

4 (552) 2022

Mining

**INFORMATICS AUTOMATION
AND ELECTRICAL ENGINEERING**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

INFORMATICS
INFORMATYKA

ELECTRICAL ENGINEERING
ELEKTRONIKA

AUTOMATION
AUTOMATYKA

CZASOPISMO NAUKOWO-TECHNICZNE

Mining – Informatics Automation and Electrical Engineering



Mining

**INFORMATICS AUTOMATION
AND ELECTRICAL ENGINEERING**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

NO. 4 (552) 2022

AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING
TECHNICAL IT AND TELECOMMUNICATIONS
ENVIROMENTAL ENGINEERING, MINING AND ENERGY TECHNOLOGY
MATERIALS ENGINEERING
QUALITY MENAGEMENT

AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA I ELEKTROTECHNIKA
INŻYNIERIA MECHANICZNA
INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA
INŻYNIERIA ŚRODOWISKA, GÓRNICCTWO I ENERGETYKA
INŻYNIERIA MATERIAŁOWA
NAUKI O ZARZĄDZANIU I JAKOŚCI



WYDAWNICTWA AGH
KRAKÓW 2022

ISSN 2450-7326
e-ISSN 2449-6421

MINING – INFORMATICS, AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING
Published since 1962

DOI: <https://doi.org/10.7494/miag>

Chairman of the Scientific Board/ Przewodniczący Rady Naukowej:
Grzegorz Cieplok, AGH University of Krakow (Poland)

Secretary of the Scientific Board/ Sekretarz Rady Naukowej:
Krzysztof Kotwica, AGH University of Krakow (Poland)

Members of the Scientific Board/ Członkowie Rady Naukowej:
Dariusz 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)
Arkadiusz Mężyk, Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)
Josph Molnar, University of Miskolc, Miskolc (Hungary)
Jacek Paraszcak, Laval University, Quebec (Canada)
Sorin Mihai Radu, University of Petrosani, Petrosani (Romania)
Liubomyr Romanyshyn, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk Ukraine)
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)
Nenad Zrnić, University of Belgrade, Belgrade (Serbia)

Editorial staff/ Redakcja czasopisma:

Editor in Chief/ Redaktor naczelny – *Krzysztof Krauze*
Deputy Editor in Chief/ Zastępca redaktora naczelnego – *Jacek Korski*
Managing Editor/ Kierownik redakcji – *Kamil Mucha*
Manuscript Editor/ Redaktor techniczny – *Tomasz Wydro*
Web Editor/ Redaktor strony internetowej – *Marcin Nawrocki*

Associate editors/ Redaktorzy tematyczni:

Jarosław Joostberens (automation and robotics/ automatyka i robotyka)
Tomasz Siostrzonek (electrical engineering/ elektronika i energotechnika)
Tomasz Machniewicz (mechanical engineering/ inżynieria mechaniczna)
Ryszard Klempka (technical IT/ informatyka techniczna)
Antoni Wojacek (telecommunications/ telekomunikacja)
Waldemar Korzeniowski (environmental engineering, mining and energy technology/ inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka)
Kazimierz Drozd (materials engineering/ inżynieria materiałowa)
Patrycja Hąbek (quality management/ nauki o zarządzaniu i jakości)

PUBLISHER

Linguistic Corrector/ Korekta językowa: *Aedden Shaw* (English/ język angielski), *Kamila Zimnicka* (Polish/ język polski)

Desktop Publishing/ Skład komputerowy: Andre

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

© Wydawnictwa AGH, Kraków 2022, Creative Commons CC-BY 4.0 License

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

The electronic version of the journal is the primary one.
Number of copies: 50

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

Table of Contents

Tomasz Budniok, Bernard Krakowczyk, Andrzej Tor, Wojciech Zasadni, Leszek Żyrek

Modern means of underground transport – technical and economic effects and benefits to the working environment resulting from the operation of VOLTER monorail battery-powered locomotives	7
Nowoczesne środki transportu dołowego – efekty techniczne i ekonomiczne oraz korzyści dla środowiska pracy wynikające z eksploatacji podwieszonych ciągników akumulatorowych typu VOLTER	14

Grzegorz Wąs, Adam Kluska, Marek Sobolowski, Marcin Garbacz, Marcin Pałka, Marek Wojtas

Underground Water Monitoring and Visualisation System at the Piast-Ziemowit Hard Coal Mine, Ziemowit Operation	21
System monitoringu i wizualizacji wód dołowych w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit	32

Grzegorz Wojdyło

Betek modern tool systems	43
Nowoczesne systemy narzędziowe Betek	48

ABSTRACTS

TOMASZ BUDNIOK
BERNARD KRAKOWCZYK
ANDRZEJ TOR
WOJCIECH ZASADNI
LESZEK ŻYREK

MODERN MEANS OF UNDERGROUND TRANSPORT – TECHNICAL AND ECONOMIC EFFECTS AND BENEFITS TO THE WORKING ENVIRONMENT RESULTING FROM THE OPERATION OF VOLTER MONORAIL BATTERY-POWERED LOCOMOTIVES

Battery-powered means of transport are increasingly being used in underground mining. The article describes a suspended VOLTER battery-powered locomotive designed for the transport of equipment, materials and people. The technical and economic effects related to the operation of this innovative solution in comparison with diesel locomotives, including energy (fuel) costs and maintenance time, are presented. The article also describes the benefits to the working environment connected with the use of battery locomotives resulting from the lack of exhaust emissions and a significant reduction in noise and heat generation, which improves the climatic conditions in comparison with diesel locomotives.

GRZEGORZ WĄS
ADAM KLUSKA
MAREK SOBOŁOWSKI
MARCIN GARBACZ
MARCIN PAŁKA
MAREK WOJTAS

UNDERGROUND WATER MONITORING AND VISUALISATION SYSTEM AT THE PIAST-ZIEMOWIT HARD COAL MINE, ZIEMOWIT OPERATION

The paper presents a monitoring system for the pipeline network at Piast-Ziemowit Hard Coal Mine, Ziemowit Operation, which was implemented in February 2023. The system covers monitoring of both fire system pipelines and pipelines of the dewatering and drinking water systems. The Ziemowit Operation is self-sufficient in terms of water consumption both for technological and domestic purposes. Precise monitoring of pipelines allows to maintain installation parameters at a level sufficient for technological and mine fire safety purposes. The system also allows for the detection of emergency conditions, monitoring of water levels in storage reservoirs, while in terms of hydrogeology it is used for water balancing. Flowmeters installed at the pumps allow the actual measurement of pump performance, determine their efficiency, and thus allow diagnostics to anticipate future failures and take preventive measures. Visualisation of the performance of the system is available from a web browser and enables convenient and intuitive configuration to suit the user's current needs related to making changes to the system. The visualisation application has extensive functionality for current viewing and analysis of historical events and diagnostics of emergency conditions.

GRZEGORZ WOJDYŁO

BETEK MODERN TOOL SYSTEMS

During the transformation period, in order to secure sufficient amounts of energy and to ensure that energy systems remain stable,

STRESZCZENIA

TOMASZ BUDNIOK
BERNARD KRAKOWCZYK
ANDRZEJ TOR
WOJCIECH ZASADNI
LESZEK ŻYREK

NOWOCZESNE ŚRODKI TRANSPORTU DOŁOWEGO – EFEKTY TECHNICZNE I EKONOMICZNE ORAZ KORZYŚCI DLA ŚRODOWISKA PRACY WYNIKAJĄCE Z EKSPLOATACJI PODWIESZONYCH CIĄGNIKÓW AKUMULATOROWYCH TYPU VOLTER

Środki transportu z napędem akumulatorowym znajdują coraz większe zastosowanie w górnictwie podziemnym. W artykule scharakteryzowano podwieszony ciągnik akumulatorowy typu VOLTER, który jest przeznaczony do transportu urządzeń, materiałów oraz do przewozu ludzi. Przedstawiono efekty techniczne i ekonomiczne eksploatacji tego innowacyjnego rozwiązania w porównaniu z ciągnikami spalinowymi, między innymi pod względem kosztów energii (paliwa) i czasu czynności konserwacyjnych. W artykule opisano również korzyści dla środowiska pracy związane ze stosowaniem ciągników akumulatorowych, wynikające z braku emisji spalin i istotnego zmniejszenia generowanego hałasu i ciepła, co wpływa na poprawę warunków klimatycznych w porównaniu z ciągnikami spalinowymi.

GRZEGORZ WĄS
ADAM KLUSKA
MAREK SOBOŁOWSKI
MARCIN GARBACZ
MARCIN PAŁKA
MAREK WOJTAS

SYSTEM MONITORINGU I WIZUALIZACJI WÓD DOŁOWYCH W KWK PIAST-ZIEMOWIT RUCH ZIEMOWIT

W artykule przedstawiono system monitorowania sieci rurociągów w kopalni Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit, który został wdrożony w lutym 2023 r. System obejmuje monitoring rurociągów systemów: przeciwpożarowego, odwadniania oraz wody pitnej. Ruch Ziemowit jest samowystarczalny w zakresie zużycia wody zarówno do celów technologicznych, jak i bytowych. Precyzyjny monitoring rurociągów pozwala na zapewnienie parametrów instalacji dla celów technologicznych i bezpieczeństwa pożarowego kopalni. System pozwala również na wykrywanie stanów awaryjnych, monitoring poziomu wody w zbiornikach wyrównawczych, a pod względem hydrogeologicznym stosowany jest do bilansowania wód. Przepływomierze zainstalowane przy pompach pozwalają na faktyczny pomiar ich wydajności, określenie ich sprawności, a tym samym pozwalają na diagnostykę wyprzedzającą przyszłe awarie oraz podjęcie działań zapobiegawczych. Wizualizacja pracy systemu dostępna jest z poziomu przeglądarki internetowej i pozwala na wygodną oraz intuicyjną konfigurację pod bieżące potrzeby użytkownika związane z wprowadzaniem zmian w instalacji. Aplikacja wizualizacyjna posiada rozbudowaną funkcjonalność do podglądu bieżącego i analizy zdarzeń historycznych oraz diagnostyki stanów awaryjnych.

GRZEGORZ WOJDYŁO

NOWOCZESNE SYSTEMY NARZĘDZIOWE BETEK

W okresie transformacji do zapewnienia odpowiedniej ilości energii i stabilności systemów energetycznych nadal będzie istnieć

it will still be necessary to produce energy based on raw materials such as coal, natural gas, and oil derivatives. Hence, mining techniques are being developed to increase productivity and improve safety by eliminating workstations that pose a risk to human health and life. This is ensured by fully automated mining systems. However, even the best-designed system is only as strong as its weakest link. In most mining machines, the cutting tool that has the most impact on performance are the tangential rotary bits (picks). Fully automated mining machine systems only make sense if the working units are designed with high-quality materials used in the production of bit holders, bit sleeves, and the bits themselves. This is something that Euro-Tech Plus Sp. z o.o. has been working on together with Betek for years.

konieczność produkcji energii z wykorzystaniem takich surowców, jak węgiel, gaz ziemny i pochodne ropy naftowej. W związku z tym następuje rozwój technik wydobywczych, mających na celu zwiększenie wydajności i podniesienie bezpieczeństwa przez likwidację stanowisk pracy stwarzających zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego. Zapewniają to w pełni zautomatyzowane systemy wydobywcze. Jednak każdy choćby najlepiej zaprojektowany system jest tak mocny jak jego najsłabsze ogniwo. W większości maszyn urabiających narzędziem skrawającym mającym wpływ na wydajność są noże stycznie-obrotowe. W pełni zautomatyzowane systemy maszyn urabiających mają sens tylko wtedy, gdy w konstrukcji organów urabiających zostaną zastosowane wysokiej jakości materiały użyte do produkcji osad, tulei nożowych, a także samych noży. Jest to temat, nad którym firma Euro-Tech Plus Sp. z o.o. wspólnie z firmą Betek pracuje od lat.

TOMASZ BUDNIOK
BERNARD KRAKOWCZYK
ANDRZEJ TOR
WOJCIECH ZASADNI
LESZEK ŻYREK

Modern means of underground transport – technical and economic effects and benefits to the working environment resulting from the operation of VOLTER monorail battery-powered locomotives

Battery-powered means of transport are increasingly being used in underground mining. The article describes a suspended VOLTER battery-powered locomotive designed for the transport of equipment, materials and people. The technical and economic effects related to the operation of this innovative solution in comparison with diesel locomotives, including energy (fuel) costs and maintenance time, are presented. The article also describes the benefits to the working environment connected with the use of battery locomotives resulting from the lack of exhaust emissions and a significant reduction in noise and heat generation, which improves the climatic conditions in comparison with diesel locomotives.

Key words: *suspended transport, battery locomotive, energy costs, operating costs, working environment, climatic conditions*

1. INTRODUCTION

Manufacturers of mining equipment are increasingly developing and implementing machines with battery drives. Locomotives, suspended locomotives, haulage and transport vehicles, and other machines are testament to the development of underground electromobility. The new generation of batteries with lithium cells improves technical and economic effects as well as environmental benefits of electric drives compared to diesel ones.

In particular, battery-powered transport systems are increasingly being used in underground mining. They are a response to the challenges related to:

- extension of transport and access routes for personnel,
- increase in the power of installed machines and devices,

- increasingly stricter requirements for the working environment,
- the need to minimise carbon footprint and greenhouse gas emissions,
- the need to optimize production costs.

The flagship product of Becker-Warkop Sp. z o. o. in this area is the VOLTER monorail battery locomotive [1].

2. DESCRIPTION OF THE VOLTER BATTERY-POWERED LOCOMOTIVE

The VOLTER battery locomotive with a friction drive is used to transport people, materials, and equipment during transport works, e.g. installation

and salvage of longwall equipment. The locomotive in a configuration without operator's cabins is only used for transporting loads.

The VOLTER/X/Y (where: X-number of drives, Y-number of operator's cabins) battery locomotive is intended for operation in underground mining excavations in non-methane and methane fields, in the

excavations included in 'a', 'b' or 'c' degree of methane explosion hazard and in the excavations included in 'A' or 'B' class of coal dust explosion hazard.

Figure 1 shows the basic construction of the VOLTER locomotive with operator's cabins. The locomotive can also be operated without cabins as a manoeuvring locomotive (Fig. 2).



Fig. 1. Basic configuration of VOLTER/4/2 locomotive

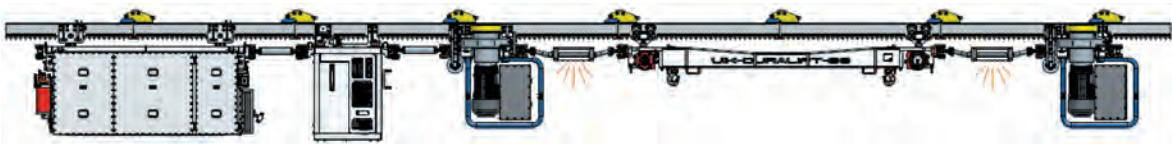


Fig. 2. VOLTER/2/0 manoeuvring locomotive equipped with a transport beam and mobile lighting of material stations

2.1. Drive and braking system

Each drive unit is equipped with two electric drives (a motor with an inverter), a gear and friction drive wheels. The drive is transmitted by frictional coupling of the drive wheels with the rail. The drive wheels are pressed by a hydraulic cylinder, which presses the rocker arm towards the axis of the track through a lever. The gear connected to the electric drive and the friction drive wheel is fixed in the rocker arm. Figure 3 shows a single electric drive of BWNE type.



Fig. 3. BWNE electric drive

The braking system is used as a parking and emergency brake. Brakes are released after applying pressure to the brake release actuator, which moves the brake shoes away from the rail. The auxiliary unit includes an electric drive (inverter motor), which drives the hydraulic pump supplying the locomotive hydraulic controls.

2.2. Control

The operation of the locomotive is controlled by the BWKS control box (in the manoeuvring version) or the control station in the operator's cabin.

Optionally, the battery locomotive can be additionally equipped with a wireless control and radio communication system as well as mobile lighting for passenger stations and material stations.

2.3. Battery unit

A VOLTER battery unit is an explosion-proof device in a flame-proof enclosure. A VOLTER lithium battery is used to power the locomotive drives.

The battery unit includes systems intended for monitoring, protection, supervision and control of individual locomotive devices. The battery compartment is equipped with lithium cells grouped in 20 boxes. Each box contains 8 cells, which are monitored in terms of voltage and temperature by individual control modules. The control modules communicate with the supervisory part located in the apparatus box and are also responsible for the cell charging process and for sending operating parameters to the control system.

The advantage of the VOLTER battery is the charger integrated with it (installed in a special com-

partment of the battery enclosure), to charge the cells directly from the mine power grid with a three-phase voltage of 500 V or 1000 V. The mine grid is connected through a quick connector installed in the flame-proof enclosure which significantly speeds up the connection/disconnection process. The charging time is up to 4 hours. The drive system of the VOLTER locomotive enables operation with energy recuperation, i.e. energy recovery back to the battery when travelling on a decline or when braking [1].

Table 1 shows the basic technical parameters of the VOLTER battery locomotive [1].

Table 1

Basic technical parameters of the VOLTER battery locomotive

Parameter	Value
Pulling force	max. 25 kN (for single friction drive) max. 100 kN (for four friction drives)
Maximum speed	2.0 m/s
Min. horizontal turning radius	4 m
Min. vertical turning radius	8 m
Max. inclination of travelling track	$\pm 30^\circ$
Admissible profiles of travelling track rails	I155(I140E), I140V95, I250 types or other compatible of approved type
Rated charging voltage (directly from the mains)	500 V, 1000 V
Battery type (VOLTER)	lithium
Battery energy	143.5 kWh
Power of one drive motor	11 kW
Locomotive power with 4 friction drives (two motors)	88 kW
Static braking force	min. 1.5 x pulling force
Locomotive dimensions with 4 drives (height x width x length)	1,275 x 800 x 15,340 mm
Locomotive kerb weight – version with cabins and 4 drives	11,310 kg (4 friction drives)

3. TECHNICAL AND ECONOMIC EFFECTS RESULTING FROM THE OPERATION OF VOLTER BATTERY-POWERED LOCOMOTIVES

To illustrate the benefits of operating VOLTER battery locomotives, the operating costs and maintenance time of a battery locomotive were compared with those of a diesel locomotive. The analysis was based on locomotive operation data from the Budryk

and the Szczygłowie mines. The analysis results are presented in Tables 2 and 3 and in Figure 4.

The above data show that:

- electricity/fuel cost per 1 km is 20.21 PLN higher for a diesel locomotive,
- annual operating cost of a diesel locomotive (in the cost groups analysed) exceeds the cost of a battery locomotive six times,
- annual maintenance time is 308 man-hours shorter for a battery locomotive.

Table 2

Comparison of energy (fuel) costs of a VOLTER battery locomotive with a diesel locomotive

	Diesel locomotive	Battery locomotive	Comparison
Average fuel/energy consumption per 1 km	3.75 l	4.9 kWh (Szczygłowie) 5.63 kWh (Budryk)	–
Fuel/energy cost per 1 km	$3.75 \text{ l} \times 6.38 \text{ PLN} = 23.93 \text{ PLN}$	$4.9 \text{ kWh} \times 0.66 \text{ PLN} = 3.23 \text{ PLN}$ $5.63 \text{ kWh} \times 0.66 \text{ PLN} = 3.72 \text{ PLN}$	20.70 PLN (Szczygłowie) 20.21 PLN (Budryk)

Table 3

Comparison of selected annual operating costs of a VOLTER suspended battery locomotive with a diesel locomotive

Parameter	Diesel locomotive	Battery locomotive
Fuel/energy per month (calculation based on 415 km/month)	$415 \text{ km} \times 3.75 \text{ l} \times 6.38 \text{ PLN/l} = 9,928.88 \text{ PLN}$	$415 \text{ km} \times 5.62 \text{ kWh} \times 0.66 \text{ PLN} = 1,539.32 \text{ PLN}$
Fuel/energy per year (calculation based on 4,980 km/year)	$12 \times 9,928.88 \text{ PLN} = 119,146.50 \text{ PLN}$ There are also additional costs related to transport of fuel from the surface and its distribution in underground mines	$12 \times 1,539.32 \text{ PLN} = 18,471.82 \text{ PLN}$ Can be charged anywhere underground the mine
Filters and other parts	Air, fuel, hydraulic and engine oil filters, injectors, V-belts: 9,510.66 PLN	Hydraulic system filter: 873,00 PLN
Oils	Hydraulic and engine oil: 2,474.90 PLN	Hydraulic and transmission oil: 1,994.14 PLN
Other consumables	Coolant and extinguishing charge: 2,923.70 PLN	None
Total annual costs	134,055.76 PLN	21,338.96 PLN

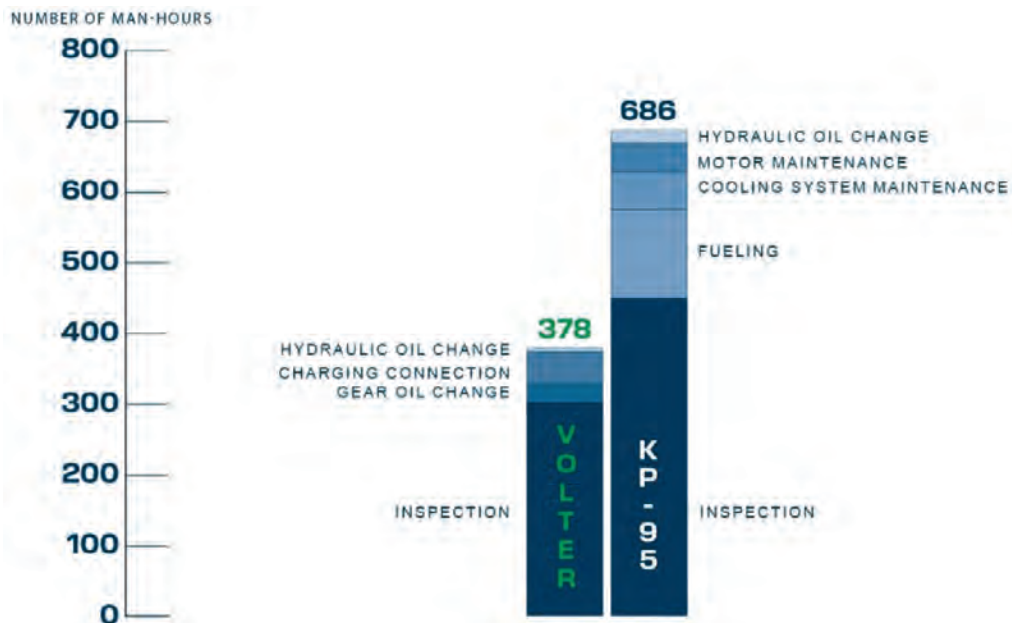


Fig. 4. Comparison of time necessary for maintenance of a battery locomotive and a diesel locomotive per year

4. BENEFITS TO THE WORKING ENVIRONMENT RESULTING FROM THE OPERATION OF BATTERY-POWERED LOCOMOTIVES

The use of battery-powered machines brings the following benefits to the working environment:

- Elimination of exhaust gases, which results in a smaller amount of air required to dilute them. It is assumed that when using machines with diesel engines, 0.06 to 0.08 m³/s of air flow per 1 kW of installed power is required to dilute exhaust gases (according to The Southern African Institute of Mining and Metallurgy).
- Less noise and vibration improves work comfort of the locomotive operators and the transported personnel.
- Operation of locomotives does not interfere with the operation of fire safety systems (CO sensors).
- Reduction of heat emission in comparison with diesel locomotives has a significant impact on the improvement of climatic conditions in the excavations. This issue is presented in more detail further in the article.

4.1. Influence of diesel machines on climatic conditions in excavations

In internal combustion engines, the process of internal fuel combustion takes place and the power transferred to the drive is equal to the calorific value of fuel, several times greater than the effective power of the engine. Diesel machines transfer about three times more heat to the environment than machines powered by electric motors of the same effective power [2].

The calorific value of diesel oil, which is the fuel in diesel engines of underground machines, is 45.6 MJ/kg. Fuel consumption in locomotive diesel engines is approx. 0.229 kg per hour of operation and per 1 kW of engine power. Therefore, according to the calculation below, 2.9 kW of power resulting from the chemical energy of the fuel is consumed per 1 kW of engine power.

$$\frac{0,229 \cdot 45,6 \cdot 1000}{3600} =$$

$$= 2,9 \text{ kW paliwo/1 kW silnik} \quad (1)$$

About 1/3 of the energy calculated above is converted into effective work of the machine, and 2/3 of

the calculated energy is converted into heat. About 1/3 of the heat is emitted from the hot engine, 1/3 from the exhaust gases. The heat generated as a result of combustion is transferred to the air in a sensible form (increase in temperature) and in a latent form (increase in humidity). As a result of the combustion of 1 litre of diesel oil, approximately 1.1 litres of water vapour is released. It can be assumed that 10–25% of the emitted heat results in an increase in temperature, and 75–90% results in an increase in air humidity [2]. The increase in temperature and humidity is calculated according to the formulas below.

$$\Delta t = \frac{(0.1-0.25) \cdot \Delta Q}{V \cdot \rho \cdot c_p} \quad (2)$$

$$\Delta X = \frac{(0.75-0.90) \cdot \Delta Q}{V \cdot \rho \cdot r_w} \quad (3)$$

where:

Δt – increase in air temperature [°C],

ΔX – increase in air humidity [g/kg] of dry air,

ΔQ – energy stream converted into heat in a machine powered by a diesel engine [kW],

V – volumetric flow rate of air in excavation [m³/s],

ρ – air density [kg/m³],

c_p – air specific heat [kJ/kg · K] $c_p = 1,005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$,

r_w – heat of water vaporization at temperature t [kJ/g] $r_w = (2502.5 - t \cdot 2,386) \cdot 10^{-3} \text{ kJ/g}$.

High efficiency of electric drives means that they emit much less heat to the excavation in comparison to diesel railways. The comparative analysis of heat increase for 1 km of a heading driven (Fig. 5), in which 28°C is stable along its entire length without the operation of the railway, showed that the temperature increase at the exit of the excavation related to the operation of a diesel railway was 1.5°C. In the case of an electric railway, it is about 0.1°C, while the increase in air humidity is 4.6 g/kg and 0.5 g/kg, respectively [3].

The calculations take into account the continuous operation of the railway in an excavation. It was assumed that 20% of the heat generated by the machine is transferred to the air in a sensible form, and 80% in a latent form. It was additionally assumed that the heat generated during the operation of the railway is

not taken out of the excavation together with the excavated material, i.e. the maximum possible heat gain in the excavation was taken into account. The total heat gain (sensible and latent) in the analysed heading was 181.0 kW and 18.5 kW, respectively, for the diesel and electric railway [3]. In order to neutralize the heat gain (sensible and latent) when using a diesel railway, a cooling power of over 180 kW is needed.

One of the unquestioned advantages of electric railways is the lack of water vapour emission, which increases air humidity.

If it is necessary to use air cooling in excavations, its humidity is of key importance. If it is high, a greater part of the cooling capacity of the air-conditioning system coolers is spent on lowering air humidity (air drying) than on lowering the temperature.

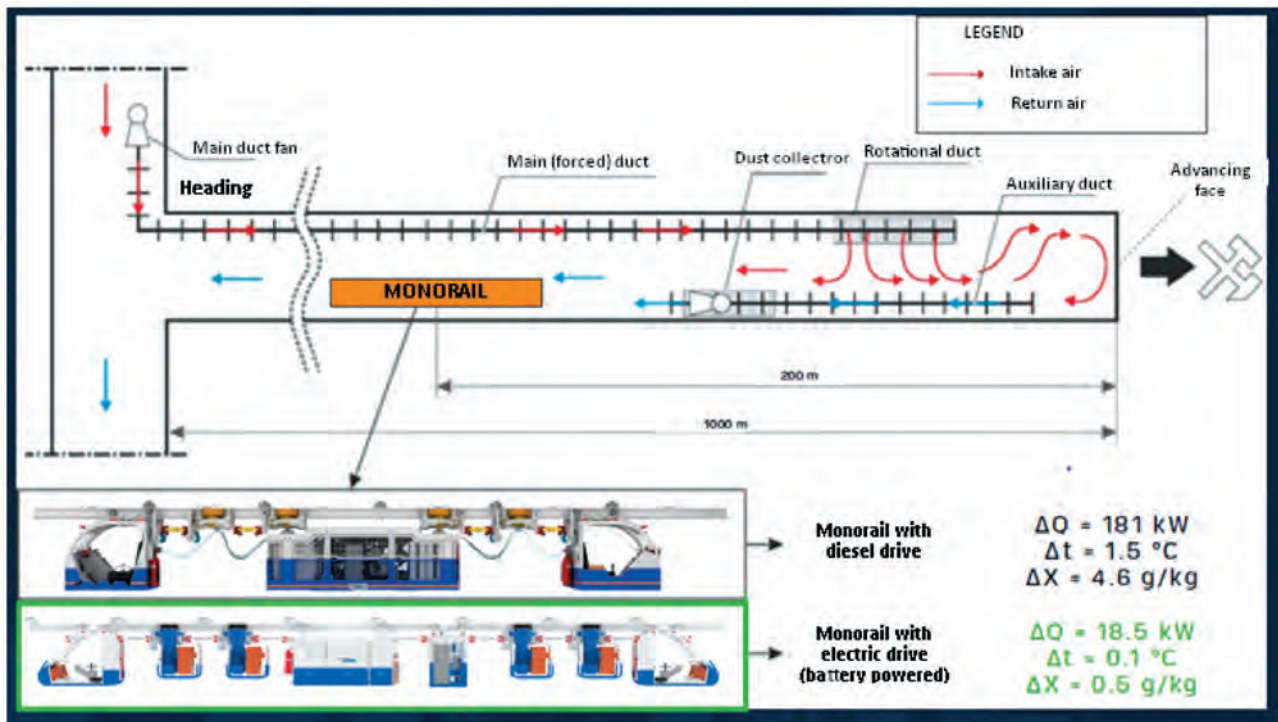


Fig. 5. Comparison of the impact of diesel locomotives and battery locomotives on climatic conditions in excavations

5. SUMMARY

The use of suspended VOLTER battery-powered locomotives brings the following technical and economic effects as well as benefits to the working environment in comparison with diesel locomotives:

- no exhaust emissions,
- low heat emission,
- quieter operation of the drive compared to a diesel drive,
- operation of locomotives does not interfere with the operation of fire safety systems (CO sensors),
- expensive logistics and diesel fuelling infrastructure is not required in the mine,
- lower operating costs,
- shorter time of necessary maintenance,
- possibility of charging the battery in excavations where electrical devices can operate in an explosion-proof enclosure,
- possibility of charging directly from the mine power grid with a three-phase voltage of 500 V or 1000 V,
- energy recovery when driving on a decline and when braking,
- monitoring of operating parameters and protections,
- remote control and data transmission,
- optional radio control.

Battery-powered suspended locomotives, due to their advantages, will gradually replace diesel locomotives in the coming years.

References

- [1] Operating Manual – Operation and Maintenance Manual of VOLTER battery-powered locomotive [unpublished].
- [2] Waclawik J.: *Wentylacja kopalń*, t. 2. Wydawnictwa AGH, Kraków 2010: 80–84.
- [3] Szlązak N., Korzec M.: *Stosowanie kolejek podwieszonych o napędzie akumulatorowym w podziemnych kopalniach węgla kamiennego w aspekcie poprawy warunków pracy w wyrobiskach*. 11. Szkoła Aerologii Górniczej, Materiały Konferencyjne, Białka Tatrzańska, March 2022.

TOMASZ BUDNIOK, M.Sc, Eng.
BERNARD KRAKOWCZYK, M.Sc, Eng.
ANDRZEJ TOR, Ph.D., Eng.
WOJCIECH ZASADNI, Ph.D., Eng.
LESZEK ŻYREK, Eng.
Becker-Warkop Sp. z o.o
ul. Przemysłowa 11, 44-266 Świerklany, Poland
{t.budniok, b.krakowczyk, a.tor, w.zasadni,
l.zyrek}@becker-mining.com.pl

TOMASZ BUDNIOK
BERNARD KRAKOWCZYK
ANDRZEJ TOR
WOJCIECH ZASADNI
LESZEK ŻYREK

Nowoczesne środki transportu dołowego – efekty techniczne i ekonomiczne oraz korzyści dla środowiska pracy wynikające z eksploatacji podwieszonych ciągników akumulatorowych typu VOLTER

Środki transportu z napędem akumulatorowym znajdują coraz większe zastosowanie w górnictwie podziemnym. W artykule scharakteryzowano podwieszony ciągnik akumulatorowy typu VOLTER, który jest przeznaczony do transportu urządzeń, materiałów oraz do przewozu ludzi. Przedstawiono efekty techniczne i ekonomiczne eksploatacji tego innowacyjnego rozwiązania w porównaniu z ciągnikami spalinowymi, między innymi pod względem kosztów energii (paliwa) i czasu czynności konserwacyjnych. W artykule opisano również korzyści dla środowiska pracy związane ze stosowaniem ciągników akumulatorowych, wynikające z braku emisji spalin i istotnego zmniejszenia generowanego hałasu i ciepła, co wpływa na poprawę warunków klimatycznych w porównaniu z ciągnikami spalinowymi.

Słowa kluczowe: transport podwieszony, ciągnik akumulatorowy, koszty energii, koszty eksploatacyjne, środowisko pracy, warunki klimatyczne

1. WSTĘP

Producenci wyposażenia górniczego opracowują i coraz powszechniej wdrażają maszyny z napędem akumulatorowym. Lokomotywy, ciągniki podwieszane, wozy odstawcze i transportowe oraz inne maszyny świadczą o rozwoju elektromobilności pod ziemią. Nowa generacja baterii akumulatorów z ogniwami litowymi przyczynia się do wzrostu efektów technicznych i ekonomicznych oraz korzyści dla środowiska pracy napędów elektrycznych w porównaniu ze spalinowymi.

Szczególnie systemy transportu z napędem akumulatorowym znajdują coraz większe zastosowanie

w górnictwie podziemnym. Są one między innymi odpowiedziami na wyzwania związane z:

- wydłużeniem dróg transportu i dojścia załogi,
- wzrostem mocy zainstalowanych maszyn i urządzeń,
- coraz bardziej rygorystycznymi wymaganiami dotyczącymi środowiska pracy,
- potrzebą ograniczenia śladu węglowego i emisji gazów cieplarnianych,
- koniecznością optymalizacji kosztów produkcji.

Flagowym produktem firmy Becker-Warkop Sp. z o.o. w tym obszarze jest podwieszony ciągnik akumulatorowy typu VOLTER [1].

2. OPIS CIĄGNIKA AKUMULATOROWEGO TYPU VOLTER

Ciągnik akumulatorowy typu VOLTER z napędem ciernym służy do transportu ludzi, materiałów i urządzeń podczas prac transportowych, m.in. instalacji i likwidacji wyposażenia ścian. Ciągnik w konfiguracji bez kabin operatora jest wykorzystywany wyłącznie do transportu ładunków.

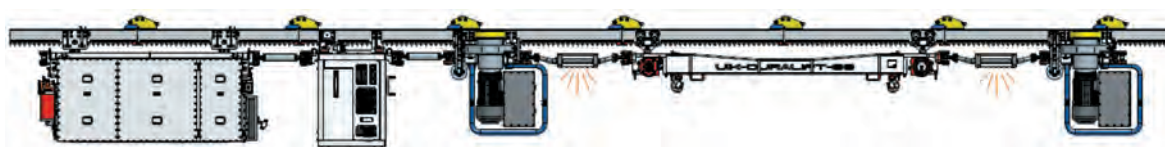
Ciągnik akumulatorowy typu VOLTER/X/Y (gdzie: X – liczba napędów, Y – liczba kabin operatora) prze-

znaczony jest do pracy w podziemnych zakładach górniczych w polach niemetanowych i metanowych, w wyrobiskach zaliczonych do stopnia „a”, „b” lub „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz w wyrobiskach zaliczonych do klasy A lub B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.

Na rysunku 1 została przedstawiona podstawowa budowa ciągnika VOLTER z kabinami operatora. Urządzenie może także pracować bez kabin jako ciągnik manewrowy (rys. 2).



Rys. 1. Podstawowa konfiguracja ciągnika typu VOLTER/4/2



Rys. 2. Manewrowy ciągnik typu VOLTER/2/0 wyposażony w belkę transportową i mobilne oświetlenie stacji materiałowych

2.1. Układ napędowy i hamulcowy

Każda jednostka napędowa zbudowana jest z dwóch napędów elektrycznych (silnik z falownikiem), przekładni oraz kół napędowych ciernych. Przeniesienie napędu następuje dzięki sprzężeniu ciernemu kół napędowych z szyną. Docisk kół napędowych odbywa się za pomocą siłownika hydraulicznego, który poprzez dźwignię dociska wahacz w kierunku do osi toru. Do wahacza zamocowana jest przekładnia połączona z napędem elektrycznym oraz kołem napędowym ciernym. Rysunek 3 przedstawia pojedynczy napęd elektryczny typu BWNE.

Układ hamulcowy pełni funkcję hamulca postojowego oraz awaryjnego. Odhamowanie następuje po podaniu ciśnienia na siłownik odhamowania, który powoduje odsunięcie szczęk hamulcowych od szyny. W skład jednostki pomocniczej wchodzi napęd elektryczny (silnik z falownikiem), napędzający pompę hydrauliczną zasilającą elementy sterowania hydraulicznego ciągnika.



Rys. 3. Napęd elektryczny typu BWNE

2.2. Sterowanie

Sterowanie pracą ciągnika odbywa się za pomocą kasyety sterowniczej BWKS (w wersji manewrowej ciągnika) lub stanowiska sterowania w kabinie operatora.

Opcjonalnie ciągnik akumulatorowy może być rozbudowany o układ bezprzewodowego sterowania i komunikacji radiowej oraz mobilne oświetlenie stacji osobowych i stacji materiałowych.

2.3. Zespół akumulatora

Zespół akumulatora typu VOLTER wykonany jest jako urządzenie przeciwybuchowe w osłonie ognioszczelnej. Akumulator litowy typu VOLTER służy do zasilania napędów ciągnika. W zespole akumulatora są zabudowane układy przeznaczone do kontroli i zabezpieczania poszczególnych urządzeń ciągnika, nadzoru nad nimi i sterowania nimi. W komorze akumulatorowej znajdują się ogniwa litowe pogrupowane w 20 kasetach. W każdej kasecie umieszczono 8 ogniw, które nadzorowane są napięciowo i temperaturowo za pośrednictwem indywidualnych modułów kontrolnych.

Moduły kontrolne komunikują się z częścią nadzorczą znajdującą się w komorze aparaturowej i odpowiadają również za proces ładowania ogniw oraz za przekazywanie parametrów pracy do układu sterowania.

Zaletą akumulatora typu VOLTER jest zintegrowana z nim ładowarka (zabudowana w komorze obudowy akumulatora), umożliwiająca ładowanie ogniw bezpośrednio z kopalnianej sieci elektroenergetycznej o napięciu trójfazowym 500 V lub 1000 V. Podłączenie do sieci zapewnia znajdujące się w osłonie ognioszczelnej szybkozłącze, co znacznie przyspiesza proces podłączenia/odłączenia. Czas ładowania wynosi maksymalnie do 4 godzin. Układ napędowy ciągnika VOLTER umożliwia pracę z rekuperacją energii, tj. odzyskiem energii z powrotem do akumulatora podczas jazdy po upadzie lub podczas hamowania [1].

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry techniczne ciągnika akumulatorowego typu VOLTER [1].

Tabela 1

Podstawowe parametry techniczne ciągnika akumulatorowego typu VOLTER

Parametr	Wartość
Siła uciągu	maks. 25 kN (dla pojedynczego napędu ciernego) maks. 100 kN (dla czterech napędów ciernych)
Prędkość maksymalna	2,0 m/s
Minimalny promień skrętu w poziomie	4 m
Minimalny promień skrętu w pionie	8 m
Maksymalne nachylenie toru jezdnego	±30°
Dopuszczalne profile szyn toru jezdnego	typ I155 (I140E), I140V95, I250 lub inne kompatybilne typu dopuszczonego
Znamionowe napięcie ładowania (bezpośrednio z sieci zasilającej)	500 V, 1000 V
Typ akumulatora (VOLTER)	litowy
Energia akumulatora	143,5 kWh
Moc jednego silnika napędowego	11 kW
Moc ciągnika z 4 napędami ciernymi (dwusilnikowymi)	88 kW
Statyczna siła hamowania	min. 1,5 × siła uciągu
Wymiary ciągnika z 4 napędami (wysokość × szerokość × długość)	1275 mm × 800 mm × 15 340 mm
Masa własna ciągnika wersja z kabinami i 4 napędami	11 310 kg (4 napędy cierne)

3. EFEKTY TECHNICZNE I EKONOMICZNE EKSPLOATACJI CIĄGNIKÓW AKUMULATOROWYCH TYPU VOLTER

W celu zobrazowania korzyści wynikających z eksploatacji ciągników akumulatorowych typu VOLTER porównano koszty eksploatacji oraz czas czynności konserwacyjnych ciągnika akumulatorowego oraz ciągnika spalinowego. Analizę oparto na danych z pracy ciągników w kopalniach Budryk i Szczygłowice. Wyniki analizy przedstawiono w tabelach 2 i 3 oraz na rysunku 4.

Z przytoczonych danych wynika, że:

- koszt energii elektrycznej/paliwa w przeliczeniu na 1 km jest o 20,21 zł większy w przypadku ciągnika spalinowego,
- roczny koszt eksploatacyjny ciągnika spalinowego (w analizowanych grupach kosztów) przewyższa sześciokrotnie koszt eksploatacji ciągnika akumulatorowego,
- roczny czas czynności konserwacyjnych jest o 308 roboczogodzin krótszy w przypadku ciągnika akumulatorowego.

Tabela 2

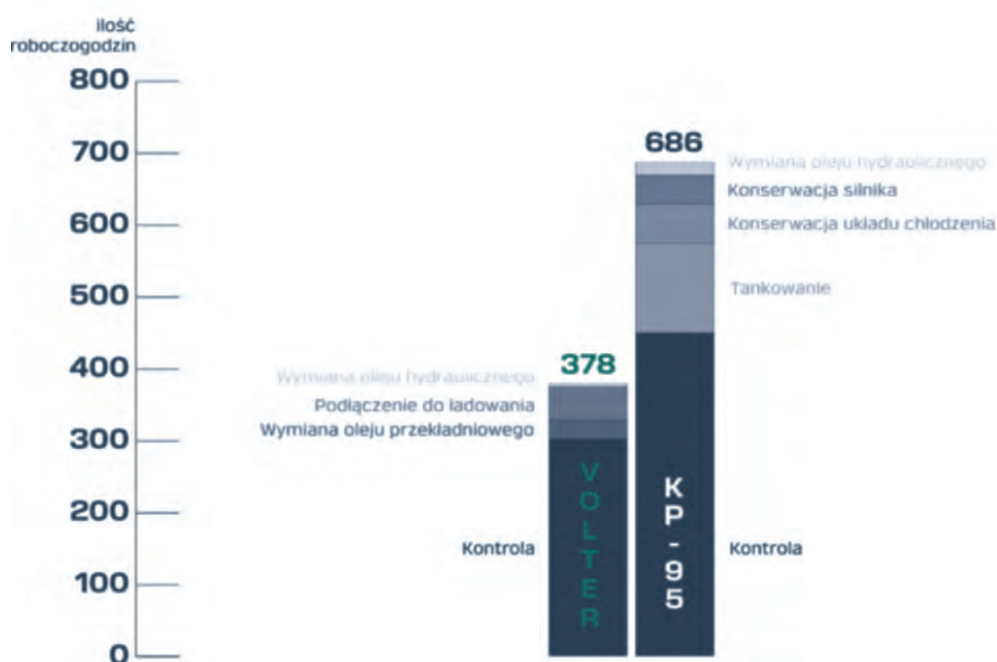
Porównanie kosztów energii (paliwa) ciągnika akumulatorowego VOLTER z ciągnikiem spalinowym

Parametr	Ciągnik spalinowy	Ciągnik akumulatorowy	Porównanie
Średnie zużycie paliwa/energii w przeliczeniu na 1 km	3,75 l	4,9 kWh (Szczygłowice) 5,63 kWh (Budryk)	–
Koszt paliwa/energii w przeliczeniu na 1 km	$3,75 \text{ l} \times 6,38 \text{ zł} = 23,93 \text{ zł}$	$4,9 \text{ kWh} \times 0,66 \text{ zł} = 3,23 \text{ zł}$ $5,63 \text{ kWh} \times 0,66 \text{ zł} = 3,72 \text{ zł}$	20,70 zł (Szczygłowice) 20,21 zł (Budryk)

Tabela 3

Porównanie wybranych rocznych kosztów eksploatacji podwieszanego ciągnika akumulatorowego VOLTER z ciągnikiem spalinowym

Parametr	Ciągnik spalinowy	Ciągnik akumulatorowy
Paliwo/energia miesięcznie (przeliczeń dokonano, przyjmując 415 km/miesiąc)	$415 \text{ km} \times 3,75 \text{ l} \times 6,38 \text{ zł/l} = 9928,88 \text{ zł}$	$415 \text{ km} \times 5,62 \text{ kWh} \times 0,66 \text{ zł} = 1539,32 \text{ zł}$
Paliwo/energia rocznie (przeliczeń dokonano, przyjmując 4980 km/rok)	$12 \times 9928,88 \text{ zł} = 119 146,50 \text{ zł}$ Występują również dodatkowe koszty związane z transportem paliwa z powierzchni i jego dystrybucją w podziemiach kopalń	$12 \times 1539,32 = 18 471,82 \text{ zł}$ Możliwość ładowania w każdym miejscu na dole kopalni
Filtry i inne części	Filtry powietrza, paliwa, oleju hydraulicznego i silnikowego, wtryskiwacze, paski klinowe: 9510,66 zł	Filtr w układzie hydraulicznym: 873,00 zł
Oleje	Olej hydrauliczny i silnikowy: 2474,90 zł	Olej hydrauliczny i przekładniowy: 1994,14 zł
Pozostałe media eksploatacyjne	Płyn chłodniczy i ładunek gaśniczy: 2923,70 zł	Brak
Suma rocznych kosztów	134 055,76 zł	21 338,96 zł



Rys. 4. Porównanie czasu niezbędnych czynności konserwacyjnych ciągnika akumulatorowego i ciągnika spalinowego w ciągu roku

4. KORZYŚCI DLA ŚRODOWISKA PRACY WYNIKAJĄCE ZE STOSOWANIA CIĄGNIKÓW Z NAPĘDEM AKUMULATOROWYM

Stosowanie maszyn z napędem akumulatorowym przynosi następujące korzyści dla środowiska pracy:

- Eliminacja gazów spalinowych. Dzięki temu uzyskuje się zmniejszenie ilości powietrza koniecznej do ich rozrzedzenia. Przyjmuje się, że w przypadku stosowania maszyn z napędem spalinowym wymagane jest od 0,06 do 0,08 m³/s wydatku powietrza na 1 kW zainstalowanej mocy do rozrzedzenia gazów spalinowych (wg The Southern African Institute of Mining and Metallurgy).
- Mniejszy hałas i wibracje. Dzięki temu poprawia się komfort pracy osób obsługujących ciągnik oraz transportowanej załogi.
- Praca ciągników nie zakłóca działania systemów bezpieczeństwa przeciwpożarowego (czujników CO).
- Zmniejszenie emisji ciepła w porównaniu z ciągnikami spalinowymi. Czynnikiem ten ma istotny wpływ na poprawę warunków klimatycznych w wyrobiskach. Zagadnienie to w sposób bardziej szczegółowy przedstawiono w dalszej części artykułu.

4.1. Wpływ pracy maszyn napędzanych silnikami spalinowymi na warunki klimatyczne w wyrobiskach

W silnikach spalinowych zachodzi proces wewnętrznego spalania paliwa i moc przekazana do napędu jest równa wartości opałowej paliwa kilkakrotnie większej od mocy użytecznej silnika. Maszyny napędzane silnikami Diesla przekazują do otoczenia około trzy razy więcej ciepła niż maszyny napędzane silnikami elektrycznymi o takiej samej mocy użytecznej [2].

Wartość opałowa oleju napędowego, który jest paliwem w silnikach spalinowych maszyn dołowych, wynosi 45,6 MJ/kg. Zużycie paliwa w silnikach Diesla ciągników kolejek wynosi około 0,229 kg na godzinę pracy i na 1 kW mocy silnika. W związku z tym, jak wynika z poniższego obliczenia, na 1 kW mocy silnika zużywa się 2,9 kW mocy wynikającej z energii chemicznej paliwa:

$$\frac{0,229 \cdot 45,6 \cdot 1000}{3600} =$$

$$= 2,9 \text{ kW paliwo/1 kW silnik} \quad (1)$$

Około 1/3 obliczonej powyżej ilości energii zamieniane jest na pracę użyteczną maszyny, a 2/3 obliczonej ilości energii zamieniane jest na ciepło. Około 1/3 ciepła wydziela się z rozrzanego silnika, a około 1/3 ze spalin. Ciepło powstałe w wyniku spalania przekazane jest do powietrza w postaci jawnej (wzrost temperatury) oraz w postaci utajonej (wzrost wilgotności). W wyniku spalania 1 litra oleju napędowego wydziela się około 1,1 litra pary wodnej. Można przyjąć, że 10–25% emitowanego ciepła powoduje przyrost temperatury, a 75–90% zwiększa wilgotność powietrza [2]. Przyrost temperatury i zawartości wilgoci oblicza się według poniższych wzorów:

$$\Delta t = \frac{(0,1-0,25) \cdot \Delta Q}{V \cdot \rho \cdot c_p} \quad (2)$$

$$\Delta X = \frac{(0,75-0,90) \cdot \Delta Q}{V \cdot \rho \cdot r_w} \quad (3)$$

gdzie:

- Δt – przyrost temperatury powietrza [°C],
- ΔX – przyrost zawartości wilgoci powietrza [g/kg p.s.],
- ΔQ – strumień energii zamieniany na ciepło w urządzeniu napędzanym silnikiem Diesla [kW],
- V – objętościowy wydatek powietrza w wyrobisku [m³/s],
- ρ – gęstość powietrza [kg/m³],
- c_p – ciepło właściwe powietrza [kJ/kg · K] $c_p = 1,005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$,
- r_w – ciepło parowania wody w temperaturze t [kJ/g]
 $r_w = (2502,5 - t \cdot 2,386) \cdot 10^{-3} \text{ kJ/g}$.

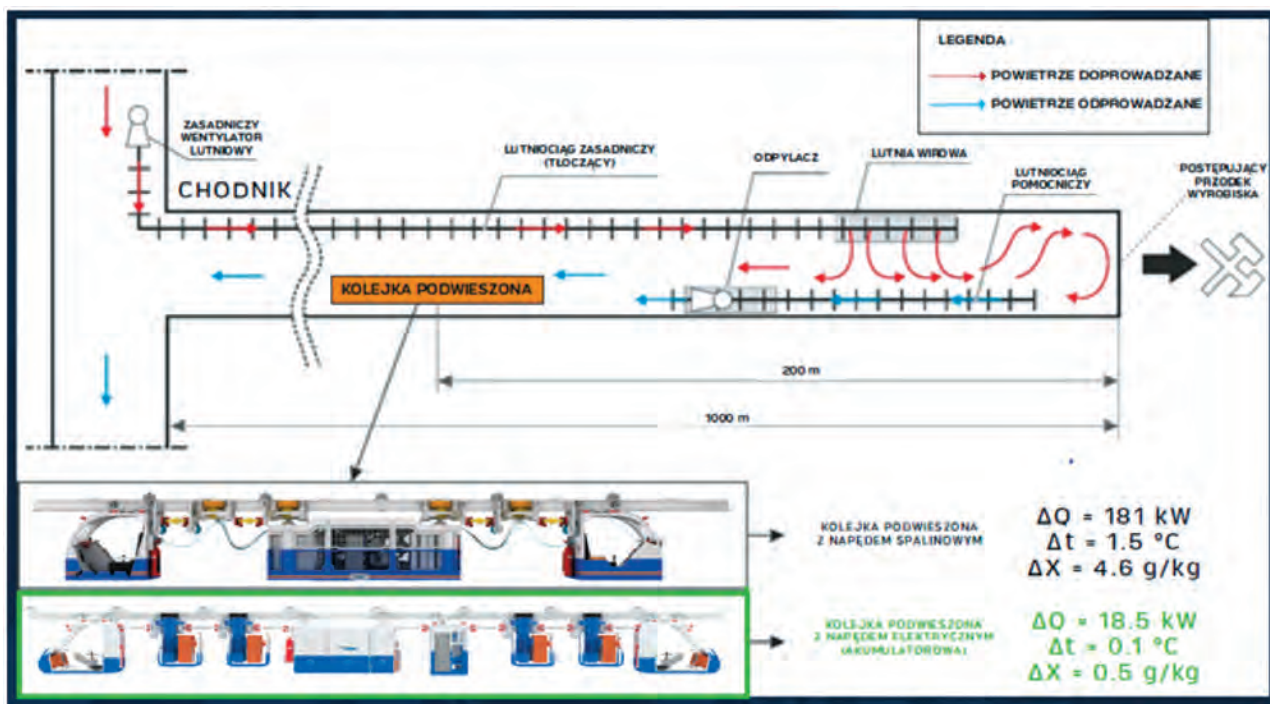
Wysoka sprawność napędów elektrycznych powoduje, że wydzielają one zdecydowanie mniejszą ilość ciepła do wyrobiska w porównaniu z kolejkami spalinowymi. Przeprowadzona analiza porównawcza przyrostu ciepła dla 1000 m drążonego wyrobiska chodnikowego (rys. 5), w którym bez pracy kolejki zapewnione jest 28°C na całej jego długości, wykazała, że przyrost temperatury na wylocie z wyrobiska związany z pracą kolejki spalinowej wyniósł 1,5°C. W przypadku kolejki elektrycznej jest to około 0,1°C. Natomiast wzrost zawartości wilgoci powietrza wynosi odpowiednio 4,6 g/kg i 0,5 g/kg [3].

W obliczeniach uwzględniono ciągłą pracę kolejki w wyrobisku. Założono, że 20% ciepła wytwarzanego przez maszynę jest przekazywane do powietrza w postaci jawnej, a 80% w postaci utajonej. Założono do-

datkowo, że ciepło powstałe w czasie pracy kolejki nie jest wynoszone z wyrobiska wraz z urobkiem, czyli uwzględniono maksymalny możliwy przyrost ciepła w wyrobisku. Całkowity przyrost ciepła (jawnego i utajonego) w analizowanym wyrobisku chodnikowym wyniósł odpowiednio dla kolejki spalinowej i elektrycznej 181,0 kW i 18,5 kW [3]. Aby zneutralizować przyrost ciepła (jawnego i utajonego), w przypadku zastosowania kolejki z napędem spalinowym potrzebna jest moc chłodnicza ponad 180 kW.

Jedną z niekwestionowanych zalet kolejek elektrycznych jest brak wydzielania pary wodnej, która zwiększa zawartość wilgoci w powietrzu.

W przypadku konieczności stosowania chłodzenia powietrza w wyrobiskach jego wilgotność ma kluczowe znaczenie. Kiedy jest ona wysoka, większa część mocy chłodniczej zabudowanych chłodnic układu klimatyzacji jest przeznaczana na obniżenie wilgotności powietrza (osuszanie powietrza) niż na obniżenie temperatury.



Rys. 5. Porównanie oddziaływania ciągników spalinowych i ciągników akumulatorowych na warunki klimatyczne w wyrobiskach

5. PODSUMOWANIE

W porównaniu z ciągnikami spalinowymi zastosowanie podwieszonych ciągników akumulatorowych typu VOLTER przynosi następujące korzyści techniczne i ekonomiczne oraz dla środowiska pracy:

- brak emisji spalin,
- niewielkie ilości emitowanego ciepła,
- cichsza praca napędu w porównaniu z napędem spalinowym,
- praca ciągników niezakłócająca działania systemów bezpieczeństwa przeciwpożarowego (czujników CO),
- uniknięcie kosztownej logistyki i infrastruktury do tankowania olejem napędowym w kopalni,
- mniejsze koszty eksploatacji,

- krótszy czas niezbędnych czynności konserwacyjnych,
- możliwość ładowania akumulatora w wyrobiskach, w których mogą pracować urządzenia elektryczne w obudowie przeciwybuchowej,
- możliwość ładowania bezpośrednio z kopalnianej sieci elektroenergetycznej o napięciu trójfazowym 500 V lub 1000 V,
- zwrot energii podczas jazdy po upadzie i w czasie hamowania,
- monitoring parametrów pracy i zabezpieczeń,
- zdalne sterowanie i transmisja danych,
- możliwość sterowania radiowego.

Ciągniki podwieszane z napędem akumulatorowym, ze względu na ich zalety, będą w najbliższych latach stopniowo zastępować ciągniki spalinowe.

Literatura

- [1] Instrukcja Obsługi – DTR Ciągnik akumulatorowy typu VOLTER [niepublikowane].
- [2] Waclawik J.: *Wentylacja kopalń*, t. 2. Wydawnictwa AGH, Kraków 2010: 80–84.
- [3] Szlązak N., Korzec M.: *Stosowanie kolejek podwieszonych o napędzie akumulatorowym w podziemnych kopalniach węgla kamiennego w aspekcie poprawy warunków pracy w wyrobiskach*. 11. Szkoła Aerologii Górniczej, Materiały Konferencyjne, Białka Tatrzańska, marzec 2022.

mgr inż. TOMASZ BUDNIOK
mgr inż. BERNARD KRAKOWCZYK
dr inż. ANDRZEJ TOR
dr inż. WOJCIECH ZASADNI
inż. LESZEK ŻYREK
Becker-Warkop Sp. z o.o
ul. Przemysłowa 11, 44-266 Świerklany
{t.budniok, b.krakowczyk, a.tor, w.zasadni,
l.zyrek}@becker-mining.com.pl

GRZEGORZ WAŚ
ADAM KLUSKA
MAREK SOBOLOWSKI
MARCIN GARBACZ
MARCIN PAŁKA
MAREK WOJTAS

Underground Water Monitoring and Visualisation System at the Piast-Ziemowit Hard Coal Mine, Ziemowit Operation

The paper presents a monitoring system for the pipeline network at Piast-Ziemowit Hard Coal Mine, Ziemowit Operation, which was implemented in February 2023. The system covers monitoring of both fire system pipelines and pipelines of the dewatering and drinking water systems. The Ziemowit Operation is self-sufficient in terms of water consumption both for technological and domestic purposes. Precise monitoring of pipelines allows to maintain installation parameters at a level sufficient for technological and mine fire safety purposes. The system also allows for the detection of emergency conditions, monitoring of water levels in storage reservoirs, while in terms of hydrogeology it is used for water balancing. Flowmeters installed at the pumps allow the actual measurement of pump performance, determine their efficiency, and thus allow diagnostics to anticipate future failures and take preventive measures. Visualisation of the performance of the system is available from a web browser and enables convenient and intuitive configuration to suit the user's current needs related to making changes to the system. The visualisation application has extensive functionality for current viewing and analysis of historical events and diagnostics of emergency conditions.

Key words: *monitoring, mine water, dewatering, visualisation*

1. INTRODUCTION

Global phenomena occurring in recent years, such as the pandemic, have popularized the concept of digitalization. Services related to digital transformation and the Internet of Things, previously known within the community dealing with Industry 4.0, have suddenly become items of everyday use. Many of us have personally experienced remote work or remote teaching. This digitalization process was rapid, but nonetheless rather superficial.

On the other hand, the international environment, the war in Ukraine, and the energy crisis are all factors that have led us to seek to intensify the extraction of our own energy resources in Poland.

There is also a third factor affecting the condition described – increasingly stringent environmental requirements are causing the mining industry to pay close attention not only to how much coal we extract, but also to what we extract along with that coal from underground areas. What has attracted exceptional interest recently is water, pumped from underground workings and used in mining plants, as well as the impact of water coming from mine dewatering on the biota of streams and rivers.

Mines such as the Piast-Ziemowit Hard Coal Mine, Ziemowit Operation due to the possession of underground water intakes with fresh water parameters, are able to be self-sufficient in terms of domestic, technological and fire water, and may even supply

water to third-party customers. However, in order to, on the one hand, properly conduct the technological process, ensure the continuity of water supply for both fire and technological purposes, and on the other hand, in order to economically manage the resources held, it is necessary to know the condition of the pipelines, the amounts of water flowing in the individual pipelines, as well as have information on emergency conditions.

In addition to an extensive network of fire system pipelines, the mine operates a dewatering system that is important for operations and safety, consisting of a network of dewatering system pipelines together with main, auxiliary, and local pumping stations with capacities sufficient to protect the underground workings from flooding. Ongoing assessment of the technical condition of an extensive dewatering system without the use of supporting systems, increases the response time of technical services in case of emergency conditions, which significantly affects the cost of operation. This was confirmed by the conclusions drawn from the operation of SOMAR's first SMOk-2 surveillance system deployed to, among other things, inspect and monitor the technological parameters of the mine's network of fire protection system pipelines and water flows in the mine's dewatering system pipelines. They also highlighted the need to expand the system and cover all the most important sections of the mine where dewatering system pipelines were installed [1].

This is where room for a more active introduction of digitalization emerges, not only to support everyday life, but also to bring it underground. In connection with the expansion of fibre-optic networks and computer stations built into underground workings, this mainly concerns activities undertaken by mining companies such as the monitoring of various resources including water, the implementation of a software application called "Foreman's Electronic Notebook", as well as upgrades to the existing data acquisition systems, or planned implementations of the automation of longwall powered roof supports.

Within the scope of the modernization, a new Underground Water Monitoring and Visualisation System at the Piast-Ziemowit Hard Coal Mine, Ziemowit Operation, code-named SYSMON, was developed and implemented by Elsta Elektronika Sp. z o.o.

2. DESCRIPTION OF THE MONITORED OBJECT

Water plays a dual role in the technological process of mining in the operations of a mining plant. On the

one hand, it is a threat, as it emerges from the rock mass in the process of excavation, as well as during the mining of the coal seam. In that case, such water must be quickly removed from the workings. For this purpose, networks of pipelines of the dewatering system are used, connecting local, branch and auxiliary pumping stations, as well as main pumping stations. On the other hand, however, water is a reliable fire extinguishing agent and must be available at every mine section where mining operations are taking place.

The Piast-Ziemowit Hard Coal Mine, Ziemowit Operation has three main dewatering pumping stations located on level I at Shaft I, level II at Shaft I and on level III (in the area of the C-1 cross-cut). Underground water from the main pumping stations is transferred to the surface via pipelines to a fresh water settling tank with a capacity of 115,000 m³, and to two salt-water settling tanks with capacities of 290,000 m³ and 104,000 m³.

The main dewatering pumping station on Level I is equipped with seven OW-300/4 type pumping units, each with a nominal capacity of 11.0 m³/min. The pumping station has two independent water gallery systems to provide for the intake of a 12-hour supply of water to the workings. Water is pumped through two pipelines of DN350 via Shaft I to the surface. The operation of a single pumping unit ensures that the daily inflow of water is pumped out in less than 20 hours. Since the water accumulated in the water galleries on Level I (200 m) is fresh water, it is used in part for fire-fighting systems on Level II (460 m) and Level III (640 m).

The main dewatering pumping station on Level II is equipped with seven pumping units, four of OW-300/8 type with a rated capacity of 11.0 m³/min, and three of WPW-300/8 type with a rated capacity of 12.0 m³/min. The pumping station has two independent water gallery systems to provide for the intake of a 12-hour supply of water to the workings. Water is pumped through three pipelines: in Shaft I through a DN 500 pipeline, and in Shaft II through DN 400 and DN 450 pipelines to the surface. Operation of a set consisting of two pumping units ensures that the daily inflow of water is pumped out in less than 20 hours.

The main dewatering pumping station on Level III is equipped with nine pumping units, six of OWH-200/10 type with a rated capacity of 5.2 m³/min, and three of 25H47/10 type with a rated capacity of 8.3 m³/min. The pumping station has two independent water gallery systems to provide for the intake of

a 12-hour supply of water to the workings. Water is pumped to the surface through three DN 400 pipelines: two pipelines in Shaft I and one pipeline in Shaft II. Operation of a set consisting of three pumping units ensures that the daily inflow of water is pumped out in less than 20 hours. The pumping station is powered from the RD-III 6 kV switching station.

Additionally, the Ziemowit Operation also operates an auxiliary dewatering pumping station at Level -147 (408 m). Natural inflows are captured in two water gallery systems, for industrial water and drinking water.

Fresh industrial water is pumped to the surface via a DN400 pipeline in the W-I Shaft to the $V = 95,100 \text{ m}^3$ settling tank (Olszyce), and further to the Ławecki Stream, the Mleczna River and the Vistula River.

Fresh drinking water is pumped to the surface via a DN400 pipeline in the W-I Shaft to the Water Treatment Plant, where it is treated for consumption for the mine's own purposes and sale to the municipality. Unused raw water as well as treated water is routed to a $V = 115,000 \text{ m}^3$ settling tank.

The supply of the main pipeline networks of the underground workings fire protection system is carried out as follows:

- the main supply to the fire protection system is the main dewatering system – from a branch pipe of the main collecting pipe at the pumping station through a reducing valve to the fire protection network on Level I. The supply in Shaft I plays a backup role;
- to -120 Level (360 m) in the area of the auxiliary “Szewczyk” Shaft, water is supplied “from underground” from the network of fire-fighting pipelines on Level II (460 m) through a DN 150 pipeline in the “Szewczyk” Shaft;
- to Level II (460 m), water is supplied from two systems of water galleries on Level I (200 m), through the filtration plant and by a DN300 pipe to Shaft I. Then via a DN300 pipeline in Shaft I through an overflow reservoir under Level I (about 298 m from the shaft top) to Level II (460 m). The capacity of the overflow tank under Level I is $V = 15.5 \text{ m}^3$, and its function is limited only to reducing the water pressure in the supply pipeline. The water level in the overflow tank is controlled by two float valves and is kept within the range of min. level 0.8 m to max. level 1.3 m. For emergency events of increased water demand, a pumping unit with a PH 150 type centrifugal pump of $5.25 \text{ m}^3/\text{min}$ capacity is installed at the shaft bottom of Shaft I, Level I, which draws water directly from the water gallery bypassing the filtration plant and pumps it into the DN300 pipeline in Shaft I;
- to Level - 300 (580 m) in the area of the auxiliary “Szewczyk” Shaft, water is supplied from the network of fire-fighting pipelines on Level II (460 m) through an overflow tank installed on Level II at the “Szewczyk” Shaft with a capacity of $V = 2 \text{ m}^3$ through a DN 150 pipeline running in the “Szewczyk” Shaft;
- to Level III (640 m), water is supplied from the network of fire-fighting pipelines on Level II (460 m) through a near-shaft overflow tank installed under Level II (about 465 m from the shaft top) via two DN 150 pipelines. The capacity of the overflow tank under Level II is $V = 105 \text{ m}^3$, and its function is limited only to reducing the water pressure in the supply pipeline. The water level in the overflow tank is controlled by two float valves and is kept within the range of min. level 1.0 m to max. level 1.5 m.

The backup supply of the Ziemowit Operation fire-fighting system is provided from the surface water treatment plant tank with a capacity of $V = 2000 \text{ m}^3$ via a DN 200 pipeline in Shaft W-I through a reducing valve installed on Level II (460 m) to the P-1 cross-cut on Level II. In addition, it is also possible to supply the fire-fighting system on Level II from the pressure pipeline of the main dewatering pumping station on Level II through the OS 150/5 pump with a capacity of $Q = 2.5 \text{ m}^3/\text{min}$.

Currently, the Ziemowit Operation is completing the task of the construction of a fire pipeline in Shaft I from Level I to Level II. The newly constructed pipeline is intended to replace the existing fire pipeline in Shaft I. The DN 300 shaft fire-fighting pipeline will transfer water from the overflow tank located on Level I (200 m) to Level II (460 m), to a redundant pressure-reducing station. The station will be terminated with a branch collector, which will be used to distribute water at the shaft bottom to the fire protection pipelines and to supply Level III also bypassing the overflow tank located under Level II (a system of SUPRA valves will be used to supply both Level II and Level III; the goal is to eliminate all float valves in the plant, as they are highly unreliable). Figure 1 shows the described dewatering scheme employed at the Ziemowit Operation.

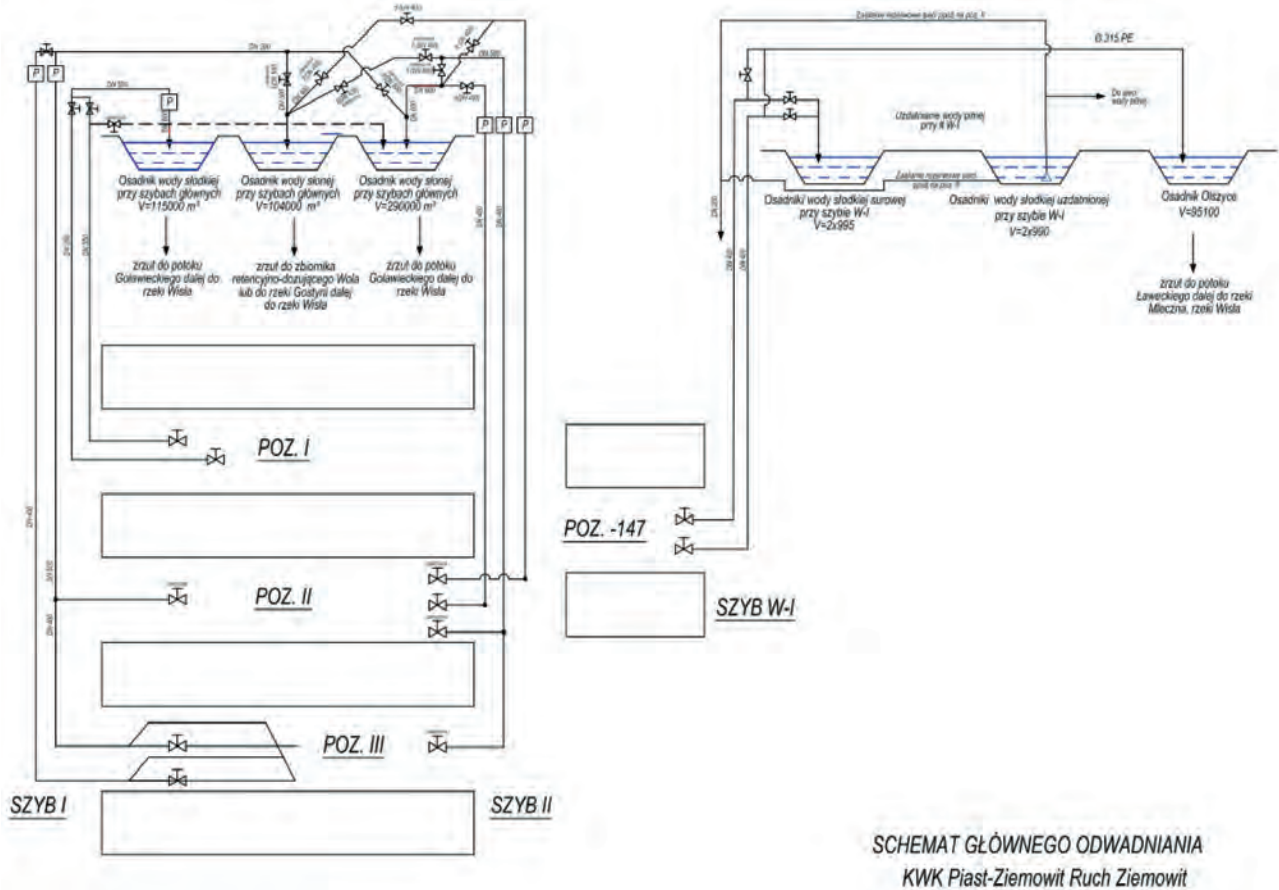


Fig. 1. Diagram of the main dewatering system at the Piast-Ziemowit Hard Coal Mine, Ziemowit Operation

In accordance with the current regulations, water inflow to mine workings in a mining plant has to be measured at least twice a year (Article 1, § 449 of the Regulation of the Minister of Energy of November 23, 2016 on detailed requirements for the operation of underground mining plants (Journal of Laws of 2017, item 1118) [2]. As a practical matter, the volume of water inflows into the mine workings is monitored on an ongoing basis due to safety of the mining operations.

3. DESIGN OF SYSMON SYSTEM

The underground water monitoring and visualisation system at the Piast-Ziemowit Hard Coal Mine, Ziemowit Operation (SYSMON) is designed in its underground part as a hierarchical structure with two concentrators (SK-01, SK-02), where each concentrator is responsible for data acquisition from its respective area (Level II, Level III). There are 13 measurement and communications cabinets (SPKs) connected to the concentrators and, in the case of the SK-01 concentrator, the two nearest measurement points

are also connected. The total number of measurement points in the system is 20 dual points (volume flow and pressure) and two single points (water level measurements). The SPK cabinets come in different configurations, depending on the number of measurement points connected to a given cabinet (from 1 to 3) and the number of built-in dual displays on the cabinet front cover. In most cases, the SPK cabinets are installed in the vicinity of the measurement points, so it is possible to read the measured values of volume flow, pressure, or level locally. In four cases, due to the excessive distance to the measurement points, SP measurement cabinets were installed in the area where flowmeters and pressure sensors were fitted, allowing data to be read and sent to the SPK cabinets over the MODBUS RTU protocol. Communication between the SPK cabinets and the concentrators is carried out using SHDSL technology. Table 1 shows the specification of the node and measurement points.

Data transmission to the surface is carried out over a copper telecommunications network and fibre-optic Ethernet. In the surface part, the heart of the system is a database server, which at the same time is a webserver for the visualisation application.

Table 1

List of node points and measurement points within the monitoring system

Cabinet	Point No.	DN	PN	Location of measurement points	Measuring device
SPK-02 #01	1	DN200	PN25	level -147 – drinking water, Piast II Shaft	– flowmeter – pressure transducer
	3	DN200	PN25	level -147 – industrial water, Piast II Shaft	– flowmeter – pressure transducer
SPK-01 #02	2	DN150	PN25	level -147 – drinking water, Holdunów Shaft	– flowmeter – pressure transducer
Concentrator SK-01#03	4	DN200	PN25	entry gallery to # I	– flowmeter – pressure transducer
	22			water level at #I	– level probe
SPK-02R #04	5	DN200	PN25	cross-cut E-1, level 600 m	– flowmeter – pressure transducer
	10	DN200	PN25	cross-cut P-1 – dewatering pipeline	– flowmeter – pressure transducer
	9	DN150	PN16	cross-cut P-1, level 200 m	– flowmeter – pressure transducer
SPK-01 #05	6	DN150	PN16	intersection of cross-cuts for wheeled traffic E-1/E2	– flowmeter – pressure transducer
SPK-01 #06	7	DN150	PN16	cross-cut E-3, level 3650 m	– flowmeter – pressure transducer
SPK-01 #07	8	DN150	PN16	intersection of P-1 and K-2 cross-cuts	– flowmeter – pressure transducer
SPK-01 #08	11	DN200	PN25	water inflow from seam 215	– flowmeter – pressure transducer
SPK-02 #09	12	DN150	PN16	#I side of empty mine cars	– flowmeter – pressure transducer
	13	DN150	PN16	#I side of loaded mine cars	– flowmeter – pressure transducer
SPK-02 #10	14	DN150	PN16	belt conveyor heading C-1	– flowmeter – pressure transducer
	15	DN150	PN16	belt conveyor heading C-4	– flowmeter – pressure transducer
SPK-01 #11	16	DN150	PN16	cross-cut to "Szewczyk" Shaft	– flowmeter – pressure transducer
SPK-01 #12	18	DN200	PN25	cross-cut for wheeled traffic C-2, level 300	– flowmeter – pressure transducer
SPK-02 #13	17	DN300	PN16	dewatering system pipeline in conveyor belt heading C-4	– flowmeter – pressure transducer
	19	DN200	PN25	dewatering system pipeline in inclined drift 950	– flowmeter – pressure transducer
SPK-00 #14	20	DN250	PN16	cross-cut for wheeled traffic C-4 in front of heading 1203	– flowmeter – pressure transducer
SPK-01 #15	21			level I – water level	– level probe
Concentrator SK-02#16	–	–	–	–	–

In the event of a power failure, the system switches to backup battery power, so that for a period of not less than 60 minutes the data can continue to be logged and transmitted to the server on the surface. Due to the fact that there are no active devices between the data concentrators and the SPK cabinets, after a power outage the transmission is carried out uninterrupted from the farthest sections of the mine. A power supply failure (and thus operation on backup power supply) is also indicated on the main synoptic screen. Also, any transmission system failures are logged and signalled in the system. A transmission failure does not cause interruptions in local data reading, so during transmission line repair works, supervision of the pipeline network is carried out by mine staff at the location where the measurement sensors are installed.

The entire system was designed, manufactured, and installed by Elsta Elektronika Sp. z o.o. in close cooperation with Ziemowit Operation engineering personnel.

4. VISUALISATION AND REPORTING

The visualisation of the SYSMON system operation is available from a web browser. The visualisa-

tion software application has extensive functionality for viewing the current state on both the system diagram and flat or 3D maps, as well as analysing historical events and diagnostics of emergency conditions. Multiple parameters can be simultaneously entered on the charts for any selected period of time, allowing to detect possible correlations between them.

From the main synoptic screen (Fig. 2), which is a diagram of the entire system, thanks to interactive features, it is possible to go directly to screens with maps of specific sections or to charts of a given parameter. On the screen below the diagram, there is a separate field for displaying ongoing messages, events, and alarms. On the synoptic screens, the pipelines of the fire, dewatering, and drinking water systems are marked with their respective colours.

On the same screen, but in a different view (Fig. 3), it is possible to obtain the total flow rate readings of the flowmeters, also split into total flows in accordance with the planned flow direction, as well as flows in the reverse direction.

The spatial map (Fig. 4) is an interactive map, allowing the user to zoom in and out of the monitored areas, as well as to switch to charts of the parameters of the indicated measurement point.

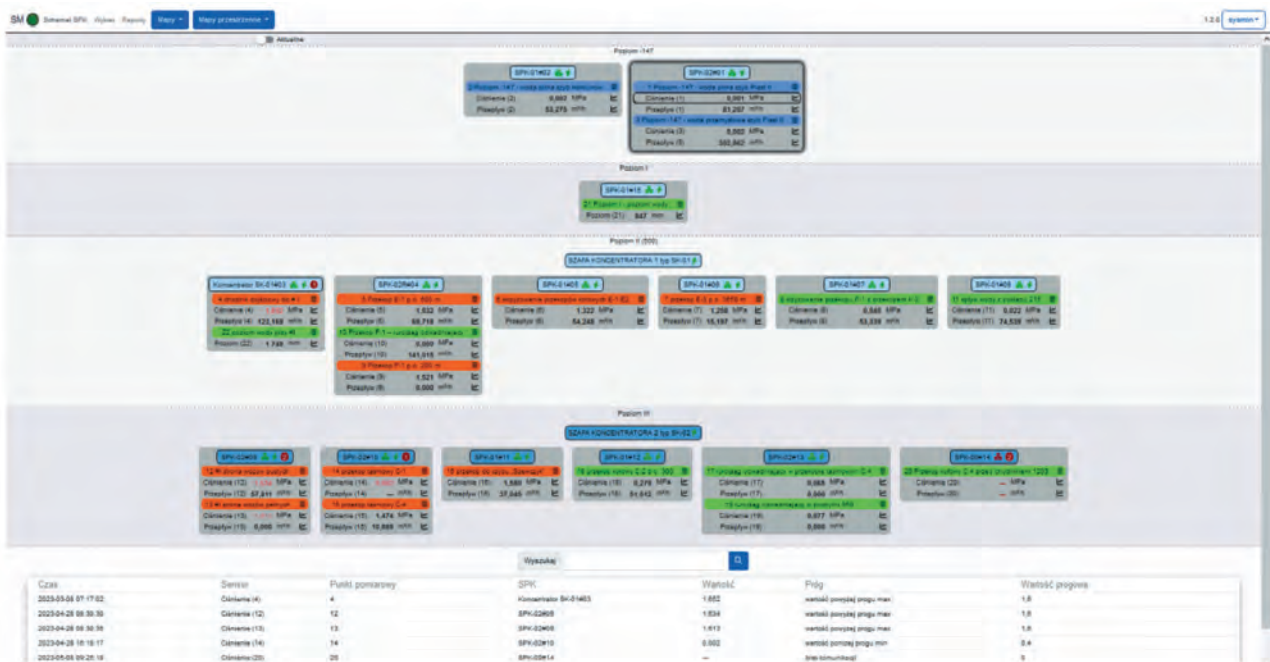


Fig. 2. View of the main synoptic screen of the SYSMON system visualisation application with current indications from the measurement devices at the Piast-Ziemowit Hard Coal Mine, Ziemowit Operation



Fig. 3. View of the main synoptic screen of the visualisation application of the SYSMON system with the total indications from the flowmeters at Piast-Ziemowit Hard Coal Mine, Ziemowit Operation



Fig. 4. Screen presenting a spatial map of the pipelines of the fire, dewatering and drinking water systems

The entire pipeline system has been divided into sections, and there is a separate detailed map for each section (Fig. 5) in the form of a synoptic screen with a presentation of the parameters measured in this particular section. Interactive elements marking individual measurement points allow the user to navigate to charts of the parameters of the selected point.

The data on the charts can be presented in several modes:

- “approximation” in the selection list stands for the averaging of values from selected data ranges –

this way, with a large amount of data, a chart showing the trend of change is obtained;

- “decimation” or downsampling is the selection of a certain number of samples so that the overall image of the chart remains unchanged, thus ensuring that the chart for a large amount of data remains responsive;
- “raw data” – the chart presents all the data logged in the selected time span.

An example chart of the monitored parameters is presented in Figure 6.

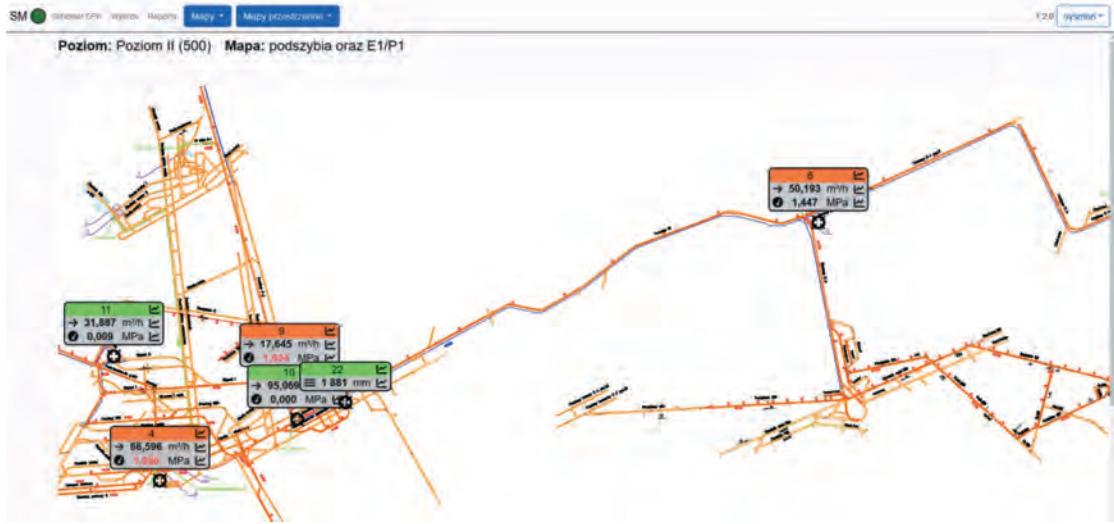


Fig. 5. Example screen showing a map of the section with current indications from the measurement devices

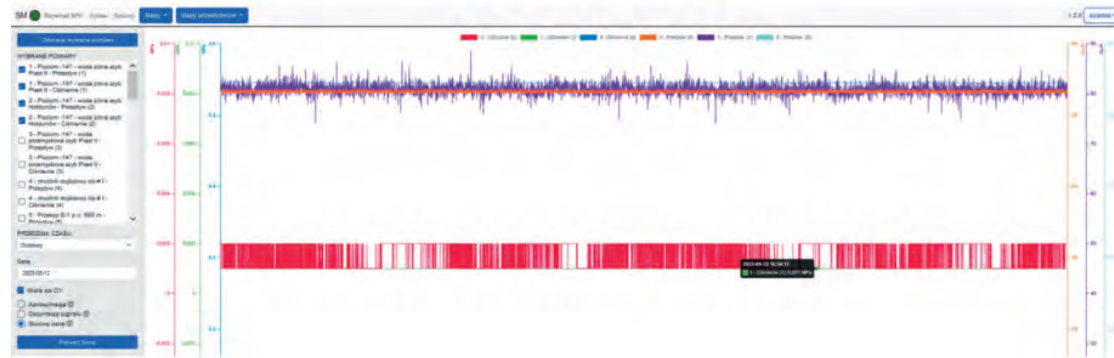


Fig. 6. Chart of selected parameters with selectable display mode

The system software allows the user to create reports for any period of time or select any of the predefined reports (daily, monthly). In the report presented on the screen (Fig. 7), the measurements for pipelines of the fire, dewatering and drinking water systems are colour-coded.

Once the report is generated as a pdf file, separate reports are created for each of the three pipeline types (Figs. 8–10).

The software application allows convenient and intuitive configuration to suit the user’s current needs related to making changes to the installation.

Report za okres od 2023-05-12 00:00:00 do 2023-05-12 23:59:59

Identyfikator	Opis	Przepływ początkowy [m³]	Przepływ końcowy [m³]	Przepływ ze zmian [m³]	Przepływ średni [m³/h]	Przepływ min [m³/h]	Przepływ max [m³/h]	P _{max} [MPa]	P _{min} [MPa]	L _{max} [mm]	L _{min} [mm]	Prędkość [m/s]
4	DH200 strona od strony do #1	238 008	240 790	2 781	88,0	33,3	148,5	1,588	1,880			
6	DH200 Przepływ E-1 p.o. 600 m	154 018	155 600	1 582	62,0	31,7	130,8	1,448	1,670			
8	DH150 strażniczenie przepływów kalorycznych E-1/E2	122 005	123 132	1 047	43,8	10,8	87,7	1,020	1,572			
7	DH150 przepływ B-3 p.o. 3050 m	79 873	79 280	-417	17,4	0,0	105,1	0,287	1,302			
9	DH150 Przepływ P-1 p.o. 200 m	10 490	10 895	391	10,3	-17,2	60,0	1,410	1,698			
12	DH150 W strona wzdłuż pętli	123 736	125 104	1 368	57,0	39,6	88,2	1,230	1,648			
13	DH150 W strona wzdłuż pętli	3	0	-3	0,0	0,0	0,0	1,224	1,637			
14	DH150 przepływ kaloryczny C-1	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,002	0,002			
15	DH150 przepływ kaloryczny C-4	15 228	15 524	296	12,3	0,0	21,3	1,130	1,536			
16	DH150 przepływ do szczytu „Białogóra”	35 638	36 392	754	31,4	13,0	63,3	1,201	1,623			
8	DH150 strażniczenie przepływów P-1 z przepływem P-2	103 847	105 128	1 281	53,4	32,8	93,9	0,844	0,848			
10	DH200 Przepływ P-1 - kierunek odwadniający	105 542	107 500	2 017	84,1	68,8	224,1	0,000	0,000			
11	DH200 strona wody z potażu 215	104 848	106 162	1 321	55,1	27,1	201,8	0,003	0,041			
17	DH200 kierunek odwadniający w przepływie kalorycznym C-4	9 144	9 144	0	0,0	0,0	0,0	0,059	0,074			
18	DH200 przepływ kaloryczny C-3 p.o. 500	200 854	203 983	3 129	130,7	0,0	271,4	0,000	0,917			
19	DH200 kierunek odwadniający w potężnym 900					-2,5	66,4	0,070	0,085			
20	DH200 Przepływ kaloryczny C-4 przed oszczędzaniem 1203									647	1 103	
21	Poziom 1 - poziom wody									408	1 063	
22	poziom wody przy W											
1	DH200 Poziom -147 - woda pitna szczyt Płan II	101 792	103 733	1 941	80,8	74,1	93,5	0,001	0,001			
2	DH150 Poziom -147 - woda pitna szczyt Hółdunów	107 671	108 961	1 290	53,3	52,6	64,0	0,001	0,002			
3	DH200 Poziom -147 - woda przepływowa szczyt Płan II	201 711	204 089	2 378	99,0	65,9	104,8	0,004	0,004			

Fig. 7. Daily summary report on the screen in the visualisation software application

KWK PIAST-ZIEMOWIT RUCH ZIEMOWIT
System monitorowania sieci rurociągów w wyrobiskach dołowych w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit
Raport za okres od 2023-05-12 00:00:00 do 2023-05-12 23:59:59
ppoż

Nazwa	DN	Opis	Przepływ początkowy [m ³]	Przepływ końcowy [m ³]	Przepływ za okres [m ³]	Przepływ średni [m ³ /h]	Przepływ min [m ³ /h]	Przepływ max [m ³ /h]	P _{min} [MPa]	P _{max} [MPa]	L _{min} [mm]	L _{max} [mm]	Pusta rura
4	DN200	chodnik dojściowy do # I	238 509	240 790	2 281	95,0	33,3	149,5	1,508	1,68			
5	DN200	Przekop E-1 p.o. 600 m	154 018	155 506	1 488	62,0	31,7	130,5	1,449	1,67			
6	DN150	skrzyżowanie przekopów kołowych E-1/E2	122 085	123 132	1 047	43,6	10,9	67,7	1,02	1,572			
7	DN150	przekop E-3 p.o. 3650 m	75 873	76 290	417	17,4	0,0	105,1	0,287	1,502			
9	DN150	Przekop P-1 p.o. 200 m	10 495	10 885	391	16,3	-17,2	60,0	1,416	1,668			
12	DN150	#I strona wozów pustych	123 736	125 104	1 368	57,0	39,6	88,2	1,233	1,646			
13	DN150	#I strona wozów pełnych	3	3	0	0,0	0,0	0,0	1,224	1,637			
14	DN150	przekop taśmowy C-1	0	0	0	0,0			0,002	0,002			X
15	DN150	przekop taśmowy C-4	15 238	15 534	296	12,3	0,0	21,3	1,13	1,535			
16	DN150	przekop do szybu „Szewczyk”	35 638	36 392	755	31,4	13,0	53,2	1,201	1,622			

P_{min} – minimalne ciśnienie zarejestrowane w analizowanym okresie

P_{max} – maksymalne ciśnienie zarejestrowane w analizowanym okresie

L_{min} – minimalny poziom zarejestrowany w analizowanym okresie

L_{max} – maksymalny poziom zarejestrowany w analizowanym okresie

Fig. 8. Daily report for fire system pipelines

KWK PIAST-ZIEMOWIT RUCH ZIEMOWIT
System monitorowania sieci rurociągów w wyrobiskach dołowych w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit
Raport za okres od 2023-05-12 00:00:00 do 2023-05-12 23:59:59
odwodnienie

Nazwa	DN	Opis	Przepływ początkowy [m ³]	Przepływ końcowy [m ³]	Przepływ za okres [m ³]	Przepływ średni [m ³ /h]	Przepływ min [m ³ /h]	Przepływ max [m ³ /h]	P _{min} [MPa]	P _{max} [MPa]	L _{min} [mm]	L _{max} [mm]	Pusta rura
8	DN150	krzyżowanie przekopu P-1 z przekopem K-2	103 847	105 128	1 281	53,4	52,9	53,8	0,544	0,546			
10	DN200	Przekop P-1 – rurociąg odwadniający	165 542	167 560	2 017	84,1	58,5	224,1	0	0			
11	DN200	splyw wody z pokładu 215	104 840	106 162	1 321	55,1	27,1	201,8	0,003	0,041			
17	DN300	rurociąg odwadniający w przekopie taśmowym C-4	9 144	9 144	0	0,0	0,0	0,0	0,059	0,074			
18	DN200	przekop kołowy C-2 p.o. 300	256 654	259 983	3 329	138,7	0,0	271,4	0	0,917			
19	DN200	rurociąg odwadniający w pochylni 950					-2,3	68,4	0,07	0,085			
20	DN250	Przekop kołowy C-4 przed chodnikiem 1203											
21		Poziom I - poziom wody									647	1 103	
22		poziom wody przy #I									456	1 963	

P_{min} – minimalne ciśnienie zarejestrowane w analizowanym okresie

P_{max} – maksymalne ciśnienie zarejestrowane w analizowanym okresie

L_{min} – minimalny poziom zarejestrowany w analizowanym okresie

L_{max} – maksymalny poziom zarejestrowany w analizowanym okresie

Fig. 9. Daily report for dewatering system pipelines

KWK PIAST-ZIEMOWIT RUCH ZIEMOWIT
System monitorowania sieci rurociągów w wyrobiskach dołowych w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit
Raport za okres od 2023-05-12 00:00:00 do 2023-05-12 23:59:59
woda pitna

Nazwa	DN	Opis	Przepływ początkowy [m ³]	Przepływ końcowy [m ³]	Przepływ za okres [m ³]	Przepływ średni [m ³ /h]	Przepływ min [m ³ /h]	Przepływ max [m ³ /h]	P _{min} [MPa]	P _{max} [MPa]	L _{min} [mm]	L _{max} [mm]	Pusta rura
1	DN200	Poziom -147 - woda pitna szyb Piast II	161 792	163 733	1 941	80,9	74,1	88,5	0,001	0,001			
2	DN150	Poziom -147 - woda pitna szyb Holdunów	107 671	108 951	1 280	53,3	52,6	54,0	0,001	0,002			
3	DN200	Poziom -147 - woda przemysłowa szyb Piast II	281 711	284 086	2 375	99,0	85,5	104,5	0,004	0,004			

P_{min} – minimalne ciśnienie zarejestrowane w analizowanym okresie

P_{max} – maksymalne ciśnienie zarejestrowane w analizowanym okresie

L_{min} – minimalny poziom zarejestrowany w analizowanym okresie

L_{max} – maksymalny poziom zarejestrowany w analizowanym okresie

Fig. 10. Daily report for drinking water system pipelines

Access to the system and its advanced features is only available through defined user accounts. Authorized users are allowed to change, among other things, the location of measurement points, replace maps of sections, define alarm thresholds, etc. Users with higher authorization levels have the right to manage other users and their authorizations.

5. SUMMARY

As part of the upgrade of the flowmeters installed on the pipelines of the dewatering system, both water flow and pressure sensors were included. Having information on the flow and pressure, the mine can conduct diagnostics of the state of pumps and pipelines of the dewatering system; e.g. a sudden increase in flow and a decrease in pressure on the pipelines of the dewatering system indicates a leak; indication of an empty pipeline – may mean the dewatering pump is air-locked or there is a leak between the measurement point and the pump (or in the pump itself), and the backflow of water may signal a power outage of the pump or its failure.

Measuring the volume flow (flow rate) and pressure of fresh water through built-in sensors allows the rapid identification of water shortages in operating areas. In order to locate failures in the fire protection system as quickly as possible, sensors have not only been installed on the supply pipelines to installations located in the vicinity of the shafts, but also in the cross-cuts.

The failure detection in fire pipelines in cross-cuts and their branches, whose length is more than 60 kilometres, is time-consuming, and has been greatly accelerated with the use of real-time information from the SYSMON system as well as the data logged from sensors at strategic locations, which significantly minimizes longwall downtime.

An additional benefit of the system is generating alerts based on predefined warning and alarm thresholds, which allows immediate response to incidents. Users can set signalling thresholds for both falling and rising water pressure and flow.

As a whole, when talking about real water management, it is important to know the present condition, that is, to know what is being managed. On this basis, further stages of digitalization including automation can be introduced.

The Ziemowit Operation is self-sufficient in terms of water consumption both for technological and domestic purposes. Precise monitoring of pipelines allows the maintenance of installation parameters at a level sufficient for technological and mine fire safety purposes. The system also provides for the detection of emergency conditions, leaks and monitoring of water levels in storage reservoirs, while in terms of hydrogeology it is used for water balancing. Flowmeters installed at the pumps allow the actual measurement of pump performance, determine their efficiency, and thus allow diagnostics to anticipate future failures and take preventive measures. Through the use of the system, quick diagnostics of the failure site and its immediate repair, the safety of the crew working in the underground workings has increased significantly.

Monitoring of the fire, process, and drinking water pipelines can make it possible to abandon other, less accurate methods of estimating the amount of water, including the method of measuring water based on the operating time of mine dewatering pumps and their rated capacity [3]. At the same time, a foundation is being established for more effective use by Ziemowit Operation of the hydrotechnical method of reducing the discharge of saline mine water [4].

The monitoring system enables the deployment of remote control of gate valves intended to control the flow of water in drinking and process water pipelines. Flow control will be carried out from the surface and will enable the mine services to instantaneously redirect the required amount of water to supply the fire system. By monitoring and controlling the amount of water, the system of drinking and process water management will change; the mine will reduce the amount of drinking water that is currently used to supply the fire system, and increase the use of process water for that purpose. The surplus of treated water obtained may allow, through pipe relining, to balance the amount of water purchased at the Piast Mine in the future. Such measures will bring savings due to the discontinuation of the purchase of water by the Piast Mine, while the sales of water to outside entities should bring profits.

The underground water monitoring and visualisation system employed at the Piast-Ziemowit Hard Coal Mine, Ziemowit Operation has become very useful to the staff from the very beginning of its oper-

ation, and allowed them to pinpoint the causes and remove inaccuracies in data readings already at the initial stage.

References

- [1] Janik M., Augustyniak K., Domagała J., Kocurek P., Wąs G.: *Dotychczasowe doświadczenia i dalsze plany rozwoju wysoko-wydajnych kompleksów ścianowych w kopalni "Ziemowit". Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań w zakresie monitoringu, wizualizacji, diagnostyki i sterowania dla optymalizacji procesu produkcyjnego. Monografia.* Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków 2013: 162–174.
- [2] *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych.* Dz.U. z 2017 r., poz. 1118.
- [3] Lach R., Łabaj P., Bondaruk J., Magdziorz A.: *Monitoring wód kopalnianych odprowadzanych do rzek.* Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko, Kwartalnik 2006, 1: 97–115.
- [4] Gruszczyński S., Motyka J., Mikołajczak J., Kasprzak A.: *Potrzeba wdrożenia zintegrowanego systemu monitorowania i dozowania wód kopalnianych do rzeki Wisły.* Przegląd Górniczy 2014, 8: 142–149.

GRZEGORZ WĄS, M.Sc. Eng.

ADAM KLUSKA, M.Sc. Eng.

MAREK SOBOŁOWSKI, M.Sc. Eng.

MARCIN GARBACZ, M.Sc. Eng.

MARCIN PAŁKA, M.Sc. Eng.

Polska Grupa Górnicza S.A.

Oddział KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit

ul. Granitowa 16, 43-155 Bieruń, Poland

{g.was@pgg.pl, a.kluska}@pgg.pl

MAREK WOJTAS, M.Sc. Eng.

Elsta Elektronika Sp. z o.o.

32 Janińska street, 32-020 Wieliczka, Poland

marek.wojtas@elsta.tech

GRZEGORZ WĄS
ADAM KLUSKA
MAREK SOBOŁOWSKI
MARCIN GARBACZ
MARCIN PAŁKA
MAREK WOJTAS

System monitoringu i wizualizacji wód dołowych w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit

W artykule przedstawiono system monitorowania sieci rurociągów w kopalni Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit, który został wdrożony w lutym 2023 r. System obejmuje monitoring rurociągów systemów: przeciwpożarowego, odwadniania oraz wody pitnej. Ruch Ziemowit jest samowystarczalny w zakresie zużycia wody zarówno do celów technologicznych, jak i bytowych. Precyzyjny monitoring rurociągów pozwala na zapewnienie parametrów instalacji dla celów technologicznych i bezpieczeństwa pożarowego kopalni. System pozwala również na wykrywanie stanów awaryjnych, monitoring poziomu wody w zbiornikach wyrównawczych, a pod względem hydrogeologicznym stosowany jest do bilansowania wód. Przepływomierze zainstalowane przy pompach pozwalają na faktyczny pomiar ich wydajności, określenie ich sprawności, a tym samym pozwalają na diagnostykę wyprzedzającą przyszłe awarie oraz podjęcie działań zapobiegawczych. Wizualizacja pracy systemu dostępna jest z poziomu przeglądarki internetowej i pozwala na wygodną oraz intuicyjną konfigurację pod bieżące potrzeby użytkownika związane z wprowadzaniem zmian w instalacji. Aplikacja wizualizacyjna posiada rozbudowaną funkcjonalność do podglądu bieżącego i analizy zdarzeń historycznych oraz diagnostyki stanów awaryjnych.

Słowa kluczowe: *monitoring, wody kopalniane, odwodnienie, wizualizacja*

1. WSTĘP

Występujące w ostatnich latach globalne zjawiska, między innymi pandemia, spowodowały popularyzację pojęcia cyfryzacji. Usługi związane z transformacją cyfrową i Internetem Rzeczy, znane wcześniej w środowisku zajmującym się Przemysłem 4.0, stały się nagle elementami codziennego użytku. Wielu z nas doświadczyło osobiście pracy zdalnej lub zdalnego nauczania. Była to cyfryzacja gwałtowna, ale jednak powierzchowna.

Sytuacja międzynarodowa, wojna za wschodnią granicą, kryzys energetyczny – wszystko to spowodowało, że staramy się zintensyfikować wydobycie własnych surowców energetycznych.

Istnieje też trzeci czynnik wpływający na opisywany stan – rosnące wymagania dotyczące ochrony środo-

wiska powodują, że w przemyśle wydobywczym zwracamy szczególną uwagę nie tylko na to, ile węgla eksploatujemy, ale również na to, co razem z nim wydobywamy spod ziemi. W ostatnim czasie wyjątkowe zainteresowanie wzbudza woda pompowana z wyrobisk i użytkowana w zakładach górniczych oraz wpływ wód pochodzących z odwadniania kopalń na biocenozę potoków i rzek.

Takie kopalnie jak KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit ze względu na posiadanie podziemnych ujęć wody o parametrach wody słodkiej potrafią być samowystarczalne pod względem wody użytkowej, technologicznej, ppoż., a nawet mogą zasilać innych odbiorców. Jednakże, by z jednej strony prowadzić właściwie proces technologiczny, zapewnić ciągłość dostaw wody do celów zarówno ppoż., jak i technologicznych, a z drugiej strony, by ekonomicznie gospo-

darować posiadanymi zasobami, niezbędna jest wiedza o stanie rurociągów, ilościach przepływającej wody w poszczególnych rurociągach czy o stanach awaryjnych.

Poza rozbudowaną siecią rurociągów systemu ppoż. kopalnia eksploatuje ważny dla prowadzenia ruchu i bezpieczeństwa układ odwadniania składający się z sieci rurociągów systemu odwadniania wraz z pompowniami głównymi, pomocniczymi i rejonowymi o wydajnościach pozwalających na zabezpieczenie wyrobisk przed zatopieniem. Bieżąca ocena stanu technicznego rozbudowanego systemu odwodnienia bez systemów wspomagających wydłuża czas reakcji służb technicznych w wypadku stanów awaryjnych, co wpływa znacząco na koszty eksploatacji. Potwierdziły to wnioski z eksploatacji pierwszego systemu nadzoru SMOk-2 firmy SOMAR uruchomionego w celu m.in. kontroli i monitoringu parametrów technologicznych kopalnianej sieci rurociągów systemu przeciwpożarowego i przepływów wody w kopalnianych rurociągach systemu odwadniania. Wskazywały one też na konieczność rozbudowy systemu i objęcia nim wszystkich najważniejszych rejonów kopalni, w których zainstalowano rurociągi systemu odwadniania [1].

I tutaj pojawia się pole do aktywniejszego wprowadzenia cyfryzacji już nie tylko „pod strzechy”, ale również „pod ziemię”. W związku z rozbudową sieci światłowodowych oraz stanowisk komputerów zabudowanych w wyrobiskach dołowych dotyczy to przede wszystkim takich działań podejmowanych przez spółki górnicze, jak: monitoring różnych mediów, w tym wody, wdrożenie „Elektronicznego Notesu Sztęgara” (aplikacja komputerowa firmy COIG), a także modernizacje dotychczas istniejących systemów akwizycji danych czy planowane wdrożenia automatyzacji ścianowych obudów zmechanizowanych.

W ramach modernizacji został zabudowany nowy system monitoringu i wizualizacji wód dołowych w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit o kodowej nazwie SYSMON, zrealizowany przez firmę Elsta Elektronika Sp. o.o.

2. OPIS MONITOROWANEGO OBIEKTU

Woda w procesie technologicznym wydobycia w ruchu zakładu górniczego z jednej strony jest zagrożeniem, ponieważ pojawia się z górotworu w procesie wykonywania wyrobisk, jak również w trakcie urabiania pokładu węgla. Wówczas woda taka musi być szybko usunięta z wyrobisk. Do tego celu służą sieci

rurociągów systemu odwadniania, łączących pompownie rejonowe, oddziałowe i pomocnicze oraz pompownie główne. Z drugiej jednak strony jest to niezawodny środek gaśniczy i musi być doprowadzany w każdy rejon prac górniczych.

KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit posiada trzy pompownie głównego odwadniania zlokalizowane na poziomie I przy Szybie I, poziomie II przy Szybie I i na poziomie III (w rejonie przekopu C-1). Wody dołowe z pompowni głównych odprowadzane są na powierzchnię rurociągami do osadnika wód dołowych słodkich o pojemności 115 000 m³ oraz do dwóch osadników wód dołowych słonych o pojemnościach 290 000 m³ i 104 000 m³.

Pompownia głównego odwadniania na poziomie I wyposażona jest w siedem agregatów pompowych typu OW-300/4, każdy o wydajności nominalnej 11,0 m³/min. Pompownia posiada dwa niezależne systemy chodników wodnych zapewniające ujęcie 12-godzinnego dopływu wód do wyrobisk. Woda pompowana jest dwoma rurociągami DN350, Szybem I na powierzchnię. Praca jednego agregatu pompowego zapewnia odpompowanie dobowego dopływu wody w czasie poniżej 20 godzin. Ponieważ woda gromadzona w chodnikach wodnych na poziomie I (200 m) jest wodą słodką, wykorzystywana jest częściowo do instalacji przeciwpożarowych na poziomie II (460 m) i poziomie III (640 m).

Pompownia głównego odwadniania na poziomie II wyposażona jest w siedem agregatów pompowych, z których cztery są typu OW-300/8 o wydajności znamionowej 11,0 m³/min, a pozostałe trzy są typu WPW-300/8 o wydajności nominalnej 12,0 m³/min. Pompownia posiada dwa niezależne systemy chodników wodnych zapewniające ujęcie 12-godzinnego dopływu wód do wyrobisk. Woda pompowana jest trzema rurociągami: w Szybie I rurociągiem DN 500, a w Szybie II rurociągiem DN 400 i DN 450 na powierzchnię. Praca zespołu składającego się z dwóch agregatów pompowych zapewnia odpompowanie dobowego dopływu wody w czasie poniżej 20 godzin.

Pompownia głównego odwadniania na poziomie III wyposażona jest w dziewięć agregatów pompowych, z których sześć jest typu OWH-200/10 każdy o wydajności nominalnej 5,2 m³/min, a pozostałe trzy są typu 25H47/10 o wydajności nominalnej 8,3 m³/min. Pompownia posiada dwa niezależne systemy chodników wodnych zapewniające ujęcie 12-godzinnego dopływu wód do wyrobisk. Woda pompowana jest trzema rurociągami DN 400: w Szybie I dwoma rurociągami, w Szybie II jednym rurociągiem na powierzchnię.

Praca zespołu składającego się z trzech agregatów zapewnia odpompowanie dobowego dopływu wody w czasie poniżej 20 godzin. Pompownia zasilana jest z rozdzielni 6 kV RD-III.

Dodatkowo w Ruchu Ziemowit eksploatowana jest również pompownia odwadniania pomocniczego na poziomie minus 147 (408 m). Dopływy naturalne ujmowane są w dwa systemy chodników wodnych, wody przemysłowej i pitnej.

Woda słodka przemysłowa pompowana jest na powierzchnię rurociągiem DN400 w Szybie W-I do osadnika $V = 95\ 100\ \text{m}^3$ (Olszyce), dalej do Potoku Ławeckiego, rzeki Mlecznej i do Wisły.

Woda słodka pitna pompowana jest na powierzchnię rurociągiem DN400 w Szybie W-I, do stacji uzdatniania wody, gdzie podlega uzdatnieniu i zużyciu na cele własne oraz sprzedaży do miasta. Niewykorzystana woda – zarówno surowa, jak i uzdatniona – jest kierowana do osadnika $V = 115\ 000\ \text{m}^3$.

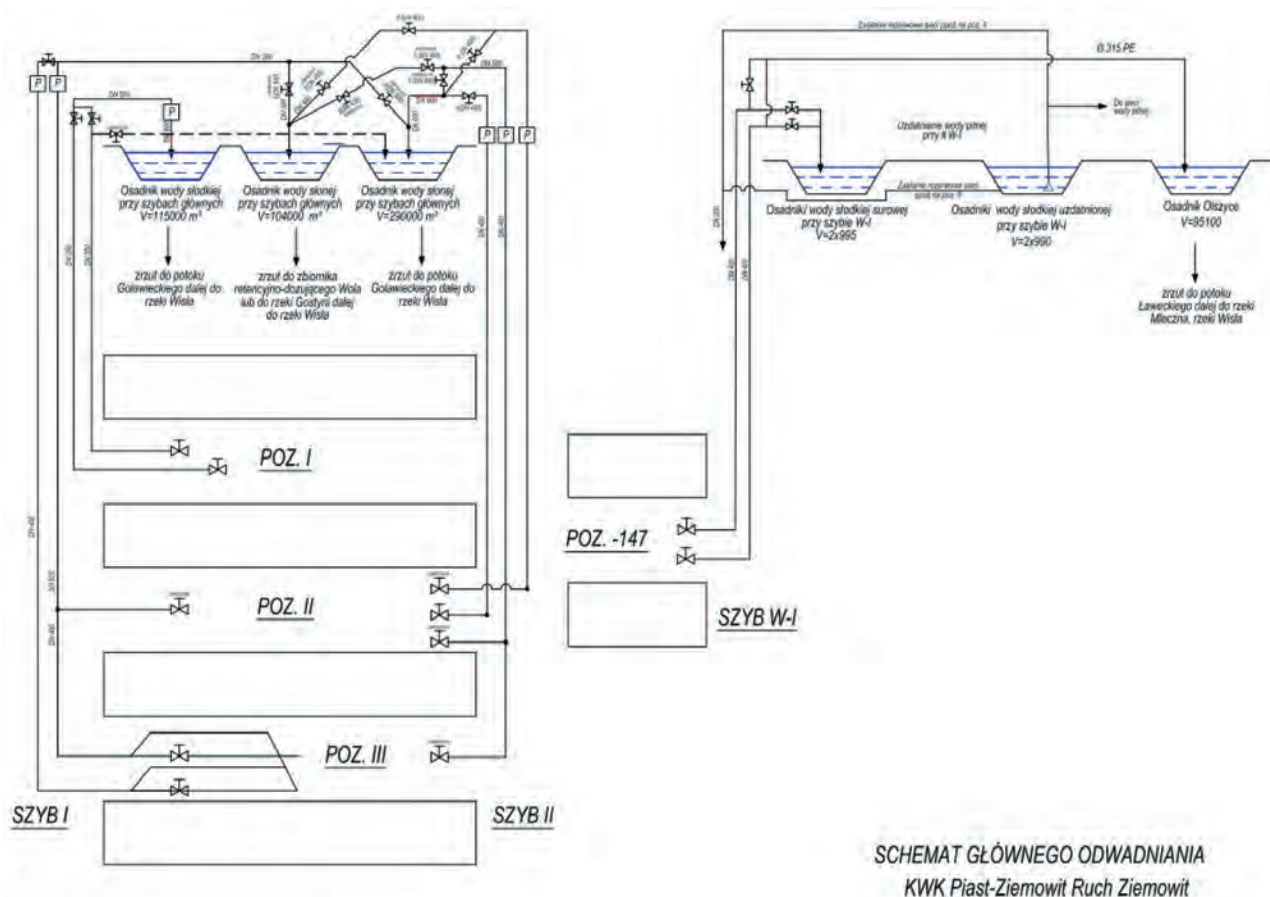
Zasilanie głównych sieci rurociągów systemu przeciwpożarowego wyrobisk dołowych odbywa się następująco:

- głównym zasilaniem sieci ppoż. jest układ głównego odwadniania – z odczepu z kolektora głównego na pompowni poprzez zawór redukcyjny do sieci ppoż. na poziomie I; zasilanie w Szybie I ma charakter rezerwowy;
- na poziom minus 120 (360 m) w rejonie peryferyjnego Szybu „Szewczyk” woda dostarczana jest „od dołu” z sieci rurociągów przeciwpożarowych na poziomie II (460 m) rurociągiem DN 150 w Szybie „Szewczyk”;
- na poziom II (460 m) woda dostarczana z dwóch systemów chodników wodnych na poziomie I (200 m) poprzez stację filtrów i przewiertem DN300 do Szybu I. Następnie rurociągiem DN 300 w Szybie I poprzez zbiornik przelewowy pod poziomem I (około 298 m od zrębu szybu) do poziomu II (460 m). Pojemność zbiornika przelewowego pod poziomem I wynosi $V = 15,5\ \text{m}^3$, a jego funkcja ogranicza się tylko do redukcji ciśnienia wody w rurociągu zasilającym. Poziom wody w zbiorniku przelewowym regulowany jest za pomocą dwóch zaworów pływakowych w zakresie od poziomu min. 0,8 m do poziomu maks. 1,3 m. W awaryjnych przypadkach zwiększonego zapotrzebowania wody na podszybiu Szybu I poziomu I zainstalowany jest agregat pompowy z pompą wirową typu PH 150 o wydajności $5,25\ \text{m}^3/\text{min}$, który zasysa wodę bezpośrednio z chodnika wodnego z pominięciem stacji filtrów i pompuje ją do rurociągu DN300 w Szybie I;

- na poziom minus 300 (580 m) w rejonie peryferyjnego Szybu „Szewczyk” woda dostarczana jest z sieci rurociągów przeciwpożarowych na poziomie II (460 m) poprzez zbiornik przelewowy zainstalowany na poziomie II przy Szybie „Szewczyk” o pojemności $V = 2\ \text{m}^3$ rurociągiem DN 150 w Szybie „Szewczyk”;
- na poziom III (640 m) woda dostarczana jest z sieci rurociągów przeciwpożarowych na poziomie II (460 m) poprzez przyszybowy zbiornik przelewowy zainstalowany pod poziomem II (około 465 m od zrębu szybu) dwoma rurociągami DN 150. Pojemność zbiornika przelewowego pod poziomem II wynosi $V = 105\ \text{m}^3$, a jego funkcja ogranicza się tylko do redukcji ciśnienia wody w rurociągu zasilającym. Poziom wody w zbiorniku przelewowym regulowany jest za pomocą dwóch zaworów pływakowych w zakresie od poziomu min. 1,0 m do poziomu maks. 1,5 m.

Zasilanie rezerwowe instalacji przeciwpożarowej Ruchu Ziemowit realizowane jest ze zbiornika powierzchniowej stacji uzdatniania wody o pojemności $V = 2000\ \text{m}^3$ rurociągiem DN 200 w Szybie W-I poprzez zawór redukcyjny zabudowany na poziomie II (460 m) do przekopu P-1 na poziomie II. Dodatkowo istnieje również możliwość zasilania instalacji przeciwpożarowej na poziomie II z rurociągu tłocznego pompowni głównego odwadniania na poziomie II poprzez pompę OS 150/5 o wydajności $Q = 2,5\ \text{m}^3/\text{min}$.

Aktualnie Ruch Ziemowit jest w trakcie realizacji zadania dotyczącego budowy rurociągu ppoż. w Szybie I od poziomu I do poziomu II. Nowo budowany rurociąg ma zastąpić istniejący rurociąg przeciwpożarowy w Szybie I. Rurociąg DN 300 przeciwpożarowy, szybowy, będzie przekazywał wodę ze zbiornika przelewowego zlokalizowanego na poziomie I (200 m) do poziomu II (460 m), do zdublowanej stacji redukcyjno-zabezpieczającej obniżającej wartość ciśnienia. Stacja zostanie zakończona kolektorem rozdzielczym, który posłuży do rozprowadzenia wody na podszybiu do rurociągów przeciwpożarowych oraz do zasilania poziomu III również z pominięciem zbiornika przelewowego pod poziomem II (zastosowany zostanie układ zaworów SUPRA zarówno do zasilania poziomu II, jak i poziomu III, celem jest wyeliminowanie wszystkich zaworów pływakowych w zakładzie, ponieważ są mocno zawodne). Na rysunku 1 przedstawiono opisywany schemat odwodnienia Ruchu Ziemowit.



Rys. 1. Schemat głównego odwadniania KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit

Zgodnie z obowiązującymi przepisami w zakładzie górniczym dokonuje się co najmniej dwa razy w roku pomiarów dopływu wód do wyrobisk górniczych (§ 449 ust. 1 Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych, Dz.U. z 2017 r. poz. 1118) [2]. Z uwagi na bezpieczeństwo prowadzonych robót górniczych wielkość dopływów wody do wyrobisk górniczych monitoruje się na bieżąco.

3. BUDOWA SYSTEMU SYSMON

System monitoringu i wizualizacji wód dołowych w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit (SYSMON) zbudowany jest w części dołowej jako hierarchiczna struktura z dwoma koncentratorami (SK-01, SK-02), gdzie każdy koncentrator odpowiada za akwizycję danych ze swojego obszaru (poziom II i poziom III). Do koncentratorów podłączonych jest 13 szafek pomiarowo-komunikacyjnych (SPK), a w przypadku koncentratora SK-01 przyłączone są dwa najbliższe punkty pomiarowe. Łączna liczba punktów pomiarowych w systemie

to 20 punktów podwójnych (strumień objętości i ciśnienie) oraz dwa punkty pojedyncze (pomiar poziomu wody). Szafki SPK występują w różnych konfiguracjach zależnych od liczby punktów pomiarowych (od 1 do 3) podłączonych do danej szafki oraz od liczby zabudowanych podwójnych wyświetlaczy na elewacji szafki. W większości przypadków szafki SPK zabudowane są w rejonie punktów pomiarowych, dzięki czemu istnieje możliwość lokalnego odczytu zmierzonych wartości strumienia objętości, ciśnienia lub poziomu. W czterech przypadkach, ze względu na zbyt dużą odległość punktu pomiarowego, w rejonie przepływomierzy i czujników ciśnienia zabudowano szafki pomiarowe SP umożliwiające odczyt danych i przesłanie ich do SPK za pośrednictwem protokołu MODBUS RTU. Łączność pomiędzy szafkami SPK a koncentratorami odbywa się z wykorzystaniem technologii SHDSL. W tabeli 1 przedstawiono specyfikację punktów węzłowych oraz punktów pomiarowych.

Transmisja danych na powierzchnię wykorzystuje miedzianą sieć telekomunikacyjną oraz światłowódową sieć Ethernet. W części powierzchniowej sercem systemu jest serwer z bazą danych będący jednocześnie webserwerem dla aplikacji wizualizacyjnej.

Tabela 1

Wykaz punktów węzłowych i punktów pomiarowych systemu monitoringu

Szafka	Nr pkt	DN	PN	Lokalizacja punktów pomiarowych	Przyrząd pomiarowy
SPK-02 #01	1	DN200	PN25	poziom minus 147 – woda pitna Szyb Piast II	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
	3	DN200	PN25	poziom minus 147 – woda przemysłowa Szyb Piast II	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
SPK-01 #02	2	DN150	PN25	poziom minus 147 – woda pitna Szyb Hołudunów	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
Koncentrator SK-01#03	4	DN200	PN25	chodnik dojściowy do # I	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
	22	–	–	poziom wody przy #I	– sonda poziomą
SPK-02R #04	5	DN200	PN25	przekop E-1 p.o. 600 m	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
	10	DN200	PN25	przekop P-1 – rurociąg odwadniający	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
	9	DN150	PN16	przekop P-1 p.o. 200 m	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
SPK-01 #05	6	DN150	PN16	skrzyżowanie przekopów kołowych E-1/E2	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
SPK-01 #06	7	DN150	PN16	przekop E-3 p.o. 3650 m	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
SPK-01 #07	8	DN150	PN16	skrzyżowanie przekopu P-1 z przekopem K-2	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
SPK-01 #08	11	DN200	PN25	splływ wody z pokładu 215	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
SPK-02 #09	12	DN150	PN16	#I strona wozów pustych	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
	13	DN150	PN16	#I strona wozów pełnych	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
SPK-02 #10	14	DN150	PN16	przekop taśmowy C-1	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
	15	DN150	PN16	przekop taśmowy C-4	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
SPK-01 #11	16	DN150	PN16	przekop do Szybu „Szewczyk”	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
SPK-01 #12	18	DN200	PN25	przekop kołowy C-2 p.o. 300	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
SPK-02 #13	17	DN300	PN16	rurociąg systemu odwadniania w przekopie taśmowym C-4	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
	19	DN200	PN25	rurociąg systemu odwadniania w pochylni 950	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
SPK-00 #14	20	DN250	PN16	przekop kołowy C-4 przed chodnikiem 1203	– przepływomierz – przetwornik ciśnienia
SPK-01 #15	21	–	–	poziom I – poziom wody	– sonda poziomą
Koncentrator SK-02#16	–	–	–	–	–

W przypadku awarii zasilania układ przechodzi na zasilanie akumulatorowe, dzięki czemu przez czas nie krótszy niż 60 minut dane mogą być nadal rejestrowane i przesyłane do serwera na powierzchnię. W związku z brakiem urządzeń aktywnych pomiędzy koncentratorami danych a szafkami SPK po zaniku napięcia transmisja odbywa się bezprzerwowo z najdalszych rejonów kopalni. Awaria zasilania (a tym samym praca przy zasilaniu z zasilacza awaryjnego) jest również sygnalizowana na podstawowym ekranie synoptycznym. Również wszelkie awarie układu transmisji są rejestrowane i sygnalizowane w systemie. Brak transmisji nie powoduje przerw w lokalnym odczycie danych, dlatego w przypadkach lokalizacji uszkodzenia linii transmisyjnej nadzór nad siecią rurociągów odbywa się w miejscu zabudowy czujników pomiarowych przez pracowników kopalni.

Cały system został zaprojektowany, wyprodukowany i zainstalowany przez firmę Elsta Elektronika Sp. z o.o. przy ścisłej współpracy ze służbami Ruchu Ziemowit.

4. WIZUALIZACJA I RAPORTOWANIE

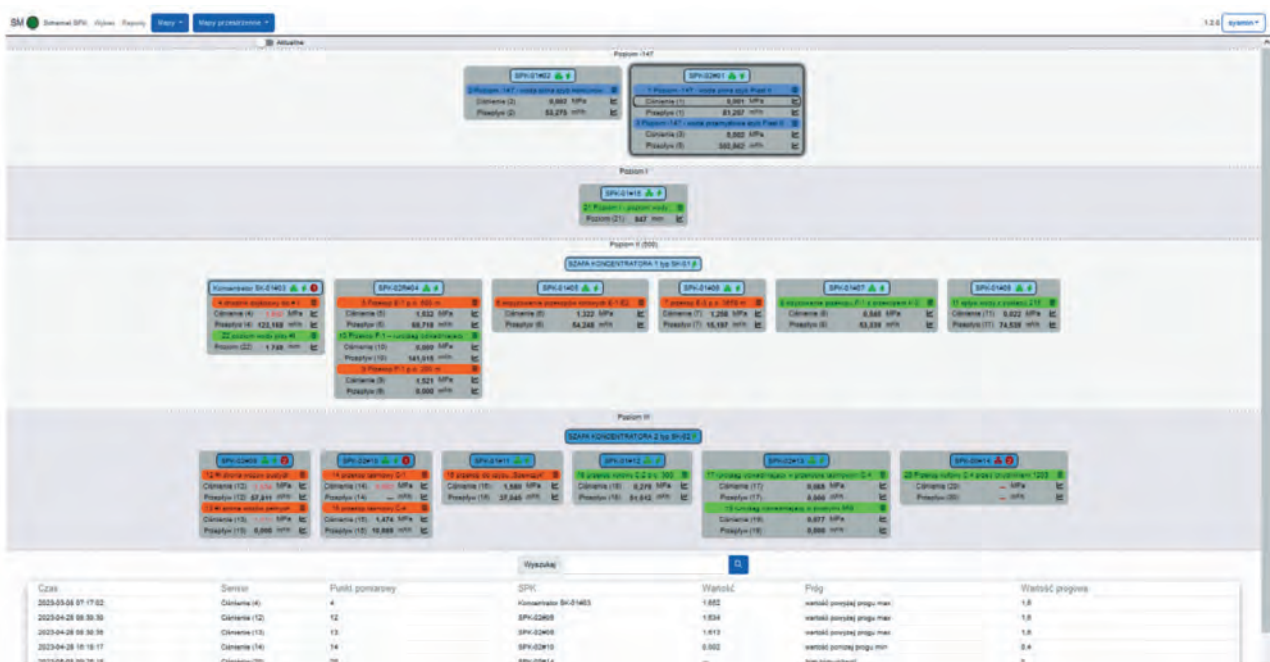
Wizualizacja pracy systemu SYSMON dostępna jest z poziomu przeglądarki internetowej. Aplikacja

wizualizacyjna posiada rozbudowaną funkcjonalność do podglądu stanu bieżącego zarówno na schemacie systemu, jak i mapach płaskich oraz przestrzennych, a także analizy zdarzeń historycznych oraz diagnostyki stanów awaryjnych. Na wykresach można jednocześnie umieścić wiele parametrów za dowolnie wybrany okres, co pozwala na wykrycie ewentualnych korelacji pomiędzy nimi.

Z podstawowego ekranu synoptycznego (rys. 2), którym jest schemat całego systemu, dzięki elementom interaktywnym można przejść bezpośrednio do ekranów z mapami rejonów lub do wykresów danego parametru. Na ekranie pod schematem jest wydzielony obszar dla bieżących komunikatów, zdarzeń i alarmów. Na ekranach synoptycznych odpowiednimi kolorami oznaczono rurociągi systemów ppoż., odwadniania i wody pitnej.

Na tym samym ekranie, ale w innym widoku (rys. 3) można uzyskać sumaryczne wskazania strumienia objętości na przepływomierzach, również z podziałem na sumaryczne przepływy zgodne z planowanym kierunkiem strumienia oraz przepływy w kierunku odwrotnym.

Mapa przestrzenna (rys. 4) jest mapą interaktywną, pozwala na przybliżanie i oddalanie obserwowanych obszarów oraz na przejście do wykresów parametrów wskazanego punktu pomiarowego.



Rys. 2. Widok podstawowego ekranu synoptycznego aplikacji wizualizacyjnej systemu SYSMON ze wskazaniami bieżącymi przyrządów pomiarowych w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit



Rys. 3. Widok podstawowego ekranu synoptycznego aplikacji wizualizacyjnej systemu SYSMON ze wskazaniem sumarycznymi przepływomierzy w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit



Rys. 4. Ekran prezentujący mapę przestrzenną rurociągów systemów przeciwpożarowego, odwadniania oraz wody pitnej

Cały system rurociągów został podzielony na rejony i dla każdego rejonu istnieje oddzielna szczegółowa mapa (rys. 5) przedstawiona na wydzielonym ekranie synoptycznym z prezentacją parametrów mierzonych w danym rejonie. Interaktywne elementy oznaczające poszczególne punkty pomiarowe umożliwiają przejście do wykresów parametrów wybranego punktu.

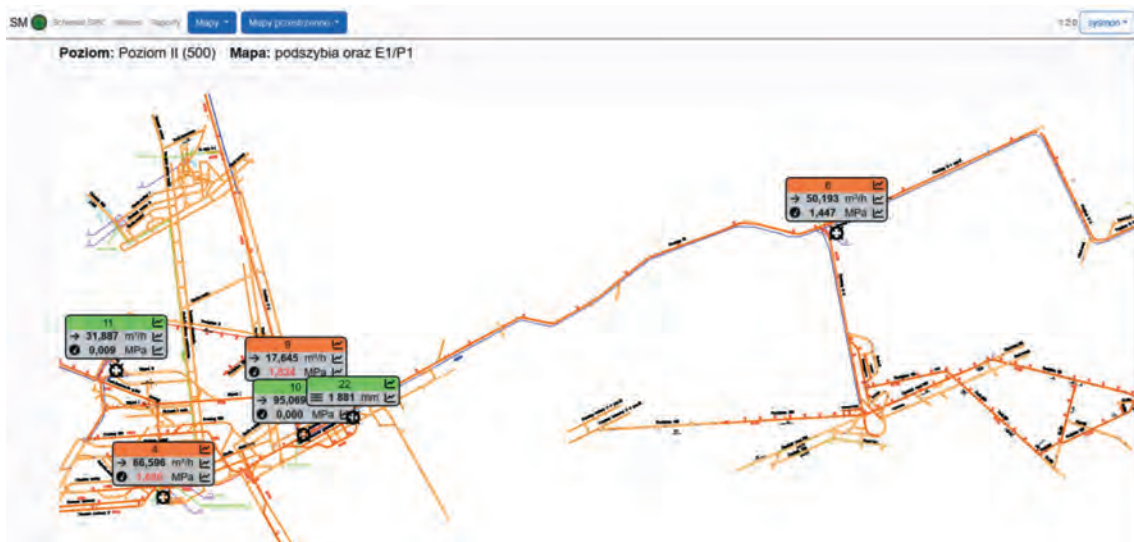
Dane na wykresach mogą być prezentowane w kilku trybach:

- „aprosymacja” na liście wyboru oznacza uśrednianie wartości z wybranych przedziałów danych –

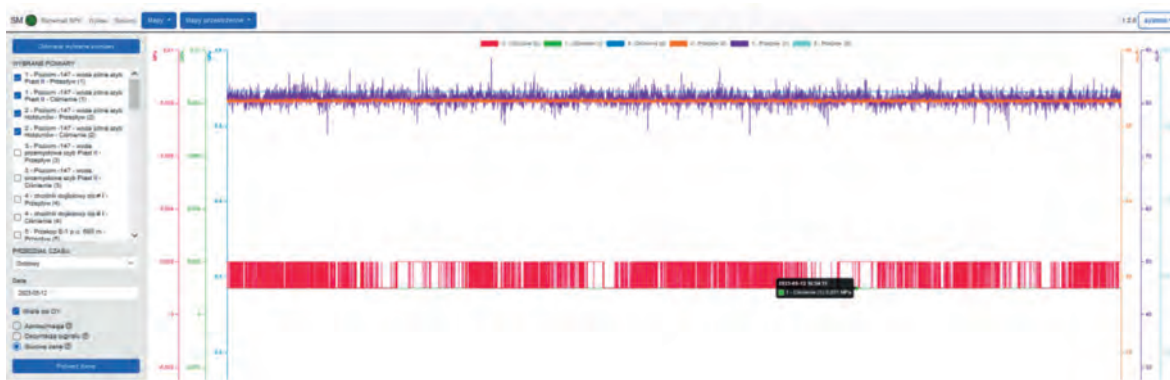
dzięki temu przy dużej ilości danych uzyskujemy wykres pokazujący tendencję zmian;

- „decymacja”, czyli inaczej downsampling (w dosłownym tłumaczeniu „próbkiowanie w dół”) to wybieranie pewnej liczby próbek, tak aby ogólny obraz wykresu pozostał bez zmian, dzięki czemu wykres dla dużej ilości danych pozostaje responsywny;
- „dane surowe” – na wykresie prezentowane są wszystkie dane zarejestrowane w wybranym czasie.

Przykładowy wykres monitorowanych parametrów zaprezentowano na rysunku 6.



Rys. 5. Przykładowy ekran prezentujący mapę rejonu z bieżącymi wskazaniem urządzeń pomiarowych



Rys. 6. Wykres wybranych parametrów z możliwością wyboru trybu wyświetlania

Oprogramowanie systemu pozwala na wykonanie raportów za dowolnie wybrany okres lub wybór któregoś z predefiniowanych raportów (dobowy, miesięczny). W raporcie prezentowanym na ekranie (rys. 7) kolorami oznaczono pomiary dotyczące

rurociągów systemów ppoż., odwodnienia oraz wody pitnej.

Po wygenerowaniu raportu w postaci pliku w formacie PDF tworzone są oddzielne raporty dla każdego z tych trzech typów rurociągów (rys. 8–10).

Raport za okres od 2023-05-12 00:00:00 do 2023-05-12 23:59:59

Identyfikator	Data	Opis	Przepływ początkowy [m³]	Przepływ końcowy [m³]	Przepływ ze stawa [m³]	Przepływ wlewu [m³/h]	Przepływ wylotu [m³/h]	Przepływ netto [m³/h]	F _{max} [MPa]	F _{min} [MPa]	L _{max} [mm]	L _{min} [mm]	Przebieg
4	Dh200	średnica objętości do #1	238 808	240 780	2 281	85,0	33,3	149,8	1,808	1,880			
6	Dh200	Przepływ E-1 p.o. 600 m	154 016	155 606	1 488	82,5	31,7	138,8	1,448	1,679			
5	Dh150	użytkowanie przepływów kotłowych E-1B2	122 085	123 132	1 047	43,0	10,9	67,7	1,020	1,572			
7	Dh150	przepływ E-2 p.o. 3500 m	75 873	76 280	417	17,4	0,0	105,1	0,287	1,502			
9	Dh150	Przepływ P-1 p.o. 200 m	10 480	10 880	381	10,3	-17,2	60,0	1,410	1,608			
12	Dh150	W skłona wodzie pusty	123 736	125 104	1 368	57,0	39,6	98,2	1,233	1,648			
13	Dh150	W skłona wodzie pełny	3	3	0	0,0	0,0	0,0	1,224	1,637			
14	Dh150	przepływ talmony C-1	0	0	0	0,0	0,0	0,002	0,002				<input checked="" type="checkbox"/>
15	Dh150	przepływ talmony C-4	15 236	15 824	290	12,3	0,0	21,3	1,130	1,536			
16	Dh150	przepływ do stawy „Bawczyk”	35 038	35 392	706	31,4	13,0	63,2	1,201	1,622			
8	Dh150	użytkowanie przepływu P-1 z przepływem R-2	103 647	105 126	1 281	53,4	32,9	53,8	0,844	0,846			
10	Dh200	Przepływ P-1 – rurociąg odwadniający	105 942	107 000	2 017	84,1	68,0	224,1	0,000	0,000			
11	Dh200	stawa wody z przepływem 215	104 840	105 162	1 321	55,1	27,1	201,8	0,903	0,941			
17	Dh200	urociąg odwadniający w przepływie talmony C-4	9 144	9 144	0	0,0	0,0	0,0	0,059	0,074			
18	Dh200	przepływ kotłowy C-2 p.o. 300	250 654	259 983	3 329	138,7	0,0	271,4	0,000	0,917			
19	Dh200	urociąg odwadniający w podziemiu 950											
20	Dh200	Przepływ kotłowy C-4 przed zbiornikiem 1203											
21	Dh200	Poziom I - poziom wody									547	1 103	
22	Dh200	- poziom wody przy #									458	1 962	
1	Dh200	Poziom -147 - woda pitna stawa Piast II	181 782	183 733	1 841	80,9	74,1	66,6	0,001	0,001			
2	Dh150	Poziom -147 - woda pitna stawa Holendur	107 671	108 961	1 290	53,3	42,6	64,0	0,001	0,002			
3	Dh200	Poziom -147 - woda przemysłowa stawa Piast II	281 711	284 089	2 378	99,0	65,9	194,2	0,004	0,004			

Rys. 7. Dobowy raport zbiorczy na ekranie w aplikacji wizualizacyjnej

KWK PIAST-ZIEMOWIT RUCH ZIEMOWIT
System monitorowania sieci rurociągów w wyrobiskach dołowych w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit
Raport za okres od 2023-05-12 00:00:00 do 2023-05-12 23:59:59
ppoż

Nazwa	DN	Opis	Przepływ początkowy [m ³]	Przepływ końcowy [m ³]	Przepływ za okres [m ³]	Przepływ średni [m ³ /h]	Przepływ min [m ³ /h]	Przepływ max [m ³ /h]	P _{min} [MPa]	P _{max} [MPa]	L _{min} [mm]	L _{max} [mm]	Pusta rura
4	DN200	chodnik dojazdowy do # I	238 509	240 790	2 281	95,0	33,3	149,5	1,508	1,68			
5	DN200	Przekop E-1 p.o. 600 m	154 018	155 506	1 488	62,0	31,7	130,5	1,449	1,67			
6	DN150	skrzyżowanie przekopów kołowych E-1/E2	122 085	123 132	1 047	43,6	10,9	67,7	1,02	1,572			
7	DN150	przekop E-3 p.o. 3650 m	75 873	76 290	417	17,4	0,0	105,1	0,287	1,502			
9	DN150	Przekop P-1 p.o. 200 m	10 495	10 885	391	16,3	-17,2	60,0	1,416	1,668			
12	DN150	#I strona wozów pustych	123 736	125 104	1 368	57,0	39,6	88,2	1,233	1,646			
13	DN150	#I strona wozów pełnych	3	3	0	0,0	0,0	0,0	1,224	1,637			
14	DN150	przekop taśmowy C-1	0	0	0	0,0			0,002	0,002			X
15	DN150	przekop taśmowy C-4	15 238	15 534	296	12,3	0,0	21,3	1,13	1,535			
16	DN150	przekop do szybu „Szewczyk”	35 638	36 392	755	31,4	13,0	53,2	1,201	1,622			

P_{min} – minimalne ciśnienie zarejestrowane w analizowanym okresie

P_{max} – maksymalne ciśnienie zarejestrowane w analizowanym okresie

L_{min} – minimalny poziom zarejestrowany w analizowanym okresie

L_{max} – maksymalny poziom zarejestrowany w analizowanym okresie

Rys. 8. Raport dobowy dla rurociągów systemu ppoż.

KWK PIAST-ZIEMOWIT RUCH ZIEMOWIT
System monitorowania sieci rurociągów w wyrobiskach dołowych w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit
Raport za okres od 2023-05-12 00:00:00 do 2023-05-12 23:59:59
odwodnienie

Nazwa	DN	Opis	Przepływ początkowy [m ³]	Przepływ końcowy [m ³]	Przepływ za okres [m ³]	Przepływ średni [m ³ /h]	Przepływ min [m ³ /h]	Przepływ max [m ³ /h]	P _{min} [MPa]	P _{max} [MPa]	L _{min} [mm]	L _{max} [mm]	Pusta rura
8	DN150	krzyżowanie przekopu P-1 z przekopem K-2	103 847	105 128	1 281	53,4	52,9	53,8	0,544	0,546			
10	DN200	Przekop P-1 – rurociąg odwadniający	165 542	167 560	2 017	84,1	58,5	224,1	0	0			
11	DN200	splyw wody z pokładu 215	104 840	106 162	1 321	55,1	27,1	201,8	0,003	0,041			
17	DN300	rurociąg odwadniający w przekopie taśmowym C-4	9 144	9 144	0	0,0	0,0	0,0	0,059	0,074			
18	DN200	przekop kołowy C-2 p.o. 300	256 654	259 983	3 329	138,7	0,0	271,4	0	0,917			
19	DN200	rurociąg odwadniający w pochylni 950					-2,3	68,4	0,07	0,085			
20	DN250	Przekop kołowy C-4 przed chodnikiem 1203											
21		Poziom I - poziom wody									647	1 103	
22		poziom wody przy #1									456	1 963	

P_{min} – minimalne ciśnienie zarejestrowane w analizowanym okresie

P_{max} – maksymalne ciśnienie zarejestrowane w analizowanym okresie

L_{min} – minimalny poziom zarejestrowany w analizowanym okresie

L_{max} – maksymalny poziom zarejestrowany w analizowanym okresie

Rys. 9. Raport dobowy dla rurociągów systemu odwadniania

KWK PIAST-ZIEMOWIT RUCH ZIEMOWIT
System monitorowania sieci rurociągów w wyrobiskach dołowych w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit
Raport za okres od 2023-05-12 00:00:00 do 2023-05-12 23:59:59
woda pitna

Nazwa	DN	Opis	Przepływ początkowy [m ³]	Przepływ końcowy [m ³]	Przepływ za okres [m ³]	Przepływ średni [m ³ /h]	Przepływ min [m ³ /h]	Przepływ max [m ³ /h]	P _{min} [MPa]	P _{max} [MPa]	L _{min} [mm]	L _{max} [mm]	Pusta rura
1	DN200	Poziom -147 - woda pitna szyb Piast II	161 792	163 733	1 941	80,9	74,1	88,5	0,001	0,001			
2	DN150	Poziom -147 - woda pitna szyb Hołdunów	107 671	108 951	1 280	53,3	52,6	54,0	0,001	0,002			
3	DN200	Poziom -147 - woda przemysłowa szyb Piast II	281 711	284 086	2 375	99,0	85,5	104,5	0,004	0,004			

P_{min} – minimalne ciśnienie zarejestrowane w analizowanym okresie

P_{max} – maksymalne ciśnienie zarejestrowane w analizowanym okresie

L_{min} – minimalny poziom zarejestrowany w analizowanym okresie

L_{max} – maksymalny poziom zarejestrowany w analizowanym okresie

Rys. 10. Raport dobowy dla rurociągów wody pitnej

Aplikacja pozwala na wygodną i intuicyjną konfigurację pod bieżące potrzeby użytkownika związane z wprowadzaniem zmian w instalacji. Dostęp do systemu oraz jego zaawansowanych funkcji jest możliwy tylko przez zdefiniowane konta użytkowników. Uprawnieni użytkownicy mają możliwość zmian lokalizacji punktów pomiarowych, podmiany map rejonów, określenia progów alarmowych itp. Użytkownicy o wyższym poziomie uprawnień mają prawa do administrowania innymi użytkownikami i ich uprawnieniami.

5. PODSUMOWANIE

W ramach modernizacji przepływomierzy zabudowanych na rurociągach systemu odwadniania uwzględniono zarówno czujniki przepływu wody, jak i ciśnienia. Posiadając informację dotyczącą przepływu i ciśnienia, kopalnia ma możliwość prowadzenia diagnostyki stanu pomp oraz rurociągu systemu odwadniania, np. nagły wzrost przepływu oraz spadek ciśnienia na rurociągach systemu odwadniania świadczy o jego rozszczelnieniu, sygnalizacja pustego rurociągu może oznaczać zapowietrzenie pompy odwadniającej lub nieszczelność pomiędzy punktem pomiarowym a pompą (lub samej pompy), a cofanie się wody może sygnalizować wyłączenie zasilania pompy lub uszkodzenie.

Pomiar strumienia objętości (przepływu) i ciśnienia wody słodkiej przez zabudowane czujniki umożliwia szybką lokalizację braku wody w rejonach eksploatacyjnych. W celu jak najszybszego zlokalizowania awarii w sieci ppoż. zainstalowano czujniki nie tylko na rurociągach zasilających instalacje znajdujące się w okolicy szybów, ale również w przekopach.

Lokalizacja uszkodzenia w rurociągach przeciwpożarowych w przekopach oraz ich rozgałęzieniach, które wynoszą ponad 60 km, jest czasochłonna, a w przypadku wykorzystania bieżących informacji z systemu SYSMON i zarejestrowanych danych z czujników w strategicznych lokalizacjach uległa znacznemu przyspieszeniu, co znacząco minimalizuje czas postoju ścian.

Dodatkową zaletą systemu jest ostrzeżenie użytkowników przez zadanie progów ostrzegawczych i alarmowych, co umożliwi natychmiastową reakcję na zaistniałe zdarzenia. Użytkownicy mają możliwość ustawienia progów sygnalizacji zarówno w przypadku spadku, jak i wzrostu ciśnienia i przepływu wody.

W całym zagadnieniu, jeśli mówimy o realnym zarządzaniu gospodarką wodną, istotne jest, by znać stan aktualny, czyli wiedzieć, czym zarządzamy. Na tej podstawie można wprowadzać kolejne etapy cyfryzacji z automatyzacją włącznie.

Ruch Ziemowit jest samowystarczalny w zakresie zużycia wody, zarówno do celów technologicznych, jak i bytowych. Precyzyjny monitoring rurociągów pozwala na zapewnienie parametrów instalacji dla celów technologicznych i bezpieczeństwa pożarowego. System pozwala również na wykrywanie stanów awaryjnych, nieszczelności oraz na monitoring poziomu wody w zbiornikach wyrównawczych, a pod względem hydrogeologicznym stosowany jest do bilansowania wód. Przepływomierze zainstalowane przy pompach pozwalają na faktyczny pomiar wydajności pomp, określenie ich sprawności, a tym samym pozwalają na diagnostykę wyprzedzającą przyszłe awarie oraz podjęcie działań zapobiegawczych. Dzięki zastosowaniu systemu, szybkiej diagnozie miejsca awarii oraz jej niezwłocznej naprawie zwiększyło się bezpieczeństwo załogi pracującej w wyrobiskach dołowych.

Monitoring rurociągów ppoż., technologicznych i wody pitnej może pozwolić na rezygnację z innych, mniej dokładnych metod oceny ilości wody, w tym metody pomiaru wód na podstawie czasu pracy pomp odwadniania kopalni i ich nominalnej wydajności [3]. Jednocześnie powstaje baza do bardziej efektywnego stosowania przez Ruch Ziemowit hydrotechnicznej metody ograniczania zrzutu słonych wód kopalnianych [4].

System monitoringu umożliwia podłączenie zdalnego sterowania zasuwami przewidzianymi do regulacji przepływu wody w rurociągach wody pitnej i przemysłowej. Regulacja przepływu będzie odbywała się z powierzchni i umożliwi służbom kopalnianym bezzwłoczne przekierowanie wymaganej ilości wody do zasilania instalacji ppoż. Dzięki monitorowaniu i kontroli ilości wody zmieni się system gospodarki wody pitnej i przemysłowej, kopalnia zmniejszy zużycie ilości wody pitnej, jaka aktualnie wykorzystywana jest do zasilania instalacji ppoż., oraz zwiększy wykorzystanie wody przemysłowej na powyższy cel. Uzyskana nadwyżka uzdatnionej wody może w przyszłości pozwolić, poprzez relining, zbilansować wodę kupowaną w Ruchu Piast. Działanie takie przyniesie oszczędności z tytułu zaprzestania zakupu wody przez Ruch Piast, natomiast doprowadzenie do sprzedaży wody podmiotowi zewnętrznemu powinno przynieść zyski.

System monitoringu i wizualizacji wód dołowych w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit od początku działania stał się bardzo przydatny dla załogi i pozwolił już w początkowej fazie na wskazanie przyczyn i usunięcie przekłamań w odczytach danych.

Literatura

- [1] Janik M., Augustyniak K., Domagała J., Kocurek P., Wąs G.: *Dotychczasowe doświadczenia i dalsze plany rozwoju wysoko-wydajnych kompleksów ścianowych w kopalni „Ziemowit”. Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań w zakresie monitoringu, wizualizacji, diagnostyki i sterowania dla optymalizacji procesu produkcyjnego. Monografia.* Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków 2013: 162–174.
- [2] *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych.* Dz.U. z 2017 r., poz. 1118.
- [3] Lach R., Łabaj P., Bondaruk J., Magdziorz A.: *Monitoring wód kopalnianych odprowadzanych do rzek.* Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko, Kwartalnik 2006, 1: 97–115.
- [4] Gruszczyński S., Motyka J., Mikołajczak J., Kasprzak A.: *Potrzeba wdrożenia zintegrowanego systemu monitorowania i dozowania wód kopalnianych do rzeki Wisły.* Przegląd Górniczy 2014, 8: 142–149.

mgr inż. GRZEGORZ WĄS
mgr inż. ADAM KLUSKA
mgr inż. MAREK SOBOLOWSKI
mgr inż. MARCIN GARBACZ
mgr inż. MARCIN PAŁKA
Polska Grupa Górnicza S.A.
Oddział KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit
ul. Granitowa 16, 43-155 Bieruń
{g.was@pgg.pl, a.kluska}@pgg.pl

mgr inż. MAREK WOJTAS
Elsta Elektronika Sp. z o.o.
ul. Janińska 32, 32-020 Wieliczka
marek.wojtas@elsta.tech

GRZEGORZ WOJDYŁO

Betek modern tool systems

During the transformation period, in order to secure sufficient amounts of energy and to ensure that energy systems remain stable, it will still be necessary to produce energy based on raw materials such as coal, natural gas, and oil derivatives. Hence, mining techniques are being developed to increase productivity and improve safety by eliminating workstations that pose a risk to human health and life. This is ensured by fully automated mining systems. However, even the best-designed system is only as strong as its weakest link. In most mining machines, the cutting tool that has the most impact on performance are the tangential rotary bits (picks). Fully automated mining machine systems only make sense if the working units are designed with high-quality materials used in the production of bit holders, bit sleeves, and the bits themselves. This is something that EURO-TECH PLUS Sp. z o.o. has been working on together with Betek for years

Key words: Betek GmbH & KG, EURO-TECH PLUS Sp. z o.o., tangential rotary bits (picks), sintered carbide, mining

1. INTRODUCTION

Betek GmbH & KG. [1], the company represented in Poland by Euro-Tech Plus Sp. z o.o., is one of the leading manufacturers of modern mining tool systems, such as tangential rotary bits, bit holders, bit sleeves, sintered carbide inserts (points), as well as tools for mining, tunnelling, specialised construction, road construction, rail track construction, agriculture, crushing, etc. Production takes place on automated production lines based on internal resources of raw materials. The quality management system used is described in a quality management manual based on ISO 9001 and IATF 16949. This guarantees the highest quality and repeatability of products.

The mission of Euro-Tech Plus Sp. z o.o. is to design, manufacture, and supply high-performance and reliable tangential rotary bits in order to achieve the objectives set. Our aim is to make tools that will be used in easy and hard conditions, with soft and hard surfaces, in other words, a single universal range of bits.

2. TECHNICAL CHARACTERISTICS OF BETEK BITS (PICKS)

The manufacturer has indicated the elements that affect the performance, lifespan, and reliability of cutting tools in any and all conditions. In the case of tangential rotary bits (Fig. 1), these are:

- steel grade and heat treatment,
- workmanship tolerances of the details,
- the method of connecting the sintered carbide insert to the body,
- quality, size, and alignment of tungsten carbide grains,
- the diameter, shape and length of the sintered carbide insert.

For the production of tangential rotary bit body forging, Betek uses grade I steel 34MnCrB4+Ti, for which after heat treatment the body hardness is set at 46 HRC in a tolerance of ± 3 HRC, and in special cases at the customer's request the hardness can be increased to 52 HRC. Such hardness of the body works very well with coarse-grained

sintered carbide inserts with a grain size of 4.5–6 μm measured using the linear method according to EN ISO 4499-2/2021-02 [3]. This makes it possible to extend the life of the bits in tougher conditions. Also, the use of intermediate sleeves with a hardness of 52 HRC and above in shanks allows the use of bits with an equal body hardness for the working (point) section and the shank section, which is preferred by our company. This eliminates the necessity to reduce the shank hardness of the bit body through the so-called tempering process. The different hardness values at the interface between the working (point) section and the shank section create a very large notch, which is the reason why the bits break. As a result, there is a need to mark the bits on the shank section, which remains in the holder after breaking. This is

something unknown for Betek, and such problems have never occurred. This is probably due to the fact that the bits have a uniform hardness throughout the whole cross-section of the bit. This is very important for the life of the bit and the automation of the mining process.

An extremely important element in the design of the bit is the correct technique of connecting the sintered carbide insert to the body, as well as the composition of the brazing compound itself, which is produced in-house and constitutes a Betek trade secret. The connection made in this way fills one hundred per cent of the space between the insert and the body of the bit. This is fundamental to the durability of the bit and the absence of situations in which the insert falls out during a mining operation.



Fig. 1. Examples of the bits manufactured by Betek [2]

3. ERRORS AND DEFECTS OF BITS ENCOUNTERED IN MINES

Users of bits made by other manufacturers have informed Betek representatives of incidents they face

in their daily work. These include the use of inferior steel grades, poorer quality body processing, inadequate heat treatment resulting in increased brittleness of the body, or a faulty method of connecting the point to the body of the bit (Figs. 2 and 3).



Fig. 2. Bits after one day of working from an unknown competitor

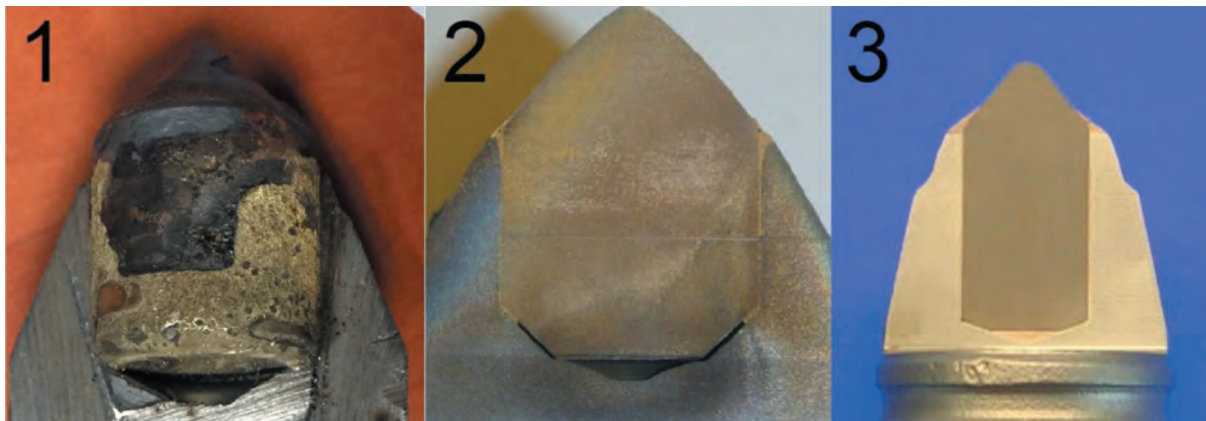


Fig. 3. Incorrect filling with solder from an unknown competitor (items 1 and 2) and an example of complete filling with solder from Betek (item 3)

Another element that makes mining ineffective is the wrong choice of sintered carbide insert. Contrary to the general belief that the larger the diameter of the insert the better, this is not confirmed in practice. The experience to date and the tests carried out show that the use of a smaller diameter insert improves the penetration of intact soil and increases the efficiency of mining. The use of a larger insert diameter in the presence of harder rocks and rocks with a higher silica content causes the body of the bit to wear faster than the point, which leads to exposure of the insert and its chipping or even for it to fall out (Fig. 4).

Also, the belief that the greater the length of the blade, the longer the bit will survive is inherently

wrong and sometimes results from the cases described above. One may ask the following question: If the machine manufacturer recommends replacing the bits when the height of its working (point) section is worn down by 12 to 15 mm, due to the geometry and mechanics of the mining operation, why use an insert that is, say, 35 or 38 mm long? Even if this bit survives longer and a new bit longer by 15 mm is inserted in the adjacent holder, which bit will wear out faster? Does it make sense? The answer is obvious. Increasing the length of the insert is not economically justifiable due to the significant share of the cost of the insert in the cost of manufacturing the bit. Betka's statistical research showed that for 1,000

worn-out bits with a 35 mm sintered carbide insert, as many as 95% of the worn-out bits still had an 8 mm insert, measured as the height of the cylindrical part

(without the cone) completely unworn. This indicates that it had been overbuilt unnecessarily, only increasing the cost of the tool.



Fig. 4. Incorrect sizing of the sintered carbide insert to the hardness of the body and mining conditions

4. HOW TO INCREASE THE LIFESPAN OF YOUR BITS?

Betek owns a unique patented technology called BeCoat, which consists of coating the working part of the bit below the insert with a layer of tungsten powder in a NiCr matrix with a hardness similar to that of

the insert itself, significantly increasing the wear resistance of the body (Fig. 5). The use of this type of bits significantly (sometimes triply) extends tool life when mining highly abrasive rock.

In general, any increase in the service life of cutting tools has an impact on improving the efficiency of the entire mining system by reducing the frequency of tool replacement.



Fig. 5. Examples of Betek bits with a protective layer in the working (point) section [2]

5. SUMMARY

The system of purchasing mining tools should not be overlooked here. Mining plants are mostly state-owned companies, where purchasing rules are based on the Public Procurement Act. Experience shows that this system is not ideal and does not promote the creation of good products but rather those that are only cheap to buy. The difficulty of establishing quickly measurable parameters for mining tools does not allow the use of appropriate evaluation criteria to balance price differences. The criteria used so far to promote the size of the sintered carbide insert (diameter and weight) in the light of the above considerations do not reflect its suitability, durability, and quality in relation to price. The only way to do this is to perform trials and test the life of the bits. Poor quality bits have often been and remain the cause of the early wear of the working units, requiring them to

be dismantled and taken to the surface for repair and reconditioning, something which is very expensive.

According to data from private firms that carry out works for mining companies which procure tools under single-source procurement procedure, the purchase of such tools at a slightly higher price (approx. 4–6%) from the cheapest supplier reduces wear of the bits by 40–70%, and in more difficult conditions even several times. This is often confirmed in work with clients.

References

- [1] Betek GmbH & KG: www.betek.de
- [2] Euro-Tech Plus Sp. z o.o.: www.eurotechplus.pl
- [3] EN ISO 4499-2/2021-02: *Cemented carbides – Metallographic evaluation of the microstructure – Part 2: Measurement of the grain size of tungsten carbides.*

GRZEGORZ WOJDYŁO, M.Sc., Eng.
Euro-Tech Plus Sp. z o.o.
Siekierzyce 1A, 59-407 Mściwojów, Poland
gw@eurotechplus.pl

GRZEGORZ WOJDYŁO

Nowoczesne systemy narzędziowe Betek

W okresie transformacji do zapewnienia odpowiedniej ilości energii i stabilności systemów energetycznych nadal będzie istnieć konieczność produkcji energii z wykorzystaniem takich surowców, jak węgiel, gaz ziemny i pochodne ropy naftowej. W związku z tym następuje rozwój technik wydobywczych, mających na celu zwiększenie wydajności i podniesienie bezpieczeństwa przez likwidację stanowisk pracy stwarzających zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego. Zapewniają to w pełni zautomatyzowane systemy wydobywcze. Jednak każdy choćby najlepiej zaprojektowany system jest tak mocny jak jego najsłabsze ogniwo. W większości maszyn urabiających narzędziem skrawającym mającym wpływ na wydajność są noże styczno-obrotowe. W pełni zautomatyzowane systemy maszyn urabiających mają sens tylko wtedy, gdy w konstrukcji organów urabiających zostaną zastosowane wysokiej jakości materiały użyte do produkcji obsad, tulei nożowych, a także samych noży. Jest to temat, nad którym firma Euro-Tech Plus Sp. z o.o. wspólnie z firmą Betek pracuje od lat.

Słowa kluczowe: *Betek GmbH & Co. KG, Euro-Tech Plus Sp. z o.o., noże styczno-obrotowe, węgliki spiekane, górnictwo*

1. WPROWADZENIE

Przedsiębiorstwo Betek GmbH & Co. KG [1], której przedstawicielem na Polskę jest firma Euro-Tech Plus Sp. z o.o. z siedzibą w Siekierzycach [2], jest jednym z czołowych producentów nowoczesnych systemów narzędziowych do urabiania, takich jak: noże styczno-obrotowe, obsady nożowe, tuleje nożowe, wkładki (ostrza) z węglików spiekanych, jak również narzędzi dla górnictwa, drążenia tuneli, budownictwa specjalistycznego, drogownictwa, kolejnictwa, rolnictwa, kruszarek itp. Produkcja odbywa się na automatycznych liniach produkcyjnych i jest oparta na własnych zasobach surowców. Praktykowany system zarządzania jakością opisany jest w księdze zarządzania jakością na podstawie norm ISO 9001 oraz IATF 16949. Gwarantuje to najwyższą jakość i powtarzalność produktów.

Zadaniem firmy Euro-Tech Plus Sp. z o.o. jest zaprojektowanie, wyprodukowanie i dostarczenie wysokowydajnych i niezawodnych noży styczno-obrotowych, które pozwolą zrealizować stawiane zadania. Naszym celem jest produkcja narzędzi, które będą eksploatowane w lekkich i ciężkich warunkach, w miękkim

i twardym, czyli jeden uniwersalny gatunkowo typoszerzeg noży.

2. CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA NOŻY BETEK

Producent wskazuje na elementy, które mają wpływ na wydajność, żywotność i niezawodność w każdych warunkach narzędzi urabiających. W przypadku noży styczno-obrotowych (rys. 1) są to:

- gatunek stali i obróbka cieplna,
- tolerancje wykonania detali,
- sposób łączenia wkładki z węglików spiekanych z korpusem,
- jakość, wielkość i wyrównanie ziaren wolframu,
- średnica, kształt i długość wkładki z węglików spiekanych.

Do produkcji odkuwek korpusów noży styczno-obrotowych firma Betek stosuje stal 34MnCrB4+Ti w I gatunku, dla której po obróbce cieplnej twardość korpusu ustalona jest na 46 HRC w tolerancji ± 3 HRC,

a w szczególnych przypadkach na życzenie odbiorcy twardość może zostać podwyższona do 52 HRC. Taka twardość korpusu bardzo dobrze współpracuje z wkładkami z węglików spiekanych o strukturze gruboziarnistej o wielkości ziarna 4,5–6 μm mierzonej metodą liniową wg normy PN-EN ISO 4499-2/2021-02 [3]. Pozwala to na wydłużenie żywotności noży w trudniejszych warunkach. Również stosowanie w uchwytach nożowych tulei pośrednich o twardości 52 HRC i powyżej pozwala na stosowanie noży o jednakowej twardości korpusu dla części roboczej i chwytowej, co jest preferowane przez naszą firmę. Odpada więc konieczność zmniejszania twardości chwytowej korpusu noża poprzez proces tzw. odpuszczania. Różne wartości twardości na styku części roboczej i chwytowej stwarzają bardzo duży karb, który jest powodem łamania się noży, a co za tym idzie konieczności znako-

wania noży na części chwytowej, która po złamaniu pozostaje w obsadzie. Dla firmy Betek jest to rzecz nieznaną i nigdy nie wystąpiły takie problemy. Zapewne jest to spowodowane tym, że noże mają jednakową twardość w całym przekroju. Jest to bardzo istotne dla żywotności noża oraz automatyzacji procesu urabiania.

Niezwykle ważnym elementem konstrukcji noża jest odpowiednia technika łączenia wkładki z węglików spiekanych z korpusem, jak również sam skład mieszanki lutowniczej, która jest wytwarzana na miejscu i stanowi tajemnicę firmy Betek. Wykonywane tym sposobem połączenie w stu procentach wypełnia przestrzeń między wkładką i korpusem noża. Ma to fundamentalne znaczenie dla trwałości noża oraz pomaga zapobiec sytuacji, w których dochodzi do wypadania wkładki w trakcie urabiania.



Rys. 1. Przykładowe noże firmy Betek [2]

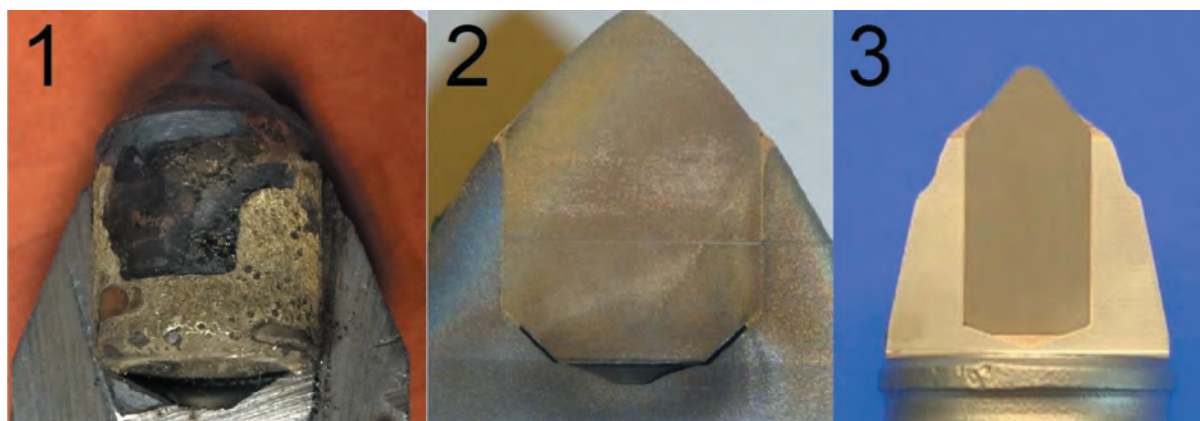
3. BŁĘDY I WADY NOŻY UŻYWANYCH W KOPALNIACH

Użytkownicy noży innych producentów informują przedstawicieli firmy Betek o przypadkach, z jakimi

spotykają się w codziennej pracy. Stosowanie gorszych gatunków stali, słabszej jakości obróbki korpusu, nieodpowiedniej obróbki cieplnej zwiększającej kruchość korpusu czy też wadliwy sposób łączenia ostrza z korpusem noża (rys. 2 i 3).



Rys. 2. Noże po jednej dobie urabiania nieznannej konkurencyjnej firmy



Rys. 3. Nieprawidłowe wypełnienie lutem nieznannej konkurencyjnej firmy (fot. 1 i 2) oraz przykład całkowitego wypełnienia lutem firmy Betek (fot. 3)

Kolejnym elementem, który wpływa na brak efektywnego urabiania, jest zły dobór wkładki z węglików spiekanych. Ogólne przekonanie, że im większa średnica wkładki, tym lepiej, nie znajduje potwierdzenia w praktyce. Dotychczasowe doświadczenie oraz przeprowadzone testy pokazują, że zastosowanie wkładki o mniejszej średnicy wpływa na głębszą penetrację calizny i zwiększa efektywność jej urabiania. Stosowanie większej średnicy wkładki w przypadku występowania twardszych skał i skał o większej zawartości krzemionki powoduje szybsze ścieranie się korpusu noża niż ostrza, co doprowadza do odsłonięcia wkładki i jej wykruszenia lub wręcz wypadnięcia (rys. 4). Również przekonanie, że im większa długość wkład-

ki, tym dłużej nóż wytrzyma, jest z założenia błędne i wynika czasem z wyżej opisanych przypadków. Można zadać pytanie: Jeżeli producent maszyny zaleca wymianę noży przy zużyciu od 12 mm do 15 mm wysokości jego części roboczej, ze względu na geometrię i mechanikę urabiania, to po co stosować wkładkę o długości np. 35 mm czy 38 mm? Jeżeli nawet ten nóż dłużej wytrzyma, a do sąsiedniego uchwytu założy się nowy nóż, dłuższy o 15 mm, to który nóż szybciej się zużyje? Odpowiedź nasuwa się sama. Zwiększenie długości wkładki nie znajduje uzasadnienia pod względem ekonomicznym z uwagi na znaczny udział ceny wkładki w koszcie wytworzenia noża. Badania statystyczne firmy Betek wykazały, że w przypadku

1000 zużytych noży z wkładką z węglików spiekanych o długości 35 mm, aż 95% zużytych noży nadal miało niezaużyte 8 mm wkładki, mierzonej jako wysokość

części cylindrycznej (bez stożka). Co wskazuje, że została zabudowana bez potrzeby i tylko zwiększyło to koszt narzędzia.



Rys. 4. Nieprawidłowe dobranie wielkości wkładki z węglików spiekanych do twardości korpusu oraz do warunków górniczych

4. JAK ZWIĘKSZYĆ OKRES EKSPLOATACJI NOŻA?

Firma Betek jest właścicielem unikatowej opatentowanej technologii BeCoat polegającej na pokrywaniu części roboczej noża, poniżej wkładki, warstwą proszku wolframu w osnowie NiCr o twardości zbliżonej do twardości samej wkładki, podnosząc w znacz-

nym stopniu odporność korpusu na ścieranie (rys. 5). Zastosowanie tego typu noży znacząco (niekiedy trzykrotnie) wydłuża żywotność przy urabianiu skał mocno abrazyjnych.

Generalnie każde wydłużenie żywotności narzędzi urabiających ma wpływ na zwiększanie wydajności całego systemu wydobywczego poprzez zmniejszenie częstotliwości ich wymiany.



Rys. 5. Przykładowe noże firmy Betek z warstwą ochronną na części roboczej [2]

5. PODSUMOWANIE

Nie sposób nie wspomnieć tutaj o systemie zakupów narzędzi urabiających. Zakłady wydobywcze są w większości spółkami Skarbu Państwa, gdzie obowiązują zasady zakupów zgodne z ustawą – prawo zamówień publicznych. Z doświadczenia wynika, że system ten nie jest idealny i nie promuje produktów dobrych, lecz produkty tanie tylko w zakupie. Trudność w ustaleniu szybko mierzalnych parametrów dla narzędzi urabiających nie pozwala na stosowanie odpowiednich kryteriów oceny równoważących różnice ceny. Dotychczasowe kryteria promujące wielkość wkładki z węglików spiekanych (średnicę i ciężar) w świetle powyższych rozważań nie świadczą o jej przydatności, trwałości i jakości w stosunku do ceny. Jedynym sposobem jest wykonanie prób i sprawdzenie żywotności noży. Słabe jakościowo noże niejednokrotnie były i są przyczyną przedwczesnego zużycia się organów urabiających z koniecznością ich demon-

tażu i wywozu na powierzchnię w celu naprawy i regeneracji, co jest bardzo kosztowne.

Na bazie danych z prywatnych firm, prowadzących roboty na rzecz spółek wydobywczych, które prowadzą zakupy narzędzi z wolnej ręki wynika, że ich zakup w cenie nieznacznie wyższej (około 4–6%) od najtańszego dostawcy skutkuje zmniejszeniem zużycia noży 40–70%, a przy trudniejszych warunkach nawet kilkukrotnie. Jest to często potwierdzane w pracy z klientami.

Literatura

- [1] Betek GmbH & KG: www.betek.de.
- [2] Euro-Tech Plus Sp. z o.o.: www.eurotechplus.pl.
- [3] PN-EN ISO 4499-2/2021-02: *Węgliki spiekane – Metalograficzna ocena mikrostruktury – Część 2: Pomiar wielkości ziarna węglików wolframu.*

mgr inż. GRZEGORZ WOJDYŁO
Euro-Tech Plus Sp. z o.o.
Siekierzyce 1A, 59-407 Mściwojów
gw@eurotechplus.pl

