metod rangowania wyników wyszukiwania i ich zastosowanie do ekspansji zapytań;
- badanie metod rangowania wyników, jakie można wykorzystać do prezentacji wyników wyszukiwania użytkownikowi.
- analiza metod służących do tworzenia automatycznej sugestii dla użytkownika, co do zapytań alternatywnych w stosunku do tego jakie wprowadził użytkownik.

### 3. ARCHITEKTURA SYSTEMU

Systemy informatyczne służące do automatycznego przeszukiwania dokumentów mają pewne typowe dla takich systemów ograniczenia. Związane są one różnicami pomiędzy językami naturalnymi, na przykład w zakresie odmiany słów. Wymaga to przygotowania narzędzi przetwarzania języka naturalnego, pozwalających uwzględnić te różnice w procesie wyszukiwania

informacji. Kolejnym zjawiskiem, które stanowi problem przy tworzeniu systemu automatycznego wyszukiwania, jest dostępność zasobów lingwistyki komputerowej, które zawierają słownictwo dziedzinowe. Przez takie słownictwo rozumie się na przykład zasoby zawierające słowa kluczowe, nazwy własne, wyrazy wieloczłonowe czy też słowniki semantyczne. Zasoby te pozwalają na przetwarzanie tekstów z konkretnej dziedziny. W zasobach tego typu słownictwo dziedzinowe występuje na ogół w małej ilości z powodu tego, że zasoby te powinny zawierać słownictwo stosowane jak najczęściej a słownictwo dziedzinowe nie jest tak powszechnie używane. To sprawia, że ogólnodostępne systemy nie zawierają zbyt wiele słów z interesującej użytkownika dziedziny.

Jako przykład systemu, w którym wykorzystywane jest słownictwo dziedzinowe i występują w nim wcześniej opisane problemy, można podać prezentowany w artykule system dla języka polskiego, pozwalający na wyszukiwanie informacji w tekstach na temat diagnostyki maszyn przemysłowych.

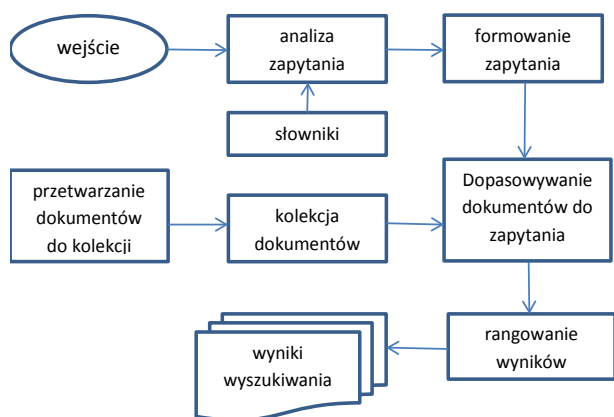
Proponowana w artykule architektura ma być dostosowana do analizy tekstów dziedzinowych. Zgodnie z wiedzą autorów tematyka zastosowania systemu automatycznego wyszukiwania informacji w dziedzinie diagnostyki maszyn przemysłowych nie była badana wcześniej.

Kolejny problem związany z prezentowanym systemem to fakt, że każda dziedzina tematyczna ma swoją specyfikę. Istnieją co prawda systemy dla wielu rodzajów tekstów dziedzinowych jednak nie są to systemy dedykowane dla języka polskiego. Brak jest też systemów automatycznego wyszukiwania informacji w dziedzinie diagnostyki maszyn przemysłowych dla wszystkich języków naturalnych. To stanowi jedną z przyczyn dla konieczności stworzenia własnych rozwiązań.

Częstym problemem bywa też przygotowanie samych zasobów językowych, co jest spowodowane małą ilością dostępnych do przeanalizowania danych tekstowych w celu pozyskania słownictwa tematycznego. Pojawiają się także trudności w korzystaniu z dostępnego oprogramowania. Wiążą się one z wykorzystaniem samodzielnie opracowanych zasobów lingwistycznych dla konkretnej dziedziny tematycznej w istniejących już systemach wyszukiwania takich jak IR Terrier 15

Słownictwo dziedzinowe stanowi zwykle jeden ze słabszych elementów wielu systemów, wykorzystujących przetwarzanie języka naturalnego. Na jego podstawie możliwe jest zastosowanie mechanizmu ekspansji zapytań, czyli automatycznej rozbudowy zapytania w celu poprawy trafności uzyskanych wyników.

Na rysunku 1 zaprezentowano komponenty proponowanej architektury.



Rys. 1. Architektura systemu wyszukiwania z podziałem na poszczególne komponenty

Architektura jest tworzona, aby na jej podstawie budować systemy do przeszukiwania dwóch rodzajów zasobów: dokumentów tekstowych i hiperłączy do stron WWW. Prezentowana w artykule architektura ma spełniać założenia zbliżone do IR Terrier Platform 15. Terrier to jest kompletny pod względem funkcjonalności system wyszukiwania. Przeznaczony jest on dla języka angielskiego, jednak istnieje możliwość zastosowania go dla innych języków naturalnych. Przygotowana przez autorów Platformy Terrier grupa obsługiwanych języków nie zawiera gotowego rozwiązania umożliwiającego wykorzystanie IR Terrier dla języka polskiego. Dodanie wsparcia dla języka polskiego wymaga przygotowania dedykowanego lematyzatora, który będzie posiadał obsługę scalania wyrażen wieloczłonowych w jedno słowo, aby je poprawnie dodać do systemu. Przykładem wyrażenia wieloczłonowego może być „przenośnik taśmowy”. Słowa składające się na dane słowo wieloczłonowe nie powinny być przez system przetwarzane, jako niezależne od siebie słowa, ale aby je poprawnie przetworzyć muszą być indeksowane, jako jedna całość. To pierwsza różnica przedstawianego systemu względem Platformy Terrier. Kolejna różnica względem wyżej wspomnianej platformy to wykorzystanie własnych zasobów językowych dostosowanych do dziedziny, dla potrzeb której stosowany jest system oparty o daną architekturę. W dalszej części, jako repozytorium będziemy nazywać komponenty systemu, które są odpowiedzialne za przechowywanie kolekcji dokumentów tekstowych lub linków do stron WWW oraz zawartości stron internetowych w zmodyfikowanej postaci. Zakładamy, że wszystkie dane są już w repozytoriach. Architektura ma uwzględniać możliwość wykorzystania wykonywanych do systemu wyszukiwania zapytań lub składowanych w repozytoriach dokumentów w celu pozyskania konceptów i umieszczanie ich wraz z relacjami w słowniku semantycznym. Jako

koncepty można uznać pojęcia posiadające wspólne własności jak również są to abstrakcyjne pojęcia z dziedziny tematycznej na potrzeby, której jest tworzony system w oparciu o zaproponowaną architekturę. Dokładny opis zagadnienia można znaleźć w 5920. Tak pozyskane dane zostaną wykorzystane do rozszerzania zapytań.

Poniżej przedstawiono opis komponentów proponowanej architektury.

### 3.1. Komponent do dialogu z użytkownikiem

Jego zadanie to pobranie pytania od użytkownika. Zostanie tu zastosowany mechanizm generowania sugestii zapytań. Komponent realizuje formułowanie zapytania na podstawie pytania zadanego przez użytkownika. W trakcie formułowania zapytania jest też przeprowadzana ekspansja zapytania. Ekspansja zapytania polega na wzbogaceniu słów zawartych w zapytaniu w sposób automatyczny o słowa, które zwiększą precyzję wyszukiwania. Przykłady metod służących do ekspansji zapytania przedstawiono w dalszej części artykułu. Komponent służy też do pozyskiwania parafraz oraz konceptów na podstawie zapytań zadawanych przez użytkowników. Ma to na celu rozbudowę słownictwa, jakie można zastosować do rozszerzania zapytania.

Na rysunku 1 można zauważyć, że dialog z użytkownikiem realizowany jest przez komponenty wejścia i analizy zapytania. Komponent analizy zapytania jest też odpowiedzialny za generowanie sugestii dla użytkownika. Etap ten nie jest zaznaczony na rysunku, aby zachować tylko podstawowe etapy wyszukiwania. Komponent wejścia służy też do akwizycji danych, przydatnych na dalszych etapach analizy. Komponent ten realizuje też formułowanie zapytań, które polega na przetworzeniu pytania wprowadzonego przez użytkownika. Pierwszy etap to usunięcie mało istotnych słów oraz wykonanie lematyzacji pozostałych słów z danego zapytania. Kolejny etap to zamiana słów do postaci odpowiedniej dla zastosowanego algorytmu dopasowania zapytania do dokumentu.

### 3.2. Komponent dopasowywania zapytania do dokumentów

Komponent ma za zadanie dopasowywać dokumenty zawarte w repozytoriach do zadanego zapytania. Proces dopasowania dokumentów przebiega przez zapisanie słów zawartych w zapytaniu jak również słów opisujących te dokumenty we wspólnej reprezentacji danych: na przykład wektorowej przestrzeni słów lub jako indeks odwrotny. Proponowane w architekturze. Metody dopasowania opisano w dalszej części artykułu.

### 3.3. Komponent do przetwarzania stron WWW

Komponent przeznaczony jest do przetwarzania stron WWW zawartych w repozytorium stron o wybranej tematyce. W przedstawianej architekturze zadaniem tego komponentu jest automatyczne wydobywanie słów kluczowych ze stron WWW. Do pobrania ze strony WWW słów kluczowych zostanie wykorzystana ekstrakcja terminologii 13. Komponent realizuje metody, które pozwalają na pozyskanie informacji, jakie metody diagnostyczne zawiera dana strona WWW lub dokument tekstowy. Aby uzyskać informacje o opisanej w dokumencie metodzie diagnostycznej, komponent, poza słowami kluczowymi, wydobędzie słownictwo specjalistyczne. Wykona także ekstrakcję relacji, jakie łączą maszynę i metodę diagnostyczną opisaną w danym dokumencie. Jako przykład takiej relacji można podać: **metoda diagnostyczna (model matematyczny uszkodzeń przenośnika taśmowego, przenośnik taśmowy)**.

Poza ekstrakcją relacji 13 będzie przeprowadzona automatyczna kategoryzacja tematyki dokumentu do ustalonych kategorii, na przykład takich jak **algorytmy komputerowe, modele matematyczne, programy komputerowe** jak również elementy maszyn, które są diagnozowane. Nadanie kategorii ma na celu poszerzenie opisu znalezionej dokumentu o dodatkowe dane, które pomogą użytkownikowi w analizie wyników wyszukiwania. Przykładem takich informacji mogą być **rodzaj metody diagnostycznej** lub **rodzaj elementu maszyny**. Kolejny etap przetwarzania pozyskanej strony WWW to lematyzacja i normalizacja w ramach pozyskanego dokumentu. Będzie wykonana także ekstrakcja adresu strony WWW, jak również zrealizowane zostanie dodanie opisu semantycznego: ze słów z przetwarzanego dokumentu wyodrębnione zostaną wieloczłonowe nazwy własne takie jak na przykład **przenośnik taśmowy**. Poza wymienionymi wcześniej danymi lingwistycznymi z analizowanego dokumentu będą też pozyskane koncepty oraz parafrazy. Jako przykład konceptu można podać **obwód elektryczny**. Parafrazy to z kolei takie zdania jak **obwód elektryczny wymaga naprawy, potrzebna jest naprawa obwodu elektrycznego**. Parafrazy to zatem różne sposoby budowy tego samego zdania.

Komponent na rysunku 1 jest przedstawiony, jako przetwarzanie dokumentów dodanych do kolekcji dokumentów i linków. Powstanie też analogiczny komponent do przetwarzania w taki sam sposób dokumentów tekstowych.

### 3.4. Komponent repozytorium

Komponent jest odpowiedzialny za przechowywanie dokumentów i treści stron w formie indeksu odwrotnego. Komponent przechowuje też słowa klu-

czowe, nazwy własne, w ramach repozytorium. Utworzony jest też słownik semantyczny, zawierający słowa z indeksów odwrotnych, które będą wzbogacone o cechy semantyczne i relacje semantyczne. W zasobach repozytorium dostępny jest również słownik wyrazów wieloczłonowych i złożzeń, które są zawarte w zgromadzonych dokumentach, gdyż są one pomocne w procesie wyszukiwania. Koncepty wchodziły w skład słownika semantycznego a dla parafrazy 14 jest też utworzony osobny słownik w ramach repozytorium. Na rysunku 1 repozytoria oznaczone są, jako kolekcja dokumentów oraz kolekcja linków.

### 3.5. Komponent generator wyniku

Komponent generator wyników jest odpowiedzialny za zwracanie wyników zapytania po przeprowadzeniu oceny wyników z użyciem algorytmów, które nadadzą rangę wyszukanych dokumentom. Ranga ta pozwoli uzyskać lepsze uporządkowanie wyszukanych dokumentów. Jako przykład takiego algorytmu można podać algorytm zaproponowany w 11 lub algorytm przedstawiony w 4, który nadaje rangi z użyciem sieci neuronowej oraz metod optymalizacji numerycznej. Komponent zwraca listę pasujących dokumentów a użytkownik otrzyma wyniki w postaci strony HTML zawierające streszczenia pasujących dokumentów. Automatyczne streszczanie to proces przestawienia informacji z dokumentu tekstowego w skróconej formie. Jest on wykonywany automatycznie przez dowolny komponent streszczający na przykład autorski komponent lub któregoś z dostępnych rozwiązań.

Na rysunku 1 widoczny jest komponent do nadawania rang, który zwraca uporządkowane wyniki wyszukiwania. Wyniki te zostały uprzednio podane automatycznemu streszczaniu, co nie jest krokiem podstawowym w pracy systemu wyszukiwania a jedynie krokiem pomocniczym.

## 4. ALGORYTMY DOPASOWYWANIA

Algorytmy dopasowywania zapytania do dokumentów zawartych w kolekcji to kluczowy element systemu wyszukiwania. Jako podstawowy algorytm zostanie użyta metoda indeksów odwrotnych. Alternatywny algorytm wykorzystany w architekturze to model przestrzeni wektorowej, w którym słowa zapytania oraz słowa z repozytorium są przedstawiane, jako wektory. Indeksy odwrotne to podejście, które polega na mapowaniu słów z dokumentami w celu określenia powiązania między słowami a dokumentami poprzez liczbę wystąpień danego słowa 12. Przeanalizowany będzie też algorytm dopasowania

Nearest centroid classifier. Jest to metoda klasyfikacji z wykorzystaniem pojęcia geometrii afinicznej zwanego centroidem 16. Opis metod dopasowania można znaleźć na przykład w 13.

Algorytmy rozszerzania zapytania są istotnym elementem systemu wyszukiwania 131013. Jako algorytmy rozszerzania zostaną wykorzystane autorskie, prototypowe metody, których krótki opis zostanie tutaj przedstawiony. Pierwsza metoda to wykorzystanie słownika semantycznego, który został opracowany w ramach tworzenia systemu wyszukiwania jak również wykorzystanie nazw własnych. Przeszukiwane są relacje semantyczne przypisane dla danego słowa z plWordNet<sup>1</sup> 8 lub gdy brak słowa we wspomnianym słowniku wtedy przeszukiwany jest własny zasób semantyczny, zawierający synonimy i hiperonimy dla słowa z zapytania. Do rozszerzania zapytania stosowana jest wspomniana już wcześniej lematyzacja.

Druga metoda wykorzystuje, jako dane wejściowe słownik semantyczny opracowany w ramach systemu oraz nazwy własne dziedzinowe składowane są w repozytorium i streszczenia wyników podobnych zapytań oraz pozyskane parafrazy 14.

Trzecia metoda wykorzystuje w celu rozszerzania zapytania cechy semantyczne dla rzeczowników z dziedziny tematycznej. Cecha semantyczna to opis semantyczny danego rzeczownika. Cechy będą przypisane rzeczownikom w dokumentach oraz streszczeniom wyników podobnych zapytań. Stosowana jest tu lematyzacja oraz pozyskane parafrazy.

Metoda czwarta wykorzystuje biklasteryzację do wyboru słów podobnych do tych wykorzystanych w zapytaniu, aby je wykorzystać do rozszerzenia zapytania. Biklasteryzacja elementów macierzy polega na poszukiwaniu podzbiorów wierszy i podzbiorów kolumn danej macierzy, których część wspólna będzie zawierała elementy bardziej do siebie podobne (lub wręcz identyczne) niż ma to miejsce w całej macierzy.

Metoda piąta to zbadanie analizy argumentacji do rozszerzania zapytania 17. Analiza argumentacji polega na automatycznym wydobywaniu z dokumentów tekstowych argumentów w postaci zdań, które opisują argumenty przemawiające za daną metodą diagnostyczną lub za wnioskami na temat danej metody. W tym celu wykorzystane zostaną słowa ze zdań opisujących zalety lub wady danego narzędzia diagnostycznego zawarte w dokumencie. Jako inna metoda wykonania rozszerzenia zapytania zostanie wykorzystane pojęcie koreferencji, czyli powiązania bytu występującego w tekście z wiedzą z poza dane-

go tekstu. Jako przykład takiego powiązania można podać **prezes PZPN i Zbigniew Boniek**. Powiązanie to zmieni się z wyborem nowego prezesa PZPN. W procesie rozszerzania zapytania zostaną wykorzystane słowa powiązane ze sobą koreferencją między dokumentową. Pojęcie koreferencji międzydokumentowej można scharakteryzować, jako różne wystąpienia tego samego bytu w różnych dokumentach. Z koreferencją międzydokumentową mamy doczynienia wtedy, kiedy byt, występujący w dokumentach, występuje zamiennie: raz, jako byt ogólny a raz jako konkretna instancja danego bytu. Co można zilustrować na przykładzie przenośnika taśmowego i konkretnego modelu przenośnika taśmowego. Zagadnienie koreferencji międzydokumentowej opisano w 7.

## 5. PRZETWARZANIE JĘZYKA NATURALNEGO

Przetwarzanie języka naturalnego stanowi znaczący element systemu wyszukiwania informacji. Zagadnienia z zakresu przetwarzania języka naturalnego, które są wykorzystywane w zaproponowanej architekturze to między innymi: lematyzacja, słownik wyrazów wieloczlónowych. Pozyskiwanie tych danych zrealizowane zostanie manualnie na podstawie danych z repozytoriów. Wśród uzyskanych danych znajdują się nazwy własne oraz skrótowe i pełne formy niektórych słów na przykład PTG, czyli przenośnik taśmowy górniczy lub SAGA samoczynny agregat gaśniczy.

Tworzenie odpowiedzi zapytań zostanie opracowane na podstawie historii zapytań oraz biklasteryzacji i przetwarzania języka naturalnego. Tworzenie odpowiedzi w trakcie zadawania pytania polega na sugerowaniu użytkownikowi, jaką frazę można dodać do zapytania na podstawie już wpisanej frazy. Jako przykład takiego zapytania możemy podać sugestie dla frazy **przenośnik taśmowy** takie jak **górniczy, uszkodzony, przenośnik taśmowy typu GWA-REK-1000**. Przegląd metod do sugestii zapytań przedstawiono w 18.

Obecnie istnieje tylko kilka ogólnodostępnych rozwiązań dla ekspansji zapytania. Niewiele jest także rozwiązań dla ekspansji dokumentów. Rozwiązania dedykowane dla języka polskiego w zakresie ekspansji zapytań zgodnie z wiedzą autorów nie istnieją.

W przypadku popularnych kompleksowych rozwiązań w dziedzinie systemów wyszukiwania informacji – takich jak na przykład Lucene Solar Xapian – istnieje ograniczone wsparcie dla języka polskiego.

<sup>1</sup> plWordNet to słownik o budowie grafowej, zawierający powiązania semantyczne między słowami



Architekturę wyróżnia przeznaczenie dla języka polskiego i wykorzystanie autorskich algorytmów do rozszerzenia zadawanego zapytania.

Opracowana architektura może być wykorzystana na przykład, jako element systemu do wyszukiwania opinii. Wyszukiwanie opinii przebiega następująco: w zbiorze dokumentów za pomocą systemu wyszukiwania poszukiwane są dokumenty na temat produktów lub usług. Następnie w kolejnym kroku sprawdzamy, które zdania ze znalezionych dokumentów zawierają opinię. Zdanie takie to na przykład „**ten aparat jest źle wykonany**” inny przykład „**drukarka jest ekonomiczna**”. Nazwa angielska wyszukiwania opinii to *opinion retrieval* a dokładny opis tego zagadnienia zaprezentowano na przykład w 2. Problem wyszukiwania opinii można potraktować, jako zadanie ewaluacyjne dla tworzonego systemu wyszukiwania lub wykorzystanie gotowego systemu wyszukiwania. Autorskie zasoby semantyczne zostały stworzone specjalnie na potrzeby tej architektury. System zbudowany z wykorzystaniem proponowanej architektury pozwoli na przeszukiwanie stron internetowych i dokumentów tekstowych zgromadzonych w repozytorium systemu. Jest tworzony z myślą o tekstach dziedzinowych na przykład dla potrzeb diagnostyki maszyn górniczych.

## 6. PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA

Zapytanie do systemu wyszukiwania zbudowanego na podstawie zaproponowanej architektury należy wpisać z klawiatury. Wpisujemy, czego poszukujemy, na przykład wiedzy na temat diagnostyki maszyn górniczych. Poszukiwana informacja może dotyczyć tego, jakie narzędzia informatyczne możemy wykorzystać w trakcie diagnostyki przenośnika taśmowego. Informację taką można uzyskać z dokumentacji technicznej. Przykładem takiej informacji może być to czy istnieje oprogramowanie, algorytm, które można wykorzystać do diagnostyki kluczowych obwodów przenośnika taśmowego pionowego. Jako jeden z przykładów wyszukiwanych w systemie informacji jest wyszukiwanie modelu komputerowego przenośnika taśmowego.

Wykorzystanie systemu wyszukiwania wraz z opisem każdego kroku przedstawiono poniżej, w postaci wypunktowanej:

1. Wpisanie przez użytkownika zapytania do systemu.
2. Sugestia zapytania ma na celu przedstawienie użytkownikowi części zapytań alternatywnych

w stosunku do tego, jakie wprowadził użytkownik. Zapytania te system generuje automatycznie są one powiązane tematycznie z zapytaniem użytkownika.

3. Wstępna analiza zapytania, czyli lematyzacja i usuwanie słów, które są częste a nie niosą ze sobą żadnej istotnej informacji; to takie słowa jak na przykład **czy lub i**, zostanie też przeprowadzone złączenie słów wieloczłonowych.
4. Rozszerzanie zapytania polegające na dodaniu do zapytania słów powiązanych z tym zapytaniem, takich jak synonimy lub formy odmian słów z zadanego zapytania. Jest to jedna z metod rozszerzania zapytania.
5. Dopasowywanie dokumentów do zapytania. Ma to na celu wybór tych dokumentów, które zawierają słowa z zapytania. W przykładzie zostanie zastosowany model wektorowy. Boolowski proces dopasowania przebiega przez stwierdzenie czy słowo znajduje się w dokumencie, co pozwoli wybrać dopasowane dokumenty do zapytania. Istotne jest to że wyrazy wieloczłonowe zostały scalone.
6. Zwrócenie wyników dla zadanego zapytania.

Dla przytoczonego przykładu zapytania o przenośnik poszczególne etapy przybiorą następującą postać:

1. Zapytanie „Czy istnieje Model komputerowy przenośnika taśmowego?”
2. Możliwe odpowiedzi przedstawiono w Tabeli 1.
3. Wynik etapu trzeciego dla zadanego przez użytkownika zapytania „istnieje model komputerowy przenośnika taśmowego ”
4. Przykładowe rozszerzanie słów z zapytania przedstawiono w Tabeli 2.
5. Istnieje model komputerowy przenośnika taśmowego  $D1=(1,1,1)$
6. Wyniki dla zapytania przedstawiono w Tabeli 3.

Tabela 1

### Podpowiedzi dla zapytania „Czy istnieje Model komputerowy przenośnika taśmowego”

| Zapytanie                                            | Podpowiedź                                                      |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Czy istnieje Model komputerowy przenośnika taśmowego | Czy istnieje Model komputerowy przenośnika taśmowego górniczego |
| Czy istnieje Model komputerowy przenośnika taśmowego | Czy istnieje Model komputerowy przenośnika taśmowego pionowego  |

**Tabela 2**  
**Możliwe rozszerzenia dla słów z zapytania**  
**„Czy istnieje model komputerowy przenośnika**  
**taśmowego”**

| słowo       | rozszerzenia                          |
|-------------|---------------------------------------|
| model       | algorytm, modelem, modelu             |
| komputerowy | komputerowego, informatyczny, cyfrowy |
| przenośnika | przenośnik                            |
| taśmowy     | taśmowego                             |

**Tabela 3**  
**Wynik przykładowego zapytania**

|                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Model komputerowy przenośnika taśmowego opracowano w oparciu o model blokowy, model matematyczny. Model dyskretyzowano. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 7. PODSUMOWANIE I DALSZE PRACE

W artykule przedstawiono koncepcję architektury systemu wyszukiwania informacji w dokumentach tekstowych z użyciem zapytań w języku naturalnym. Zwłaszcza wyszukiwania informacji w dokumentach specjalistycznych takich jak dokumentacja techniczna maszyn górniczych na przykład dotycząca diagnostyki. Zaproponowana architektura zawiera metody ekspansji zapytań, które to metody mają istotny wpływ na wyszukiwanie informacji poprzez rozszerzenie o dodatkowe słowa zadanego zapytania przez użytkownika. Brak jest systemów, które przeprowadzają ekspansję zapytania dla języka polskiego. Do pracy takiego narzędzia potrzebne są odpowiednie dane wejściowe, które wymagają odpowiedniego przygotowania. Koncepcja takich zasobów została przedstawiona w artykule. W tekstach dziedzinowych występuje spora liczba wyrazów wieloczłonowych. System przeszukiwania tekstów dziedzinowych powinien poprawnie przetwarzać wyrazy wieloczłonne oraz skróty, które mają wpływ na to, aby uzyskać większą precyzję wyszukiwania. W artykule w czwartym punkcie opisano różne metody ekspansji zapytania, które są znaczącym elementem architektury systemu wyszukiwania informacji. Następnym krokiem istotnym dla poprawy precyzji wyszukiwania jest przygotowanie zasobów takich jak słowniki, które będą opisywały słownictwo z dziedziny, dla której tworzony jest dany system wyszukiwania informacji. Poza wymienionymi elementami są też wykorzystane zapytania kierowane do systemu wyszukiwania informacji. W tym celu wykorzystywana jest treść kierowanych do systemu zapytań w języku

naturalnym jak również uzyskane wcześniej wyniki wyszukiwania informacji w dokumentach tekstowych. Architekturę tę wyróżnia przeznaczenie dla języka polskiego.

Dalsze prace skoncentrują się na przygotowaniu systemu wyszukiwania, wykorzystującego zaproponowaną w artykule architekturę w stopniu podstawowym. Wynika to z założenia, by wraz z rozbudową prototypowego systemu badać eksperymentalnie elementy systemu powiązane z wyszukiwaniem informacji poprzez rozwój systemu prototypowego. Planowane jest dodawanie kolejnych elementów zaproponowanych w architekturze. Zostaną też zrealizowane metody i zasoby do przetwarzania języka naturalnego, które trzeba wykonać, aby system wyszukiwania mógł poprawnie przeszukiwać dokumenty. Te elementy to: lematyzacja, zasoby semantyczne, wyrazy wieloczłonowe, parafrazy, słowa kluczowe czy ekstrakcja informacji terminologii specjalistycznej. W obszarze samego systemu wyszukiwania w kolejnych iteracjach rozwijane będą elementy systemu prototypowego takie jak: ekspansja zapytań, automatyczne odpowiedzi zapytań, streszczanie wyników wyszukiwania, prototyp rangowania wyników oraz metody dla wyrazów wieloczłonowych. Drugim celem, który ma być realizowany wraz z budową systemu jest analiza stosowności wybranych metod uczenia maszynowego do prezentowanych powyżej zagadnień wyszukiwania informacji. Trzecim celem realizowanym w ramach dalszych prac jest przeprowadzenie badań polegających na sprowadzeniu problemu wyszukiwania dokumentów do problemu klasyfikacji dokumentów, a następnie na porównaniu tych dwóch podejść dla tekstów dziedzinowych w języku polskim. Dla sprawdzania jakości metod klasyfikacji opracowane metody zostaną wykorzystane do klasyfikacji dokumentów oraz do kategoryzacji znalezionych dokumentów do wybranej kategorii tematycznej. W badaniach zostanie wykorzystana analiza czułościowa oraz metody wyboru danych.

### Bibliografia

1. Abberley D., Kirby D., Renals S., Robinson T.: *The THISL broadcast news retrieval system*. w Proc. ESCA Workshop on Accessing Information In Spoken Audio, Cambridge, 1999 pp., 14–19
2. Liu B.: *Sentiment analysis and opinion mining*, Synthesis Lectures on Human Language Technologies, 2012, 5(1) pp. 1–167.
3. de Campos L. M., Fernandez J. M., Huete, J. F.: *Query expansion in information retrieval systems using a Bayesian network-based thesaurus*, Proceedings of the Fourteenth Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, pp. 53 – 60, San Francisco, 1998
4. Chapelle O., Chang Y.: *Yahoo! Learning to Rank Challenge Overview*, Journal of Machine Learning Research Proceedings Track, 2011, 14 pp. 1–24

5. Deveaud R., Sanjuan E., Bellot P.: *Accurate and Effective Latent Concept Modeling for Ad Hoc Information Retrieval*. Document Numerique, 2014, 17(1), pp. 61-84
6. Dramé K., Mougín F., Diallo G.: *Query Expansion using External Resources for Improving Information Retrieval in the Biomedical Domain*, w *Proceedings of the ShAre/CLEF eHealth Evaluation Lab*, 2014, pp. 189-194
7. Dutta S., Weikum G.: *Cross-document Co-reference Resolution using Sample-based Clustering with Knowledge Enrichment*, Transactions of the Association for Computational Linguistics, 2015, 3 pp. 15-28
8. Hajnicz E.: *Automatyczne tworzenie semantycznych słowników walencyjnych*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2011
9. Jiang X., Tan A.-H.: *Mining Ontological Knowledge from Domain-Specific Text Documents*, Proc. Of Fifth IEEE International Conference on Data Mining (ICDM 2005), pp. 665-668
10. Kakde Y.: *A Survey of Query Expansion until June 2012*, Indian Institute of Technology, Bombay 2012.
11. Luo T., Wang D., Liu R., Pan Y.: *Stochastic Top-k ListNet*, Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Lisbon, 2015, pp. 676-684
12. Manning C. D., Raghavan P., Schütze H.: *Introduction to Information Retrieval*, Cambridge University Press, New York, 2008
13. Mykowiecka A.: *Inżynieria lingwistyczna. Komputerowe przetwarzanie tekstów w języku naturalnym*, Wydawnictwo PWJSTK, Warszawa, 2008
14. Obrębska A.: *Algorytmy słowotwórczego parafrazowania*, Primum Verbum, Łódź 2014
15. Ounis L., Amati G., Plachouras V., He B., Macdonald C., Johnson D.: *Terrier Information Retrieval Platform*. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3408, 517-519
16. Salton G., Wong A., Yang C. S.: *A vector space model for automatic indexing*, Communications of the ACM, 1975, 18(11) pp. 613-620
17. Sardanios C., Katakis I., Petasis G., Karkaletsis V.: *Argument Extraction from News*, Proceedings of the 2nd Workshop on Argumentation Mining, Denver, 2015, pp. 56-66
18. Shinde P., Joshi P.: *Survey of various query suggestion system*, International Journal Of Engineering and Computer Science, 2014, 3(12), pp. 9576-9580
19. Stokes N., Li Y., Cavedon L., Zobel J.: *Exploring abbreviation expansion for Genomic Information Retrieval*. Proceedings of the Australasian Language Technology Workshop, 2007, pp. 100-108
20. Szwed P.: *Enhancing Concept Extraction from Polish Texts with Rule Management*, Communications in Computer and Information Science, 2016, 613 pp. 341-356
21. Zheng J., Yu H.: *Key Concept Identification for Medical Information Retrieval*, Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 2015, pp. 579-584

*mgr inż. GRZEGORZ KWIATKOWSKI*  
*Politechnika Śląska, Instytut Informatyki*  
*ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice*  
*gkwiatkowski@polsl.pl*  
*dr inż. MARCIN MICHALAK*  
*Instytut Technik Innowacyjnych EMAG*  
*ul. Leopolda 31, 40-189 Katowice*  
*mmichalak@ibemag.pl*

# Wyznaczanie zakresu regulacji mocy biernej silnika z biegunami jawnymi na podstawie pomiarów stanu pracy synchronicznej

*W artykule przedstawiono metodę wyznaczania reaktancji synchronicznych w osi  $d$  i  $q$  dla silnika synchronicznego z biegunami jawnymi na podstawie pomiarów podstawowych wielkości elektrycznych w stanie pracy synchronicznej. Omówiono dopuszczalny zakres pracy maszyny. Zaprezentowano opis silnika z biegunami jawnymi za pomocą wykresu wskazowego. Przedstawiono zależności umożliwiające wyznaczenie poszukiwanego rozwiązania. Zaprezentowano graficzną ilustrację metody. Omówiono możliwość ograniczenia zakresu poszukiwań dostępnych rozwiązań.*

Słowa kluczowe: silnik synchroniczny, napęd elektryczny, kompensacja mocy biernej

## 1. WSTĘP

Wolnoobrotowe silniki synchroniczne dużej mocy wykonuje się zwykle, jako maszyny jawnobiegunowe. W silnikach z biegunami jawnymi uzwojenie wzbudzenia nawinięte jest na biegunach wirnika (magneśnicy). Rdzeń wirnika jest symetryczny względem osi biegunów jawnych oznaczanej, jako oś  $d$  oraz względem osi podłużnej oznaczanej, jako oś  $q$  prostopadłej do osi  $d$ . Reaktancja synchroniczna w obu osiach ma różne wartości, co pozwala na uzyskanie momentu rozruchowego, zwanego momentem reluktancyjnym, przy rozruchu bezpośrednim z sieci zasilającej [1, 5, 8]. Niesymetria reaktancji w osiach  $d$  i  $q$  komplikuje jednak znacznie opis matematyczny i analizę pracy silnika, szczególnie w stanach dynamicznych [6, 7].

W stanie pracy synchronicznej, przy obciążeniu silnika momentem hamującym (mocą czynną) oś wirnika nie pokrywa się z osią pola wirującego wytwarzanego przez uzwojenia stojana (twornika), lecz jest przesunięta o kąt  $\vartheta$  zwany kątem mocy lub kątem obciążenia. Praca synchroniczna możliwa jest w ograniczonym zakresie kąta mocy.

Niedociążone silniki synchroniczne można wykorzystać, jako regulowane kompensatory mocy biernej. Regulacja mocy biernej realizowana jest poprzez zmianę prądu płynącego w uzwojeniu wzbudzenia

[3, 4]. Ocena zakresu regulacji mocy biernej wymaga jednak znajomości reaktancji synchronicznych w osiach  $d$  i  $q$ . Niewłaściwie dobrany prąd wzbudzenia może spowodować przekroczenie dopuszczalnej wartości kąta mocy i wypadnięcie silnika z synchronizmu.

Istnieją metody wyznaczania parametrów elektromagnetycznych maszyny synchronicznej za pomocą pomiarów zanikania prądu w uzwojeniach twornika przy nieruchomym wirniku [6]. Wymaga to jednak dokładnego ustawienia osi magneśnicy względem przepływu twornika zasilanego ze źródła napięcia stałego.

Wirniki maszyn dużej mocy osiągają masy rzędu kilku do kilkunastu ton i zazwyczaj sprzęgnięte są na stałe z napędzanymi urządzeniami o porównywalnych lub większych masach. Ustawienie wału silnika w odpowiedniej pozycji w celu wyznaczenia reaktancji powyższą metodą jest w takich przypadkach praktycznie niemożliwe.

Inną metodą wyznaczania reaktancji synchronicznych jest metoda małego poślizgu bazująca na pomiarze pulsacji obwiedni prądu stojana przy rozwartym obwodzie wzbudzenia. Napięcia indukowane w rozwartym obwodzie wzbudzenia podczas pracy podsynchronicznej wymagają w takim przypadku obniżenia napięcia zasilania do wartości około 10% napięcia znamionowego. Uzyskanie takich napięć jest niemożliwe w przemysłowych sieciach zasilających i wymaga specjalnego stanowiska badawczego.

Wyznaczanie reaktancji za pomocą próby zwarcia symetrycznego wymaga napędzenia silnika inną maszyną, co w przemysłowych układach napędowych jest trudne lub wręcz niemożliwe do zrealizowania.

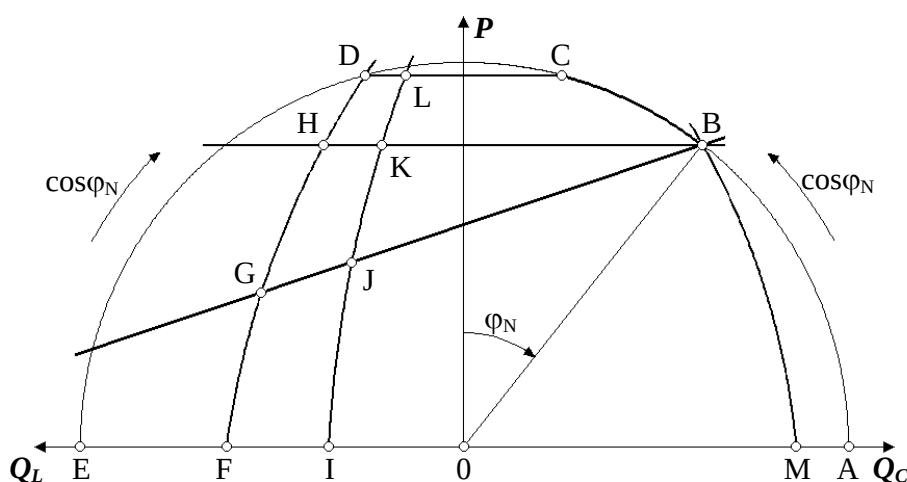
Istnieje możliwość wyznaczenia reaktancji  $X_d$  oraz  $X_q$  na podstawie pomiarów mocy czynnej, biernej oraz prądu wzbudzenia podczas pracy synchronicznej maszyny.

W artykule przyjęto pracę silnikową maszyny synchronicznej oraz dodatni znak mocy biernej w przypadku pobierania przez silnik mocy biernej indukcyj-

nej i ujemny znak przy jej zwrocie do sieci (pobieraniu z sieci mocy biernej pojemnościowej).

## 2. STAN SYNCHRONICZNY MASZYNY Z BIEGUNAMI JAWNYMI

Wykorzystanie maszyny synchronicznej, jako kompensatora mocy biernej wymaga wyznaczenia dopuszczalnego obszaru pracy. Na rys. 1 przedstawiono wykres granicznych obciążeń maszyny synchronicznej [2].



Rys. 1. Wykres granicznych obciążeń maszyny synchronicznej przy pracy silnikowej

Punkt B jest znamionowym punktem pracy silnika. Krzywa ABCDE stanowi ograniczenie związane ze znamionowym prądem stojana (mocą pozorną), krzywa BM ograniczenie związane ze znamionowym prądem wzbudzenia, odcinek BH ograniczenie związane ze znamionową mocą czynną, krzywa BCDH określa granicę przeciążenia chwilowego.

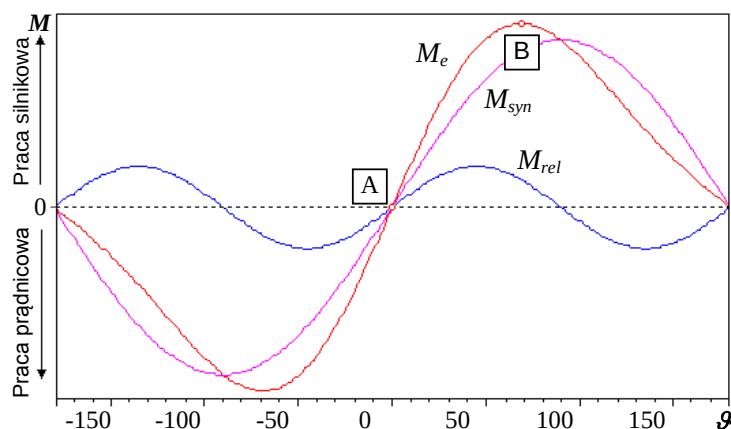
Krzywa FGHD jest ograniczeniem związanym z maksymalnym statycznym kątem mocy nie powodującym wypadnięcia z synchronizmu. W rzeczywistości należy uwzględnić także granicę stabilności dynamicznej wyznaczonej przez krzywą IJKL. W praktyce, jako granicę stabilności dynamicznej przyjmuje się granicę stabilności statycznej z odpowiednim marginesem bezpieczeństwa. Producenci silników zalecają, aby nie pracowały one z kątem mocy większym od znamionowego, wyznaczonym prostą BJG. Z licznych doświadczeń przemysłowych wynika, że praca z kątem mocy większym od znamionowego (w odpowiednim zakresie) nie niesie za sobą negatywnych skutków.

Obszar ograniczony odcinkiem BJ można więc powiększyć do granicy krzywej BKJ.

Na rys. 2 przedstawiono wykres momentu elektromagnetycznego silnika jawnobiegunowego w zależności od kąta mocy. Moment rozwijany przez silnik w trakcie pracy synchronicznej jest sumą momentu reluktancyjnego związanego z niesymetrią obwodu magnetycznego wirnika i momentu synchronicznego pochodzącego od prądu wzbudzenia. Stabilna praca synchroniczna silnika możliwa jest dla punktu pracy pomiędzy punktami A i B przedstawionymi na rys. 2.

Maksymalny kąt mocy dla danego obciążenia mocą czynną (punkt A na rys. 2) będący granicą stabilności statycznej można wyznaczyć na podstawie zależności opartych o wykres wskazowy maszyny synchronicznej.

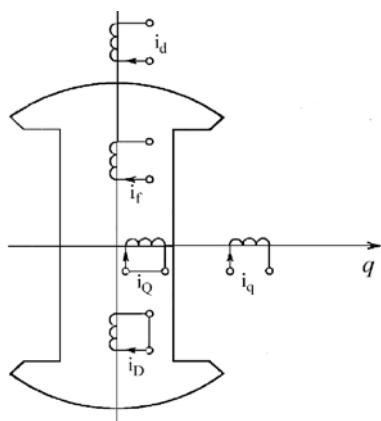
Aby wyznaczyć koordynaty dopuszczalnego obszaru pracy silnika synchronicznego, jako kompensatora mocy biernej, oprócz danych dostępnych na tabliczce znamionowej maszyny, konieczna jest znajomość reaktancji synchronicznych.



Rys. 2. Moment elektromagnetyczny silnika z biegunami jawnymi:  $M_{rel}$  - moment reluktancyjny,  $M_{syn}$  - moment synchroniczny,  $M_e$  - moment wypadkowy

Równaniami wyjściowymi do opisu maszyny synchronicznej są równania wektorowe opisujące 3-fazową maszynę prądu przemiennego zapisane we wspólnym wirującym układzie współrzędnych [1, 4, 5, 6, 7, 8]. Najwygodniej jednak jest opisać ją w układzie współrzędnych  $d, q, 0$  wirujących współbieżnie z wirnikiem. W takim układzie uzwojenia stojana i wirnika leżące odpowiednio w osiach  $d$  oraz  $q$  pozostają względem siebie nieruchome, można zatem traktować je jak uzwojenia transformatora o stałych indukcyjnościach.

Na rys. 3 przedstawiono schemat uzwojeń maszyny synchronicznej z biegunami jawnymi w osiach  $d$  i  $q$ . Symbolami  $d, q$  oznaczono wielkości związane z uzwojeniami stojana, symbolem  $f$  wielkości związane z uzwojeniem wzbudzenia, a symbolami  $D, Q$  wielkości związane z uzwojeniami tłumiącymi.



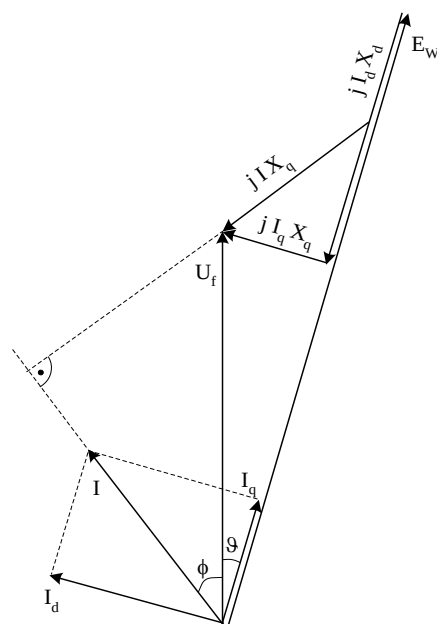
Rys. 3. Schemat uzwojeń maszyny synchronicznej jawnobiegunowej w układzie współrzędnych  $dq$

Równania opisujące stan pracy maszyny synchronicznej [1, 4, 5, 6, 7, 8] ulegają znacznemu uproszczeniu przy założeniu pracy w stanie synchronicznym. Zakładając, że przebiegi napięć, prądów i stru-

mieni skojarzonych mają symetryczny kształt sinusoidalny, to w stanie ustalonym pochodne czasowe strumieni oraz prądy w obwodach tłumiących można przyrównać do zera, co pozwala na pominięcie wpływu uzwojeń tłumiących.

Wygodnym sposobem ilustracji stanu pracy silnika jest przedstawienie wzajemnych zależności za pomocą wykresu wskazowego. Dla silników dużej mocy przy wyznaczaniu wykresu wskazowego pomija się rezystancje uzwojeń stojana, gdyż mają znikomy wpływ na pracę silnika w porównaniu z wpływem reaktancji synchronicznych w osi podłużnej i poprzecznej.

Na rys. 4 przedstawiono wykres wskazowy silnika synchronicznego z biegunami jawnymi w układzie współrzędnych  $dq$  z pominięciem strat w uzwojeniu stojana.



Rys. 4. Wykres wskazowy silnika synchronicznego z biegunami jawnymi

Na podstawie wykresu wskazowego z rys. 4 można zapisać 3 niezależne równania:

$$\begin{cases} P = mU_f \frac{E_w}{X_d} \sin \vartheta + \frac{mU_f^2}{2} \sin 2\vartheta \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \\ Q = -\frac{mU_f^2}{X_q} + m \frac{U_f E_w}{X_d} \cos \vartheta + mU_f^2 \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cos^2 \vartheta \\ E_w = \frac{I_w}{k_w} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

$m$  – liczba faz,

$P$  – moc czynna,

$Q$  – moc bierna,

$U_f$  – napięcie fazowe,

$E_w$  – siła elektromotoryczna indukowana w uzwojeniu twornika,

$I_w$  – prąd wzbudzenia

$X_d$  – reaktancja synchroniczna w osi  $d$  (reaktancja podłużna),

$X_q$  – reaktancja synchroniczna w osi  $q$  (reaktancja poprzeczna),

$\vartheta$  – kąt mocy,

$k_w$  – stała konstrukcyjna silnika.

Uwzględniając zależność na  $E_w$  można zapisać:

$$\begin{cases} P = mU_f \frac{I_w}{k_w X_d} \sin \vartheta + \frac{mU_f^2}{2} \sin 2\vartheta \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \\ Q = -\frac{mU_f^2}{X_q} + m \frac{U_f I_w}{k_w X_d} \cos \vartheta + mU_f^2 \cos^2 \vartheta \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \end{cases} \quad (2)$$

Kąt mocy  $\vartheta$ , można wyrazić w postaci:

$$\frac{\cos \vartheta}{\sin \vartheta} = \frac{mU_f^2}{X_q P} - \frac{Q}{P} \quad (3)$$

Przyjmując, że znane są wartości  $P$ ,  $Q$ ,  $U_f$ ,  $I_w$  (np. wartości znamionowe) oznacza to, że dwa niezależne równania (2) są funkcją trzech nieznanymi zmiennymi:

$$\begin{cases} P = f(k_w, X_d, X_q) \\ Q = f(k_w, X_d, X_q) \end{cases} \quad (4)$$

Niemożliwe jest więc wyznaczenie szukanych zmiennych za pomocą obliczeń analitycznych.

Wyznaczenie reaktancji  $X_d$ ,  $X_q$  oraz współczynnika  $k_w$  wymaga znajomości co najmniej 3 punktów pracy silnika opisanych poprzez  $P$ ,  $Q$ ,  $I_w$ . Wartości  $P$ ,  $Q$ ,  $I_w$  są możliwe do odczytania z przyrządów pomiarowych podczas pracy synchronicznej silnika. Zakładając, że jeden z koniecznych punktów pracy wyzna-

czony jest przez parametry znamionowe podane na tabliczce znamionowej silnika konieczne jest wykonanie pomiarów dla dwóch różnych, innych niż znamionowy punktów pracy.

Znając wartości  $P$ ,  $Q$ ,  $I_w$  dla trzech różnych punktów pracy silnika można wyprowadzić równania na wartość  $X_d$ ,  $X_q$  oraz  $k_w$ . Stopień skomplikowania równań uniemożliwia jednak rozwiązanie ich na drodze analitycznej.

Uzyskanie rozwiązania może być zrealizowane poprzez iteracyjny algorytm badający wzajemne zależności parametrów  $X_d$ ,  $X_q$  oraz  $k_w$  dla znanych punktów pracy maszyny.

Dla zadanych zmian  $X_q$  na podstawie (3) można wyznaczyć wartość kąta  $\vartheta$ , a następnie dla zadanych zmian  $X_d$  wyznaczyć wartość współczynnika  $k_w$  zgodnie z zależnością:

$$k_w = \frac{I_w}{\frac{PX_d}{mU_f \sin \vartheta} - U_f \left( \frac{X_d}{X_q} - 1 \right) \cos \vartheta} \quad (5)$$

Poszukiwanym rozwiązaniem są takie wartości reaktancji  $X_d$  i  $X_q$ , dla których wartość współczynnika  $k_w$  jest taka sama w każdym z uwzględnionych punktów pracy.

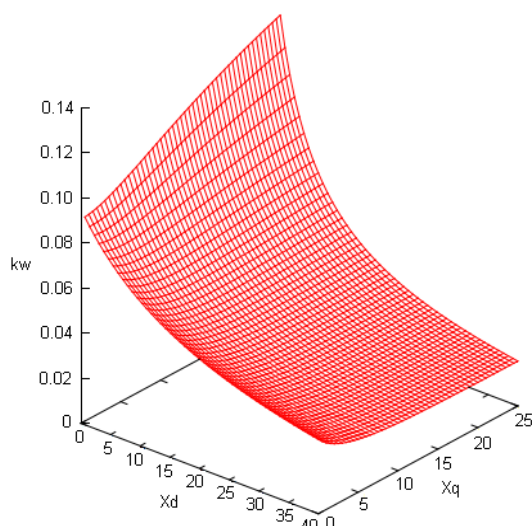
W celu ilustracji metody posłużono się silnikiem synchronicznym typu silnika GAe-1716t/01 o danych znamionowych przedstawionych w Tab. 1.

**Tabela 1.**  
**Dane znamionowe silnika GAe-1716t/01**

|                              |                  |          |
|------------------------------|------------------|----------|
| Moc znamionowa (mechaniczna) | $P_{mN}$ [kW]    | 3150     |
| Moc czynna                   | $P_N$ [kW]       | 3274     |
| Napięcie stojana             | $U_{N(Y)}$ [V]   | 6000     |
| Prąd stojana                 | $I_N$ [A]        | 350      |
| Napięcie wzbudzenia          | $U_{wN}$ [V]     | 90       |
| Prąd wzbudzenia              | $I_{wN}$ [A]     | 313      |
| Współczynnik mocy            | $\cos \varphi_N$ | 0,9 poj. |
| Prędkość obrotowa            | $n_N$ [obr/min]  | 375      |
| Częstotliwość                | $f_N$ [Hz]       | 50       |

### 3. WYZNACZANIE REAKTANCJI SYNCHRONICZNYCH

Wpływ reaktancji  $X_d$  i  $X_q$  na wartość współczynnika  $k_w$  zilustrowano dla znamionowego punktu pracy silnika określonego przez wartości  $P_N$ ,  $Q_N$ ,  $U_{fN}$ ,  $I_{wN}$ . Na rys. 5 przedstawiono wykres funkcji  $k_w=f(X_d, X_q)$  dla znamionowego punktu pracy silnika GAe-1716t/01.



Rys. 5. Wpływ parametrów  $X_d$ ,  $X_q$  na wartość współczynnika  $k_w$  przy znamionowych wartościach parametrów dla silnika GAe-1716t/01

Należy zaznaczyć, że parametr  $k_w$  jest stałą konstrukcyjną silnika, co oznacza, że jest niezmienny niezależnie od stanu pracy układu napędowego dla stałych wartości  $X_d$  i  $X_q$ . Zmienna wartość współczynnika  $k_w$  na rys. 5 wynika ze zmian wartości reaktancji  $X_d$  oraz  $X_q$  w procesie tworzenia wykresu.

Figura przedstawiona na rys. 5 opisana jest w przestrzeni trójwymiarowej, co oznacza, że dla wyznaczenia wartości współczynnika  $k_w$  niezbędne jest zbadanie jego zmienności, dla co najmniej 3 różnych punktów pracy silnika. W Tab. 2 przedstawiono wartości pomiarowe dla 2 pozostałych stanów pracy przy znamionowym napięciu zasilania  $U_{fN}$ .

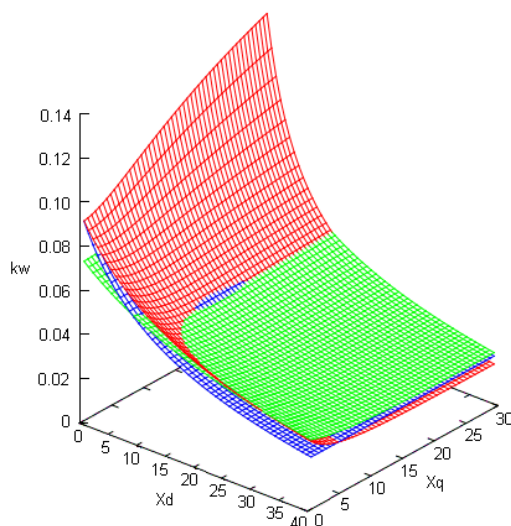
**Tabela 2.**  
**Wartości pomiarowe dla silnika GAe-1716t/01**

| Moc czynna<br>$P$ [kW] | Moc bierna<br>$Q$ [kVar] | Prąd wzbudzenia<br>$I_w$ [A] |
|------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 1636,8                 | -1127,5                  | 250                          |
| 327,4                  | -2556,0                  | 313                          |

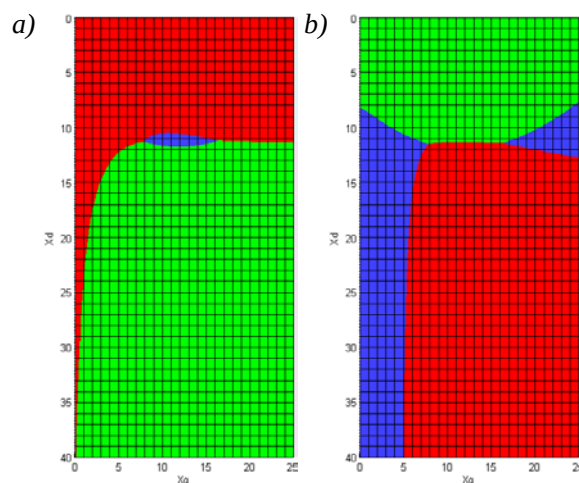
Dla przedstawionych wartości pomiarowych wykreślono zmienność współczynnika  $k_w$  w zależności od parametrów  $X_d$  i  $X_q$  i umieszczono na wspólnym wykresie z przebiegiem wyznaczonym dla parametrów znamionowych. Wyniki przedstawiono na rys. 6.

Wykreślone figury przecinają się w miejscach równej wartości współczynnika  $k_w$ , a punkty przecięcia się wszystkich 3 figur są punktami potencjalnych wartości reaktancji  $X_q$  i  $X_d$ .

Na rys. 7 przedstawiono rzuty wykreślonych figur na płaszczyznę  $X_d X_q$ . Potencjalne wartości reaktancji  $X_d$  i  $X_q$  znajdują się w punktach styku 3 kolorów.



Rys. 6. Wpływ parametrów  $X_d$ ,  $X_q$  na wartość współczynnika  $k_w$  dla wybranych punktów pracy silnika GAe-1716t/01



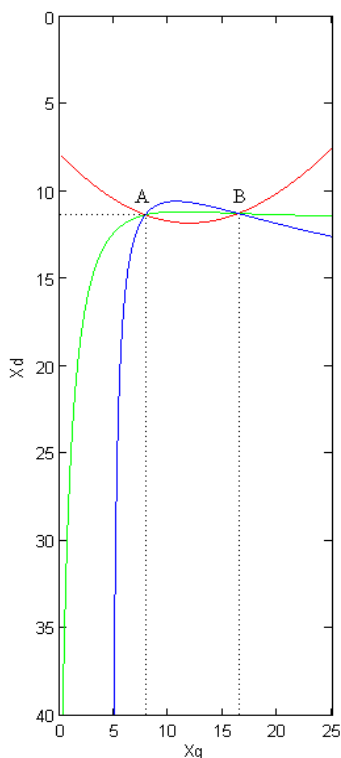
Rys. 7. Rzut wykresu wpływu parametrów  $X_d$ ,  $X_q$  na wartość współczynnika  $k_w$  dla wybranych punktów pracy silnika GAe-1716t/01 na płaszczyznę  $X_d X_q$ :  
a) widok z góry, b) widok z dołu

Na rys. 8 przedstawiono rzut na płaszczyznę  $X_q X_d$  wspólnych krawędzi poszczególnych figur z rys. 6.

Wyznaczając punkty wspólne 3 krzywych w przestrzeni dwuwymiarowej można wyznaczyć potencjalne wartości reaktancji  $X_q$  oraz  $X_d$ .

Jak można zauważyć na rys. 8 istnieją dwa punkty  $A(X_{q1}, X_d)$  oraz  $B(X_{q2}, X_d)$  spełniające warunek niezmienności współczynnika  $k_w$ . Ze względu na niesymetryczną budowę wirnika silnika z biegunami jawnymi reaktancja w osi  $d$  jest zawsze większa od reaktancji w osi  $q$ . Z tego powodu należy odrzucić punkt  $B$ , a poszukiwanym rozwiązaniem są współrzędne punktu  $A$  z rys. 8. Dla przedstawionego przykładu wyznaczone reaktancje mają wartości  $X_q = 7,82 \Omega$  oraz  $X_d = 11,38 \Omega$ .





Rys. 8. Rzut wspólnych krawędzi figur zależności współczynnika  $k_w$  na płaszczyznę  $X_q X_d$  dla różnych punktów pracy silnika GAe-1716t/01

Stosując analogiczną metodę, możliwe jest wyznaczenie wartości reaktancji  $X_q$  i  $X_d$  przy założeniu stałości siły elektromotorycznej  $E_w$ , jednak pomiary stanów pracy powinny być w takim przypadku wykonane przy tym samym prądzie wzbudzenia oraz zmianie obciążenia mocą czynną.

Metoda poszukiwania wspólnej wartości współczynnika  $k_w$  w celu wyznaczenia reaktancji synchronicznych zakłada liniowość obwodu magnetycznego. Aby zminimalizować wpływ nasycenia należy dobrać punkty pomiarowe przy możliwie małych wartościach prądu wzbudzenia.

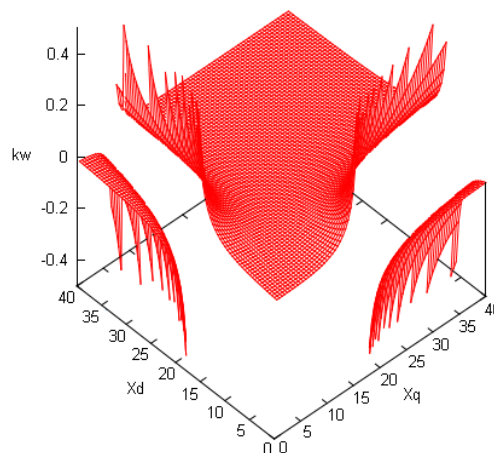
#### 4. OGRANICZENIE ZAKRESU POSZUKIWAŃ

Wykres funkcji  $k_w=f(X_d, X_q)$  nie zawsze ma tak regularne kształty jak dla przypadków przedstawionych na rys. 6.

Na rys. 9 przedstawiono wykres funkcji  $k_w=f(X_q, X_d)$  dla punktu pracy  $P=0,6P_N$ ,  $Q=2159001$  kVA,  $I_w=110$  A będącego stabilnym punktem pracy synchronicznej dla rozpatrywanego silnika przy przyjętym obciążeniu.

„Postrzępione” brzegi figury wynikają z przyjętego kroku obliczeniowego względem osi  $X_q$  oraz  $X_d$  podczas wykreślania wykresu. W rzeczywistości

w tych miejscach występuje pełna wstęga, bez widocznego na rys. 9 „postrzępienia”. Przyjęcie zbyt dużego kroku obliczeniowego może prowadzić do zwiększonych błędów lub nawet niemożności wyznaczenia wspólnych wartości współczynnika  $k_w$ , a tym samym braku możliwości wyznaczenia, nawet zgrubnego, reaktancji  $X_d$  oraz  $X_q$ .



Rys. 9. Wykres funkcji  $k_w=f(X_q, X_d)$  dla silnika GAe-1716t/01 przy  $P=0,6P_N$ ,  $I_w=110$  A,  $Q=2159001$  kVA

Jak można zauważyć na rys. 9 uzyskana figura składa się z kilku segmentów. Segmentacja ta spowodowana jest nieciągłością funkcji  $\text{ctg}$ , a wyznaczenie kąta  $\vartheta$  z zależności (3) nie jest możliwe dla niektórych kombinacji wartości  $X_d$  i  $X_q$ . Taki kształt przebiegu funkcji powoduje powstanie dodatkowych miejsc przecięcia krawędzi wszystkich rozpatrywanych obszarów dla różnych punktów pracy silnika, dając dodatkowe, nieprawidłowe z punktu widzenia pracy silnika rozwiązania.

Dla pracy silnikowej minimalny kąt mocy  $\vartheta$  wynosi 0. Uwzględniając warunek  $\vartheta \geq 0$  w (3) otrzymuje się:

$$X_q \leq \frac{mU_f^2}{Q} \quad (6)$$

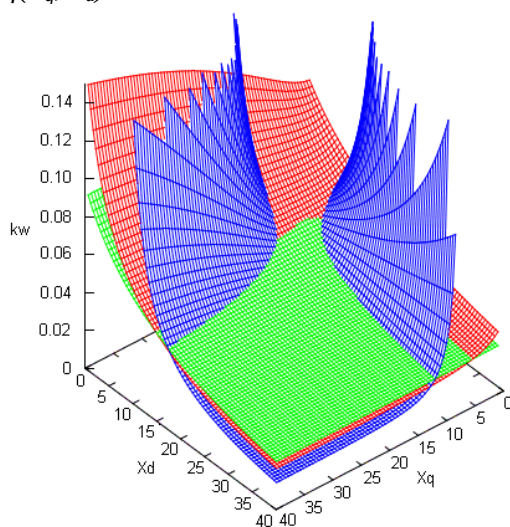
Dla rozpatrywanego przykładu obszar poszukiwań rozwiązania można ograniczyć do wartości  $X_{q\max}=16,6744 \Omega$  wyznaczonej na podstawie zależności (6).

Współczynnik  $k_w$  będący stałą konstrukcyjną silnika musi być większy od 0. Uwzględniając oba powyższe założenia można ograniczyć zakres szukanego rozwiązania.

Na rys. 10 przedstawiono reprezentację graficzną wpływu parametrów  $X_d$ ,  $X_q$  na wartość współczynnika  $k_w$  dla wybranych punktów pracy silnika z uwzględnieniem ograniczenia zakresu poszukiwanych rozwiązań.

Przedstawione rysunki są graficzną ilustracją iteracyjnej metody wyznaczania parametrów umożliwiającą odczytanie parametrów reaktancji synchronicznych w obu osiach.

Zastosowanie iteracyjnej metody obliczeniowej wyznaczania wartości reaktancji  $X_d$  oraz  $X_q$  umożliwia uzyskanie wyniku z założoną dokładnością. Iteracyjna metoda obliczeniowa powinna zawężać krok poszukiwań w okolicach zbliżonych wartości współczynnika  $k_w$  aż do osiągnięcia błędu mniejszego od wymaganej dokładności. Ważny jest dobór odpowiednio małego kroku początkowego, aby uniknąć sytuacji przedstawionych na rys. 9 i 10 w formie „postrzępionych” wstęp dla wykreślonych funkcji  $k_w=f(X_q, X_d)$ .



Rys. 10. Wpływ parametrów  $X_d$ ,  $X_q$  na wartość współczynnika  $k_w$  dla wybranych punktów pracy silnika GAe-1716t/01 z ograniczeniem zakresu poszukiwań dla  $P=0,6P_N$ ,  $I_w=110$  A,  $Q=2159001$  kVA

## 5. PODSUMOWANIE

Znajomość reaktancji synchronicznych w osi podłużnej i poprzecznej dla maszyny jawnobiegunowej jest niezbędna w celu wyznaczenia zakresu regulacji mocy biernej zapewniającej bezpieczną pracę silnika w stanie synchronicznym [3]. Parametry  $X_d$  oraz  $X_q$  można wyznaczyć na podstawie pomiarów podstawowych wielkości elektrycznych (moc czynna, moc bierna, prąd wzbudzenia) w stanie pracy synchronicznej. Konieczne jest jednak uwzględnienie niezbędnego marginesu bezpieczeństwa związanego z dopuszczalnym kątem mocy w stanach dynamicznych.

Złożoność zależności wiążących różne punkty pracy silnika w stanie synchronicznym uniemożliwia uzyskanie wyniku na drodze analitycznej. Rozwiązaniem jest metoda iteracyjna poszukująca rozwiązania wg kryterium jednakowej wartości współczynnika  $k_w$ . Ograniczenie zakresu poszukiwań do wartości związanych z możliwymi stanami maszyny w stanie pracy silnikowej eliminuje potencjalnie nieprawidłowe wartości wyznaczanych reaktancji synchronicznych i pozwala na uzyskanie rozwiązania z dowolną, założoną dokładnością.

## Literatura

1. Bajorek Z.: *Teoria maszyn elektrycznych*, Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1987.
2. Glinka T.: *Maszyny synchroniczne jako kompensatory mocy biernej i filtry wyższych harmonicznych*. Wiadomości Elektrotechniczne, R.81, nr 8 2013.
3. Hyla M.: *Power supply unit for the excitation of a synchronous motor with a reactive power regulator*. Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering, 2015, nr 1(521), s. 57-61
4. Kaczmarek T., Zawirski K.: *Układy napędowe z silnikiem synchronicznym*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2000.
5. Latek W.: *Teoria maszyn elektrycznych*. WNT, Warszawa 1987
6. Paszek W.: *Dynamika maszyn elektrycznych prądu przemiennego*. Helion, Gliwice 1998
7. Paszek W.: *Stany nieustalone maszyn elektrycznych prądu przemiennego*. WNT, Warszawa, 1986.
8. Plamitzer A.: *Maszyny elektryczne*. WNT, Warszawa 1986.

dr inż. MARIAN HYLA  
Wydział Elektryczny, Politechnika Śląska  
ul. B. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice  
marian.hyla@polsl.pl

## Układy i trasy transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym do przewozu ludzi w wyrobiskach poziomych oraz pochyłych o nachyleniu do 45°

*W artykule przedstawiono liczbę układów transportowych i długości tras, na których prowadzona jest jazda ludzi. Zaprezentowano stan prawny obowiązujący w Polsce i Chinach oraz wytyczne Okręgowego Urzędu Arnsberg w Niemczech. Zamieszczono rzeczywiste prędkości jazdy w funkcji czasu, zarejestrowane podczas eksploatacji kolejki podwieszanej w zakładzie górniczym. Określono techniczne możliwości prędkości maksymalnej dla wybranego ciągnika kolejki podwieszanej. Przedstawiono rozszerzony model kryterialny do oceny skutków przeciążeń oddziałujących na operatorów i przewożoną załogę oraz algorytm identyfikacji skutków przeciążeń dynamicznych. Zaprezentowano przykładowe wyniki symulacji – zachowanie się wirtualnego modelu manekina Hybrid III podczas jazdy kabiną osobową na zakręcie.*

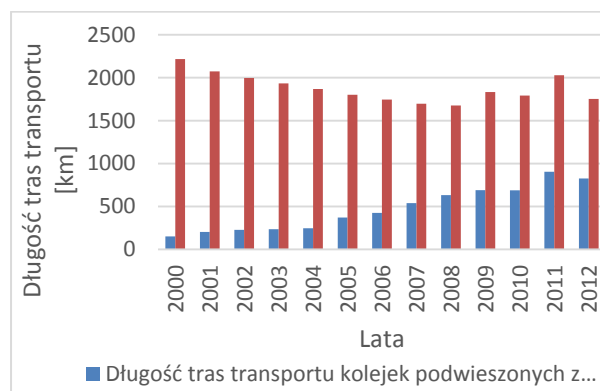
Słowa kluczowe: górnictwo podziemne, kolejki podwieszone, wirtualne prototypowanie

### 1. ZASTOSOWANIE UKŁADÓW I TRAS TRANSPORTOWYCH KOLEJKAMI PODWIESZONYMI Z NAPĘDEM WŁASNYM DO PRZEWÓZU LUDZI W WYROBISKACH POZIOMYCH ORAZ POCHYŁYCH O NACHYLENIU DO 45° W POLSKICH KOPALNIACH

Analizę długości tras transportowych oraz liczby kolejek podwieszonych z napędem własnym w wyrobiskach poziomych oraz pochyłych o nachyleniu do 45° przeprowadzono za okres 2000-2012 roku w odniesieniu do długości tras transportu ogółem oraz liczby kopalń czynnych będących w eksploatacji (rys. 1, tab. 1) [1, 2].

Z przeprowadzonej analizy (tab. 1, rys. 1) wynika, że wraz z likwidacją kopalń długość tras transportu ogółem ulega zmniejszeniu, natomiast długość tras transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym dynamicznie wzrasta bez względu na zmniejszającą się liczbę kopalń czynnych będących w eksploatacji. Długość tras transportu ogółem uległa zmniejszeniu z 2217 km w 2000 r. do 1753 km w 2012 r., tj. o około 21%. Liczba kopalń czynnych

w tym samym czasie zmniejszyła się z 42 do 31, tj. o około 24%. Natomiast długość tras transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym ulegała systematycznemu wydłużaniu – ze 152 km w 2000 r. do 826 km w 2012 r., tj. około 5,5 razy. Średnia długość trasy kolejek podwieszonych z napędem własnym przypadającej na jedną kopalnię wzrosła z 3,6 km w 2000 r. do 26,6 km w 2012 r., tj. około 7,4 razy.



Rys. 1. Długość tras transportu kolejkami podwieszonymi w wyrobiskach poziomych oraz pochyłych o nachyleniu do 45° [1, 2]

Liczba kolejek podwieszonych z napędem własnym uległa zwiększeniu z 211 szt. w 2007 r. do 471 szt. w 2012 r., tj. wzrosła około 2,2 razy. Średnio liczba kolejek podwieszonych z napędem własnym przypa-

dająca na jedną kopalnię wzrosła z 6,6 szt. w 2007 r. do 15,2 szt. w 2012 r., tj. około 2,4 razy.

Tabela 1.

**Długość tras transportu oraz liczba kolejek podwieszonych z napędem własnym w wyrobiskach poziomych oraz pochyłych o nachyleniu do 45° [1,2]**

| Lp. | Rok  | Długość tras transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym [km] | Długość tras transportu ogółem [km] | Liczba kolejek podwieszonych z napędem własnym [szt.] | Liczba kopalń [szt.] | Średnia długość tras kolejek podwieszonych z napędem własnym przypadająca na kopalnię [km] | Liczba kolejek podwieszonych z napędem własnym przypadających na kopalnię [szt.] |
|-----|------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|     | 1    | 2                                                                      | 3                                   | 4                                                     | 5                    | 6                                                                                          | 7                                                                                |
| 1   | 2000 | 152                                                                    | 2217                                | -                                                     | 42                   | 3,6                                                                                        | -                                                                                |
| 2   | 2001 | 204                                                                    | 2074                                | -                                                     | 42                   | 4,9                                                                                        | -                                                                                |
| 3   | 2002 | 228                                                                    | 1997                                | -                                                     | 41                   | 5,6                                                                                        | -                                                                                |
| 4   | 2003 | 235                                                                    | 1933                                | -                                                     | 39                   | 6,0                                                                                        | -                                                                                |
| 5   | 2004 | 246                                                                    | 1868                                | -                                                     | 35                   | 7,0                                                                                        | -                                                                                |
| 6   | 2005 | 371                                                                    | 1801                                | -                                                     | 33                   | 11,2                                                                                       | -                                                                                |
| 7   | 2006 | 425                                                                    | 1745                                | -                                                     | 33                   | 12,9                                                                                       | -                                                                                |
| 8   | 2007 | 540                                                                    | 1697                                | 211                                                   | 32                   | 16,9                                                                                       | 6,6                                                                              |
| 9   | 2008 | 632                                                                    | 1677                                | 246                                                   | 31                   | 19,8                                                                                       | 7,7                                                                              |
| 10  | 2009 | 691                                                                    | 1833                                | 286                                                   | 31                   | 22,3                                                                                       | 9,2                                                                              |
| 11  | 2010 | 688                                                                    | 1792                                | 322                                                   | 31                   | 21,5                                                                                       | 10,1                                                                             |
| 11  | 2011 | 905                                                                    | 2029                                | 394                                                   | 31                   | 29,2                                                                                       | 12,7                                                                             |
| 12  | 2012 | 826                                                                    | 1753                                | 471                                                   | 31                   | 26,6                                                                                       | 15,2                                                                             |

Z przeprowadzonej analizy wynika, że następuje dynamiczny rozwój transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym, zwłaszcza w latach 2005 - 2012. Liczbę układów transportowych oraz długość tras transportu z jazdą ludzi w poszczególnych jednostkach organizacyjnych przemysłu węglowego w 2013 r. scharakteryzowano w tab. 2. [2].

Z analizy wynika, że w kopalniach węgla kamiennego w 2013 r. załogę transportowano kolejkami podwieszonymi z napędem własnym 81 układami transportowymi o łącznej długości trasy wynoszącej 159,5 km [2].

Tabela 2.

**Liczba układów transportowych oraz długość tras z jazdą ludzi [2]**

| Lp. | Jednostka organizacyjna | Liczba układów transportowych [szt.] | Długość tras z jazdą ludzi [km] |
|-----|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
|     | 1                       | 2                                    | 3                               |
| 1   | KW S.A.                 | 37                                   | 72,3                            |
| 2   | JSW S.A.                | 21                                   | 28,4                            |
| 3   | KHW S.A.                | 3                                    | 9,8                             |
| 4   | PKW S.A.                | 3                                    | 7,2                             |
| 5   | LW Bogdanka S.A.        | 12                                   | 37,1                            |
| 6   | PG Silesia              | 4                                    | 3,5                             |
| 7   | ZG Siltech              | 1                                    | 1,2                             |
|     | Suma                    | 81                                   | 159,5                           |

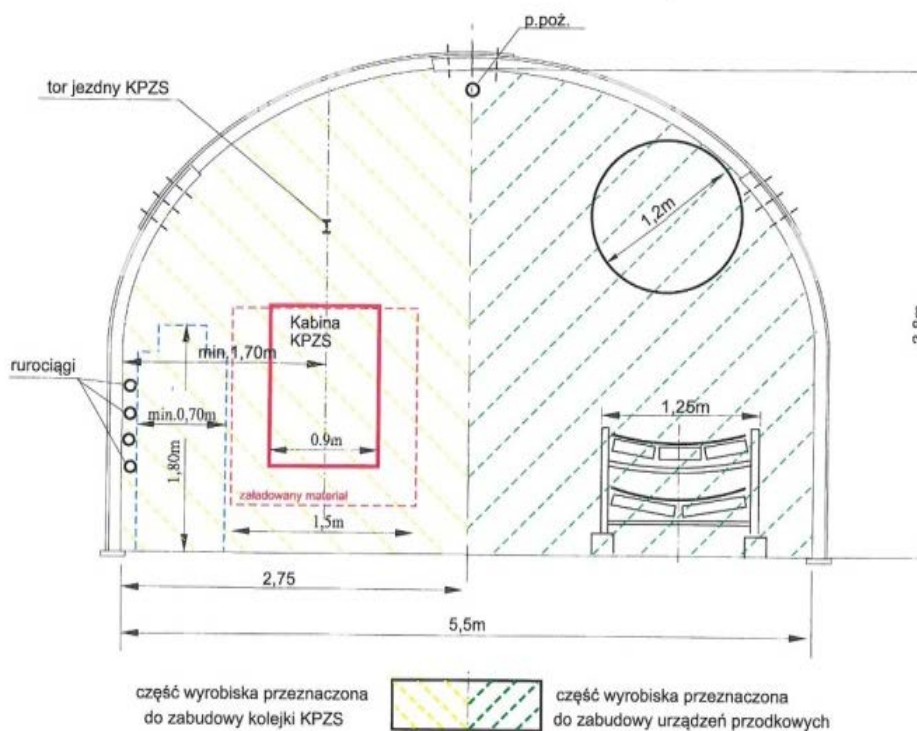
## 2. ZASADY STOSOWANIA KOLEJEK PODWIESZONYCH W PODZIEMIACH KOPALŃ

Analizę wybranych zagadnień transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym przeprowadzono w oparciu o obowiązujące akty prawne w Polsce [12, 14, 19], Niemczech [18], Rosji [5], Chinach [6] i Wietnamie [5]. Szczególną uwagę zwrócono na przepisy regulujące prędkość przewozu ludzi środkami transportu z napędem własnym i warunki jego prowadzenia. Z dokumentów normatywnych [6, 19] wynika, że prędkość jazdy zestawem kolejek spalinyowych podwieszonych powinna być mniejsza niż 3,0 m/s, natomiast z dokumentów źródłowych [5, 12, 14, 19] – nie może przekraczać 2,0 m/s.

### 2.1. Stan prawny w Polsce

W szczegółowych przepisach prowadzenia ruchu i gospodarki złożem w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny i brunatny, opracowanych zgodnie z Zarządzeniem nr 38 Ministra Górnictwa i Energetyki z dnia 10.10.1973 r., obowiązującym od 01.01.1974 r. [14], określono, że szybkość jazdy kolejki przy transporcie materiałów i przewozie ludzi nie powinna przekraczać 2 m/s. Również ustalono, że odległość pomiędzy najbardziej wysuniętą częścią kolejki lub transportowanego materiału a obudową lub innymi urządzeniami powinna wynosić co najmniej 0,4 m, a w miej-

scu przeładunku – co najmniej 0,8 m (rys. 2). Określono również, że przy jeździe ludzi w miejscu wsiadania i wysiadania powinno być przejście o szerokości co najmniej 1,0 m, licząc od obrysu kabiny przewozowej, i o wysokości 1,8 m, natomiast odległość od spągu do dolnej krawędzi kabiny osobowej kolejki lub pojemnika materiałowego powinna wynosić nie mniej niż 0,5 m (rys. 2). W wytycznych dotyczących stosowania kolejek podwieszonych, opracowanych przez Ministerstwo Górnictwa w listopadzie 1978 r. [19], zastępujących „Tymczasowe wytyczne stosowania kolejek podwieszonych”, wydane przez Departament Górniczy MGİE w kwietniu 1971 r., ustalono, że nachylenie wyrobiska, w którym zamierza się instalować kolejkę, nie powinno przekraczać 45°, natomiast szybkość jazdy kolejki przy transporcie materiałów i przewozie ludzi nie powinna przekraczać 2 m/s. Zmiany w zakresie stosowanych urządzeń transportowych, szczególnie związanych z wymianą kolejek spągowych i podwieszonych z napędami linowymi na kolejki z napędami własnymi, rozpoczęły się w 2003 r. Uległy również nowelizacji przepisy, w oparciu o które prowadzony jest transport kolejkami. Wymagania dotyczące oddawania do ruchu oraz bezpieczeństwa użytkowania układów transportu określono w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych [12].



Rys. 2. Przekrój poprzeczny wyrobiska wraz z wyposażeniem wykonany w obudowie o rozmiarze V/10 [2]



Zawarte w rozporządzeniu wymagania bezpieczeństwa użytkowania regulują m.in. zagadnienia dotyczące:

- utrzymania stanu technicznego oraz zasad eksploatacji i konserwacji zgodnie z ustaleniami dokumentacji techniczno-ruchowych,
- utrzymania wyrobisk i zabudowy układów w sposób gwarantujący zachowanie gabarytów ruchowych (rys. 2.),
- obowiązków osób dozoru ruchu oraz pracowników obsługi w zakresie organizacji prowadzonych prac oraz kontroli środków transportu,
- wyposażenia w urządzenia sygnalizacji, łączności i zabezpieczenia ruchu,
- organizacji oraz warunków prowadzenia przewozu lub jazdy ludzi, gdzie prędkość przewozu ludzi środkami transportu linowego i z napędem własnym nie może przekraczać 2m/s.

Zasady stosowania kolejek podwieszonych w podziemiach kopalń określone zostały również w następujących aktach normatywnych [1, 2, 20]:

- Dyrektywa 2006/42/WE – Bezpieczeństwo maszyn, wprowadzona Rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz. U. nr 199, poz. 1228),
- Dyrektywa 94/9/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 23 marca 1994 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich, dotyczącego urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, wprowadzona Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (Dz. U. nr 263, poz. 2203),
- Dyrektywa 97/23/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 29 maja 1997 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkow-

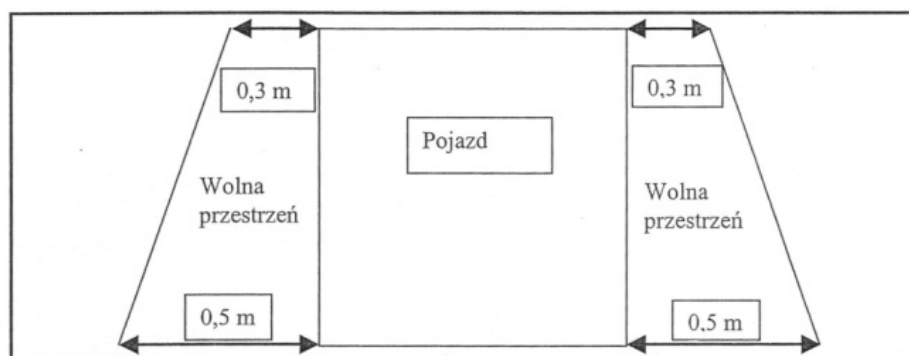
skich dotyczącego urządzeń ciśnieniowych, wprowadzona Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów ciśnieniowych (Dz. U. nr 263, poz. 2200),

- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 19 sierpnia 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań dla silników spalinowych w zakresie ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i cząstek stałych przez te silniki (Dz. U. nr 202, poz. 1681).
- Normy PN, PN-EN, materiałowe i przedmiotowe dotyczące części zastosowanych do budowy kolejki.

Zawarte w aktach normatywnych wymagania bezpieczeństwa użytkowania środków transportu w podziemiach kopalń wymusiły na producentach ciągników oraz ich użytkownikach ograniczenie prędkości przewozu ludzi środkami transportu linowego i z napędem własnym do 2 m/s, natomiast na użytkownikach – wykonanie i utrzymanie wyrobisk oraz zabudowy układów transportowych w sposób gwarantujący zachowanie gabarytów ruchowych [1, 2, 20, 21].

## 2.2. Stan prawny w Niemczech – wytyczne Okręgowego Urzędu Arnsberg

Z przepisów zawartych w wytycznych Okręgowego Urzędu Arnsberg [18] dla podwieszanej kolejki (KSP) z napędem akumulatorowym oraz spalinowym w zakładach podziemnych kopalń węgla kamiennego z 14. 12. 2005 r. (wytyczne dla jednoszynowej podwieszanej kolejki) wynika, że prędkość przewozu środkami transportu linowego i z napędem własnym nie może przekroczyć 3,0 m/s. Natomiast zwiększenie prędkości jazdy ciągników i kolejek powyżej 2,0 m/s wymusza poszerzenie skrajni do wielkości gabarytów przedstawionych na rys. 3. [18].



Rys. 3. Profil przestrzeni dla prędkości jazdy  $> 2,0$  m/s [18]

### 2.3. Stan prawny w Chinach – dokumenty normatywne Górniczej Normy Branżowej Chińskiej Republiki Ludowej

Stan bezpieczeństwa urządzeń transportowych w górnictwie węglowym oparto o „Dokumenty nor-

matywne Górniczej Normy Branżowej Chińskiej Republiki Ludowej” (wydane 08. 12. 2000 r.) [6]. Z dokumentów tych wynika, że prędkość jazdy zestawem kolejek spalinowych podwieszonych powinna być mniejsza niż 3,0 m/s (tab. 3).

**Tabela 3.**

**Parametry transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym [6]**

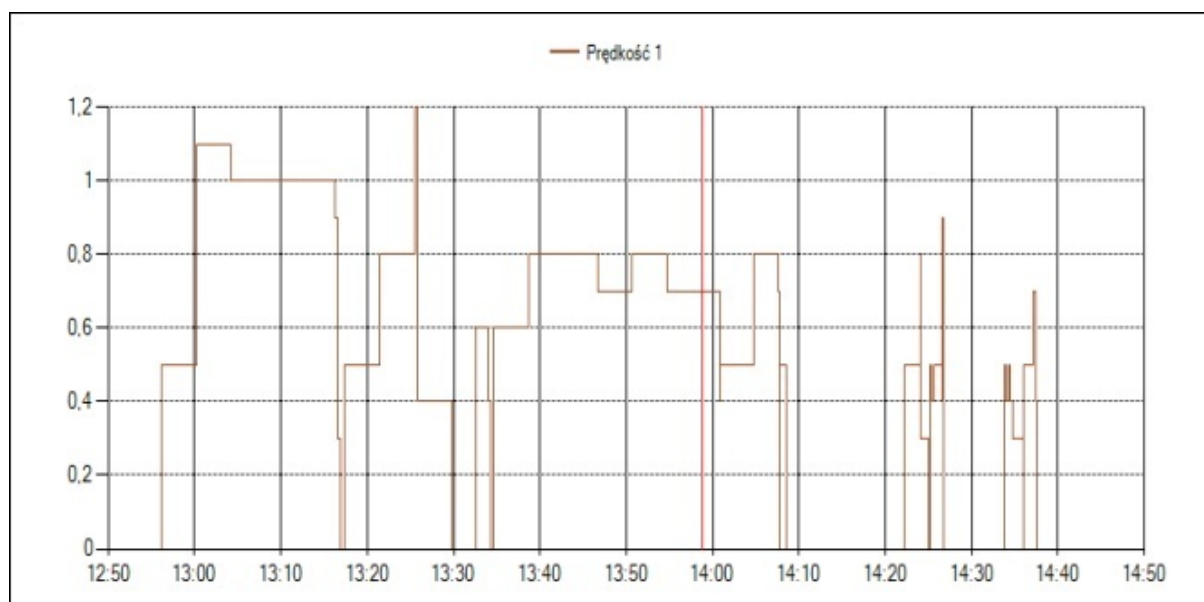
|                             |                         |                   |    |    |    |     |     |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------|----|----|----|-----|-----|
| Maksymalna siła uciągu [kN] |                         | 15                | 30 | 60 | 90 | 120 | 160 |
| Maksymalna prędkość [m/s]   |                         | ≤3                |    |    |    |     |     |
| Nachylenie [°]              |                         | ≤25               |    |    |    |     |     |
| Typ szyny                   |                         | I 140 E           |    |    |    |     |     |
| Promień skrętu [m]          | w płaszczyźnie pionowej | 8                 |    |    |    |     |     |
|                             | w płaszczyźnie poziomej | 4                 |    |    |    |     |     |
| Norma dla szyny             |                         | I 140 E DIN 20593 |    |    |    |     |     |

### 3. IDENTYFIKACJA I MONITOROWANIE PARAMETRÓW PRACY CIĄGNIKÓW KOLEJEK PODWIESZONYCH

Górnice ciągniki podwieszone spalinowe z napędem własnym, wyposażone w rejestratory parametrów pracy zabudowane w zasilaczu układu sterowania i diagnostyki, mogą służyć do weryfikacji pracy maszyn. Dane zarejestrowane i zgromadzone na karcie pamięci lub transmitowane do wskazanego odbiorcy umożliwiają analizę wartości ciśnienia, temperatury, prędkości jazdy, prędkości obrotowej silnika oraz stanów awaryjnych, jak również usterek ciągnika. Pozwalają one w dalszej kolejności na ocenę

funkcji sterowności maszyną. W celu zrealizowania przesyłu danych np. w określonym paśmie częstotliwości konieczny jest dobór odpowiedniego układu transmisji danych. Sygnały generowane w systemie sterowania ciągnika spalinowego mogą być wizualizowane np. w dyspozytorni. Ciągnik spalinowy w zależności od struktury łączności użytkownika może być opcjonalnie wyposażony w urządzenia służące do przesyłania parametrów pracy ciągnika poprzez modemy UHF, VHF, Wi-Fi i stację dokującą.

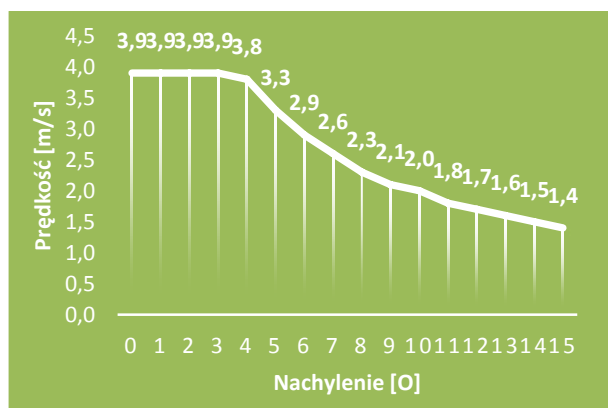
W publikacji [20, 21] przedstawiono analizę prędkości przewozu osób. Prędkość przewozu osób najczęściej mieściła się w przedziale od 1,1 do 1,5 m/s. Na rys. 4. przedstawiono przykładowy wykres zmienności prędkości przewozu osób w kopalni.



*Rys. 4. Prędkość przewozu osób zarejestrowana w kopalni*

#### 4. MOŻLIWOŚCI TECHNICZNE ZWIĘKSZENIA PRĘDKOŚCI PRZEWOZU OSÓB KOLEJKAMI PODWIESZONYMI

Ciągniki podwieszone typu KP (np. 95, 148) są samobieżnymi maszynami z napędem spalinowym do transportu materiałów lub przewozu ludzi [7, 8]. Posiadają one modułową budowę umożliwiającą dostosowanie jej konfiguracji do systemów prowadzenia transportu. Ciągniki podwieszone typu KP mogą być zabudowane, w zależności od warunków górniczo-geologicznych czy konstrukcji napędów, w trzech wersjach: KPCS – ciągniki wyposażone w napędy cierne, KPZS – ciągniki wyposażone w napędy zębate typu HZA oraz KPCZ – ciągniki wyposażone w napędy cierne i zębate. Jednostki napędowe ciągnika zasilane są z agregatu spalinowo-hydraulicznego o budowie przeciwybuchowej o mocach 95 lub 148 kW. Znamionowa siła uciągu dla poszczególnych typów napędów wynosi 20 kN (dla pojedynczego napędu ciernego) oraz 30 kN (dla pojedynczego napędu zębatego) [7, 8]. Zwiększające się masy do przetransportowania powodują, że wartość siły uciągu kolejek podwieszonych systematycznie wzrasta. Wynika to między innymi z wartości obciążenia złącza szynowego siłą wzdłużną [9, 10, 11]. Podstawowymi parametrami napędu typu KPCS-148 są: moc silnika spalinowego wynosząca 148 kW oraz znamionowa siła uciągu 4 napędów ciernych wynosząca 80 kN. Przeprowadzone obliczenia sprawdzające możliwość przewozu osób ośmioma kabinami ośmioosobowymi i dwoma wozami napędowymi o sile uciągu 40 kN o masie 9520 kg (masie całkowitej 18020 kg), przedstawione na rys. 4. [1, 2, 20, 21], wykazały, że istnieje techniczna możliwość osiągnięcia prędkości jazdy ciągników z napędem własnym 3,9 m/s. Przy nachyleniach trasy transportu powyżej 10° prędkość może wynosić do 2,0 m/s (rys. 5).



Rys. 5. Prędkość jazdy transportu z napędem własnym w funkcji nachylenia trasy [1, 2, 20, 21]

Z przeprowadzonej analizy technicznej ciągników w zakresie prędkości przejazdu wynika, że istnieje możliwość zwiększenia prędkości przewozu ludzi środkami transportu z napędem własnym.

#### 5. WPŁYW ŚRODKA TRANSPORTU NA TRASĘ PODWIESZONĄ I JEGO UŻYTKOWNIKÓW

W podziemnych zakładach górniczych środki służące do przewozu ludzi i transportu materiałów w wyrobiskach poziomych i pochyłych o nachyleniu do 45° powinny być wyposażone w urządzenia awaryjnego hamowania, zgodne z wymogami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki [4]. Oprócz występujących w ciągnikach układów napędowo-hamulcowych kolejkę podwieszoną wyposaża się w wózki hamulcowe, które dodatkowo zabezpieczają przewożoną załogę. Najczęściej montowane są one przed i za kabinami do przewozu osób. Po przekroczeniu nastaw prędkości zadziałanie układów hamulcowych odbywa się automatycznie, tj.:

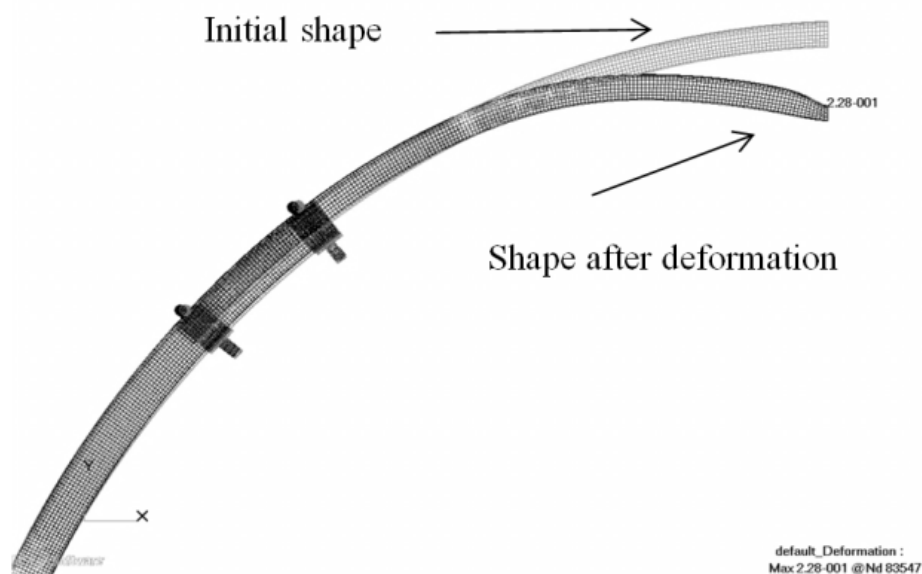
- układy hamulcowe ciągnika:
  - czujniki indukcyjne – 2,5-2,6 m/s,
  - mechaniczne odśrodkowe wyzwalacze prędkości obrotowej – 2,7-2,8 m/s
- wózki hamulcowe lub układy wózków hamulcowych –  $3,0 \pm 0,2$  m/s.

Każde awaryjne zadziałanie układu hamulcowego ma charakter gwałtowny, co skutkuje wystąpieniem przeciążeń dynamicznych oddziałujących zarówno na trasę podwieszoną, jak i na odrzwia górniczej obudowy podatnej, która jest powszechnie stosowana w wyrobiskach korytarzowych kopalń węgla kamiennego w Polsce. W Załączniku nr 4 „Szczegółowe zasady prowadzenia ruchu w wyrobiskach” do rozporządzenia [4] zamieszczono ograniczenie wartości obciążenia łuków obudowy, wynoszące 40 kN. Obciążenie to jest niezmiennie od wielu lat, mimo iż tym czasie zmieniły się zarówno realia związane z prowadzeniem podziemnego transportu podwieszonego, jak i parametry obudów chodnikowych. Są one skutkiem nowych rozwiązań technicznych i materiałowych. Jednocześnie na przestrzeni ostatnich lat ma miejsce zwiększanie rozmiaru odrzwi, jak i pola przekroju poprzecznego profili kształtowników obudowy podatnej. Dawniej do zabudowy wyrobisk korytarzowych stosowano obudowę stalową łukową podatną o profilu KS, KO18 lub KO21. W latach 80. ubiegłego wieku wyrobiska transportowe i chodniki przyścianowe wykonane były w obudowie o rozmiarze odrzwi 7, natomiast w chwili obecnej gabaryty wyrobisk do prowadzenia transportu są zdecydowa-



nie większe i wykonywane są w rozmiarze odrzwi 9, 10 lub większym. Wraz z upływem czasu oraz ze względu na zwiększające się wymagania odnośnie do przetransportowania jak największej liczby ładunków zwiększano przekrój poprzeczny wyrobisk transportowych. Wymagało to również zwiększenia wielkości profilu poprzecznego kształtowników, z których wykonane są łuki obudowy chodnikowej. Z przeprowadzonych w Głównym Instytucie Górnictwa badań

stanowiskowych wynika, że nośność obudów łukowych (w stanie usztywnionym) dla profili V29 i większych przekracza 800 kN [13]. Z kolei z przeprowadzone w Instytucie KOMAG badania symulacyjne dowodzą, że model obliczeniowy MES pojedynczego łuku obudowy chodnikowej w stanie podatnym traci stateczność przy obciążeniu ok. 300 [kN]. Widok deformacji łuku obudowy przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Odkształcenie odrzwi obudowy łukowej na skutek obciążenia skupionego o wartości 300 kN [16]

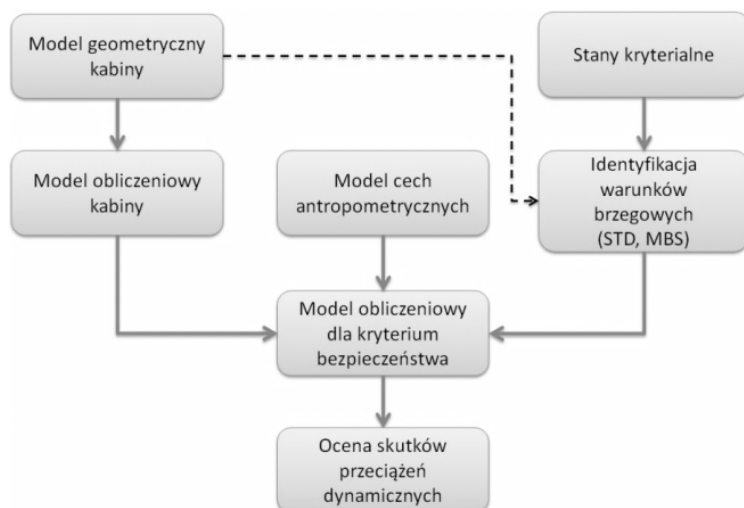
Ponadto z przeprowadzonych symulacji numerycznych MBS (ang. *Multi-Body System*) wynika, że obciążenie na jedno zawiesie wywołwane przez zestaw transportowy, w normalnych warunkach przybierające wartość 50 kN, w sytuacji awaryjnego hamowania maksymalne wzrasta o około 50%. Wzrost ten jest zależny od sposobu zabudowy i stabilizacji trasy podwieszanej.

Zwiększenie prędkości jazdy ludzi kolejkami podwieszonymi staje się jednym z elementów zwiększenia czasu dyspozycyjnego pracującej załogi, który ulega skracaniu ze względu na wydłużającą się drogę dojazdu do stanowiska pracy.

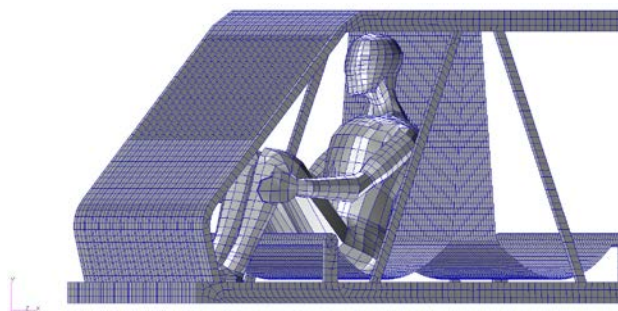
Wymaga to prowadzenia badań, zarówno symulacyjnych, jak i doświadczalnych, których celem jest ocena wpływu awaryjnego hamowania na przewożoną załogę. Możliwe jest obliczenie na podstawie symulacji komputerowych wielkości przemieszczeń względnych człowiek-maszyna i ich oddziaływania na człowieka. W tym celu stosuje się tzw. rozszerzone modele kryterialne, zawierające model cech geo-

metrycznych maszyny i model cech antropometrycznych. Rozszerzone modele kryterialne umożliwiają ocenę bezpieczeństwa operatorów i załogi podczas użytkowania środka transportu. W szczególności dotyczy to stanów awaryjnych, którym mogą towarzyszyć przeciążenia dynamiczne. W tym celu konieczne jest połączenie metody MBS i metody elementów skończonych (MES), zgodnie z przedstawionym algorytmem (rys. 7).

Wyznaczone przebiegi przyspieszenia za pomocą metody MBS stanowią warunek brzegowy w modelach obliczeniowych stosowanych w MES. Modele obliczeniowe kabin operatorów lub kabin do przewożenia osób uzupełnia się o wirtualne odpowiedniki manekinów typu HYBRID III [3]. W ten sposób tworzą one system antropotechniczny [17]. Przykład systemu antropotechnicznego, w skład którego wchodzi model cech antropometrycznych o wielkości 50 centyli, umieszczony w kabinie do przewożenia osób, przedstawiono na rys. 8.



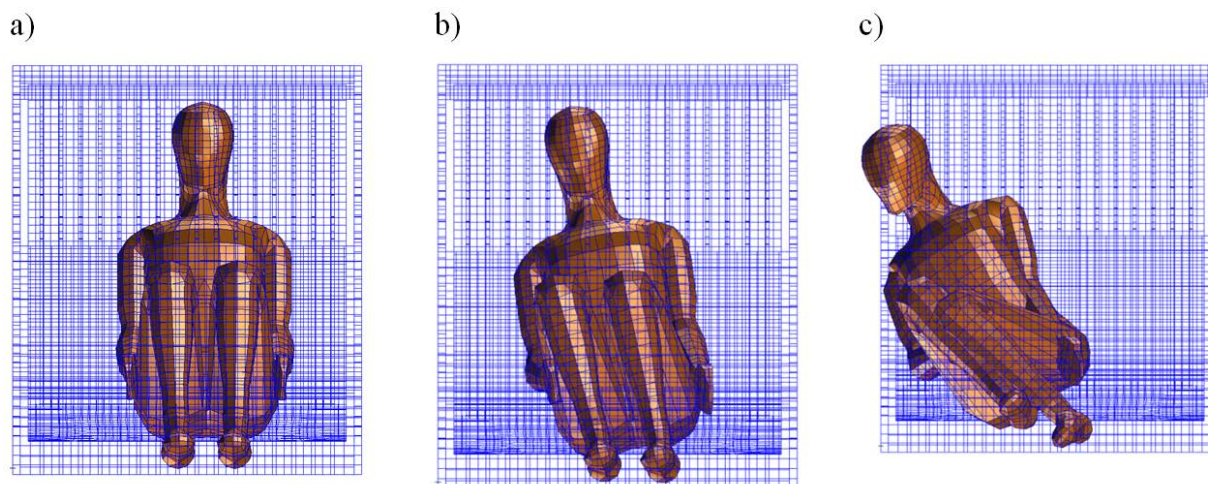
Rys. 7. Algorytm prowadzenia identyfikacji skutków przeciążeń dynamicznych [15]



Rys. 8. Wirtualny odpowiednik manekina typu Hybrid III umieszczony w kabinie do przewozu osób kolejką podwieszoną [15]

Symulacje numeryczne umożliwiają ocenę bezpieczeństwa użytkownika środka transportu w stanach krytycznych, które mogą spowodować urazy użytkowników tych środków, a których nie można przeprowadzić w warunkach rzeczywistych, np.: nagle zahamowanie lub przyspieszenie, wykoleje-

nie, zderzenie czy jazda na zakręcie z niedopuszczalną prędkością. Przykładowo na rys. 9. przedstawiono wynik symulacji przewozu kabiną osobową na zakręcie o promieniu 4 m z prędkością 0,5 m/s, 2 m/s oraz 5 m/s.



Rys. 9. Zachowanie się wirtualnego modelu manekina Hybrid III podczas jazdy kabiną osobową na zakręcie: a) 0,5 m/s, b) 2 m/s, c) 5 m/s [15]

Zastosowanie rozszerzonego modelu kryterialnego jest również pomocne w ocenie wyposażenia kabin w systemy bezpieczeństwa biernego, np. bezwładnościowe pasy bezpieczeństwa, a także inne elementy ochronne, montowane w przestrzeni pasażerskiej kabin do przewozu osób lub kabin operatorów.

## 6. PODSUMOWANIE

Kolejki podwieszone są najszybciej rozwijającą się grupą środków pomocniczego transportu w polskim górnictwie węgla kamiennego. Mają one coraz większy udział w liczbie przewożonych osób. Również trasy, po których się przemieszczają, są wydłużane. Jest to trend długoterminowy, co powoduje, iż należy zintensyfikować prace nad zwiększeniem prędkości jazdy ludzi z zastosowaniem kolejek podwieszonych z napędem własnym. Obecny stan wiedzy i odpowiednie narzędzia programowe umożliwiają ocenę wpływu prędkości środka transportu na poziom bezpieczeństwa jego użytkowników (operatorów oraz przewożonej załogi) ze znacznym ograniczeniem przeprowadzania badań dołowych. Następstwem tej oceny będą wytyczne do projektowania systemów transportu podwieszonego, które będą umożliwiały szybszą i bezpieczną jazdę. Wymaga to współdziałania jednostek naukowych, tj. uczelni technicznych i instytutów badawczych, z producentami systemów transportowych.

### Literatura

- Budniok T., Zasadni W., Kania J., Mrowiec H., Rusinek J., Szymiczek K., Chłuba G.: Możliwości zwiększenia prędkości transportu ludzi kolejkami podwieszonymi z napędem własnym. w: Mechanizacja prac transportowych 2014, s. 37-51, Rybnik.
- Budniok T., Zasadni W., Mrowiec H., Kania J., Rusinek J., Szymiczek K.: Analiza możliwości zwiększenia prędkości jazdy ludzi kolejkami podwieszonymi z napędem własnym, XXII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna TEMAG, 2014, s. 35-49.
- Cheng H., Rizer A.L., Obergefell A.: Articulated total body model – Version V. User's manual, Air Force Research Laboratory, Dayton 1998.
- Decree of minister of Economy of 28 June 2002 on industrial safety, operational management as well as special firefighting control in underground mining plants (Journal of laws 2002 vol. 139 item, 1169 with further alterations).
- Dokumenty normatywne dotyczące bezpieczeństwa, dopuszczeniowej i nadzorczej działalności w przemyśle górniczym, Federalny górniczy i przemysłowy dozór Rosji, seria 05, wydanie 12, Bezpieczeństwo urządzeń transportowych w górnictwie węglowym, zbiór dokumentów, Moskwa 2004.
- Dokumenty normatywne Górniczej Normy Branżowej Chińskiej Republiki Ludowej, 08. 12. 2000 r.
- Instrukcja Obsługi – DTR, Ciągnik podwieszony typu KP-95, instrukcja oryginalna, Świerklany, grudzień 2013 r. (praca niepublikowana).
- Instrukcja Obsługi – DTR, Ciągnik podwieszony typu KP-148, instrukcja oryginalna nr KP-148/12/2012, Becker-Warkop, Świerklany, grudzień 2012 (praca niepublikowana).
- Instrukcja Obsługi – DTR, Uniwersalny Tor Jeźdźni Typu BWTU-50/120 dla kolejek podwieszonych, instrukcja oryginalna nr BWTU 50/120, Becker-Warkop, Świerklany, wrzesień 2011 r. (praca niepublikowana).
- Koczwarą J., Kmita P.: Bezpieczeństwo pracy w aspekcie stosowania urządzeń transportowych w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny, III Międzynarodowa Konferencja nt. „Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie”, Ustroń, 2007
- Mrowiec H., Drobisz M., Raszka W.: Wózki hamulcowe oraz inne urządzenia hamowania awaryjnego w transporcie kolejkami podwieszonymi z napędem własnym w świetle obowiązujących przepisów i norm, VII Międzynarodowa Konferencja nt. „Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie”, Ustroń, 2011
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. nr 139, poz. 1169 oraz z 2006 r. nr 124, poz. 863).
- Rotkegel M.: LPw Steel Arch Support – Designing and Test Results, Journal of Sustainable Mining, 2013, 12(1) s. 34-40
- Szczegółowe przepisy prowadzenia ruchu i gospodarki złożem w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny i brunatny, które zostały opracowane zgodnie z Zarządzeniem nr 38 Ministra Górnictwa i Energetyki z dnia 10. 10. 1973 r.
- Tokarczyk J.: Ocena rozwiązań konstrukcyjnych górniczych środków transportu pomocniczego dla kryterium bezpieczeństwa, Instytut Górniczy KOMAG, 2014 (niepublikowany)
- Tokarczyk J., Winkler T.: Numerical simulation of dynamic impact of loads, transported by suspended monorails, on yielding arch supports. Coal International, 2013, 5, s. 47-51.
- Winkler T.: Komputerowo wspomagane projektowanie systemów antropotechnicznych, WNT, Warszawa, 2005.
- Wytyczne Okręgowego Urzędu Arnsberg, Dział Górnictwo i Energia w NRW, dla podwieszonej kolejki (KSP) z napędem akumulatorowym oraz spalinowym w zakładach podziemnych kopalń węgla kamiennego z 14.12.2005 (wytyczne dla jednoszynowej podwieszonej kolejki).
- Wytyczne stosowania kolejek podwieszonych, Ministerstwo Górnictwa Departament Górniczy, Katowice, listopad 1978 r.
- Zasadni W., Kania J., Rusinek J.: Rozwój systemu transportu kolejkami podwieszonymi z napędem własnym a możliwości jego wykorzystania, 15. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna KOMTECH, 2014, s. 101-112.
- Zasadni W., Kania J., Tokarczyk J., Rusinek J., Szymiczek K.: Możliwości zwiększenia prędkości jazdy ludzi kolejkami podwieszonymi z napędem własnym, XVII Konferencja nt. „Problemy Bezpieczeństwa i Ochrony Zdrowia w Polskim Górnictwie”, 2015, s. 1-10

*dr inż. JAROSŁAW TOKARCZYK*  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG  
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

*dr inż. JAN KANIA*  
Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska  
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice  
jan.kania@polsl.pl

# Ocena jakościowa wpływu wydobycia nośników energii na środowisko naturalne Ukrainy

*W artykule przedstawiono wpływ na środowisko naturalne procesów technologicznych wydobycia głównych ukraińskich zasobów energetycznych – węgla i gazu – sposobem odkrywkowym, podziemnym i otworowym. Przytoczono jakościowe wskaźniki negatywnego wpływu procesów udostępnienia i wydobycia kopaliny na różne składniki biosfery. Przedstawiono tabelę porównawczą wskaźników oddziaływania, takich jak charakter, wielkość i czas trwania w różnych procesach wydobycia. Ukazano potencjalne sposoby rozwoju bazy zasobów energetycznych Ukrainy.*

*Słowa kluczowe: zasoby energetyczne, wpływ na środowisko naturalne, sposób wydobycia, komponenty biosfery*

## 1. WPROWADZENIE

Trudno wyobrazić sobie współczesny kraj pozbawiony nośników energii – elektrycznej, ciepłej, mechanicznej, chemicznej czy jądrowej. Jednakże rozmieszczenie zasobów energetycznych na naszej planecie jest nierównomiernie; niektóre kraje posiadają duże zasoby, inne – ograniczone. To sprawia, że zdecydowana większość państw zależna jest w tym względzie od innych. Wydawać by się mogło, że w cywilizowanym świecie powinna obowiązywać wzajemna odpowiedzialność, przejawiająca się wymianą zasobów, towarów i produktów, co sprzyjałoby rozwojowi ludzkości. Tak się jednak nie dzieje, a jedną z charakterystycznych cech stosunków międzynarodowych jest ich niestabilność, która doprowadza do zjawisk kryzysowych oraz konfliktów, zarówno lokalnych, jak i globalnych. Taka sytuacja charakterystyczna jest nie tylko dla współczesnej Ukrainy, ale i dla wielu krajów europejskich, mających podobne problemy. Narusza to normalne funkcjonowanie państw. Dla złagodzenia możliwych niedogodności w międzynarodowych dostawach państwo i przemysł powinny tworzyć prywatne zapasy zasobów przydatne w czasie krótkookresowych przerw lub rozwijać własne bazy zasobowe w przypadku długookresowych problemów. Najbardziej niezawodnym okazuje się sposób „kombinowany”, łączący w sobie obydwie te opcje.

Współcześnie wydobycie gazu, ropy naftowej, węgla nie zapewnia pełnego bezpieczeństwa energetycznego naszej cywilizacji. Ten fakt ma szczególne znaczenie dla Ukrainy, która posiada bardzo ograniczone własne zasoby energetyczne, niezbędne do funkcjonowania państwa.

W związku z tym rozpoznanie geologiczne oraz eksploatacja węglowych, gazowo-węglowych, gazowych i gazowo-roponośnych złóż w skałach osadowych staje się problemem bezpieczeństwa państwowego. Bardzo ważnym zagadnieniem powiązanim z tą kwestią jest konieczność wcześniejszej oceny możliwych negatywnych skutków wydobycia nośników energii i dążenie do minimalizacji niebezpieczeństw. Potencjał zasobów energetycznych Ukrainy składa się z zasobów węgla, które ocenia się, jako wystarczające na trzy wieki, dosyć ograniczonych złóż ropy naftowej oraz złóż gazów naturalnych i gazów skał łupkowych, wstępnie szacowanych na kilka trylionów m<sup>3</sup>.

Na Ukrainie występują znaczne złoża rud radioaktywnych, jednakże brak jest kompleksu technologicznego do przygotowania produktów paliwowych. Występują również bogate zasoby torfu. Corocznie gromadzone są zapasy roślinnych (odnawialnych) zasobów energii biomasy w postaci drewna, krzewów i słomy. Istnieje znaczny potencjał tak zwanych niekonwencjonalnych źródeł energii (wiatr, ciepło geotermalne, słońce i inne), jednakże ich pozyskanie

wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych i czasu, których brakuje.

Przy tworzeniu własnej bazy nośników energii należy uwzględniać przede wszystkim te skutki, które powstają w wyniku działalności ludzkiej. W pierwszej kolejności dotyczy to zagadnień ekologicznych. Przy niskiej kulturze produkcji właściwie każda technologia wydobywania surowców mineralnych może spowodować znaczne zanieczyszczenia środowiska naturalnego, których nie będzie można usunąć przez dziesięciolecia. Takie zagrożenie wywołuje w społeczeństwie określone nastroje, opinie i działania konfrontacyjne, często mocno emocjonalne, niemające obiektywnego uzasadnienia. Dlatego przy ocenie oddziaływania zakładów górniczych na środowisko naturalne należy kierować się podejściem naukowym i rzetelną informacją. To powinno być podstawą do prognozowania działalności przedsiębiorstwa już w fazie projektu, a także stanowić wytyczne dla państwowego i społecznego monitoringu jego działalności.

Celem niniejszego artykułu jest określenie jakościowych aspektów procesów, które zachodzą w środowisku naturalnym przy wydobywaniu węgla sposobem odkrywkowym i podziemnym, a gazu i ropy naftowej – sposobem otworowym. W celu lepszego jego zrealizowania warto przedstawić na początku ogólne informacje o biosferze – środowisku, w którym istnieje życie i występują nośniki energii. Biosfera to otoczka Ziemi, przestrzeń, w której funkcjonują wszelkie żywe organizmy. Innymi słowy biosfera to strefa Ziemi, w której możliwe jest życie.

Przyjęło się wyróżniać kilka składowych biosfery, jakościowo różniących się pomiędzy sobą. Przede wszystkim jest to stała wierzchnia skalna powierzchnia powłoka Ziemi – litosfera. W niej powstają i gromadzą się zasadnicze palne nośniki energii, takie jak biomasa, torf, węgiel, gaz i ropa naftowa. Przestrzeń wypełnioną powszechną na naszej planecie wodą określa się hydrosferą. Gazowa powłoka Ziemi to atmosfera. Nierozdzieloną częścią biosfery są różne pola fizyczne, nieposiadające masy spoczynkowej, ale wykazujące wpływ na obiekty materialne: grawitacja, temperatura, w różnych przedziałach elektromagnetyczne promieniowanie, strumienie cząstek elementarnych, ciśnienie i inne. Wiele z tych pól występuje nie tylko w przestrzeni ziemskiej, ale i w Układzie Słonecznym oraz Wszechświecie. Połączenie parametrów tych pól pozwala zasadniczej masie wody znajdować się w stanie płynnym, będącym uniwersalnym rozpuszczalnikiem i środowiskiem dla chemiczno-fizycznych reakcji substancji. W procesie ewolucji na planecie rozwijała się szczególna forma materii, składająca się z komórek organicznych lub bioty, którą reprezentują bakterie, grzyby, flora i fauna.

Potężne biochemiczne procesy, zachodzące na Ziemi przez okres pięciu-sześciu miliardów lat, doprowadziły planetę do aktualnego geologicznego i klimatycznego stanu. Kolejnym etapem ewolucji było pojawienie się człowieka. Formowanie się ludów i narodów doprowadziło do powstania państw, instytucji religijnych, kulturalnych, naukowych i edukacyjnych, urzędów, organizacji itp. Temu etapowi rozwoju biosfery ukraiński uczony Władimir Wiernadskij nadał nazwę noosfery.

Do części składowych noosfery zalicza się antroposferę (zbiorowość ludzi, jako organizmów), technosferę (zbiór sztucznych obiektów, stworzonych przez człowieka, i obiektów przyrodniczych, zmienionych w wyniku działalności ludzkiej) i socjosferę (zbiór czynników socjalnych, charakterystycznych dla danego etapu rozwoju społeczeństwa i jego wzajemnego oddziaływania z przyrodą). Aktywna funkcja noosfery polega na zabezpieczeniu zwiększających się potrzeb ludzkości, które spowodowane są zarówno szybkim wzrostem liczby ludności Ziemi, jak i zwiększeniem się jej indywidualnych potrzeb. Zasadniczym sposobem osiągnięcia tych celów jest stworzenie przez ludzi instrumentów, maszyn, działalności handlowej, przemysłowej, rolniczej i innych. Wszystko to odnosi się do technosfery, która intensywnie rozwija się w okresie dwóch-trzech wieków od początku rewolucji przemysłowej. Technosfera zależna jest od noosfery i nie może funkcjonować w oderwaniu od niej.

Przy ocenie wpływu wydobywania na środowisko naturalne należy w pierwszej kolejności określić składowe (charakter), skalę (objętość, powierzchnię i inne) oraz czasokres oddziaływania poszczególnych technologicznych operacji lub rodzaju robót na elementy biosfery.

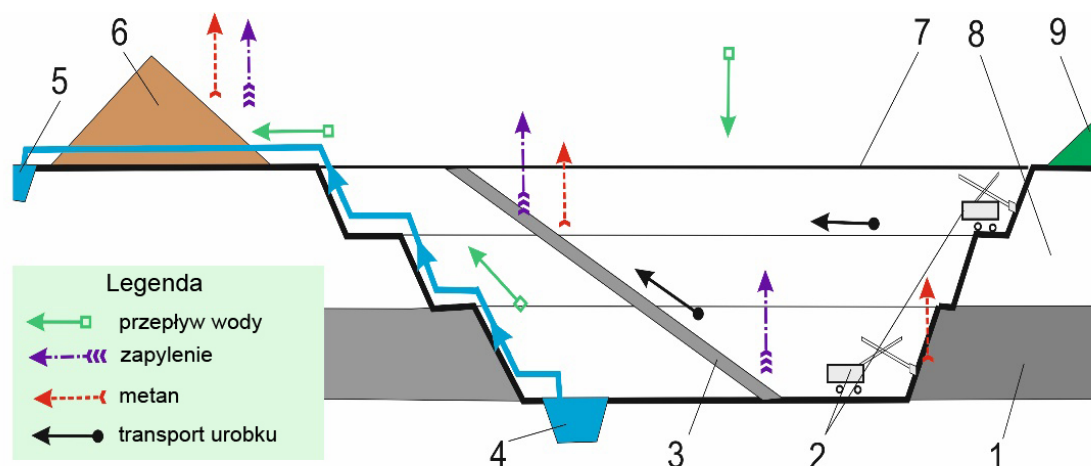
## 2. TECHNOLOGICZNE PROCESY WYDOBYCIA WĘGLA METODĄ ODKRYWKOWĄ

Po wykonaniu rozpoznania geologicznego i prac projektowych przystępuje się do przygotowania złoża do eksploatacji. Ekosystem „kopalnia odkrywkowa – otaczające go środowisko naturalne” zawiera nie tylko własne wyrobisko górnicze, ale i niezbędne do jego obsługi obiekty na powierzchni. Należą do nich drogi, linie kolejowe, linie energetyczne, rurociągi i kanały do odprowadzania wód kopalnianych i powierzchniowych. Do ekosystemu należy dodać strefy sanitarno-ochronne wokół stacjonarnych źródeł emisji, zwalów skalnych, zbiorników wodnych – osadników i innych obiektów.

Wpływ kopalń odkrywkowych na krajobraz wiąże się z przebudową ukształtowania terenu i tworzeniem technogennych form – negatywnych (denudacyjnych) i pozytywnych (akumulacyjnych). Zgodnie ze współczesnymi wymaganiami powierzchnie przeznaczone pod budowę budynków i obiektów kopalni odkrywkowej (wzrostki udostępniające, warsztaty, magazyny, zewnętrzne zwałowiska skalne, zbiorniki-osadniki, obiekty socjalne domowe, rurociągi, tory kolejowe i drogi, linie energetyczne, rozdzielnie energetyczne i inne) należy, w miarę możliwości, lokalizować na terenach niemających znaczenia rolniczego i leśnego. Jednakże ich rozmiary sięgają dziesiątków hektarów, przez co spełnienie tych wymagań jest możliwe zaledwie częściowo. W każdym z przypadków przygotowanie powierzchni roboczych

rozpoczyna się od usunięcia żyznej warstwy gleby i jej złożenia na wolnych powierzchniach, z przeznaczeniem pod późniejszą rekultywację. Przestrzeń roboczą kopalni odkrywkowej również, w miarę wybierania złoża, przygotowuje się do zdjęcia nadkładu, zdejmując najpierw warstwę gleby. Niestety, współczesne sposoby jej składowania w zwałach (kopcach) nie zapewniają zachowania własności urodzajnych, a przy składowaniu przez okres kilku lat lub dziesięcioleci własności te wręcz ulegają degradacji.

Budowa kopalni odkrywkowej powoduje znaczne zmiany krajobrazu, a z punktu widzenia ekologii jest naruszeniem stanu równowagi środowiska naturalnego. Najistotniejszymi jej obiektami są: wyrobisko eksploatacyjne oraz zwały zewnętrzne (rys. 1).



Rys. 1. Schemat procesu technologicznego wydobywania węgla metodą odkrywkową:  
1 – pokład węgla; 2 – maszyna do urabiania; 3 – wyrobisko transportowe; 4 – rzapie;  
5 – urządzenie odwadniające; 6 – zwał zewnętrzny; 7 – powierzchnia; 8 – nadkład; 9 – warstwa żyznej gleby

Na roboty eksploatacyjne składają się następujące podstawowe procesy produkcyjne: urabianie, ładowanie, transport i ekspedycja surowców mineralnych. Przy wydobywaniu węgla metodą odkrywkową urabianie polega na oddzieleniu zasobów surowca mineralnego od masywu z równoczesnym jego rozluźnianiem, co realizuje się za pomocą robót strzałowych lub mechanizmów i maszyn. Przy udostępnieniu oraz wybieraniu pokładu, transporcie, załadunku i wyładunku skał nadkładu oraz węgla powstają znaczne objętości pyłu kamiennego i węglowego, którego ogólna masa wynosi szacunkowo do 1-2% udostępniających i eksploatacyjnych strumieni urobku.

Przy występowaniu zwięzłych skał stropu pokładu kruszenie ich realizuje się za pomocą robót strzałowych. Z reguły równocześnie odpala się kilkadziesiąt otworów wypełnionych tonami materiału wybuchowego. To powoduje istotne sejsmiczne odkształcenia

górotworu na znacznej powierzchni terenu. Prócz tego wybuchom towarzyszy silne oddziaływanie fal akustycznych, które zaburzają równowagę w ekosystemie.

Wraz z wydobywaniem węgla następuje wydzielanie z pokładu metanu oraz innych gazów i par, zanieczyszczających atmosferę. Objętość ich ocenia się na podstawie gazoności pokładów i warstw skały płonnej.

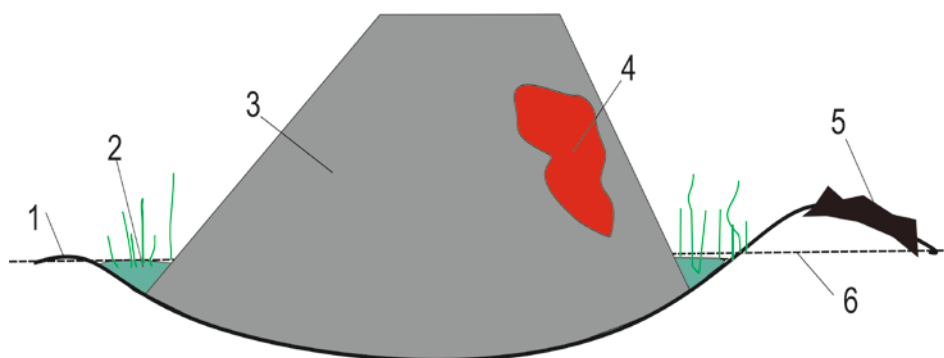
Przy eksploatacji pokładów węgla brunatnego metodą odkrywkową występują przypadki ich samozapłonu, co doprowadza do powstania znacznych ilości gazów toksycznych i cieplarnianych. Objętość emisji, powstającej w wyniku pożaru, można ocenić na podstawie objętości wypalonego węgla. Przy przechowywaniu węgla brunatnego na zwałach, w silosach, szczególnie po opadach deszczu i pod wpływem wiatru, również występuje samozagrzewanie i samozapłon.



W kopalniach odkrywkowych występują także pożary egzogeniczne, gdy od zewnętrznej energii zapala się wyposażenie, urządzenia elektryczne i inne. W tym przypadku objętość emisji należy oceniać na podstawie rodzaju i ilości spalonych substancji.

W czasie budowy i w początkowym okresie pracy kopalni odkrywkowej skały nadkładu lokuje się na specjalnych powierzchniach w postaci zwałów, które mają kształt stożków, grzbietów, wyniesień płaskich, a także występują w innej postaci. Masa nagromadzonych na zwałach skał wynosi dziesiątki milionów

ton. Ciężar tego materiału powoduje obniżanie się powierzchni, na której został zgromadzony, oraz wypiętrzenie części podstawy (spągu) poza granicę zwał. To doprowadza do powstania bagnisk wokół zwał, deformacji elementów infrastruktury (budynków, dróg, rurociągów, energetycznych linii zasilających itp.), które rozmieszczone są w pobliżu zwałów. Z dotychczasowych obserwacji wynika, że negatywne zjawiska odkształcenia spągu były rejestrowane w odległości do 100 m od zwałów (rys. 2).



Rys. 2. Schemat negatywnego wpływu zwałowiska skał: 1 – profil zdeformowanej powierzchni; 2 – bagnista część powierzchni; 3 – zwałowisko skał; 4 – źródło samozagrzewania lub pożaru; 5 – zdeformowana droga pojazdów samochodowych; 6 – pierwotny poziom powierzchni

Masa zwałowanych skał składa się z minerałów zawierających znaczną ilość węgla, siarki, fosforu, żelaza i innych pierwiastków, które w obecności wody reagują z tlenem atmosferycznym. Są to reakcje egzotermiczne, związane z wydzielaniem ciepła. W procesie tym swój udział mają bakterie, które żywiąc się pirytem, wytwarzają siarkę elementarną. Siarka ta intensywnie rozpala się i przy wzajemnym oddziaływaniu z wilgocią tworzy pary skoncentrowanego kwasu siarkowego. Czynniki te doprowadzają do powstania na powierzchni zwałów źródeł samonagrzewania i samozapłonu, zaś obecność tych ognisk wywołuje zachwianie gazowego i cieplnego stanu ekosystemu kopalni odkrywkowej.

Temperatura górotworu na głębokości realizacji robót eksploatacyjnych jest kilka stopni wyższa aniżeli średnia roczna na powierzchni. Taka różnica temperatur określa zmianę porządku cieplnego i wywołuje klimatyczne zaburzenia ekosystemu.

Wykonanie wyrobisk (półwykopów, pięt, otworów itd.) zaburza ciekły wód powierzchniowych i podziemnych, powodując zmianę ich przepływu w kierunku wyrobiska kopalni odkrywkowej. W celu ich przekierowania od wyrobisk górniczych wykonuje się specjalne kanały i wykopy, a to powoduje istotne zmiany w ekosystemie.

### 3. TECHNOLOGICZNE PROCESY EKSPLOATACJI WĘGLA PODZIEMNYM

Przy podziemnej eksploatacji złóż powierzchniowe granice obszaru górniczego i terenów kopalnianych nie pokrywają się. Obszar kopalni obejmuje powierzchnię szybów, szybików poszukiwawczych, terenów przemysłowych, zwałów itd. Do tego należy dodać drogi i linie kolejowe dla obsługi kopalni.

Na tym terenie i w jego pobliżu degradacji lub całkowitemu zniszczeniu ulega tło (podstawa) bioty. Poddane wpływom eksploatacji obiekty technosfery wymagają remontu lub przeniesienia na inne miejsce. Wyszczególnić w tym kontekście należy negatywną rolę zjawiska podbierania robotami górniczymi obiektów na powierzchni, które występuje poza granicami terenu kopalni, na terenie górniczym [5].

Wpływ wyrobisk podziemnych na krajobraz przejawia się wystąpieniem na powierzchni ziemi:

- zwałów skały z udostępnienia i odpadowej;
- zbiorników odpadów flotacyjnych i szlamów, w których gromadzą się odpady skał, pozostające po wzbogaceniu rud;
- różnego rodzaju zapadlisk i wgłębień, różniących się kształtem i głębokością.



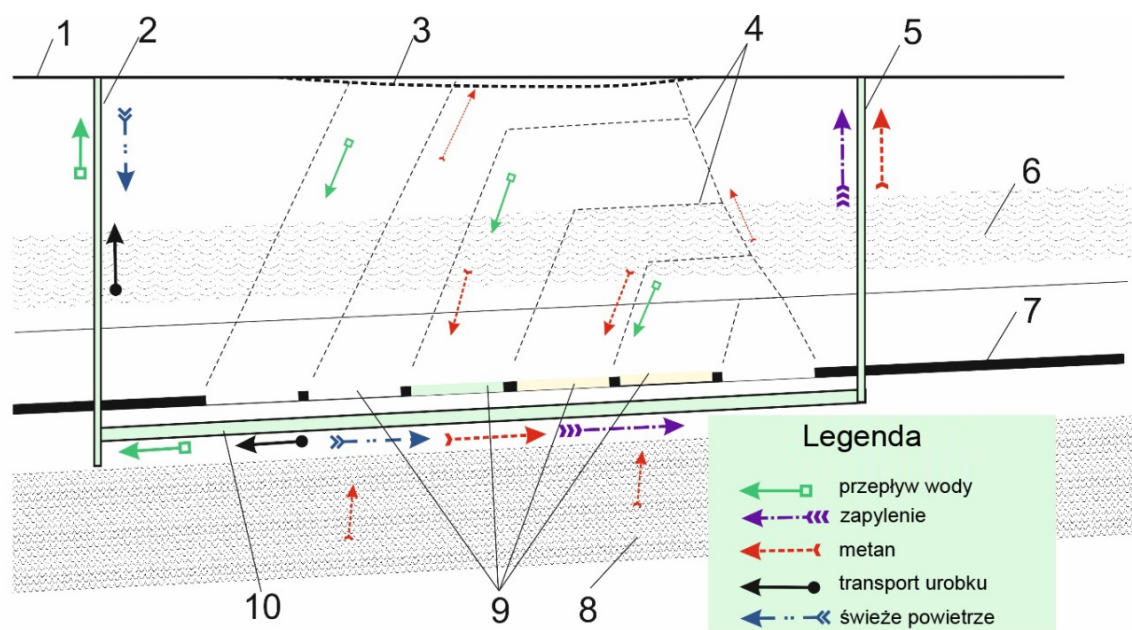
Zapadliska i wgłębienia powstające na powierzchni ziemi w wyniku zawału stropu wyrobisk górniczych, które określa się w zależności od głębokości eksploatacji, objętości wydobytych ze złoża skał i rudy, geometrii złoża rudy lub pokładów węgla, mogą się różnić względem kształtu i wielkości rozmiarów, a mianowicie:

- osiadania o charakterze nieckowym (wgłębienia) powstają po eksploatacji złóż pokładowych średniej (1,5-3 m) i większej miąższości, poziomego, siodłowego albo słabo nachylonego zalegania. Niecki osiadań górotworu znajdują się w strefie ugięcia stropu. Przy dużej grubości i stromym nachyleniu pokładu możliwe jest tworzenie się nieckopodobnych tarasowanych wgłębień – osiadania nieckowe w tym przypadku będą skierowane do strefy ugięcia lub zawału (rys. 3);
- zapadliska kominowe (kanionowe) powstają nad zrobami grubych słabo nachylonych lub stromo nachylonych złóż, nieckowe osiadania w tych uwarunkowaniach zawsze znajdują się w strefie zawału;
- zapadliska o kształcie koła mogą powstawać w miejscu eksploatacji stromo zalegających złóż.

Obnażone skały w krawędziach ugięcia, powierzchnie hałd, zbiorniki i osadniki szlamów często stają się źródłem zapylenia, a przy eksploatacji surowców energetycznych wraz z pyłem i dymem do powietrza mogą się przedostać fitotoksyczne składniki. Mogą one pojawić się w wodach gruntowych,

które formują swój skład chemiczny w nieckach osiadania i skałach zwałowych. W ten sposób, oprócz wpływu na ukształtowanie powierzchni ziemi, wyrobiska podziemne mogą również doprowadzać do zanieczyszczenia powierzchni żyznych gleb, roślinności i wód podziemnych.

Rozmiary i kształt zwałów określa się w odniesieniu do kilku czynników, w szczególności – technologii wybierania złoża i tworzenia zwałów. W najprostszym przypadku, przy wykorzystaniu wagoników i skipów, usypuje się zwały stożkowe (hałdy), przy wykorzystaniu transportu samochodowego i kolejowego – wyniesienia płaskie i grzbietowe, a przy dużej ilości skały składowanej powstają zwałowiska piętrowe o kształcie platform tarasowanych. Zbiorniki odpadów flotacyjnych i szlamów zakładów przerobczych, górniczo-przerobczych kombinatów i przedsiębiorstw energetycznych (elektrownie, ciepłownie, elektrociepłownie), zapewniających zasadniczą produkcję, lokalizuje się zwykle w pobliżu obniżen terenu, stopniowo wypełniając je i tworząc tym samym płaskie lub słabo nachylone powierzchnie. Przy wykorzystaniu wałów wygradzających zbiorniki odpadów flotacyjnych oraz szlamów mogą być wyniesione ponad powierzchnię ziemi. Wówczas mają postać płaskiego wyniesienia, ograniczonego zboczami, których krzywizna określana jest zwykle kątem naturalnego usypu skał, z których uformowany jest wał.



Rys. 3. Schemat procesu technologicznego wydobywania węgla sposobem podziemnym: 1 – powierzchnia ziemi; 2 – szyb wdechowy; 3 – niecka osiadania, 4 – płaszczyzny przekroju górotworu nienaruszonego; 5 – szyb wentylacyjny; 6 – metanonośne piaskowce w stropie pokładu; 7 – pokład węgla; 8 – metanonośne piaskowce w spągu pokładu; 9 – zrob ścianowy; 10 – wyrobisko magistralne

Charakter negatywnego wpływu zwałów skalnych na środowisko naturalne jest w zasadzie podobny do tego, który obserwuje się przy odkrywkowych sposobach wydobywania złóż, i sprowadza się do takich zjawisk, jak:

- palenie się skał i emisji znacznych ilości gazów toksycznych i cieplarnianych;
- zmywanie pod wpływem opadów atmosferycznych ze zwałów substancji płynnych zawierających węgiel i zanieczyszczenie fenolami wód powierzchniowych, a także gruntowych;
- unoszenie się znacznych ilości niskoradioaktywnego pyłu ze zwałów palących się skał przy erozji wietrznej;
- rozprzestrzenianie się obłoków gorącego pyłu na znaczne odległości, powodujących, że w promieniu ponad 400 m zwęglaniu ulegają liście na drzewach;
- wskutek dużych obciążeń podłoża gruntowego masami zwałowanej skały następuje jego wyciskanie spod zwałów i tworzenie się wałów ziemnych, deformujących usytuowane w pobliżu linie kolejowe i drogi, rurociągi, linie zasilające energią elektryczną, budynki i obiekty (wpływy przemieszczeń podłoża gruntowego zarejestrowano na odległości ponad 100 m od podstawy hałd);
- zwiększona wilgotność skał zwałowanych skutkuje osuwiskami i wywołuje potoki błotne;
- w okresie suchej i słonecznej pogody często następują osuwiska skał na zboczach zwałowisk, co związane jest ze zmianą właściwości fizyko-mechanicznych ośrodka przy jego wysychaniu;
- zanieczyszczenie złóż odpadami produkcyjnymi – w wyniku wykonywania robót górniczych pod ziemią pozostają znaczne ilości metalu, produktów naftowych, produktów wybuchów, drewna itd.;
- drażnienie wyrobisk górniczych doprowadza do naruszenia ciągłości górotworu i zmiany porządku hydrogeologicznego wód powierzchniowych i podziemnych – wody te kierują się w wyrobiska, zagrażając ich podtopieniem;
- operacje technologiczne, związane z urabianiem węgla i skał, załadunkiem ich, transportem i składowaniem skały na zwałach, generują pył, to z kolei istotnie pogarsza stan atmosfery w ekosystemie;
- ze skał karbońskich podczas robót eksploatacyjnych wydzielą się znaczna ilość gazów cieplarnianych, które zasadniczo składają się z metanu i dwutlenku węgla;
- kopalniane kotłownie, koherencyjne elektrownie, pompy próżniowe i inne stacjonarne urzą-

dzenia są źródłem emisji do atmosfery gazów cieplarnianych i trujących;

- praca wentylatorów głównego przewietrzania jest źródłem znacznych szumów (hałasu), które przekraczają dopuszczalne (sanitarne) normy;
- powierzchnia zwału jest źródłem podwyższonego tła radiacyjnego.

Przedstawione wyżej wyliczenie pokazuje, że skala zanieczyszczenia zasadniczych składników, powstającego w wyniku podziemnego sposobu wydobywania, jest podobna do tej, jaką generuje sposób odkrywkowy, a w niektórych przypadkach nawet ją przekracza.

#### **4. TECHNOLOGICZNE PROCESY WYDOBYCIA NOŚNIKÓW ENERGII SPOSOBEM OTWOROWYM**

Technologia wydobywania nośników energii sposobem otworowym wymaga przygotowania pól wiertniczych – wybudowania platform, dróg, zbiorników dla cieczy i szlamów wiertniczych oraz innych tego typu obiektów. Przy eksploatacji złoża niezbędna jest budowa rurociągów przesyłowych, a to z kolei przyczynia się do zajęcia znacznych zasobów gruntów pod tereny przemysłowe i magazynowania szlamów (rys. 4).

Otworowej eksploatacji gazu oraz innych kopalin towarzyszą takie negatywne zjawiska, jak: emisje spalin wskutek pracy silników wewnętrznego spalania, awaryjne emisje gazów przy udostępnieniu pokładu lub pożarach, degradacja podstawowej bioty, zaburzenie tła technosfery, emisje ciepłe, szumowe zanieczyszczenie czy przekroczenie tła radiacji. Aktualnie dobrym rozwiązaniem neutralizującym ich wpływ jest stosowanie odwiertów kierunkowych, co pozwala zmniejszyć liczbę odwiertów pionowych i ograniczyć ten rodzaj negatywnego oddziaływania.

Tradycyjny sposób wydobywania metanu wymaga wiercenia pionowych otworów do głębokości pokładów, gdzie instaluje się pompę głębinową dla ich odwodnienia. Po odpompowaniu wody następuje wydobywanie metanu. Ukierunkowane otwory zapewniają równocześnie drenaż wody i transport metanu. Jedno poziome odgałęzienie takiego otworu jest zdolne zapewnić dostęp do parceli o powierzchni siedem razy większej niż w przypadku otworu zwykłego. Jednakże obecność znacznej rozległości sieci otworów może doprowadzić do istotnej zmiany porządku hydrogeologicznego wód podziemnych i powierzchniowych. Upływy płuczek wiertniczych i rozciąganie z procesów krakingu wpływają również na stan wód powierzchniowych.



Rys. 4. Typowy widok obszaru, na którym wydobywa się gaz

Aktualnie wierce się pionowe otwory degazacyjne w górotworze karbońskim według technologii tradycyjnej i wiercenia kierunkowego. Jeden taki otwór kierunkowy wywiercony w zagłębiu San Juan (Colorado, USA) drenuje prawie siedem razy więcej metanu z nienaruszonych pokładów, niż wydobywa się średnio z tradycyjnego otworu pionowego. Szacuje się, że w zagłębiu tym z otworów rozgałęzionych (kierunkowych), z pokładów węgla, można pozyskać 50-75% całkowitych zasobów metanu, a więc o wiele więcej, aniżeli wynosi efektywność, którą uzyskuje się zwykłymi sposobami degazacji. Prócz tego technologia wiercenia kierunkowego pozwala istotnie zmniejszyć liczbę parcel przeznaczonych do wierceń na powierzchni i odpowiednio zmniejszyć sieć infrastruktury.

Sieć poziomych odcinków otworów kierunkowych, w których wykonuje się kraking, wywołuje zmianę stanu naprężeniowo-odkształceniowego w znacznej objętości górotworu. W wyniku tego w stan wolny przechodzi znaczna masa metanu. Czas dyfuzji całej ilości gazu z bloków górotworu określa się na od kilku minut do kilkudziesięciu lat. Drugi parametr znacznie przewyższa okres funkcjonowania otworów roboczych. Resztkowy metan wolny stopniowo migruje ku powierzchni, znajdując szczeliny i pustki, w tym również zaburzenia geologiczne górotworu. Na powierzchni metan ten pojawi się za kilka, a może i dziesiątki lat. W analogicznych warunkach w kopalniach węgla kamiennego metan ten stwarza stężenia wybuchowe, a także niszczy biotę na powierzchni.

Decydującym czynnikiem w pozyskaniu metanu z pokładów węgla jest przenikalność masywu,

która rozumiana jest jako kombinacja jego naturalnej mikroporowatości i porowatości, spowodowanych kłiważem (naturalnym rozwarstwieniem węgla). Wykorzystanie nowoczesnych technologii wydobycia gazu ze skał osadowych pozwala zmniejszyć rozmiary zbiorników mułów (szlamów) oraz płuczek wiertniczych i uzyskać kompaktowe powierzchnie robocze wiertni.

Aby wytworzyć lub zwiększyć szczeliny, ciecz z wypełniaczem wtłacza się do pokładu ze stopniowym zwiększaniem prędkości i ciśnienia. Ostatecznie pokład węgla nie jest w stanie przyjąć tak szybko, jak jest wtłaczana, tworząc szczeliny cieczy. Kiedy to następuje, ciśnienie jest wystarczająco duże, aby pokład węgla rozwarstwiało się wzdłuż istniejących osłabionych stref. Wraz ze szczelinotwórczą cieczą w szczeliny przedostaje się piasek (lub jakiś inny wypełniacz-rozpieracz) i pozostają one otwarte po zdjęciu ciśnienia. Tego rodzaju stymulacja otworów za pomocą hydroszczelinowania pokładów zwiększa drenaż metanu od 5 do 20 razy.

Uzyskana z otworów woda podziemna jest wtłaczana w izolowane podziemne formacje albo wykorzystywana do celów irygacyjnych. Woda ta zawiera zwykle kwaśny węglan sodu i chlorki. Możliwe jest również zanieczyszczenie złoża pozostałościami cieczy-roztworów po krakingu. Roztwory te zawierają wiele substancji organicznych i nieorganicznych, przy czym występowanie w nich składowych benzolu i fenolu, obecność chlorków i tlenu, a także obecność wysokiej temperatury i ciśnienia pozwala wysunąć hipotezę o powstawaniu dioksyn w miejscu hydroszczelinowania górotworu.

Głębokość zalegania pokładów gazowych określa nie tylko jakość i zawartość metanu, ale również wpływa na jego koszty pozyskania. Przykładowo, przy płytkim zaleganiu pokładów (poniżej 300 m) gaz w procesie tworzenia się struktury geologicznej może być utracony wskutek ucieczek, dopóki węgiel nie pokryła wystarczająco nieprzenikliwa warstwa skalna. Z drugiej strony głębokość pokładów gazowych wpływa na koszty wiercenia otworów z powierzchni, którymi realizuje się drenaż metanu.

Poziom negatywnego oddziaływania różnych metod wydobywania nośników energii na składniki biosfery ocenić można – w sposób najbardziej poglądowy, uwzględniający ich cechy jakościowe – przy użyciu tabeli 1 [1-4]. W tabeli tej dla każdego sposobu wydobywania nośników energii zamieszczono rodzaje jego negatywnego wpływu na składniki biosfery (litosferę, hydrosferę itd.), jak również przedstawiono trzy podstawowe parametry tego wpływu, a mianowicie jego charakter, rozmiar i czasokres.

Tabela 1.

## Ocena jakościowa wpływu różnych rodzajów nośników energii na składowe biosfery

| Składnik biosfery    | Wskaźnik wpływu                                                           |                                                         |                               | Sposób wydobywania nośnika energii |           |          |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------|----------|
|                      | charakter                                                                 | rozmiar                                                 | czasokres                     | odkrywkowy                         | podziemny | otworowy |
| <i>Litosfera</i>     | Zajęcie znacznych powierzchni pod teren zakładu                           | Powierzchnia terenu zakładu                             | Okres funkcjonowania zakładu  | +                                  | +         | +        |
|                      | Naruszenie krajobrazu                                                     |                                                         |                               | +                                  | +         | +        |
|                      | Zabłocenie powierzchni w pobliżu zwałów zewnętrznych                      | Powierzchnia mechanicznej strefy ochronnej              | Do rekultywacji zwał          | +                                  | +         | -        |
|                      | Zanieczyszczenie zróbów złóż odpadami przemysłowymi                       | Powierzchnia zróbów                                     | Na zawsze                     | -                                  | +         | +        |
| <i>Hydrosfera</i>    | Zmiany hydro-geologicznego reżymu wód                                     | Powierzchnia terenu górniczego                          | Okres funkcjonowania zakładu  | +                                  | +         | +        |
|                      | Pogorszenie wskutek zrzutów jakości wód bieżących                         | Objętość zrzutów                                        |                               | +                                  | +         | +        |
|                      | Zanieczyszczenie wód powierzchniowych roztworami po krakingu              | Objętość wydobytych roztworów po krakingu               | Do przetworzenia roztworów    | -                                  | -         | +        |
|                      | Zanieczyszczenie złóż resztkami roztworów po krakingu                     | Objętość pozostawionych roztworów po krakingu           | Na zawsze                     | -                                  | -         | +        |
| <i>Atmosfera</i>     | Powstanie pyłu przy urabianiu węgla, transporcie, przeróbce i składowaniu | 1-2% masy urobku                                        | Okres funkcjonowania zakładu  | +                                  | +         | +        |
|                      | Awaryjne wydzielanie gazów przy pożarach                                  | Proporcjonalnie do objętości spalanej                   | Do likwidacji pożaru          | +                                  | +         | +        |
|                      | Emisja mobilnych źródeł                                                   | Zużycie paliwa                                          | Okres funkcjonowania zakładu  | +                                  | +         | -        |
|                      | Emisja źródeł stacjonarnych                                               | W granicach stref ochronno-sanitarnych od źródeł emisji |                               | +                                  | +         | -        |
|                      | Wydzielanie gazów cieplarnianych z pokładu                                | Proporcjonalnie do wielkości wydobywania węgla          | Okres funkcjonowania zakładu  | +                                  | +         | -        |
|                      | Awaryjne emisje ze zwałów skalnych                                        | Proporcjonalnie do powierzchni ognisk palenia się       | Do likwidacji pożaru na zwale | +                                  | +         | -        |
| <i>Biota</i>         | Degradacja pierwotnej bioty                                               | Powierzchnia stref ochronno-sanitarnych                 | Okres funkcjonowania zakładu  | +                                  | +         | +        |
| <i>Noosfera</i>      | Zaburzenia tła technosfery                                                | Teren zakładu przemysłowego                             |                               | +                                  | +         | +        |
|                      | Sejsmiczne uszkodzenia obiektów technosfery                               | W strefie propagacji drgań od wybuchów                  |                               | +                                  | +         | +        |
| <i>Pola fizyczne</i> | Podwyższenie radiacyjnego tła                                             | Powierzchnia zwał i poziom radiacji                     |                               | +                                  | +         | +        |
|                      | Szumowe zanieczyszczenia                                                  | Poziom szumu                                            |                               | +                                  | +         | +        |
|                      | Ciepłne emisje                                                            | Temperatura gazów i objętość urobku                     |                               | +                                  | +         | +        |

Takie podejście pozwala przedstawić skalę negatywnego oddziaływania każdego sposobu wydobywania i ocenić poszczególne aspekty zaburzenia środowiska naturalnego przy różnych technologiach wydobywania nośników energii. Na tej podstawie nietrudno przejść do ilościowej oceny wpływu ludzkiej działalności na środowisko naturalne.

Ważnym momentem analizy jest to, że pojawiają się możliwości zarządzania ryzykiem ekologicznym, powstającym w procesie realizacji robót górniczych, a także rodzą się kierunki badań naukowych zmierzające do poprawy stanu biosfery.

W oparciu o wskaźniki zawarte w tabeli 1. zauważyć można, że największe negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne występuje przy wydobywaniu nośników energii sposobem podziemnym, po nim – następnie według poziomu zanieczyszczenia – występuje wydobywanie metodą odkrywkową i na końcu – wydobywanie nośników energii metodą otworową. Otworowe technologie doskonalone są poprzez unowocześnianie robót wiertniczych (przede wszystkim wiercenia kierunkowego), wykorzystanie bezpiecznych płuczek do wiercen i krakingu, prowadzenie aktywnych, szybkich robót itp. Zapewnia to minimalną ilość odpadów stałych, w małej skali i na niedługi okres.

## 5. WNIOSKI

Według danych z początku wieku znaczna część kopalń węgla na Ukrainie znajduje się w złym stanie z punktu widzenia rentowności. Koszty własne krajowego węgla, a także awaryjność i wypadkowość są tu jednymi z najwyższych w świecie. Poprawienie sytuacji jest możliwe poprzez kompleksowe wykorzystanie zasobów kopalń, związane z przetworzeniem w produkt nie tylko węgla, ale i urobku, zawierającego skałę płoną, wilgoć oraz składniki w stanie gazowym.

Pozyskiwana w kopalni skała płonna stanowi od jednej trzeciej do połowy transportowanego strumienia urobku. Racjonalnym sposobem jej wykorzystania jest pozostawienie jej w kopalni w charakterze materiału do obudowy lub jako dodatek do mieszanin budowlanych dla budowy dróg itp. W Donbasie, gdzie wody jest pięciokrotnie mniej niż średnio na Ukrainie, wskazanym jest doprowadzenie zrzutów wód kopalnianych do takiej postaci, aby mogły być wykorzystywane do celów technicznych i nawadniających. Statystyka pokazuje, że na jedną tonę wydobytej kopaliny przypadają ponad trzy metry sześciennego wody kopalnianej.

Dobrym przyszłościowym rozwiązaniem jest wykorzystanie geotermalnej energii tak na potrzeby kopalni, jak i dla zaopatrzenia zewnętrznych użytkowników. Zaletą tego nośnika energii jest to, że nie jest on obciążony podatkiem, a jego zapasy są praktycznie niewyczerpalne – określane czasem funkcjonowania wyrobisk, przez które przemieszcza się nośnik ciepła.

Najbardziej korzystnym jest przejście na eksploatację złóż karbońskich, jako węglowo-gazowych, czyli równoległe wydobywanie zarówno metanu, jak i węgla. Według różnych ocen w złożach Donbasu skupione jest w stanie związanym od 12 do 25 trylionów m<sup>3</sup> gazu. Obecnie w najlepszym przypadku wykorzystuje się 20-25% metanu znajdującego się w górotworze i przechodzącego w stan wolny w obszarze wykonywania robót górniczych. Zwiększenie objętości utylizowanego gazu, przetwarzanego na energię elektryczną i ciepło, pozwoli obniżyć koszt węgla handlowego, zwiększyć bezpieczeństwo podziemnych robót i poprawić ekologiczne uwarunkowania sanitarno-ochronnych stref kopalń.

Stabilna, bezpieczna i ekonomicznie uzasadniona praca kopalń węgla może istotnie poprawić sytuację na wewnętrznym energetycznym rynku Ukrainy, co pozwoliłoby podnieść wskaźniki niezależności od importu nośników energii. We współczesnych warunkach jest to problematyczne, ale w dalszej perspektywie rozwiązanie tegoż problemu jest niezbędne i dlatego już teraz trzeba opracowywać strategię wprowadzania takich pomysłów.

Problem wydobywania węgla brunatnego sposobem odkrywkowym w chwili obecnej pozostaje nierozwiązany. Kopalnie odkrywkowe przedsiębiorstwa państwowego „Aleksandrijaugol” nie prowadzą wydobywania, a znaczna część unikalnego, przestarzałego wyposażenia została zlikwidowana. Większość kopalń odkrywkowych w procesie rekultywacji została przekształcona w zbiorniki wodne, a technologii produkcji paliwa płynnego, które były wykorzystywane w Niemczech pod koniec II wojny światowej, czy w RPA w okresie ostatnich czterech dekad, niestety, dotychczas na Ukrainie nie opanowano. Bez znacznych inwestycji nie należy oczekiwać szybkiego odrodzenia w tej dziedzinie.

Za najbardziej niezawodną, bliską perspektywę własnego energetycznego zabezpieczenia się Ukrainy można uważać otworową technologię wydobywania ropy naftowej i gazu. Technologia ta zapewnia najmniejsze i poddające się zarządzaniu ryzyko ekologiczne. Zwiększenie przemysłowych zasobów gazu uwzględniających nagromadzenia w piaskowcach i łupkach jest nader realne. Wydobywanie metanu kopalnianego równoległe z wydobywaniem węgla, jak



wykazuje doświadczenie kopalni im. A.F. Zasjadko, jest najbardziej perspektywicznym kierunkiem ekologicznie bezpiecznego wykorzystania złóż Ukrainy. Wdrożenie nowoczesnych technologicznych rozwiązań, takich jak wielonitkowe „wiązki” otworów kierunkowych, kraking, depresjonowanie otworów, zapewnia kilkukrotne zwiększenie ilości wydobywanego gazu przy dostatecznym poziomie bezpieczeństwa, w tym również ekologicznego.

#### Literatura

1. Ekologiczeskije problemy gornowo proizwodctwa, pierierabotka i razmieszczeniye otchodow, 1995
2. Kołokołow O., Chomienko N.: Ochrana okružajuszcziej sriedy pri podziemnoj razrabotkie miestoroždienij poliezných iskopajemych. Donieck, 1986.

3. Mirzajew G., Iwanow B.: Ekologija gornowo proizwodctwa. Niedra, 1991.
4. Piewznier M., Kostowieckij W.: Ekologija gornowo proizwodctwa. Niedra, 1990.
5. Wowk O., Isaenko W., Krawiec W., Wowk O.: Wpliw pidziemnych robot na stan dowkillia. Wyd. Ministerstwa Nauki i Sportu Młodzieży na Ukrainie, 2011.

*prof. dr hab. W. KOSTENKO*  
*Doniecki Narodowy Uniwersytet Techniczny,*  
*Ministerstwa Nauczania i Nauki Ukrainy*

*dr inż. T. KOSTENKO*  
*Czerkaski Instytut Bezpieczeństwa Pożarowego*  
*Narodowy Uniwersytet Obrony Cywilnej Ukrainy*

## Miniaturowy czujnik stykowy do lokalizacji punktów osobliwych magnetycznego pola sterującego

*Artykuł przedstawia wyniki badań (uzyskane za pomocą specjalnie zaprojektowanego czujnika stykowego dotyczące lokalizacji punktów osobliwych przestrzennego pola magnetycznego dla wybranych układów miniaturowych przekładników sterowanych przez cewki lub magnesy trwałe. Pokazano, że właściwy sposób tworzenia rozkładu pola magnetycznego sterującego umożliwia uzyskanie wysokiego stopnia integracji i miniaturyzacji konstrukcji zestykowych systemów elektromagnetycznych.*

### 1. WSTĘP

---

Rozwój technologiczny i osiągnięcia materiałowe ostatnich lat pozwalają projektantom i inżynierom na tworzenie nowych rozwiązań w dziedzinie konstrukcji urządzeń elektro-mechanicznych o wysokim stopniu miniaturyzacji i integracji. Urządzenia takie to, między innymi, złącza miniaturowe, różnego rodzaju łączniki stykowe zarówno w tzw. wersji „suchej” i zwilżanej rtęcią, jak również różnego rodzaju zawory (hydrauliczne, pneumatyczne) lub tłumiki elektromagnetyczne. Takie miniaturowe komponenty mogą być sterowane ręcznie lub automatycznie w funkcji przemieszczenia, jako dwu- lub wielopozycyjne łączniki (czujniki) oraz mono-i multistabilne przekładniki elektromagnetyczne. Obecnie ta grupa urządzeń obejmuje, na przykład, super-miniaturowe kontaktrony w obudowie szklanej o długości 5-7 mm wytwarzane w tradycyjny sposób [1, 2] oraz wyłączniki oparte na strukturze mikro- mechanicznej (tzw. MEMS), w których objętość systemu magnetycznego nie przekracza  $2\text{-}3\text{ mm}^3$  [3-5]. Do grupy tej należą też kontaktrony wykonane w technologii mikromaszynowej o wymiarach  $2\times1.4\times0.75\text{ mm}$  [6]. Firma MAGNASPHERE opracowała miniaturowe, hermetycznie izolowane elementy stykowe w metalowej obudowie, w których główna funkcja rdzenia magnetycznego jak i realizacja procesu łączenia odbywa się za pomocą kulki ferromagnetycznej o średnicy 2-3 mm [7].

We wszystkich tych urządzeniach sterowanie realizowane jest za pomocą cewek (w tym cewek elektroforetycznych) [3] lub poruszających się magnesów trwałych [6,7]. W drugim przypadku, aby zwiększyć czułość i zmniejszyć rozmiar, należy zredukować tzw. „ruch różnicowy elementu sterującego”. Użytkuje się to kosztem wzrostu gradientu pola magnetycznego wzdłuż kierunku ruchu elementu sterującego [1]. Wysokie gradienty pola występują najczęściej w obszarach bliskich punktom osobliwym, gdzie wartość natężenia pola magnetycznego jest równa zeru. Tak więc określenie lokalizacji punktów osobliwych jest bardzo ważne dla właściwego zaprojektowania konstrukcji urządzenia.

### 2. ANALIZA WYBRANYCH SYSTEMÓW MAGNETYCZNYCH, TESTY EKSPERYMENTALNE I DISKUSJA

---

Do analizy wybrano systemy magnetyczne z magnesami trwałymi sterujące miniaturowym czujnikiem stykowym, w którym zarówno funkcja rdzenia-zasadnicza, jak i łączeniowa realizowane są za pomocą kulki wykonanej z miękkiego materiału ferromagnetycznego. Dodatkowo, kulka może być zwilżona rtęcią, tak aby podnieść jakość zestyku przy bardzo małych wartościach siły docisku zestyku. W celu przeprowadzenia analizy założono, że wymiary



geometryczne kulki (nie magnesowanej wstępnie) są bardzo małe. Jeżeli wymiary te są wystarczająco małe w porównaniu z wymiarami źródła pola magnetycznego (elektromagnes lub magnes trwały), podczas gdy kulka jest równomiernie namagnesowana (za pomocą zewnętrznego pola magnetycznego) i posiada wysoką wartość względnej przenikalności magnetycznej wtedy, aby określić wartość siły  $F_z$  (działającej na kulkę wskutek oddziaływania magnetycznego pola strującego) wzdłuż kierunku  $z$ , można wykorzystać następującą zależność[9]:

$$F_z = \frac{4\pi}{\mu_0} \cdot R_b^3 \cdot B \cdot \frac{\partial B}{\partial z} \quad (1)$$

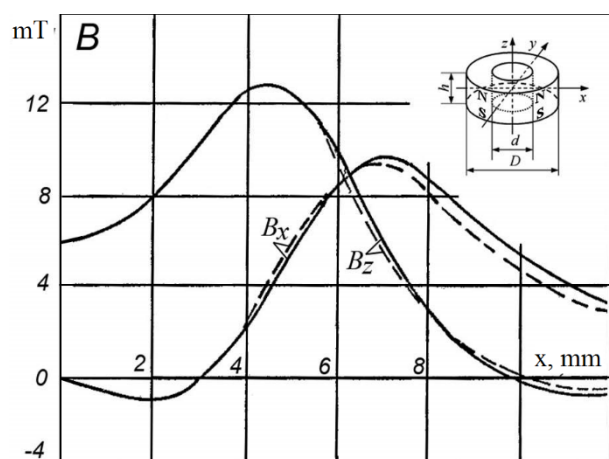
gdzie:

$\mu_0$  – przenikalność magnetyczna powietrza

$R_b$  – promień kulki

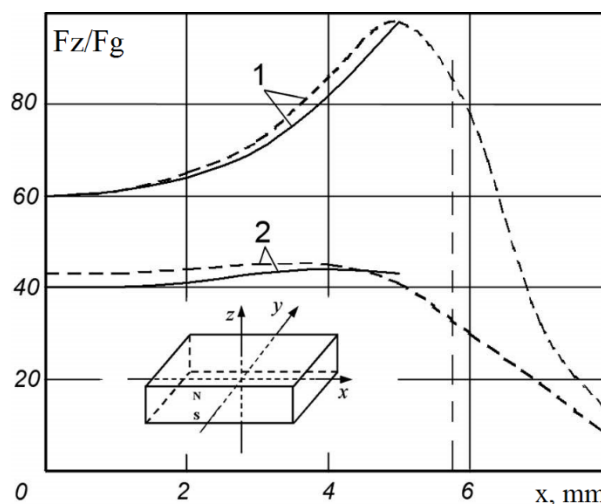
$B$  – moduł indukcji magnetycznej wektora  $B$  w analizowanym punkcie przy braku w niej kulki.

Zastosowanie powyższego wzoru przy równoczesnym wykorzystaniu wyników obliczeń rozkładu pola magnetycznego wytworzonego magnesem trwałym (stosując np. metodę zastępczych cewek równoważnych [9]) daje zadowalające wyniki z praktycznego punktu widzenia, zarówno jeśli chodzi o wartość indukcji  $B$ , jak i siły  $F_z$ . Na rysunku 1 porównano, dla przykładu, wyniki analizy teoretycznej i pomiarów rozkładu składowych wektorów  $B_x$  i  $B_z$  gęstości strumienia magnetycznego wzdłuż osi  $x$  i  $z$  dla osiowo namagnesowanego pierścieniowego



Rys. 1 Rozkład składowych  $B_x$  i  $B_z$  wzdłuż osi  $x$ , wytworzonych osiowo namagnesowanym trwałym magnesem pierścieniowym (wykonanym z materiału 1BI, o wymiarach:  $D = 11.5 \text{ mm}$ ,  $d = 7.5 \text{ mm}$ ,  $h = 4.4 \text{ mm}$ ) dla wybranego punktu o współrzędnych  $y = 0$  i  $z = 5.2 \text{ mm}$  (linie ciągłe – dane eksperymentalne, linie przerywane – obliczenia)

magnesu trwałego wykonanego z materiału 1BI o rozmiarach:  $D = 11.5 \text{ mm}$ ,  $d = 7.5 \text{ mm}$ ,  $h = 4.4 \text{ mm}$  (dla wybranego punktu o współrzędnych  $y = 0$  i  $z = 5.2 \text{ mm}$ ). Na rysunku 2, natomiast, znajdziemy rozkład (wzdłuż osi  $z$ ) obliczonych i zmierzonych wartości siły  $F_z$  spowodowanej działaniem pola magnetycznego magnesu sztabkowego ( $11.5 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} \times 11.5 \text{ mm}$ , materiał 24BA210) na metalową kulkę. Krzywe oznaczone numerem 1 dotyczą odpowiednio kulki o promieniu  $R_b = 0.5 \text{ mm}$  (dla wybranego punktu o współrzędnych  $z = 5 \text{ mm}$  i  $y = 0 \text{ mm}$ ), podczas gdy krzywe oznaczone numerem 2 – kulki o promieniu  $R_b = 1.6 \text{ mm}$  (w punkcie o współrzędnych  $z = 6.1 \text{ mm}$  i  $y = 0 \text{ mm}$ ). Krzywe przedstawione są w wartościach względnych  $F_z / F_b$  (odniesionych do masy kulki  $F_b$ ), tak aby widoczna była odporność czujnika kulkowego na wpływ zewnętrznych drgań (zakłóceń) mechanicznych.

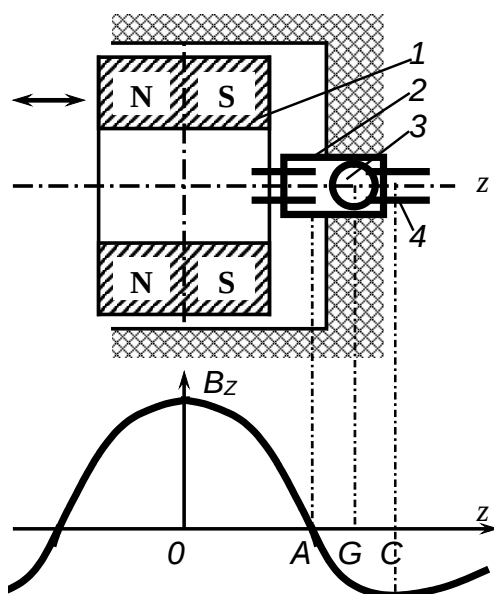


Rys. 2 Rozkład wartości siły  $F_z$  działającej na kulkę metalową wskutek oddziaływania sterującego pola magnetycznego trwałego magnesu sztabkowego (materiał 24BA210,  $11.5 \text{ mm} \times 11.5 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ ). Linie ciągłe – dane eksperymentalne, linie przerywane – obliczenia,  $F_g$  – masa kuli

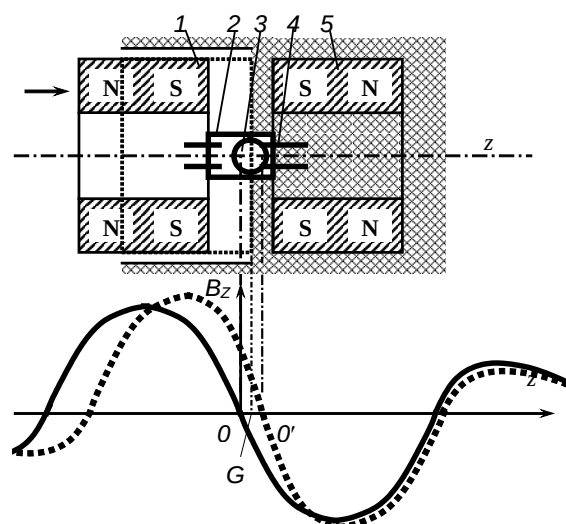
Równanie (1) pokazuje, że siła elektromagnetyczna działająca na kulkę skierowana jest w stronę wzrastającego modułu indukcji i jest równa zero w punktach, w których wartość indukcji wynosi zero lub osiąga ekstremum. Jednakże, w punktach, gdzie pojawia się maksimum, kulka jest w stanie stabilnym, podczas gdy punktach, gdzie osiąga minimum (również w punkcie osobiwym) jest niestabilna (przy przemieszczaniu się wzdłuż osi  $z$ ). Aby zwiększyć wartość siły  $F_z$  należy zwiększyć albo moduł albo gradient wektora gęstości strumienia magnetycznego. Wzrost jednak wartości indukcji jest ograniczony z powodu nasycania się elementów przewodzących strumień (generowany przez elektromagnes sterujący) lub z powodu ograniczenia

wartości energii magnetycznej magnesów stałych. Wysoki gradient, z kolei, można uzyskać poprzez właściwe zaprojektowanie struktury obwodu magnetycznego. Obwód ten powinien zapewniać właściwy rozkład wartości indukcji magnetycznej wzdłuż trajektorii ruchu kulki, ze zmieniającymi się naprzemiennie wartościami minimalnymi i maksymalnymi. Może on mieć postać na przykład, pierścieniowego magnesu trwałego namagnesowanego osiowo (rys. 3) [10]. Rysunek 3 pokazuje jedynie składową  $B_z$ , ponieważ dla symetrycznego układu osiowego składowa wzdłuż osi  $z$  jest równa wektorowi indukcji  $B$ . Jeżeli magnes (1) ma powodować przemieszczenie się zestyku kulkowego (2) wzdłuż osi  $z$ , podczas gdy środek kulki (3) znajduje się pomiędzy punktem osobliwym A i jednym z maksimów modułu indukcji (punkty 0 i C), np. w punkcie G, wtedy siła elektromagnetyczna wywierana na kulkę skierowana jest w stronę punktu C. W takiej sytuacji kulka przemieści się na prawo i spowoduje zamknięcie odpowiedniego zestyku (4). Z drugiej strony, kiedy magnes (1) przesuwają się w taki sposób, że punkt osobliwy znajdzie się po prawej stronie środka kulki, następuje zmiana kierunku siły – w stronę punktu 0. W tym przypadku kulka przemieści się skokowo i zamknie przeciwny zestyk.

Zastosowanie natomiast dwóch trwałych magnesów pierścieniowych (1) i (5), namagnesowanych osiowo lecz umieszczonych przeciwnie (rys. 4) [11], pozwala zwiększyć gradient indukcji magnetycznej w obszarze usytuowania kulki (3). Dzięki temu uzyskuje się łącznik sterowalny, zatraskowy bez konieczności użycia mechanicznej siły sprężynyzwrotnej, wskutek oddziaływania odpychających się magnesów.



Rys. 3. Sterowanie łącznikiem o zestyku kulkowym za pomocą pojedynczego pierścieniowego magnesu trwałego namagnesowanego osiowo

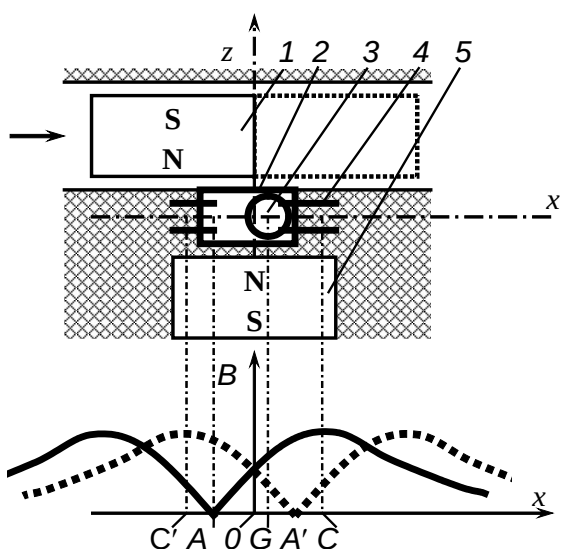


Rys. 4. Sterowanie łącznikiem o zestyku kulkowym za pomocą dwóch pierścieniowych magnesów trwałych namagnesowanych osiowo, umieszczonych współosiowo, lecz przeciwnie

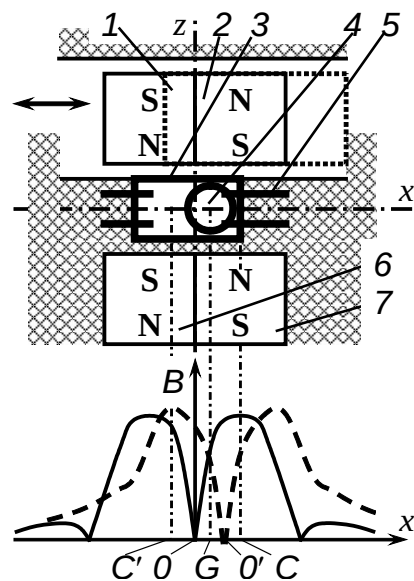
Wymagany rozkład wartości indukcji magnetycznej można uzyskać również przy pomocy trwałych magnesów płaskich. W układzie składającym się z dwóch takich magnesów (1) i (5) umieszczonych tak jak na rysunku 5 [12], rozkład modułu indukcji magnetycznej z naprzemiennymi jego maksimami i minimami występuje wzdłuż osi  $x$ . Przesunięcie punktu osobliwego z pozycji A do A' odbywa się poprzez przesunięcie magnesu (1) wzdłuż osi  $x$  (narysowanej liniami kropkowymi). Pod działaniem wówczas siły elektromagnetycznej skierowanej do punktu C (maksimum modułu indukcji) kulka (3) przemieszcza się w lewo. Podczas działania takiego łącznika interakcja magnesów trwałych (1) i (5) nie tylko spowoduje skokowe zamknięcie się zestyku kulkowego lecz również gwałtowne przemieszczenie się magnesu (1) i w efekcie jego usytuowanie się w pozycjach skrajnych.

Na rys. 6 przedstawiono układ magnesów, w którym, dzięki zastosowaniu oryginalnego składu materiałowego, uzyskuje się bardzo wysoki gradient w obszarze położenia kulki, co w istotny sposób zwiększa wartość siły elektromagnetycznej [13]. Zastosowane magnesy trwałe (1), (2), (6) i (7) umieszczone są po przeciwnych stronach zestyku kulkowego, wzdłuż osi  $x$ . Wszystkie pary biegunów magnetycznych są umieszczone naprzeciwko siebie i względem przeciwległej pary. Para magnesów (6) i (7) jest nieruchoma, zaś para magnesów (1) i (2) przemieszczana jest wzdłuż osi  $x$ , po dowolnej stronie poprzecznej osi  $z$ . W położeniu początkowym dwie pary magnesów są ułożone symetrycznie względem osi  $z$ . Minimalna (zerowa) wartość modułu indukcji magnetycznej (punkt osobliwy) występuje w punkcie 0. Z tego

powodu kulka (4) nie może utrzymać się w tym punkcie niestabilnej równowagi i przesuwa się do jednej z pozycji krańcowych, na przykład na prawo do punktu C o maksymalnej wartości indukcji zamykając tym samym zestyk (5). Jeżeli zaś para magnesów (1) – (2) przemieści się w prawo (linia kropkowana na rys. 6), to punkt osobliwy ( $O'$ ) przesunie się w prawo w kierunku środka kulki (4) (punkt G). W rezultacie, siła elektromagnetyczna będzie skierowana do punktu C z maksymalną indukcją. Dlatego też kulka (4) przesuwa się w lewo i przełączy zestyk.

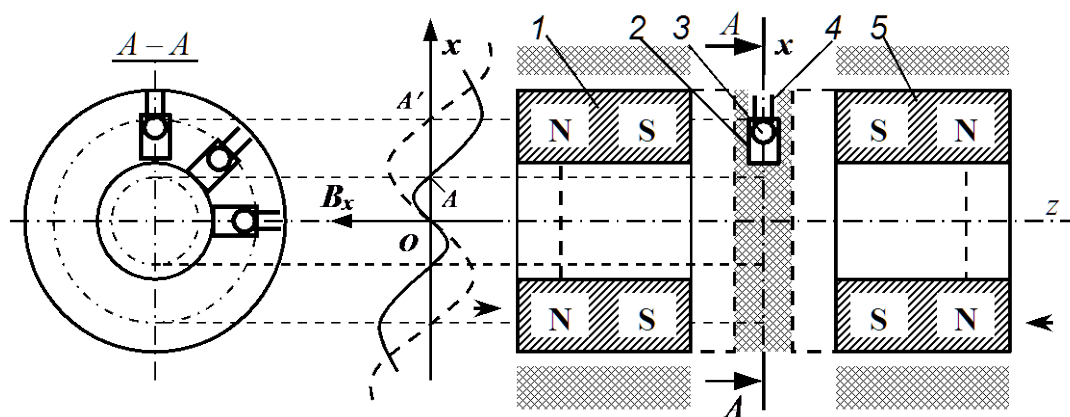


Rys. 5. Magnetyczny czujnik zestykowy sterowany za pomocą dwóch trwałych magnesów sztabkowych



Rys. 6. Magnetyczny czujnik zestykowy sterowany za pomocą czterech trwałych magnesów sztabkowych

Po uwolnieniu, przesuwaną się parę magnesów (1) – (2) wraca natychmiast do pozycji stabilnej (wielofunkcyjne urządzenie bistabilne). Należy jednak zauważyć, że długość ruchu pary magnesów (1) – (2) powinna być mniejsza niż długość ruchu jednego magnesu wzdłuż osi  $x$ . W przeciwnym bowiem przypadku, samoczynny powrót magnesów do położenia początkowego nigdy niewystąpi.



Rys. 7. Wielostykowy łącznik sterowany za pomocą dwóch trwałych magnesów pierścieniowych namagnetyzowanych osiowo, ułożonych współosiowo i przeciwsobnie

Przełącznik wielostykowy przedstawiony na rys. 7 składa się z dwóch ruchomych (wzdłuż osi  $z$ ) pierścieniowych magnesów trwałych (1) i (5) oraz kilku kontaktów nieruchomych (2) ułożonych wzdłuż obwodu [11]. W tym przypadku maksima i minima modułu indukcji magnetycznej pojawiają się jedno po drugim wzdłuż osi  $x$ ; przy czym oś  $x$  to jakakolwiek

oś przechodząca promieniowo przez odstęp pomiędzy magnesami (1) i (5). Krzywe przechodzące przez punkty A-A' oznaczają (w przestrzeni trójwymiarowej) rozkład geometryczny punktów osobliwych. W początkowym położeniu magnesów, obszar odpowiadający punktowi osobliwemu A jest przesunięty od kulki (3) w kierunku osi  $z$ , podczas gdy siła elek-

tromagnetyczna – w odwrotnym kierunku (w kierunku maksymalnej wartości indukcji). Zbliżając się do magnesów (wzdłuż kropkowanych linii), punkt osoblwy i jego lokalizację przesuwają się w kierunku położenia A' i są umieszczane po drugiej stronie od środka kulki. Siła elektromagnetyczna również zmienia kierunek, tym samym przemieszczając kulkę.

Wykorzystanie wyżej omówionej zasady sterowania czujnikiem zestykowym kulkowym pozwala zaprojektować i wykonać dowolny rodzaj przekaźnika elektromagnetycznego [14]. Źródłem siły napędowej (sterującej) w tym przypadku mogą być zarówno cewki płaskie, jak i trójwymiarowe. Wymagane położenie jak i oczekiwane przemieszczanie się punktów osoblwych jest w tym przypadku realizowane poprzez odpowiedni dobór wartości prądów w uzwojeniach sterujących.

### 3. PODSUMOWANIE

Właściwe zaprojektowanie i wykonanie elektromagnetycznego urządzenia zestykowego o wysokim stopniu integracji wymaga zapewnienia zarówno wysokiej wartości jak i właściwego rozkładu przestrzennego sterującego pola magnetycznego z odpowiednią lokalizacją punktów pojedynczych. Odpowiedni rozkład punktów osoblwych można uzyskać zarówno poprzez wybór odpowiedniego kształtu i wymiarów magnesu trwałego jak i właściwości jego materiału magnetycznego. Można to również zrealizować poprzez odpowiednie ułożenie magnesów względem siebie, albo przez wymuszenie odpowiednich wartości i przebiegów prądów w cewce/cewkach napędowych (sterujących), wykonanych dowolną techniką, w tym techniką naparowywania materiału wiązką elektronową. Różnego typu nowoczesne konstrukcje miniaturowych łączników zestykowych i przekaźników elektromechanicznych można więc uzyskać przy pomocy miniaturowego kulkowego czujnika zestykowego stosując odpowiednie jego sterowanie.

### Literatura

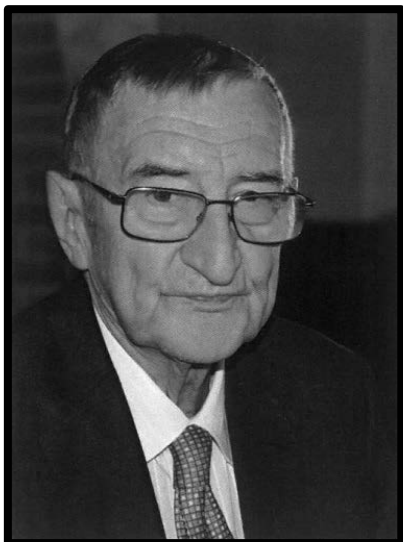
1. S.M. Karabanov, R.M. Maizels, V.N. Shoffa: *Reed switches and equipment on their basis*. Monograph, Publishing House "Intelekt", 2011 (ros.)
2. V.N. Shoffa: *Design principles and properties of miniature and sub-miniature reed switches*. Proc. of 2<sup>nd</sup> Int. Conf., 2008, Publishing House "Poligraph", 2009 (ros.)
3. V. Varadan, K. Vinoj, K. Dzoze: *High Frequency MEMS and their applications*. Technosfera, Moskva, 2004 (ros.)
4. M. Ruan, J. Shen, C. Wheeler: *Latching microelectromagnetic relays*. Sensors and Actuators A: Physical, 2001, 91(3) pp. 346-350
5. F. Gueissaz, D. Piguet: *The microreed and ultra-small passive mems magnetic proximity sensor designed for portable applications*. Proc. of 14<sup>th</sup> IEEE Conf. Micro Electro Mechanical Systems, MEMS, 2001
6. H. Torosawa, N. Arima: *Reed switches developed using micro-machine technology*. OKI Technical Review, 2005, Issue 202, vol 72, No 2, pp. 76-79
7. www.magnasphere.com. Revised 10/24/2007,
8. V.N. Shoffa.: *Analysis of magnetic fields of electrical apparatus*. Monograph, MEI 1994 (ros.)
9. V.N. Shoffa, V.N. Cicerjukin: *Analysis of magnetic systems of multifunctional all-or nothing devices implementing the method of equivalent solenoid*. Elektricitstvo, 1988, No 4, pp.77-80 (ros.)
10. V.N. Shoffa. V.N. Cicerjukin: Switch. UdSSR patent 1032492, published No 28, 1983 (ros.)
11. V.N. Shoffa, V.N. Cicerjukin: Switch. UdSSR patent 1072131, published No 5, 1984 (ros.)
12. V. N. Cicerjukin, V.N. Shoffa: Switch. UdSSR patent 1164804, published No 24, 1985 (ros.)
13. V.N. Cicerjukin, V.N. Shoffa, V.S. Zareckas, G.V. Pikutis: Switch. UdSSR 1399834, published No 20, 1988, (ros.)
14. V.N. Cicerjukin., V.N. Shoffa: Commutator. UdSSR patent 1592877, published No 34, 1990 (ros.)

V.N.SHOFFA, V.N. CICERJUKIN,  
Moscow Power Engineering Institute  
National Research University,  
ul. Krasnokazarmennaya 14, Moskwa 111250, Rosja  
shoffavn@mail.ru

prof. dr hab. inż. B. MIEDZINSKI  
dr inż. A. KOZŁOWSKI, dr inż. J. WOSIK  
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG  
ul Leopolda 31, 40-189 Katowice  
{b.miedzinski, a.kozlowski, j.wosik}@ibemag.pl

# **prof. zw. dr hab. inż. Andrzej Grzywak**

## **16.04.1931 – 17.08.2016**



Dnia 17 sierpnia 2016 roku zmarł Profesor Andrzej Grzywak – twórca inżynier, naukowiec, nauczyciel akademicki, specjalista z zakresu elektroniki, informatyki, budowy komputerów i sieci komputerowych, współorganizator produkcji pierwszych polskich komputerów do zastosowań przemysłowych oraz inicjator, współtwórca i realizator wielu innowacyjnych rozwiązań układowych i konstrukcyjnych urządzeń i wyposażenia do sterowania i automatyzacji procesów produkcyjnych w przemyśle wydobywczym.

Człowiek o dużej wiedzy, bogatym doświadczeniu zawodowym, organizacyjnym i życiowym, uczciwy i nieprzysięgający większej wagi do dóbr materialnych oraz wszelkiego rodzaju układów o zabarwieniu partyjno-politycznym.

Jego domeną i pasją życiową było tworzenie i wdrażanie do praktyki nowoczesnych rozwiązań wyposażenia i technologii z zakresu informatyki, sterowania i automatyzacji procesów produkcyjnych oraz przygotowanie kadry technicznej i naukowej w tym zakresie.

Andrzej Grzywak urodził się 16.04.1931 r. w Krakowie, szkołę średnią ukończył w Katowicach, dyplom mgr inż. automatyka uzyskał w 1954 roku na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W 1960 roku na tej samej uczelni uzyskał stopień doktora nauk technicznych, a w 1971 roku na Wydziale Automatyki i Informatyki Politechniki Śląskiej stopień naukowy doktora habilitowanego.

W 1975 roku Rada Państwa nadała Andrzejowi Grzywakowi tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego, a w 1990 roku uzyskał nominację na profesora zwyczajnego.

W latach 1954-1976 na początku, jako magister inż., a pod koniec, jako profesor i zastępca dyrektora ds. naukowych Andrzej Grzywak był zatrudniony w Zakładach Konstrukcyjno-Mechanizacyjnych Przemysłu Węglowego i Centrum EMAG w Katowicach, gdzie wykonywał, organizował i prowadził prace badawcze, projektowe, konstrukcyjne i wdrożeniowe z zakresu systemów sterowania i automatyzacji procesów produkcyjnych w górnictwie.

Był inicjatorem i twórcą wyspecjalizowanego Pionu Naukowo-Badawczego ds. Automatyzacji w ZKMPW, w którym opracowywano, wykonywano i wdrażano do eksploatacji w KWK nowatorskie rozwiązania i konstrukcje środków technicznych i systemów do sterowania, automatyzacji i zabezpieczenia procesów produkcyjnych w górnictwie.

W latach 1976-1988 Prof. Andrzej Grzywak pracował na stanowisku Zastępcy Dyrektora ds. Naukowych w Instytucie Systemów Sterowania w Katowicach, gdzie inicjował, organizował prace badawcze, konstrukcyjne z zakresu budowy komputerów i sieci komputerowych oraz bezpośrednio brał udział w uruchomieniu produkcji maszyn cyfrowych MKJ-25 i MERA 60.

Od 1977 roku Prof. Andrzej Grzywak przemienił, a w pewnych okresach równolegle, do zatrudnienia w ISS prowadził na Wydziale Automatyki i Informatyki Politechniki Śląskiej wykłady, seminaria, prace dyplomowe, prace doktorskie, prace badawcze i projektowe z zakresu budowy maszyn cyfrowych oraz systemów informatycznych, będąc jednocześnie Zastępcą Dyrektora ds. Naukowych w Instytucie Informatyki oraz pełniąc podczas jednej kadencji funkcję Prodziekana na Wydziale Automatyki i Informatyki.

Po 2000 roku Prof. Andrzej Grzywak w Wyższej Szkole Biznesu w Dąbrowie Górniczej zorganizował i uruchomił specjalność z elektroniki i informatyki, prowadził wykłady i prace badawcze podobne jak na Politechnice Śląskiej oraz pełnił zaszczytną funkcję Prorektora i Rektora w tej uczelni.

Prof. Andrzej Grzywak był Człowiekiem niezwykle pracowitym i twórczym, czego potwierdzeniem jest Jego bogaty dorobek naukowy, wynalazczy, publikacyjny oraz działalność dydaktyczna, organizacyjna, która przyczyniła się do wykształcenia wielu pokoleń inżynierów elektroników i informatyków oraz przygotowania młodej kadry naukowej tej specjalności.

Prof. Andrzej Grzywak był promotorem 23 prac doktorskich, 70 recenzji prac doktorskich, 20 recenzji prac habilitacyjnych, 3 recenzji do wniosków o tytuł naukowy profesora, 10 recenzji do wydawnictw książkowych. Jest autorem 129 i współautorem 61 artykułów i komunikatów naukowych oraz kilkunastu monografii naukowych i twórcą 8 patentów.

Autorytet naukowy, rzetelna i zawsze odpowiedzialna praca i działalność Profesora sprawiły, że był On:

- Przewodniczącym Rady Naukowej Instytutu Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN,
- Członkiem Międzynarodowego Komitetu ICAMC oraz Krajowego PCAMC,
- Członkiem światowej organizacji International Federation for Information Processing,
- Członkiem Rady Polskiej Izby Gospodarczej I Zaawansowanych Technologii,
- Założycielem i Członkiem Polskiego Towarzystwa Informatycznego,
- Przewodniczącym Rady Naukowej w ISS oraz Członkiem Rady Naukowej w Centrum EMAG.

Za osiągnięcia w pracy naukowej, dydaktycznej, badawczej i wdrożeniowej Prof. Andrzej Grzywak uzyskał wiele nagród, wyróżnień i odznaczeń jak między innymi:

- Nagrodę Państwową I-go stopnia,
- Nagrody Przewodniczącego KN i T,
- Nagrody Ministra Przemysłu Maszynowego,
- Nagrody Rektora Politechniki Śląskiej,
- Srebrny, Złoty Krzyż Zasługi, Krzyż Kawalerski OOP, Krzyż Oficerski OOP i wiele innych.

Wiedza, uporządkowany, wysoce rozważny i odpowiedzialny styl pracy, rzadko spotykana umiejętność inicjowania i organizacji pracy w zespołach badawczych i naukowych sprawiają, że Prof. Andrzej Grzywak był i pozostanie w pamięci, jako Człowiek Prawy i Autorytet nie tylko wśród grona Jego wychowanków, współpracowników uczelni, ale także wśród szerokiego grona automatyków i informatyków, pracujących w kopalniach, zapleczu naukowo-badawczym, biurach projektowych, fabrykach sprzętu elektronicznego i informatycznego oraz organizacjach i stowarzyszeniach naukowo badawczych.

*doc. dr inż. Franciszek Szczucki*



