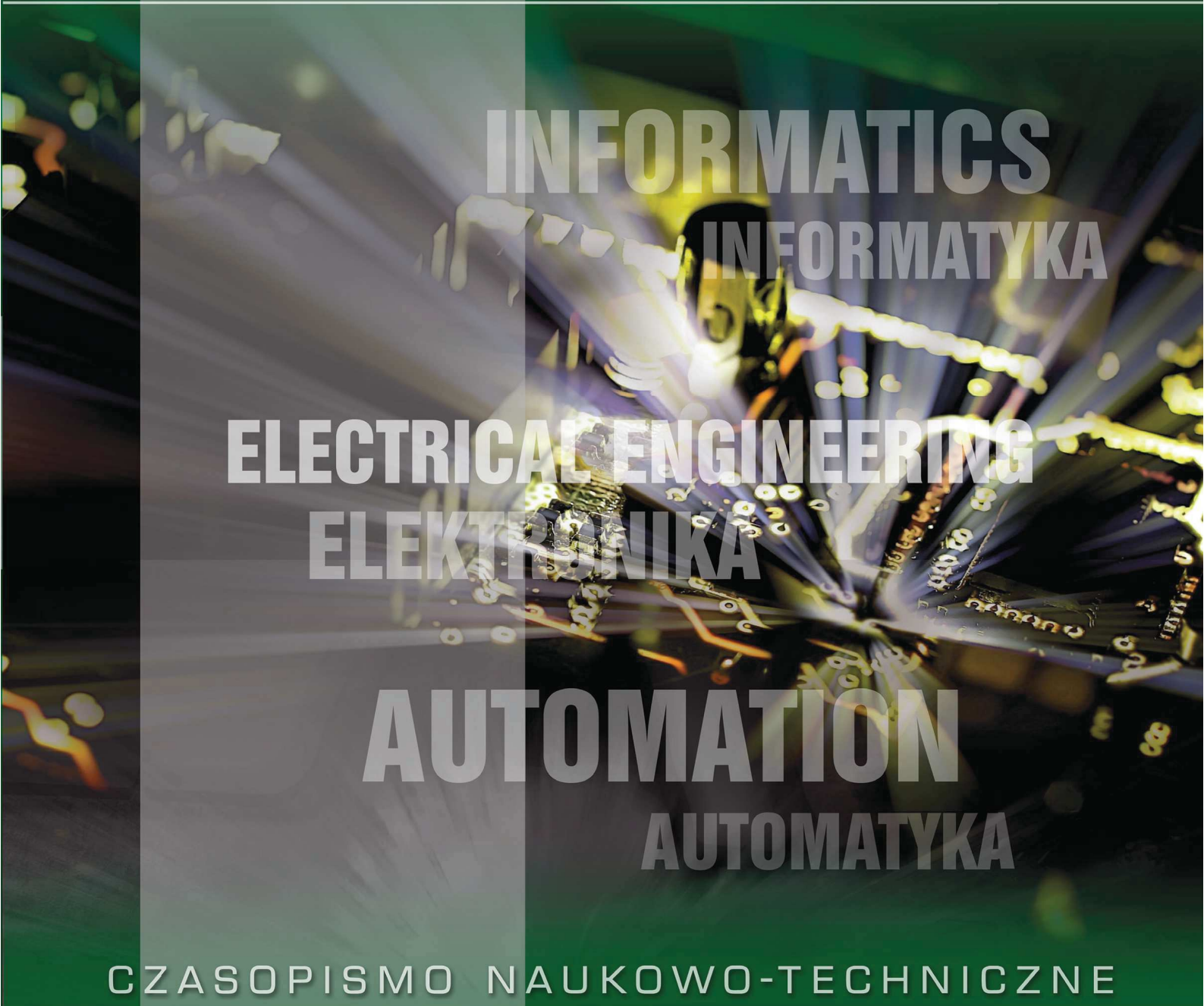


2 (534) 2018

Mining

INFORMATICS AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL



INFORMATICS
INFORMATYKA

ELECTRICAL ENGINEERING
ELEKTRYKA

AUTOMATION
AUTOMATYKA

CZASOPISMO NAUKOWO-TECHNICZNE

Mining – Informatics Automation and Electrical Engineering

TECHNOLOGICAL PROCESSES

MECHANICS

BUILDING AND EXPLOATATION OF MACHINES

POWER ELECTRONICS

AUTOMATION

ROBOTICS

APPLIED IT

TELECOMMUNICATIONS

SAFETY

PROCESY TECHNOLOGICZNE

MECHANIKA

BUDOWA I EKSPLOATACJA MASZYN

ENERGOELEKTRONIKA

AUTOMATYKA

ROBOTYKA

INFORMATYKA STOSOWANA

TELEKOMUNIKACJA

BEZPIECZEŃSTWO

MINING – INFORMATICS, AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING
Published since 1962

DOI: <http://dx.doi.org/10.7494/miag>

Chairman of the Scientific Board/Przewodniczący Rady Naukowej:
Antoni Kalukiewicz, AGH University of Science and Technology, Kraków (Poland)

Secretary of the Scientific Board/Sekretarz Rady Naukowej:
Krzysztof Krauze, AGH University of Science and Technology, Kraków (Poland)

Members of the Scientific Board/ Członkowie Rady Naukowej:
Darius Andriukaitis, Kaunas University of Technology, Kaunas (Lithuania)
Naj Aziz, University of Wollongong, Wollongong (Australia)
Edward Chlebus, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław (Poland)
George L. Danko, University of Nevada, Reno (USA)
Krzysztof Filipowicz, Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)
Jiří Fries, Technical University of Ostrava, Ostrava (Czech Republic)
Leonel Heradia, EAFIT University, Medellín (Columbia)
Dou Lin-ming, China University of Mining and Technology, Xuzhou (China)
Arkadiusz Mężyk, Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)
Joseph Molnar, University of Miskolc, Miskolc (Hungary)
Jacek Paraszczak, Laval University, Quebec (Canada)
Sorin Mihai Radu, University of Petrosani, Petrosani (Romania)
Yuan Shujie, Anhui University of Science and Technology, Huainan (China)
Marek Sikora, Institute of Innovative Technologies EMAG, Katowice (Poland)
Radosław Zimroz, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław (Poland)

Editorial staff/ Redakcja czasopisma:
Editor in Chief/ Redaktor naczelny – *Krzysztof Krauze*
Deputy Editor in Chief/ Zastępca redaktora naczelnego – *Krzysztof Kotwica*
Managing Editor/ Kierownik redakcji – *Marcin Mazur*

Associate editors/ Redaktorzy tematyczni:
Waldemar Korzeniowski (technological processes/ procesy technologiczne)
Łukasz Bółoz (mechanics/ mechanika)
Jacek Feliks (building and exploitation of machines/ budowa i eksploatacja maszyn)
Tomasz Siostrzonek (power electronics/ energoelektronika)
Waldemar Rączka (automation/ automatyka)
Tomasz Buratowski (robotics/ robotyka)
Ryszard Klempka (applied IT/ informatyka stosowana)
Elżbieta Bereś-Pawlik (telecommunications/ telekomunikacja)
Tomasz Wydro (safety/ bezpieczeństwo)

Proofreading/ Redaktor językowy – *Aleksandra Kozak*
Technical Editor/ Redaktor techniczny – *Kamil Mucha*
Webmaster/ Redaktor strony internetowej – *Paweł Mendyka*

PUBLISHER
Publishing Manager/ Redaktor naczelny Wydawnictw AGH: *Jan Sas*

Linguistic Corrector/ Korekta językowa: *Bret Spainhour* (English/ język angielski), *Kamila Zimnicka-Warchol* (Polish/ język polski)

Desktop Publishing/ Skład komputerowy: *Andre*

Cover Design/ Projekt okładki i strony tytułowej: *ROMEDIA-ART*

© Wydawnictwa AGH, Kraków 2018

ISSN 2449-6421 (online)
ISSN 2450-7326 (printed)

The electronic version of the journal is the primary one.
Number of copies: 65

Wydawnictwa AGH (AGH University of Science and Technology Press)
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel. 12 617 32 28, 12 636 40 38
e-mail: redakcja@wydawnictwoagh.pl
<http://www.wydawnictwo.agh.edu.pl>

Table of Contents

Leszek Żyrek, Wojciech Zasadni, Jan Lubryka, Dawid Jendroska

Mobile lighting of passenger and material monorails stations	7
Mobilne oświetlenie stacji osobowych i materiałowych kolejek podwieszonych	12

Przemysław Kędzierski

Review of electrostatic hazards in hard coal mining	17
Przegląd zagrożeń od elektryczności statycznej w górnictwie węgla kamiennego	24

Edward Pieczora, Piotr Dobrzaniecki

About requirements for diesel drives used in hard coal mine underground workings	31
O wymaganiach dla napędów spalinowych do podziemnych wyrobisk kopalń węgla kamiennego	40

Gábor Ladányi

Condition monitoring experiences of machines in Hungarian Márkushegy underground mine	49
Doświadczenia związane z monitoringiem stanu maszyn w węgierskiej kopalni Márkushegy	54

Łukasz Bołoz

Longwall shearers for exploiting thin coal seams as well as thin and highly inclined coal seams	59
Kombajny ścianowe do eksploatacji cienkich oraz cienkich i silnie nachylonych pokładów węgla kamiennego	66

Katarzyna Midor, Witold Biały, Juraj Ružbarský

Significance of chain quality in work safety	73
Znaczenie jakości łańcuchów dla bezpieczeństwa pracy	79

ABSTRACTS

LESZEK ŻYREK
WOJCIECH ZASADNI
JAN LUBRYKA
DAWID JENDROSKA

MOBILE LIGHTING OF PASSENGER AND MATERIAL MONORAILS STATIONS

In this article, the authors present the Becker-Warkop company innovative technology development of mobile lighting for passenger and material stations as well as routes during the passage of a suspended monorail. As part of the paper, a technical solution was presented along with its configuration options. The paper also includes standard requirements along with a description of the experiences and good practices obtained during the implementation of this technology.

PRZEMYSŁAW KĘDZIERSKI

REVIEW OF ELECTROSTATIC HAZARDS IN HARD COAL MINING

Electrostatic hazards are considered a category of technical hazards occurring in hard coal mining. These hazards are related to the generation of excess electric charges forming as a result of most technological processes. Products manufactured from plastics that are classified as non-antistatic materials pose the greatest hazard.

The article discusses the Polish and European legal regulations concerning the requirements for materials regarding their antistatic properties. It also presents the results of studies conducted at GIG concerning the systematization of the antistatic processing of plastics. Furthermore, the article proves that the procedure of applying antistatic properties to plastics is neither easy nor homogeneous. The introduced antistatic processing systematics (i.e., the identification of various antistatic processing realization methods) is meant to make both the manufacturers and customers aware of the various (often undesired) properties of modified plastics.

EDWARD PIECZORA
PIOTR DOBRZANIECKI

ABOUT REQUIREMENTS FOR DIESEL DRIVES USED IN HARD COAL MINE UNDERGROUND WORKINGS

Due to the rapid increase of using transportation machines with diesel drives in hard coal mine underground workings, the technical and operational requirements for these drives are analyzed. The ambiguity of the European Union requirements regarding the emission of exhaust gases is indicated. The planned scope of work to meet the requirements given in the Diesel Engine Directive for drives intended to be installed in mobile machines operating in mine workings in atmospheres potentially threatened by methane and/or flammable dust explosion hazards is given.

GÁBOR LADÁNYI

CONDITION MONITORING EXPERIENCES OF MACHINES IN HUNGARIAN MÁRKUSHEGY UNDERGROUND MINE

This paper presents the results obtained during the years of vibration and current signature monitoring at the Márkushegy mining

STRESZCZENIA

LESZEK ŻYREK
WOJCIECH ZASADNI
JAN LUBRYKA
DAWID JENDROSKA

MOBILNE OŚWIETLENIE STACJI OSOBOWYCH I MATERIAŁOWYCH KOLEJEK PODWIESZONYCH

W artykule przedstawiono opracowaną przez firmę Becker-Warkop sp. z o.o. innowacyjną technologię mobilnego oświetlenia stacji osobowych i materiałowych oraz trasy podczas przejazdu kolejek podwieszonych z napędem własnym. Omówiono rozwiązanie techniczne wraz z jego możliwościami konfiguracyjnymi, a także wymagania normowe wraz z opisem doświadczeń i dobrych praktyk pozyskanych podczas wdrożeń tej technologii.

PRZEMYSŁAW KĘDZIERSKI

PRZEGLĄD ZAGROZEŃ OD ELEKTRYCZNOŚCI STATYCZNEJ W GÓRNICTWIE WĘGLA KAMIENNEGO

Zagrożenia wywołane elektrycznością statyczną są zaliczane do zagrożeń technicznych występujących w górnictwie węgla kamiennego. Zagrożenia te związane są z powstaniem nadmiarowego ładunku elektrycznego, będącego skutkiem większości czynności technologicznych. Największe zagrożenie stanowią wyroby z tworzyw sztucznych, kwalifikowanych jako materiały nieantyelektrostatyczne. Omówiono regulacje europejskiego i polskiego prawa dotyczące wymagań dla materiałów w zakresie ich właściwości antyelektrostatycznych. Przedstawiono wyniki badań prowadzonych w GIG pod kątem usystematyzowania procesu antystatyzacji tworzyw sztucznych. Udowodniono, że proces nadania tworzywu sztuczному właściwości antyelektrostatycznych nie jest łatwy i jednorodny. Wprowadzona systematyka procesu antystatyzacji, czyli identyfikacja różnych metod realizacji procesu antystatyzacji, ma na celu uświadomienie producentom i odbiorcom istnienia wielu, często niepożądanych, właściwości modyfikowanych tworzyw sztucznych.

EDWARD PIECZORA
PIOTR DOBRZANIECKI

O WYMAGANIACH DLA NAPĘDÓW SPALINOWYCH DO PODZIEMNYCH WYROBISK KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO

Mając na uwadze ciągle wzrost zastosowań urządzeń transportowych z napędem spalinowym w podziemiach kopalń węgla kamiennego, dokonano analizy wymagań technicznych i eksploatacyjnych ww. napędu. Wskazano na niejednoznaczność obowiązujących unijnych wymagań w zakresie emisji spalin. Przedstawiono zakres prac, jakie należy podjąć w celu spełnienia wymagań określonych w dyrektywie spalinowej dla napędów przeznaczonych do maszyn mobilnych eksploatowanych w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu.

GÁBOR LADÁNYI

DOŚWIADCZENIA ZWIĄZANE Z MONITORINGIEM STANU MASZYN W WĘGIERSKIEJ KOPALNI MÁRKUSHEGY

Artykuł przedstawia uzyskane w ciągu kilku lat wyniki monitorowania drgań i podpisu prądu silników w kopalni w Márkushegy

plant before its final closure. The large amount of recorded data has been used for a statistical analysis that is useful for deriving conclusions regarding the incidence of different kinds of faults occurring at the main underground and surface equipment of an underground coal mine. The importance of an inter-inspection time period on the capability of monitoring to increase up-times is revealed. The gained experience that is disseminated in the paper could be a valuable guideline for designing the condition-based maintenance of operating mines

ŁUKASZ BOŁOZ

LONGWALL SHEARERS FOR EXPLOITING THIN COAL SEAMS AS WELL AS THIN AND HIGHLY INCLINED COAL SEAMS

Due to a number of advantages, mechanized longwall systems are applied to exploit seams characterized by a wide range of thicknesses. In the case of thin seams as well as thin and highly inclined ones, there are numerous solutions for longwall shearers that allow for the exploitation of coal seams with a minimum thickness of 0.4 m and a gradient of up to 85°. The article focuses on longwall systems designed for such seam mining. The most important assumptions and advantages of longwall exploitation are presented, and mining machines that are key elements of mechanized longwall systems are discussed. Attention has also been drawn to the various solutions of shearers that are currently used on the domestic market. A wide range of available solutions allowed for distinguishing and presenting ten types of shearers.

KATARZYNA MIDOR
WITOLD BIAŁY
JURAJ RUŻBARSKÝ

SIGNIFICANCE OF CHAIN QUALITY IN WORK SAFETY

From the point of view of the working environment, the quality of the chain used in lifting devices is very important. An important element in hoists and cranes is the short link chain, which largely affects the safety of the worker operating the crane. The article discusses the basic elements affecting the quality and safety of a chain. This analysis clearly shows that, when choosing a supplier, users of these products should be guided not only by the price but, above all, the certificates and attestations that the manufacturer provides for the product.

przed jej zamknięciem. Do analizy statystycznej użyto dużą ilość zarejestrowanych danych, które posłużyły do wyciągnięcia wniosków co do częstości występowania różnego rodzaju awarii sprzętu na dole i na powierzchni kopalni węgla. Wykazano znaczenie okresu kontroli dla możliwości monitoringu w celu zwiększenia czasu pracy urządzeń. Zdobyte doświadczenie, które zostało zaprezentowane w niniejszej pracy, może dostarczyć cennych wskazówek, przydatnych w planowaniu prac konserwacyjnych w kopalni na podstawie oceny stanu.

ŁUKASZ BOŁOZ

KOMBAJNY ŚCIANOWE DO EKSPLOATACJI CIENKICH ORAZ CIENKICH I SILNIE NACHYLONYCH POKŁADÓW WĘGLA KAMIENNEGO

Zmechanizowane kompleksy ścianowe ze względu na ich wiele zalet stosowane są do eksploatacji pokładów z dużej rozpiętości miąższości. W przypadku pokładów cienkich oraz cienkich i silnie nachylonych można wyróżnić wiele odmiennych rozwiązań kombajnów ścianowych pozwalających na eksploatację węgla z pokładów o grubości od 0,4 m i przy nachyleniu podłużnym do 85°. W artykule skupiono się na ścianowych systemach eksploatacji tych pokładów. Przedstawiono najważniejsze założenia i zalety eksploatacji ścianowej oraz omówiono stosowane maszyny urabiające stanowiące kluczowy element ścianowych systemów mechanicznych. Zwrócono również uwagę na rozwiązania kombajnów, które obecnie nie są stosowane na rynku krajowym. Szeroka gama dostępnych rozwiązań pozwoliła wyróżnić i zaprezentować dziesięć typów kombajnów.

KATARZYNA MIDOR
WITOLD BIAŁY
JURAJ RUŻBARSKÝ

ZNACZENIE JAKOŚCI ŁAŃCUCHÓW DLA BEZPIECZEŃSTWA PRACY

Jakość zastosowanego łańcucha w urządzeniach dźwigowych ma bardzo duże znaczenie w środowisku ich pracy. Ważnym eksploatacyjnym elementem we wciągarkach i wciągarkach łańcuchowych jest łańcuch o ogniwach krótkich, który stanowi w dużej mierze o bezpieczeństwie pracownika obsługującego dźwignię. W artykule omówiono podstawowe elementy wpływające na jakość i bezpieczeństwo łańcucha. Z analizy jednoznacznie wynika, iż użytkownicy tych produktów przy wyborze dostawcy nie powinni sugerować się tylko ceną, ale przede wszystkim certyfikatami i atestami produktu.

LESZEK ŻYREK
WOJCIECH ZASADNI
JAN LUBRYKA
DAWID JENDROSKA

Mobile lighting of passenger and material monorails stations

In this article, the authors present the Becker-Warkop company innovative technology development of mobile lighting for passenger and material stations as well as routes during the passage of a suspended monorail. As part of the paper, a technical solution was presented along with its configuration options. The paper also includes standard requirements along with a description of the experiences and good practices obtained during the implementation of this technology.

Key words: *mobile lighting, suspended monorail, experience, practice*

1. INTRODUCTION

The innovative solution proposed by Becker-Warkop is a direct response to the specific needs of our customers in the area of lighting for mobile and material stations. The mobile lighting of the station gives the possibility of eliminating standalone lighting by using lamps mounted on passenger cabins and transport sets of suspended monorail machines [1]. The use of this lighting technology and the possibility of using it not only at the stations but also during the length of the entire driven routes significantly increases the safety as well as the economic and energy efficiency of the mine. This solution is protected by a patent. Below, we present its details and best practices.

2. SOLUTION DESCRIPTION

Standard standalone lighting of material and personal stations requires constant rebuilding as work progresses. An additional aspect in favor of mobile lighting is the fact that, after the installation of stationary lighting, it works all of the time (not only when it is actually needed), which is the reason for generating

increased costs for energy and the consumption of lighting lamps.

The use of the mobile lighting of suspended monorails with their own drives eliminates the use of electrical devices and power lines from mining routes at risk of explosion, thus increasing the level of anti-explosive safety. To obtain the functionality of mobile lighting for a suspended monorail, the following devices are needed:

- UZOD-02 additional lighting supply system,
- type ŚWIT-14 / MOD [2] lamps (lighting for passenger stations) and type OLR-1-18 / MOD [3] (lighting for material stations) lamps,
- KS-01/1/5 control box in cabins,
- flameproof connectors of PC220 series.

Thanks to these devices, it is possible to implement changes to the power supply system of the machine and add an optional supply of UZOD-02 lighting, thanks to which we obtain the effect presented in Figure 1.

The functionality that is obtained through the use of this solution is to illuminate passenger and/or material stations as well as selected places on the route of the monorail through the mine. Figure 2 shows the placement of an additional UZOD-2 system on the motor part of a suspended monorail.

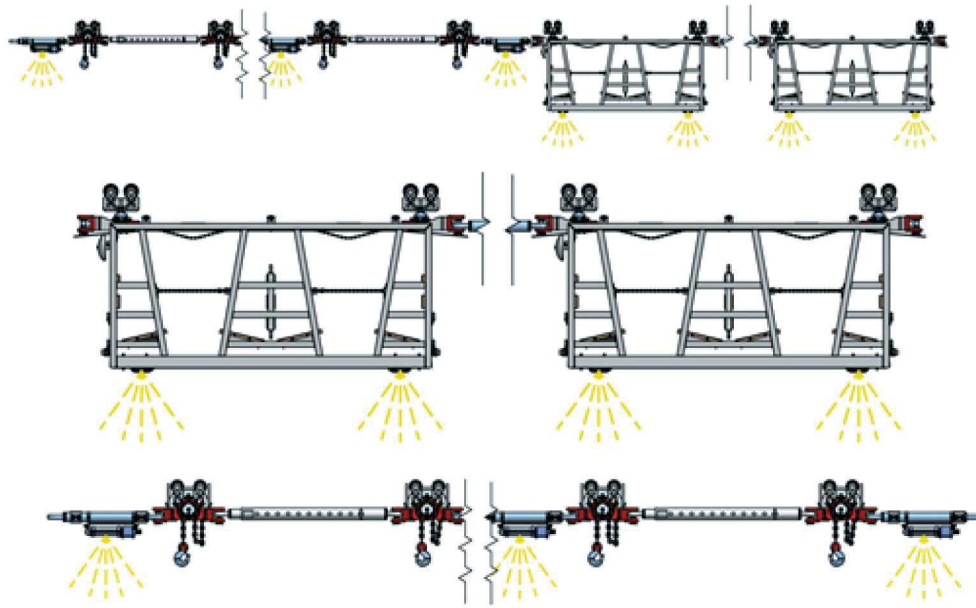


Fig. 1. Example of lighting installation on passenger cabins and transport sets [4]

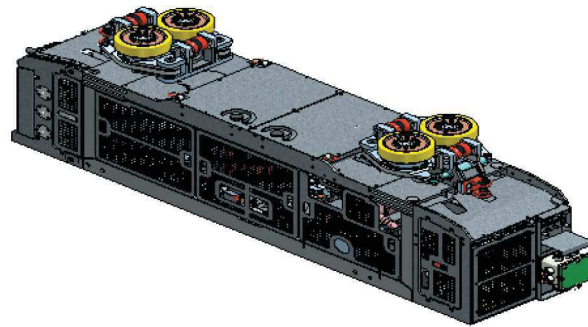


Fig. 2. Example of UZOD-02 power supply system installation on motor part [1]

The remaining elements of the mobile lighting can be installed in cabins suitable for this purpose, having the appropriate approvals of the President of the State Mining Authority; e.g., UIK KO-8-A passenger cabins, UIK KOS-A sanitary cabins, or also built on dedicated adapters serving as hanging lamps on a transport set. Figure 3 presents an example of the SWIT lamps for passenger cabins. Due to their location, the lamps must be properly attached to the cabin, taking into account their dimensions. Placing lamps in passenger cabins is the result of many months of work and testing of the lighting parameters. Another important aspect are vibrations, which are largely eliminated by shock absorbers. Thanks to the applied springs, the effect of retracting the lamps in the cabin is obtained when it comes in contact with the platform, which in combination with the metal cover of the lampshade lamps (from metal rods) results in increased resistance to mechanical damage [3].

In the case of lamps used on transport sets, it is very important to place the lamp under the rod itself so that the emitted light is not limited by the transported load nor by the hydraulic and electrical lines. In addition, special brackets should be used to support the PC220 quick couplers that enable the quick reconfiguration of the sets. The additional power cord of the lamp should be guided through the designated clamps for the hydraulic and electrical lines. An exemplary solution is demonstrated in Figure 4.

The number of lighting sources is limited by the power of the alternator feeding the monorail control system, which is 240 W for the KP-95 and KP-148 monorails. The following values should be used for the calculations:

- two lamps of ŚWIT-14/MOD type for one personal cabin (2×10 W),
- one OLR-1-18/MOD lamp for one pull rod of the transport set (1×10 W).

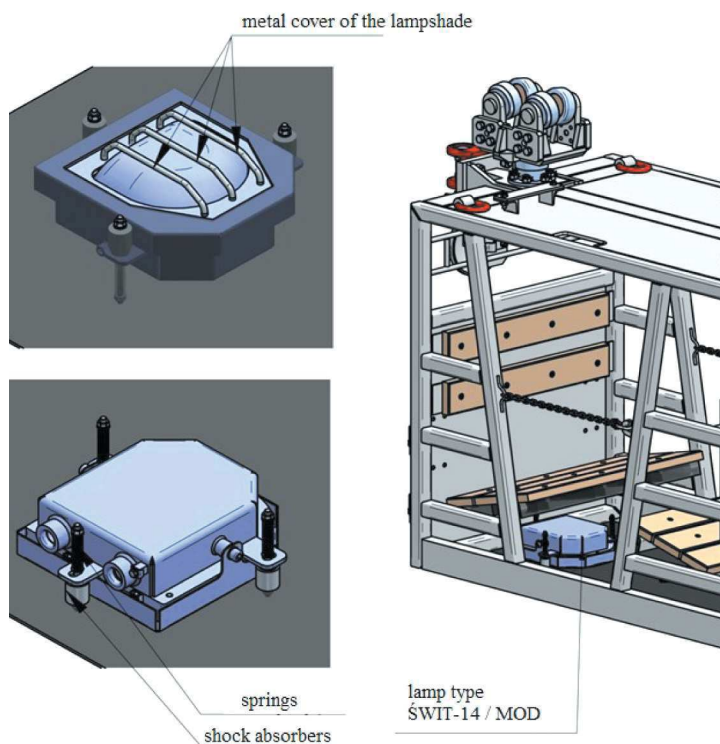


Fig. 3. Sample installation of SWIT lamps in passenger cabin

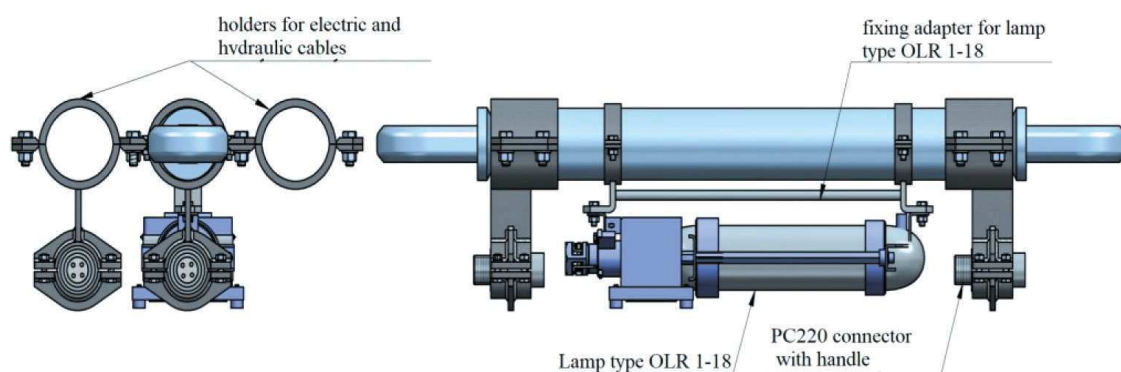


Fig. 4. Exemplary installation of OLR lamp on transport set

The UZOD-02 additional lighting supply system ensures the required performance program for switching LED lights on and off with the KS-01/1/5 control box; i.e., switching lamps intended for lighting passenger stations (ŚWIT-14/MOD lamps) or switching lamps for lighting material stations or lamps intended for simultaneously switching lamps on or off for lighting passenger and material stations. An example of the arrangement of the KS-01/1/5 cassette in the operator's cabin is shown in Figure 5.

If the insulation resistance is lower than 10 kΩ, a warning message will be generated by the monorail control system. The device controlling the insulation condition is a standard protection of the monorail installation built into the ZUSD-01 power supply unit.

After connecting additional devices (lamps), this circuit is also controlled by this protection.

Additional level of protection built into the supply system for the UZOD-02 additional lighting is protection that controls the continuity of the grounding on its outflows. Any disturbance in the electrical system (i.e., short circuiting, opening, a too high resistance of the loop, or the incorrect termination of the earth continuity monitoring circuit or other defects) are additionally monitored by the monorail's control system, and the appropriate messages are displayed on the WLM-01 (Fig. 7) or MSPM-01 or 04 displays (Fig. 6). The termination of the earth continuity monitoring circuit is done by a male protective cover (BM-PC220) or a diode built into the lamp.

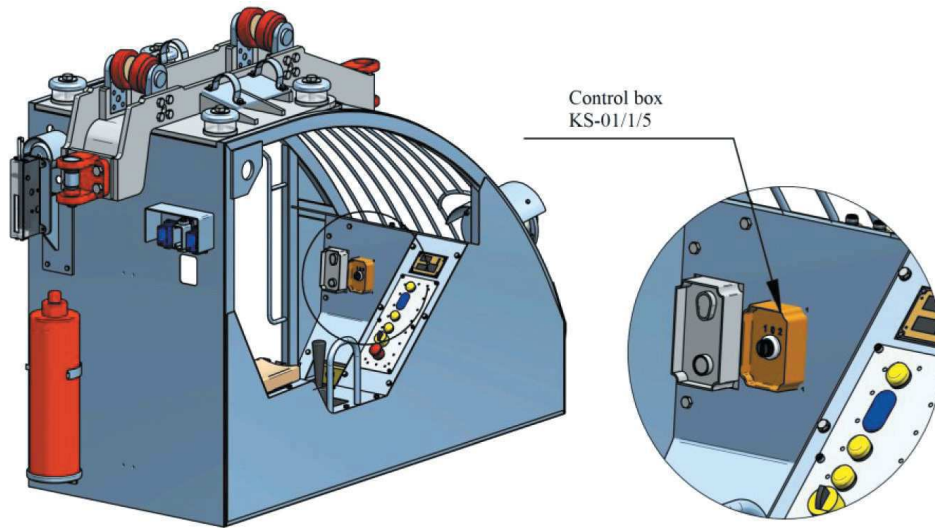


Fig. 5. Placement of KS-01/1/5 box in operator's cabin [3]



Fig. 6. Machine status monitor type MSPM-01



Fig. 7. Driver's display type WLM-01

The sets between themselves and the motor part are connected via PC220-series quick connectors. Figure 8 shows an example configuration of a human transport monorail equipped with a PC220-series connector system.

It is allowed to make connections between cabins and transport sets using cable – cable glands to reduce costs.

Up until July 2017 (before each lighting system replacement of the lighting of passenger and material stations), it was necessary to measure the intensity of the lighting, uniformity factor, and inventory ratio by qualified personnel with appropriate qualifications.

During the implementation of this solution, the measurements of the personal and material stations at the JSW SA and KWK Krupiński mine were made in 2016 by OPA-ROW Sp. z o.o. (Environmental Research Laboratory) included in the reports confirmed that the lighting installation built under the passenger cabins and under the tie rods of the transport sets met the requirements of PN-G-02600 “Lighting of underground mining plant operations” [5].

The Polish standard in Point 2.4.1 explicitly defined that, in the excavation corridors, the smallest allowable average illuminance, uniformity of lighting, and inventory factor should correspond to the values in Table 1.

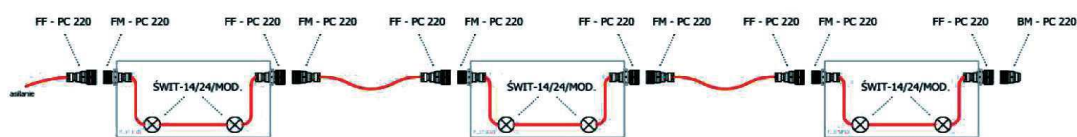


Fig. 8. Examples of electrical connection of lighting between cabins [2]

Table 1
Required illumination according to PN-G-02600

No.	Illuminated area	Illuminated surface	Factor inventory	Parameters lighting	
				intensity lighting $E_{wed. [lx]}$	uniformity lighting $\delta_{sr} = \frac{E_{min}}{E_{sr}}$
1	2	3	4	5	6
1	Shaft bottom	bottom	1.5	thirty	0.4
2	Shaft bottom – entrance to the cage, workstation for the signaller	bottom, heights with signaling equipment	1.5	thirty	0.3
3	Passenger station with rail transport	bottom on the side of the entrance to the carts	1.5	thirty	0.4
4	Passenger station with tire transport	bottom	1.5	20	0.4
5	Platforms for getting on the conveyor and getting off the conveyor	bottom	1.5	20	0.3
6	Pier, horizontal or sloping footpath for pedestrian traffic	bottom, transition for people	1.5	5	0.2
7	The route of the queue and other means used for transporting people (without pedestrian traffic)	bottom	1.5	2	0.2
8	Turnouts, forks, intersections, narrowing, intersection of pedestrian crossings with the conveyor route on major roads	bottom	1.5	10	0.3
9	Dams (on both sides) on the main transport routes	bottom	1.5	10	0.3
10	Station material, loading, transfer	edge car, trellis	2.0	10	0.3
11	Station borders	bottom	2.0	5	0.2
12	Other workplaces and places of installation of machines and devices, communication means, etc. in sidewalks and trenches	bottom or other work surfaces	1.5	10	0.3

According to the latest ordinance of the Minister of Energy from November 23, 2016, regarding the detailed requirements for the operation of underground mining in Annex 4, Section 4.9. Rope transport and self-propelled transport sets are defined as:

“4.9.7. Illuminates:

- 1) (...);
- 2) stations during loading or unloading;
- 3) passenger stations when people are boarding or disembarking”.

In addition, when driving a monorail, the road can be additionally illuminated (which increases the level of safety).

3. SUMMARY

The simple and at the same time innovative solution proposed by Becker-Warkop presented above has been developed as a solution resulting from the specific needs of our clients. It provides not only technological and economic benefits in the area of lighting for passenger and material stations but also improves the safety of the crew working near the suspended railway route at

the time of a particular threat (that is, during monorail movement). This is one of the examples of cooperation between Becker-Warkop and our clients, who are our inspiration and partners.

References

- [1] Annex no. 6 to the Instruction Manual of a suspended monorail type KP-95 – applicable to mobile lighting of mobile and material stations.
- [2] User's manual for the ŚWIT-14 / MOD type lamp from Elektrometal S.A.
- [3] User's manual for OLR-1-18 / MOD type lamps from Elektrometal S.A.
- [4] Datasheet of Becker-Warkop mobile lighting.
- [5] Annex no. 6 of the Service Manual of a KP-148 suspended type tractor mobile lighting station of the KP-148 railway station – applicable to mobile lighting of passenger and material stations

LESZEK ŻYREK, Eng.

WOJCIECH ZASADNI, Ph.D., Eng.

JAN LUBRYKA, M.Sc., Eng.

DAWID JENDYSKA, M.Sc., Eng.

Becker-Warkop Sp. z o.o.

ul. Przemysłowa 11, 44-266 Świerklany, Poland

{l.zyrek, w.zasadni, j.lubryka, d.jendroska}

@becker-mining.com.pl

LESZEK ŻYREK
WOJCIECH ZASADNI
JAN LUBRYKA
DAWID JENDROSKA

Mobilne oświetlenie stacji osobowych i materiałowych kolejek podwieszonych

W artykule przedstawiono opracowaną przez firmę Becker-Warkop sp. z o.o. innowacyjną technologię mobilnego oświetlenia stacji osobowych i materiałowych oraz trasy podczas przejazdu kolejek podwieszonych z napędem własnym. Omówiono rozwiązanie techniczne wraz z jego możliwościami konfiguracyjnymi, a także wymagania normowe wraz z opisem doświadczeń i dobrych praktyk pozyskanych podczas wdrożeń tej technologii.

Słowa kluczowe: mobilne oświetlenie, kolejki podwieszane z napędem własnym, doświadczenia, praktyki

1. WSTĘP

Innowacyjne rozwiązanie proponowane przez firmę Becker-Warkop jest bezpośrednią odpowiedzią na konkretne potrzeby naszych klientów w obszarze oświetlenia stacji osobowych i materiałowych. Mobilne oświetlenie stacji daje możliwość wyeliminowania oświetlenia stacjonarnego przez korzystanie z lamp zabudowanych na kabinach osobowych oraz zestawach transportowych maszyn podwieszanych z napędem własnym [1]. Zastosowanie tej technologii oświetlenia oraz możliwość jego wykorzystania nie tylko na stacjach, ale i długości całej trasy przejazdu kolejki w znaczącym stopniu podnosi bezpieczeństwo oraz efektywność ekonomiczną oraz energetyczną zakładu górniczego. Rozwiązanie to jest chronione patentem. Poniżej przedstawiamy jego szczegóły oraz najlepsze praktyki.

2. OPIS ROZWIĄZANIA

Standardowe stacjonarne oświetlenie stacji materiałowo-osobowych wymaga ciągłego przebudowywania wraz z postępem robót. Dodatkowym aspektem przemawiającym za mobilnym oświetleniem jest fakt, że po zabudowie stacjonarnego oświetlenia pracuje ono cały czas, a nie tylko wtedy, kiedy jest faktycznie

potrzebne, co jest przyczyną generowania zwiększonych kosztów zarówno za energię, jak i zużycie lamp oświetleniowych.

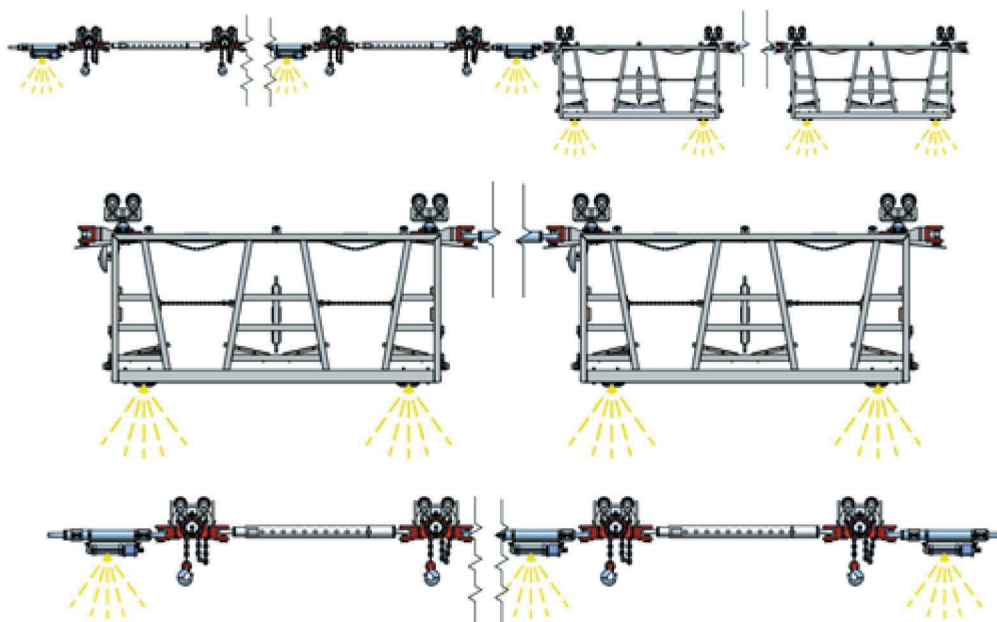
Stosowanie mobilnego oświetlenia kolejek podwieszonych z własnym napędem eliminuje wykorzystanie urządzeń elektrycznych i linii je zasilających ze stacjonarnych wyrobisk zagrożonych wybuchem i tym samym podnosi poziom bezpieczeństwa przeciwwybuchowego.

Do uzyskania funkcjonalności mobilnego oświetlenia dla kolejki podwieszanej wymagane są takie urządzenia, jak:

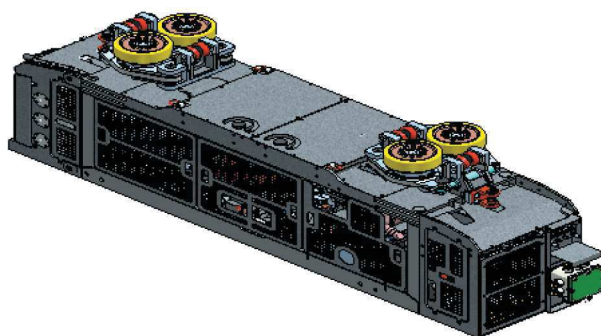
- układ zasilania oświetlenia dodatkowego typu UZOD-02,
- lampy typu ŚWIT-14/MOD [2] (oświetlenie stacji osobowych) oraz lampy typu OLR-1-18/MOD [3] (oświetlenie stacje materiałowe),
- kasety sterownicze typu KS-01/1/5 w kabinach,
- ognioszczelne złącza serii PC220.

Dzięki tym urządzeniom jest możliwe wprowadzenie zmian do układu zasilania maszyny oraz dodanie opcjonalnego zasilania oświetlenia typu UZOD-02, dzięki któremu uzyskujemy efekt przedstawiony na rysunku 1.

Funkcjonalność, jaką zyskuje się w wyniku zastosowania tego rozwiązania, polega na oświetlaniu stacji osobowych i/lub materiałowych, jak również wybranych miejsc w kopalni na trasie przejazdu ciągnika.



Rys. 1. Przykładowa zabudowa oświetlenia na kabinach osobowych oraz zestawach transportowych [4]



Rys. 2. Przykładowa zabudowa układu zasilania dodatkowego typu UZOD-02 na części silnikowej [1]

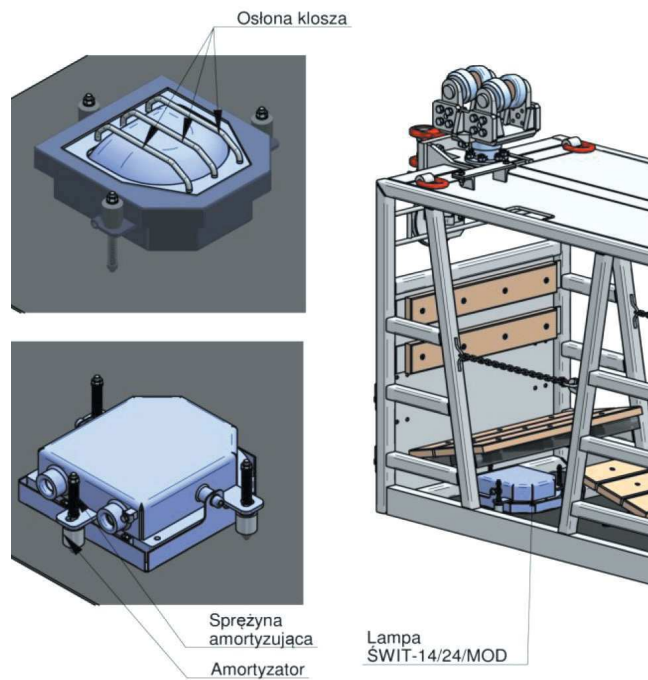
Na rysunku 2 zademonstrowano umieszczenie dodatkowego układu typu UZOD-2 na części silnikowej ciągnika podwieszonego.

Pozostałe elementy mobilnego oświetlenia mogą być zabudowywane w kabinach do tego przystosowanych i posiadających stosowne dopuszczenia prezesa Wyższego Urzędu Górniczego, np. w kabinach osobowych typu UiK KO-8-A, w kabinach osobowo-sanitarnych typu UiK KOS-A lub też zabudowane na specjalnych adapterach służących do zawieszenia lamp oświetlających zestaw transportowy na ciągłach łączących. Na rysunku 3 została przedstawiona przykładowa zabudowa lamp typu SWIT do kabin osobowych. Lampy z uwagi na ich miejsce zabudowy muszą być odpowiednio przymocowane do kabiny z uwzględnieniem ich gabarytów. Umieszczenie lamp w kabinach osobowych jest wynikiem wielu miesięcy prac i badań parametrów oświetlenia. Kolejnym istotnym aspektem są drgania, które są eliminowane w dużym stopniu przez amortyzatory. Dzięki zastosowanym spręży-

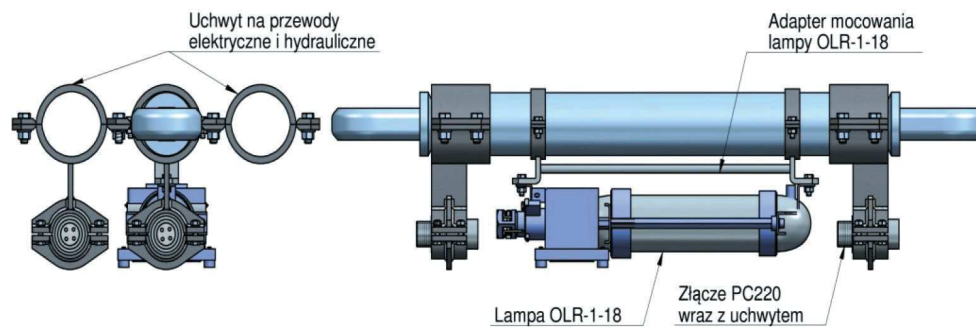
nom uzyskuje się efekt chowania lamp w kabinie w chwili jej stykania się ze spągim, który to w połączeniu z metalową osłoną klosza (z metalowych prętów) lamp skutkuje zwiększeniem odporności na uszkodzenia mechaniczne [3].

W przypadku lamp stosowanych na zestawach transportowych bardzo istotną kwestią jest samo umieszczenie lampy pod cięgłem tak, aby emitowane światło nie było ograniczane transportowanym ładunkiem oraz przewodami hydraulicznymi i elektrycznymi. Dodatkowo należy stosować specjalne obejmy do podtrzymania szybkozłączki typu PC220 umożliwiających szybką rekonfigurację zestawów. Dodatkowy przewód zasilający lampy powinien być prowadzony przez wyznaczone do tego zadania obejmy na przewody hydrauliczne i elektryczne. Przykładowe rozwiązanie zostało zademonstrowane na rysunku 4.

Liczba źródeł oświetlenia jest limitowana przez moc alternatora zasilającego układ sterowania ciągnika, która dla ciągników KP-95 i KP-148 wynosi 240 W.



Rys. 3. Przykładowa zabudowa lamp typu SWIT w kabinie osobowej



Rys. 4. Przykładowa zabudowa lampy OLR na zestawie transportowym

Do obliczeń należy przyjmować następujące wartości:

- dwie lampy typu ŚWIT-14/MOD na jedną kabinę osobową ($2 \times 10 \text{ W}$),
- jedna lampa typu OLR-1-18/MOD na jedno ciągło zestawu transportowego ($1 \times 10 \text{ W}$).

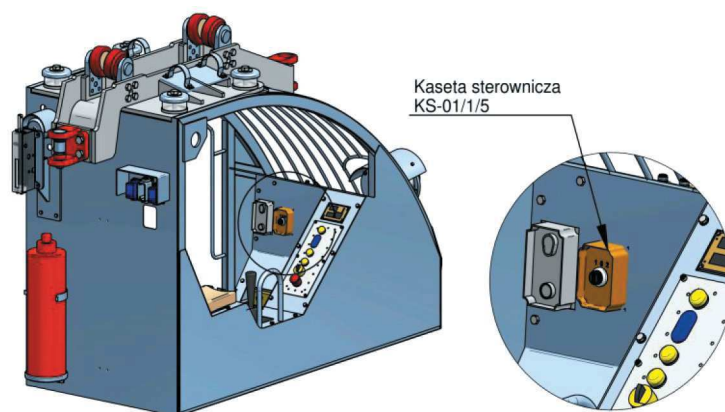
Układ zasilania dodatkowego oświetlenia typu UZOD-02 zapewnia realizację wymaganego programu włączania/wyłączania lamp diodowych za pomocą kaset sterowniczych typu KS-01/1/5, tj. załączanie lamp przeznaczonych do oświetlenia stacji osobowych (lampy typu ŚWIT-14/MOD) lub załączanie lamp do oświetlenia stacji materiałowych lub też lamp przeznaczonych do załączania jednocześnie lamp do oświetlenia stacji osobowych i materiałowych. Przykładowe rozmieszczenie kasety typu KS-01/1/5 w kabinie operatora zostało przedstawione na rysunku 5.

W przypadku obniżenia rezystancji izolacji poniżej $10 \text{ k}\Omega$ nastąpi wygenerowanie przez system sterowania ciągnika komunikatu – ostrzeżenia. Urządzenie kontrolujące stan izolacji to standardowe zabezpieczenie instalacji ciągnika zabudowane w zasilaczu typu ZUSD-01.

Po dołączeniu dodatkowych urządzeń (lamp) obwód ten również jest kontrolowany przez to zabezpieczenie.

Kolejnym zabezpieczeniem zabudowanym w układzie zasilania oświetlenia typu UZOD-02 jest zabezpieczenie kontrolujące ciągłość uziemienia na jego odpyłach. Każde zakłócenie w instalacji elektrycznej, tj. zwarcie, rozwarcie, zbyt duża rezystancja pętli oraz nieprawidłowe terminowanie obwodu kontroli ciągłości uziemienia czy inne usterki, są dodatkowo monitorowane przez układ sterowania ciągnika i wyświetlane są stosowne komunikaty na wyświetlaczu typu WLM-01 (rys. 7) oraz monitorze stanu pracy maszyny typu MSPM-01 lub MSMP-04 (rys. 6). Terminowanie (zakończenie) obwodu kontroli ciągłości uziemienia odbywa się poprzez zaślepkę ochronną męską typu BM-PC220 lub diodę zabudowaną w lampie.

Zestawy zarówno między sobą, jak i z częścią silnikową są połączone poprzez szybkozłącza serii PC 220. Na rysunku 8 poniżej przedstawiono przykładową konfigurację ciągnika do transportu ludzi wyposażonego w system złączy serii PC220.



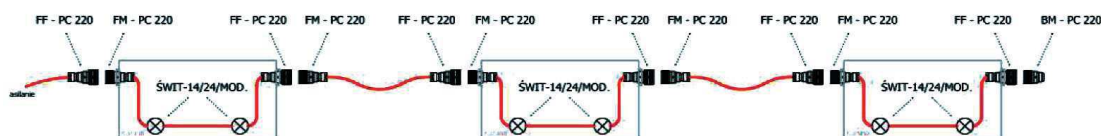
Rys. 5. Umieszczenie kasety typu KS-01/1/5 w kabinie operatora [3]



Rys. 6. Monitor stanu pracy maszyny typu MSPM-01



Rys. 7. Wyświetlacz maszynisty WLM-01



Rys. 8. Przykładowe elektryczne podłączenie oświetlenia pomiędzy kabinami [2]

Dopuszcza się możliwość wykonywania połączeń między kabinami, zestawami transportowymi za pomocą połączeń przewod – wpust kablowy lampy.

Do lipca 2017 roku przed każdorazowym wprowadzeniem układu mobilnego oświetlenia zastępującego stacjonarne oświetlenie stacji osobowych i materiałowych wymagane było wykonanie pomiarów jego natężenia, współczynnika równomierności i współczynnika zapasu przez wykwalifikowany personel posiadający stosowne uprawnienia.

Podczas wdrażania tego rozwiązania wykonane pomiary przeprowadzone w 2016 roku na stacjach osobowych oraz materiałowych w KWK Krupiński należącej do JSW S.A. przez OPA-ROW Sp. z o.o. (Laboratorium

Badań Środowiskowych) ujęte w sprawozdaniach potwierdziły, że instalacja oświetleniowa zabudowana pod kabinami osobowymi i pod ciągnami zestawów transportowych spełnia wymogi normy PN-G-02600: *Oświetlenie podziemnych wyrobisk zakładów górniczych* [5].

Polska norma w punkcie 2.4.1 jednoznacznie definiowała, że w wyrobiskach korytarzowych najmniej dopuszczalne średnie natężenie oświetlenia, równomierność oświetlenia oraz współczynnik zapasu powinny odpowiadać wartościom w tabeli 1.

Na mocy nowego rozporządzenia Ministra Energii z dnia 23.11.2016 roku w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych składów górniczych w załączniku 4 w punkcie 4.9:

Tabela 1
Wymagane natężenie oświetlenia według PN-G-02600

Lp.	Oświetlony obszar	Oświetlana powierzchnia	Współczynnik zapasu	Parametry oświetlenia	
				natężenie oświetlenia E_{sr} [lx]	równomierność oświetlenia $\delta_{sr} = \frac{E_{min}}{E_{sr}}$
1	2	3	4	5	6
1	Podszybie	spodek	1,5	30	0,4
2	Podszybie – wejście do klatki, stanowisko pracy sygnalisty	spodek, ocios z aparaturą sygnalizacyjną	1,5	30	0,3
3	Stacja osobowa z przewozem szynowym	spodek od strony wejścia do wozów	1,5	30	0,4
4	Stacja osobowa z przewozem oponowym	spodek	1,5	20	0,4
5	Pomosty do wsiadania na przonośnik i wysiadania z przonośnika	spodek	1,5	20	0,3
6	Przekop, chodnik poziomy lub pochyły służące do ruchu pieszego	spodek, przejście dla ludzi	1,5	5	0,2
7	Trasa kolejki i innych środków służących do transportu ludzi (bez ruchu pieszego)	spodek	1,5	2	0,2
8	Rozjazdy, rozwidlenia, skrzyżowania, zwężenie, przecięcie przejścia dla pieszych z trasą przonośnika na głównych drogach	spodek	1,5	10	0,3
9	Tamy (po obu stronach) na głównych drogach przewozowych	spodek	1,5	10	0,3
10	Stacja materiałowa, załadunku, przesyp	krawędź wozu, krata	2,0	10	0,3
11	Granica stacji	spodek	2,0	5	0,2
12	Inne stanowiska pracy oraz miejsca zainstalowania maszyn i urządzeń, środków łączności itp. w chodnikach i przekopach	spodek lub inne powierzchnie robocze	1,5	10	0,3

Transport linowy oraz zestawami transportowymi z napędem własnym określa się, że:

„4.9.7. Oświetla się:

- 1) (...);
- 2) stacje w trakcie załadunku lub rozładunku;
- 3) stacje osobowe w trakcie wsiadania lub wysiadania osób”.

Podczas przejazdu kolejki z napędem własnym wyrobisko może być dodatkowo oświetlane, co powoduje zwiększenie stopnia bezpieczeństwa.

3. PODSUMOWANIE

Powyżej przedstawione, proste, a zarazem innowacyjne rozwiązanie proponowane przez firmę Becker-Warkop wynika z konkretnych potrzeb naszych klientów. Daje ono nie tylko korzyści technologiczne i ekonomiczne w obszarze oświetlenia stacji osobowych i materiałowych, ale również poprawia bezpieczeństwo załogi pracującej na trasie kolejki podwieszanej w momencie szczególnego zagrożenia, czyli

podczas przejazdu składu. Jest to jeden z przykładów współpracy firmy Becker-Warkop z klientami, którzy są dla nas inspiracją oraz partnerami.

Literatura

- [1] Aneks nr 6 do Instrukcji (DTR) ciągnika podwieszanego typu KP-95 – dotyczy mobilnego oświetlenia stacji osobowych i materiałowych.
- [2] Instrukcja obsługi lampy typu ŚWIT-14/MOD firmy Elektrometal S.A.
- [3] Instrukcja obsługi lampy typu OLR-1-18/MOD firmy Elektrometal S.A.
- [4] Karta katalogowa mobilnego oświetlenia firmy Becker-Warkop.
- [5] Aneks nr 6 Instrukcji obsługi (DTR) ciągnika podwieszanego typu KP-148 mobilnego oświetlenia stacji kolejki KP-148 – dotyczy mobilnego oświetlenia stacji osobowych i materiałowych.

inż. LESZEK ŻYREK
 dr inż. WOJCIECH ZASADNI
 mgr inż. JAN LUBRYKA
 mgr inż. DAWID JENDYSKA
 Becker-Warkop Sp. z o.o.
 ul. Przemysłowa 11, 44-266 Świerklany
 {l.zyrek, w.zasadni, j.lubryka, d.jendroska}
 @becker-mining.com.pl

PRZEMYSŁAW KĘDZIERSKI

Review of electrostatic hazards in hard coal mining

Electrostatic hazards are considered a category of technical hazards occurring in hard coal mining. These hazards are related to the generation of excess electric charges forming as a result of most technological processes. Products manufactured from plastics that are classified as non-antistatic materials pose the greatest hazard.

The article discusses the Polish and European legal regulations concerning the requirements for materials regarding their antistatic properties. It also presents the results of studies conducted at GIG concerning the systematization of the antistatic processing of plastics. Furthermore, the article proves that the procedure of applying antistatic properties to plastics is neither easy nor homogeneous. The introduced antistatic processing systematics (i.e., the identification of various antistatic processing realization methods) is meant to make both the manufacturers and customers aware of the various (often undesired) properties of modified plastics.

Key words: static electricity, mining, explosion, plastics

1. INTRODUCTION

The products utilized in hard coal mining must meet the requirements concerning their antistatic, slow-burning, and non-toxic properties. This is defined by the Ordinance of the Minister of Economy [1] – constituting an implementing act to Mining Law [2]. An electrostatic discharge can be a source of methane ignition. The antistatic character of these products is neither understood unambiguously nor identically realized.

Most plastics do not meet legal requirements regarding their antistatic properties. Products manufactured from plastics tend to electrify, accumulating excess electric charges; this results in electrostatic discharge hazards that may initiate an ignition in an explosive atmosphere.

Plastics classified as electric insulators [3] are becoming increasingly more common in hard coal mining compared to antistatic materials due to their lower cost of production. In order to meet the legal requirements and lower the electrification ability of plastics, they are subjected to antistatic processing; i.e., improvement of their antistatic properties. Antistatic processing is a procedure based on changing

the electrostatic properties of a product in order to increase its charge dissipation (offtake) speed and decrease its electrification ability.

Most commonly, the antistatic processing of materials is performed in order to change their resistivity (which is the basic material electrostatic property evaluation parameter) as well as to change the material classification – from dissipative to conductive or from insulative to dissipative. Based on their surface and volume resistivities, materials are classified as conductive, dissipative, or insulative. The first two kinds are antistatic; i.e., they do not undergo permanent electrification and do not accumulate charges on their surfaces.

There are various antistatic-processing realization methods. Many antistatically processed materials change their electrostatic properties over time or undergo changes as a result of external factor influence. Some of them also influence their surroundings. When subjected to the various antistatic processing methods, these materials are characterized by various properties that are not always desirable from the point of view of safety or their functional characteristics. An inadequate undurable product may influence the safety of explosion hazard zones.

2. HAZARDS IN HARD COAL MINES

The division presented below is the author's own division based on a literature analysis (particularly of European and Polish legislation) as well as the current standards.

Hazards related to static electricity can be discussed within the context of the following areas:

- human safety and comfort,
- electronics industry and industry manufacturing elements susceptible to ESDS-type discharges,
- industry,
- explosive atmospheres, including hard coal mining,
- operating theatres.

The first hazard area is human safety and comfort. Comfort is regulated neither by legislation nor standards – no criteria or electrostatic property-testing methods have been defined. Wearing shoes or clothing classified with insulative or dissipative materials depends only on a given person. With regard to this area, a person is often electrified; electrostatic discharges tend to occur and are consequently followed by accidents (including fatal ones). As an example, we may consider limb injuries resulting from falls occurring as a consequence of an unconditioned reflex following a discharge from the human body to a metal handrail (a person in insulative shoes became electrified while walking).

From the point of view of electrostatic protection, human work safety is regulated under European law by directive [4] concerning personal protective equipment and under Polish law by the Ordinance of the Minister of Economy [5], the Ordinance of the Minister of Infrastructure [6], the Ordinance of the Minister of Infrastructure [7], and the Ordinance of the Minister of Labor and Social Policy [8]. The aforementioned ordinances constitute implementing acts to the following laws: Labor Law [9] and Building Code [10]. The requirements defined therein concern the protection from static electricity (with a particular stress on excess electrification).

The second hazard area encompasses the protection of electronic devices and devices susceptible to electrostatic discharges (so-called ESDS objects). This is an area rich in standards (PN-EN 61340 and IEC 61340 standard series). Unfortunately, this area is not regulated by legislation; i.e., the implementation of standards is not mandatory but instead constitutes a show of good will by the manufacturer or the willingness to invest in antistatic protection. How-

ever, manufacturers and clients have been increasingly demanding their suppliers to implement solutions from the PN-EN 61340 and IEC 61340 standard series because, in this way, they may guarantee the quality and durability of their products (for example, ruling out the occurrence of electrostatic discharges from an employee's clothing to an electronic system). Electronic system damage constitutes a hidden fault that surfaces only during operation and is otherwise impossible to detect during production.

A multitude of standards apply to the electronics and ESD-susceptible component industries that define the control methods, testing procedures, and preventive measures meant to guarantee the safe manipulation – most often during production – of electronic elements. Electronic components (circuit boards, microprocessors) may become damaged as a result of a 50V – potential discharge. In the electronics industry, applying standards describing these testing and control methods is neither mandatory nor required by law. All the more often, the application of these standard requirements by companies dealing with electronics results from the necessity to ensure product and production quality.

The third hazard area encompasses industry – particularly those branches related to hazardous and flammable materials [11]. From the point of view of electrostatic protection, human work safety is regulated under European law by directive [12] concerning machines and under Polish law by the Ordinance of the Minister of Economy [13].

Polish legislation also includes the Ordinance of the Minister of Economy [14], the Ordinance of the Minister of Transport [15], the Ordinance of the Minister of Interior and Administration [16], and the Ordinance of the Minister of Agriculture and Food Economy [17]. These constitute the implementation of acts to the following laws: Technical Inspection [18], Labor Law [9], Building Code [10], and Fire Protection [19]. The requirements defined therein concern the protection from excess electrification in areas susceptible to risks posed by electrostatic charges.

The fourth hazard area concerns explosion hazard zones. This is the most restrictive area, and the anti-static parameters defined for it arise from European Union directives, ordinances of competent ministers, and standards that constitute the implementation of the acts. Material electrostatic property control, evaluation, and certification is necessary if the said materials are to be utilized in explosion hazard zones.

Machinery Directive 2006/42/EC [12] requires machinery manufacturers to design and implement machines and devices to prevent and reduce the accumulation of dangerous electrostatic charges or have systems to discharge electrical loads.

The ATEX Directive 2014/34/EU [25] aims to harmonize the regulations of the European Union member states regarding electrical and non-electrical equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres. The regulations contained in this provision relate to safety and the protection of life. The directive requires the prevention of explosions by applying appropriate measures to prevent the formation of electrostatic charges capable of causing dangerous discharges.

ATEX Directive USERS 1999/92/EC [26] aims to set minimum requirements for the safety and health protection of employees in places where an explosive atmosphere may occur as well as impose specific obligations on the employer in this area. The employer's duty is risk assessment and the undertaking of technical measures to eliminate and minimize the threat, among others. The prevention of ignition is to consider the possibility of electrostatic discharge in places where the employees or work environment can be sources or carriers of voltage.

The directive on personal protective equipment 89/686/EEC [4] aims to harmonize the requirements for personal protective equipment and conformity assessment methods in the EU member states. The directive requires that personal protective equipment intended for use in potentially explosive atmospheres cannot be a source of spark or electric arc caused by electrification. The directive specifies protection measures in potentially explosive atmospheres, as antistatic products for the entire period of their application (that is, unchanging parameters). Protective measures must be made of materials that pose no threat in terms of static electricity.

Technical report CLC/TR 50404 [22] was prepared on the basis of a mandate given by the European

Commission. The report contains a number of important practical information related to the implementation of antistatic protection measures. The report contains detailed information on the safe use of the majority of commonly used materials and products in mining and potentially explosive areas. The technical report has many connections with scientific publications as well as the results of experimental work.

The Act of Geological and Mining Law [2] indicates the proper minister for the economy as responsible for defining detailed requirements for the operation of particular types of mining plants in the field of occupational health and safety.

3. STATIC ELECTRICITY

In electrostatics, materials are divided based on their electrostatic properties. These divisions depend on the field of application – they vary for electronics, explosion safety, and other areas.

Using the surface resistivity criterion, materials were divided into the following categories (Fig. 1): electrostatically conductive (including screening materials), electrostatically dissipative, and insulative [20].

Electrostatic charges form during electrification. Electrification (i.e., the separation of negative electric charges from positive ones) consists of isolating charges from matter or removing them from each other [21]. Electrification occurs during actions such as friction, separation, splashing, spilling, grinding, thermal shifts, mechanical processes, phase transitions, and electric induction. All of these phenomena can be easily identified not only in everyday life but also in many technological and production processes.

During electrification ability evaluations, the triboelectric series should be analyzed; i.e., the arrangement of materials based on polarity and the electric charge magnitude generated when using contact friction methods. Some materials lose electrons more easily while others accumulate them more easily (Fig. 2).

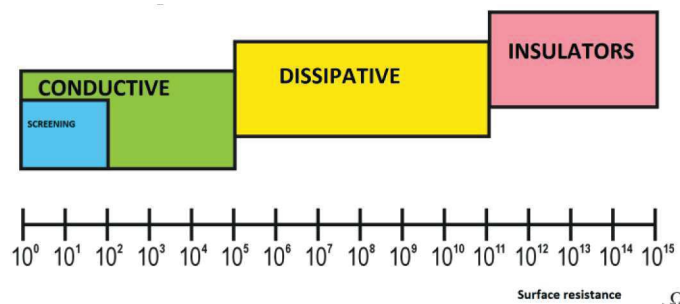


Fig. 1. Material division based on their electrostatic properties

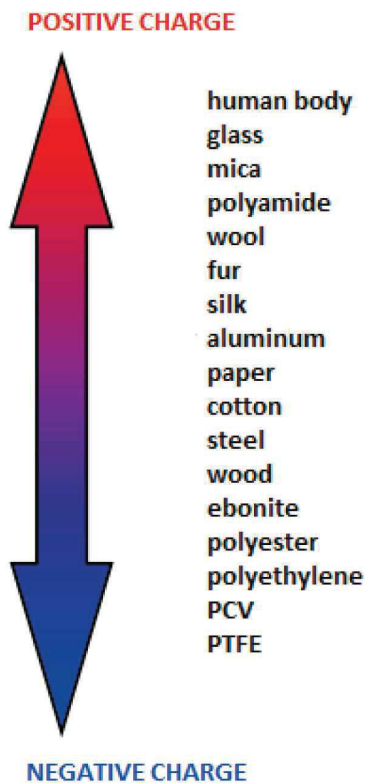


Fig. 2. Triboelectric series

The most common electrification method is electrification through contact and friction, also called contract friction or the contact point method. An electron exchange occurs at the contact point between two bodies – a so-called double layer. Once the bodies are separated, an excess of electrons (negative charges) will occur on one of them while a shortage of electrons (positive charges) will occur on the other. The number of generated excess charges is dependent on the surface properties, material type, and environmental parameters.

According to the triboelectric series principle, materials give away or receive electrons depending on their electron affinity during separation, resulting in an electric imbalance in the materials (an excess of electrons in one and a shortage in the other). Examples may be found in lifting feet from the ground (Fig. 3) or opening a book with a foil cover.

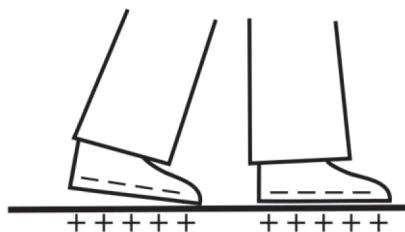


Fig. 3. Example of electrification through contact – lifting feet from ground

Similar as through contact, electrification through friction is related to the triboelectric series. As a result of mechanical friction, a transfer of electric charges occurs between two bodies; this results in their electrification with an excess electric charge. When studying electric charge signs during electrification through contact friction methods, it can be concluded that, in many cases, the charge sign depends on the electrification method. No studies have been conducted concerning the influence of electrification through friction could have on electrification through contact or vice versa (including separation and striking). Electrification by breaking contact is a form of electrification through friction.

4. ANTISTATIC PROCESSING

Antistatic processing (i.e., applying antistatic properties to a material) is a procedure based on changing the electric properties of a product realized in order to increase the charge dissipation (offtake) speed, decrease the electrification ability, or to both increase the charge dissipation (offtake) speed and decrease the electrification ability.

Some antistatic agents (fillers) added in order to impart certain features (e.g., color) possess antistatic properties and influence the electric property changes of the modified material, but they are not treated as antistatic agents (while their use is not treated as antistatic processing).

From the point of view of electrostatic properties [22], materials are divided into screening, conductive, dissipative, and insulative properties. Surface resistivity is the criterion for this division. Due to the above, antistatic processing can be considered a procedure based on the resistivity change of a material (i.e., its change from dissipative to conductive, from insulative to dissipative, or from insulative to conductive). Antistatic processing is presented in Figure 4.

Electric capacity also has an influence on the charge dissipation speed (Relationship 1); however, antistatic processing is not identified as a change in product electric capacity, for instance, because it is hard to modify and control the electric capacity of plastics. Furthermore, there are no defined standard methods for product electric capacity measurements. Adding metal elements to a product, for example, modifies not only its electric capacity but also its resistivity.

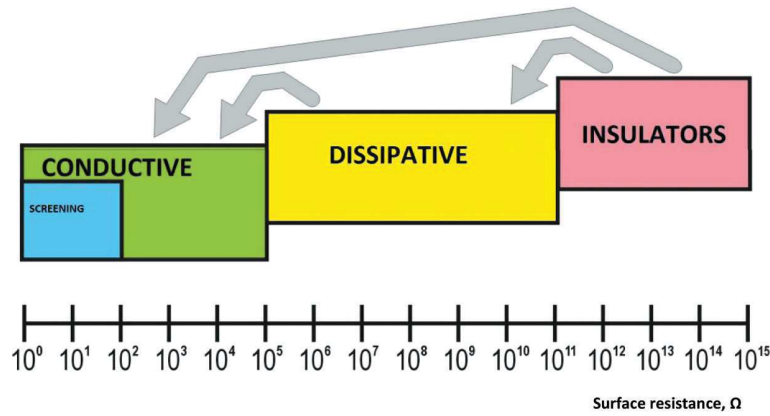


Fig. 4. Material division based on resistivity (antistatic processing)

Assuming that the antistatically processed material is grounded, then electrostatic discharges (excess electrostatic charge discharge or dissipation from the object to the earth or the grounding) can be described with the following exponential function:

$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (1)$$

Relationship (1) shows that product electric capacity and resistivity have a decisive influence on the dissipation speed. In the article, product electric capacity has been treated as a product feature defining its ability to accumulate charges.

Assuming that the antistatically processed material is insulated, then the total electrostatic charge generated on the material will remain on it. Whether the electrostatic charge dissipates over the entire material surface or volume or remains in its place of generation (accumulation) depends on the material's resistivity. The charge surface distribution on the insulated material has great significance because it determines the electric charge magnitude on its surface. The electric potential of the electrified object and, consequently, the electrostatic discharge energy depends on product electric capacity regard-

less of the electrostatic charge magnitude accumulated on it.

5. ANTISTATIC PROCESSING REALIZATION METHODS

Based on the author's own studies, observations, and conclusions, antistatic processing has been divided (Fig. 5) with regard to three characteristics: the type of antistatic processing, type of preparation (utilized filler), and stage at which antistatic processing is conducted in the overall production process [23]. Using the antistatic processing division presented in Figure 5, eight methods of the antistatic processing realization methods of plastics were identified; these determine eight different types of antistatically processed materials (Fig. 6).

Each antistatically processed product may be examined according to the division pictured in Figure 5, characterizing it with regard to the type of antistatic processing, type of preparation, and stage of conduction (classifying it as one of the eight types of antistatically processed materials).

Determining eight antistatic processing realization methods of materials is significant during the evaluation of antistatic processing realization [24].

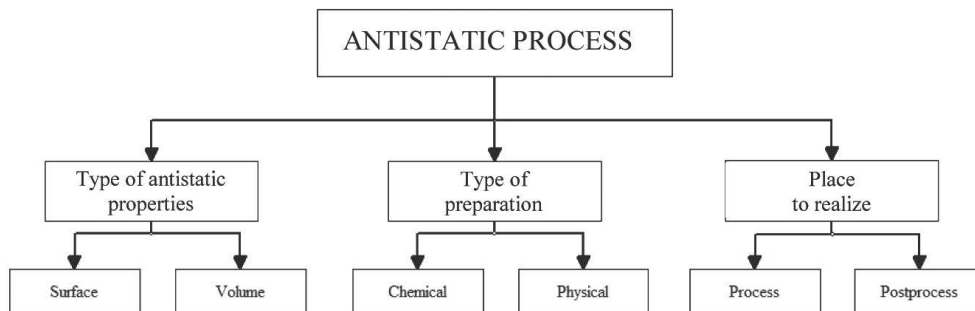


Fig. 5. Antistatic processing division

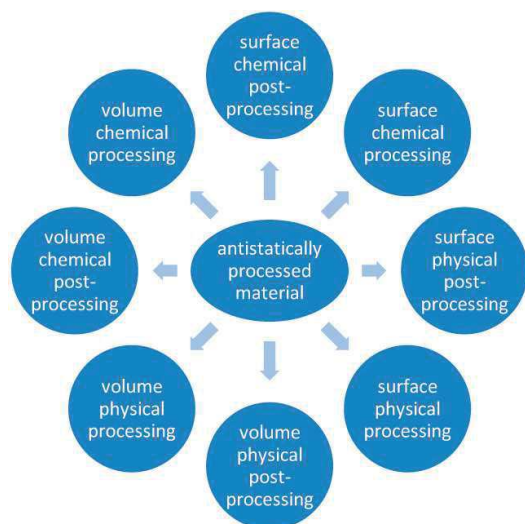


Fig. 6. Types of antistatically processed materials

6. SUMMARY

The article attempted to identify, characterize, and evaluate various antistatic processing realization methods of plastics commonly utilized in hard coal mining. It could seem that antistatic processing is an easy way to decrease material electrification ability. The performed identification is the author's own proposal devised on the basis of years of studies and observations as well as electric parameter correlation evaluations (interdependences and mutual relation). Based on studies and observations, different antistatic processing realization methods were identified, which are characterized by different properties directly related to explosion safety in mines. The identified antistatic processing methods were evaluated from the point of view of their safe utilization.

An appropriate material antistatic property study methodology was selected. The adopted study catalog based on the analysis of suitability for antistatic processing identification made it possible to unambiguously define the antistatic processing realization methods. Some study methods (e.g., electrification ability) were not classified as appropriate measuring methods for antistatic processing method identification. The study methods were selected in such a way so that the measurement results would provide information concerning the antistatic processing method. The proposed study method division into static and dynamic parameters made it possible to formulate conclusions concerning the interdependence of these parameters. The mutual relationships of specific electrostatic parameters (understood as the tendency of their interdependences and mutual relationships as explained in the beginning chapters of the article)

describe the product according to the division adopted by the author, which includes the type of antistatic processing, type of preparation, and antistatic processing stage of conduction.

Two antistatic processing procedures were conducted for the article. A plastic material was modified during the first one – technical foil. During the second procedure, the mining foil was modified by using three different antistatic agents; additionally, each of them featured two different concentrations. The antistatic processing procedures were conducted according to the antistatic processing realization methods identified in the article.

It was also attempted to evaluate the efficiency of various antistatic processing realization methods. Efficiency should be understood as a final product evaluation and fulfilment of the planned requirements concerning the product antistatic properties. It has been proven that a part of the identified antistatic processing methods was characterized by the significant heterogeneity of the final product, the instability of its antistatic properties over time, or its influence on the environment via the exudation or flaking processes of the antistatically processed material. It was observed that the property durability of materials antistatically processed with some methods is dependent on various factors present in mines, such as the relative humidity or mine atmosphere – the materials lose their antistatic properties after being flushed with water, for example.

7. CONCLUSIONS

The products utilized in hard coal mining must meet the requirements concerning the technical parameters defined by Polish law, ensuring their safe use. The Ordinance of the Minister of Economy, (dated June 28, 2002) concerning industrial safety, mining plant operations, and specialist fire protection in underground mining facilities [Dz.U. dated 2002, No. 139, Item 1169] constituting an implementing act to Mining Law [Dz.U. dated 2016, item 1131] permits products manufactured from plastics for use in underground mine workings if they are characterized by slow-burning, antistatic, and non-toxic properties. A literature analysis shows that a great majority of plastics do not possess antistatic properties. It can be stated that all products manufactured from plastics utilized in mining are antistatically processed because the law requires them to possess antistatic parameters. The quality of the final product utilized in a mine depends on the method and type of antistatic processing. An antistatically processed product should be

durable over time and should not negatively influence the work comfort of miners, because the safety of the people working in explosion hazard zones in Polish underground coal mining depends on the antistatic processing realization method.

When conducting work for this article, it was observed that products utilized in underground mine workings do not meet the full safety requirements concerning the stable and safe antistatic parameters. There are products that fulfill the antistatic requirements during testing, but their properties fade after a certain amount of time. It was also observed that there are no unambiguous legal requirements concerning the electrostatic property evaluation of a product. Defining a requirement for a product to “possess antistatic qualities” is definitely too limited. They would need to be made more specific and precise. It can be concluded (for example, based on the lack of mutual electric parameter relationships of the antistatically processed products) that the current legal status qualifies products fulfilling the resistivity criterion as safe when they do not meet the charge decay time criterion or vice versa.

A dynamic increase in the contribution of plastics in the manufacturing of products utilized in industry results in the increase of the amount of plastics used in mines. The conclusions formulated in the article should be used by manufacturers of plastics utilized in Polish hard coal mining. Even through higher expenditure, the manufacturers should manufacture products that pose no risk of explosion throughout their entire period of utilization that would have stable antistatic parameters and whose antistatic processing realization methods would have no negative influence on the environment or work comfort of the underground mine personnel.

References

- [1] *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. z 2002 r. nr 139, poz. 1169 z późn. zm.
- [2] *Ustawa z dnia 9.06.2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze*, Dz.U. z 2016 r., poz. 1131, tekst jednolity.
- [3] Sukiennicki A., Zagórski A.: *Fizyka ciała stałego*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1984.
- [4] *Dyrektywa Rady 89/686/EEG z dnia 21 grudnia 1989 r. w sprawie ujednolicenia przepisów prawnych Państw Członkowskich odnoszących się do wyposażenia ochrony osobistej*.
- [5] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla środków ochrony indywidualnej*, Dz.U. z 2005 r. nr 259, poz. 2173.
- [6] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz.U. z 2015 r. poz. 1422, tekst jednolity.
- [7] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych*, Dz.U. z 2003 r. nr 47, poz. 401.
- [8] *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 11 czerwca 2002 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy*, Dz.U. z 2003 r. nr 169, poz. 1650, tekst jednolity.
- [9] *Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy*, Dz.U. z 2014 r. poz. 1502 z późn. zm., tekst jednolity.
- [10] *Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane*, Dz.U. z 2016 r. poz. 290 z późn. zm., tekst jednolity.
- [11] Walp L. E.: *Antistatic Agents*. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology 2014.
- [12] *Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn*.
- [13] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21.10.2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn*, Dz.U. z 2008 r. nr 199, poz. 1228 z późn. zm.
- [14] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 listopada 2005 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy i stacja paliw płynnych, rurociągi przesyłowe dalekosiężne służące do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie*, Dz.U. z 2014 r. poz. 1853, tekst jednolity.
- [15] *Rozporządzenie Ministra Transportu z dnia 20 listopada 2006 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać urządzenia do napełniania i opróżniania zbiorników transportowych*, Dz.U. z 2015 r. poz. 34, tekst jednolity.
- [16] *Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów*, Dz.U. z 2010 r. nr 109, poz. 719.
- [17] *Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 7 października 1997 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie*, Dz.U. z 2014 r., poz. 81, tekst jednolity.
- [18] *Ustawa z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorcze technicznym*, Dz.U. z 2015 r. poz. 1125 z późn. zm., tekst jednolity.
- [19] *Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej*, Dz.U. z 2016 r. poz. 191 z późn. zm., tekst jednolity.
- [20] Gajewski A.: *Elektryczność statyczna – poznanie, pomiar, zapobieganie, eliminowanie*, Instytut Wydawniczy Związków Zawodowych, Warszawa 1987.
- [21] Grabarczyk Z., Kurczewska, A.: *Zagrożenia elektrostatyczne w strefach zagrożonych wybuchem*, CIOP, Warszawa 2008.
- [22] CLC/TR 50404:2003. *Elektrostatyka – Kodeks postępowania praktycznego dla unikania zagrożeń związanych z elektrycznością statyczną*.
- [23] Kędziński P.: *Zmiana właściwości elektrostatycznych tkanin wykonanych w technice przepłotu*, “Wiadomości Górnicze” 2015, 4: 209–213.
- [24] Kędziński, P.: *Antystatyzacja w ujęciu technologicznym*, “Wiadomości Górnicze” 2013, 12: 730–735.
- [25] *Dyrektywa ATEX 2014/34/EU Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstwa państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej*.
- [26] *Dyrektywa 1999/92/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 1999 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa*.

PRZEMYSŁAW KĘDZIERSKI, Ph.D., Eng.
GIG Central Mining Institute
pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice, Poland
pkedzierski@gig.pl

PRZEMYSŁAW KĘDZIERSKI

Przegląd zagrożeń od elektryczności statycznej w górnictwie węgla kamiennego

Zagrożenia wywołane elektrycznością statyczną są zaliczane do zagrożeń technicznych występujących w górnictwie węgla kamiennego. Zagrożenia te związane są z powstaniem nadmiarowego ładunku elektrycznego, będącego skutkiem większości czynności technologicznych. Największe zagrożenie stanowią wyroby z tworzyw sztucznych, kwalifikowanych jako materiały nieantyelektrostatyczne.

Omówiono regulacje europejskiego i polskiego prawa dotyczące wymagań dla materiałów w zakresie ich właściwości antyelektrostatycznych. Przedstawiono wyniki badań prowadzonych w GIG pod kątem usystematyzowania procesu antystatyzacji tworzyw sztucznych. Udowodniono, że proces nadania tworzywu sztucznemu właściwości antyelektrostatycznych nie jest łatwy i jednorodny. Wprowadzona systematyka procesu antystatyzacji, czyli identyfikacja różnych metod realizacji procesu antystatyzacji, ma na celu uświadomienie producentom i odbiorcom istnienia wielu, często niepożądanych, właściwości modyfikowanych tworzyw sztucznych.

Słowa kluczowe: *elektryczność statyczna, górnictwo, wybuch, tworzywo sztuczne*

1. WPROWADZENIE

Wyroby wykorzystywane w górnictwie węgla kamiennego muszą spełniać wymagania antyelektrostatyczności, trudnopalności i nietoksyczności. Określa to rozporządzenie Ministra Gospodarki [1] – akt wykonawczy do ustawy Prawo geologiczne i górnicze [2]. Wyładowanie elektrostatyczne może stanowić źródło zapłonu metanu. Antyelektrostatyczność tych wyrobów nie jest rozumiana jednoznacznie i nie jest jednako realizowana.

Większość tworzyw sztucznych nie spełnia wymagań prawnych w zakresie właściwości antyelektrostatycznych. Wyroby z nich elektryzują się, gromadząc nadmiarowy ładunek elektryczny, co stanowi zagrożenie wyładowaniem elektrostatycznym, które może zainicjować zapłon atmosfery wybuchowej.

Tworzywa sztuczne, kwalifikowane jako izolatory elektryczne [3], są coraz częściej stosowane w górnictwie węgla kamiennego z uwagi na niższe koszty produkcji od kosztów materiałów antystatycznych. W celu spełnienia wymagań prawnych oraz obniżenia zdolności do elektryzacji tworzyw sztucznych przeprowadza się ich antystatyzację, czyli poprawianie właściwości antyelektrostatycznych. Antystatyzacja jest procesem

polegającym na zmianie właściwości elektrostatycznych wyrobu w celu zwiększenia szybkości rozpraszania (odprowadzania) ładunków oraz zmniejszenia zdolności do elektryzacji.

Najczęściej antystatyzacja materiałów ma na celu zmianę ich rezystancji, która jest podstawowym parametrem oceny właściwości elektrostatycznych materiałów, i klasyfikacji – z materiału rozpraszającego na przewodzący albo z izolatora na rozpraszający. Na podstawie rezystancji powierzchniowej i skrośnej materiały kwalifikuje się jako przewodzące, rozpraszające i izolatory. Dwa pierwsze rodzaje uznawane są za antystatyczne, czyli takie, które nie elektryzują się trwale i nie gromadzą ładunku na swojej powierzchni.

Istnieją różne metody realizacji procesu antystatyzacji. Wiele materiałów antystatyzowanych zmienia swoje właściwości elektrostatyczne w czasie lub ulegają one zmianie wskutek działania czynników zewnętrznych. Część z nich oddziałuje również na otoczenie. Materiały te, antystatyzowane różnymi metodami, mają wiele właściwości, nie zawsze pożądanых ze względów bezpieczeństwa i cech użytkowych. Niewłaściwy, nietrwały wyrób może mieć wpływ na bezpieczeństwo w strefach zagrożonych wybuchem.

2. ZAGROŻENIA W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Poniżej przedstawiono podział zagrożeń oparty na analizie literatury, głównie aktów prawa europejskiego, polskiego i norm.

Zagrożenia związane z elektrycznością statyczną rozważać można w następujących obszarach:

- komfort i bezpieczeństwo człowieka,
- przemysł elektroniczny i wytwarzający elementy wrażliwe na wyładowania typu ESDS,
- przemysł,
- atmosfery wybuchowe, w tym górnictwo węgla kamiennego,
- sale operacyjne.

Pierwszy obszar zagrożeń to komfort człowieka i jego bezpieczeństwo. Obszar komfortu nie jest uregulowany ani aktami prawnymi, ani normami – nie wyznaczono żadnych kryteriów oraz metod badań parametrów elektrostatycznych. Stosowanie obuwia bądź odzieży klasyfikowanych jako izolator lub materiał rozpraszający zależy tylko od danej osoby. W tym obszarze często człowiek jest naelektryzowany, dochodzi do wyładowań elektrostatycznych i w konsekwencji do wypadków, nawet śmiertelnych. Dla przykładu można podać uszkodzenie kończyn wskutek upadku będącego efektem odruchu bezwarunkowego po wyładowaniu z ciała człowieka do metalowej poręczy (człowiek w izolujących butach w czasie chodzenia uległ naelektryzowaniu).

Bezpieczeństwo człowieka w pracy, w zakresie ochrony przed elektrycznością statyczną reguluje w prawie europejskim dyrektywa [4] dotycząca środków ochrony osobistej, a w prawie polskim – rozporządzenie Ministra Gospodarki [5], rozporządzenie Ministra Infrastruktury [6], rozporządzenie Ministra Infrastruktury [7] oraz rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej [8]. Wymienione rozporządzenia stanowią akty wykonawcze do ustaw Kodeks pracy [9] i Prawo budowlane [10]. Wskazane w nich wymagania dotyczą ochrony przed elektrycznością statyczną, w tym głównie przed nadmierną elektryzacją.

Drugi obszar zagrożeń obejmuje ochronę przyrządów elektronicznych i wrażliwych na wyładowania elektrostatyczne tak zwanych obiektów typu ESDS. Jest to obszar bogaty w normy (rodzina norm serii PN-EN 61340 i IEC 61340). Niestety, obszaru tego nie regulują akty wykonawcze, tzn. stosowanie norm nie jest przymusem, a wyłącznie dobrą wolą producenta, chęcią zainwestowania w ochronę antystatyczną. Coraz częściej jednak producenci lub odbiorcy żądają od swoich dostawców wdrożenia rozwiązań z norm serii

PN-EN 61340 i IEC 61340, ponieważ mogą w ten sposób zagwarantować jakość i trwałość wyrobu, wykluczając na przykład wyładowanie elektrostatyczne z odzieży pracownika do układu elektronicznego. Uszkodzenie układu elektronicznego stanowi ukrytą wadę, która ujawnia się w czasie eksploatacji, a jest nie do wykrycia na etapie produkcji.

W przemyśle elektronicznym i związanym z komponentami wrażliwymi na ESD ma zastosowanie szereg norm określających metody kontroli, badań oraz działań prewencyjnych, mających na celu zapewnienie bezpiecznego manipulowania (najczęściej podczas produkcji) elementami elektronicznymi. Komponenty elektroniczne (płyty drukowane, mikroprocesory) mogą ulec zniszczeniu wskutek wyładowania ładunku o potencjale 50 V. Stosowanie norm opisujących metody badań i kontroli w przemyśle elektronicznym nie jest przymusowe ani wymagane przez prawo. Coraz częściej wdrożenie wymagań tych norm wynika z potrzeby zapewnienia jakości produkcji i produktów w przedsiębiorstwach elektronicznych.

Trzeci obszar zagrożeń obejmuje przemysł, głównie związany z materiałami niebezpiecznymi i palnymi [11]. Bezpieczeństwo człowieka w pracy w zakresie ochrony przed elektrycznością statyczną reguluje w prawie europejskim dyrektywa [12] dotycząca maszyn, a w prawie polskim rozporządzenie Ministra Gospodarki [13].

W polskich przepisach można znaleźć: rozporządzenie Ministra Gospodarki [14], rozporządzenie Ministra Transportu [15], rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji [16] oraz rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej [17], które stanowią akty wykonawcze do ustaw: o dozorze technicznym [18], Kodeks pracy [9], Prawo budowlane [10], o ochronie przeciwpożarowej [19]. Określone w nich wymagania dotyczą ochrony przed nadmierną elektryzacją tam, gdzie ładunek elektrostatyczny może stanowić zagrożenie.

Czwarty obszar zagrożeń dotyczy stref zagrożonych wybuchem. Jest on najbardziej restrykcyjny, a określone dla niego parametry antystatyczne wynikają z dyrektyw Unii Europejskiej, rozporządzeń właściwych ministrów oraz norm jako aktów wykonawczych. Kontrola właściwości elektrostatycznych materiałów, ich ocena oraz posiadanie certyfikatu są niezbędne w przypadku stosowania ich w strefach zagrożonych wybuchem.

Dyrektywa maszynowa 2006/42/WE [12] wymaga od producentów maszyn, żeby projekty oraz wykonania maszyn i urządzeń zapewniały zapobieganie i ograniczanie gromadzenia się niebezpiecznych ładunków elektrostatycznych lub posiadały systemy do odprowadzania ładunków.

Dyrektywa ATEX 2014/34/EU [25] ma na celu ujednolicenie przepisów państw członkowskich Unii Europejskiej dotyczących urządzeń elektrycznych i nieelektrycznych oraz systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Uregulowania zawarte w tym przepisie dotyczą bezpieczeństwa i ochrony życia. Dyrektywa nakazuje zapobieganie wybuchom w wyniku stosowania odpowiednich środków zapobiegających powstawaniu ładunków elektrostatycznych zdolnych do wywołania niebezpiecznych wyładowań.

Zadaniem dyrektywy ATEX USERS 1999/92/WE [26] jest określenie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników zatrudnionych w miejscach, gdzie może wystąpić atmosfera wybuchowa oraz narzucenie na pracodawcę określonych obowiązków w tym zakresie. Obowiązkiem pracodawcy jest między innymi ocena ryzyka, podejmowanie technicznych działań mających eliminować i minimalizować zagrożenie. Zapobieganie zapłonowi ma uwzględniać możliwość wyładowania elektrostatycznego w miejscach, gdzie pracownicy lub środowisko pracy może być źródłem lub nośnikiem napięcia.

Dyrektywa dotycząca środków ochrony indywidualnej 89/686/EWG [4] ma na celu ujednolicenie w państwach członkowskich wymagań w zakresie wyposażenia ochrony osobistej oraz metod oceny zgodności. Dyrektywa nakazuje, aby środki ochrony osobistej przewidziane do użytku w atmosferach potencjalnie wybuchowych nie mogły być źródłem iskry ani łuku elektrycznego spowodowanego elektryzacją. Dyrektywa specyfikuje środki ochronne w strefach zagrożonych wybuchem, jako wyroby antystatyczne w całym okresie ich stosowania (to znaczy o niezmiennych parametrach). Środki ochronne muszą być wykonane z materiałów, które nie stanowią zagrożenia w aspekcie elektryczności statycznej.

Raport techniczny CLC/TR 50404 [22] został opracowany na podstawie mandatu udzielonego przez Komisję Europejską. Raport zawiera szereg istotnych informacji praktycznych związanych z wdrożeniem środków ochrony antystatycznej. W raporcie

zawarto szczegółowe informacje na temat bezpiecznego stosowania większości powszechnie używanych materiałów i wyrobów w górnictwie oraz strefach zagrożonych wybuchem. Raport techniczny posiada wiele powiązań z publikacjami naukowymi i wynikami prac doświadczalnych.

Ustawa z dnia 09.06.2011 r. Prawo geologiczne i górnicze [2] wskazuje właściwego ministra do spraw gospodarki jako odpowiedzialnego za określenie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu poszczególnych rodzajów zakładów górniczych w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy.

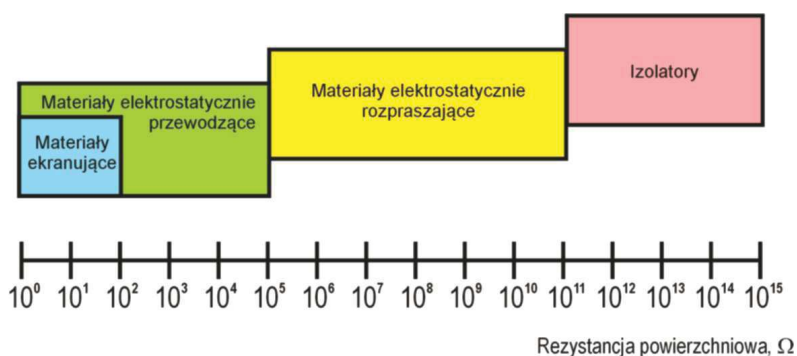
3. ELEKTRYCZNOŚĆ STATYCZNA

W elektrostatyce wprowadzono podziały materiałów ze względu na ich cechy elektrostatyczne. Podziały te zależą od dziedziny zastosowań, różne są w elektronice, bezpieczeństwie wybuchowym i innych obszarach.

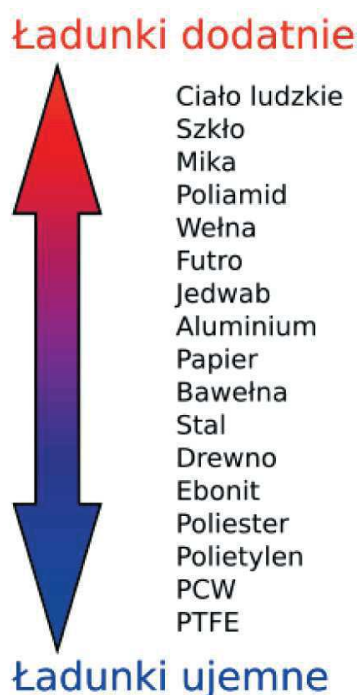
Na podstawie kryterium rezystancji powierzchniowej powstał podział (rys. 1) na materiały: elektrostatycznie przewodzące (w tym materiały ekranujące), elektrostatycznie rozpraszające oraz izolatory [20].

Do powstania ładunków elektrostatycznych dochodzi podczas elektryzacji. Elektryzacja, czyli rozdzielanie ładunków elektrycznych ujemnych od dodatnich, polega na wyodrębnieniu ich z materii lub oddaleniu ich od siebie [21]. Do elektryzacji dochodzi podczas czynności, takich jak: tarcie, rozdzielanie, rozbryzgiwanie, przelewanie, rozdrabnianie, przemiany termiczne, procesy mechaniczne, zmiany stanów skupienia, indukcja elektryczna. Wszystkie te zjawiska można łatwo zidentyfikować nie tylko w życiu codziennym, ale również w wielu procesach produkcyjnych i technologicznych.

W ocenie zdolności do elektryzacji przeanalizować należy szereg tryboelektryczny, czyli uporządkowanie materiałów pod względem biegunowości i wielkości ładunku elektrycznego wytwarzanego podczas metod kontaktowo-tarciowych. Niektóre materiały łatwiej tracą elektrony, inne łatwiej je gromadzą (rys. 2).



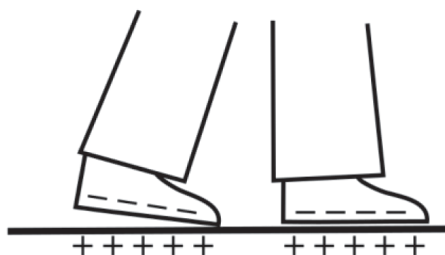
Rys. 1. Podział materiałów ze względu na ich cechy elektrostatyczne



Rys. 2. Szereg tryboelektryczny

Najpowszechniejszym sposobem elektryzacji jest elektryzacja przez tarcie i kontakt, nazywana również metodą kontaktowo-tarciową lub stykową. Na granicy styku dwóch ciał dochodzi do wymiany elektronów – tak zwana warstwa podwójna. W następstwie rozdzielania tych ciał, na jednym z nich wystąpi nadmiar elektronów (ładunki ujemne), natomiast na drugim ciele wystąpi niedomiar elektronów (ładunki dodatnie). Liczba powstałych nadmiarowych ładunków uzależniona jest od właściwości powierzchni, rodzaju materiału, docisku oraz parametrów otoczenia.

W czasie rozdzielania – zgodnie z zasadą szeregu tryboelektrycznego – w zależności od charakteru powinowactwa elektronowego, materiały oddają lub przyjmują elektrony, doprowadzając do powstania nierównowagi elektrycznej w materiałach – w jednym przewagi elektronów, a w drugim ich niedomiaru. Przykładem może być odrywanie stóp od podłoża (rys. 3) lub otwieranie książki w foliowej okładce.



Rys. 3. Przykład elektryzacji przez kontakt – odrywanie stóp od podłoża

Elektryzacja przez tarcie, podobnie jak przez kontakt, związana jest z szeregiem tryboelektrycznym. Wskutek tarcia mechanicznego dochodzi do przechodzenia ładunków elektrycznych między ciałami – w wyniku tego ciała elektryzują się nadmiarowym ładunkiem elektrycznym. Z badań znaku ładunku podczas elektryzacji metodami kontaktowo-tarciowymi można wyciągnąć wniosek, że znak ładunku zależy w wielu przypadkach od sposobu elektryzacji. Nie przeprowadzono badań nad wpływem na elektryzację tarcia elektryzacji kontaktowej i odwrotnie (w tym rozdzielanie i uderzanie). Częścią elektryzacji przez tarcie jest elektryzacja przy przerywaniu kontaktu.

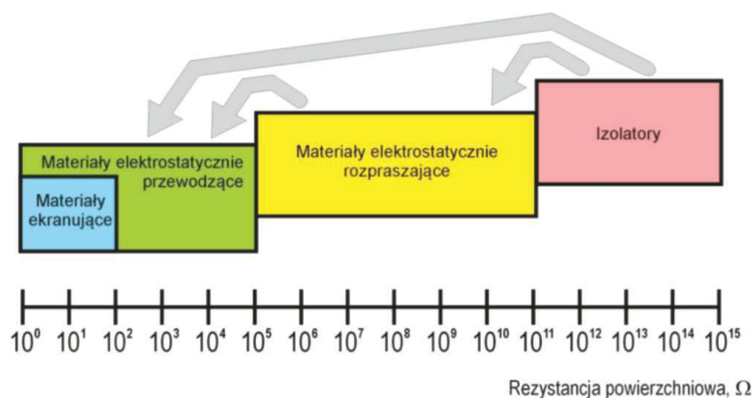
4. ANTYSTATYZACJA

Antystatyzacja, czyli nadanie materiałowi cech antystatycznych, jest procesem polegającym na zmianie właściwości elektrycznych wyrobu, realizowanym w celu zwiększenia szybkości rozpraszania (odprowadzania) ładunków lub zmniejszenia zdolności do elektryzacji albo zwiększenia szybkości rozpraszania (odprowadzania) ładunków i zmniejszenia zdolności do elektryzacji.

Niektóre antystatyki (napelniacze), dodawane w celu nadania pewnych cech, np. koloru, posiadają właściwości antystatyczne i wpływają na zmianę właściwości elektrycznych modyfikowanego materiału, jednak nie są one traktowane jako antystatyki, a ich użycie nie jest traktowane jako proces antystatyzacji.

Ze względu na właściwości elektrostatyczne [22] materiały dzielimy na: ekranujące, przewodzące, rozpraszające i izolatory. Kryterium ich podziału jest rezystancja powierzchniowa. Z uwagi na to antystatyzację można uznać za proces polegający na zmianie rezystancji materiału: z rozpraszającego na przewodzący, z izolatora na rozpraszający lub z izolatora na przewodzący. Proces antystatyzacji przedstawiono na rysunku 4.

Na szybkość odprowadzenia ładunku z materiału ma wpływ również pojemność elektryczna (1), jednak antystatyzacja nie jest utożsamiana ze zmianą pojemności elektrycznej wyrobu chociażby dlatego, że trudno jest modyfikować i sterować pojemnością elektryczną tworzywa sztucznego. Ponadto nie ma opracowanej znormalizowanej metody do pomiaru pojemności elektrycznej wyrobów. Dodanie do wyrobu chociażby metalowych elementów, poza modyfikacją pojemności elektrycznej, zmienia też jego rezystancję.



Rys. 4. Podział materiałów ze względu na ich rezystancję oraz proces antystatyzacji

Zanik ładunku (rozładowanie lub odprowadzenie nadmiarowego ładunku elektrostatycznego z obiektu do uziemienia lub ziemi) opisane jest funkcją wykładniczą:

$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (1)$$

Z zależności (1) wynika, że na szybkość rozładowania decydujący wpływ ma pojemność elektryczna i rezystancja wyrobu. W badaniach pojemność elektryczną wyrobu potraktowano jako cechę wyrobu określającą jego zdolność do kumulacji ładunków. Jeśli przyjmie się, że antystatyzowany materiał jest odizolowany, to całkowity ładunek elektrostatyczny naniesiony na materiał pozostanie na nim. Od rezystancji materiału zależy, czy ładunek elektrostatyczny rozproszy się po całej powierzchni lub objętości materiału, czy też pozostanie w miejscu powstania (naniesienia). Rozkład powierzchniowy ładunku na odizolowanym materiale ma duże znaczenie, ponieważ decyduje o wielkości ładunku elektrycznego na jego powierzchni. Od pojemności elektrycznej wyrobu, niezależnie od wielkości zgromadzonego na nim ładunku elektrostatycznego, zależy potencjał elektrycz-

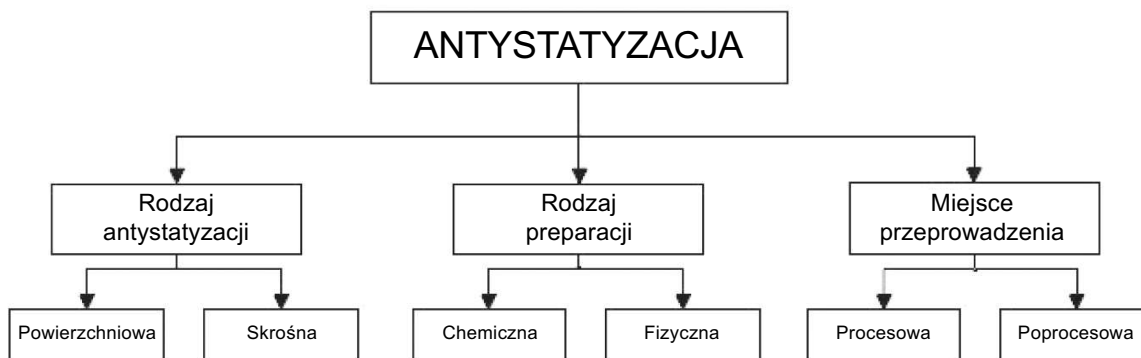
ny obiektu naelektryzowanego, a w konsekwencji energia wyładowania elektrostatycznego.

5. METODY REALIZACJI PROCESU ANTYSTATYZACJI

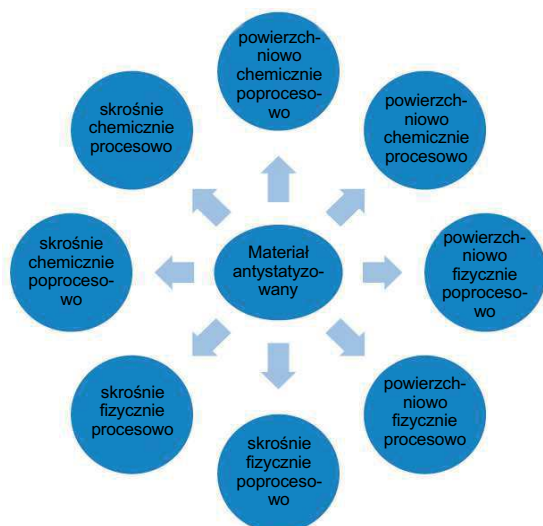
Na podstawie własnych badań, spostrzeżeń i wniosków dokonano podziału procesu antystatyzacji (rys. 5) ze względu na trzy cechy: rodzaj procesu antystatyzacji, rodzaj preparacji (użytego napełniacza) oraz miejsce przeprowadzania procesu antystatyzacji w całym procesie produkcji [23]. Stosując podział procesu antystatyzacji, jak na rysunku 5, zidentyfikowano osiem metod realizacji procesu antystatyzacji tworzyw sztucznych, co determinuje osiem różnych rodzajów materiałów antystatyzowanych (rys. 6).

Każdy wyrób antystatyzowany można rozpatrywać według podziału zobrazowanego na rysunku 5, charakteryzując go ze względu na: rodzaj antystatyzacji, rodzaj preparacji i miejsce przeprowadzania – kwalifikując jako jeden z ośmiu rodzajów materiałów antystatyzowanych.

Wyodrębnienie ośmiu metod realizacji procesu antystatyzacji materiałów ma znaczenie w ocenie realizacji procesu antystatyzacji [24].



Rys. 5. Podział procesu antystatyzacji



Rys. 6. Rodzaje materiałów antystatyzowanych

6. PODSUMOWANIE

W publikacji podjęto się identyfikacji, charakterystyki i oceny różnych metod realizacji procesu antystatyzacji tworzyw sztucznych używanych powszechnie w górnictwie węgla kamiennego. Wydawać by się mogło, że proces antystatyzacji jest prostym sposobem obniżenia zdolności do elektryzacji materiałów. Dokonana identyfikacja jest propozycją własną autora, opracowaną na podstawie wieloletnich badań własnych i spostrzeżeń oraz oceny korelacji (współzależności i wzajemnych powiązań) parametrów elektrycznych. Na podstawie badań i spostrzeżeń opracowano różne metody realizacji procesu antystatyzacji, które charakteryzują się właściwościami związanymi bezpośrednio z bezpieczeństwem wybuchowym w kopalniach. Przedstawione metody antystatyzacji ocenione zostały pod kątem ich bezpiecznego użycia.

Dobrano właściwą metodologię badań właściwości antystatycznych materiałów. Przyjęty katalog badań pozwolił jednoznacznie zidentyfikować metody realizacji procesu antystatyzacji. Niektóre metody badań, jak np. zdolność do elektryzacji, zdysqualifikowano jako właściwy sposób pomiaru do identyfikacji metody antystatyzacji. Metody badań dobrano tak, żeby wyniki pomiarów niosły z sobą informacje na temat metody antystatyzacji. Zaproponowany podział metod badań na parametry statyczne i dynamiczne pozwolił na sformułowanie wniosków dotyczących współzależności tych parametrów. Wzajemne powiązania odpowiednich parametrów elektrostatycznych opisują wyrób według podziału przyjętego przez autora, uwzględniającego: typ antystatyzacji, rodzaj preparacji i miejsce przeprowadzania antystatyzacji.

W publikacji opisano dwa procesy antystatyzacji. W pierwszym modyfikowano tworzywo sztuczne – folię techniczną. W drugim modyfikowano folię górniczą dzięki wykorzystaniu trzech różnych antystatyków i dodatkowo każdy z nich w dwóch różnych stężeniach. Procesy antystatyzacji przeprowadzono według zidentyfikowanych w pracy metod.

W ramach pracy podjęto się oceny skuteczności różnych sposobów realizacji procesu antystatyzacji. Jako skuteczność należy rozumieć ocenę wyrobu finalnego oraz spełnienie zaplanowanych wymagań co do cech antystatycznych wyrobu. Udowodniono, że część zidentyfikowanych metod antystatyzacji charakteryzuje się dużą niejednorodnością wyrobu finalnego, nietrwałością jego antystatyzacji w czasie lub wpływem na otoczenie przez procesy wyparowywania czy łuszczenia materiału antystatyzowanego. Zaobserwowano, że trwałość cech materiałów antystatyzowanych niektórymi metodami jest zależna od czynników panujących w kopalniach, takich jak wilgotność względna, atmosfera kopalniana – tracą one swoje cechy antystatyczne, np. po przepłukaniu wodą.

7. WNIOSKI

Stosowane w górnictwie węgla kamiennego wyroby muszą spełniać wymagania polskiego prawa w zakresie parametrów technicznych zapewniających ich bezpieczną eksploatację. 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. z 2002 r. nr 139, poz. 1169), jako akt wykonawczy do ustawy Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 2016 r., poz. 1131), dopuszcza do stosowania w podziemnych wyrobiskach wyroby z tworzyw sztucznych, które charakteryzują się trudnopalnością, antystatycznością i nietoksycznością. Z analizy literatury wynika, że zdecydowana większość tworzyw sztucznych nie ma właściwości antystatycznych. Stwierdzić można, że wszystkie wyroby z tworzyw sztucznych stosowane w górnictwie są antystatyzowane, ponieważ prawo wymaga posiadania przez nie parametrów antystatycznych. Od sposobu i rodzaju antystatyzacji zależy jakość finalnego wyrobu użytkowanego w kopalni. Wyrób antystatyzowany powinien być trwały i nie powinien pogarszać komfortu pracy górników, ponieważ od sposobu realizacji procesu antystatyzacji zależy bezpieczeństwo ludzi pracujących w strefach zagrożonych wybuchem w polskim górnictwie węgla kamiennego.

W trakcie realizacji pracy dostrzeżono brak spełniania przez wyroby stosowane w podziemnych wyrobiskach pełnych wymagań bezpieczeństwa poprzez uzyskanie przez wyrób trwałych i bezpiecznych parametrów antystatycznych. Istnieją wyroby, które spełniają wymagania antystatyczności podczas badań, jednak po pewnym czasie te właściwości zanikają. Dostrzeżono również brak jednoznacznych wymagań prawnych w zakresie oceny właściwości elektrostatycznych wyrobów. Określenie dla wyrobu wymogu „posiadania cech antystatycznych” jest zdecydowanie zbyt ogólne. Należałoby je doprecyzować i uściślić. Stwierdzić można, chociażby na podstawie braku wzajemnych powiązań parametrów elektrycznych wyrobów antystatyzowanych, że obecny stan prawny dopuszcza jako bezpieczne wyroby spełniające kryterium rezystancji, a niespełniające kryterium czasu zaniku ładunku bądź odwrotnie.

Dynamiczny wzrost udziału tworzyw sztucznych w produkcji wyrobów używanych w przemyśle wpływa na zwiększenie ilości tworzyw sztucznych stosowanych w kopalniach. Wnioski sformułowane w rozprawie doktorskiej powinny być wykorzystane przez producentów tworzyw sztucznych używanych w polskim górnictwie węgla kamiennego. Producenci winni, nawet większymi nakładami finansowymi, produkować wyroby, które nie będą stanowić zagrożenia wybuchem przez cały okres użytkowania, ich parametry antystatyczne będą trwałe, a sposób realizacji procesu antystatyzacji nie będzie oddziałował na środowisko albo pracowników podziemnych wyrobisk górniczych, pogarszając komfort pracy.

Literatura

- [1] 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. z 2002 r. nr 139, poz. 1169 z późn. zm.
- [2] Ustawa z dnia 9.06.2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze, Dz.U. z 2016 r., poz. 1131, tekst jednolity.
- [3] Sukiennicki A., Zagórski A.: *Fizyka ciała stałego*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1984.
- [4] Dyrektywa Rady 89/686/EWG z dnia 21 grudnia 1989 r. w sprawie ujednolicenia przepisów prawnych Państw Członkowskich odnoszących się do wyposażenia ochrony osobistej.
- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla środków ochrony indywidualnej, Dz.U. z 2005 r. nr 259, poz. 2173.
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. z 2015 r. poz. 1422; tekst jednolity.
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych, Dz.U. z 2003 r. nr 47, poz. 401.
- [8] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 11 czerwca 2002 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, Dz.U. z 2003 r. nr 169, poz. 1650, tekst jednolity.
- [9] Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy, Dz.U. z 2014 r. poz. 1502 z późn. zm., tekst jednolity.
- [10] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane, Dz.U. z 2016 r. poz. 290 z późn. zm., tekst jednolity.
- [11] Walp L.E.: *Antistatic Agents*. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology 2014.
- [12] Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn.
- [13] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21.10.2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn, Dz.U. z 2008 r. nr 199, poz. 1228 z późn. zm.
- [14] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 listopada 2005 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy i stacja paliw płynnych, rurociągi przesyłowe dalekosiężne służące do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie, Dz.U. z 2014 r. poz. 1853, tekst jednolity.
- [15] Rozporządzenie Ministra Transportu z dnia 20 listopada 2006 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać urządzenia do napełniania i opróżniania zbiorników transportowych, Dz.U. z 2015 r. poz. 34, tekst jednolity.
- [16] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów, Dz.U. z 2010 r. nr 109, poz. 719.
- [17] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 7 października 1997 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie, Dz.U. z 2014 r., poz. 81, tekst jednolity.
- [18] Ustawa z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorcze technicznym, Dz.U. z 2015 r. poz. 1125 z późn. zm., tekst jednolity.
- [19] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej, Dz.U. z 2016 r. poz. 191 z późn. zm., tekst jednolity.
- [20] Gajewski A.: *Elektryczność statyczna – poznanie, pomiar, zapobieganie, eliminowanie*, Instytut Wydawniczy Związków Zawodowych, Warszawa 1987.
- [21] Grabarczyk Z., Kurczewska A.: *Zagrożenia elektrostatyczne w strefach zagrożonych wybuchem*, CIOP, Warszawa 2008.
- [22] CLC/TR 50404:2003. *Elektrostatyka – Kodeks postępowania praktycznego dla unikania zagrożeń związanych z elektrycznością statyczną*.
- [23] Kędzierski P.: *Zmiana właściwości elektrostatycznych tkanin wykonanych w technice przepłotu*, „Wiadomości Górnicze” 2015, 4: 209–213.
- [24] Kędzierski, P.: *Antystatyzacja w ujęciu technologicznym*, „Wiadomości Górnicze” 2013, 12: 730–735.
- [25] Dyrektywa ATEX 2014/34/EU Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstwa państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej.
- [26] Dyrektywa 1999/92/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 1999 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa.

dr inż. PRZEMYSŁAW KĘDZIERSKI
 Główny Instytut Górnictwa
 pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice
 pkedzierski@gig.pl

EDWARD PIECZORA
PIOTR DOBRZANIECKI

About requirements for diesel drives used in hard coal mine underground workings

Due to the rapid increase of using transportation machines with diesel drives in hard coal mine underground workings, the technical and operational requirements for these drives are analyzed. The ambiguity of the European Union requirements regarding the emission of exhaust gases is indicated. The planned scope of work to meet the requirements given in the Diesel Engine Directive for drives intended to be installed in mobile machines operating in mine workings in atmospheres potentially threatened by methane and/or flammable dust explosion hazards is given.

Key words: mine workings, diesel drive, explosion hazard, exhaust gases, requirements regarding exhaust gases emission

1. INTRODUCTION

The transportation of materials and run-of-mine as well as the transportation of people all play a very important role in mining plant operation. Underground transportation systems in Polish coal mines are based on the following transportation systems:

- underground railways, used on the main transportation routes,
- suspended monorails or floor-mounted-railways in transportation between different divisions,
- conveyor belts.

An underground mining railway is the main system for the transportation of machines, equipment, materials, personnel, and waste rock. The transportation of run-of-mine in cars has been almost completely replaced by conveyor belts.

On-floor transportation has been used since the very beginning of the coal mining industry – the first rails in a coal mine appeared in the 17th century. The beginning of suspended mine transportation dates back as far as the mid-20th century. Due to the development of cable winches in Polish mines, the use of suspended railways and then cable-driven on-floor railways became widespread.

However, they have some limitations:

- they can only move along a set route;
- the train operator has no visual contact with the transportation set,
- the possibility of the uncontrolled breaking of a cable poses a hazard,
- constant maintenance of the cable and guide rollers is needed.

The above limitations were the main reason for introducing the suspended monorails with diesel drives after 1990. Their advantages and created infrastructure (depots, fuel filling stations) contributed to the use of diesel locomotives in underground railways.

2. REQUIREMENTS FOR DIESEL DRIVES USED IN WORKINGS WITH POTENTIALLY EXPLOSIVE ATMOSPHERES

In accordance with the Act of April 15, 2016, on the conformity assessment and market surveillance [1], “Products placed on the market or put into service must meet the requirements”. It shall be presumed that the product meets the requirements if it

complies with the provisions of the harmonized standards with the directives. The basic directives related to diesel drives intended for use in underground workings endangered by firedamp and/or combustible dust are as follows:

- Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of May 17, 2006, on machinery and amending Directive 95/16/EC;
- Directive 2014/34/EU of the European Parliament and of the Council of February 26, 2014, on the harmonization of the laws of the member states relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres;
- Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of September 14, 2016, on requirements relating to gaseous and particulate pollutant emission limits and type-approval for internal combustion engines for non-road mobile machinery, amending Regulations (EU) No 1024/2012 and (EU) No 167/2013 and amending and repealing Directive 97/68/EC;
- Directive 2014/30/EU of the European Parliament and of the Council of February 26, 2014, on the harmonization of the laws of the member states relating to electromagnetic compatibility.

In Annex IV to the Machinery Directive (MD) – categories of the machines to which one of the procedure specified in Paragraph 12, Items 3 and 4 of the directive are mentioned. These are the machines intended for underground operation of the following types:

- locomotives and brake vans;
- hydraulic powered roof supports.

Regarding underground transportation machines, only locomotives for underground railways and braking trolleys for suspended monorails and floor-mounted railways are covered by the strictly specified procedures for conformity assessment described in the Machinery Directive.

There are the following standards harmonized with the Machinery Directive:

- PN-EN 1889-1:2011 Machines for underground mines – Mobile machines working underground – Safety – Part 1: Rubber-tyred vehicles;
- PN-EN 1889-2+A1:2010 Machines for underground mines – Mobile machines working underground – Safety – Part 2: Rail locomotives;
- PN-EN 1679-1+A1:2011 Reciprocating combustion engines – Safety – Part 1: Compression ignition engines.

Most important standards harmonized with the ATEX Directive associated with the discussed problem are as follows:

- PN-EN 1834-1:2002 Reciprocating combustion engines – safety requirements for the design and construction of engines for use in potentially explosive atmospheres. Group II engines for use in flammable gas and vapour atmospheres;
- PN-EN 1834-2:2002 Reciprocating combustion engines – safety requirements for the design and construction of engines for use in potentially explosive atmospheres. Group II engines for use in underground workings susceptible to firedamp and/or combustible gas.

It is worth mentioning that, in the list of Polish standards, the following standards are still in force:

- PN-G-02150:1997 Mining railway – Division and terminology;
- PN-G-36000:1997 Diesel drives for underground mine's vehicles – Requirements,
- PN-G-36001:1999 Diesel drives for underground mine's vehicles – Tests;
- PN-G-46865:2002 – Underground mine's vehicles – Diesel suspended monorail locomotives – Requirements.

The standards were developed in KOMAG within the former Standardization Committee No. 148 (at present, Technical Committee No. 285 of the Polish Standardization Committee).

According to Art. 113 of the Act of June 9, 2011, "Geological and Mining Law" [2], the products are used in mining plants, which:

- 1) meet the requirements regarding the conformity assessment specified in the separate regulations;
- 2) were specified in the regulations issued on the basis of Item 15, meet the technical requirements included in those regulations referred hereinafter as "technical requirements", received approval for operation in mining plants as well as those that are marked in the way that is specified in those regulations... Thus, it should be stated that, according to the above-mentioned act, "putting into operation in the mining plant the facilities, machines, equipment, and longwalls as well as making their significant design changes or significant changes to the operational conditions requires the permission of the mining plant manager".

It should also be mentioned that, according to the Regulation of Council of Ministers of April 30, 2004, on approval for products to be used in mining plants [3] (which is still in force), the following machines are mentioned in Annex 1:

- machines for rope transportation, suspended monorails, and their subassemblies;
- cars for personnel transportation as well as special transportation cars and vehicles with diesel drives.

These require the approval of the State Mining Authority.

2.1. Requirements for safe operation of diesel drive in workings threatened by explosion hazard

The PN-EN 1834-1:2002 standard includes four main configurations of diesel systems for potentially explosive atmospheres (Fig. 1). They were classified according to area from which the air is sucked and the area to which the exhaust gases are emitted.

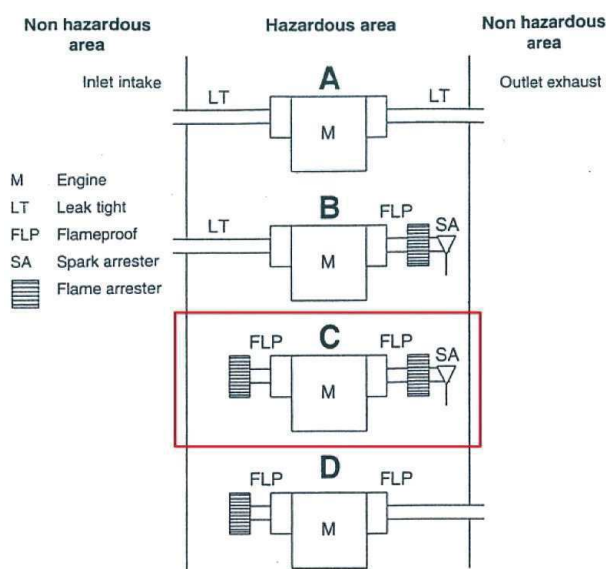


Fig. 1. Main configuration of diesel systems for potentially explosive atmospheres [4]

According to the PN-EN 1834-2:2002 standard, configuration “C” (Fig. 1) presents a diagram of a diesel drive intended for areas threatened by methane and/or flammable dust explosion hazard. In this configuration, air is sucked from and combustion products are emitted to the potentially explosive atmosphere. Air inlets and exhaust gas outlets should be protected by flame arresters, and part of the drive between them should be of anti-explosion manufacture that meets the requirements for Group I of the

PN-EN 60079-0:2013-03 standard (Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General Requirements).

It is necessary to equip the driving system with the automated stopping (switching off) of the diesel engine when the permissible value of rotary speed is exceeded as well as the automated stopping or self-protection of the engine should occur in the case of the following hazards [4]:

- exceeding the permissible temperature of the liquid in a diesel engine cooling system;
- insufficient pressure of lubricating oil;
- not enough liquid in the cooling system;
- exceeding the permissible temperature of the exhaust gases;
- exceeding the permissible temperature of the engine oil;
- exceeding the permissible temperature of the hydraulic oil.

Additionally, in the case of one of the above-mentioned hazards, the control system should signalize the emergency state. A fuel cut-off from the system supplying the engine should be the method for the automated stopping of the engine (both normal and emergency), and moreover, each engine should be equipped with a valve cutting off the air supply [4].

The requirements regarding the permissible temperature of the external surface of the components of the whole driving system is one of the most important conditions that are necessary to be met when diesel engines are used in mining diesel drives operated in coal mines. According to the requirements of PN-EN 1834-2:2002, the temperature of the external surfaces of all engine components and the temperature of the exhaust gases emitted to the atmosphere after the flame arrester cannot exceed 150°C. This refers to the operational conditions of the engine under full load [4]. The full scope of the requirements and the method for their verification are included in the PN-EN 1834-2:2002 standard as well as other related standards.

2.2. Requirements regarding quality of exhaust gases

The permissible emissions of toxic substances in the exhaust gases from the engines installed in machines designed for operation in mine undergrounds are given in Table 1. They are identical to the values included in the PN-EN 1679-1+A1:2011 standard harmonized with the Machinery Directive. They refer to diesel engines featuring power from 37 to 560 kW.

Table 1
Emission limits of toxic substances according to PN-EN 1679-1+A1:2011[4]

Power	Carbon monoxide CO	Hydrocarbons HC	Nitrogen oxides NO _x	Particulate matter PM
[kW]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
37–75	6.5	1.3	9.2	0.85
75–130	5.0	1.3	9.2	0.70
130–560	5.0	1.3	9.2	0.54

In Table 2, the permissible emissions of toxic substances in exhaust gases specified in repealed Diesel Engine Directive (Directive No. 97/68/EC).

Transition to Stage IIIB requirements; i.e., a reduction of emissions of particulate matters (PM) by

about 90% as well as a reduction of emissions of nitrogen oxides (NO_x) by 50% was the most significant change in the requirements for the emission of exhaust gases. Stage IV requirements further reduced the emissions of nitrogen oxides (NO_x) to even a level of zero. Regarding the emission of exhaust gases from non-road mobile machines, Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of September 14, 2016, repealing the Diesel Engine Directive and introducing the Stage V requirements (Tab. 3) became in force starting on January 1, 2016. The requirements significantly reduced the level of particulate pollutants as related to the Stage IV requirements of the repealed Diesel Engine Directive.

The determination of emission limits for exhaust gases from engines intended to be installed in non-road mobile machinery operating in a potentially

Table 2
Emission limits of toxic substances according to Diesel Engine Directive [5, 6]

Power	Date of incorporation	Carbon monoxide CO	Hydrocarbons HC	Nitrogen oxides NO _x	Particulate matter PM
[kW]	–	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Stage I					
37–75	04.1999	6.5	1.3	9.2	0.85
75–130	01.1999	5.0	1.3	9.2	0.70
130–560	01.1999	5.0	1.3	9.2	0.54
Stage II					
19–37	01.2001	5.5	1.5	8.0	0.8
37–75	01.2004	5.0	1.3	7.0	0.4
75–130	01.2003	5.0	1.0	6.0	0.3
130–560	01.2002	3.5	1.0	6.0	0.2
Stage IIIA					
19–37	01.2007	5.5	NO _x + HC – 7.5		0.6
37–75	01.2008	5.0	NO _x + HC – 4.7		0.4
75–130	01.2007	5.0	NO _x + HC – 4.0		0.3
130–560	01.2006	3.5	NO _x + HC – 4.0		0.2
Stage IIIB					
37–56	01.2013	5.0	NO _x + HC – 4.7		0.025
56–75	01.2012	5.0	0.19	3.3	0.025
75–130	01.2012	5.0	0.19	3.3	0.025
130–560	01.2011	3.5	0.19	2.0	0.025
Stage IV					
56–130	10.2014	3.5	0.19	0.4	0.025
130–560	01.2014	5.0	0.19	0.4	0.025

explosive atmosphere in Annex VI of Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of September 14, 2016 (Tab. 4), is an important novelty as related to the previous regulations.

Table 3

Emission limits of toxic substances according to the Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of September 14, 2016

Power	Date of incorporation	Carbon monoxide CO	Hydrocarbons HC	Nitrogen oxides NO _x	Particulate matter PM
[kW]	–	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Stage V					
37–56	01.2019	5.0	NO _x + HC – 4.7		0.015
56–130	01.2020	5.0	0.19	0.4	0.015
130–560	01.2019	3.5	0.19	0.4	0.015

Source: based on data included in above-mentioned regulation

As related to the PN-EN 1679-1+A1:2011 standard, the current regulations are significantly tightened up regarding hydrocarbon (HC) limits and especially for nitrogen oxides (NO_x) and particulate matters (PM), leaving the carbon monoxide (CO) limit at nearly the same level. From a comparison of the data given in Tables 1 and 2, it results in the fact that engines meeting the requirements of the PN-EN 1679-1+A1:2011 standard refer to those engines that meet the Stage I requirements included in the repealed Diesel Engine Directive. Thus, we can see some discrepancies in the European Union requirements. In the scope of the quality of exhaust gases, new commercialized mobile machines with diesel drives intended to be used in underground workings not threatened by explosion hazard (e.g., tire vehicles) should meet the Stage V requirements given in Table 3.

Mobile machines (including underground locomotives for mine railways) intended to be used in atmospheres threatened by methane and/or flammable dust explosion hazard should meet the requirements given in Table 4 referring to the Stage IIIA requirements of the repealed Diesel Engine Directive. Other machines operating underground can meet the exhaust gases emission requirements given in Table 1.

One's attention should be drawn to the Regulation of Ministry of Energy of November 23, 2016, on the detailed requirements for mine underground transportation [7] that have been in force since July 1, 2017, where the following entries are in §635:

1. In diesel vehicles and machines, compression-ignition engines are used.
2. The content of carbon monoxide in the gases emitted from an engine exhaust system should not be higher than the following:
 - 500 ppm – in mines not threatened by methane explosion hazard;
 - 500 ppm – in mines threatened by methane explosion hazard, in the case when the methane concentration in the sucked air is 0.0%;
 - 1200 ppm – in mines threatened by methane explosion hazard, in the case when the methane concentration in the sucked air is 1.0%;
 - 1800 ppm – in mines threatened by methane explosion hazard, in the case when the methane concentration in the sucked air is 1.5%.
3. The number of diesel vehicles and machines operating at the same time in a working is set in such way as to not exceed the concentration limits of the harmful exhaust gases mentioned in §142, Item 2 (i.e., carbon dioxide – max. 1%; carbon monoxide – max. 0.0026%; nitrogen oxides – max. 0.00026%; sulphur dioxide – max. 0.000075%; hydrogen sulphide – max. 0.0007%; and oxygen concentration – min. 19%).

Table 4

Emission limits of toxic substances according to the Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of September 14, 2016, for the engines intended to be installed in non-road mobile machinery operating in potentially explosive atmospheres

Power	Date of incorporation	Carbon monoxide CO	Hydrocarbons HC	Nitrogen oxides NO _x	Particulate matter PM
[kW]	–	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
37–56	01.2017	5.0	NO _x + HC – 4.7		0.4
56–130	01.2017	5.0	NO _x + HC – 4.0		0.3
130–560	01.2017	3.5	NO _x + HC – 4.0		0.2

Source: table compiled on basis of data included in above-mentioned regulation

Thus, we can observe differences in the above-mentioned European regulations (e.g., a lack of requirements for nitrogen oxides, hydrocarbons, and particulate pollutant emission limits), and the ventilation conditions in the working are the criterial factor when deciding about the approval of using a diesel machine in a given underground working. The control requirements for diesel drives during their operation were not specified, assuming that the manufacturer of each machine determines the requirements for periodical control (the method and frequency of the control as well as the criteria for further operation) in the technical manual (technical-and-operational documentation).

3. TECHNICAL POSSIBILITIES OF REALIZATION OF REQUIREMENTS FOR DIESEL DRIVES OPERATING IN WORKINGS THREATENED BY EXPLOSIVE HAZARDS

Bearing in mind the requirements of the so-called Diesel Engine Directive, the engines' manufacturers developed adequate solutions in their products for use in non-road machinery operating on the surface. An example of a solution of one of the manufacturers is given in Table 5.

Table 5
Development of diesel engine solutions for non-road vehicles [8]

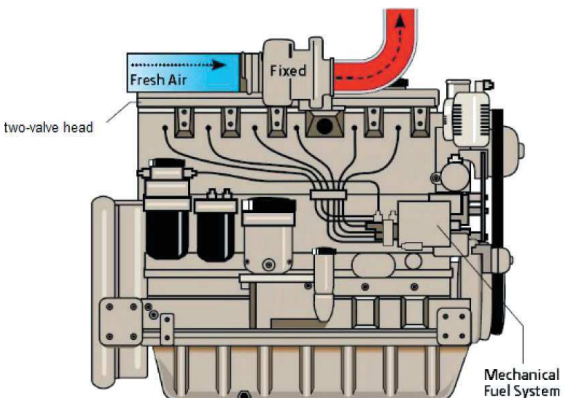
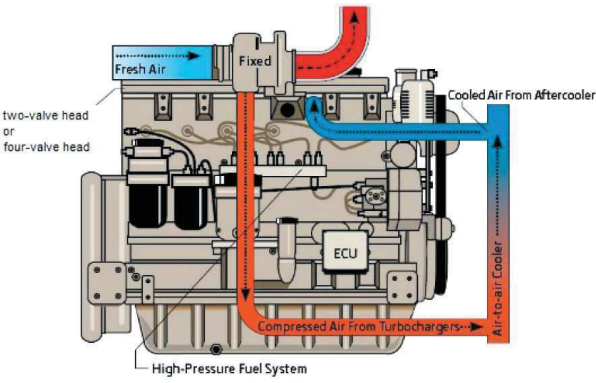
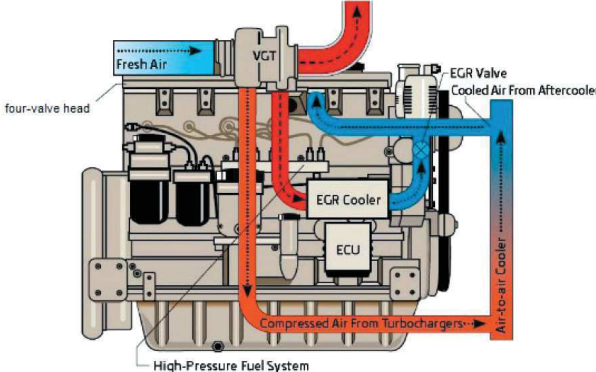
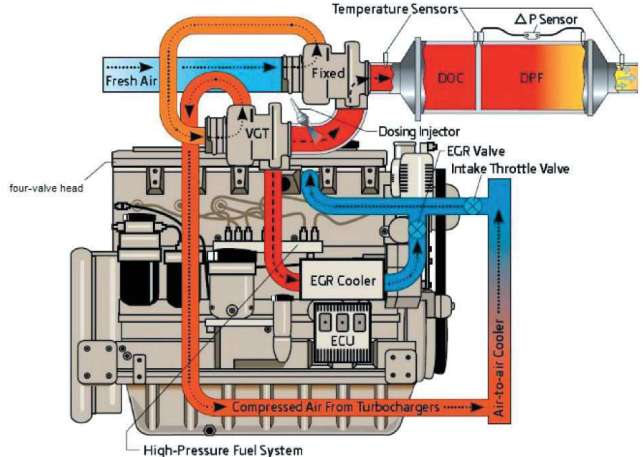
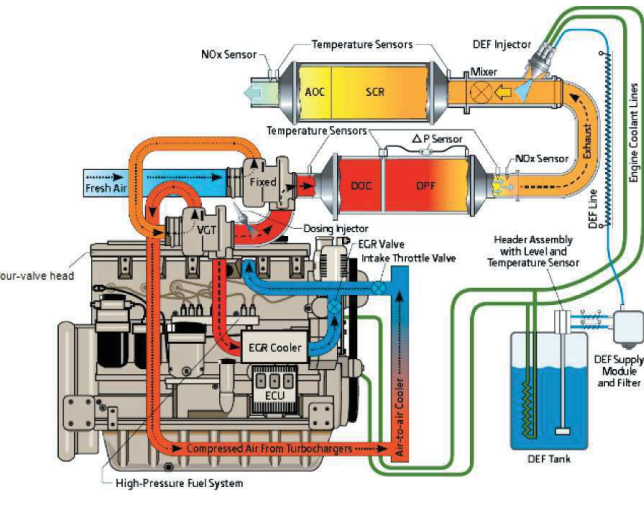
Stage	Diagram	Description
I		Presented system is simplest solution with mechanically controlled inline diesel injection pump and distributor diesel injection pump [9]. Engine is equipped with two-valve head, typical turbocharger with fixed geometry of guide's blades, simple intake system with air filter, and exhaust system.
II		Equipping engine with high-pressure fuel feeding system (e.g., electronically controlled common rail [9], two- or four-valve cylinder head, and cooler of compressed air intake [so-called intercooler] is improving modification of previous system. Engine is usually fitted with turbocharger of guide's blade fixed geometry. Use of intercooler allows for increasing engine power, while electronically controlled fuel injection system decreases emission of hazardous substances with exhaust gases.
IIIA		Another step, is use of EGR system with its own cooler and turbocharger of blade variable geometry. Use of cooled stream of exhaust gases lowers temperature of combustion process, limiting emission of nitrogen oxides (NO_x). Turbocharger of variable guide's blade geometry improves engine operational characteristics (e.g., reduces so-called turbo lag effect at low outlet speed of exhaust gases).

Table 5 cont.

IIIB		Further improvement consisted in using the out-of-the-system exhaust gases processing. Presented example shows oxidation catalytic reactor and a particulate matter filter. It allows to reduce the content of such substances as carbon monoxide, hydro-carbons, and particulate matter.
IV		Most advanced system connecting all previous systems and adding SCR system (selective catalytic reduction). Due to feeding reductive substance (i.e., UAN water solution), further reduction of nitrogen oxides in exhaust gases is observed.

Basing on information included in Table 5, we can conclude that:

- the requirements for exhaust gases quality at Stages I, II, and IIIA were met due to the improvement of the engine feeding system, especially the control of the time and number of fuel injection stages;
- the emission level of each substance according to the requirements of Stages IIIB and IV can be satisfied only by using the so-called off exhaust gases processing system (consisting of a catalytic reactor, particulate matter filter, and other components).

It should be mentioned that none of the diesel engine manufacturers adapts the already-made engines for operation in underground workings threatened by methane and/or flammable dust explosion hazard, leaving the problem to be solved by the manufactur-

ers of underground mining machines with diesel drives.

A sample design of the anti-explosion manufacture of a diesel drive system for transportation machines used in underground workings threatened by methane and/or flammable dust explosion hazards is presented in Figure 2.

The engine was equipped with a liquid-cooled exhaust manifold and turbocharger as well as an exhaust gases outlet hose with a water jacket. In place of an exhaust gas water washer, a “dry” heat exchanger can be used. In the case of a water washer, the exhaust gases flow through its chambers and are cooled down by contacting the cooling water, and the soot is washed out. Periodic replacement of the water is required (after each working shift). The evaporation of water and its frequent splashing out have an adverse impact during operation. In a “dry” heat exchanger, exhaust gases do not directly contact the cooling water, so the soot is not removed from the exhaust gases

An additional water cooling system is required (pump, cooler). Electronic supervising systems controlling the parameters deciding about safe operation are installed. In Figure 3, a sample design of a diesel engine meeting the Stage I requirements equipped with a water system cooling the turbocharger and an outlet exhaust gases collector is shown.

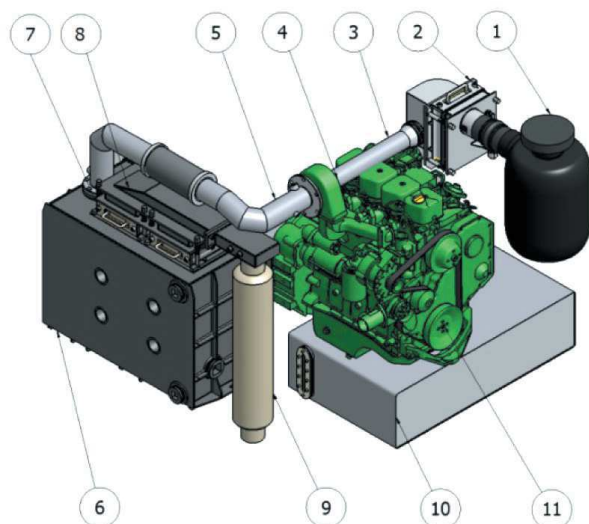


Fig. 2. Sample design of engine unit intended to operate in atmosphere threatened by methane and/or flammable dust explosion hazard meeting Stage I/II requirements: 1 – air filter, 2 – flame arrester in inlet system, 3 – inlet hose, 4 – turbocharger, 5 – exhaust gases outlet hose, 6 – water exhaust gases washer, 7 – flame arrester in exhaust system, 8 – exhaust manifold, 9 – spark arrester, 10 – fuel tank, 11 – diesel engine [5]

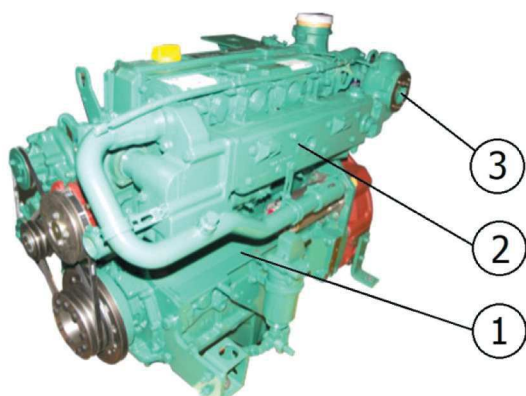


Fig. 3. Sample design of engine unit intended to operate in atmosphere threatened by methane and/or flammable dust explosion hazard meeting Stage I/II requirements: 1 – diesel engine, 2 – liquid-cooled outlet exhaust gases collector, 3 – liquid-cooled turbocharger [5]

The diesel engines used so far by the Polish manufacturers of transportation machines to be used in underground workings threatened by methane and/or

flammable gas explosion hazards meet the requirements of the Diesel Engine Directive – Stage II, and incidentally Stage IIIA. The use of engines meeting current requirements needs further research work. A testing infrastructure, an experienced staff, and testing facilities enable us to conduct such research work at KOMAG. Figure 4 shows a sample design of an industrial diesel engine meeting Stage IV/V requirements.

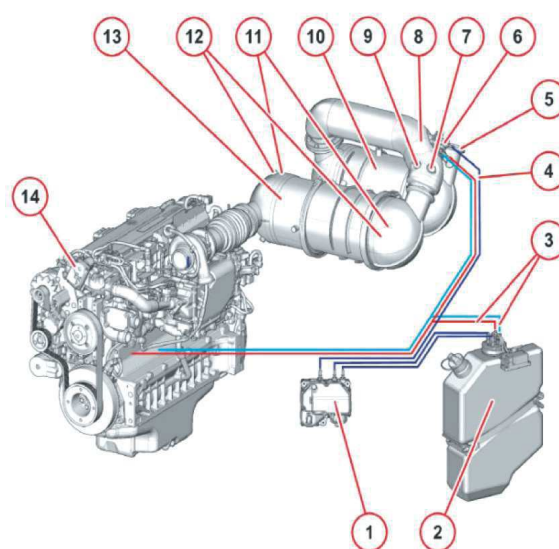


Fig. 4. Sample design of industrial diesel engine meeting Stage IV/V requirements: 1 – SCR supply pump, 2 – SCR tank, 3 – coolant line for preheating SCR tank for cooling metering unit, 4 – SCR hose, 5 – NO_x sensor, 6 – metering unit, 7 – NO_x sensor, 8 – temperature sensor, 9 – pressure sensor, 10 – SCR catalytic reactor, 11 – differential pressure sensor, 12 – temperature sensor, 13 – diesel particle filter (DPF) for diesel engines, 14 – throttle valve [11]

The adaptation of engines for operations in areas threatened by methane and/or flammable dust explosion hazards according to the requirements of the ATEX Directive as well as the Diesel Engine Directive include the following [10]:

- protection of exhaust gases collector and turbocharged surfaces against excessive temperatures,
- anti-explosion protection of intake-outtake system of flame arrester,
- anti-explosion protection of engine's electrical equipment – injectors, sensors, engine controller, alternator, and starter.

The adaptation of a factory-made engine meeting Stage IIIA level requirements requires the design of a diesel drive for operation in areas threatened by methane and/or flammable dust explosion hazards

and requires undergoing research and development work related to the following:

- development of water-cooled outtake exhaust gases collector and turbocharger in anti-explosion (flameproof) manufacture,
- adapting the existing control system (controller, sensors) to explosive atmospheres.

It is essential to adapt the injectors to operate in a potentially explosive atmosphere. Due to the need for the precise positioning of the injectors in pockets, stable fixation, and high operating temperature, their adaptation to meet the ATEX Directive requirements is a complex technological issue. Close cooperation with the engine's supplier is necessary.

4. SUMMARY

The transportation of materials and run-of mine as well as the transportation of personnel are important parts of the mining processes. In the beginning of the 1990s, trains with diesel drives started to be used in place of the widely used cable driven transportation machines in coal mines due to the latter's limitations. The created infrastructure (depots, refueling chambers) contributed to the use of underground diesel locomotives. The implemented diesel drives should meet the safe operation requirements in workings threatened by explosion hazards as well as EU exhaust gases quality requirements. Discrepancies in these requirements were indicated. The standards harmonized with the Machinery Directive indicate that rubber-tired vehicles as well as mobile machines (including underground locomotives) are intended for use in atmospheres potentially threatened by methane and/or flammable dust explosion hazards need to meet the much more restrictive requirements of Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of September 14, 2016 (Stage V and Stage IIIA) than the requirements for other machines, included in PN-EN 1679-1+A1:2011 standard.

Engine manufacturers offer engine designs meeting Stage V exhaust gases emission regulations for non-road vehicles but do not offer engines for mobile machines intended for use in atmospheres potentially

threatened by methane and/or flammable dust explosion hazards. To adapt the engine to the requirements of the ATEX Directive, it is necessary to conduct R&D work, including the following:

- protection against excessive surface temperature of outlet exhaust gases collector and turbocharger,
- anti-explosion protection of intake-outtake flame arrester system,
- anti-explosion protection of engine's electrical equipment – injectors, sensors, engine controller, alternator, and starter.

The above-mentioned work can be realized by KOMAG in close cooperation with the engine manufacturer.

References

- [1] *Ustawa z dnia 15 kwietnia 2016 r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku*, Dz.U. 2016, poz. 542 z późn. zm.
- [2] *Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze*, Dz.U. 2011, nr 163, poz. 981 z późn. zm., tekst jednolity Dz.U. 2017, poz. 2126, stan prawny na 12.10.2017 r.
- [3] *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych*, Dz.U. 2004, nr 99, poz. 1003 z późn. zm.
- [4] Brzeżański M., Pieczora E., Kaczmarczyk K.: *Rozwiązania napędów spalinowych do zastosowań w wyrobiskach podziemnych węgla kamiennego*, "Silniki Spalinowe" 2010, 3: 28–40.
- [5] Dobrzaniecki P., Majewski M., Kaczmarczyk K., Suffner H.: *Nowoczesny napęd spalinowy maszyn samobieżnych dla górnictwa. Identyfikacja zagadnień i zakresu prac związanych z dostosowaniem silnika spalinowego do wymagań Etapu IV dyrektywy spalinowej*, ITG KOMAG, Gliwice 2016 [unpublished].
- [6] Pieczora E., Suffner H.: *Rozwój napędów dołowych kolejek podwieszonych*, "Maszyny Górnicze" 2017, 3: 44–57.
- [7] *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych*, Dz.U. 2017, poz. 1118.
- [8] *Informational materials of John Deere Company*, www.deere.pl, 2017.
- [9] Dobrzaniecki P., Kaczmarczyk K.: *Układy zasilania silników spalinowych eksploatowanych w kopalniach węgla kamiennego na przykładzie rozwiązań ITG KOMAG*, "Maszyny Górnicze" 2017, 1: 63–76.
- [10] Dobrzaniecki P.: *Dostosowanie silnika spalinowego z układem wtryskowym common rail górniczej maszyny roboczej do obowiązujących wymagań i przepisów*, "Maszyny Górnicze" 2016, 3: 45–53.
- [11] *Informational materials of Deutz*, 2017 [delivered by Biuro Techniczno-Handlowe FAST].

EDWARD PIECZORA, Ph.D., Eng.
PIOTR DOBRZANIECKI, Ph.D., Eng.
KOMAG Institute of Mining Technology
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice
{epieczora, pdobrzaniecki}@komag.eu

EDWARD PIECZORA
PIOTR DOBRZANIECKI

O wymaganiach dla napędów spalinowych do podziemnych wyrobisk kopalń węgla kamiennego

Mając na uwadze ciągły wzrost zastosowań urządzeń transportowych z napędem spalinowym w podziemiach kopalń węgla kamiennego, dokonano analizy wymagań technicznych i eksploatacyjnych ww. napędu. Wskazano na niejednoznaczność obowiązujących unijnych wymagań w zakresie emisji spalin. Przedstawiono zakres prac, jakie należy podjąć w celu spełnienia wymagań określonych w dyrektywie spalinowej dla napędów przeznaczonych do maszyn mobilnych eksploatowanych w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu.

Słowa kluczowe: wyrobiska górnicze, napęd spalinowy, zagrożenie wybuchem, spaliny, wymagania odnośnie do emisji spalin

1. WSTĘP

Transport materiałów i urobku oraz przewóz ludzi jest jednym z najważniejszych ogniw procesu wydobywczego zakładu górniczego. W polskich kopalniach węgla kamiennego systemy transportu podziemnego bazują na:

- kopalnianych kolejach podziemnych, stosowanych na głównych drogach transportowych,
- kolejach podwieszonych lub spągowych w transporcie oddziałowym,
- przenośnikach taśmowych.

Kopalniana kolej podziemna stanowi podstawowy system transportu maszyn, urządzeń i materiałów, przewozu ludzi oraz transportu (odstawy) skały płonnej. Transport urobku wozami został praktycznie w całości zastąpiony odstawą przenośnikami taśmowymi.

Transport po spągu jest stosowany od początku rozwoju górnictwa – pierwsze tory kopalniane pojawiły się w XVII wieku. Dopiero w połowie XX wieku zaczęto stosować transport podwieszony. W wyniku rozwoju kołowrotów linowych w polskich kopalniach szybko upowszechniły się szynowe kolejki podwieszane, a następnie spągowe z napędem linowym.

Posiadają one jednak ograniczenia, tj.:

- możliwość prowadzenia transportu jedynie wzdłuż z góry wyznaczonej trasy,
- brak wizualnego kontaktu pracownika obsługującego napęd z zestawem transportowym,
- możliwość niekontrolowanego zerwania liny ciągnącej i stwarzającej zagrożenie wypadkowe,
- konieczne, stałe nakłady na konserwację liny oraz zespołów rolek prowadzących.

Wyżej wymienione ograniczenia stanowiły podstawę wprowadzenia do eksploatacji, po 1990 roku, kolejek podwieszonych z napędem spalinowym. Ich zalety oraz powstała infrastruktura (zajezdnie, komory tankowania paliw) stanowiły przyczynek zastosowania lokomotyw spalinowych do kopalnianej kolei podziemnej.

2. WYMAGANIA DLA NAPĘDÓW SPALINOWYCH EKSPLOATOWANYCH W WYROBISKACH POTENCJALNIE ZAGROŻONYCH WYBUCHEM

Zgodnie z Ustawą z dnia 15 kwietnia 2016 r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku [1], „Wyroby wprowadzane do obrotu lub oddawane do użytku muszą spełniać wymagania”. Domniemywa się, że

wyrób spełnia wymagania, jeżeli jest zgodny z postanowieniami norm zharmonizowanych z określonymi dyrektywami. Podstawowe dyrektywy związane z napędami spalinowymi przeznaczonymi do stosowania w podziemnych wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu to:

- Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE (tzw. dyrektywa maszynowa MD),
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/34/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej (tzw. dyrektywa ATEX),
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 z dnia 14 września 2016 r. zmieniające i uchylające Dyrektywę 97/68/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie zbliżenia ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do środków dotyczących graniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych z silników spalinowych montowanych w maszynach samojedźnych nieporuszających się po drogach (tzw. dyrektywa spalinowa),
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/30/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej (tzw. dyrektywa EMC).

W załączniku IV dyrektywy maszynowej (MD) – wymieniono kategorie maszyn, do których ma zastosowanie jedna z procedur określonych w art. 12 ust. 3 i 4 dyrektywy. Są to m.in. maszyny do robót podziemnych następujących rodzajów:

- lokomotywy i wózki hamulcowe,
- hydrauliczne obudowy zmechanizowane.

W zakresie dołowych urządzeń transportowych tylko lokomotywy do kopalnianej kolei podziemnej oraz wózki hamulcowe do kolejek podwieszonych i spagowych zostały zatem objęte ściśle określonymi procedurami oceny zgodności opisanymi w dyrektywie maszynowej.

Normami zharmonizowanymi z dyrektywą maszynową są m.in.:

- PN-EN 1889-1:2011: *Maszyny dla górnictwa podziemnego – Podziemne maszyny samobieżne – Bezpieczeństwo – Część 1: Pojazdy oponowe,*

- PN-EN 1889-2+A1:2010: *Maszyny dla górnictwa podziemnego – Podziemne maszyny samobieżne – Bezpieczeństwo – Część 2: Lokomotywy szynowe,*
- PN-EN 1679-1+A1:2011: *Silniki spalinowe tłokowe – Bezpieczeństwo – Część 1: Silniki o zapłonie samoczynnym.*

Najważniejsze normy zharmonizowane z dyrektywą ATEX związane z przedmiotową tematyką to:

- PN-EN 1834-1:2002: *Silniki spalinowe tłokowe – Wymagania bezpieczeństwa dotyczące projektowania i budowy silników przeznaczonych do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – Część 1: Silniki grupy II przeznaczone do stosowania w atmosferze palnych gazów i par,*
- PN-EN 1834-2:2002: *Silniki spalinowe tłokowe – Wymagania bezpieczeństwa dotyczące projektowania i budowy silników przeznaczonych do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – Część 2: Silniki grupy I przeznaczone do stosowania w pracach podziemnych zagrożonych występowaniem metanu i/lub palnego pyłu.*

Warto również wspomnieć, że w wykazie polskich norm nadal znajdują się (jako aktualne) m.in. następujące normy:

- PN-G-02150:1997: *Kopalniane koleje szynowe – Podział i terminologia,*
- PN-G-36000:1997: *Napędy spalinowe dla podziemnych pojazdów górniczych – Wymagania,*
- PN-G-36001:1999: *Napędy spalinowe dla podziemnych pojazdów górniczych – Badania,*
- PN-G-46865:2002: *Lokomotywy kopalniane podziemne – Lokomotywy podwieszone spalinowe – Wymagania.*

Normy te opracowano w KOMAG-u w ramach byłej Normalizacyjnej Komisji Problemowej nr 148 (obecnie Komitet Techniczny nr 285) Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

Zgodnie z art. 113 *Ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze* [2] w ruchu zakładu górniczego stosuje się wyroby, które: „spełniają wymagania dotyczące oceny zgodności, określone w odrębnych przepisach lub zostały określone w przepisach wydanych na podstawie ust. 15, spełniają wymagania techniczne określone w tych przepisach, zwane dalej „wymaganiami technicznymi”, zostały dopuszczone do stosowania w zakładach górniczych oraz oznakowane w sposób określony w tych przepisach...”. Należy zatem mieć na uwadze, że zgodnie w ww. ustawą

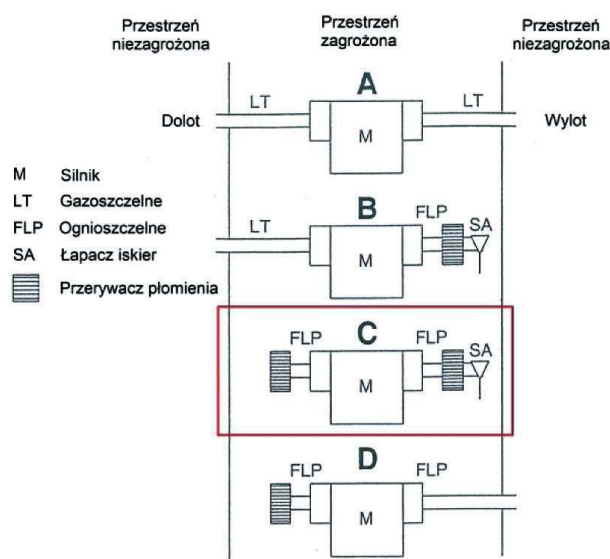
„oddanie do ruchu w zakładzie górniczym obiektów, maszyn, urządzeń i ścian, jak również dokonywanie ich istotnych zmian konstrukcyjnych lub istotnych zmian warunków eksploatacji, wymaga zezwolenia kierownika ruchu zakładu górniczego”.

Nie wolno przy tym zapominać, że zgodnie z nadal obowiązującym *Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych* [3] wymienione w jego załączniku 1:

- urządzenia transportu linowego, kolejki podwieszane, kolejki spągowe oraz ich podzespoły,
- wozy do przewozu osób i wozy specjalne oraz pojazdy z napędem spalinowym do przewozu osób, wymagają dopuszczenia Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego.

2.1. Wymagania dotyczące bezpiecznej eksploatacji napędu spalinowego w wyrobiskach zagrożonych wybuchem

PN-EN 1834-1:2002 zawiera cztery podstawowe konfiguracje układów spalinowych do stref zagrożonych atmosferą wybuchową (rys. 1). Sklasyfikowano je ze względu na przestrzeń, z której powietrze jest zasysane, oraz przestrzeń, do której emitowane są spaliny.



Rys. 1. Podstawowe konfiguracje układów spalinowych do stref zagrożonych atmosferą wybuchową [4]

Zgodnie z PN-EN 1834-2:2002 konfiguracja „C” (rys. 1) przedstawia schemat napędu spalinowego przeznaczonego do stref zagrożonych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu. W tej konfiguracji zarówno powietrze do procesu spalania, jak i produkty spalania zasysane są z przestrzeni potencjalnie zagrożonej wybuchem i do niej emitowane. Dolot powietrza i wylot spalin muszą być zatem zabezpieczone przery-

waczami płomieni, a zawarta pomiędzy nimi część napędu musi być budowy przeciwwybuchowej, spełniającej wymagania dla grupy I PN-EN 60079-0:2013-03 (*Atmosfery wybuchowe – Część 0: Urządzenia – Podstawowe wymagania*).

Konieczne jest również wyposażenie układu napędowego w system samoczynnego (automatycznego) zatrzymania (wyłączenia) silnika spalinowego, po przekroczeniu nadmiernej prędkości obrotowej, a także realizujący samoczynne zatrzymanie lub samoczynne zabezpieczenie silnika, w przypadku następujących stanów zagrożenia [4]:

- przekroczenie dopuszczalnej temperatury cieczy w układzie chłodzenia silnika spalinowego,
- niedostateczna wartość ciśnienia oleju smarującego,
- zbyt mała ilość cieczy w układzie chłodzenia,
- przekroczenie dopuszczalnej temperatury spalin,
- przekroczenie dopuszczalnej temperatury oleju silnikowego,
- przekroczenie dopuszczalnej temperatury oleju hydraulicznego.

Dodatkowo, w przypadku wystąpienia jednego z wymienionych zagrożeń układ kontroli powinien sygnalizować je jako stan alarmowy. Zarówno normalnym, jak i awaryjnym sposobem samoczynnego zatrzymywania silnika powinno być odcięcie dopływu paliwa do układu zasilającego silnik. Ponadto każdy silnik powinien być wyposażony w zawór odcinający dopływ powietrza [4].

Jednym z najważniejszych warunków, koniecznych do spełnienia, przy zastosowaniu silników spalinowych do górniczych napędów spalinowych, eksploatowanych w kopalniach węgla, są wymagania dotyczące dopuszczalnej temperatury zewnętrznej powierzchni elementów całego układu napędowego. Zgodnie z normą PN-EN 1834-2:2002, temperatura powierzchni zewnętrznych wszystkich elementów silnika oraz temperatura spalin emitowanych do atmosfery bezpośrednio za przerywaczem płomienia nie może przekraczać wartości 150°C. Dotyczy to warunków pracy silnika pod pełnym obciążeniem [4]. Pełny zakres wymagań oraz sposób ich weryfikacji zawarto w normie PN-EN 1834-2:2002 i normach z nią związanych.

2.2. Wymagania dotyczące jakości spalin

Dopuszczalne emisje substancji toksycznych w spalinach silników instalowanych w maszynach przeznaczonych do pracy pod ziemią podano w tabeli 1. Są one zgodne z wartościami zawartymi w normie PN-EN1679-1+A1:2011, zharmonizowanej z dyrektywą maszynową. Dotyczą one silników spalinowych o mocy od 37 kW do 560 kW.

Tabela 1
Dopuszczalne emisje substancji toksycznych
według PN-EN 1679-1+A1:2011[4]

Moc	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO _x	Cząstki stałe PM
[kW]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
37–75	6,5	1,3	9,2	0,85
75–130	5,0	1,3	9,2	0,70
130–560	5,0	1,3	9,2	0,54

W tabeli 2 podano dopuszczalne emisje substancji toksycznych w spalinach określone w uchylonej dyrektywie spalinowej (Dyrektywa 97/68/WE).

Najbardziej znaczącą zmianą, w wymaganiach emisji spalin, było przejście do wymagań etapu IIIB, tj. zmniejszenie emisji masowej cząstek stałych (PM) o ok. 90% oraz ok. 50% zmniejszenie emisji tlenków azotu (NO_x). W etapie IV jeszcze bardziej obniżono wymagania odnośnie do poziomu emisji tlenków

azotu (NO_x). W zakresie emisji spalin dla pojazdów niedrogowych od 1 stycznia 2017 roku obowiązuje *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 z dnia 14 września 2016 r. uchylające dyrektywę spalinową i wprowadzające wymagania etapu V* (tab. 3). Wymagania te znacząco obniżyły poziom emisji cząstek stałych w stosunku do wymagań etapu IV uchylonej dyrektywy spalinowej.

Istotną nowością, w stosunku do poprzednio obowiązujących przepisów, jest określenie w załączniku VI *Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 z dnia 14 września 2016 r. w sprawie wymogów dotyczących wartości granicznych emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych oraz homologacji typu w odniesieniu do silników spalinowych wewnętrznego spalania przeznaczonych do maszyn mobilnych nieporuszających się po drogach* wymagań dotyczących emisji spalin dla silników przeznaczonych do montażu w maszynie mobilnej nieporuszającej się po drogach, która ma być użytkowana w atmosferze potencjalnie wybuchowej (tab. 4).

Tabela 2
Dopuszczalne emisje substancji toksycznych według dyrektywy spalinowej [5, 6]

Moc	Data wprowadzenia	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO _x	Cząstki stałe PM
[kW]	–	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Etap I					
37–75	04.1999	6,5	1,3	9,2	0,85
75–130	01.1999	5,0	1,3	9,2	0,70
130–560	01.1999	5,0	1,3	9,2	0,54
Etap II					
19÷37	01.2001	5,5	1,5	8,0	0,8
37–75	01.2004	5,0	1,3	7,0	0,4
75–130	01.2003	5,0	1,0	6,0	0,3
130–560	01.2002	3,5	1,0	6,0	0,2
Etap IIIA					
19–37	01.2007	5,5	NO _x + HC – 7,5		0,6
37–75	01.2008	5,0	NO _x + HC – 4,7		0,4
75–130	01.2007	5,0	NO _x + HC – 4,0		0,3
130–560	01.2006	3,5	NO _x + HC – 4,0		0,2
Etap IIIB					
37–56	01.2013	5,0	NO _x + HC – 4,7		0,025
56–75	01.2012	5,0	0,19	3,3	0,025
75–130	01.2012	5,0	0,19	3,3	0,025
130–560	01.2011	3,5	0,19	2,0	0,025
Etap IV					
56–130	10.2014	3,5	0,19	0,4	0,025
130–560	01.2014	5,0	0,19	0,4	0,025

Tabela 3

Dopuszczalne emisje substancji toksycznych według Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 z dnia 14 września 2016 r.

Moc	Data wprowadzenia	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO _x	Cząstki stałe PM
[kW]	–	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Etap V					
37–56	01.2019	5,0	NO _x + HC – 4,7		0,015
56–130	01.2020	5,0	0,19	0,4	0,015
130–560	01.2019	3,5	0,19	0,4	0,015

Źródło: opracowano na podstawie danych zawartych w ww. rozporządzeniu

W stosunku do PN-EN 1679-1+A1:2011 obecnie obowiązujące przepisy znacząco zaostrzyły wymagania co do poziomu emisji węglowodorów (HC), a najbardziej co do poziomu emisji tlenków azotu (NO_x) i cząstek stałych (PM), pozostawiając bardzo zbliżone wartości emisji tlenku węgla (CO). Z porównania danych zawartych w tabelach 1 i 2 wynika, że silniki spełniające wymagania normy PN-EN 1679-1+A1:2011 odpowiadają silnikom spełniającym wymagania etapu I, według uchylonej dyrektywy spalinowej. Można zatem zauważyć różnice w wymaganiach unijnych. W zakresie jakości emitowanych spalin, nowo wprowadzane do obrotu maszyny mobilne z napędem spalinowym przeznaczone do stosowania w podziemnych wyrobiskach niezagrożonych wybuchem, jak np. pojazdy oponowe, powinny spełniać wymagania etapu V podane w tabeli 3. Maszyny mobilne (w tym lokomotywy dołowe do kopalnianej kolei podziemnej), przeznaczone do stosowania w atmosferach zagrożonych występowaniem metanu i/lub palnego pyłu, winny

spełniać wymagania podane w tabeli 4, odpowiadające wymaganiom etapu IIIA uchylonej dyrektywy spalinowej. Natomiast pozostałe maszyny przeznaczone do pracy pod ziemią, w zakresie emisji spalin, mogą spełniać wymagania podane w tabeli 1.

Należy także zwrócić uwagę na obowiązujące od 1 lipca 2017 r. *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych* [7], które w §635 zawiera zapisy:

1. W pojazdach i w maszynach z napędem spalinowym stosuje się silniki z zapłonem samo-czynnym.
2. Zawartość tlenku węgla w spalinach wyrzucanych przez układ wylotowy silnika, w każdym jego ustalonym stanie pracy, wynosi nie więcej niż:
 - 500 ppm – w kopalniach niezagrożonych wybuchem metanu;
 - 500 ppm – w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu, w przypadku, gdy stężenie metanu w powietrzu zasysanym wynosi 0,0%;
 - 1200 ppm – w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu, w przypadku, gdy stężenie metanu w powietrzu zasysanym wynosi 1,0%;
 - 1800 ppm – w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu, w przypadku, gdy stężenie metanu w powietrzu zasysanym wynosi 1,5%.
3. Liczbę pojazdów i maszyn z napędem spalinowym pracujących równocześnie w wyrobisku ustala się w sposób zapewniający nieprzekroczenie dopuszczalnych wartości stężenia szkodliwych gazów w powietrzu, o których mowa w §142 ust. 2 (tj. dwutlenku węgla maks. 1%, tlenku węgla maks. 0,0026%, tlenku azotu maks. 0,00026%, dwutlenku siarki maks. 0,000075%, siarkowodoru maks. 0,0007% przy zachowaniu zawartości tlenu min. 19%).

Tabela 4

Dopuszczalne emisje substancji toksycznych według Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 z dnia 14 września 2016 r. dla silników przeznaczonych do montażu w maszynie mobilnej, która ma być użytkowana w atmosferze potencjalnie wybuchowej

Moc	Data wprowadzenia	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO _x	Cząstki stałe PM
[kW]	–	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
37–56	01.2017	5,0	NO _x + HC – 4,7		0,4
56–130	01.2017	5,0	NO _x + HC – 4,0		0,3
130–560	01.2017	3,5	NO _x + HC – 4,0		0,2

Źródło: opracowano na podstawie danych zawartych w ww. rozporządzeniu

Zauważalne są różnice pomiędzy ww. zapisami a wymaganiami unijnymi (np. brak wymagań w zakresie tlenków azotu, węglowodorów i cząstek stałych), a kryterialnym czynnikiem decydującym o możliwości zastosowania maszyn z napędem spalinowym w danym wyrobisku są warunki wentylacyjne. Nie określono wymagań kontrolnych co do napędów spalinowych podczas ich eksploatacji, zakładając, że każdy z producentów określi wymagania co do kontroli (sposób i częstotliwość przeprowadzania, kryteria dalszej eksploatacji) w instrukcji (dokumentacji techniczno-ruchowej).

3. TECHNICZNE MOŻLIWOŚCI REALIZACJI WYMAGAŃ DLA NAPĘDÓW SPALINOWYCH EKSPLOATOWANYCH W WYROBISKACH POTENCJALNIE ZAGROŻONYCH WYBUCHEM

Mając na uwadze spełnienie wymagań tzw. dyrektywy spalinowej, producenci silników opracowali stosowne rozwiązania swoich produktów do zastosowania w maszynach niedrogowych, eksploatowanych na powierzchni. Przykładowe rozwiązania jednego z producentów przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5
Rozwój rozwiązań silników spalinowych do pojazdów niedrogowych [8]

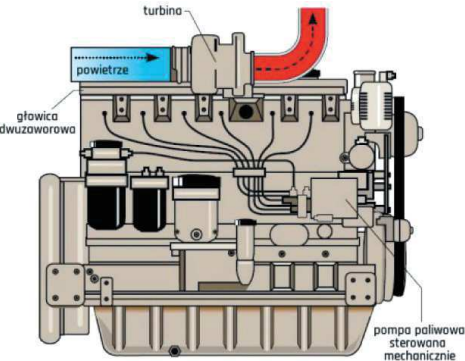
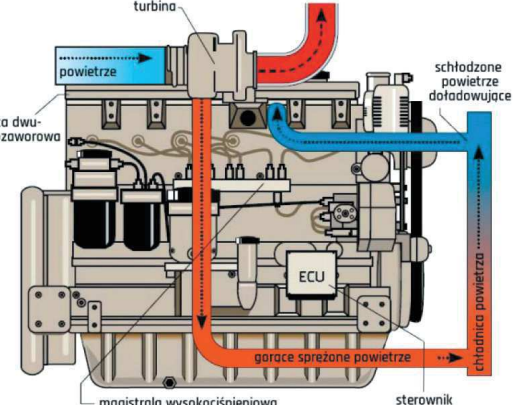
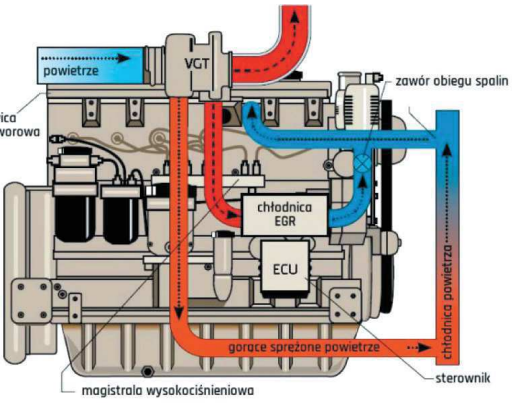
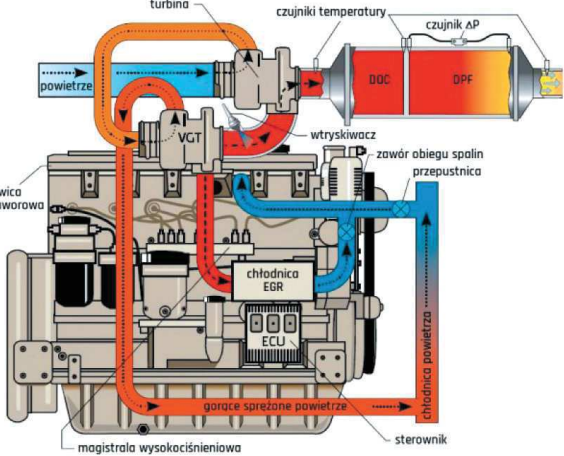
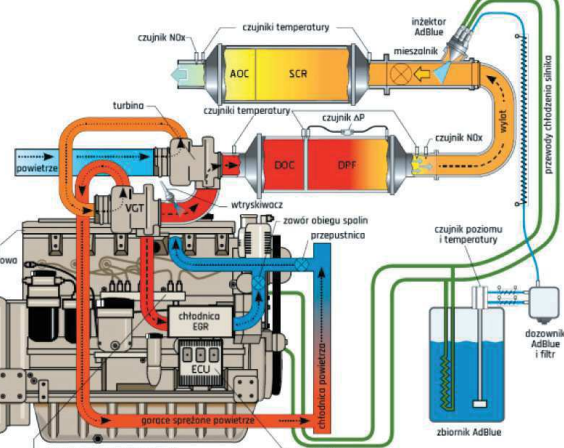
Etap	Schemat	Opis
I	 Schemat przedstawia silnik z turbosprężarką. Powietrze (niebieska strzałka) wchodzi do cylindra. Turbina (czarna) jest połączona z mechaniczną pompą paliwową (czarna). Wydech (czerwona strzałka) wychodzi z tyłu. Pompa paliwowa jest sterowana mechanicznie.	Przedstawiony układ stanowi najprostsze rozwiązanie ze sterowaną mechanicznie pompą rzędową lub rozdzielaczową [9]. Silnik jest wyposażony w dwuzaworową głowicę, typową turbosprężarkę ze stałą geometrią łopatek kierownicy, prosty układ dolotowy z filtrem powietrza oraz układ wylotowy.
II	 Schemat przedstawia silnik z Common Rail. Powietrze (niebieska strzałka) wchodzi do cylindra. Turbina (czarna) jest połączona z mechaniczną pompą paliwową (czarna). Wydech (czerwona strzałka) wychodzi z tyłu. Pompa paliwowa jest sterowana mechanicznie. Układ chłodzący (niebieska strzałka) przepływa przez intercooler (niebieski). Układ dolotowy (niebieska strzałka) przepływa przez intercooler. Układ wylotowy (czerwona strzałka) przepływa przez intercooler. Układ dolotowy (niebieska strzałka) przepływa przez intercooler. Układ wylotowy (czerwona strzałka) przepływa przez intercooler. Układ dolotowy (niebieska strzałka) przepływa przez intercooler. Układ wylotowy (czerwona strzałka) przepływa przez intercooler.	Rozwinięciem poprzedniego układu jest wyposażenie silnika w wysokociśnieniowy układ zasilania paliwem np. <i>Common Rail</i> [9] sterowany elektronicznie, dwu- lub czterozaworową głowicę oraz chłodnicę powietrza doładowującego (tzw. <i>intercooler</i>). Silnik na ogół wyposażony jest w turbosprężarkę o stałej geometrii łopatek kierownicy. Zastosowanie intercoolera pozwoliło zwiększyć moc rozwijaną przez silnik, natomiast elektroniczne sterowanie procesem wtrysku spowodowało zmniejszenie poziomu obecności szkodliwych substancji w spalinach.
IIIA	 Schemat przedstawia silnik z VGT. Powietrze (niebieska strzałka) wchodzi do cylindra. Turbina (czarna) jest połączona z mechaniczną pompą paliwową (czarna). Wydech (czerwona strzałka) wychodzi z tyłu. Pompa paliwowa jest sterowana mechanicznie. Układ chłodzący (niebieska strzałka) przepływa przez intercooler (niebieski). Układ dolotowy (niebieska strzałka) przepływa przez intercooler. Układ wylotowy (czerwona strzałka) przepływa przez intercooler. Układ dolotowy (niebieska strzałka) przepływa przez intercooler. Układ wylotowy (czerwona strzałka) przepływa przez intercooler. Układ dolotowy (niebieska strzałka) przepływa przez intercooler. Układ wylotowy (czerwona strzałka) przepływa przez intercooler.	Kolejnym krokiem było zastosowanie systemu EGR z własną chłodnicą oraz turbosprężarki ze zmienną geometrią łopatek kierownicy. Wykorzystanie schłodzonej części strumienia spalin pozwoliło obniżyć temperaturę procesu spalania, w efekcie czego ograniczono powstawanie tlenków azotu (NO_x). Zastosowanie turbosprężarki o zmiennej geometrii łopatek kierownicy pozwoliło na polepszenie charakterystyk pracy silnika (np. zmniejszenie efektu tzw. turbodziury przy niskiej prędkości wylotowej spalin).

Tabela 5 cd.

Etap	Schemat	Opis
IIIB		Dalszy rozwój polegał na zastosowaniu pozaukładowej obróbki spalin – na przedstawionym przykładzie zespołu reaktora katalitycznego utleniającego oraz filtra cząstek stałych. Dzięki temu udało się obniżyć w spalinach ilość takich związków jak tlenek węgla, węglowodory oraz cząstki stałe.
IV		Najbardziej zaawansowanym układem jest system łączący dotychczasowe układy i dodający system selektywnej redukcji katalitycznej SCR. Dzięki podawaniu substancji redukującej w postaci wodnego roztworu mocznika osiąga się dalsze zmniejszenie ilości tlenków azotu w spalinach.

Na podstawie informacji zawartych w tabeli 5 można stwierdzić, że:

- wymagana jakość spalin w etapie I, II oraz IIIA została osiągnięta dzięki doskonaleniu układu zasilania silnika, w szczególności zaś sterowania czasem i liczbą faz wtrysku paliwa;
- poziom emisji poszczególnych substancji zgodnie z wymaganiami etapu IIIB oraz IV może być spełniony jedynie przy użyciu tzw. pozaukładowej obróbki spalin, składającej się m.in. z reaktorów katalitycznych, filtra cząstek stałych oraz innych.

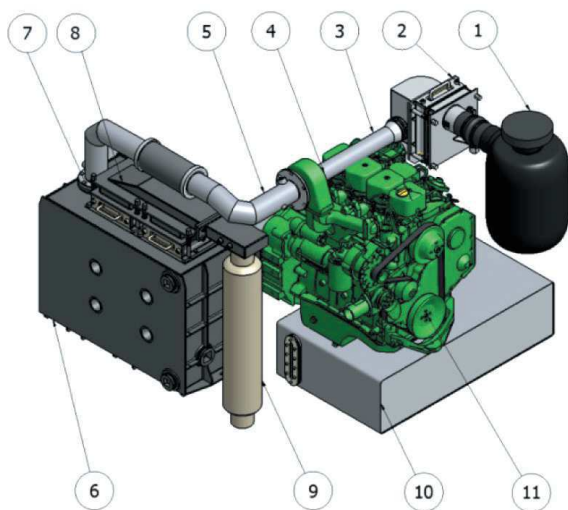
Należy nadmienić, że żaden z producentów silników spalinowych nie produkuje ani nie przystosowuje wytwarzanych silników do eksploatacji w podziemnych wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu, pozostawiając rozwiązanie tego problemu producentowi dołowej maszyny z napędem spalinowym.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe, przeciwwybuchowe rozwiązanie spalinowego układu napędo-

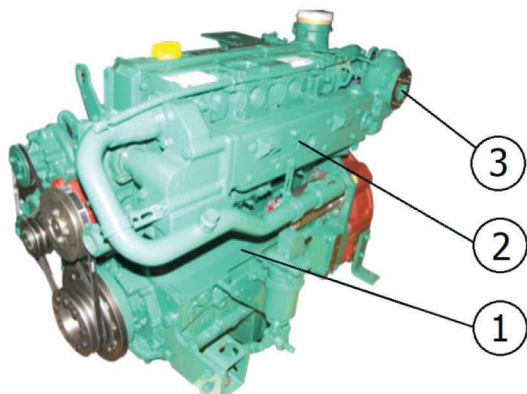
wego do urządzeń transportowych eksploatowanych w podziemnych wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu.

Silnik wyposażono w chłodzone cieczą (z obiegu silnika): kolektor wylotowy spalin oraz turbo-sprężarkę, a także płaszcz przewodu wylotu spalin. W miejsce wodnej płuczki spalin może być stosowany „suchy” wymiennik ciepła. Wodna płuczka spalin, w której spaliny przepływają przez poszczególne komory, bezpośrednio kontaktując się z wodą, pozwala na schłodzenie spalin oraz wymywanie sadzy. Wymagana jest okresowa wymiana wody (po każdej zmianie roboczej). Niekorzystnym zjawiskiem jest odparowywanie wody, a także zdarzające się jej wychłapywanie podczas eksploatacji. W „suchym” wymienniku ciepła nie dochodzi do bezpośredniego kontaktu spalin z chłodzącą je wodą, w wyniku czego spaliny nie są oczyszczane z sadzy. Wymagany jest dodatkowy układ chłodzenia wody (pompa, chłodnica). Instaluje się elektroniczne systemy nadzoru, kontrolujące

parametry decydujące o bezpieczeństwie pracy. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe rozwiązanie silnika spalinowego spełniającego wymagania etapu I fabrycznie wyposażonego w chłodzoną cieczą: turbinię i kolektor wylotowy spalin.



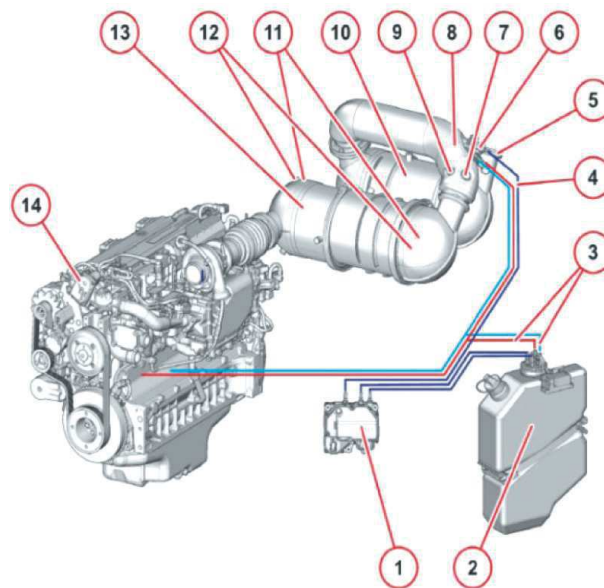
Rys. 2. Przykładowe rozwiązanie zespołu silnika przeznaczanego do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, spełniającego wymagania etapu I/II: 1 – filtr powietrza, 2 – dolotowy przerywacz płomieni, 3 – przewód dolotowy, 4 – turbosprężarka, 5 – przewód wylotu spalin, 6 – wodna płuczka spalin, 7 – wylotowy przerywacz płomieni, 8 – kolektor zbiorczy układu wylotowego, 9 – iskrochron, 10 – zbiornik paliwa, 11 – silnik spalinowy [5]



Rys. 3. Przykładowe rozwiązanie zespołu silnika przeznaczanego do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, spełniającego wymagania etapu I/II: 1 – silnik spalinowy, 2 – chłodzony cieczą kolektor wylotowy spalin, 3 – chłodzona cieczą turbosprężarka [5]

Silniki spalinowe, stosowane dotychczas przez krajowych producentów urządzeń transportowych, eksploatowanych w podziemnych wyrobiskach zagrożo-

nych wybuchem metanu i/lub palnego pyłu, spełniają wymagania dyrektywy spalinowej w zakresie etapu II, a w incydentalnych przypadkach etapu IIIA. Zastosowanie silników spełniających aktualne wymagania niesie za sobą konieczność podjęcia prac badawczo-rozwojowych. Posiadane zasoby: doświadczeni specjaliści dysponujący odpowiednią wiedzą oraz stanowisko badawcze umożliwiają podjęcie tych prac przez Instytut KOMAG. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe przemysłowe rozwiązanie silnika spalinowego spełniającego wymagania etapu IV/V.



Rys. 4. Przykładowe przemysłowe rozwiązanie silnika spalinowego spełniającego wymagania etapu IV/V: 1 – pompa SCR, 2 – zbiornik SCR, 3 – przewód płynu chłodniczego do wstępnego podgrzewania zbiornika SCR do chłodzenia dozownika, 4 – przewód SCR, 5 – czujnik NO_x , 6 – dozownik, 7 – czujnik NO_x , 8 – czujnik temperatury, 9 – czujnik ciśnienia, 10 – reaktor katalityczny SCR, 11 – czujnik ciśnienia różnicowego, 12 – czujnik temperatury, 13 – filtr cząstek stałych (DPF) do silników diesla, 14 – przepustnica [10]

Dostosowanie silnika do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego zgodnie z wymaganiami dyrektywy ATEX oraz dyrektywy spalinowej obejmuje [11]:

- zabezpieczenie temperaturowe powierzchni kolektora wylotowego i turbosprężarki,
- zabezpieczenie przeciwybuchowe układu dolotowo-wylotowego przerywaczami płomienia,
- zabezpieczenie przeciwybuchowe wyposażenia elektrycznego silnika – wtryskiwaczy, czujników, sterownika silnika, alternatora oraz rozrusznika.

Dostosowanie fabrycznego silnika, spełniającego wymagania poziomu etapu IIIA, umożliwiającego za-projektowanie napędu spalinowego do przestrzeni zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, wymaga podjęcia prac badawczo-rozwojowych związanych z opracowaniem:

- kolektora wylotowego spalin oraz turbosprężarki w wersji przeciwwybuchowej (ognioszczelnej) chłodzonych wodą,
- adaptacji istniejącego układu sterowania (sterownik, czujniki) do warunków przeciw-wybuchowych.

Zasadniczą kwestią pozostaje dostosowanie wtryskiwaczy do pracy w atmosferze zagrożonej wybuchem. Z uwagi na konieczność dokładnego pozycjonowania wtryskiwaczy w gniazdach, ich stabilnego zamocowania oraz wysoką temperaturę pracy, przystosowanie ich do wymagań dyrektywy ATEX jest złożonym zagadnieniem technicznym. Niezbędna będzie zatem ścisła współpraca z dostawcą silnika.

4. PODSUMOWANIE

Transport materiałów i urobku oraz przewóz ludzi jest jednym z najważniejszych ogniw procesu wydobywczego zakładu górniczego. W miejsce szeroko stosowanych urządzeń transportowych z napędem linowym, z uwagi na ich ograniczenia, od 1990 roku w podziemiach kopalń węgla kamiennego coraz szerzej stosowane są kolejki z napędem spalinowym. Powstała infrastruktura (zajezdnie, komory tankowania paliw) stanowiła przyczynek do zastosowania lokomotyw spalinowych w kopalnianych kolejach podziemnych. Zastosowane napędy spalinowe powinny spełniać wymagania dotyczące ich bezpiecznej eksploatacji w wyrobiskach zagrożonych wybuchem, a także unijne wymagania co do jakości spalin. Wykazano różnice co do tych wymagań. Z norm zharmonizowanych z dyrektywą maszynową wynika, że wozy oponowe, a także maszyny mobilne (w tym lokomotywy dołowe do kopalnianej kolei podziemnej), przeznaczone do stosowania w atmosferach zagrożonych występowaniem metanu i/lub palnego pyłu muszą spełniać znacznie ostrzejsze wymagania Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1628 z dnia 14 września 2016 roku (tj. etapy V i IIIA), od pozostałych maszyn wymagających spełnienia zapisów PN-EN 1679-1+A1:2011.

Producenci silników oferują rozwiązania spełniające wymagania emisji spalin etapu V dla pojazdów niedrogowych, natomiast nie mają w ofercie silników do maszyn mobilnych, przeznaczonych do stosowania w atmosferach zagrożonych występowaniem metanu i/lub palnego pyłu. W celu ich dostosowania do wymagań dyrektywy ATEX niezbędne jest podjęcie prac badawczo-rozwojowych obejmujących:

- zabezpieczenie temperaturowe powierzchni kolektora wylotowego i turbosprężarki,
- zabezpieczenie przeciwwybuchowe układu dolotowo-wylotowego przerywaczami płomienia,
- zabezpieczenie przeciwwybuchowe wyposażenia elektrycznego silnika – wtryskiwaczy, czujników, sterownika silnika, alternatora oraz rozrusznika.

Wyżej wymienionych prac może podjąć się Instytut KOMAG w ścisłej współpracy z producentem silnika.

Literatura

- [1] *Ustawa z dnia 15 kwietnia 2016r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku*, Dz.U. 2016, poz. 542 z późn. zm.
- [2] *Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze*, Dz.U. 2011 nr 163, poz. 981 z późn. zm., tekst jednolity Dz.U. 2017, poz. 2126, stan prawny na 12.10.2017 r.
- [3] *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych*, Dz.U. 2004, nr 99, poz. 1003 z późn. zm.
- [4] Brzeżański M., Pieczora E., Kaczmarczyk K.: *Rozwiązania napędów spalinowych do zastosowań w wyrobiskach podziemnych węgla kamiennego*, „Silniki Spalinowe” 2010, 3: 28–40.
- [5] Dobrzaniecki P., Majewski M., Kaczmarczyk K., Suffner H.: *Nowoczesny napęd spalinowy maszyn samobieżnych dla górnictwa. Identyfikacja zagadnień i zakresu prac związanych z dostosowaniem silnika spalinowego do wymagań Etapu IV dyrektywy spalinowej*, ITG KOMAG, Gliwice 2016 [praca niepublikowana].
- [6] Pieczora E., Suffner H.: *Rozwój napędów dołowych kolejek podwieszonych*, „Maszyny Górnicze” 2017, 3: 44–57.
- [7] *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych*, Dz.U. 2017, poz. 1118.
- [8] *Materiały firmy John Deere*, www.deere.pl, 2017.
- [9] Dobrzaniecki P., Kaczmarczyk K.: *Układy zasilania silników spalinowych eksploatowanych w kopalniach węgla kamiennego na przykładzie rozwiązań ITG KOMAG*, „Maszyny Górnicze” 2017, 1: 63–76.
- [10] Dobrzaniecki P.: *Dostosowanie silnika spalinowego z układem wtryskowym common rail górniczej maszyny roboczej do obowiązujących wymagań i przepisów*, „Maszyny Górnicze” 2016, 3: 45–53.
- [11] *Materiały firmy Deutz* [udostępnione przez Biuro Techniczno-Handlowe EAST], 2017.

dr inż. EDWARD PIECZORA
dr inż. PIOTR DOBRZANIECKI
Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice
{epieczora, pdobrzaniecki}@komag.eu

GÁBOR LADÁNYI

Condition monitoring experiences of machines in Hungarian Márkushegy underground mine

This paper presents the results obtained during the years of vibration and current signature monitoring at the Márkushegy mining plant before its final closure. The large amount of recorded data has been used for a statistical analysis that is useful for deriving conclusions regarding the incidence of different kinds of faults occurring at the main underground and surface equipment of an underground coal mine. The importance of an inter-inspection time period on the capability of monitoring to increase up-times is revealed. The gained experience that is disseminated in the paper could be a valuable guideline for designing the condition-based maintenance of operating mines.

Key words: condition-based maintenance, vibration monitoring, current signature inspection, fault prediction

1. FOREWORD

The mining plant in Márkushegy, Hungary's last underground coal mine (which had been continuously producing since 1981) was closed in 2016. At the end of the mining activity, complementary activities also ended, the execution of which supported (sometimes being indispensable) the core activity – coal production.

Such an activity was the running of vibration diagnostic measurements for information on the status-dependent maintenance of the units operating in the mine, in production, and transportation.

At the end of the 1990s, the tools of vibration diagnostics were used in the mine to assess the status of the individual units. The actual paper's aim is to disseminate the accumulated knowledge gained and experienced between 2005 and 2016 as result of this activity.

Initially, only the drive units of the belt conveyors in the surface transport flow were supervised. Over the years, the surveillance was expanded to other equipment; this played the same important role in the good operation of the mine. Over the last few years, the following groups of machines were submitted to vibration monitoring and diagnostics:

- belt conveyor drives, both surface and underground operating units,

- sieves,
- breakers (crushers),
- longwall drum shearer-loaders,
- mine hoists,
- ventilators.

2. MATERIAL AND METHOD

The extent limitations of the paper do not allow for a presentation of the schemes of measuring the set-up for each group of the above listed equipment.

The most important measurement requirements were imposed by the belt conveyor driving unit (electric drives, clutches, gear unit); therefore, we show the measuring set-up layout of this one in Figure 1.

As can be seen, we used several measuring points and directions for the diagnosis of one driving unit. In the case presented in Figure 1, this number is 18 (which is motivated by the extent of the unit and the number of bearings inside).

In Table 1, we summarized the equipment groups listed above with their numbers of units and corresponding numbers of measuring points (directions); this totaled 550.

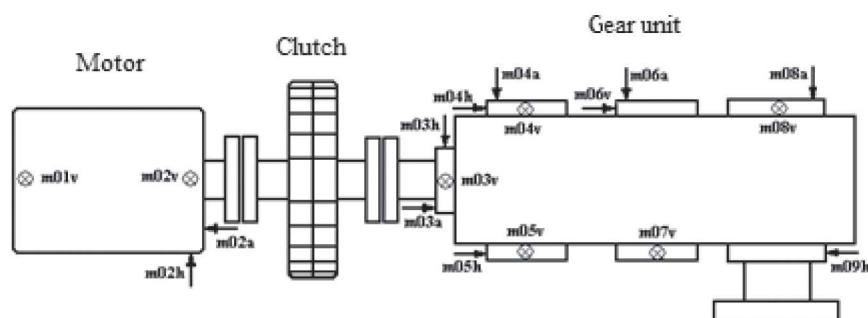


Fig. 1. Measuring set-up layout of belt conveyor driving unit

For each point, at least two spectra were recorded (which means 1100 spectra in all). As the inspection of a unit is performed twice per year (and three times per year for certain units), this accounts for 2200 spectra.

Given the huge number of measurements, the recorded spectra from ten years of monitoring activity represents a strong data warehouse from which valuable information can be gained by using simple statistical tools.

Starting with October 2008, electric current signature diagnosis measurements were performed along with vibration diagnosis measurements. The mine's numerous machines are actuated with three-phase squirrel-cage rotor electric motors.

After a long operating time, damage of the rotor's conductor bars (cage) occurs on these kinds of motors, mainly when they are frequently started under load. As a result, the internal electric resistance of the rotor increases, the characteristic of the motor became weak, and its speed consequently decreases rapidly (even at a reduced load).

This kind of harm is easy to detect by analyzing the motor's current signature. For a detailed description of this issue, see [1] and [2]. This diagnosis monitoring method has been introduced for the critical electric motors as presented in Table 2.

Table 1

Machines examined by vibration diagnosis

No.	Equipment	Components	Number of examined devices	Number of measuring points
1	Belt conveyor driving units	Electric motors Gear drives Clutches	21	450
2	Sieves	Electric motors Shaft bearings Belt drives	2	24
3	Breakers	Electric motors Shaft bearings Belt drives	2	18
4	Mine hoists	Electric motors Gear drives Clutches	1	18
5	Drum shearer-loaders Ranging arms	Electric motors Drum drive gear chain	3	30
6	Ventilators	Electric motors Bearings	3	12

Table 2

Electric motors monitored by current signature analysis method

Equipment	Rated voltage	Rated power	Number
Three-phase electric motor	1 kV; 6 kV	160–500 kW	>80

The motor's rated power range was 160–500 kW, and its rated voltage was mainly 6 kV (for which the measurements were performed using current measuring transformers). A smaller number of motors were mainly those from the face equipment driving units (at 1 kV voltage and power at the bottom of the range). As they are operating

in a harsh environment, their monitoring was very motivated.

3. RESULTS

In Tables 3 through 8, the description and number of occurrences of the detected damage are presented.

Table 3
Bearing faults

No.	Equipment	No.	Symptom description
1	Mine hoist	1	Motor is noisy, vibrations
2	Inclined shaft driving unit	1	High vibration level at the fast stage shaft
3	Belt conveyor drum bearing	1	Dry (not lubricated) run
4	Belt conveyor drum bearing is tightened	1	Diagnosed based on temperature increase
5	Inclined shaft driving unit fast stage shaft bearing	1	High vibration level
6	Belt conveyor in the 67 roadways	1	Shaft is loose in the bearing
7	Inclined shaft NU324 electric motor bearing	2	Detected by vibration signal
8	Lubrication improvement proposals	5	Improper lubrication consequences
9	Sieve's motor bearing	1	Noisy bearing
10	Breaker bearing housing destroyed	1	NOT foreseen by diagnosis because of long inter-inspection time
11	Breaker bearing housing loose	1	Wear of a crushing beam (disc) from breaker (crusher) rotor
Total		16	–

Table 4
Clutch faults

Equipment	No.	Symptom description
Misalignment of coupled shafts	5	High vibration level on both sides of the coupling clutch
Unbalanced, loose connection	11	Usually sealing rings fault
Crackling noise	1	
Total	17	–

Table 5
Gear faults

Equipment	No.	Symptom description
Toothed wheel fault	6	Usually bevel gear toothed wheel pair
Mine hoist main gear	1	Unusual frequency
Total	7	–

Table 6
Broken cage bars

Equipment	No.	Symptom description
Rotor cage damaged	12 – From current signature measurement	Broken bars in the cage
High vibration; Vibration, rubbing	3 – From vibration measurement	Many cage bars broken and/or bearing fault
Total	15	–

Table 7
Loosening

Equipment	No.	Symptom description
Sieves	1	Loose bearing support
Electric motor	1	Resonance of support
Gear casing loose	1	Fasteners fault
Motor casing rubbing	1	Rotor-stator contact
Shaft eccentricity	1	Loose
Total	5	–

Table 8
Other faults

Equipment	No.	Symptom description
Ventilation problem at L3 motor	1	Obstruction by dirt
Overheating of K1/1 motor	1	Brake not released in operation
Torque compensator tighten	1	–
Two driving units' temperature difference	1	Thermal imaging
Shearer-loader case rubbing	1	Cap pressed the bearing
Total	5	–

4. CONCLUDING REMARKS

The conclusions to be drawn from the figures presented in the tables are easier to formulate if one calculates the relative frequencies of each group of faults. These frequencies are summarized in Figure 2.

The first notice is that the greatest frequency (~26%) belongs to faults that appear in the bearings. It is no coincidence, therefore, that manufacturers of the vibration monitoring devices afford much weight to develop and manufacture support tools (hardware, software) for early diagnosis of the bearings [3].

The second most common fault detected in the studied set (24.6%) belongs to the misalignment of clutches. Such a fault, of course, has an impact on

the development of the previous group of faults. In fact, the inaccurately set clutches cause overloads on the bearings supporting the coupled shafts [4–6].

Related to the electric motor's diagnosis, it is well-known that the damage of the rotor cage is a common issue. The mechanical vibrations in this case often have a pulsating electromagnetic force as a source, so the use of electrical measurements brings additional information related to the machine's status [4, 5].

The correct choice of control period is extremely important for enhancing the efficiency of the diagnosis. A good example is the fault presented in Row 10 from Table 3 (which was not detected) because the four-month inter-testing period was too long. At this equipment, a reduction in the time between checks would be desirable.

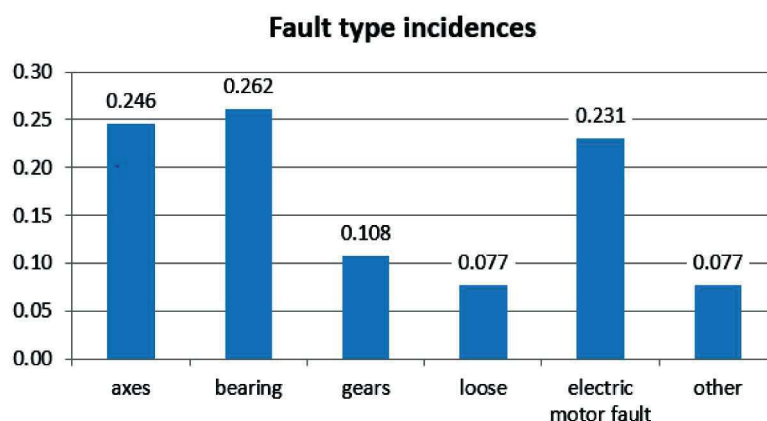


Fig. 2. Relative incidence of faults

We can conclude that the vibration and current signature diagnosis activity performed in the past ten years before the closure of the Márkushegy mine plant contributed to an increase in the availability of the involved equipment and a reduction in the downtimes produced by unexpected faults.

Acknowledgement

The described work/article was carried out as part of the “Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017,” EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union and co-financed by the European Social Fund.

References

- [1] Gilmore R.J., Thomson W.T.: *Motor current signature analysis to detect Faults in induction motor drives – fundamentals, data interpretation, and industrial case histories*, Proceeding of the Thirty-Second Turbomachinery Symposium, Houston, Texas 2003.

- [2] Ladányi G., Ladányi G.: *Fault diagnostic of induction motors by using vibration and motor current analysis jointly*, GÉP 2013, 3: 16–20.
- [3] Brüel & Kjaer application notes, *Machines-Condition Monitoring using Vibration Analysis (The use of Spectrum Comparison for Bearing Fault Detection). A Case Study from Alma Paper Mill*, Quebec, Canada (BO 0253-11).
- [4] Dömötör F. (ed.): *Rezgésdiagnosztika I. Főiskolai tankönyv*, Dunaújváros 2008.
- [5] Dömötör F. (ed.): *Rezgésdiagnosztika II. Főiskolai tankönyv*, Dunaújváros 2010.
- [6] Brüel & Kjaer application notes, *Vibration measurement in predictive maintenance* (BO 0094-11).

GÁBOR LADÁNYI, Assoc. Prof. Eng. Ph.D.
 Institute of Mining and Geotechnical Engineering
 Faculty of Earth Science and Engineering
 University of Miskolc
 3515 Miskolc, Egyetemváros
 gtblaga@uni-miskolc.hu

GÁBOR LADÁNYI

Doświadczenia związane z monitoringiem stanu maszyn w węgierskiej kopalni Márkushegy

Artykuł przedstawia uzyskane w ciągu kilku lat wyniki monitorowania drgań i podpisu prądu silników w kopalni w Márkushegy przed jej zamknięciem. Do analizy statystycznej użyto dużą ilość zarejestrowanych danych, które posłużyły do wyciągnięcia wniosków co do częstości występowania różnego rodzaju awarii sprzętu na dole i na powierzchni kopalni węgla. Wykazano znaczenie okresu kontroli dla możliwości monitoringu w celu zwiększenia czasu pracy urządzeń. Zdobyte doświadczenie, które zostało zaprezentowane w niniejszej pracy, może dostarczyć cennych wskazówek, przydatnych w planowaniu prac konserwacyjnych w kopalni na podstawie oceny stanu.

Słowa kluczowe: konserwacja oparta na ocenie stanu, monitorowanie drgań, przegląd podpisu prądu, przewidywanie awarii

1. WSTĘP

Zakład górniczy w Márkushegy, ostatnia kopalnia podziemna na Węgrzech, która pracowała nieprzerwanie od 1981 roku, został zamknięty w 2016 roku. Pod koniec działalności górniczej zakończono również działalność uzupełniającą, która wspierała (a czasami była niezbędna) działalność zasadniczą, czyli wydobywanie węgla.

W zakres takiej działalności wchodziło prowadzenie pomiarów diagnostycznych drgań w celu uzyskania informacji na temat prac konserwacyjnych zależnych od stanu urządzeń działających w kopalni, w produkcji i transporcie.

Pod koniec lat 90. ubiegłego wieku, w kopalni używano narzędzi diagnostyki drgań do oceny stanu poszczególnych urządzeń. Faktycznym celem niniejszej prezentacji jest upowszechnienie wiedzy i doświadczeń zdobytych w wyniku tych działań w latach 2005–2016.

Początkowo nadzorowano tylko urządzenia napędowe przenośników taśmowych w przepływie transportu na powierzchni. Z biegiem lat, nadzorem objęto inne urządzenia, odgrywające równie ważną rolę w sprawnym funkcjonowaniu kopalni. W ciągu ostatnich kilku lat monitoringowi drgań i diagnostyce zostały poddane następujące maszyny:

- napędy przenośników taśmowych, zarówno na dole, jak i na powierzchni,
- sita,
- kruszarki,
- bębnowe kombajny ścianowe,
- wyciągi kopalniane,
- wentylatory.

2. MATERIAŁY I METODOLOGIA

Zakres niniejszego referatu nie pozwala na przedstawienie schematów konfiguracji pomiarów dla każdej grupy wyżej wymienionego sprzętu.

Najważniejsze wymagania pomiarowe zostały narzucone na zespół napędowy przenośnika taśmowego (napędy elektryczne, sprzęgła, przekładnia), w związku z czym przedstawiamy ten schemat konfiguracji na rysunku 1.

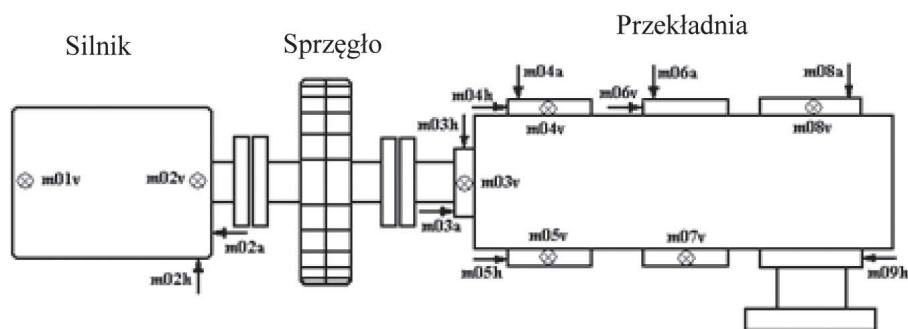
Jak widać, do diagnozy jednego zespołu napędowego zastosowano kilkanaście kierunków i punktów pomiarowych. W przypadku przedstawionym na rysunku 1, jest ich 18, co zostało podyktowane rozmiarem zespołu oraz ilością łożysk wewnątrz urządzenia.

W tabeli 1 podsumowano wymienione wyżej grupy sprzętu, z podaniem liczby zespołów oraz odpowiadającej im liczby punktów pomiarowych (kierunków), których jest w sumie 550.

Dla każdego punktu zarejestrowano co najmniej dwa widma, tj. 1100 widm. Ponieważ przegląd odbywa się dwa razy rocznie, a w przypadku niektórych urządzeń trzy razy na rok, daje to w sumie 2200 widm.

Zważywszy na ogromną liczbę pomiarów, zarejestrowane widma w okresie dziesięcioletniej działalności monitoringowej stanowią pokaźny zbiór danych, z których można uzyskać cenne informacje, posługując się prostymi narzędziami statystycznymi.

Poczynając od października 2018 roku, dodatkowo, oprócz diagnostycznych pomiarów drgań, wykonano pomiary diagnostyczne podpisu prądu silnika. Liczne maszyny kopalniane i sprzęt są uruchamiane przez trójfazowe klatkowe silniki wirnikowe.



Rys. 1. Układ konfiguracji pomiaru zespołu napędowego przenośnika taśmowego

W tego typu silnikach, po długim czasie działania następuje uszkodzenie prętów klatki, zazwyczaj wtedy, gdy są one często uruchamiane pod obciążeniem. W rezultacie wzrasta wewnętrzny opór elektryczny wirnika, słabną osiągi silnika i co za tym idzie, jego prędkość gwałtownie spada nawet pod zmniejszonym obciążeniem.

Tęgo rodzaju szkody można łatwo wykryć, analizując podpis prądu silnika. Szczegółowy opis tej kwestii znajduje się w [1] i [2]. Ta metoda diagnostycznego monitoringu została wprowadzona w przypadku najważniejszych silników elektrycznych, tak jak przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1
Maszyny poddane diagnostyce drgań

Lp.	Sprzęt	Elementy	Liczba zbadanych sztuk sprzętu	Liczba punktów pomiarowych
1	Zespoły napędowe przenośnika taśmowego	Silniki elektryczne Napędy przekładniowe Sprzęgła	21	450
2	Sita	Silnik elektryczne Łożyska wału Napędy pasowe	2	24
3	Kruszarki	Silniki elektryczne Łożyska wału Napędy pasowe	2	18
4	Wyciągi górnicze	Silnik elektryczne Napędy przekładniowe Sprzęgła	1	18
5	Ramiona kombajnu bębnowego	Silniki elektryczne Łańcuch przekładni napędu bębnowego	3	30
6	Wentylatory	Silnik elektryczne Łożyska	3	12

Tabela 2
Silniki elektryczne monitorowane metodą analizy podpisu prądu

Sprzęt	Napięcie znamionowe	Moc znamionowa	Liczba
Trójfazowy silnik elektryczny	1 kV; 6 kV	160–500 kW	>80

Zakres mocy znamionowej silników, dla których wykonano pomiary przy użyciu transformatorów mierzących prąd wynosił 160–500 kW, a ich napięcie znamionowe sięgało zwykle 6 kV.

Mniej silników pochodziło z zespołów napędowych sprzętu – ich napięcie wynosiło 1 kV, a moc kształtowała się w dolnym zakresie. Ponieważ silniki te pracu-

ją w ciężkich warunkach, ich monitorowanie było jak najbardziej uzasadnione.

3. WYNIKI

W tabelach 3–8 przedstawiono opis i liczbę przypadków wykrytego uszkodzenia.

Tabela 3
Awarie łożyska

Lp.	Sprzęt	Liczba	Opis symptomów
1	Wyciąg górniczy	1	Silnik jest głośny, wibruje
2	Zespół napędowy szybu pochylonego	1	Wysoki poziom drgań w szybkiej fazie ruchu wału
3	Łożysko bębna przenośnika taśmowego	1	Suchość (brak smarowania)
4	Naciąg bębna przenośnika taśmowego	1	Diagnoza na podstawie wzrostu temperatury
5	Łożysko wału szybkiej fazy zespołu napędowego szybu pochylonego	1	Wysoki poziom drgań
6	Przenośnik taśmowy w 67 chodnikach	1	Wał jest luźny w łożysku
7	Łożysko silnika elektrycznego szybu pochylonego NU324	2	Wykrywany przez sygnał wibracji
8	Propozycje ulepszeń smarowania	5	Konsekwencje niewłaściwego smarowania
9	Łożysko silnika sita	1	Głośnie łożysko
10	Zniszczona obudowa łożyska kruszarki	1	Usterka nieprzewidziana diagnozą z uwagi na długi czas między przeglądami
11	Obluzowana obudowa łożyska kruszarki	1	Zużycie tarczy kruszącej wirnika kruszarki
	W sumie	16	–

Tabela 4
Awarie sprzęgła

Sprzęt	Liczba	Opis symptomów
Niewspółosiowość wałów sprzężonych	5	Wysoki poziom drgań po obu stronach sprzęgła
Niewyważone luźne połączenie	11	Zwykle występuje usterka pierścieni uszczelniających
Trzaski	1	
W sumie	17	–

Tabela 5
Awarie przekładni

Sprzęt	Liczba	Opis symptomów
Usterka koła zębatego	6	Zazwyczaj para kół zębatach przekładni stożkowej
Główna przekładnia wyciągu górniczego	1	Nienormalna częstotliwość
W sumie	7	–

Tabela 6
Złamane pręty klatki

Sprzęt	Liczba	Opis symptomów
Zniszczona klatka wirnika	12 – Z pomiaru podpisu prądu silnika	Złamane pręty w klatce
Wysokie drgania; Drgania, tarcie;	3 – Z pomiaru drgań	Dużo złamanych prętów klatki i/lub awaria łożyska
W sumie	15	–

Tabela 7
Obluzowanie

Sprzęt	Liczba	Opis symptomów
Sita	1	Luźne podparcie łożyska
Silnik elektryczny	1	Rezonans podparcia
Obluzowana obudowa przekładni	1	Usterka mocowania
Tarcie obudowy silnika	1	Styk wirnik-tworNIK
Mimośrodowość wału	1	Luźny
W sumie	5	–

Tabela 8
Inne usterki

Sprzęt	Liczba	Opis symptomów
Problem z wentylacją na silniku L3	1	Zatkanie przez brud
Przegrzanie silnika K1/1	1	Hamulec nie zwalnia się w trakcie pracy urządzenia
Naciąg kompensatora momentu obrotowego	1	–
Różnica temperatur dwóch zespołów napędowych	1	Termowizja
Tarcie obudowy kombajnu	1	Łożysko dociśnięte przez nakrętkę
W sumie	5	–

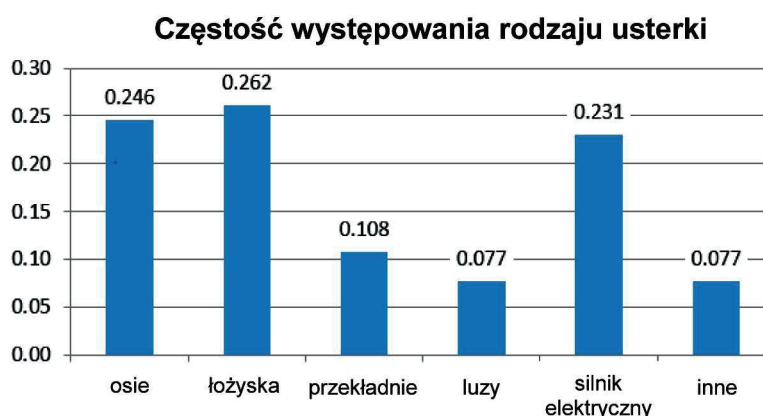
4. PODSUMOWANIE

Wnioski, jakie należy wyciągnąć z danych zaprezentowanych w tabelach, są łatwiejsze do wyciągnięcia, jeżeli przeliczy się względne częstotliwości każdej z grup usterek. Częstotliwości te podsumowano na rysunku 2.

Pierwsza nasuwająca się uwaga to fakt, że największą częstotliwość (~26%) obserwuje się w grupie usterek łożyska. Nieprzypadkowo więc producenci urządzeń do monitorowania drgań przykładają dużą wagę do opracowania i produkcji narzędzi pomocniczych (oprzyrządowanie, oprogramowanie) do wczesnej diagnostyki łożysk [3].

Druga powszechnie wykrywana awaria w badanym zestawie (24,6%) to niewspółosiowość sprzęgieł. Usterka taka w oczywisty sposób wywiera wpływ na powstanie poprzedniej grupy awarii. Faktycznie, niedokładne ustawienie sprzęgieł powoduje przeciążenia na łożyskach wspierających sprzężone wały [4–6].

W diagnostyce silnika elektrycznego dobrze wiadomo, że uszkodzenie klatki wirnika to powszechny problem. Źródłem drgań mechanicznych w tym przypadku jest często pulsacyjna siła elektromagnetyczna, więc zastosowanie pomiarów elektrycznych dostarcza dodatkowych informacji związanych ze stanem maszyny [4, 5].



Rys. 2. Względna częstość występowania awarii

Prawidłowy wybór okresu kontrolnego jest niezwykle ważny dla zwiększenia efektywności diagnozy. Dobrym przykładem jest usterka przedstawiona w rzędzie 10 tabeli 3, która nie została wykryta, ponieważ czteromiesięczny okres między przeglądami był za długi. W przypadku tego sprzętu pożądane byłoby skrócenie czasu pomiędzy kontrolami.

Można wywnioskować, że diagnoza oparta na drganiach i analizie podpisu prądu silnika przeprowadzana w ciągu ostatnich dziesięciu lat przed zamknięciem zakładu w Márkushegy przyczyniła się do zwiększenia dostępności zaangażowanego sprzętu i zmniejszenia przestojów powodowanych przez nieoczekiwane awarie.

Podziękowania

Artykuł został zrealizowany w ramach projektu „Zrównoważone Zarządzanie Surowcami Sieć Tematyczna – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010, stanowiącego część Programu Széchenyi 2020. Realizacja tego projektu jest wspierana przez Unię Europejską i współfinansowana przez Europejski Fundusz Społeczny.

Literatura

- [1] Gilmore R.J., Thomson W.T.: *Motor current signature analysis to detect Faults in induction motor drives – fundamentals, data interpretation, and industrial case histories*, Proceeding of the Thirty-Second Turbomachinery Symposium, Houston, Texas 2003.
- [2] Ladányi G., Ladányi G.: *Fault diagnostic of induction motors by using vibration and motor current analysis jointly*, GÉP 2013, 3: 16–20.
- [3] Brüel & Kjaer application notes, *Machines-Condition Monitoring using Vibration Analysis (The use of Spectrum Comparison for Bearing Fault Detection). A Case Study from Alma Paper Mill*, Quebec, Canada (BO 0253-11).
- [4] Dömötör F. (red.): *Rezgésdiagnosztika I. Főiskolai tankönyv*, Dunaújváros 2008.
- [5] Dömötör F. (red.): *Rezgésdiagnosztika II. Főiskolai tankönyv*, Dunaújváros 2010.
- [6] Brüel & Kjaer application notes, *Vibration measurement in predictive maintenance* (BO 0094-11).

prof. GÁBOR LADÁNYI
 Intytut Górnictwa i Geotechniki
 Wydział Nauk o Ziemi
 Uniwersytet w Miskolcu
 3515 Miskolc, Egyetemváros
 gtblaga@uni-miskolc.hu

ŁUKASZ BOŁOZ

Longwall shearers for exploiting thin coal seams as well as thin and highly inclined coal seams

Due to a number of advantages, mechanized longwall systems are applied to exploit seams characterized by a wide range of thicknesses. In the case of thin seams as well as thin and highly inclined ones, there are numerous solutions for longwall shearers that allow for the exploitation of coal seams with a minimum thickness of 0.4 m and a gradient of up to 85°. The article focuses on longwall systems designed for such seam mining. The most important assumptions and advantages of longwall exploitation are presented, and mining machines that are key elements of mechanized longwall systems are discussed. Attention has also been drawn to the various solutions of shearers that are currently used on the domestic market. A wide range of available solutions allowed for distinguishing and presenting ten types of shearers.

Key words: *thin seams, inclined seams, mechanized mining, longwall systems, longwall shearers*

1. INTRODUCTION

Extracting minerals from deposits starts from the most attractive ones in terms of profitability and technical difficulties. This is particularly important for underground mining. In the case of hard coal occurring in the form of beds, thin and highly inclined seams are very often omitted (as long as their exploitation is not necessary). However, in many countries, an increasing interest in these seams can be observed. This interest results largely from their considerable amounts as well as the necessity to rationally use all available sources of energy. Especially in recent years, more and more attention has been paid to the possibility of the commercially viable exploitation of thin and highly inclined seams. In the case of Poland, thin seams can be considered those that have a minimum thickness of 1.0 m; however, in some countries, seams as thin as 0.4 m are selected (the upper limit is assumed to be 1.6 m). Over 1.6 m, the use of classic shearing (or plowing technology under favorable conditions) does not pose any problems typical of low excavations.

The most important element of a mechanized longwall mining system is the mining machine. The min-

ing machine can be a longwall shearer or a static coal plow. Despite using only two types of machines, the range of available solutions is very wide. An analysis of the solutions currently available around the world (especially in the case of longwall shearers) allows us to conclude that particular types differ considerably from each other.

2. SYSTEMS FOR LOW AND HIGHLY INCLINED LONGWALLS

Irrespective of its thickness, hard coal deposited in the form of a seam determines the manner of its exploitation. The most favorable way of mining a seam that allows for the highly efficient use of the deposit is longwall mining with a mechanized longwall system. This study is focused on presenting various solutions of the longwall shearer, which is the mining machine in the system. Shearers used in Poland as well as those that are not common on our market have been presented. This applies in particular to shearers applied for mining thin seams produced by the Chinese company Beijing HOT Mining Tech Co., Ltd. [1], shearers for seams that are both thin and highly inclined

produced by the Spanish company Mackina-Westfalia, S.A. [2], and shearers produced by Corum Group [3]. All of the available products manufactured by companies whose offers include classic and the most frequently applied longwall shearers as well as static coal plows (including their technical parameters) have been discussed in book [4], whereas information on non-typical solutions applied under specific conditions can be found in articles [5, 6].

Mining with a longwall system involves cutting a coal seam with headings and connecting two headings with a longwall cross-cut having a length of L corresponding to the longwall length and height H – close to the thickness of the seam. The longwall can have a longitudinal slope of α . These excavations form the mine face (Fig. 1). The longwall that has been made available by two headings ensures ventilation, the possibility for efficient transportation, and haulage of the output. Currently, a longwall working is equipped with a shearing or plowing mining system (which, similar to the longwall technology, have been described in literature [7–10]).

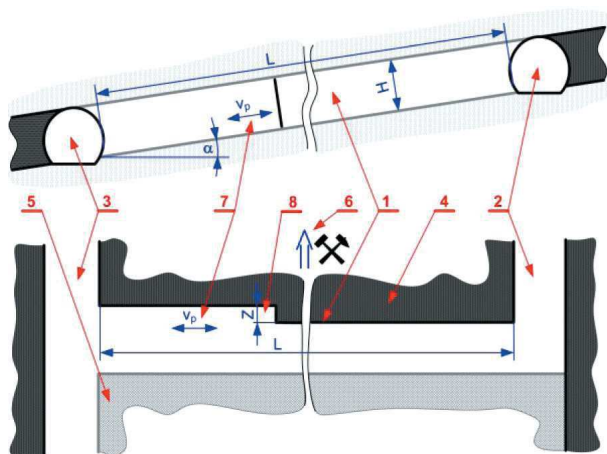


Fig. 1. Diagram of longwall working: 1 – face, 2 – top gate, 3 – bottom gate, 4 – unmined coal; 5 – goafs, 6 – exploitation direction, 7 – direction of machine cutting, 8 – web on solid coal, v_p – shearer's haulage speed, α – angle of longwall longitudinal inclination, H – longwall's height, L – longwall's length, Z – web

Equipped with a cutting machine, longwall conveyor, and powered support, the mechanized longwall mining system enables the process of solid coal cutting and loading as well as mined rock haulage from the longwall. Longwall systems differ depending on the height and length of the longwall, seam slope, and mining-geological conditions. The mining machine moves with a speed of v_p and cuts the solid coal at

a web depth of Z . Cutting can take place in one or two directions. Two-way mining is the most effective, whereas one-way mining is recommended in the case of problems with the cutting or loading of the mined rock.

Mechanized systems applied in highly inclined seams frequently differ from classic longwall shearing systems. It is worth having a closer look at these differences. In practice, these systems as well as the machines are adjusted each time to the local conditions and can differ significantly from one another due to changeable conditions. The system equipment in the case of longwalls with longitudinal inclinations ranging from 30° to 85° consists only of a shearer and powered support, whereas the armored face conveyor is located in the haulage heading below the chutes. A characteristic feature of the shearer applied is the lack of a fitted haulage drive and movement directly on the floor; that is, direct contact of the shearer's sliding plate with the floor. The shearer is hauled by a two-line winch, with one emergency line. Guiding along the exploited longwall is ensured by the shearer's slides (which are installed from the side of the goafs) and cooperate with the slide beams (which are connected with the support section feed mechanism). The shearer cuts the longwall when moving towards the top gate. Due to the high slope, the mined rock rolls down by itself towards the haulage heading. When the cutting is finished and the support has been pulled up, the shearer is lowered towards the niche (where the cutting process starts again) [7]. Apart from shearers cutting in highly inclined longwalls, plowing systems can also be applied [3, 4].

3. CUTTING LONGWALL SHEARERS

Irrespective of the thickness of a seam, the most popular longwall shearers are currently classic two-cutting head shearers moving on a conveyor by means of a chainless haulage system. The longwall shearers used in Poland can be divided into three types:

- two-arm, two-head cutting shearers with a chainless haulage system and a frame over the conveyor (Fig. 2a);
- two-arm, two-head cutting shearers with a chainless haulage system with a frame running next to the conveyor (Fig. 2b);
- armless two-head cutting shearer with a chain haulage system (Fig. 2c) [5, 11].

However, when referring to the state-of-the-art of global technology, one should pay attention to the following types of shearers:

- two-arm, two-head cutting shearer with a chain haulage system;
- one-arm, one-head cutting shearer with a chain-less haulage system;
- armless one-head cutting shearer (AGH concept) (Fig. 2d);
- armless two-head cutting shearer with vertical axes (Fig. 2c);
- two-arm, two-head cutting shearers with a chain haulage system for direct work on the floor (Fig. 2f);
- one-arm, one-head cutting shearer with a chain haulage system for direct work on the floor (Fig. 2g);
- armless one-head cutting shearer with a chain haulage system for direct work on the floor (Fig. 2h).

Historically, machines with different configurations of heads and drives have been applied in the global and Polish mining industry. In the aspect of thin seams, non-standard solutions intended for special conditions (for example, high inclinations or ultra-thin seams) are not applied in Poland. Apart from the best-known shearers, examples of mining machines offered by the above-mentioned companies (Mackina-Westfalia S.A., Beijing HOT Mining Tech Co., Ltd., and Corum Group) will be quoted as examples of interesting solutions, whereas detailed data as well as the remaining models can be found in the listed literature and in the producers' catalogs.

Established in 1961, Polish company Kopex Machinery S.A. [11] is known for the production of mining machines (longwall shearers in particular). Together with the KOPEX group, Kopex Machinery is currently a subsidiary of FAMUR S.A [12]. The KSW-460NE1 shearer (Fig. 3) is a narrow-arm longwall shearer with an electric haulage drive that moves on a conveyor. It has two arms and two heads. These features are typical of the classic shearers used for medium and thick seams. The Kopex KSW-460NE1 shearer is equipped with a control system with cutting memory that cooperates with the longwall system's superordinate control. It is designed to mine coal in longwalls with heights ranging from 1.35 m to 2.4 m. The output of its cutting heads is 2×200 kW.

Established in 1864, German company Eickhoff Bergbautechnik GmbH [13] is known mainly for the production of longwall shearers. In its offer, Eickhoff has one shearer whose height of cutting partially overlaps the range of the thickness of thin seams.

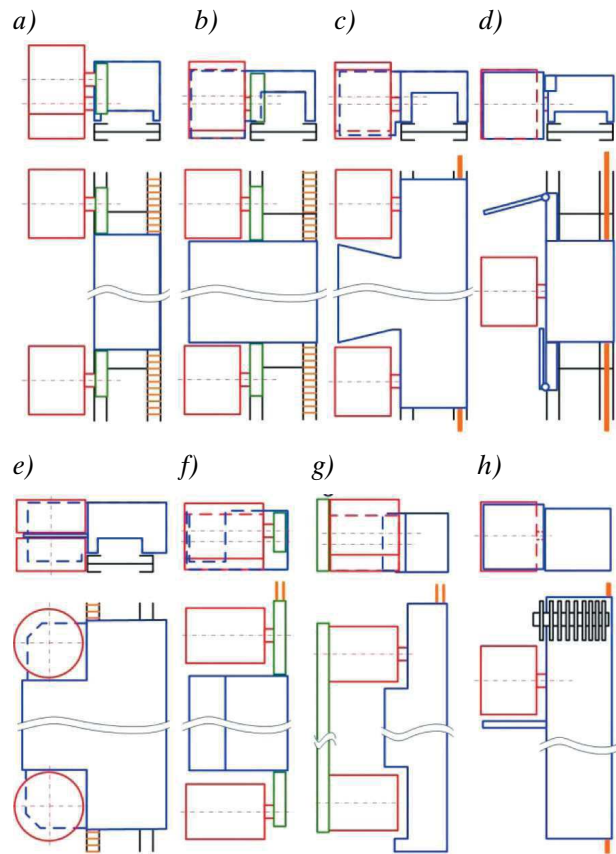


Fig. 2. Diagrams of selected types of longwall shearers for thin and inclined seams (blue – frame; red – cutting head; black – conveyor; green – mobile arm of cutting head; orange – haulage system): a) two-arm, two-head cutting shearer on conveyor; b) two-arm, two-head cutting shearer next to conveyor; c) armless two-head cutting shearer; d) armless one-head cutting shearer designed by AGH; e) armless two-head cutting shearer with vertical axes; f) two-arm, two-head cutting shearer for direct work on floor; g) one-arm, two-head cutting shearer; h) armless one-head cutting shearer with conveyor



Fig. 3. KSW-460NE1 longwall shearer produced by Kopex Machinery

This is the SL 300 L shearer, designed for work on longwalls whose heights range from 1.2 m to 2.0 m (Fig. 4).



Fig. 4. SL 300 L longwall shearer produced by Eickhoff

The SL 300 L shearer is characterized by a two-arm, two-head construction. It is equipped with a chainless haulage system, and its frame moves along a conveyor. Unlike the competitors' products, the arms lifting the cylinders have been installed over the frame. The shearer is equipped with a 2×300 kW drive of the cutting heads.

A unique solution developed by Kopex is the Mikrus system (Fig. 5) with a cutting-loading head (GUŁ-500) intended for two-way pocket-less cutting and loading of coal in thin seams. The range of the cutting height depends on the diameter of the cutting head applied (reaching 1.1–1.7 m). The GUŁ-500 shearer allows for changing the height of the cutting to a limited extent; the change can be made when the machine is stopped. The cutting-loading head is moved along the sidewall by means of a chain haulage system of the plowing type, which is driven by electric motors supplied from frequency converters placed in the headings. The shearer is characterized by two-head armless construction. Both heads are mechanically coupled and driven by one motor (with an output of 500 kW).



Fig. 5. Mikrus shearer GUŁ-500 produced by Kopex Machinery

Established in 1889, Ukrainian company Corum Group produces underground mining machines. Corum offers a unique longwall shearer solution – the KBT200 (Fig. 6). The shearer is moved on a conveyor by means of a chainless haulage system. The characteristic feature is its armless construction and its cutting head axles that can turn 90° . Vertical axles enable the easier cutting and loading of the mined rock onto the conveyor. The KBT200 shearer is designed for mining coal from seams with thicknesses within a range of 0.8 m to 1.25 m.



Fig. 6. KBT200 longwall shearer produced by Corum

Mackina-Westfalia S.A. started operating in 1955. It designs and produces mining machines among other things. In 1994, Mackina became independent from the German company Westfalia Lünen while maintaining the profile of its activity.

The two-arm, two-head cutting shearer with a PMAP Mackina chainless haulage system is characterized by classic construction and moves along a conveyor, but it will be presented in more detail due to its constructional features and solutions (which are no longer applied in modern shearers). Motors driving the cutting heads are located in the frame, which requires the use of a so-called wet joint for transmitting the torque by the arm axis of rotation. Additionally, the motor axis is perpendicular to the axis of the cutting head, which requires the application of an intersecting axis gear. Moreover, the PMAP shearer can also be installed in a version with one cutting head. The PMAP shearer is designed for work in walls with thicknesses ranging from 1.25 m to 2.50 m. The output of the cutting head drive is 2×120 kW.

The Mackina RPB60 and PMA80 models are two-head and two-arm shearers with a chain haulage system that are intended for direct work on floors in walls characterized by high longitudinal slopes within a range of 35° to 85° . In both shearers, the

same arrangement of the frame, arms with cutting heads, haulage arm, and winch has been applied. The RPB60 shearer (Fig. 7) cuts ultra-thin seams with thicknesses ranging from 0.38 m to 0.85 m, with the output of the cutting head motors of 2×30 kW. On the other hand, the PMA80 cuts thin and medium seams with thicknesses within a range of 1.10 m to 2.5 m and with a cutting head output of 2×120 kW. In both shearers, the motors driving the cutting heads are mounted in the frame, but their axles are parallel; this simplifies the transmission of torque.



Fig. 7. RPB60 two-head cutting shearer produced by Mackina for thin seams, and winch

An example of unique construction is the Mackina TEMP-H shearer (Fig. 8), which has two cutting heads but only one arm as well as a chain haulage system. It is designed to work directly on a floor in thin seams with high longitudinal slopes within a range of 30° to 85° . Its uniqueness is visible in the solutions applied, which are different than those found in the remaining shearers for inclined seams. This shearer is equipped with one electric motor with an output of 80 kW, which drives the lower cutting head (first) by a hydrostatic torque converter (pump-motor), whereas the upper head (second) is driven from the lower cutting head by means of a chain begirding the arm. The chain has both driving and cutting functions, so it is equipped with picks. Application of conical picks on the cutting heads while the chain has been equipped with radial tools is also atypical.



Fig. 8. TEMP-H two-head shearer for thin seams produced by Mackina

Beijing HOT Mining Tech Co., Ltd. (hereinafter referred to as HOT) is a supplier of products and services for mining and mineral processing. It offers machines produced by four external companies belonging to the group of Original Equipment Manufacturers (so-called OEM), which means that only HOT puts its name on these products. It does not change the fact that longwall shearers offered by HOT are worth quoting.

The HMG100/250-PBD HOT two-arm, two-head shearer is also characterized by classic construction and moves along a conveyor, but it is not equipped with tractors. The drives of its chain haulage system are located in the headings.

Another solution offered by HOT is a one-arm, one-head cutting shearer with a chainless haulage system, the three models of which form the HMG series. These shearers move in a traditional way along a conveyor using one tractor and double frame saw wheels in a popular system called Eicotrack (Fig. 9). The HMG shearers are equipped with cutting head motors with outputs of 100 kW, 100 kW, and 120 kW, respectively, and are designed to cut walls with heights ranging from 0.75 to 1.2 m.



Fig. 9. HMG100/111-TWD one-head cutting shearer for thin seams produced by HOT

The last discussed solution is the HMG100-TP shearer offered by HOT, which has a one-head armless construction with a chain haulage system for direct work on a floor; it is intended for highly inclined seams (Fig. 10). Unlike the remaining shearers of this type, this shearer loads coal onto the face conveyor by means of a short chain conveyor, which transports the mined rock directly from the cutting head area. The shearer does not have a haulage drive installed in the frame and requires the use of a winch. Depending on the diameter of the cutting head driven by a motor with an output of 100 kW, the shearer is designed for work in longwalls with thicknesses ranging from 0.44 to 0.9 m.

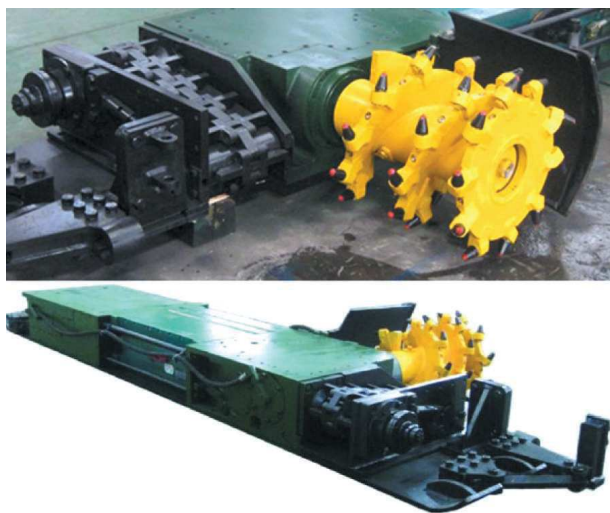


Fig. 10. HMG100-TP one-head cutting shearer for ultra-thin seams offered by HOT

4. ONE-HEAD SHEARER FOR CUTTING ULTRA-THIN SEAMS

Despite the considerable differences in the construction of longwall cutting shearers and static coal plows, the key problems related to the increasing of daily output still remain unsolved [14]. The solution that allows for achieving a satisfactory daily output in longwalls with heights ranging from 1.0 to 1.6 m (which is economically justified under Polish conditions) is a longwall system equipped with a one-head shearer. The one-head cutting shearer combines the advantages of plowing and cutting-loading technology while eliminating their basic drawbacks. The said solution has been developed at AGH and offers a promising alternative to the currently used longwall systems.

Figure 11 presents one-head cutting shearer (I) mounted on face conveyor (II). According to the assumptions, the shearer consists of frame (1), whose main assembly is the driving unit (2) with a milling spatial head mounted on the shaft end (3).

Loaders are fixed to the frame by means of the arms (4) and cylinders (5). The first loader (6) is in the active position, whereas the second (7) is in the passive one. The frame has two caving skids (8) and two sidewall skids (9). The caving skids (8) are connected with the drive chain (13). The frame from the caving side has a cable handler grip (11) with cables. Each loader is equipped with rolls (10) that prevent it from getting blocked on rough surfaces. The cables are placed in the cable handler (11) and

are guided in the gate (12). Shearer I is drawn by means of the chain (13). The sidewall skid of the shearer (9) moves along the conveyor's sidewall guide (15), whereas the caving skid (8) moves along the conveyor's caving guide (14). The system has been equipped with a hydraulic cylinder for vertical horizon control (16).

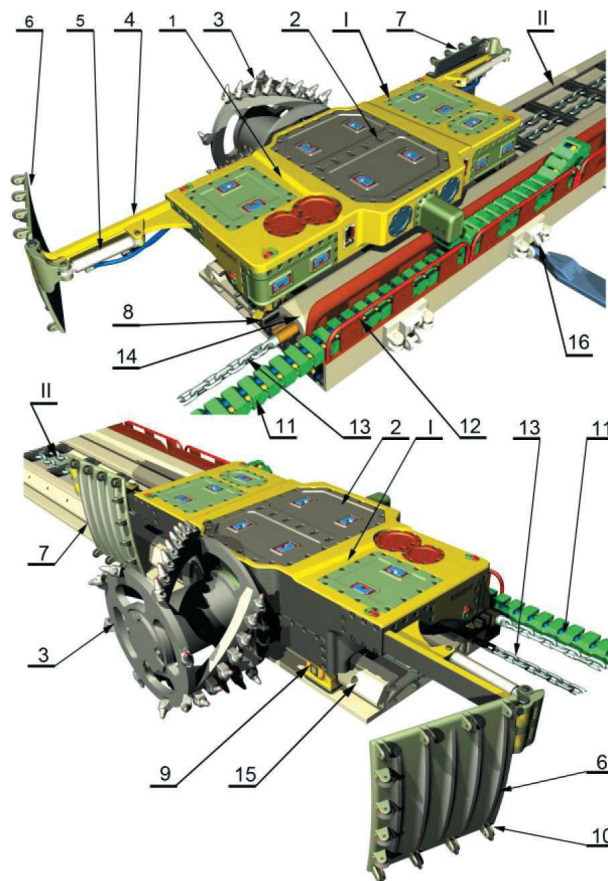


Fig. 11. Solution of one-head cutting shearer on face conveyor developed by AGH

Such a solution enables the effective exploitation of seams owing to work in a two-way mining longwall system as well as the application of cutting, separating the cutting process from the loading process, using full work automation, implementing a chain haulage system, and creating possibilities to start a new sequence of cutting without sumping [14, 15].

5. SUMMARY

Producers of mining machines in Poland and abroad offer many types of cutting shearers and coal plows designed to work in mechanized longwall systems. The solutions available in various countries (especially in the case of shearers) differ from classic

construction; this is caused by the local natural and economic conditions. The review and division of longwall shearers presented in this article draws attention to the multitude of solutions. The reason for such a situation is the constant search for machines dedicated to particular specific conditions as well as ever-growing technical possibilities, especially the development of automation (which allows for eliminating man from particularly dangerous areas).

The presented currently applied longwall shearers frequently enable only several hundred tons of daily output to be obtained from a face, which is not acceptable under Polish conditions.

In global solutions, apart from machines included in longwall shearer systems, also mining machines designed for other methods and systems of exploitation are applied [4, 5].

The conceptual and prospective solution proposed by AGH (a system for thin-seam exploitation) is equipped with a one-head cutting shearer designed to work in two-way mining technology. A characteristic feature of this technology is, in this case, the lack of the sumping phase and full web work over the whole length of the face. Application of a cutting head allows for a positive evaluation of the possibility to implement such a shearer for work in seams with disturbances and coals characterized by the highest machinability index. Resignation from loading by means of machine cutting heads and withdrawing the staff from the face eliminates the major limitations of classic shearing technology.

Acknowledgements

The works were carried out within the framework of the Dean Grant under agreement no. 15.11.130.838.

References

- [1] Beijing HOT Mining Tech Co., Ltd, www.hotmining.cn [22.05.2018].
- [2] Mackina-Westfalia S.A., www.mackina-westfalia.com [20.03.2018].
- [3] Corum Group, www.corum.com [22.05.2018].
- [4] Kotwica K., Mendyka P., Bołoz Ł. et al.: *Wybrane problemy urabiania, transportu i przeróbki skał trudnourabialnych*, t. 1, red. K. Krauze, Wydawnictwa AGH, Kraków 2016.
- [5] Bołoz Ł., *Maszyny urabiające w wybranych metodach eksploatacji cienkich pokładów węgla kamiennego*, "Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, Górnictwo – Perspektywy i Zagrożenia: Węgiel, Tania Czysta Energia i Miejsca Pracy" 2018, 7, 1: 131–142.
- [6] Bołoz Ł.: *Maszyny urabiające w ścianowych systemach eksploatacji cienkich pokładów węgla kamiennego*, "Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, Górnictwo – Perspektywy i Zagrożenia: Węgiel, Tania Czysta Energia i Miejsca Pracy" 2018, 7, 1: 143–154.
- [7] Jaszczuk M.: *Ścianowe systemy mechanizacyjne*, Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 2007.
- [8] Krauze K.: *Urabianie skał kombajnami ścianowymi*, Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 2000.
- [9] Krauze K.: *Urabianie skał strugami statycznymi*, Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 2012.
- [10] Piechota S.: *Podstawowe zasady i technologie wybierania kopalni stałych*, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2003.
- [11] KOPEX S.A., www.kopex.com.pl [22.05.2018].
- [12] Famur S.A., www.famur.com.pl [22.05.2018].
- [13] Eickhoff Bergbautechnik GmbH, www.eickhoff-bochum.de [22.05.2018].
- [14] Bołoz Ł.: *Ocena obciążenia jednoorganowego kombajnu ścianowego na podstawie badań analitycznych*, AGH w Krakowie, Kraków 2012 [PhD thesis].
- [15] Bołoz Ł.: *Kombajnowy kompleks ścianowy przeznaczony do pracy w niskich ścianach*, "Przegląd Górniczy" 2016, 72, 6: 91–97.

ŁUKASZ BOŁOZ, Ph.D., Eng.
Department of Mining, Dressing
and Transport Machines

Faculty of Mechanical Engineering and Robotics
AGH University of Science and Technology
al. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland
boloz@agh.edu.pl

ŁUKASZ BOŁOZ

Kombajny ścianowe do eksploatacji cienkich oraz cienkich i silnie nachylonych pokładów węgla kamiennego

Zmechanizowane kompleksy ścianowe ze względu na ich wiele zalet stosowane są do eksploatacji pokładów z dużej rozpiętości miąższości. W przypadku pokładów cienkich oraz cienkich i silnie nachylonych można wyróżnić wiele odmiennych rozwiązań kombajnów ścianowych pozwalających na eksploatację węgla z pokładów o grubości od 0,4 m i przy nachyleniu podłużnym do 85°. W artykule skupiono się na ścianowych systemach eksploatacji tych pokładów. Przedstawiono najważniejsze założenia i zalety eksploatacji ścianowej oraz omówiono stosowane maszyny urabiające stanowiące kluczowy element ścianowych systemów mechanizacyjnych. Zwrócono również uwagę na rozwiązania kombajnów, które obecnie nie są stosowane na rynku krajowym. Szeroka gama dostępnych rozwiązań pozwoliła wyróżnić i zaprezentować dziesięć typów kombajnów.

Słowa kluczowe: *cienkie pokłady, pokłady nachylone, mechanizacja górnictwa, systemy ścianowe, kombajny ścianowe*

1. WSTĘP

Pozyskiwanie minerałów ze złóż rozpoczyna się od tych najatrakcyjniejszych w aspekcie opłacalności oraz trudności technicznych. W szczególności ma to znaczenie dla eksploatacji podziemnej. W przypadku węgla kamiennego zalegającego w postaci pokładów bardzo często, dopóki nie ma takiej konieczności, pomijane są pokłady cienkie i silnie nachylone. Jednak w wielu krajach obserwuje się rosnące zainteresowanie tymi pokładami. Zainteresowanie to wynika w dużej mierze z ich znacznej ilości oraz konieczności racjonalnego wykorzystania dostępnych źródeł energii. Szczególnie w ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się możliwości opłacalnej ekonomicznie eksploatacji cienkich i nachylonych pokładów. W przypadku Polski pokładami cienkimi możemy nazwać te o miąższości od 1,0 m, jednak w niektórych krajach wybiera się pokłady znacznie cieńsze, nawet od 0,4 m. Natomiast za górną granicę można przyjąć 1,6 m. Powyżej 1,6 m zastosowanie klasycznej techniki kombajnowej lub w korzystnych warunkach strugowej

nie przysparza problemów typowych dla niskich wyrobisk.

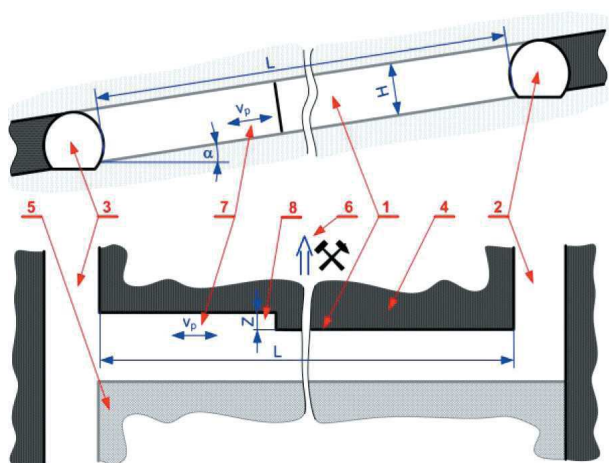
Najważniejszym elementem zmechanizowanego systemu ścianowego jest maszyna urabiająca. Maszyną urabiającą może być kombajn ścianowy albo statyczny strug węglowy. Pomimo stosowania dwóch rodzajów maszyn wybór dostępnych rozwiązań jest bardzo szeroki. Analizując dostępne obecnie na całym świecie rozwiązania, zwłaszcza w przypadku kombajnów ścianowych, można stwierdzić, że poszczególne typy różnią się od siebie w istotny sposób.

2. SYSTEMY DLA ŚCIAN NISKICH I SILNIE NACHYLONYCH

Zaleganie węgla kamiennego w postaci pokładu, niezależnie od jego grubości, decyduje o sposobie jego eksploatacji. Najkorzystniejszym, pozwalającym na wysokie wykorzystanie złoża, sposobem wybierania pokładu jest eksploatacja ścianowa kompleksem zmechanizowanym. W artykule skupiono się na

omówieniu różnych rozwiązań kombajnów ścianowych stanowiących maszynę urabiającą w kompleksie. Przedstawiono kombajny stosowane w Polsce oraz niespotykane na naszym rynku. W szczególności dotyczy to kombajnów do pokładów cienkich chińskiej firmy Beijing HOT Mining Tech Co., Ltd. [1], kombajnów do pokładów cienkich i jednocześnie silnie nachylonych hiszpańskiego przedsiębiorstwa Mackina–Westfalia S.A. [2] oraz kombajnu firmy CorumGroup [3]. Wszystkie dostępne produkty firm posiadających w swojej ofercie klasyczne i obecnie najczęściej stosowane kombajny ścianowe oraz statyczne strugi węglowe zostały wraz z parametrami technicznymi omówione w książce [4]. Natomiast informacje w zakresie rozwiązań nietypowych, stosowanych w specyficznych warunkach można znaleźć w artykułach [5, 6].

Eksploatacja systemem ścianowym polega na rozcięciu pokładu węgla chodnikami i połączeniu dwóch chodników przecinką ścianową o długości L odpowiadającej długości ściany i wysokości H zbliżonej do miąższości pokładu. Ściana może być nachylona podłużnie pod kątem α . Wyróbiska te tworzą przodek wydobywczy (rys. 1). Ściana udostępniona dwoma chodnikami zapewnia przewietrzanie, możliwość sprawnego transportu oraz odstawy urobku. Obecnie wyrobisko ścianowe zostaje wyposażone w kombajnowy lub strugowy kompleks ścianowy, które jak technologia ścianowa są znane i opisane w literaturze [7–10].



Rys. 1. Schemat wyrobiska ścianowego: 1 – czoło ściany, 2 – chodnik nadścianowy, 3 – chodnik podścianowy, 4 – calizna węglowa, 5 – zrob, 6 – kierunek eksploatacji, 7 – kierunek urabiania maszyny, 8 – wykonywany zabiór calizny węglowej, v_p – prędkość posuwu kombajnu, α – kąt nachylenia podłużnego ściany, H – wysokość ściany, L – długość ściany, Z – zabiór

Zmechanizowany kompleks ścianowy wyposażony w maszynę urabiającą, przenośnik ścianowy oraz zmechanizowaną obudowę ścianową umożliwia realizację procesu urabiania calizny i ładowania oraz odstawy urobku ze ściany. Kompleksy ścianowe różnią się w zależności od wysokości i długości ściany, nachylenia pokładu oraz warunków górniczo-geologicznych. Maszyna urabiająca porusza się z prędkością v_p i urabia caliznę na głębokość zabioru Z . Urabianie może odbywać się w jednym lub w obu kierunkach. Urabianie dwukierunkowe jest najbardziej efektywne, natomiast jednokierunkowe wskazane jest w przypadku problemów z urabianiem lub ładowaniem urobku.

Systemy mechanizacyjne stosowane w pokładach silnie nachylonych często odbiegają od klasycznych kombajnowych systemów ścianowych i warto krótko przybliżyć te różnice. W praktyce ze względu na zmienność warunków zarówno systemy te, jak i maszyny są każdorazowo dostosowywane do lokalnych warunków i mogą się od siebie znacznie różnić. Wyposażenie kompleksu w przypadku ścian o podłużnym nachyleniu w zakresie od 30° do 85° składa się jedynie z kombajnu oraz obudowy zmechanizowanej. Natomiast przenośnik zgrzeblowy zlokalizowany jest w chodniku odstawczym poniżej zsyków. Charakterystyczną cechą zastosowanego kombajnu jest brak zabudowanego napędu posuwu oraz poruszanie się bezpośrednio po spągu, czyli bezpośredni kontakt płyty ślizgowej kombajnu ze spągami. Kombajn ciągnięty jest dwulinowym kołowrotem, z jedną liną awaryjną. Prowadzenie wzdłuż eksploatowanej ściany zapewniają ślizgi kombajnu zabudowane od strony zrobów i współpracujące z belkami ślizgowymi, które połączone są z mechanizmem przesuwu sekcji obudowy. Kombajn urabia ścianę podczas ruchu w kierunku chodnika nadścianowego. Urobek ze względu na duże nachylenie stacza się samoczynnie w kierunku chodnika odstawczego. Po zakończeniu skrawu i podciągnięciu obudowy kombajn opuszczany jest w kierunku wnętrza, gdzie rozpoczyna się kolejny skraw [7]. Oprócz kombajnów frezujących w ścianach silnie nachylonych zastosować można kompleksy strugające [3, 4].

3. FREZUJĄCE KOMBAJNY ŚCIANOWE

Niezależnie od miąższości pokładu najpopularniejszymi obecnie produkowanymi kombajnami ścianowymi są klasyczne, dwuramionowe, dwuorganowe

maszyny poruszające się po przenośniku za pomocą bezciągnowego systemu posuwu. Stosowane w Polsce kombajny ścienne można podzielić na trzy typy:

- dwuramionowe, dwuorganowe, z bezciągnowym systemem posuwu, z kadłubem nad przenośnikiem (rys. 2a);
- dwuramionowe, dwuorganowe, z bezciągnowym systemem posuwu, z kadłubem prowadzonym obok przenośnika (rys. 2b);
- bezramionowy, dwuorganowy z ciągnowym systemem posuwu (rys. 2c) [5, 11].

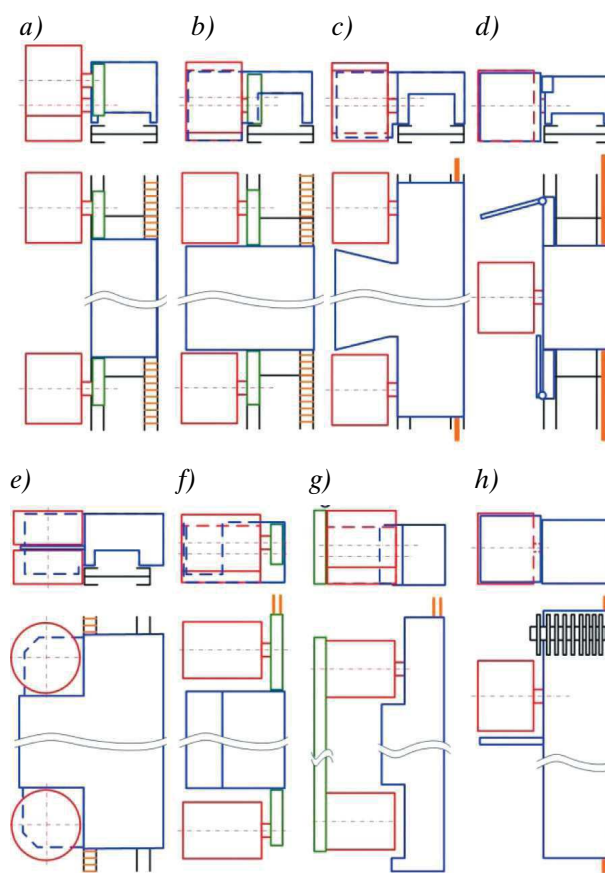
Odnosząc się jednak do stanu techniki na świecie, należy jeszcze zwrócić uwagę na następujące typy kombajnów:

- dwuorganowy, dwuramionowy z ciągnowym systemem posuwu;
- jednoramionowy, jednoorganowy z bezciągnowym systemem posuwu;
- bezramionowy, jednoorganowy AGH (koncepcja) (rys. 2d);
- bezramionowy, dwuorganowy z pionowymi osiami organów (rys. 2e);
- dwuorganowy, dwuramionowy z ciągnowym systemem posuwu do bezpośredniej pracy na spągu (rys. 2f);
- jednoramionowy, dwuorganowy, z ciągnowym systemem posuwu do bezpośredniej pracy na spągu (rys. 2g);
- bezramionowy, jednoorganowy, z ciągnowym systemem posuwu do bezpośredniej pracy na spągu (rys. 2h).

W ujęciu historycznym w górnictwie zarówno światowym, jak i polskim, stosowane były maszyny o innych konfiguracjach organów oraz rodzajach napędów. W aspekcie cienkich pokładów rozwiązania nietypowe, które stosowane są dla szczególnych warunków, na przykład dużych nachyleń czy ultracienkich pokładów nie występują w Polsce. Oprócz najbardziej znanych kombajnów jako przykłady interesujących rozwiązań przytoczone zostaną przykładowe maszyny urabiające z oferty wspomnianych firm Mackina-Westfalia S.A., Beijing HOT Mining Tech Co., Ltd. oraz CORUM Group. Natomiast szczegółowe dane oraz pozostałe modele można znaleźć w podanej literaturze oraz w katalogach producentów.

Polska firma Kopex Machinery S.A. [11] została założona w 1961 roku i znana jest z produkcji maszyn górniczych, a zwłaszcza kombajnów ścianowych.

Obecnie firma Kopex Machinery wraz z grupą KOPEX zależna jest od firmy FAMUR S.A [12]. Kombajn KSW-460NE1 (rys. 3) firmy Kopex Machinery jest kombajnem ściennym wąskoramionowym, z elektrycznym napędem posuwu, poruszającymi się po przenośniku. Posiada dwa ramiona i dwa organy. Cechy te są typowe dla klasycznych kombajnów stosowanych do pokładów średnich i grubych. Kombajn Kopex KSW-460NE1 wyposażony jest w system sterowania z pamięcią skrawu współpracujący z nadrzędnym systemem sterowania kompleksu ścianowego. Przeznaczony jest do urabiania węgla w ścianach w zakresie wysokości od 1,35 m do 2,4 m. Charakterystyczny jest mocą organów 2×200 kW.



Rys. 2. Schematy wybranych typów kombajnów ścianowych do cienkich i nachylonych pokładów: (niebieski – kadłub, czerwony – organ, czarny – przenośnik, zielony – ruchome ramię organu, pomarańczowy – system posuwu): a) dwuramionowy, dwuorganowy na przenośniku; b) dwuramionowy, dwuorganowy obok przenośnika; c) bezramionowy, dwuorganowy; d) bezramionowy, jednoorganowy AGH; e) bezramionowy, dwuorganowy z osiami pionowymi; f) dwuramionowy, dwuorganowy po spągu; g) jednoramionowy, dwuorganowy; h) bezramionowy, jednoorganowy z przenośnikiem



Rys. 3. Kombajn ścianowy KSW-460NE1
firmy Kopex Machinery

Niemiecka firma Eickhoff Bergbautechnik GmbH [13] została założona w 1864 roku i znana jest przede wszystkim z produkcji kombajnów ścianowych. Eickhoff posiada w ofercie jeden kombajn, którego wysokość urabiania częściowo pokrywa się z zakresem miąższości pokładów cienkich. Jest to kombajn ścianowy SL 300 L przeznaczony do pracy w ścianach o wysokościach od 1,2 m do 2,0 m (rys. 4).



Rys. 4. Kombajn ścianowy SL 300 L firmy Eickhoff

Kombajn SL 300 L charakteryzuje się dwuramionową, dwuorganową konstrukcją. Wyposażony jest w bezciągnowy system posuwu, a jego kadłub porusza się obok przenośnika. W przeciwieństwie do konkurencji, silowniki podnoszenia ramion zabudowano nad kadłubem. Kombajn wyposażono w napęd organów 2×300 kW.

Unikatowym rozwiązaniem firmy Kopex jest kompleks Mikrus (rys. 5) z głowicą urabiająco-ładującą GUŁ-500 przeznaczony do dwukierunkowego, bezwęglowego urabiania i ładowania węgla w cienkich pokładach. Zakres wysokości urabiania zależy od średnicy zastosowanego organu urabiającego i wynosi od 1,1 m do 1,7 m. Kombajn GUŁ-500 umożliwia zmianę wysokości urabiania w ograniczonym zakre-

sie, jednak zmiana odbywa się przy zatrzymanej maszynie. Głowica urabiająco-ładująca przemieszczana jest wzdłuż ociosu węglowego za pomocą ciągnowego systemu posuwu typu strugowego, który napędzany jest elektrycznymi silnikami zasilanymi z przetworników częstotliwości umieszczonych w chodnikach. Kombajn charakteryzuje się dwuorganową, bezramionową konstrukcją. Oba organy są sprzężone mechanicznie i napędzane z jednego silnika o mocy 500 kW.



Rys. 5. Kombajn Mikrus, GUŁ-500
firmy Kopex Machinery

Ukraińska firma CorumGroup została założona w 1889 roku i oferuje maszyny górnictwa podziemnego. Firma Corum posiada w swojej ofercie kombajn KBT200 (rys. 6). Jest to wyjątkowe rozwiązanie kombajnu ścianowego, gdyż porusza się on po przenośniku za pomocą bezciągnowego systemu posuwu. Cechą charakterystyczną jest konstrukcja bezramionowa oraz obrócone o 90° osie organów. Pionowe osie umożliwiają łatwiejsze urabianie i ładowanie urobku na przenośnik. Kombajn KBT200 przeznaczony jest do wybierania węgla zalegającego w pokładach o miąższości od 0,8 m do 1,25 m.



Rys. 6. Kombajn ścianowy firmy Corum typu KBT200

Firma Mackina-Westfalia S.A. rozpoczęła działalność w 1955 roku. Zajmowała się projektowaniem

i produkowaniem między innymi maszyn górniczych. W roku 1994 Mackina uniezależniła się od niemieckiej firmy Westfalia Lünen, nie zmieniając przy tym profilu swojej działalności.

Kombajn dwuramionowy, dwuorganowy z bezciągnowym systemem posuwu PMAP Mackina charakteryzuje się klasyczną konstrukcją i porusza się po przenośniku, jednak ze względu na cechy konstrukcyjne i zastosowane rozwiązania niespotykane już we współczesnych kombajnach zostanie przybliżony. Silniki napędzające organy zlokalizowane są w kadłubie, co wymaga zastosowania tak zwanego przegubu mokrego do przekazania momentu przez oś obrotu ramienia. Dodatkowo oś silnika jest prostopadła do osi organu, co wymaga zastosowania przekładni kątowej. Ponadto kombajn PMAP może również zostać zabudowany w wersji z jednym organem urabiającym. Kombajn PMAP przeznaczony jest do pracy w ścianach od 1,25 m do 2,50 m. Moc napędu organów wynosi 2×120 kW.

Modele Mackina RPB60 oraz PMA80 są kombajnami dwuorganowymi i dwuramionowymi z ciągnowym systemem posuwu i przeznaczone są do bezpośredniej pracy na spągu w ścianach o dużym nachyleniu podłużnym, w zakresie $35-85^\circ$. W obu kombajnach zastosowano ten sam układ korpusu, ramion z organami, ramienia ciągnącego oraz kołowrotu. Kombajn RPB60 (rys. 7) urabia pokłady ultracienkie od 0,38 m do 0,85 m przy mocy silników organów 2×30 kW. Natomiast PMA80 urabia pokłady cienkie do średnich, od 1,10 m do 2,5 m przy napędzie organów 2×120 kW. W obu kombajnach silniki napędzające organy zabudowane są w kadłubie, jednak ich osie są równoległe, co upraszcza przekazanie momentu.



Rys. 7. Dwuorganowy kombajn RPB60 firmy Mackinado cienkich pokładów oraz kołowrót

Niezwykłą konstrukcją jest kombajn Mackina TEMP-H (rys. 8), który jest dwuorganowy, ale jedno-ramionowy, z ciągnowym systemem posuwu i przezna-

czony jest do pracy bezpośrednio na spągu w cienkich pokładach silnie nachylonych podłużnie w zakresie $30-85^\circ$. Za jego wyjątkowością przemawiają zastosowane rozwiązania odróżniające go od pozostałych kombajnów do pokładów nachylonych. Kombajn ten wyposażony jest w jeden silnik elektryczny o mocy 80 kW, który przez przekładnię hydrostatyczną (pompa-silnik) napędza organ dolny (pierwszy). Natomiast organ górny (drugi) napędzany jest z organu dolnego przez łańcuch opasający ramię. Łańcuch pełni jednocześnie funkcję napędową oraz urabiającą, w związku z tym zbrojony jest nożami. Zastosowanie noży styczno-obrotowych do zbrojenia organów przy wykorzystaniu noży promieniowych do zbrojenia łańcucha jest również nietypowe.



Rys. 8. Dwuorganowy kombajn TEMP-H firmy Mackinado cienkich pokładów

Firma Beijing HOT Mining Tech Co., Ltd (dalej HOT) jest dostawcą produktów i usług dla górnictwa i przeróbki kopalin. Oferuje maszyny produkowane przez cztery firmy zewnętrzne typu Original Equipment Manufacturer (tzw. OEM), czyli HOT jedynie firmuje te produkty. Co nie zmienia faktu, że informacja o oferowanych przez HOT kombajnach ściano-nych jest warta przytoczenia.

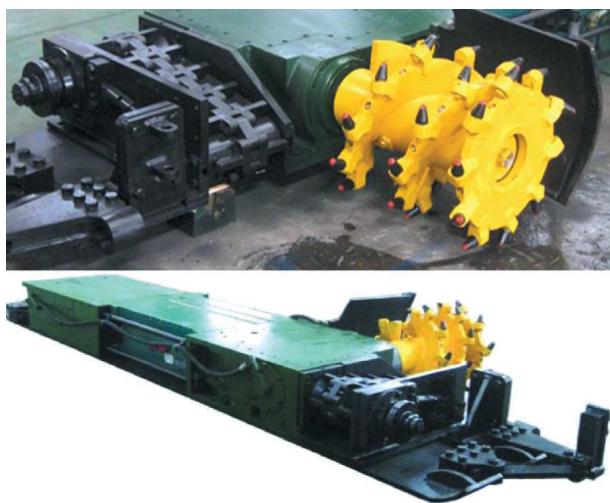
Kombajn dwuorganowy, dwuramionowy HMG100/250-PBD HOT również charakteryzuje się klasyczną konstrukcją i porusza się po przenośniku, jednak nie jest wyposażony w ciągniki, a jego napędy ciągnowego systemu posuwu znajdują się w chodnikach.

Kolejne rozwiązanie firmy HOT stanowią kombajny jednoramionowe, jednoorganowe z bezciągnowym systemem posuwu, których trzy modele tworzą serię HMG. Kombajny te klasycznie poruszają się po przenośniku z zastosowaniem jednego ciągnika oraz podwójnych kół trakowych w popularnym systemie typu Eicotrack (rys. 9). Kombajny HMG wyposażono silniki organów o mocy kolejno 100 kW, 100 kW, 120 kW i przeznaczone są do eksplantacji ścian o wysokości w zakresie od 0,75 m do 1,2 m.



Rys. 9. Jednoorganowy kombajn HMG100/111-TWD firmy HOT do cienkich pokładów

Ostatnim omawianym kombajnem jest konstrukcja jednoorganowa, bezramionowa z ciągnowym systemem posuwu do bezpośredniej pracy na spągu, do pokładów silnie nachylonych HMG100-TP firmy HOT (rys. 10). W odróżnieniu od pozostałych kombajnów tego typu, ten kombajn ładuje na przenośnik ścianowy za pomocą krótkiego przenośnika zgrzeblowego odprowadzającego urobek bezpośrednio z okolicy organu. Kombajn nie posiada zabudowanego w kadłubie napędu posuwu i wymaga zastosowania kołowrotu. Kombajn w zależności od średnicy organu, napędzany silnikiem o mocy 100 kW, przeznaczony do pracy w ścianach od 0,44 m do 0,9 m.



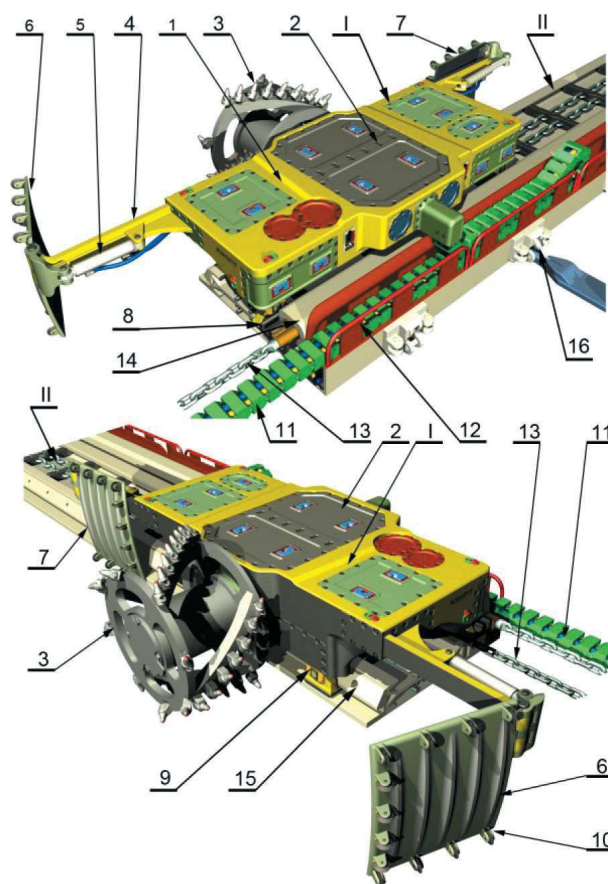
Rys. 10. Jednoorganowy kombajn HMG100-TP firmy HOT do ultracienkich pokładów

4. KOMBAJN JEDNOORGANOWY DO CIENKICH POKŁADÓW

Pomimo dużego zróżnicowania konstrukcji kombajnów ścianowych oraz statycznych strugów węglowych nadal nie rozwiązano kluczowych problemów pozwalających na zwiększenie wydobywania [14]. Rozwiązaniem pozwalającym na osiągnięcie

zadowalającego, ekonomicznie uzasadnionego w polskich warunkach, wydobywania dobowego w ścianach o wysokości od 1,0 m do 1,6 m jest kompleks ścianowy, wyposażony w kombajn jednoorganowy. Kombajn jednoorganowy łączy w sobie zalety techniki strugowej oraz kombajnowej, eliminując jednocześnie ich podstawowe wady. Przedmiotowe rozwiązanie zostało opracowane w AGH i stanowi obiecującą alternatywę dla obecnych kompleksów ścianowych.

Rysunek 11 przedstawia kombajn jednoorganowy (I) posadowiony na przenośniku ścianowym (II). Zgodnie z założeniami kombajn składa się z kadłuba (1), którego głównym zespołem jest jednostka napędowa (2) z zamocowanym na końcu wału frezującym organem przestrzennym (3).



Rys. 11. Rozwiązanie AGH kombajnu jednoorganowego na przenośniku ścianowym

Do kadłuba za pomocą ramion (4) i siłowników (5) mocowane są ładowarki. Ładowarka (6) znajduje się w pozycji aktywnej, natomiast ładowarka (7) w pozycji biernej. Kadłub posiada dwie płozy zawałowe (8) oraz dwie płozy ociosowe (9). Płozy zawałowe (8) połączone są z łańcuchem napędowym (13). Kadłub od strony zawałowej posiada uchwyt układowy (11) z przewodami. Każda ładowarka wyposażona jest

w rolki (10) zabezpieczające je przed blokowaniem na nierównościach. Przewody znajdują się w układaku (11) i prowadzone są w zastawce (12). Kombajn (I) ciągnięty jest za pomocą łańcucha (13). Płoza ociosowa (9) kombajnu porusza się po prowadzeniu ociosowym (15) przenośnika, natomiast płoza zawałowa (8) porusza się po prowadzeniu zawałowym (14) przenośnika. Kompleks wyposażono w siłowniki korekcji poprzecznej (16).

Rozwiązanie takie umożliwia efektywną eksploatację przedmiotowych pokładów dzięki pracy w systemie ścianowym z urabianiem dwukierunkowym, zastosowaniu frezowania, rozdzieleniu procesu frezowania od ładowania, zastosowaniu pełnej automatyzacji pracy, ciągłowemu systemowi posuwu, możliwości rozpoczynania nowego skrawu bez konieczności zawrębiania [14, 15].

5. PODSUMOWANIE

Producenci maszyn górniczych zarówno w Polsce, jak i na świecie oferują wiele typów kombajnów i strugów węglowych, przeznaczonych do pracy w zmechanizowanych kompleksach ścianowych. W szczególności w przypadku kombajnów rozwiązania dostępne w różnych krajach wyraźnie różnią się od konstrukcji klasycznych, a jest to spowodowane lokalnymi uwarunkowaniami tak naturalnymi, jak i gospodarczymi. Opracowany w artykule przegląd i podział kombajnów ścianowych zwraca wyraźnie uwagę na mnogość rozwiązań. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest ciągłe poszukiwanie maszyn przeznaczonych do pracy wykreślonych, specyficznych warunkach, jak również rosnące możliwości techniczne, a zwłaszcza rozwój automatyzacji pozwalający na wyeliminowanie człowieka z miejsc szczególnie niebezpiecznych.

Przedstawione, stosowane obecnie kombajny ścianowe nierzadko pozwalają na uzyskanie jedynie kilkuset ton wydobywania dobowego ze ściany, co w polskich warunkach nie jest akceptowalne.

W rozwiązaniach światowych oprócz maszyn tworzących kombajnowe kompleksy ścianowe, stosowane są również maszyny urabiające przeznaczone do innych metod i systemów eksploatacji [4, 5].

Zaproponowany przez AGH jako rozwiązanie koncepcyjne i perspektywiczne, kompleks do eksploatacji cienkich pokładów wyposażony jest w kombajn jednoorganowy przeznaczony do pracy w technologii urabiania dwukierunkowego. Charakterystyczną cechą tej technologii, w tym przypadku, jest brak fazy

zawrębiania oraz praca na pełny zabiór na całej długości ściany. Zastosowanie organu frezującego pozwala pozytywnie ocenić możliwość wdrożenia takiego kombajnu do pracy w pokładach z zaburzeniami oraz węglami o najwyższych wskaźnikach skrawalności. Rezygnacja z realizacji ładowania organami oraz wycofanie obsługi ze ściany eliminuje najważniejsze ograniczenia klasycznej techniki kombajnowej.

Podziękowania

Prace finansowane z Grantu Dziekańskiego na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH w ramach umowy numer 15.11.130.838.

Literatura

- [1] Beijing HOT Mining Tech Co., Ltd, www.hotmining.cn [22.05.2018].
- [2] Mackina-Westfalia S.A., www.mackina-westfalia.com (20.03.2018).
- [3] Corum Group, www.corum.com [22.05.2018].
- [4] Kotwica K., Mendyka P., Bołoz Ł. et al.: *Wybrane problemy urabiania, transportu i przeróbki skał trudnourabialnych*, t. 1, red. K. Krauze, Wydawnictwa AGH, Kraków 2016.
- [5] Bołoz Ł.: *Maszyny urabiające w wybranych metodach eksploatacji cienkich pokładów węgla kamiennego*, „Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, Górnictwo – Perspektywy i Zagrożenia: Węgiel, Tania Czysta Energia i Miejsca Pracy” 2018, 7, 1: 131–142.
- [6] Bołoz Ł.: *Maszyny urabiające w ścianowych systemach eksploatacji cienkich pokładów węgla kamiennego*, „Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, Górnictwo – Perspektywy i Zagrożenia: Węgiel, Tania Czysta Energia i Miejsca Pracy” 2018, 7, 1: 143–154.
- [7] Jaszczuk M.: *Ścianowe systemy mechanizacyjne*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 2007.
- [8] Krauze K.: *Urabianie skał kombajnami ścianowymi*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 2000.
- [9] Krauze K.: *Urabianie skał strugami statycznymi*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 2012.
- [10] Piechota S.: *Podstawowe zasady i technologie wybierania kopalni stałych*, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2003.
- [11] KOPEX S.A., www.kopex.com.pl [22.05.2018].
- [12] Famur S.A., www.famur.com.pl [22.05.2018].
- [13] Eickhoff Bergbautechnik GmbH, www.eickhoff-bochum.de [22.05.2018].
- [14] Bołoz Ł.: *Ocena obciążenia jednoorganowego kombajnu ścianowego na podstawie badań analitycznych*, AGH w Krakowie, Kraków 2012 [praca doktorska].
- [15] Bołoz Ł.: *Kombajnowy kompleks ścianowy przeznaczony do pracy w niskich ścianach*, „Przegląd Górniczy” 2016, 72, 6: 91–97.

dr inż. ŁUKASZ BOŁOZ

Katedra Maszyn Górniczych, Przeróbczych
i Transportowych
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
boloz@agh.edu.pl

KATARZYNA MIDOR
WITOLD BIAŁY
JURAJ RUŽBARSKÝ

Significance of chain quality in work safety

From the point of view of the working environment, the quality of the chain used in lifting devices is very important. An important element in hoists and cranes is the short link chain, which largely affects the safety of the worker operating the crane. The article discusses the basic elements affecting the quality and safety of a chain. This analysis clearly shows that, when choosing a supplier, users of these products should be guided not only by the price but, above all, the certificates and attestations that the manufacturer provides for the product.

Key words: chain, hoist/winch, quality, work safety

1. INTRODUCTION

The work environment exerts a great influence on the health and quality of life of the employee, as it is made up of a set of material and psycho-social factors that the employee comes into contact with during their work or preparation for it. The material factors of the work environment include (among others) the premises of an enterprise or institution, buildings, rooms, machines, tools, and devices along with factors of a physical and chemical nature (e.g., microclimate, lighting, vibrations, noise, mechanical factors, and chemical or dust substances) as well as biological agents. In contrast, psychosocial (non-material) factors in the work environment include psychological demands, organizational factors, employee participation, interpersonal relationships, career development, and organizational culture, among others [1, 2].

The article discusses one of the elements of the work environment in the industry affecting worker safety; namely, the hoisting equipment, an important operational element of which is a chain.

Cranes are a group of lifting and transporting devices used to move loads, animals, and people vertically or horizontally for short distances in intermittent motions. In the classic literature [3], we can distinguish jacks, lifts, trolleys, gantries, and cranes in the division of hoisting equipment. Due to the issues raised in the present article, the authors are interested in cranes, which are divided into such devices as winches and hoists, among others. These two devices

(cranes) are designed for the vertical lifting of a load by means of a rope or chain with the use of a gripping element, usually a hook; the difference between them consists of the attachment of the supporting structure. Depending on the design, these devices can be used in various areas such as heavy construction and the automotive or wood industries [4].

In many cranes (especially hand-operated ones), chains are used as the lifting element. The chains are also used as components of hoisting chains for tying and hanging loads on the hooks of manual and mechanical lifts.

Chains used in cranes as lifting elements can be divided into two types: link chains and plate link chains (also known as Gall's chains) – Figure 1. These two types of chains are called technical chains, which are irreplaceable in many branches of industry and economy and are designed to carry larger loads.

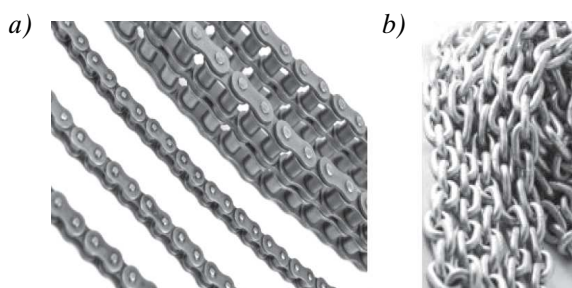


Fig. 1. Gall's roller drive chain (a); link lifting chain (b)

The basic characteristic of a chain is the so-called chain size. This value is defined as the product of the

diameter of the bar from which the link is made (d) and the largest internal dimension “ p ” called the chain pitch. In addition, the link is characterized by the following values: “ a ” – the internal length measured in the link’s light; “ b ” – the outer link width; and “ $L11p$ ” – the internal length of a chain with 11 links [5]. The dimensions of a link are presented in Figure 2. Depending on the length of the link, we divide chains into short- and long-linked ones. A short-link chain is a chain whose link length does not exceed 5 times the diameter of the rod from which the link is made (d) and the width (b) is not greater than 3.5 times the diameter of the bar. If the link length exceeds 5 times the diameter of the bar (d), a chain is classified as a long-link one.

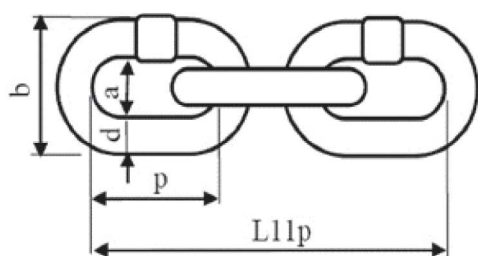


Fig. 2. Dimensions of link/chain [5]

Short-link chains are used in a number of mechanical devices, mainly as drive chains cooperating with socket wheels and support slings in hoists. Chains with long links are general-purpose chains and are used especially in the mining industry.

In the article, attention will be given to chains with short links, which are used primarily in hoists and winches.

Depending on the type of drive, hoists can be divided into manual, electric, and pneumatic devices. On the other hand, the division due to the type of band used divides these devices into chain or rope ones. Examples of such hoists are presented in Figure 3.

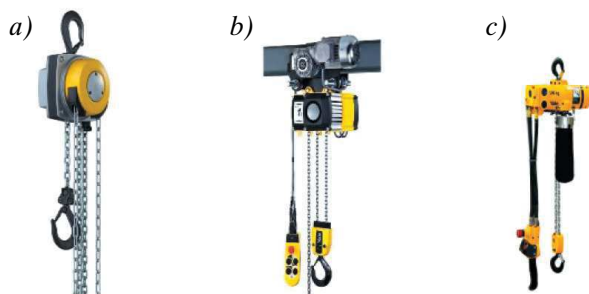


Fig. 3. Examples of hoist types: a) yale lift 360 manual chain hoist; b) CPV electric drive chain hoist; c) CPA 1–13 pneumatic drive chain hoist

Chains with short links for lifting loads can be used in many industrial and economic sectors, including in the underground excavations of mines as well as in areas with coal dust and methane explosion hazards, among others.

There are several manufacturers of such chains on the Polish market: Pewag Poland Sp. z o.o., Grupa RUD, THIELE, and Retezarna a.s., among others.

2. LEGAL REQUIREMENTS FOR CHAINS WITH SHORT LINKS

In the mining industry, chain hoists are used for short-distance transport, which enables the assembly of machine and equipment components as well as the transfer of materials. Due to the difficult operating conditions in limited spaces of excavations and assembly chambers, hoisting equipment intended for the mining industry must be characterized by high lifting speed, low weight, small dimensions, and operational safety in addition to the appropriate lifting capacity [6].

An important operating element in these devices is the chain, which largely determines the safety of the worker operating the crane. Each chain used in industry within the European Union must comply with Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of May 17, 2006, on machinery, which refers to the safety and protection of the health of workers working with devices and machines whose moving element is a chain, among other things. Therefore, chains intended for lifting loads that are normally used in the EU (including Poland) must be manufactured in accordance with the above directive and with the requirements of such standards as:

- EN 818-2 + A1. The standard for medium tolerance chains for chain clamps – Class 8 (800 MPa) characterized by the ratio of safety factors $4 : 2.5 : 1$ (breaking force/test force/load capacity). The chain must be tested. The temperature limits are -40° to $+400^{\circ}\text{C}$.
- EN 818-7 + A1. The standard describing the requirements for the chain of a hoist/chain winch depending on the design, weight of the load, and environment in which it is used.

A T chain used in hoists/winches with manual drives or in hoists with low speed motor drives that do

not work under abrasive conditions. The chain safety factor should have a ratio of 4 : 2.5 : x (breaking force/test force/load capacity in accordance with ISO 4301-1 drives). The chain should be calibrated and tested. The temperature limits are -40°C to $+200^{\circ}\text{C}$.

A DAT chain is used in hoists/winches with motor drives that reach high speeds combined with high work intensity in places where resistance to abrasion is required; this is connected with increasing the durability of the chain. The safety factor should have a ratio of 4 : 2.5 : x (breaking force/test force/load capacity in accordance with ISO 4301-1 drives). The chain should be calibrated and tested. The temperature limits are -20°C to $+200^{\circ}\text{C}$.

A DT chain used in hoists/winches with motor drives operating in abrasive working conditions. The safety factor should have a ratio of 4 : 2.5 : x (breaking force/test force/load capacity in accordance with ISO 4301-1 drives). The chain should be calibrated and tested. The temperature range is -10°C to $+200^{\circ}\text{C}$.

In addition, the following technical standards and legal acts are in force in Poland, whose fulfilment guarantees the chain user's safety. These are (among others) such documents as:

- PN-G-46732:1997: *Mining chain hoists – calibrated short-link chains*;

- *Safety requirements considering the provisions of the “Geological and Mining Law” Act of June 9, 2011* (Journal of Laws of 2017, item 2126, as amended);
- *Regulation of the Minister of Economy of June 28, 2002, on work health and safety, operation, and specialized fire protection in underground mining facilities* (Journal of Laws of 2002, No. 139, Item 1169);
- *Act of December 12, 2003, on general product safety* (Journal of Laws of December 31, 2003);
- PN-EN 10025:2002: *Hot-rolled products made of structural steel*;
- PN-EN ISO 643:2013-06: *Steel – Micrographic grain size determination*;
- PN-EN ISO 6507-1:2018-05: *Metals – Vickers hardness measurement – Part 1: Test method*.

3. TECHNICAL REQUIREMENTS FOR CHAINS WITH SHORT LINKS

The Retezarna a.s. company has chains of standard sizes in its offer, which are presented in Table 1. In addition to the standard sizes, custom chains can be produced at the customer's special request [5].

Link chains are made of steel with tensile strengths suitable for any given chain class. They consist of links welded in fire or electrically.

Table 1
Standard chain sizes offered by Retezarna a.s. [5]

Chain size $d \times p$	d		p	a no lower than	b no greater than	Weight of 1 m of chain	Nominal length $L = 11 \times p$	Tolerance	Max. weld diameter
	[mm]					[kg]	[mm]		
4 × 12	4	±0.2	12	4.8	13.6	0.35	132	0.6	4.3
5 × 15	5	±0.2	15	6.0	17.0	0.54	165	0.8	5.4
6 × 18	6	±0.2	18	7.2	20.4	0.8	198	1.0	6.5
7 × 21	7	±0.3	21	8.4	23.8	1.1	231	1.1	7.6
8 × 24	8	±0.4	24	9.6	27.2	1.4	264	1.3	8.6
9 × 27	9	±0.4	27	10.8	30.6	1.8	297	1.4	9.7
10 × 30	10	±0.4	30	12.0	34.0	2.2	330	1.6	10.8
11 × 31	11	±0.4	31	13.2	37.4	2.7	363	1.7	11.9
12 × 36	12	±0.5	36	14.4	47.6	3.1	396	1.9	13.0
13 × 39	13	±0.5	39	15.6	44.2	3.7	429	2.1	14.0
14 × 42	14	±0.6	42	16.8	47.6	4.3	462	2.2	15.1
16 × 45	16	±0.6	45	19.2	54.4	5.6	528	2.5	17.3
18 × 54	18	±0.9	54	21.6	61.2	7.0	594	2.9	19.4
20 × 60	20	±1.0	60	24.0	68.0	8.7	660	3.2	21.6
22 × 66	22	±1.1	66	26.4	74.8	10.5	726	3.5	23.8

Welded chains for T-class chain hoists and winches (T, DAT, DT) must be characterized by high quality, excellent usability, and long service life. To achieve this, they must be manufactured with the utmost care so as to ensure safety during their use.

The parameters determining the quality and safety of chains are their mechanical properties and loads, among others. For the production of chains for winches/hoists, steel with mechanical properties in accordance with PN-EN 10025 [7–9] is used so that the final product meets all of the requirements set out by the stringent European norms in accordance with the PN-EN 818-7 and PN-G-46732 standards. The EN8-18-7 + A1: 2008 European standard (which is also in force in Poland) sets out clearly defined requirements for the type of steel the chain is made of, the process in which the steel is made, and what its chemical composition should be. Tables 2 and 3 present the requirements for the content of specific elements in the steel.

In order to protect the chain against aging during its use, the steel should contain at least 0.025% aluminum (Al).

Another important element affecting the safe use of a chain is its quality, with particular attention to deviations from the dimensions that were included in Table 1. In addition, PN-EN 818-7 requires the manufacturer to use a complex program of product quality tests to ensure a chain's safety during its operation.

Particular emphasis is placed on the use of the appropriate steel grades as materials from which T-class short chain elements are made. Each delivery to the customer must be marked with the manufacturer's mark, chain thickness, production batch number, chain length, and number of pieces in the series. At the end of every meter of a chain, there is a mark containing the manufacturer's mark, year of production, number denoting the month of production, and chain's class (T, DAT, or DT – for the 818–7 standard; 5.6 or 8 for the PN-G-46732 standard) – Figure 4.



Fig. 4. Mark placed every meter at the ends of a chain

Chains produced by Retezarna a.s. meet the requirements set by the standards for the selected products.

Table 2

Chemical composition of steel for production of hoist chains – alloying elements [7]

Element	Minimum mass share in percent determined in cast analysis		
	type T	type DAT	type DT
Nickel (Ni)	0.40	0.7	0.9*
Chromium (Cr)	0.40	0.40	0.4
Molybdenum (Mo)	0.15	0.15	0.15

* Higher surface hardness and/or greater hardening depth require higher nickel content to avoid brittleness

Table3

Sulphur and phosphorus content in steel for production of hoist chains [7]

Element	Minimum mass share in percent determined in	
	cast analysis	control analysis
Sulfur (S)	0.020	0.025
Phosphorus (P)	0.020	0.025
Total sulfur + phosphorus	0.035	0.045

To emphasize the high quality and safety of use, the chains produced by Retezarna a.s. have the H45 mark (Manufacturer's ID) given by the DGUV Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung certification body guaranteeing the product's compliance with the PN-EN 818-7 standard [2, 10]. Figure 5 shows the stamped quality mark on a chain link.



Fig. 5. H 45 quality mark embossed on chain link

Observation of the market of chain suppliers for various types of hoists and winches justifies the opinion that there are suppliers on the market who do not meet the requirements of the EU directive. Inconsistencies can be observed in the Declaration of Conformity, among others, which shows the discrepancy between the qualitative parameters of the chain and requirements contained in the Directive. This is particularly important for high-strength chains; e.g., DAT. The most common nonconformity is the use of inadequate steel; e.g., manganese steel, inadequate proportions of the Ni, Cr, Mo elements, or the absence or insufficient content of aluminum. The authors of the present article emphasize that customers pay particular attention to this issue when choosing a chain manufacturer, as it has a direct impact on the safety of the chain's users.

4. CONCLUSIONS

The development of mechanization systems in various branches of industry (including mining) requires

the use of auxiliary devices that facilitate assembly, service, and transport work. Moving heavier and heavier weights requires the use of devices with increasingly better technical parameters. One such device belonging to the so-called "small mechanization" are winches and chain hoists [11]. In addition to the technical and constructional parameters of these devices, the chains with which goods are moved also affect their operation and safety. Therefore, from the point of view of work safety, the quality of the chain used is very important. The present article only indicates the basic elements and determinants that affect the quality of a chain. From this analysis, it is clear that, it should be noted whether the product has a certificate with the designation α when choosing chains (which is a prestigious certificate ensuring that the manufacturer meets the requirements of the European standards). It is also necessary to verify the mechanical properties of the material from which the chains are made and pay attention to their quality. For each chain intended for hoists and winches, the customer should receive documents such as a declaration of conformity, manual, and inspection certificate. A material certificate is not required, but the chain producer should provide it upon a client's request. Additionally, a confirmation of the quality of the material used and the manufacturing of the chain is the manufacturer's certificate, which is supplied with the product.

Acknowledgements

The article was financed from the fund of statutory work 13/030 / BK_18 / 0039 carried out at the Institute of Production Engineering at the Faculty of Organization and Management of the Silesian University of Technology.

References

- [1] <https://www.ciop.pl>.
- [2] Midor K.: *Significance of the quality of short – link chains for work environment*, in: Ulewicz R., Hadzima B. (ed.), *12th International Conference Quality Production Improvement 2018 – QPI'18. Book Series: MATEC Web of Conferences 17 Ave du Hoggar Parc d'activites Coutaboeuf BP 112, F-91944 Cedex a, France: EDP Sciences*, 2018.
- [3] Piątkiewicz A., Sobolski R.: *Dźwignice*, t. 2, WNT, Warszawa 1977.
- [4] www.snoork.pl.
- [5] PPUH "Anima" Krzysztof Śleziak: *Warunki techniczne wykonania i odbioru*, nr ANW-17.06/WT.

- [6] Cebula D., Kalita M.: *Proces projektowania wciągników łańcuchowych*, "Maszyny Górnicze" 2014, 1: 22–28.
- [7] PN-EN 818-7:2002+A1:2008: *Bezpieczeństwo – Łańcuch o ogniwach krótkich do podnoszenia ładunków – Część 7: Dokładny łańcuch dźwignicy – Klasa T (Typy T, DAT i DT)*.
- [8] PN-G-46732:1997: *Wciągniki górnicze łańcuchowe – Łańcuchy krótkoogniowe kalibrowane*.
- [9] PN-EN 10025:2002: *Wyroby walcowane na gorąco z nie-stopowych stali konstrukcyjnych – Warunki techniczne dostawy*.
- [10] Midor K., Biały W.: *Łańcuch krótkoogniowy – determinanty wpływające na bezpieczeństwo pracy*, "Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji" 2018, 7, 1: 497–505.
- [11] Kalita M.: *Wciągarka łańcuchowa układaka przewodów kompleksu MIKRUS*, "Maszyny Górnicze" 2013, 3: 21–25.

KATARZYNA MIDOR, Ph.D., Eng.
WITOLD BIAŁY, Assoc. prof.
Faculty of Organization and Management
Silesian University of Technology
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze, Poland
{katarzyna.midor, witold.bialy}@polsl.pl

JURAJ RUŽBARSKÝ, Ph.D., Eng., Assoc. prof.
Technical University of Košice
Bayerova 1, 08001 Preszew, Slovakia
juraj.ruzbarsky@tuke.sk

KATARZYNA MIDOR
WITOLD BIAŁY
JURAJ RUŽBARSKÝ

Znaczenie jakości łańcuchów dla bezpieczeństwa pracy

Jakość zastosowanego łańcucha w urządzeniach dźwigowych ma bardzo duże znaczenie w środowisku ich pracy. Ważnym eksploatacyjnym elementem we wciągarkach i wciągarkach łańcuchowych jest łańcuch o ogniwach krótkich, który stanowi w dużej mierze o bezpieczeństwie pracownika obsługującego dźwignicę. W artykule omówiono podstawowe elementy wpływające na jakość i bezpieczeństwo łańcucha. Z analizy jednoznacznie wynika, iż użytkownicy tych produktów przy wyborze dostawcy nie powinni sugerować się tylko ceną, ale przede wszystkim certyfikatami i atestami produktu.

Słowa kluczowe: łańcuch, wciągnik/wciągarka, jakość, bezpieczeństwo pracy

1. WPROWADZENIE

Środowisko pracy wywiera duży wpływ na zdrowie i na jakość życia pracownika, gdyż składa się na nie zespół czynników materialnych i psychospołecznych, z którymi pracownik styka się podczas wykonywania pracy lub przysposobienia do niej. Do czynników materialnych środowiska pracy zalicza się m.in. teren przedsiębiorstwa lub instytucji, budynki, pomieszczenia, maszyny, narzędzia, urządzenia, a także czynniki o charakterze fizycznym i chemicznym (np. mikroklimat, oświetlenie, drgania, hałas, czynniki mechaniczne oraz substancje chemiczne i pyłowe) i czynniki biologiczne. Natomiast do czynników psychospołecznych (niematerialnych) środowiska pracy zalicza się m.in.: wymagania psychologiczne pracy, czynniki organizacyjne, partycypację pracowników, stosunki międzyludzkie, rozwój kariery zawodowej i kulturę organizacyjną [1, 2].

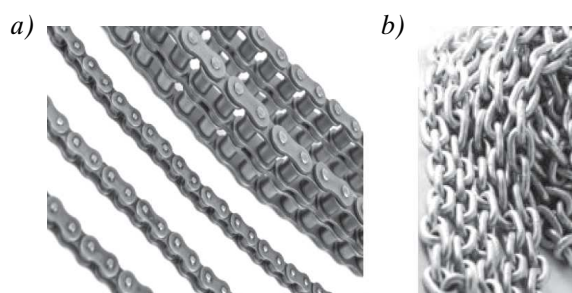
W artykule został omówiony jeden z elementów środowiska pracy w przemyśle wpływający na bezpieczeństwo pracownika, a mianowicie urządzenia dźwigniowe, których ważnym elementem eksploatacyjnym jest łańcuch.

Dźwignice to grupa urządzeń dźwigowo-transportowych, służących do przemieszczania pionowego bądź poziomego ładunków, zwierząt i ludzi na niewielkie odległości w ruchu przerywanym. W klasycz-

nej literaturze [3] w podziale dźwignic wyróżniamy: dźwigniki, ciągniki, wózki, suwnice, żurawie. Ze względu na zagadnienia poruszane w artykule autorów interesują ciągniki, które dzielą się między innymi na takie urządzenia, jak wciągarki i wciągniki. Te dwa urządzenia – dźwignice przystosowane są do pionowego podnoszenia ładunku za pomocą liny lub łańcucha z wykorzystaniem elementu chwytneho – zazwyczaj haka, a różnica pomiędzy nimi występuje w zamocowaniu konstrukcji nośnej. W zależności od sposobu skonstruowania wspomniane urządzenia mogą być wykorzystywane w różnych przestrzeniach, takich jak: przemysł, budownictwo, motoryzacja czy przemysł leśny [4].

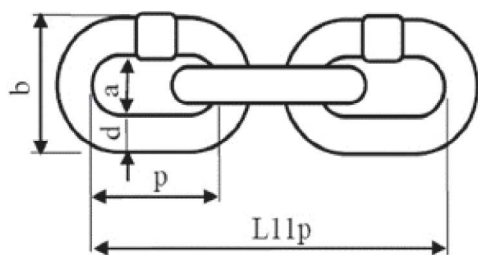
W pracy wielu dźwignic, zwłaszcza o napędzie ręcznym, stosowane są łańcuchy jako elementy udźwigowe. Łańcuchów używa się również jako część składową zawiesi łańcuchowych do obwiązywania i zawieszania ciężarów na hak dźwignic ręcznych i mechanicznych.

Łańcuchy stosowane w dźwignicach jako elementy udźwigowe można podzielić na dwa rodzaje: łańcuchy ogniowe i łańcuchy płytkowe przegubowe zwane łańcuchami Galla – rysunek 1. Te dwa rodzaje łańcuchów nazywamy łańcuchami technicznymi, które są niezastąpione w wielu branżach przemysłowych i gospodarczych i są przeznaczone do przenoszenia większych obciążeń.



Rys. 1. Łańcuch rolkowy napędowy Galla (a);
łańcuch zawieszowy ogniowy (b)

Podstawowym pojęciem charakteryzującym łańcuch jest tzw. wielkość łańcucha. Wielkość ta zdefiniowana jest jako iloczyn średnicy pręta d , z którego zrobione jest ogniwo oraz największego wymiaru wewnętrznego p nazywanego podziałką ogniwa lub łańcucha. Ponadto ogniwo charakteryzują jeszcze wielkości: a – długość wewnętrzna mierzona w świetle ogniwa, b – szerokość zewnętrzna ogniwa oraz „L11p” – wewnętrzna długość łańcucha z jedenastoma ogniwami [5]. Wymienione wymiary ogniwa zaprezentowane są na rysunku 2. W zależności od długości ogniwa łańcuchy dzielimy na krótko- bądź długoogniowe. Łańcuchem krótkoogniowym nazywamy łańcuch, którego długość ogniwa nie przekracza pięciokrotnej średnicy pręta d , z którego ogniwo zostało wykonane, a szerokość b nie jest większa niż 3,5-krotna średnica pręta. Jeśli długość ogniwa przekracza pięciokrotną średnicę pręta d , to łańcuchy takie zaliczone są do długoogniowych.

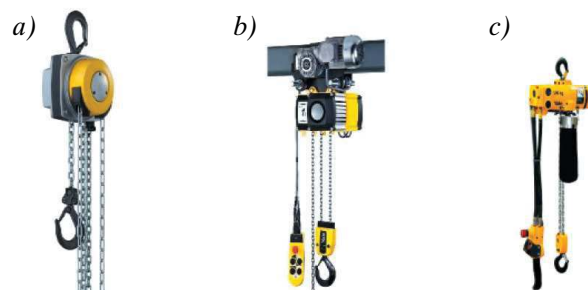


Rys. 2. Wymiary ogniwa/łańcucha [5]

Łańcuchy o ogniwach krótkich mają zastosowanie w szeregu urządzeń mechanicznych, głównie jako łańcuchy napędowe, współpracujące z kołami gniazdowymi oraz zawiesia pomocnicze wciągarkach. Łańcuchy o ogniwach długich są łańcuchami ogólnego przeznaczenia i szczególne mają zastosowanie w przemyśle górniczym.

W artykule uwaga zostanie zwrócona na łańcuchy o ogniwach krótkich, które są stosowane przede wszystkim we wciągarkach i wciągarkach.

Wciągarki ze względu na rodzaj napędu możemy podzielić na: ręczne, elektryczne oraz pneumatyczne. Natomiast podział ze względu na rodzaj zastosowanego cięgna dzieli te urządzenia na łańcuchowe lub linowe. Przykłady takich wciągarek zaprezentowano na rysunku 3.



Rys. 3. Przykłady rodzajów wciągarek: a) ręczny wciągark łańcuchowy model Yale lift 360; b) wciągark łańcuchowy model CPV z napędem elektrycznym; c) wciągark łańcuchowy z napędem pneumatycznym model CPA 1-13

Łańcuchy o ogniwach krótkich do podnoszenia ładunków, można stosować w wielu branżach przemysłowych i gospodarczych, w tym między innymi w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych, w przestrzeniach zagrożonych wybuchem pyłu węglowego oraz metanu.

Na rynku polskim jest kilku producentów omawianych łańcuchów, m.in.: Pewag Polska Sp. z o.o., Grupa RUD, THIELE, Retezarna a.s.

W artykule autorzy omawiają łańcuchy produkowane przez firmę Retezarna a.s.

2. WYMAGANIA PRAWNE STAWIANE ŁAŃCUCHOM O KRÓTKICH OGNIWACH

W przemyśle górniczym do transportu bliskiego stosowane są między innymi wciągarki z cięgiem łańcuchowym, umożliwiające montaż podzespołów maszyn i urządzeń oraz przemieszczanie materiałów. Ze względu na trudne warunki eksploatacji w ograniczonych przestrzeniach wyrobisk i komór montażowych, urządzenia dźwignicowe, przeznaczone dla przemysłu górniczego oprócz odpowiedniego udźwigu muszą charakteryzować się dużą prędkością podnoszenia, niewielką masą własną, niewielkimi gabarytami oraz bezpieczeństwem pracy [6].

Ważnym eksploatacyjnym elementem w tych urządzeniach jest łańcuch, który stanowi w dużej mierze

o bezpieczeństwie pracownika obsługującego dźwignicę. Każdy łańcuch, który jest wykorzystywany w przemyśle na terenie Unii Europejskiej, musi być zgodny z Dyrektywą 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, odnoszącej się między innymi do bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników pracujących z urządzeniami i maszynami, których ruchomym elementem jest łańcuch. A zatem łańcuchy przeznaczone do podnoszenia ładunków, które są standardowo używane w UE, w tym także w Polsce, muszą być produkowane zgodnie z powyższą dyrektywą oraz z wymaganiami takich norm, jak:

- EN 818-2 + A1. Norma dla łańcuchów o średniej tolerancji dla zacisków łańcuchowych – klasa 8 (800 MPa) charakteryzujących się stosunkiem współczynników bezpieczeństwa $4 : 2,5 : 1$ (siła zrywająca/ siła testowa/ nośność). Łańcuch musi być testowany. Ograniczenia temperatury -40°C do $+400^{\circ}\text{C}$;
- EN 818-7 + A1. Norma, w której opisano wymagania łańcucha do wciągacza/ wciągarki łańcuchowej, zależnie od konstrukcji, ciężaru ładunku i środowiska, w którym jest używany.

Łańcuch T używany we wciągaczach/ wciągarkach z napędem ręcznym lub w podnośnikach z napędem silnikowym o małych prędkościach, które nie pracują w warunkach abrazyjnych. Współczynnik bezpieczeństwa łańcucha powinien mieć stosunek $4 : 2,5 : x$ (siła zrywająca/ siła testowa/ nośność zgodnie z napędami ISO 4301-1). Łańcuch powinien być skalibrowany, przetestowany. Ograniczenia temperatury od -40°C do $+200^{\circ}\text{C}$.

DAT łańcuch używany we wciągaczach/ wciągarkach z napędem silnikowym, które osiągają duże prędkości, w połączeniu z dużym natężeniem pracy w miejscach, gdzie jest wymagana odporność na ścieranie, związana ze zwiększeniem żywotności łańcucha. Współczynnik bezpieczeństwa powinien mieć stosunek $4 : 2,5 : x$ (siła zrywająca/ siła testowa/ nośność zgodnie z napędami ISO 4301-1). Łańcuch powinien być skalibrowany, przetestowany. Ograniczenia temperatury od -20°C do $+200^{\circ}\text{C}$.

DT łańcuch używany we wciągaczach/ wciągarkach z napędem silnikowym w abrazyjnych warunkach pracy. Współczynnik bezpieczeństwa powinien charakteryzować się stosunkiem $4 : 2,5 : x$ (siła zrywająca/ siła testowa/ nośność zgodnie z napędami ISO 4301-1). Łańcuch powinien być skalibrowany, przetestowany. Zakres temperatur: od -10°C do $+200^{\circ}\text{C}$.

Ponadto na terenie Polski obowiązują także normy techniczne oraz akty prawne i spełnienie ich wymagań gwarantuje bezpieczeństwo dla użytkownika łańcucha. Są to między innymi takie dokumenty, jak:

- PN-G-46732:1997: *Wciągarki górnicze łańcuchowe – Łańcuchy krótkoogniowe kalibrowane*;
- *Wymagania bezpieczeństwa uwzględniające postanowienia Ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze* (Dz.U. z 2017 r., poz. 2126, ze zmianami);
- *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. z 2002, nr 139, poz. 1169);
- *Ustawa z dnia 12 grudnia 2003 r. o ogólnym bezpieczeństwie produktów* (Dz.U. z dnia 31 grudnia 2003 r.);
- PN-EN 10025:2002: *Wyroby walcowane na gorąco z niestopowych stali konstrukcyjnych*;
- PN-EN ISO 643:2013-06: *Stal – Mikrograficzne określanie wielkości ziarna*;
- PN-EN ISO 6507-1:2018-05: *Metale – Pomiar twardości sposobem Vickersa – Część 1: Metoda badań*.

3. WYMAGANIA TECHNICZNE STAWIANE ŁAŃCUCHOM O KRÓTKICH OGNIWACH

Firma Retezarna a.s. w swojej ofercie ma standardowe rozmiary łańcuchów, które zostały przedstawione w tabeli 1. Ponadto mogą być produkowane łańcuchy w rozmiarach na specjalne zamówienie klienta [5].

Łańcuchy ogniowe wykonane są ze stali o wytrzymałości na rozrywanie odpowiedniej dla danej klasy łańcucha. Składają się one z ogniw zgrzewanych w ogniu lub elektrycznie.

Łańcuchy spawane do wciągników i wciągarek łańcuchowych klasy T (w wykonaniu T, DAT, DT) muszą charakteryzować się wysoką jakością, doskonałymi walorami użytkowymi i długą żywotnością. Aby to spełnić, muszą być wykonywane z największą starannością, tak aby zapewnić bezpieczeństwo podczas ich użytkowania.

Parametrami determinującymi jakość i bezpieczeństwo użytkowania łańcuchów są m.in. właściwości mechaniczne i obciążenia. Do produkcji łańcuchów przeznaczonych do wciągarek/ wciągników wykorzystywana jest stal o właściwościach mechanicznych zgodnych z normą PN-EN 10025 [7–9], aby finalny produkt spełniał wszystkie wymagania

określane przez rygorystyczne standardy europejskie zgodnie z normami PN-EN 818-7 oraz PN-G-46732. Norma europejska EN8-18-7 + A1:2008 obowiązująca również na terenie Polski stawia jasno określone wymagania co do rodzaju stali, z jakiej ma być wykonany łańcuch, w jakim procesie powinna być wypro-

dukowana stal oraz jaki powinna mieć skład chemiczny. W tabelach 2 i 3 zaprezentowano wymagania stawiane zawartości pierwiastków w stali. W celu zabezpieczenia łańcucha przed starzeniem w czasie jego użytkowania stal powinna zawierać co najmniej 0,025% aluminium (Al).

Tabela 1
Standardowe rozmiary łańcuchów firmy Retezarna a.s. [5]

Wielkość łańcucha $d \times p$	d		p	a nie mniej niż	b nie więcej niż	Masa 1 m łańcucha	Długość nominalna $L = 11 \times p$	Tolerancja	Maks. średnica spoiny
	[mm]					[kg]	[mm]		
4 × 12	4	±0,2	12	4,8	13,6	0,35	132	0,6	4,3
5 × 15	5	±0,2	15	6,0	17,0	0,54	165	0,8	5,4
6 × 18	6	±0,2	18	7,2	20,4	0,8	198	1,0	6,5
7 × 21	7	±0,3	21	8,4	23,8	1,1	231	1,1	7,6
8 × 24	8	±0,4	24	9,6	27,2	1,4	264	1,3	8,6
9 × 27	9	±0,4	27	10,8	30,6	1,8	297	1,4	9,7
10 × 30	10	±0,4	30	12,0	34,0	2,2	330	1,6	10,8
11 × 31	11	±0,4	31	13,2	37,4	2,7	363	1,7	11,9
12 × 36	12	±0,5	36	14,4	47,6	3,1	396	1,9	13,0
13 × 39	13	±0,5	39	15,6	44,2	3,7	429	2,1	14,0
14 × 42	14	±0,6	42	16,8	47,6	4,3	462	2,2	15,1
16 × 45	16	±0,6	45	19,2	54,4	5,6	528	2,5	17,3
18 × 54	18	±0,9	54	21,6	61,2	7,0	594	2,9	19,4
20 × 60	20	±1,0	60	24,0	68,0	8,7	660	3,2	21,6
22 × 66	22	±1,1	66	26,4	74,8	10,5	726	3,5	23,8

Tabela 2
Skład chemiczny stali do produkcji łańcuchów do dźwignic – pierwiastki stopowe [7]

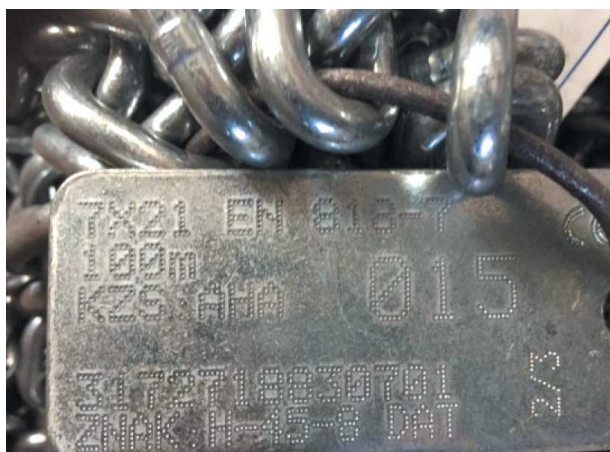
Pierwiastek	Minimalny masowy udział określony w analizie wytopu:		
	typu T [%]	typu DAT [%]	typu DT [%]
Nikiel (Ni)	0,40	0,7	0,9*
Chrom (Cr)	0,40	0,40	0,4
Molibden (Mo)	0,15	0,15	0,15

* Większa twardość powierzchni i/lub większa głębokość hartowania wymagają większej zawartości niklu, aby uniknąć kruchości

Tabela 3
Zawartość siarki i fosforu w stali do produkcji łańcuchów do dźwignic [7]

Pierwiastek	Największy masowy udział określony w:	
	analizie wytopu [%]	analizie kontrolnej [%]
Siarka (Si)	0,020	0,025
Fosfor (P)	0,020	0,025
Suma siarki i fosforu	0,035	0,045

Normy wymagają także od producenta poddania łańcucha procesowi kalibracji. Istotnym elementem wpływającym na bezpieczeństwo użytkownika łańcucha jest jakość jego wykonania ze szczególnym uwzględnieniem odchylek od wymiarów, które zostały zawarte w tabeli 1. Ponadto norma PN-EN 818-7 wymaga od producenta stosowania złożonego programu badań jakości wyrobu w celu zapewnienia bezpieczeństwa podczas eksploatacji łańcucha. Szczególny nacisk położony jest na zastosowanie odpowiednich gatunków stali jako materiałów, z których wykonane są elementy łańcucha krótkiego w klasie T. Każda dostawa do klienta musi być oznaczona znakiem producenta, grubością łańcucha, numerem serii produkcyjnej, długością łańcucha oraz liczbą sztuk w serii. Na końcach łańcucha co metr umieszcza się cechę zawierającą: znak producenta, rok produkcji, liczbę oznaczającą miesiąc produkcji i klasę łańcucha (T, DAT lub DT – dla normy 818-7); 5,6 lub 8 dla normy PN-G-46732 – rysunek 4.



Rys. 4. Cecha umieszczana na końcach łańcucha po każdym metrze

Produkowane łańcuchy w Retezarni a.s. spełniają wymagania stawiane w normach wybranym produktom. Łańcuchy produkcji Retezarna a.s, dla podkreślenia wysokiej jakości i bezpieczeństwa stosowania posiadają znak H45 (identyfikator producenta) nadany przez jednostkę certyfikującą DGUV Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung gwarantujący zgodność produktu z normą PN-EN 818-7 [2, 10]. Na rysunku 5 pokazano wybity znak jakości na ogniwie łańcucha.

Obserwacja rynku dostawców łańcuchów do różnego rodzaju wciągarek i wciągarek pozwala na wyrażenie opinii, iż nie wszyscy dostawcy spełniają wymagania dyrektywy unijnej. Między innymi z dokumentu „deklaracja zgodności” wynika rozbieżność

między jakościowymi parametrami łańcucha a wymaganiami zawartymi w dyrektywie. Ma to szczególne znaczenie dla łańcuchów o wysokiej wytrzymałości, np. DAT. Najczęstszą nieprawidłowością jest zastosowanie nieodpowiedniej stali, np. stali manganowej, bądź też nieodpowiednich proporcji pierwiastków NI, Cr, Mo oraz braku bądź zbyt małej zawartości pierwiastka Al. Autorzy artykułu zachęcają, aby klienci zwracali szczególną uwagę na to zagadnienie przy wyborze producenta łańcuchów, ponieważ ma to bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo użytkownika łańcucha.



Rys. 5. Cecha umieszczana na końcach łańcucha po każdym metrze

4. PODSUMOWANIE

Rozwój systemów mechanizacyjnych w różnych gałęziach przemysłu, w tym także w górnictwie, wymaga stosowania urządzeń pomocniczych, wspomagających prowadzenie prac montażowych, serwisowych czy transportowych. Przemieszczanie coraz większych mas wymaga stosowania urządzeń o coraz lepszych parametrach technicznych. Jednymi z takich urządzeń należących do tak zwanej „małej mechanizacji” są wciągarki i wciągarki łańcuchowe [11]. Poza parametrami technicznymi i konstrukcyjnymi tych urządzeń na pracę i bezpieczeństwo wpływa łańcuch, za pomocą którego są przemieszczane towary. Dlatego też z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy jakość zastosowanego łańcucha ma bardzo duże znaczenie.

W artykule zasygnalizowano tylko podstawowe elementy i determinanty, które wpływają na jakość łańcucha. Z tej analizy jednoznacznie wynika, że przy wyborze łańcuchów należy zwrócić uwagę na to, czy produkt posiada certyfikat z oznaczeniem κ , który jest prestiżowym certyfikatem zapewniającym o spełnianiu przez producenta wymagań norm europejskich. Należy także weryfikować właściwości mechaniczne materiału, z którego zrobione są łańcuchy, oraz powinno się zwracać uwagę na jakość ich wykonania. Do każdego łańcucha do wciągników i wciągarek klient powinien otrzymać dokumenty, takie jak: deklaracja zgodności, instrukcja użytkowania, certyfikat kontroli. Certyfikat materiałowy nie jest wymagany, ale na życzenie klienta producent łańcucha powinien go udostępnić. Ponadto potwierdzeniem jakości zastosowanego materiału oraz wykonania łańcucha jest atest producenta, który jest dostarczany wraz z wyrobem.

Podziękowania

Artykuł został sfinansowany ze środków pracy statutowej 13/030/BK_18/0039 realizowanej w Instytucie Inżynierii Produkcji na Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej.

Literatura

- [1] <https://www.ciop.pl>.
- [2] Midor K.: *Significance of the quality of short – link chains for work environment*, w: Ulewicz R., Hadzima B. (red.), *12th International Conference Quality Production Improvement 2018 – QPI18. Book Series: MATEC Web of Conferences 17 Ave du Hoggar Parc d'activites Coutaboeuf BP 112, F-91944 Cedex a, France: EDP Sciences*, 2018.

- [3] Piątkiewicz A., Sobolski R.: *Dźwignice*, t. 2, WNT, Warszawa 1977.
- [4] www.snoork.pl.
- [5] PPUH „Anima” Krzysztof Śleziak: *Warunki techniczne wykonania i odbioru*, nr ANW-17.06/WT.
- [6] Cebula D., Kalita M.: *Proces projektowania wciągników łańcuchowych*, „Maszyny Górnicze” 2014, 1: 22–28.
- [7] PN-EN 818-7:2002+A1:2008: *Bezpieczeństwo – Łańcuch o ogniwach krótkich do podnoszenia ładunków – Część 7: Dokładny łańcuch dźwigni – Klasa T (Typy T, DAT i DT)*.
- [8] PN-G-46732:1997: *Wciągniki górnicze łańcuchowe – Łańcuchy krótkoogniowe kalibrowane*.
- [9] PN-EN 10025:2002: *Wyroby walcowane na gorąco z niestopowych stali konstrukcyjnych – Warunki techniczne dostawy*.
- [10] Midor K., Biały W.: *Łańcuch krótkoogniowy – determinanty wpływające na bezpieczeństwo pracy*, „Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji” 2018, 7, 1: 497–505.
- [11] Kalita M.: *Wciągarka łańcuchowa układaka przewodów kompleksu MIKRUS*, „Maszyny Górnicze” 2013, 3: 21–25.

dr inż. KATARZYNA MIDOR

dr hab. inż. WITOLD BIAŁY, prof. PŚ

Wydział Organizacji i Zarządzania

Politechnika Śląska

ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze

{katarzyna.midor, witold.bialy}@polsl.pl

dr inż. JURAJ RUŽBARSKÝ

Technical University of Košice

Bayerova 1, 08001 Preszew,

Słowacja

juraj.ruzbarsky@tuke.sk

