

3 (547) 2021

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

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

**AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA I ENERGOTECHNIKA
INŻYNIERIA MECHANICZNA
INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA
INŻYNIERIA ŚRODOWISKA, GÓRNICTWO I ENERGETYKA
INŻYNIERIA MATERIAŁOWA
NAUKI O ZARZĄDZANIU I JAKOŚCI**

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 Cieplik, AGH University of Science and Technology, Kraków (Poland)

Secretary of the Scientific Board/Sekretarz Rady Naukowej:
Krzysztof Kotwica, AGH University of Science and Technology, Kraków (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)
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 Wojaczek (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 2021, 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
<http://www.wydawnictwo.agh.edu.pl>

Table of Contents

Rajmund Horst, Jan Zdziebko

Mechanization and automation in the production processes of Polska Grupa Górnicza S.A.	7
Mechanizacja oraz automatyzacja w procesach produkcyjnych Polskiej Grupy Górniczej S.A.	12

Krzysztof Ćwiertnia

A newly patented method for measuring the actual forces of hoist vessel impact on shaft reinforcement	17
Nowa opatentowana metoda pomiaru rzeczywistych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe	24

Rafał Pasek, Krzysztof Rozwadowski, Zygmunt Zuski

The modernization of the main fan station of the “Wilson” shaft in KS “Wieliczka” S.A.	31
Modernizacja stacji wentylatorów głównych szybu „Wilson” w KS „Wieliczka” S.A.	41

Wojciech Temel, Ireneusz Czajka, Tomasz Lach, Łukasz Halama

Design of a station for welding parts of a car exhaust system	51
Projekt stanowiska do spawania elementów tłumika samochodowego	56

ABSTRACTS

RAJMUND HORST
JAN ZDZIEBKO

MECHANIZATION AND AUTOMATION IN THE PRODUCTION PROCESSES OF POLSKA GRUPA GÓRNICZA S.A.

In Polska Grupa Górnicza S.A., actions are still being taken to mechanize and automate work, striving to increase production efficiency and reduce the physical burden on miners. Mechanization of works covers further areas which enable the process of automation of underground mining processes. The article presents the leading solutions in the field of mechanization and automation in mine transport, the mechanization of sharing and auxiliary works, and the remote control of belt conveyors and main switchboards. The article also contains a description of the work carried out which support automation processes: activities in the standardization of the equipment of longwall systems, pressure monitoring of powered supports, wireless communication, electronic identification of production assets, and the visualization of the operating parameters of machines and devices.

KRZYSZTOF ĆWIERTNIA

A NEWLY PATENTED METHOD FOR MEASURING THE ACTUAL FORCES OF HOIST VESSEL IMPACT ON SHAFT REINFORCEMENT

Observations and conclusions regarding a new method of measuring shaft hoist vessel forces acting on the structure of shaft reinforcement are presented in the article. The idea behind this method is the direct absorption of the forces resulting from the impact of the measuring rollers (front and two side rollers) attached to the vessel by the guide and transferring them to the measuring elements, i.e. through a hydraulic actuator, pressure transducer and recorder. The recorder also receives a signal from an optical sensor, which determines the position of the vessel in the shaft. The method allows measuring the actual values of hoist vessel forces acting on shaft reinforcement, without any simplifications, theoretical assumptions and complicated mathematical functions.

RAFAŁ PASEK
KRZYSZTOF ROZWADOWSKI
ZYGMENT ZUSKI

THE MODERNIZATION OF THE MAIN FAN STATION OF THE "WILSON" SHAFT IN KS "WIELICZKA" S.A.

This article discusses the modernization of the Wilson shaft's main fan station in KS "Wieliczka" S.A., which included: the station building, main fans, the 110 kW electric motors to drive the fans, 3/0.4 kV transformers, 3 kV "Wilson" switchgear, 0.4 kV main switchgear and the communication systems used to control the station.

WOJCIECH TEMEL
IRENEUSZ CZAJKA
TOMASZ LACH
ŁUKASZ HALAMA

DESIGN OF A STATION FOR WELDING PARTS OF A CAR EXHAUST SYSTEM

Making large batches of repeatable components is a challenge for the manual welding process. The solution to these problems is

STRESZCZENIA

RAJMUND HORST
JAN ZDZIEBKO

MECHANIZACJA ORAZ AUTOMATYZACJA W PROCESACH PRODUKCYJNYCH POLSKIEJ GRUPY GÓRNICZEJ S.A.

W Polskiej Grupie Górniczej S.A. w dalszym ciągu podejmowane są działania na rzecz mechanizacji i automatyzacji prac dążące do wzrostu efektywności produkcji oraz zmniejszenia obciążenia fizycznego górników. Mechanizacja prac obejmuje kolejne obszary, umożliwiając automatyzację procesów eksploatacji podziemnej. W artykule przedstawiono wiodące rozwiązania w zakresie mechanizacji i automatyzacji w obszarze transportu kopalnianego, mechanizacji robót udostępniających i pomocniczych, zdalnego sterowania przenośnikami taśmowymi oraz rozdzielniami głównymi. Artykuł zawiera również opis realizowanych prac sprzyjających procesom automatyzacji: działania w obszarze standaryzacji wyposażenia kompleksów ścianowych, monitoring ciśnienia sekcji obudów zmechanizowanych, łączność bezprzewodową, elektroniczną identyfikację majątku produkcyjnego, wizualizację parametrów pracy maszyn i urządzeń.

KRZYSZTOF ĆWIERTNIA

NOWA OPATENTOWANA METODA POMIARU RZECZYWISTYCH SIŁ ODDZIAŁYWANIA NACZYŃ WYCIĄGOWYCH NA ZBROJENIE SZYBOWE

W artykule przedstawiono wnioski i spostrzeżenia wynikające z pomiarów sił oddziaływania naczyń wyciągowych na konstrukcję zbrojenia szybu wykonanych nową metodą pomiarową. Ideą tej metody jest bezpośrednie przejęcie sił wynikających z uderzenia zamocowanych do naczynia rolek pomiarowych (czołowej i dwóch bocznych) w prowadnik i przeniesienie tych sił na elementy pomiarowe, tj. poprzez siłownik hydrauliczny, przetwornik ciśnienia i rejestrator. Do rejestratora przekazywany jest także sygnał z optycznego czujnika, określającego położenie naczynia w szybie. Metoda ta pozwala na pomiar wartości rzeczywistych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybu, bez jakichkolwiek uproszczeń, teoretycznych założeń i skomplikowanych funkcji matematycznych.

RAFAŁ PASEK
KRZYSZTOF ROZWADOWSKI
ZYGMENT ZUSKI

MODERNIZACJA STACJI WENTYLATORÓW GŁÓWNYCH SZYBU „WILSON” W KS „WIELICZKA” S.A.

Artykuł omawia modernizację stacji wentylatorów głównych szybu Wilson w KS „Wieliczka” S.A., która objęła: budynek stacji, wentylatory główne, silniki elektryczne o mocy 110 kW do napędu wentylatorów, transformatory 3/0,4 kV, rozdzielnię 3 kV „Wilson”, rozdzielnię główną 0,4 kV oraz systemy komunikacyjne do sterowania stacją.

WOJCIECH TEMEL
IRENEUSZ CZAJKA
TOMASZ LACH
ŁUKASZ HALAMA

PROJEKT STANOWISKA DO SPAWANIA ELEMENTÓW TŁUMIKA SAMOCHODOWEGO

Wykonywanie dużych partii powtarzających się elementów stanowi wyzwanie dla ręcznego procesu spawania. Rozwiązaniem tych

automation using machines with two- or multi-axis systems. The design of a station for welding elements of car mufflers focuses on the automation of one of the processes at Ulter-Sport Sp. z o.o. through the use of a prototype five-axis numerically controlled station. The use of this type of solution provides the operator with the opportunity to quickly develop new welding cycles, which are repeatedly and accurately mapped using a ball system and stepper motors. The spacious working area and large movement capabilities of the torch allow the machine to adapt to perform other welding tasks.

problemów jest automatyzacja z wykorzystaniem maszyn o układach dwu- lub wieloosiowych. Projekt stanowiska do spawania elementów tłumika samochodowego skupia się na automatyzacji jednego z procesów produkcji w firmie Ulter-Sport Sp. z o.o. dzięki wykorzystaniu prototypowego pięcioosiowego stanowiska sterowanego numerycznie. Zastosowanie tego rodzaju rozwiązania daje operatorowi możliwość szybkiego opracowania nowych cykli spawania, które za pomocą układu śrub kulowych oraz silników krokowych są wielokrotnie i dokładnie odtwarzane. Przestronne pole robocze oraz duże możliwości ruchu głowicy spawalniczej pozwalają na adaptację maszyny do wykonywania innych zadań bazujących na spawaniu.

RAJMUND HORST
JAN ZDZIEBKO

Mechanization and automation in the production processes of Polska Grupa Górnicza S.A.

In Polska Grupa Górnicza S.A., actions are still being taken to mechanize and automate work, striving to increase production efficiency and reduce the physical burden on miners. Mechanization of works covers further areas which enable the process of automation of underground mining processes. The article presents the leading solutions in the field of mechanization and automation in mine transport, the mechanization of sharing and auxiliary works, and the remote control of belt conveyors and main switchboards.

The article also contains a description of the work carried out which support automation processes: activities in the standardization of the equipment of longwall systems, pressure monitoring of powered supports, wireless communication, electronic identification of production assets, and the visualization of the operating parameters of machines and devices.

Key words: *hard coal production, mining machines, mechanization, automation*

1. INTRODUCTION

Due to the increasing challenges faced by economic entities in the hard coal mining industry, technical support is required to achieve such solutions that guarantee the achievement of the assumed technical and economic indicators by the user. The optimization of production costs is one of the key tasks faced by managing and supervising hard coal mine operations. The constant search for the best solution to achieve the set goal requires the management of each level to use effective methods and means of operation. Mechanization, automation, and computerization of the production process ensure the effective implementation of activities that will enable the planned organizational and economic effects to be achieved at the mining operation stage [1]. The control and monitoring systems, adapted and learned, are increasingly widely used in industrial practice. The techniques of the Internet of Things (IoT) and

direct communication machine to machine (M2M) increasingly affect the structure and functionality of control systems used, shaping the idea of Industry 4.0. IoT-compatible control systems use intelligent communication networks, often with a high degree of complexity, connecting individual components, modules, actuators and sensors [2].

Polska Grupa Górnicza S.A. operates in increasingly difficult mining and geological conditions which require the use of new technical solutions to ensure the safety of employees while increasing the efficiency of the coal mining process.

Observing the modern industry, one can see yet another factor determining the orientation of enterprises to increase the degree of automation and mechanization, namely the growing personnel costs of employees. This encourages the effective use of their working time by relieving the workload in hazardous, monotonous and repetitive works as well as in simpler ones.

This all encourages investing in learning how to use modern machines and devices and adding staff equipped with knowledge and skills which are not only related to mining, electrical engineering and machine construction. Currently, the required competencies relate to fields such as: electronics, information technology, automation, telecommunications, robotics or mechatronics [3].

The activities of PGG S.A. aimed at improving the production process through mechanization and automation focus on the following areas:

- mechanization:
 - mine transport,
 - release and preparation works;
- building an environment conducive to process automation:
 - standardization of longwall equipment,
 - monitored pressures in powered support sections,
 - Energomechanical Supervision Center,
 - visualization and control of production processes,
 - wireless connectivity;
- automation:
 - central haulage control,
 - visualization and control of switchgear.

2. THE AREAS OF MECHANIZATION AT PGG

2.1. Mine transport

In general, transport is a set of activities consisting of moving goods in time and space using appropriate means of transport. Transport optimization is an important factor in the mine's production process; therefore, the tasks of managers include finding solutions to such problems as:

- optimization of transport routes,
- minimization of transport costs,
- selection of the appropriate type of transport,
- ensuring the continuity of the production process, minimizing disruptions in the supply process, timely and reliable material deliveries.

Mining transport is inextricably linked with the exploitation process. Moreover, we deal with the transport of materials, machines, devices, output and,

above all, people. This can be divided into three chains:

- horizontal transport on the surface, including loading of necessary materials and equipment in warehouses and their transport to the pit,
- vertical transport (pulling) through a mining shaft,
- horizontal transport from the pit at the bottom of the mine to the mining face and to other regions participating in the deposit exploitation [4].

2.1.1. Transport of machines, devices and materials

In Polska Grupa Górnicza S.A., underground transport along the main transport roads and to face-walls with built-up routes is carried out by means of suspended railways. Moreover, shaft and departmental transport are supported with shunting tractors, with Polska Grupa Górnicza S.A. using 54 manoeuvring tractors in comparison to 28 in 2017.

2.1.2. Crew transport

Work optimization is closely related to the implementation of numerous logistical advancements in its various aspects affecting improvement of the production process efficiency. Many of them allow the saving of time and energy expended by employees having to reach remote areas. Therefore, efforts are being made to modernize belt conveyors in the rapid transport of workers to and from distant workplaces. Currently, there are 28 conveyors adapted for the transport of people in the mines of PGG S.A., compared with 18 in 2019.

2.2. Release and preparation works

The size of the preparatory and access works has a significant impact on the mining capacity of individual hard coal mines. Ensuring adequate advance in face works is an important factor in the entire production process. Of particular importance from the economic and technical point of view is the performance of the release works without excessive advance and yet with great daily progress. For this it is necessary to carry out works with the use of roadheaders at optimal power for the given cross-sections of the excavation and the parameters of the excavated rocks.

Currently, gallery drilling at PGG S.A. is carried out in 85% with the use of roadheaders, while the remaining 15% of the work is carried out with the use of blasting agents. In 2017, this ratio was 78% and 22%, respectively. Depending on the size of the roadway support in which the excavation is to be drilled and the geological structure of the road in which the roadheader will be processed, the Company uses four classes of roadheaders as presented in Table 1.

Floor loaders are used when drilling the corridor workings with the shooting technique, where removing fragments of gangue and coal from the sidewalls and the ceiling is required. These are self-propelled machines based on a tracked chassis with an electro-hydraulic drive, in which all control functions are performed hydraulically. Currently, PGG S.A. uses 49 floor loaders in access and support works.

Table 1
Percentage of individual classes of roadheaders working at PGG S.A.

Roadheaders class by PGG	Engine power in the cutting head [kW]	Percentage [%]
A	min. 100	41
B	min. 130	33
C	min. 150	16
D	min. 200	10

An essential element in ensuring the continuity of the mine's production process is maintaining the already existing corridor workings in a technical condition, guaranteeing the required dimensions which will maintain appropriate airflow and communication for the transport of ore and materials. These works are performed using the kinds of floor loaders commonly used in Polish coal mining. They are used for floor collection, loading works in pavements, and pulling up materials in various places of the mining infrastructure [5].

Along with the progress, manufacturers provide more advanced solutions in face works using wheel drives. PGG S.A. uses two mining machines on a wheeled chassis with a combustion engine under the trade name ROBO-KOP. The mobile multi-purpose truck is used in corridor faces that are not equipped with electrical or pneumatic installations and used, among others, for transporting material and output.

3. BUILDING AN ENVIRONMENT CONDUCTIVE TO PROCESS AUTOMATION

3.1. Standardization of the equipment of longwall systems

Polska Grupa Górnicza SA, on the basis of through its Zakład Remontowo-Produkcyjny, is implementing the standardization process of mechanized longwall supports, as well as for longwall face scraper conveyors and under-wall scraper conveyors.

3.1.1. Standardization of mechanized longwall supports

The standardization process of mechanized longwall supports is being carried out with regard to the structure of the support components and power hydraulics.

Zakład Remontowo-Produkcyjny PGG S.A. (Repair and Production Plant), based on the analysis of the needs of the mines for mechanized longwall supports, has developed three main geometric ranges of the supports' operation:

- 1.2–2.4 m,
- 1.5–3.5 m,
- 1.9–4.1 m.

The above division of the range covers 90% of the Company's needs.

3.1.2. Standardization of longwall and under-wall scraper conveyors

The standardization process of the longwall and under-wall scraper conveyors is carried out in relation to the structure of the gutters of the scraper conveyors.

Based on the property status analysis and the available technical solutions, two standards for longwall and under-wall scraper conveyors were defined, and the geometry parameters of the gutter were used in them.

Longwall and under-wall scraper conveyors:

- class 800,
- class 1000.

3.2. Monitored pressures in powered support sections

The deteriorating operating conditions make it difficult to use machines and devices in longwall systems

in a fully automated system. This forces the search for solutions that will guarantee the achievement of the assumed production rates while maintaining the maximum safety of the crew and the effective use of the machines during operation. In order to ensure the required safety in the operation process, it is necessary to secure the newly selected spaces and to ensure the proper support of the ceiling in the longwall workings. These requirements are fulfilled at PGG S.A. by using powered supports with a pressure monitoring system.

At the PGG S.A. mines, 22 pressure monitoring systems are used for monitoring the pressure in the piston cavities of the powered supports in both passive and active versions.

The passive system enables the visualization of pressure in the supports of the powered support, and a graphic and tabular form of the pressure changes in individual sections is presented based on these data. Meanwhile, an active system, like the passive one, allows one to fully visualize the pressure in the section stands and to automatically increase the pressure to the assumed value.

3.3. Ergomechanical Supervision Centers. Visualization and control of production processes

The proper operation of machines and devices requires central supervision, which is carried out at PGG S.A. through the Ergomechanical Dispatching Centers on monitors and large-format synoptic boards on which information is presented graphically in the form of conventional pictograms, unit symbols, and using mostly backlit and digital displays.

Monitoring the course of the production process in a mine is one of the most important ways of obtaining information about events occurring in this process. This issue is significant concerning machines and devices operating in a given or automated mode, for which monitoring, registration, and subsequent reproduction of the actual parameters of the production process are vital. These data can be obtained directly from measuring devices, control devices, steering devices, or measurements performed by specialized mining services. Information from the monitoring of production processes is processed and archived directly at the collection point. Some of them are also archived in the domain programs of the SZYK 2 system and in the data, warehouse supervised

by Zakład Informatyki i Telekomunikacji PGG S.A. (Department of Information Technology and Telecommunications).

3.4. Wireless connectivity

The mining of individual coal seams is increasingly deeper, with mining areas located at greater distances from the shafts. Such conditions make it necessary to look for and apply modern solutions in connection and communication in mines. The types of connection used so far, including in the mine underground railway – trolafeon connection using an electric traction slide wire, shaft connection using a hoist line or wired systems used in mine rescue are being systematically replaced by more modern wireless systems.

In underground transport systems, ensuring the connection between the operators of means of transport and the keeper is crucial to ensuring effective transport and the safety of people on the routes of transport. When conducting a rescue operation, it is necessary to ensure the people managing the operation at various levels and the rescue teams. In such situations, a reliable connection system guarantees effectiveness and safety.

New available solutions in the field of wireless connection increase the level of safety and facilitate and accelerate the work of mining crews, thus increasing their efficiency. PGG S.A. mines have underground and shaft wireless connection systems of nearly 113 km length based on radiating cables or antennas with access points (only 89 km in 2019). Due to the considerable pressure on the high degree of reliability of the designed devices, the currently manufactured devices are characterized by high durability and resistance to external conditions.

4. AUTOMATION AREAS AT PGG S.A.

4.1. Central haulage control

In recent years, the departure from dispersed control systems of belt conveyors in favour of systems for central haulage management has continued. Modern monitoring and control systems for mine operation in the vast number of cases take into account the operation of conveyors in terms of fluidity of the haulage, as well as their start-up and braking. Currently, the

Company's mines use over 100 belt conveyors using remote or central control (66 conveyors in 2019).

4.2. Visualization and control of switchgears

At PGG S.A. the remote control of switchgear is still being implemented in order to ensure the desired results are attained. The only limitation in this aspect are related to implementation cost. Currently, there are over 49 switching stations with remote control in use.

5. CONCLUSIONS

Thanks to the mechanization and automation of production processes, combined with data processing, exchange and archiving, Polska Grupa Górnicza S.A. has become an enterprise using proven modern solutions.

It should be stated that increasing the level of automation and mechanization in hard coal production is necessary for maintaining the competitiveness of underground mining.

The key factors determining automation include ensuring an increase in production efficiency and the environment for underground mining – environmental conditions of natural hazards, legal restrictions on the adaptation of devices from other industries. The current personnel changes are of great importance. The declining human potential, primarily related to mining and knowing its specific nature, and a significant increase of the labour costs, generate greater emphasis on the implementation of new solutions, but at the same time, causes difficulties related to recruiting appropriately qualified employees.

In addition, the unique nature of mines and their threats determines the purposeful and individual approach to solutions that may be used in mining, a factor which may hinder and certainly slow down the modernization process of the broadly understood machinery park in hard coal mines.

According to one of the leading consulting companies, the market of automated technologies is growing at a rate of over 40% annually, and by 2027 it is expected to reach a value of over USD 25 billion. PGG S.A. aims to exploit the potential of automation but it is clearly discernible that the pace of the creation of proven modern mining industrial solutions is insufficient. This is undoubtedly a huge challenge for scientific-research units and managers responsible for the improvement of production and logistics processes in the mining industry.

References

- [1] Kicki J., Jarosz J., Sobczyk E., Saługa P., Dyczko A. (red. nauk.): *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2005*. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2005 (Sympozja i Konferencje nr 64).
- [2] Stankiewicz K., Jasiulek D., Jagoda J., Jura J.: *Rozproszone systemy sterowania maszyn i urządzeń górniczych*. Maszyny Górnicze 2016, 3: 54–66.
- [3] Gierlotka S.: *Rozwój elektryfikacji kopalń węgla kamiennego*. Hereditas Minariorum 2016, 3: 225–236.
- [4] Fuksa D., Wilkosz A.: *Organizacja transportu poziomego w systemie logistycznym kopalni węgla kamiennego*. Logistyka 2015, 4: 8850–8855.
- [5] Konsek R., Deja P.: *Nowe rozwiązanie układu zasilającego sterującego górniczej maszyny mobilnej*. Maszyny Górnicze 2018, 4: 67–77.

RAJMUND HORST, M.Sc., Eng.

JAN ZDZIEBKO, M.Sc., Eng.

Polska Grupa Górnicza S.A.

ul. Powstańców 30, 40-039 Katowice, Poland

j.zdziebko@pgg.pl

RAJMUND HORST
JAN ZDZIEBKO

Mechanizacja oraz automatyzacja w procesach produkcyjnych Polskiej Grupy Górniczej S.A.

W Polskiej Grupie Górniczej S.A. w dalszym ciągu podejmowane są działania na rzecz mechanizacji i automatyzacji prac dążące do wzrostu efektywności produkcji oraz zmniejszenia obciążenia fizycznego górników. Mechanizacja prac obejmuje kolejne obszary, umożliwiając proces automatyzacji procesów eksploatacji podziemnej. W artykule przedstawiono wiodące obszary rozwiązań w zakresie mechanizacji i automatyzacji w obszarze transportu kopalnianego, mechanizacji robót udostępniających i pomocniczych, zdalnego sterowania przenośnikami taśmowymi oraz rozdzielniami głównymi. Artykuł zawiera również opis realizowanych prac sprzyjających procesom automatyzacji: działania w obszarze standaryzacji wyposażenia kompleksów ścianowych, monitoring ciśnienia sekcji obudów zmechanizowanych, łączność bezprzewodową, elektroniczną identyfikację majątku produkcyjnego, wizualizacje parametrów pracy maszyn i urządzeń.

Słowa kluczowe: produkcja węgla kamiennego, maszyny górnicze, mechanizacja, automatyzacja

1. WSTĘP

Coraz większe wyzwania, przed jakimi stają podmioty gospodarcze w górnictwie węgla kamiennego, spowodowały, że wymagane jest wsparcie techniczne pozwalające osiągnąć takie rozwiązania, które dają użytkownikowi gwarancję uzyskania założonych wskaźników techniczno-ekonomicznych. Optymalizacja kosztów produkcji jest jednym z kluczowych zadań stawianych przed osobami kierownictwa oraz dozoru ruchu kopalni węgla kamiennego. Ciągłe poszukiwanie najkorzystniejszego rozwiązania do osiągnięcia założonego celu wymaga od kierownictwa każdego szczebla stosowania skutecznych metod i środków działania. Mechanizacja, automatyzacja oraz informatyzacja procesu produkcyjnego pozwala zapewnić skuteczną realizację działań, które umożliwią uzyskanie zaplanowanych efektów organizacyjnych i ekonomicznych na etapie prowadzenia eksploatacji górniczej [1].

Systemy sterowania i monitoringu, zdolne do adaptacji i uczenia się, są coraz szerzej stosowane w praktyce przemysłowej. Techniki internetu rzeczy (IoT – *Internet of Things*) oraz komunikacji bezpośredniej maszyna do maszyny (M2M – *Machine to Machine*) coraz mocniej wpływają na strukturę i funkcjonalność systemów sterowania stosowanych w maszynach, kształtując przy tym ideę Przemysłu 4.0 (Industry 4.0). Systemy sterowania zgodne z IoT wykorzystują inteligentne sieci komunikacyjne, często o dużym stopniu komplikacji, łącząc poszczególne podzespoły, moduły, elementy wykonawcze i sensory [2].

Polska Grupa Górnicza S.A. prowadzi eksploatację w coraz trudniejszych warunkach górniczo-geologicznych, które wymagają stosowania nowych rozwiązań technicznych pozwalających zapewnić bezpieczeństwo pracowników przy jednoczesnym zwiększeniu efektywności procesu wydobywania węgla.

Obserwując współczesny przemysł, można dostrzec jeszcze inny czynnik determinujący ukierunkowanie

przedsiębiorstw na zwiększenie stopnia automatyzacji i mechanizacji. Jest to wzrost kosztów osobowych pracowników, co wymusza efektywne wykorzystanie ich czasu pracy przez odciążanie w pracach niebezpiecznych, monotonnych i powtarzających się oraz w pracach prostych.

Wymusza to inwestowanie w naukę obsługi nowoczesnych maszyn i urządzeń oraz rozszerzenie kadr o pracowników posiadających wiedzę i umiejętności związane nie tylko z górnictwem, elektrotechniką i budową maszyn. Aktualnie pożądane kompetencje dotyczą takich dziedzin nauki, jak: elektronika, informatyka, automatyka, telekomunikacja, robotyka czy mechatronika [3].

Działania PGG S.A. mające na celu usprawnienie procesu produkcji poprzez mechanizację i automatyzację koncentrują się w następujących obszarach:

- mechanizacja:
 - transport kopalniany,
 - roboty udostępniające i przygotowawcze;
- budowa środowiska sprzyjającego automatyzacji procesów:
 - standaryzacja wyposażenia ścianowego,
 - monitorowane ciśnienia w sekcjach obudowy zmechanizowanej,
- Centrum Nadzoru Energomechanicznego:
 - wizualizacja i sterowanie procesami produkcyjnymi,
 - łączność bezprzewodowa;
- automatyzacja:
 - centralne sterowanie odstawa,
 - wizualizacja i sterowanie rozdzielniami.

2. OBSZARY MECHANIZACJI W PGG

2.1. Transport kopalniany

W ujęciu ogólnym transport to zespół czynności polegających na przemieszczaniu w czasie i przestrzeni dóbr z wykorzystaniem odpowiednich środków transportu. Optymalizacja transportu jest istotnym czynnikiem w procesie produkcyjnym kopalni, dlatego też do zadań menadżerów należy rozwiązywanie takich problemów jak:

- optymalizacja tras przewozowych,
- minimalizacja kosztów transportu,
- dobór odpowiedniego rodzaju transportu,
- zapewnienie ciągłości procesu produkcyjnego, minimalizacja zakłóceń w procesie zaopatrzenia, terminowość i niezawodność dostaw materiałowych.

Transport kopalniany jest nierozzerwalnie związany z procesem eksploatacyjnym, mamy do czynienia ponadto z transportem materiałów, maszyn, urządzeń, urobku i przede wszystkim ludzi. Można go podzielić na trzy ogniwa:

- transport poziomy na powierzchni obejmujący załadunek niezbędnych materiałów oraz urządzeń w magazynach i ich przewóz do podszybia,
- transport pionowy (ciągnięcie) szybem wydobywczym,
- transport poziomy od podszybia na dole w kopalni do przodka eksploatacyjnego i w inne rejony współuczestniczące w eksploatacji złożeń [4].

2.1.1. Transport maszyn, urządzeń i materiałów

W Polskiej Grupie Górniczej S.A. transport dołowy po głównych drogach przewozowych oraz do przodków, które mają zabudowane trasy realizowany jest za pośrednictwem kolejek podwieszanych, ponadto transport przyszybowy i oddziałowy wspierany jest przy wykorzystaniu ciągników manewrowych. Aktualnie Polska Grupa Górnicza S.A. użytkuje 54 ciągniki manewrowe przy 28 w roku 2017.

2.1.2. Transport załogi

Optymalizacja pracy ma ścisły związek z wdrożeniem szeregu usprawnień logistycznych w jego różnych aspektach wpływających na polepszenie efektywności procesu produkcji. Wiele z nich pozwala na zaoszczędzenie czasu oraz energii, którą niejednokrotnie pracownicy muszą wydatkować na dojście w odległe rejony. Dlatego też dokłada się starań, by modernizować przonośniki taśmowe w zakresie szybkiego transportu pracowników do odległych miejsc pracy i z powrotem.

Aktualnie w kopalniach PGG S.A. użytkowanych jest 28 przonośników przystosowanych do jazdy ludzi w porównaniu z 18 w roku 2019.

2.2. Roboty udostępniające i przygotowawcze

Wielkość robót przygotowawczo-udostępniających ma zasadniczy wpływ na zdolności wydobywcze poszczególnych kopalń węgla kamiennego. Zapewnienie odpowiedniego wyprzedzenia w prowadzonych robotach przodkowych jest istotnym czynnikiem w całym procesie produkcyjnym. Szczególne znaczenie

z punktu widzenia ekonomicznego, ale i technicznego ma prowadzenie robót udostępniających bez nadmiernego wyprzedzenia z dużym postępowaniem do czego niezbędne jest prowadzenie robót z wykorzystaniem kombajnów chodnikowych o optymalnej mocy dla danych przekrojów wyrobiska oraz parametrów urabianych skał.

Obecnie w PGG S.A. drażnienie wyrobisk korytarzowych realizowane jest w 85% przy wykorzystaniu kombajnów chodnikowych, a 15% – robót prowadzonych z użyciem środków strzałowych. Odpowiednio w 2017 roku było to 78% i 22%.

W zależności od wielkości obudowy chodnikowej, w jakiej ma być drażnione wyrobisko, oraz od struktury geologicznej calizny, w jakiej będzie urabiał kombajn chodnikowy, w spółce wykorzystywane są cztery klasy kombajnów przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1

Udział procentowy poszczególnych klas kombajnów chodnikowych pracujących w PGG S.A.

Klasa kombajnu wg PGG	Moc silnika w głowicy urabiającej [kW]	Udział procentowy [%]
A	min. 100	41
B	min. 130	33
C	min. 150	16
D	min. 200	10

Podczas drażnienia wyrobisk korytarzowych techniką strzelniczą, gdzie wymagane jest usunięcie fragmentów skały płonnej i węgla z ociosów oraz stropu, stosowane są spagoladowarki. Są maszynami samobieżnymi opartymi na podwoziu gąsienicowym o napędzie elektrohydraulicznym, w którym wszystkie funkcje sterownicze realizowane są na drodze hydraulicznej. Obecnie PGG S.A. użytkuje 49 spagoladowarek w robotach udostępniających i pomocniczych.

Istotnym elementem zapewniającym ciągłość procesu produkcyjnego kopalni jest utrzymanie już istniejących wyrobisk korytarzowych w stanie technicznym zapewniającym wymagane gabaryty, które zagwarantują odpowiedni przepływ powietrza oraz komunikację dla transportu urobku i materiałów. Prace te wykonywane są przez spagoladowarkipowszechnie stosowane w polskim górnictwie węglowym. Służą do pobierki spagu, prac załadunkowych w chodnikach i do podciągania materiałów w różnych miejscach infrastruktury kopalnianej [5].

Wraz z postępowaniem producenci dostarczają bardziej zaawansowanych rozwiązań w zakresie prowadzenia robót przodkowych, stosując w nich napędy kołowe. PGG S.A. użytkuje dwie maszyny górnicze na podwoziu kołowym z napędem spalinowym pod nazwą handlową ROBOKOP. Mobilny wóz wielofunkcyjny wykorzystywany jest w przodkach korytarzowych niewyposażonych w instalacje elektryczne lub pneumatyczne między innymi do transportu materiału i urobku.

3. BUDOWA ŚRODOWISKA SPRZYJAJĄCEGO AUTOMATYZACJI PROCESÓW

3.1. Standaryzacja wyposażenia kompleksów ścianowych

Polska Grupa Górnicza S.A. za pośrednictwem Zakładu Remontowo-Produkcyjnego, należącego do spółki, wdraża proces standaryzacji obudów zmechanizowanych oraz przenośników ścianowych i podścianowych.

3.1.1. Standaryzacja obudów zmechanizowanych

Proces standaryzacji obudów ścianowych realizowany jest w szczególności w odniesieniu do konstrukcji podzespołów obudowy oraz hydrauliki siłowej.

Zakład Remontowo-Produkcyjny PGG S.A. na podstawie analizy zapotrzebowania kopalni na obudowy ścianowe opracował trzy główne zakresy geometryczne ich pracy:

- 1,2–2,4 m,
- 1,5–3,5 m,
- 1,9–4,1 m.

Powyższy podział zakresu obudów zabezpiecza w 90% potrzeby spółki.

3.1.2. Standaryzacja obudów zmechanizowanych

Proces standaryzacji przenośników ścianowych i podścianowych realizowany jest w odniesieniu do konstrukcji rynien przenośników zgrzeblowych.

Na podstawie analizy stanu majątkowego oraz dostępne rozwiązania techniczne określono po dwa standardy przenośników zgrzeblowych ścianowych i podścianowych oraz parametry geometryczne rynien w nich stosowanej.

Przenośniki zgrzeblowe ścianowe:

- klasa 800,
- klasa 1000.

3.2. Monitorowanie ciśnień w sekcjach obudowy zmechanizowanej

Pogarszające się warunki eksploatacyjne są czynnikiem utrudniającym wykorzystanie maszyn i urządzeń w kompleksach ścianowych w układzie pełnej automatyzacji. Wymusza to poszukiwania rozwiązań, które zagwarantują uzyskanie założonych wskaźników wydobywania przy utrzymaniu maksymalnego bezpieczeństwa załogi i efektywnego wykorzystania maszyn podczas eksploatacji. Dla zapewnienia wymaganego bezpieczeństwa w procesie eksploatacji niezbędne jest zabezpieczenie nowo wybranych przestrzeni oraz zapewnienie prawidłowego podparcia stropu w wyrobiskach ścianowych. Spełnienie tych wymagań realizowane jest w PGG S.A. dzięki zastosowaniu obudowy zmechanizowanej z systemem monitorowania ciśnienia.

W kopalniach PGG S.A. użytkowane są 22 systemy monitorowania ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych stojaków obudowy zmechanizowanej w wersji pasywnej i aktywnej.

System pasywny umożliwia wizualizację ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej i na podstawie tych danych prezentowana jest forma graficzna i tabelaryczna zmiany ciśnienia w pojedynczych sekcjach.

System aktywny umożliwia podobnie jak pasywny pełną wizualizację ciśnienia w stojakach sekcji oraz pozwala na automatyczne dobijanie ciśnienia do założonej wartości.

3.3. Centra nadzoru energomechanicznego. Wizualizacja i sterowanie procesami produkcyjnymi

Prawidłowa praca maszyn i urządzeń wymaga centralnego nadzoru, co realizowane jest w PGG S.A. przez dyspozytorów energomechanicznych na monitorach oraz wielkoformatowych tablicach synoptycznych, na których informacje są przedstawiane w sposób graficzny w postaci umownych piktogramów, jednostkowych symboli w większości podświetlanych oraz wyświetlaczy cyfrowych.

Monitorowanie przebiegu procesu produkcyjnego w kopalni jest jednym z ważniejszych sposobów uzyskiwania informacji o zdarzeniach występujących w tym procesie. Zagadnienie to jest szczególnie istotne w odniesieniu do maszyn i urządzeń pracujących w trybie zadanym lub zautomatyzowanym, dla których bardzo ważne jest monitorowanie, rejestracja i późniejsze odtwarzanie rzeczywistych parametrów procesu produkcyjnego. Dane te mogą być uzyskiwane bezpośrednio z urządzeń pomiarowych, aparatury kontrolnej, urządzeń sterujących lub z pomiarów wykonywanych przez wyspecjalizowane służby kopalniane. Informacje z monitorowania procesów produkcyjnych przetwarzane są i archiwizowane bezpośrednio w miejscu ich pozyskania. Część z nich jest też archiwizowana w programach dziedzicznych systemu SZYK 2 oraz w hurtowni danych nadzorowanej przez Zakład Informatyki i Telekomunikacji PGG S.A.

3.4. Łączność bezprzewodowa

Eksploatacja poszczególnych pokładów węgla sięga coraz głębiej, a obszary wydobywcze zlokalizowane są w coraz większej odległości od szybów. Tak zaistniałe warunki powodują konieczność szukania i stosowania w kopalniach nowoczesnych rozwiązań w dziedzinie łączności i komunikacji. Stosowane do tej pory rodzaje łączności, w tym między innymi w kopalnianej kolei podziemnej – łączność trolejfonowa, wykorzystująca przewód ślizgowy trakcji elektrycznej, łączność w szybie wykorzystująca linię wyciągową lub też przewodowe systemy stosowane w ratownictwie górniczym są systematycznie zastępowane nowocześniejszymi systemami bezprzewodowymi.

W systemach transportu podziemnego łączność pomiędzy operatorami środków transportu a dysponentem jest kluczowa do zapewniania efektywnego transportu oraz bezpieczeństwa ludzi znajdujących się na drogach. Podczas prowadzenia akcji ratowniczej konieczne jest zapewnienie świadomości sytuacyjnej osób kierujących akcją na poszczególnych szczeblach, a zastępami ratowniczymi – tu również niezawodny system łączności jest gwarantem skuteczności i bezpieczeństwa.

Dostępne na świecie nowe rozwiązania w zakresie łączności bezprzewodowej zwiększają poziom bezpieczeństwa, a dodatkowo ułatwiają i przyspieszają pracę załóg górniczych, zwiększając tym samym ich

efektywność. Kopalnie PGG S.A. posiadają łącznie blisko 113 km długości/zasięgu dołowych oraz szybowych systemów łączności bezprzewodowej opartych na kablu promieniującym lub antenach wraz z punktami dostępowymi (89 km w roku 2019). Duży nacisk na wysoki stopień niezawodności projektowanych urządzeń spowodował, że obecnie produkowane urządzenia charakteryzują się dużą trwałością i odpornością na działanie warunków zewnętrznych.

4. OBSZARY AUTOMATYZACJI W PGG S.A.

4.1. Centralne sterowanie odstawą

W ostatnich latach kontynuowane jest odchodzenie od układów sterowania rozproszonego przenośników taśmowych na rzecz systemów do centralnego zarządzania odstawą urobku. Nowoczesne układy monitorowania i sterowania pracą kopalni w zdecydowanej liczbie przypadków uwzględniają pracę przenośników pod względem płynności odstawy urobku oraz ich rozruchu i hamowania. Aktualnie kopalnie spółki użytkują ponad 100 przenośników taśmowych wykorzystujących zdalne/centralne sterowanie (66 przenośników w 2019 roku).

4.2. Wizualizacja i sterowanie rozdzielniami

W PGG S.A. w dalszym ciągu wdrażane jest zdalne sterowanie rozdzielniami, które przynosi pożądane efekty. Jedynym ograniczeniem w tym zakresie są koszty realizacji.

Aktualnie użytkowanych jest ponad 49 rozdzielni ze zdalnym sterowaniem.

5. WNIOSKI

Polska Grupa Górnicza S.A. dzięki mechanizacji i automatyzacji procesów produkcyjnych w połączeniu z przetwarzaniem, wymianą i archiwizacją danych staje się przedsiębiorstwem wykorzystującym sprawdzone nowoczesne rozwiązania.

Należy stwierdzić, że zwiększanie poziomu automatyzacji i mechanizacji w produkcji węgla kamiennego jest warunkiem koniecznym do zachowania konkurencyjności eksploatacji podziemnej.

Za kluczowe czynniki determinujące automatyzację można uznać zapewnianie wzrostu efektywności produkcji oraz otoczenie prowadzenia eksploatacji podziemnej – uwarunkowania środowiskowe zagrożeń naturalnych, ograniczenia prawne adaptacji urządzeń z innych branż. Duże znaczenie mają zachodzące współcześnie zmiany kadrowe. Zmniejszający się zasób potencjału ludzkiego, szczególnie związanego z górnictwem i znającym jego specyfikę oraz znaczny wzrost udziału kosztów pracy, generuje większy nacisk na implementację nowych rozwiązań, ale zarazem nastręcza trudności związanych z zatrudnianiem odpowiednio wykwalifikowanych pracowników.

Dodatkowo specyfika kopalń i zagrożeń warunkuje celowe i indywidualne podejście do rozwiązań mogących mieć zastosowanie w górnictwie, co może utrudniać, a z pewnością również spowalniać proces modernizacji szeroko pojętego parku maszynowego w kopalniach węgla kamiennego.

Według jednej z wiodących firm konsultingowych rynek zautomatyzowanych technologii rośnie w tempie ponad 40% rocznie i do 2027 roku ma osiągnąć wartość ponad 25 miliardów dolarów. PGG S.A. dąży do wykorzystywania potencjału automatyzacji. Zauważalne jest jednak, że tempo powstawania sprawdzonych nowoczesnych górniczych rozwiązań przemysłowych jest niewystarczające. To niewątpliwie ogromne wyzwanie dla jednostek naukowo-badawczych oraz menadżerów odpowiedzialnych za usprawnianie procesów produkcyjnych i logistycznych w branży górniczej.

Literatura

- [1] Kicki J., Jarosz J., Sobczyk E., Saługa P., Dyczko A. (red. nauk.): *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2005*. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2005 (Sympozja i Konferencje nr 64).
- [2] Stankiewicz K., Jasiulek D., Jagoda J., Jura J.: *Rozproszone systemy sterowania maszyn i urządzeń górniczych*. Maszyny Górnicze 2016, 3: 54–66.
- [3] Gierlotka S.: *Rozwój elektryfikacji kopalń węgla kamiennego*. Hereditas Minariorum 2016, 3: 225–236.
- [4] Fuksa D., Wilkosz A.: *Organizacja transportu poziomego w systemie logistycznym kopalni węgla kamiennego*. Logistyka 2015, 4: 8850–8855.
- [5] Konsek R., Deja P.: *Nowe rozwiązanie układu zasilającego sterującego górniczej maszyny mobilnej*. Maszyny Górnicze 2018, 4: 67–77.

mgr inż. RAIMUND HORST

mgr inż. JAN ZDZIEBKO

Polska Grupa Górnicza S.A.

ul. Powstańców 30, 40-039 Katowice

j.zdziebko@pgg.pl

KRZYSZTOF CWIERTNIA

A newly patented method for measuring the actual forces of hoist vessel impact on shaft reinforcement

Observations and conclusions regarding a new method of measuring shaft hoist vessel forces acting on the structure of shaft reinforcement are presented in the article. The idea behind this method is the direct absorption of the forces resulting from the impact of the measuring rollers (front and two side rollers) attached to the vessel by the guide and transferring them to the measuring elements, i.e. through a hydraulic actuator, pressure transducer and recorder. The recorder also receives a signal from an optical sensor, which determines the position of the vessel in the shaft. The method allows measuring the actual values of hoist vessel forces acting on shaft reinforcement, without any simplifications, theoretical assumptions and complicated mathematical functions.

Key words: hoist vessel, shaft reinforcement, impact forces

1. REFERENCE TO MINING REGULATIONS

The need to measure the impact of shaft hoist vessel forces on shaft reinforcement results from the requirements of the mining regulations [1] contained in Annex 4 to the *Regulation of the Minister of Energy of November 23, 2016, on the detailed requirements regarding the operation of underground mining plants*:

- “3.13. Rigid guidance of hoist vessels and shaft reinforcement.
- 3.13.7.6. On the dates specified by the maintenance manager, depending on local conditions in the mining plant, but not less frequently than every five years, control measurements and tests are carried out in the following scope:
 - 1) reinforcement elements geometry referred to in point 3.13.6, straightness of vessel routing, lines of guides and angular guides as well as dimensions specified in § 545, § 546 and § 558 of the Regulation; the tests are conducted by the mine surveyor;
 - 2) hoist vessel forces acting on shaft reinforcement, for lines of guides in the shaft, with the applied parameters of hoist vessel ride; the tests are conducted by an expert who prepares an opinion con-

taining the measurement results together with their analysis and determines the conditions for the further operation of the shaft reinforcement elements”.

2. CURRENT STATE OF TECHNOLOGY IN THE FIELD OF MEASUREMENTS OF THE ABOVE-MENTIONED IMPACT FORCES

In the first decade of the 21st century, devices utilizing strain gauges with direct readout of the values of hoist vessel forces acting on shaft reinforcement became available on the market; the devices were well suited for measuring static forces but did not meet the expectations regarding the measurements of dynamic (fast-changing) forces.

The currently used methods and measuring devices enable indirect measurement of hoist vessel forces acting on shaft reinforcement in mining plants. Some of them involve measuring the horizontal acceleration of hoist vessel displacement carried out by means of acceleration transducers [2]. The essence and most uncertain element of these methods is determination

of the hoist vessel mass impacting the shaft reinforcement by means of mathematical functions containing theoretical and barely verifiable assumptions and coefficients. Other methods are based on laser distance measurement or other parameters, which are then converted into the values of “theoretical” impact forces.

OPA Bytom Sp. z o.o. has developed a new method of measuring actual hoist vessel forces acting on shaft reinforcement [3], involving the direct measurement of a physical quantity (pressure), which after conversion according to the formula:

$$F = p \cdot S,$$

where:

- F – force,
- p – pressure,
- S – piston surface in the cylinder,

is directly proportional to the value of the existing impact force and is calculated without taking into account any theoretical assumptions and coefficients.

3. DESCRIPTION OF THE MEASURING DEVICE

In the first stage, we constructed a device called “OPA-B-2018 shaft dynamometer”, which is only used for measuring frontal impact forces, because according to the available literature in this field, the

recorded values of hoist vessel frontal forces acting on shaft reinforcement are usually greater than lateral forces.

The main elements of the device include the following (Fig. 1):

- roller (1) – a rotating wheel with a diameter of 300 mm,
- longitudinal guide (2) used to shift the bearing-supported rotating roller in a plane perpendicular to the frontal area of the guide,
- hydraulic actuator (3),
- pressure transducer with a recorder (4),
- adapter (5) used for attaching the dynamometer to the structure of the hoist vessel,
- girder counter (6) used for determining the location/depth in the shaft.

The OPA-B-2018 shaft dynamometer, both in terms of its design and measurement method, is a new solution used for determining the value of hoist vessel forces acting on shaft reinforcement in mining shaft hoists. According to current knowledge, it is the only device on the Polish market that enables the reliable measurement of actual impact forces. The OPA-B-2018 dynamometer consists of a measuring roller (1) with a diameter of 300 mm. Mounted under the frame of the hoist vessel head, it takes over the task of the front guide of the vessel head, which for the duration of measurements is moved ca 10–15 mm away from the working position, thus playing a protective role together with a cast steel slide.

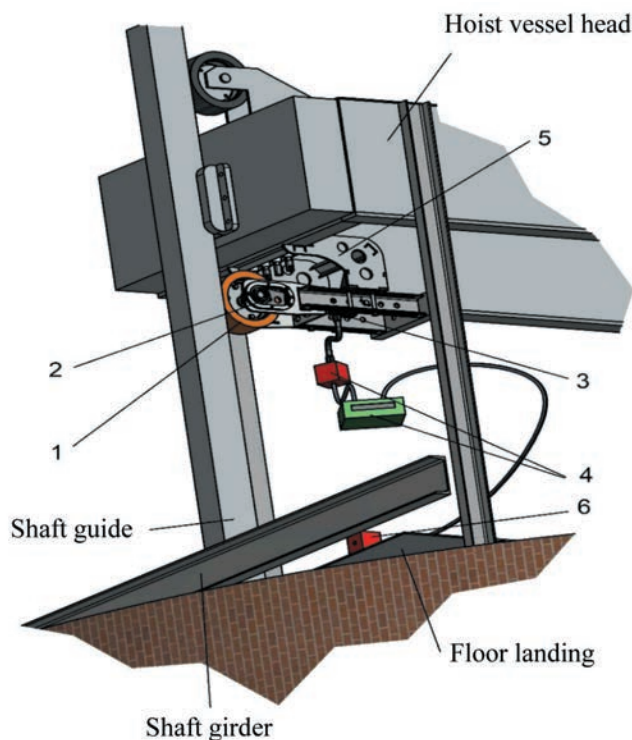


Fig. 1. Diagram of the OPA-B-2018 dynamometer installation under the head of the hoist vessel

The measuring roller with its bearing can move along the guide (2) – on the extension of the axis of vessel frontal forces acting on the shaft guide. Movement of the measuring roller (1) resulting from the action of the above-mentioned forces is transmitted to the piston of the hydraulic cylinder (3), generating a change of pressure which is measured by a high-class pressure transducer (4); next, the result converted into a force value ($F = p \cdot S$) and is recorded by a computer program.

As a result, a graph of the force value as a function of the path (depth in the shaft) is obtained. The position of the hoist vessel in the shaft is determined by a girder counter (6) installed next to the dynamometer. It counts the girders passed in the shaft, which are the reference of the distance in relation to the surface level. A signal from the above-mentioned sensor together with a signal of the measured value of the hoist vessel impact force is recorded directly by the computer program, which presents these quantities in the form of a graph. The dynamometer is attached to the hoist vessel by means of an adapter (5), which can be modernized depending on the design of the hoist vessel.

4. MEASUREMENT METHOD

The essence of the measurement of hoist vessel impact on shaft reinforcement using the OPA-B-2018 shaft dynamometer is the direct absorption of the measuring roller (1) impact by the guide, which is an element of shaft reinforcement, during the travel of the hoist vessel, and transferring this force to the measuring element, i.e. a hydraulic actuator (3) connected with a pressure transducer (4) cooperating with the computer program, to which a signal from the girder counter (6) is transmitted so as to determine the position of the vessel in the shaft.

The detailed manner in which the hoist vessel forces acting on shaft reinforcement by means of the OPA-B-2018 dynamometer are measured is presented below:

- After positioning the top floor of the hoist vessel on the surface level, the above-mentioned dynamometer with measuring equipment (4 and 6) is mounted to the structure under the vessel head by means of an adapter (5).
- Next, the measuring roller (1) is set in the working position of the original front guide of the hoist

vessel. Then, the entire dynamometer structure is secured against possible movement by means of a vertical hydraulic strut, rigidly connected to the rear part of the dynamometer. The chains attached to the elements of the hoist vessel structure ensure additional protection that prevents the dynamometer from moving beyond the outer contour of the vessel.

- To obtain the correct indications and operation of the measuring system (using the proportional dependence of the value of the measured vessel force impact on the pressure change in the hydraulic cylinder, which is an important element of this measuring method), the initial operating pressure of 0.5–1.0 MPa is applied to the cylinder by means of a manual pressure pump.
- Next, the hoist vessel head is moved to the surface level and the position of the front guide is changed on the side where the dynamometer is installed. This guide is moved approximately 10–15 mm away from the working position so that the outer surface of its tread is aligned with the frontal plane in the immediate vicinity of the cast steel sliding guide. The alignment of the position of the outer plane of the front roller tread and the cast steel sliding guide provide protection for the measuring roller of the OPA-B-2018 dynamometer in the event of the overload of the measuring system. The aim of the described change of the front guide position is to enable the absorption of the entire front force of the hoist vessel impacting the guide by the measuring roller of the dynamometer (1) previously mounted under the vessel head.
- After checking the efficiency of the dynamometer and measuring equipment, the expert and the auditor travel through the shaft on the hoist vessel floor at a speed of 1 m/s, in order to check both the effectiveness of the dynamometer structure mounting and the correctness of the measuring equipment indications.
- Upon completion of the test run, the hoist vessel is loaded with a useful load, the recorder is switched on and a ride through the shaft at the permissible speed is begun.
- Upon completion of measurements, the dynamometer and the measuring equipment are disassembled, and after the vessel head has been positioned on the level surface, the front guide of the vessel is shifted to its working position (it is returned to the state before the measurements of forces was initiated).

- Next, the same steps are taken to measure the vessel forces acting on the guides (shaft reinforcement) – on the opposite side of the vessel head.
- Based on the obtained measurement results, an analysis is carried out and, if necessary, the safety factors of the shaft reinforcement of individual elements are recalculated.
- During some measurements, an accelerometer was additionally installed in the hoist vessels for research purposes so as to enable the recording of accelerations as a function of the position in the shaft.

The correctness of the OPA-B-2018 dynamometer indications of impact force were tested in the ITG KOMAG accredited applied research laboratory, which concluded that the above-mentioned measuring device can be used for measuring the impact of hoist vessel forces acting on the shaft reinforcement structure. The digital recorder sampling frequency is 20 kHz and the maximum delay time of the force measuring system determined during the tests in the above-mentioned accredited laboratory is 2.5 ms, whereas the maximum difference between the force determined on the basis of the measured pressure and the directly recorded force did not exceed 5% of the obtained value.

In addition, a patent application for the OPA-B-2018 dynamometer was filed with the Patent Office under the number P.428789 entitled “Method and device for

measuring hoist vessel forces acting on shaft reinforcement” – Ref.: OPA.B.SZYB.19. The device was granted patent No. 237918.

5. MODERNIZATION OF THE OPA-B-2018 DYNAMOMETER

In the second stage, the dynamometer structure was modernized by strengthening its adapter and equipping it with two additional rollers used for measuring hoist vessel lateral forces acting on shaft reinforcement. The measurement of lateral forces was based on the same principles as the measurement of frontal forces, i.e. the measurement of the pressure change in the actuators caused by the impact of the side rollers on the shaft guide.

In the further part of the article, photos of the measuring device structure and the method of its mounting on the hoist vessel are presented (Figs. 2 and 3).

As in the case of the first version of the OPA-B-2018 dynamometer, the modernized measuring device equipped with three rollers was also subjected to tests in terms of the correctness of indications of the values of impact forces (both frontal and lateral) under conditions of static and dynamic loading in the ITG KOMAG accredited applied research laboratory. The subsequent photos show the dynamometer on the test stand (Fig. 4).



Fig. 2. Construction of the measuring device installed on the hoist vessel



Fig. 3. Method of mounting the OPA-B-2018 dynamometer under the hoist vessel head

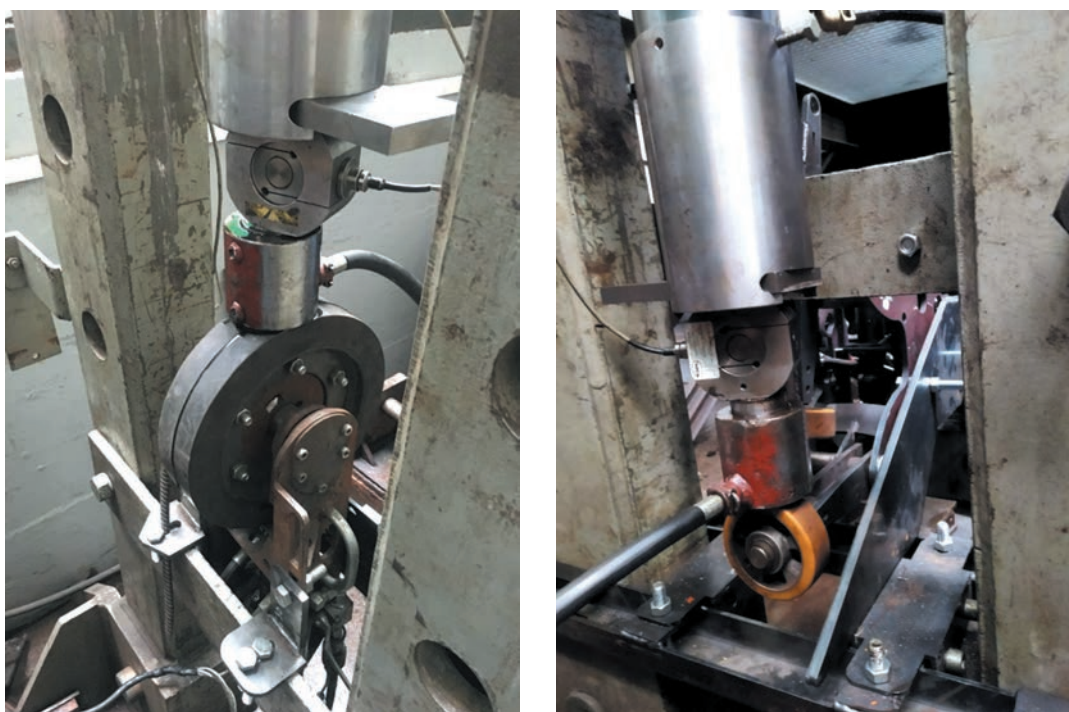


Fig. 4. Elements of the OPA-B-2018 dynamometer on the ITG KOMAG test stand

6. OBTAINED RESULTS

To date, measurements of forces have been carried out in 27 mining shaft hoists, both in coal and copper mines. The diagrams below (Figs. 5 and 6) show the frontal and lateral forces during the hoist vessel ride through the shaft, both up and down.

These charts indicate that during the hoist vessel ride, both downwards and upwards, the measuring device shows similar characteristics of the variable distribution of impact forces in the same regions of the shaft. This repeatability proves the correctness

of the method and its sensitivity to changes in the straightness of the tracks and the related dynamics of the hoist vessel. Comparative measurements of impact forces (in the same shaft hoist, with the same operation parameters) carried out by various methods in 2009 by four market-leading expert companies revealed a discrepancy in the obtained results of up to 500%. Our method, as the only one on the market, is based on measuring a physical quantity (pressure) that is directly proportional to the impact force, which gives it an advantage over other methods currently used.

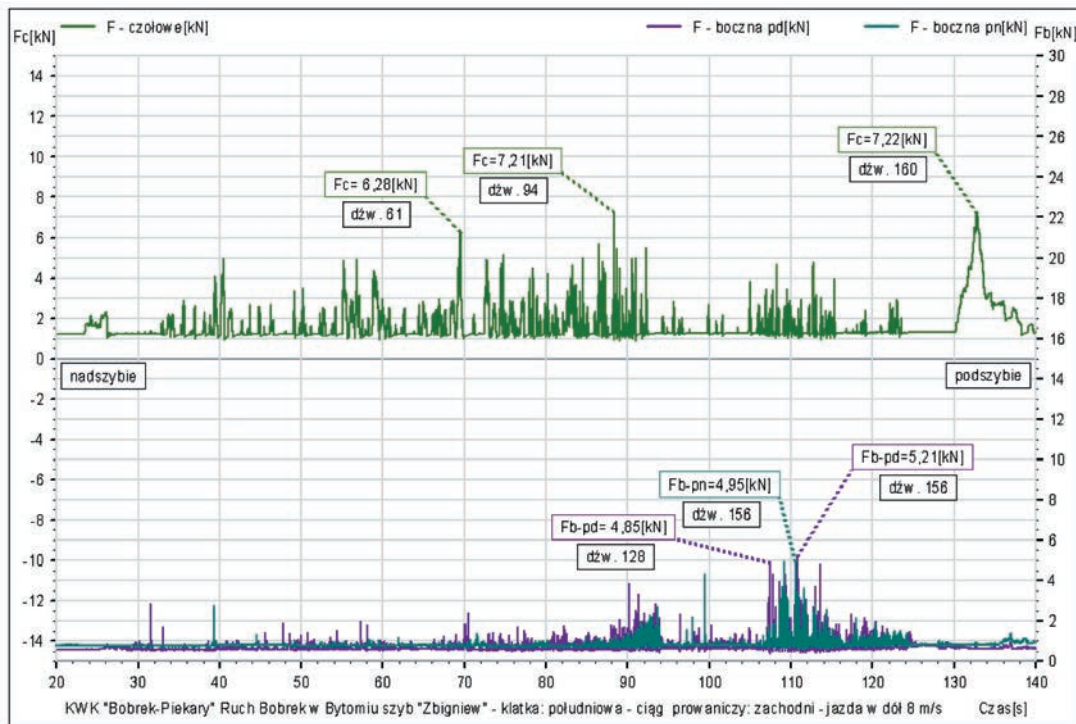


Fig. 5. Graph of the frontal and lateral forces during the downward ride of the hoist vessel

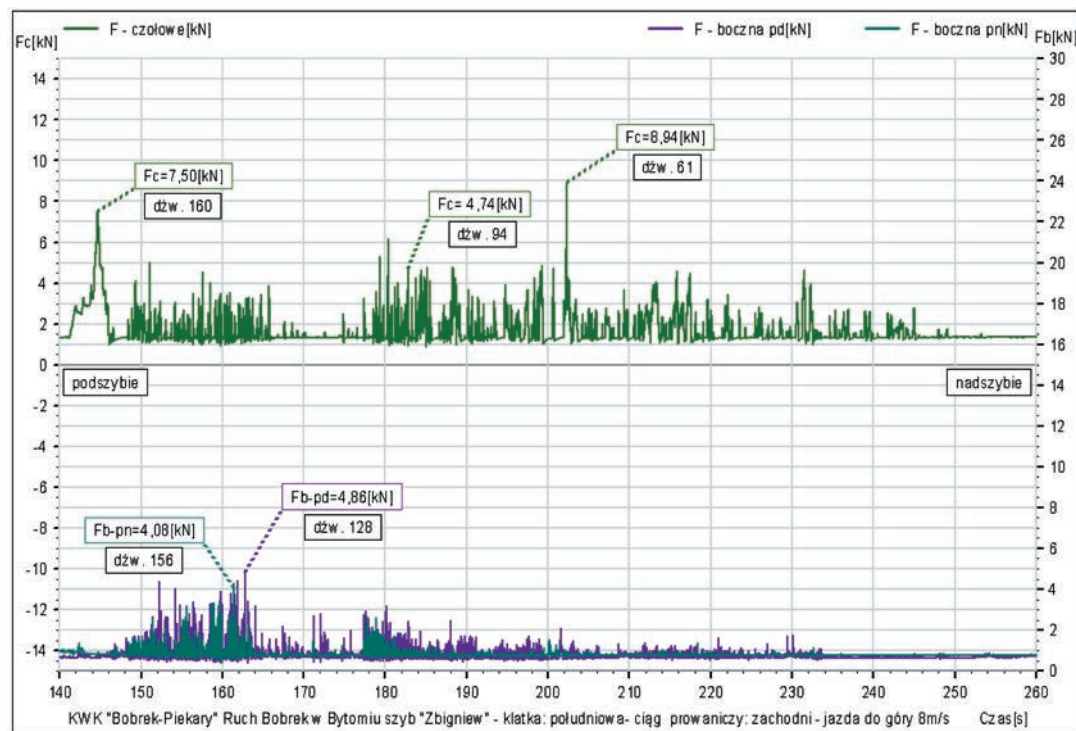


Fig. 6. Graph of frontal and lateral forces during the upward ride of the hoist vessel

7. CONCLUSIONS

Measurements carried out with the modernized OPA-B-2018 dynamometer allowed the following conclusions to be drawn:

1. It general, it has been confirmed that lateral forces do not exceed 80% of frontal forces.

2. It cannot be assumed that the values of the measured accelerations of the hoist vessels are directly proportional to the values of the forces that cause them, which was found by comparing the diagrams of forces and accelerations of the hoist vessel as a function of the location in the shaft.

3. The method presented above:

- is based on direct measurement of a physical quantity (pressure) that is convertible (using the well-known formula $F = p \cdot S$) into a force value;
- has a specific measurement accuracy (verified in an ITG KOMAG accredited laboratory);
- is more reliable than methods based on accelerometer measurements or on the variability of the distance between the sliding guides and the shaft guide, in which the conversion of the measured value of a physical quantity into a force value requires the use of theoretical assumptions or coefficients and is difficult to verify;
- currently it is the only method on the market that has been verified by an accredited laboratory with regard to the accuracy of measurement of the impact of actual forces of hoist vessels on shaft reinforcement in mining shaft hoists.

References

- [1] *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych*. Dz.U. 2017, poz. 1118 [Regulation of the Minister of Energy of November 23, 2016 on detailed requirements regarding the operation of underground mining plants].
- [2] Płachno M.: *Doświadczenia poznawcze wynikające z badań sił rzeczywistych oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybów górniczych*. In: *Transport szybowy. Monografia*. ITG KOMAG, Gliwice 2013: 19–31.
- [3] Ćwiertnia K.: *Nowa metoda bezpośredniego pomiaru rzeczywistych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe*. XV Międzynarodowa Konferencja “Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie”, Wisła 2019 [unpublished].

KRZYSZTOF ĆWIERTNIA, Ph.D., Eng.
OPA Bytom Sp. z o.o.
ul. Strzelców Bytomskich 87b
41-914 Bytom, Poland
krzysztof.cwiertnia@opabytom.pl

KRZYSZTOF ĆWIERTNIA

Nowa opatentowana metoda pomiaru rzeczywistych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe

W artykule przedstawiono wnioski i spostrzeżenia wynikające z pomiarów sił oddziaływania naczyń wyciągowych na konstrukcję zbrojenia szybu wykonanych nową metodą pomiarową. Ideą tej metody jest bezpośrednie przejęcie sił wynikających z uderzenia zamocowanych do naczynia rolek pomiarowych (czołowej i dwóch bocznych) w przewodnik i przeniesienie tych sił na elementy pomiarowe, tj. poprzez siłownik hydrauliczny, przetwornik ciśnienia i rejestrator. Do rejestratora przekazywany jest także sygnał z optycznego czujnika, określającego położenie naczynia w szybie. Metoda ta pozwala na pomiar wartości rzeczywistych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybu, bez jakichkolwiek uproszczeń, teoretycznych założeń i skomplikowanych funkcji matematycznych.

Słowa kluczowe: naczynie wyciągowe, zbrojenie szybowe, siły oddziaływania

1. ODNIESIENIE DO PRZEPISÓW GÓRNICZYCH

Konieczność wykonywania pomiarów sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe wynika z wymagań przepisów górniczych [1] zawartych w załączniku nr 4 *Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych*:

- „3.13. Sztwyne prowadzenie naczyń wyciągowych i zbrojenie szybów.
 - 3.13.7.6. W terminach określonych przez kierownika ruchu zakładu górniczego, w zależności od warunków lokalnych, lecz nie rzadziej niż raz na pięć lat, są dokonywane kontrolne pomiary i badania:
- 1) geometrii elementów zbrojenia, o których mowa w pkt 3.13.6, prostoliniowości torów prowadzenia naczyń ciągów przewodniczych i prowadzeń kątowych oraz wymiarów określonych w § 545, § 546 i § 558 rozporządzenia, przez mierniczego górniczego;
 - 2) sił oddziaływania naczynia wyciągowego na zbrojenie szybu, dla ciągów przewodników w szybie, przy stosowanych parametrach jazdy naczyń wyciągowych, przez rzeczoznawcę, który sporządza ekspertyzę zawierającą wyniki pomiarów wraz z ich

analizą oraz określa warunki dalszej eksploatacji elementów zbrojenia szybu”.

2. AKTUALNY STAN TECHNIKI W ZAKRESIE POMIARÓW SIŁ ODDZIAŁYWANIA

W pierwszej dekadzie XXI wieku stosowane były na rynku urządzenia z bezpośrednim odczytem wartości sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybu z wykorzystaniem tensometrów, które dobrze sprawdzały się do pomiarów sił statycznych, natomiast nie spełniały oczekiwań przy pomiarach sił dynamicznych (szybkozmiennych).

Aktualnie stosowane metody oraz urządzenia pomiarowe umożliwiają pośredni pomiar sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybu w zakładach górniczych. Niektóre polegają na pomiarze poziomych przyspieszeń przemieszczania się naczynia wyciągowego, zrealizowanym przy użyciu przetworników przyspieszeń [2]. Najistotniejsze w tych metodach, a zarazem obarczone największą niepewnością jest określenie oddziałującej części masy naczynia wyciągowego na zbrojenie szybu za pomocą funkcji matematycznych, zawierających teoretyczne i trudne do zweryfikowania założenia i współczynniki.

Inne metody bazują na laserowym pomiarze odległości bądź innych parametrów, które w dalszej kolejności przeliczane są na wielkości „teoretycznych” sił oddziaływania.

OPA Bytom Sp. z o.o. opracowała nowy sposób pomiaru rzeczywistych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybu [3], polegający na bezpośrednim pomiarze wartości wielkości fizycznej (ciśnienia), która przeliczana wg wzoru:

$$F = p \cdot S,$$

gdzie:

F – siła,

p – ciśnienie,

S – powierzchnia tłoka w cylindrze),

jest wprost proporcjonalna do wartości występującej siły oddziaływania i wyliczana jest bez konieczności uwzględniania jakichkolwiek teoretycznych założeń i współczynników.

3. OPIS URZĄDZENIA POMIAROWEGO

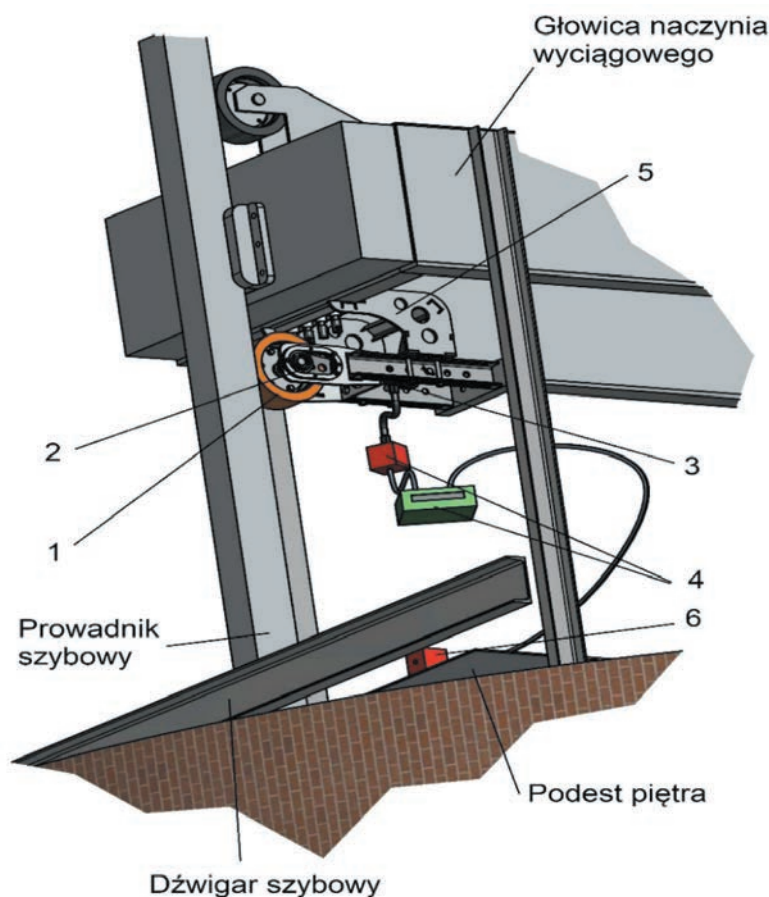
W pierwszym etapie skonstruowano urządzenie nazwane „dynamometrem szybowym OPA-B-2018”

służące do pomiaru wyłącznie czołowych sił oddziaływania, ponieważ na podstawie dostępnej literatury w tym zakresie rejestrowane wartości czołowych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe są z reguły większe od sił bocznych.

Głównymi elementami urządzenia (rys. 1) są:

- rolka (1) – koło obrotowe o średnicy 300 mm,
- prowadnica wzdłużna (2) służąca do przemieszczania się ułożyskowanej rolki obrotowej w płaszczyźnie prostopadłej do czołowej powierzchni prowadnika,
- siłownik hydrauliczny (3),
- przetwornik ciśnienia wraz z rejestratorem (4),
- adapter (5) służący do mocowania dynamometru do konstrukcji naczyń wyciągowych,
- licznik dźwigarów (6) służący do określenia miejsca/głębokości w szybie.

Dynamometr szybowy OPA-B-2018 jest nowym rozwiązaniem zarówno pod względem konstrukcji, jak i metody pomiaru służącym do określenia wartości sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe w górniczych wyciągach szybowych.



Rys. 1. Schemat zabudowy dynamometru OPA-B-2018 pod głowicą naczynia wyciągowego

Według aktualnej wiedzy jest to jedyne na polskim rynku urządzenie, które pozwala na wiarygodny pomiar rzeczywistych sił oddziaływania. Dynamometr OPA-B-2018 składa się z rolki pomiarowej (1) o średnicy 300 mm, która zamocowana pod ramą głowicy naczynia wyciągowego przejmując zadanie prowadnicy tocznej czołowej głowicy naczynia, która na czas prowadzenia pomiarów odsunięta jest o około 10–15 mm od położenia roboczego, pełniąc wraz ze ślizgiem stalowym rolę asekuracyjną. Rolka pomiarowa wraz ze swym ułożyskowaniem ma możliwość przemieszczania się wzdłuż prowadnicy (2) – na przedłużeniu osi działania sił czołowych oddziaływania naczynia na prowadnik szybowy. Przemieszczanie się rolki pomiarowej (1) wskutek zadziaływania ww. sił jest przekazywane na tłok siłownika hydraulicznego (3), powodując wytworzenie zmiany ciśnienia, które mierzone jest przez wysokiej klasy przetwornik ciśnienia (4), a następnie wynik po przeliczeniu na wartość siły ($F = p \cdot S$) jest rejestrowany za pomocą programu komputerowego.

W efekcie otrzymuje się wykres wartości siły w funkcji drogi (głębokości w szybie). Położenie naczynia wyciągowego w szybie określane jest za pomocą licznika dźwigarów (6), który zamontowany obok dynamometru zlicza mijane w szybie dźwigary, będące odniesieniem odległości względem poziomu zrębu szybu. Sygnał z ww. czujnika wraz z sygnałem zmierzonej wielkości siły oddziaływania naczynia wyciągowego rejestrowany jest bezpośrednio przez program komputerowy, który przedstawia te wielkości w formie wykresu. Sposób mocowania dynamometru do naczynia wyciągowego realizowany jest za pomocą adaptera (5), który może być modernizowany w zależności od konstrukcji naczynia wyciągowego.

4. METODA WYKONYWANIA POMIARÓW

Istotą pomiaru oddziaływania naczynia wyciągowego na zbrojenie szybowe za pomocą dynamometru szybowego OPA-B-2018 jest bezpośrednie przejęcie siły uderzenia rolki pomiarowej (1) w prowadnik, będący elementem zbrojenia szybowego podczas jazdy naczynia wyciągowego i przeniesienie tej siły na element pomiarowy, którym jest siłownik hydrauliczny (3) połączony z przetwornikiem ciśnienia (4) współpracującym z programem komputerowym, do którego równolegle przekazywany jest również sygnał z licznika dźwigarów (6) – w celu określenia położenia naczynia w szybie.

Szczegółowy sposób wykonania pomiaru sił oddziaływania naczynia wyciągowego na zbrojenie szy-

bowe z wykorzystaniem dynamometru OPA-B-2018 realizowany jest w następujący sposób:

- Po ustawieniu naczynia wyciągowego górnym piętrzem do poziomu zrębu szybu, przy wykorzystaniu adaptera (5) montowany jest do konstrukcji pod głowicą naczynia przedmiotowy dynamometr wraz z aparaturą pomiarową (4) i (6).
- W dalszej kolejności rolka pomiarowa (1) ustawiana jest w „pozycji pracy” oryginalnej prowadnicy czołowej tocznej naczynia wyciągowego, po czym wykonywane jest zabezpieczenie całej konstrukcji dynamometru przed ewentualnym przemieszczeniem się, za pomocą pionowej rozpory hydraulicznej, połączonej sztywno do tylnej części dynamometru. Dodatkową asekurację chroniącą przed przemieszczeniem się dynamometru poza zewnętrzny obrys naczynia stanowią łańcuchy mocowane do elementów konstrukcji naczynia wyciągowego.
- W celu uzyskania poprawności wskazań i działania układu pomiarowego (z wykorzystaniem proporcjonalnej zależności wielkości mierzonej siły oddziaływania naczynia na zmianę ciśnienia w siłowniku hydraulicznym, będącym istotnym elementem tej metody pomiarowej) za pomocą ręcznej pompy ciśnieniowej zadaje się do siłownika wstępne ciśnienie robocze o wartości 0,5–1,0 MPa.
- Następnie naczynie wyciągowe przemieszczane jest głowicą do poziomu zrębu szybu i dokonywana jest zmiana położenia czołowej prowadnicy tocznej po stronie, gdzie jest zamontowany dynamometr. Prowadnica ta odsunięta zostaje o około 10–15 mm od pozycji roboczej tak, aby zewnętrzna powierzchnia jej bieznika zrównała się z płaszczyzną czołową będącej w bezpośrednim sąsiedztwie stalowej prowadnicy ślizgowej. Zrównanie położenia płaszczyzny zewnętrznej bieznika rolki czołowej tocznej i stalowej prowadnicy ślizgowej stanowi asekurację dla rolki pomiarowej dynamometru OPA-B-2018 w przypadku wystąpienia ewentualnego przeciążenia układu pomiarowego. Opisana zmiana położenia prowadnicy tocznej czołowej ma na celu umożliwienie przejęcia w tym miejscu całej siły czołowej oddziaływania naczynia wyciągowego na prowadnik przez rolkę pomiarową dynamometru (1) zamontowanego wcześniej pod głowicą naczynia.
- Po sprawdzeniu pełnej sprawności działania dynamometru oraz aparatury pomiarowej odbywa się przejazd rzeczoznawcy wraz z rewidentem na piętrze naczynia wyciągowego przez szyb z prędkością rewizyjną (1 m/s) w celu sprawdzenia zarówno skuteczności zamocowania konstrukcji dynamometru, jak i poprawności wskazań aparatury pomiarowej.

- Po przejeździe kontrolnym obciąża się naczynie wyciągowe ładunkiem użytecznym, załącza rejestrator i rozpoczyna przejazd przez szyb z dopuszczalną prędkością.
- Po zakończeniu pomiarów dokonuje się demontażu dynamometru wraz z aparaturą pomiarową i po przestawieniu naczynia poziomem głowicy do poziomu zrębu szybu przesuwa się czołową prowadnicę toczną naczynia do położenia roboczego (powrót do stanu sprzed rozpoczęcia pomiarów sił).
- W następnej kolejności wykonuje się takie same czynności związane z pomiarem sił oddziaływania naczynia na prowadniki (zbrojenie szybowe) – po przeciwnej stronie głowicy naczynia.
- Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów przeprowadza się analizę i ewentualnie dokonuje się przeliczenia współczynników bezpieczeństwa wytrzymałości poszczególnych elementów zbrojenia szybowego.
- W celach badawczych podczas niektórych pomiarów w naczyniach wyciągowych montowano dodatkowo akcelerometr umożliwiający rejestrację występujących przyspieszeń w funkcji położenia w szybie.

Dynamometr OPA-B-2018 poddany został badaniu poprawności wskazań wartości siły oddziaływania w akredytowanym laboratorium badań stosowanych ITG KOMAG, które we wnioskach końcowych stwierdza, że ww. urządzenie pomiarowe można wykorzystać do pomiaru sił oddziaływania naczyń wyciągowych na konstrukcje zbrojenia szybowego. Częstotliwość próbkowania rejestratora cyfrowego wynosi 20 kHz, a maksymalny czas zwłoki układu pomiaru siły, określony podczas badań w ww. akredytowanym laboratorium wynosi 2,5 ms, natomiast maksymalna

różnica siły wyznaczonej na podstawie zmierzonego ciśnienia do siły zarejestrowanej bezpośrednio nie przekroczyła 5% uzyskanej wartości.

Ponadto dynamometr OPA-B-2018 został zgłoszony do Urzędu Patentowego pod numerem P.428789 pt. „Metoda i urządzenie do pomiaru sił oddziaływania naczynia wyciągowego na zbrojenie szybowe” – Znak: OPA.B.SZYB.19 i uzyskał patent nr 237918.

5. MODERNIZACJA DYNAMOMETRU OPA-B-2018

W drugim etapie zmodernizowano konstrukcję dynamometru, wzmacniając jego adapter, oraz rozbudowano o dwie dodatkowe rolki służące do pomiaru sił bocznych oddziaływania naczynia wyciągowego na zbrojenie szybowe. Pomiar sił bocznych został oparty na takich samych zasadach jak przy pomiarze sił czołowych, tj. pomiarze zmiany ciśnienia w siłownikach wywołanej oddziaływaniem bocznych rolek na prowadnik szybowy.

W dalszej części artykułu przedstawiono zdjęcia konstrukcji urządzenia pomiarowego oraz sposobu jego zamocowania do naczynia wyciągowego (rys. 2 i 3).

Podobnie jak w przypadku pierwszej wersji dynamometru OPA-B-2018, tak i teraz po modernizacji – kompletne urządzenie pomiarowe z trzema rolkami poddane zostało badaniu poprawności wskazań wartości sił oddziaływania (zarówno czołowych, jak i bocznych) z obciążeniem statycznym i dynamicznym – w akredytowanym Laboratorium Badań Stosowanych ITG KOMAG. Kolejne zdjęcia przedstawiają dynamometr na stanowisku badań (rys. 4).



Rys. 2. Konstrukcja urządzenia pomiarowego zabudowanego w naczyniu wyciągowym



Rys. 3. Sposób mocowania dynamometru OPA-B-2018 pod głowicą naczynia wyciągowego



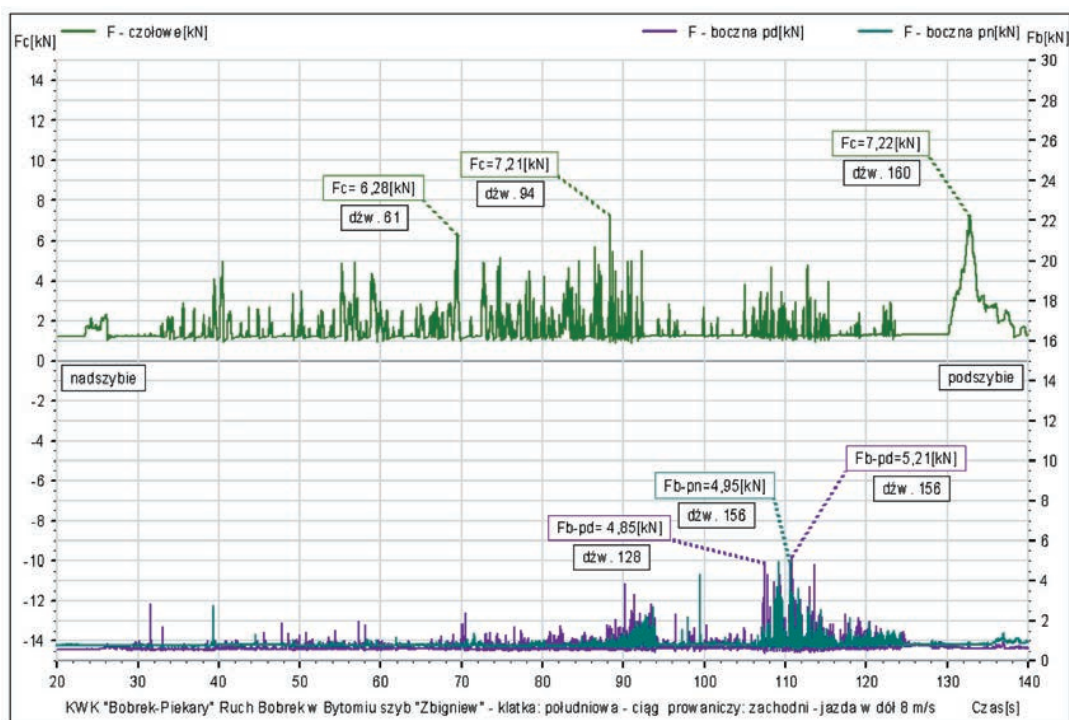
Rys. 4. Elementy dynamometru OPA-B-2018 na stanowisku badań ITG KOMAG

6. UZYSKANE WYNIKI

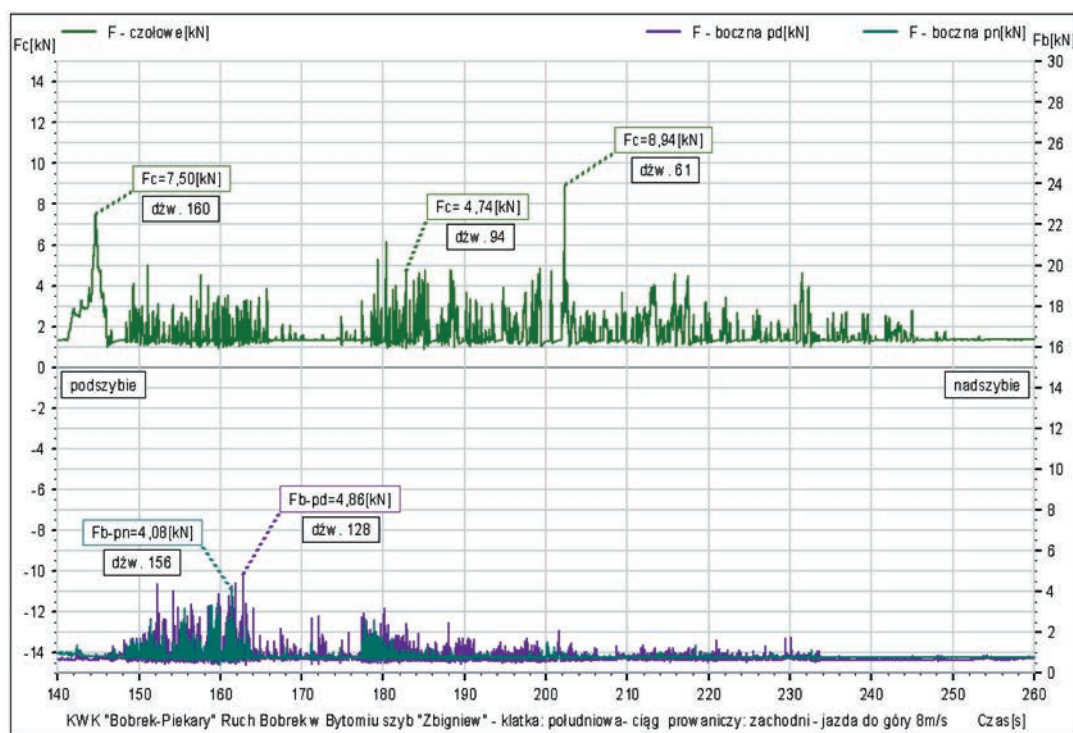
Dotychczas przeprowadzono pomiary sił w dwudziestu siedmiu górniczych wyciągach szybowych, zarówno w kopalniach węgla, jak i miedzi. Na poniższych wykresach (rys. 5 i 6) przedstawiono siły czołowe wraz z bocznymi podczas przejazdu naczynia wyciągowego przez szyb – w dół i do góry.

Z wykresów tych można odczytać, że podczas przejazdu naczyniem wyciągowym zarówno w dół, jak i do góry urządzenie pomiarowe wykazuje w tych samych rejonach szybu występowanie podobnej charakterystyki zmiennego rozkładu sił oddziaływania. Ta po-

wtarzalność świadczy o poprawności niniejszej metody i jej wrażliwości na zmiany prostoliniowości torów i związanej z tym dynamiki jazdy naczynia wyciągowego. Dokonane różnymi metodami w 2009 roku przez cztery wiodące na rynku firmy rzeczoznawcze pomiary porównawcze sił oddziaływania (w tym samym wyciągu szybowym i przy takich samych parametrach ruchu) wykazały rozbieżność uzyskanych wyników na poziomie do 500%. Nasza metoda jako jedyna na rynku oparta jest na pomiarze wielkości fizycznej (ciśnieniu), która jest wprost proporcjonalna do występującej siły oddziaływania, co daje tej metodzie przewagę nad innymi stosowanymi na rynku.



Rys. 5. Wykres sił czołowych i bocznych podczas przejazdu naczynia wyciągowego w dół



Rys. 6. Wykres sił czołowych i bocznych podczas przejazdu naczynia wyciągowego do góry

7. WNIOSKI

Pomiary przeprowadzone zmodernizowanym dynamometrem OPA-B-2018 pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Generalnie potwierdza się zasada, że siły boczne nie przekraczają 80% wartości sił czołowych.

2. Nie można przyjmować, że wartości pomierzonych przyspieszeń naczyń wyciągowych są wprost proporcjonalne do wartości sił, które je wywołują, co stwierdzono przez porównanie wykresów sił oraz przyspieszeń naczynia wyciągowego w funkcji położenia w szybie.

3. Przedstawiona powyżej metoda:

- bazuje na bezpośrednim pomiarze wielkości fizycznej (ciśnienia) przekładalnego (za pomocą ogólnie znanego wzoru $F = p \cdot S$) na wartość siły;
- ma określoną dokładność pomiarową (zweryfikowaną w akredytowanym laboratorium ITG KOMAG);
- jest bardziej wiarygodna i pewniejsza od metod opartych na pomiarach akcelerometrii czy też zmienności odległości prowadnic ślizgowych od przewodnika szybowego, w których to metodach przeliczenie mierzonej wartości wielkości fizycznej na wartość siły wymaga stosowania teoretycznych założeń lub współczynników i jest trudne do zweryfikowania;
- jest obecnie na rynku jedyną zweryfikowaną przez akredytowane laboratorium metodą pod względem dokładności pomiaru rzeczywistych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe w górniczych wyciągach szybowych.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych. Dz.U. 2017, poz. 1118.
- [2] Płachno M.: *Doświadczenia poznawcze wynikające z badań sił rzeczywistych oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybów górniczych*. W: *Transport szybowy. Monografia*. ITG KOMAG, Gliwice 2013: 19–31.
- [3] Ćwiertnia K.: *Nowa metoda bezpośredniego pomiaru rzeczywistych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe*. XV Międzynarodowa Konferencja „Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie”, Wisła 2019 [niepublikowane].

dr inż. KRZYSZTOF ĆWIERTNIA
OPA Bytom Sp. z o.o.
ul. Strzelców Bytomskich 87b
41-914 Bytom
krzysztof.cwiertnia@opabytom.pl

RAFAŁ PASEK

KRZYSZTOF ROZWADOWSKI

ZYGMENT ZUSKI

The modernization of the main fan station of the “Wilson” shaft in KS “Wieliczka” S.A.

This article discusses the modernization of the “Wilson” shaft’s main fan station in KS “Wieliczka” S.A., which included: the station building, main fans, the 110 kW electric motors to drive the fans, 3/0.4 kV transformers, 3 kV “Wilson” switchgear, 0.4 kV main switchgear and the communication systems used to control the station.

Key words: mine shaft, main fans, modernization, salt mine

1. INTRODUCTION

This article covers the issues related to the modernization of the main fan station of the “Wilson” shaft, which included its architectural part: the construction of a new building of the fan station with electrical and social rooms, a decompression building and fan rooms with diffusers and silencers. Sound-absorbing materials were used in the construction of the building to reduce the noise level. The scope of the modernization included the installation of a new dAL16-1100 fan with an electric drive. A new 3 kV MV “Wilson” switchgear, new 3/0.4 kV power transformers and a 0.4 kV RG switchgear were built to supply the fan stations. The switchgear is controlled manually or automatically (remotely) from the operator panel installed in the control room for GSTR 15/3/0.4 kV electrics. In order to ensure the uninterrupted power supply to sensitive receivers, mainly the automation, measurement, control and telecommunication systems, a guaranteed voltage supply system was used. As a part of fan operation parameter analysis, new automatic control and measurement devices were employed. The control and visualization system for the operation of the fan station is implemented by means of programmable industrial controllers (PLC) and PCs. As part of the project, the old main fan station was also removed along with its entire power supply, control and measurement infrastructure. The modernization in question produced

a modern facility with an improved communicational safety for tourists and sanatorium users, as well as employees staying in the underground workings of the “Wieliczka” Salt Mine. Thanks to the development of modern devices, the mine meets the requirements of restrictive environmental standards with regard to the permissible noise level.

2. MAIN FAN STATION BUILDING BEFORE MODERNIZATION

Before the modernization, the main fan station building of the KS “Wieliczka” S.A. “Wilson” shaft was located on the same plot as the new building and was 16.88 m long and 6.48 m wide. On the northern side, it had a duty room. It was a one-storey building, with a flat roof covered with tar paper. The facility was made of ceramic bricks, according to traditional technology. In the main building, all the steel windows were single glazed and the door was also made of steel. The floors were made of cement mortar smoothly troweled on a concrete base with a tar paper damp insulation. The entrance to the shaft building was located on the northern side of the building, and to the duty room on the eastern side. In the fan station building there were two main fans (Fig. 1), WOK type – 4duB, each with a capacity of 58.3 m³/s at nominal speed 490 rpm. They could work in both suction and reversible modes. The change of the operating

mode was performed by changing the direction of rotation of the motors. Power supply was provided by electric motors with a power of 200 kW and a voltage of 3 kV [1].

The 3kV MV “Wilson” switchgear (Fig. 2) was built in the building of the main fan station of the “Wilson” shaft. The switchgear consisted of two 3 kV distribution sections built of five distribution bays, RSK6 type. The primary and backup power supply were provided by two independent cable lines from two different sections of the main transformer and switchgear station GSTR 15/3/0.4 kV. The 3 kV MV “Wilson” switchgear supplied the main fans station of the “Wilson” shaft and the 3 kV MV “III East” switchgear on the level III of the mine. Two 6.3 kVA 3/0.4 kV transformers were supplied from the 3 kV MV

“Wilson” switchgear, which in turn supplied the auxiliary circuits of the “Wilson” main fan station. The distribution point for 380/220 V loads was the hooded switching station located in the fan room. Essentially, the switchgear worked on one power supply, while the other was a backup that was switched on manually in the event of a power failure. However, during the operation of all heaters (e.g. in winter), the switchgear had to be powered from both transformers. The auxiliary switchgear 380/220 V supplied power to: radiator socket circuits, rotation switch cabinets, AKP measuring cabinet, gate valve power supply circuit, 24 V sockets circuit, as well as external and internal lighting circuits.

The power supply diagram for the old “Wilson” shaft main fan station is shown in Figure 3.



Fig. 1. Main ventilation fans for “Wilson” shaft



Fig. 2. Field distribution station type RSK-6 of the 3 kV MV “Wilson” switchgear

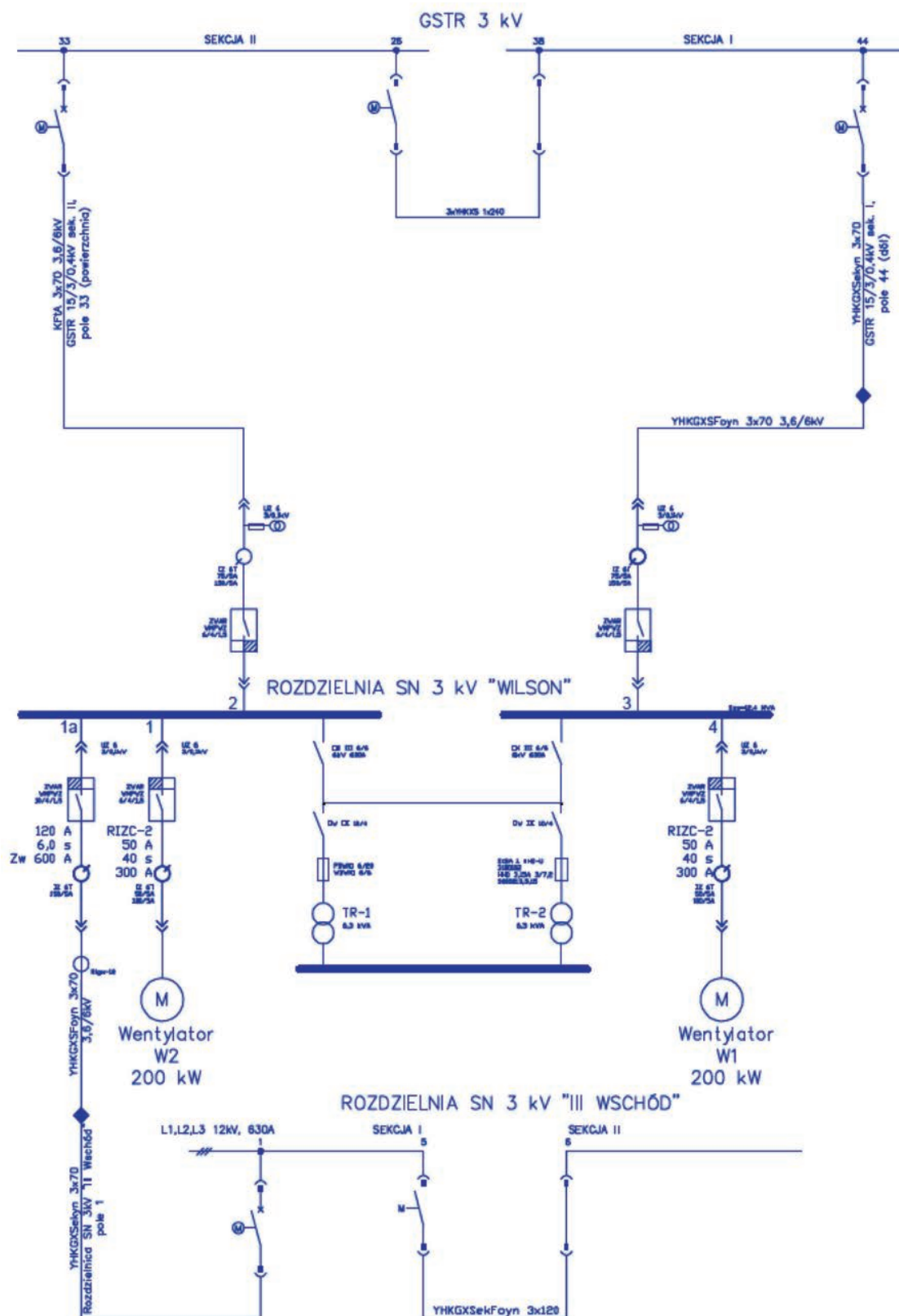


Fig. 3. Structural diagram of the power supply to the “Wilson” shaft main fan station

The control of the 3 kV MV “Wilson” switchgear, the auxiliary switchgear 380/220 V and the activation of the main ventilation fans was operated manually. The flaps were also controlled manually by means of three-phase left-right switches. The supervision and

information system for the operation of the fan station was realized by means of the AKP and signalling cabinet connected with the medium voltage bays. The station’s personnel stayed in the rest and refreshment room on the premises of the facility. The AKP cabinet

provided information on the parameters of the exhaust air and the temperature of the fan's bearings. Moreover, the exhaust air parameters were transmitted to the mine's main control room by the VAL station and the computer system. Telephone communication was provided by a telephone set of the company-wide telephone communication. In the event of any failures, switching off the fan was signalled by an acoustic signal (a buzzer). The switching on and off of the MV bay of the 3 kV MV "Wilson" switchgear was signalled by signal lamps installed in each bay. In the event of the temperature of the fan bearings being exceeded, this was signalled by an optical signal (signal lamps) and an acoustic signal (bell). The suction or discharge operation of the fan was signalled by signal lamps mounted in the cabinets that change the direction of rotation of each fan.

Fluorescent and incandescent fittings with 220 V, 50 Hz power supply were used, in order to illuminate the room. There were also four 60 W incandescent fittings for emergency lighting, which were supplied with 24 V voltage from a 4×6 V battery bank. The batteries were powered by a BZB 24/25 rectifier from a 220 V, 50 Hz mains. The outdoor area was illuminated with 250 W mercury lamps.

The 3 kV MV "Wilson" switchgear was equipped with locks in the form of bolts, installed in each bay of the switchgear. Activation of the lock resulted in switching off the medium voltage bay. Moreover, in the S-1 and S-2 cabinets that changed the direction of the rotation of the fan, limit switches were installed at the door of each cabinet, which eliminated the possibility of fan activation in the state of opened door of the cabinet that changed the direction of the rotation of the fan. The motor bays of the 3 kV MV "Wilson" switchgear had overload and short-circuit protection with the use of RIZc2 relays. In the bays supplying the fans, undervoltage protections were installed to switch off the bay in the event of 3 kV voltage failure. The outgoing bay supplying the 3 kV MV "III East" switchgear was protected by VIP-40 overload and short-circuit protection. This bay also had an earth-fault protection. Within the 3 kV medium voltage network, electric shock protection was provided by protective earthing of medium voltage devices. Within the low-voltage network, the electric shock protection was implemented as a quick disconnection of the power supply with the use of installation fuses and S-type fuse switches. Additionally, in the low-voltage circuits, residual current circuit breakers with a differential current of 30 mA were used as supplementary protection.

3. A MODERNIZED BUILDING FOR THE "WILSON" SHAFT MAIN FAN STATION

3.1. Main building

The new building of the "Wilson" shaft main fan station has a simple form, consisting of several adjoining blocks that are functionally connected to each other and form a compact whole. On the north-west side, there are facilities with electrical rooms and a rest and refreshment room. The rooms are accessible from the outside. On the eastern side, there is a fan room with a diffuser and silencer. Entrance gates with wicket doors lead to the fan room from the outside. The whole building is a single-storey structure, covered with a flat roof with a slope angle of at least 2% or 3%. During the construction of the building, sound-absorbing materials were used to limit the level of the noise generated, and which could affect the neighbouring areas of single-family houses. The aim was to ensure that it does not exceed 40dB at night and 50dB during the day, in accordance with the regulations and the decision of the Wieliczka Starost [2].

3.2. Main fans

Axial fans dAL16-1100 (Fig. 4) are intended for the ventilation of underground mine workings and are single-rotor fans with an electric drive. They have a capacity of $42.8 \text{ m}^3/\text{s}$ and can operate with 1250 rpm. In order to meet the stringent noise standards, the fans were additionally placed in special housings equipped with damping elements. The fan shaft is mounted on rolling bearings and the fans were equipped with diagnostic systems. Temperature sensors are installed in sockets located in fan bearing housings, while vibration sensors are installed on each of the bearing housings and one sensor is installed on the fan housing. Signals from transducers are collected for visualization purposes and displayed continuously on the monitor screen in the station room and at the control room. Each fan is powered from the frequency converter cabinet, ensuring smooth adjustment of the efficiency and pressure of the sucked air by changing the rotational speed of the motor with a power of 110 kW and voltage of 400 V. It is possible to reverse the operation of the fans by changing the direction of rotation of the engine. The fan efficiency when working in the reverse mode is up to $27.0 \text{ m}^3/\text{s}$, which is about 70% of its nominal capacity.

city when working in the suction mode. The fans are connected to the ventilation duct leading to the “Wilson” shaft and to the diffuser [3]. The ventilation duct system enables two-way air flow, depending on the needs of the mine’s ventilation. The fans are

equipped with dampers, which are made as multi-blade (horizontal) with an AUMA drive equipped with limit switches with an additional manual drive. It is possible to adjust the position of the flaps and the transition time to the extreme positions.



Fig. 4. Fan type dAL16-1100 manufactured by Korfmann

3.3. 3 kV “Wilson” switchgear and 0.4 kV main switchgear with a 3/0.4 kV transformer station

As part of the modernization of the RSK6 type bay of the 3 kV “Wilson” switchgear, the bay was replaced

with e²ALPHA (Fig. 5) bay with e²TANGO-800 safety devices and e²BRAVO circuit breakers. They were built in the new main fan station building. The switchgear has 2 sections with 5 bays each [3]. It is characterized by a compartment structure which is air-insulated.



Fig. 5. e²ALPHA distribution cells of the 3 kV MV “Wilson” switchgear

The switchgear is supplied from the GSTR-15/3/0.4 kV surface switchgear which is located in the KS “Wieliczka”, with the voltage of 3 kV in the IT system, through the existing two cable lines 3.6/6 kV $3 \times 70 \text{ mm}^2$, which power the existing fan station at the “Wilson” shaft. One of these lines is guided above the surface, and the other runs through the underground mine workings and the “Wilson” shaft. The line on the surface on the plot of the “Wilson” shaft was cut

and connected through a coupler to a new section of the cable, which was introduced to Section I of the designed RSN 3 kV “Wilson” switchgear. The line guided through the underground mine workings was cut at level III near the “Wilson” shaft and, by means of a coupler, connected to a new section of cable running through the “Wilson” shaft, which was introduced into Section II of the designed 3 kV MV “Wilson” switchgear. The new fans and gate valves are supplied

from the RG 0.4 kV “Wilson” switchgear, while the lighting, plug-in sockets, ventilation and heating systems are supplied from the RPW auxiliary switch-board. These switchgears are located in the designed

electrical part of the fan station building. The fan station is supplied exclusively from the internal power grid of KS “Wieliczka”. The power supply diagram of the new fan station is shown in Figure 6.

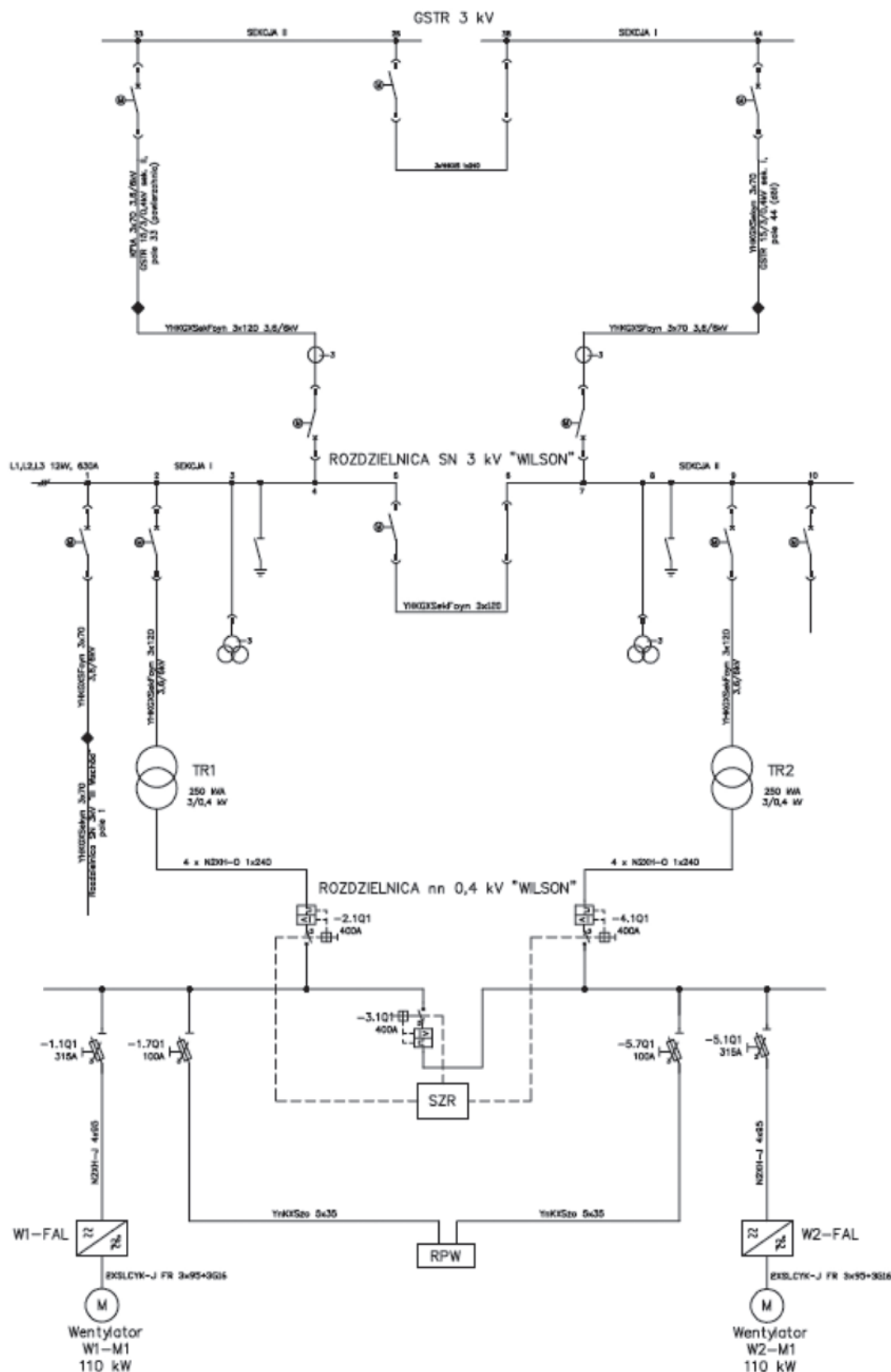


Fig. 6. Structural diagram of power supply to the “Wilson” shaft main fan station

The switchgear is controlled manually, but also automatically or remotely from the operator panel installed in the control room and in the operator’s room in the main fan station building. The communication network at the “Wilson” main fan station is mainly based on the Ethernet interface. The station is connected to the plant’s control room by means of two fibre optic lines. In order to increase the level of communication reliability, the fibre optic lines were configured as a ring enabling uninterrupted operation in the event of the failure of one of them.

The basic aspect of the safe use of the e²ALPHA switchgear is on-going information on the state and position of switches installed in the switchgear bay. This information may come from two sources: from LED indicators placed on the bay mimic diagram (on the front of the LV compartment door) or from the bay controller mounted on the front of the LV compartment door. Additionally, it is possible to visually check the condition or position of the switches through the sight glasses installed in the door of the equipment and cable compartments.

The main fans station has a low voltage auxiliary switchgear, which is designed to distribute electricity in three-phase alternating current networks with a frequency of 50 Hz and rated voltage up to 690 V, as well as control and protection of receiving devices against the effects of short-circuits and overloads. The switchgear is made as a cabinet, indoor, stationary, with a uniform structure. The building also has an RG 0.4 kV “Wilson” switchgear, designed to supply devices related to the main ventilation fans, auxil-

iary needs of the fan station, transformer station, lighting, heating, and ventilation. It is powered by two normal transformers, TZEa 250/3.3/0.4 kV type, with a capacity of 250 kVA.

3.4. Measurement systems

In order to monitor the correct operation of the main fan station, measuring devices were installed (Fig. 7) which are connected directly to the PLC controller in the TPA cabinet. All technological measuring devices are approved for operation in explosion hazard zones in category I M1 and are resistant to chloride corrosion. To ensure the highest accuracy and eliminate the need to drain the impulse lines, the pressure measuring transducers were installed as close as possible to the pressure sampling point, and the impulse lines were arranged with a slope towards the ventilation ducts. The pressure transmitters are equipped with manometric valves enabling periodic control of device indications and calibration. The measurement of the air flow velocity in the ventilation duct is carried out by means of a Pitot (Prandtl) tube and a differential pressure transducer. The transducer is equipped with a three-way block for periodic control of device indications and calibration. Additional measuring fittings have been designed for the purpose of the periodic inspections of devices. The earthing terminals on the housing of the measuring transducers are connected to the local equalizing bars.



Fig. 7. Control and measurement equipment of the “Venturon” system

As part of the modernization, the existing control system for safety parameters was moved to the building and employed. This was done together with a microprocessor-based, intrinsically safe, programmable controller which is designed to collect signals from analogue and two-state sensors type VAL-101, and the sensors installed in the shaft area. The transfer of the VAL station was performed after the new main fan station was activated and the existing one was stopped, so as to ensure the shortest possible interruption in monitoring safety parameters. The VAL station, together with the power supply and junction box, was installed in the fan hall. The measuring transducers are placed next to the station's technological transducers, and the pressure is taken through a tee at the connection of the technological transducer.

3.5. Uninterrupted power supply

In order to ensure uninterrupted power supply to sensitive receivers, mainly the automation, measurement, control and telecommunication systems, a guaranteed voltage supply system was used:

- 110 V DC, nominal current 60 A (two systems A and B),
 - 230 V AC, 1.5 kVA (+1.5 kVA – redundancy),
- and accumulator batteries (Fig. 8) to maintain the power of 6 kW (+6 kW – redundancy) for 2 hours.

3.6. Protection

e²ALPHA switchgear bay has a number of anti-shock protections. The basic means of protection (against direct contact with elements with high voltage potential) is provided by covers made of sheet steel which are 2 and 3 mm thick (protection class IP4X, acc. to [3]). All conductive elements of the switchgear which are not a part of the electric circuit were in turn connected to the protective cable. This component is made of a flat copper bar with a cross-section of 30 mm × 5 mm, selected for the thermal and dynamic impact of short-circuit currents. All of the main track components have an earthing terminal connected to the main earthing bar. Each of the e²ALPHA switchgear distribution bays is equipped with external terminals for connecting the main earthing bus to the earth electrode located in the switchgear building. The control circuits in the switchgear are made at 110 V DC, and are supplied from a DC power plant equipped with a monitoring system for the condition of continuous insulation. The doors of the high-voltage compartments and the covers of the control circuit compartment containing the apparatus with a rated voltage of not more than 1 kV are connected to the protective conductor with a copper cable having a cross-section of no less than 6 mm².



Fig. 8. Accumulator batteries

The places of earthing connection are marked with an appropriate symbol. The earthing of the removable unit in relation to the switchgear was made by means of a sliding connection with a constant pressure, with the use of an e²BRAVO switch. The contact elements are the following: a copper strip screwed to the bottom of the movable unit trolley and a specially profiled rail located on the sub-switch partition.

Protection against induced and switching overvoltages for the MV switchgear is provided by surge arresters installed in the cable compartment of the 3EK4 3.6 kV switchgear. The integrated 1+2 type surge arresters (SPD) are used for the main switchgear RG 0.4 kV.

Due to the fact that fire hazards may occur in the building of the fan station, there is a built-in fire switch that cuts off the voltage. It is located at the entrance to the corridor of the transformer station. Additionally, all cables passing through potential fire zones are fire-proof.

3.7. Fan station control

The control and visualization of the fan station operation is carried out by means of programmable industrial controllers (PLC) and PCs with implemented control and visualization applications (Fig. 9). Control and measurement signals from: measuring sen-

sors, converters, frequency converters and other control and executive elements are connected to the PLC controllers. The PLC controller supervises the operation of the fans on the basis of signals from measuring sensors, including: air flow velocity and static negative pressure, and the control algorithm stored in the memory. The system is equipped with control stations in the fan service room and in the plant's control room.

Data transmission between the controllers and the workstation in the plant's control room is based on a fibre optic bus. To ensure security, the data is transferred via two independent routes, with the use of underground workings. The main technological controller supervising the operation of fans is located in the transmission and measurement cabinet of TPA automatics, in the room of the nN RG 0.4 kV main switchgear. The TPA cabinet is powered by two 110 V DC lines, from both RPS uninterrupted voltage power supply systems. The flaps upstream and downstream the fans as well as measuring devices controlling the pressure in the shaft upstream and downstream the dampers, as well as air flow speed and temperature, are directly connected to the controller. Monitoring measurements for temperature and vibration are connected to dedicated control modules in local fan control cabinets, which can also be used to control the fan if necessary [4].

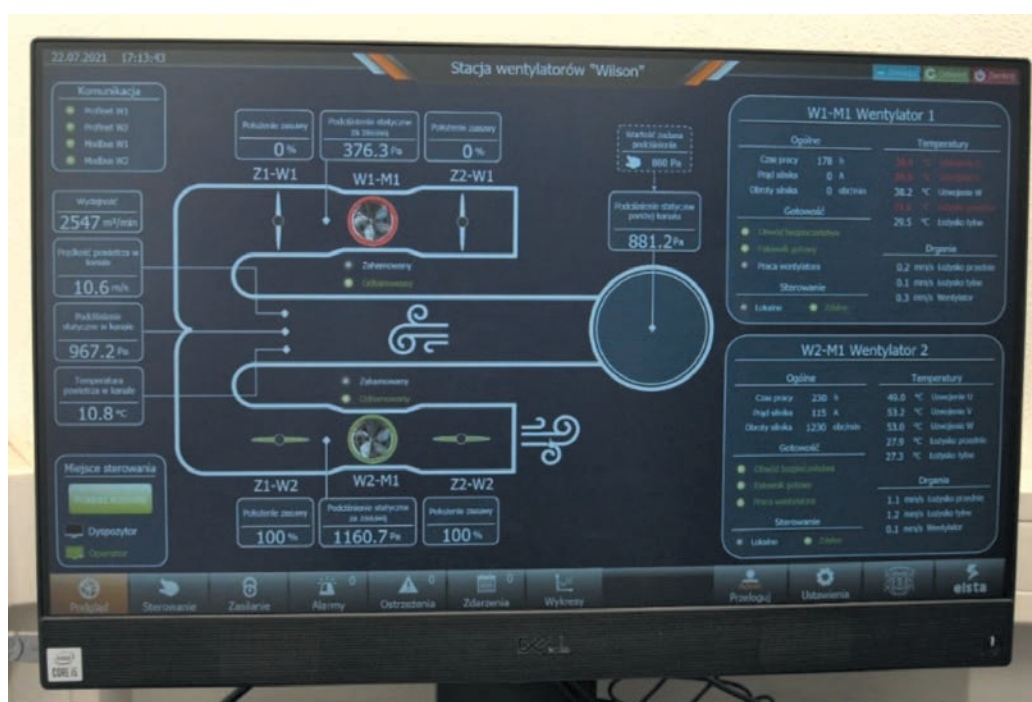


Fig. 9. The control panel of the fan station

4. SUMMARY

The described modernization of the main fan station of the “Wilson” shaft provided a modern facility that improves the safety of tourist and sanatorium traffic as well as the safety of employees and other people in the underground workings of KS “Wieliczka”. Thanks to the development of modern devices, the mine also meets the requirements from regulations, including restrictive environmental standards with regard to permissible noise level [5]. When it comes to the modernization of the main fan stations, devices with lower electricity consumption were used, thus reducing the amount of electricity bills. Another solution that reduces costs is the use of automated devices, a move which will completely eliminate the need for the position of device maintenance employee in the long-term.

References

- [1] *A multi-variant concept for the modernization of the fan station at the Wilson shaft*. Biuro Studiów i Projektów Górniczych Sp. z o.o., Katowice 2017 [unpublished].
- [2] Functional and operational program for the modernization of the fan station at the Wilson shaft in the Kopalnia Soli “Wieliczka” S.A. (with an attachment: “Detailed assumptions for the energy and mechanical industry”). Biuro Architektoniczno-Budowlane “JUNAK”, Kraków 2018 [unpublished].
- [3] *Modernization of the fan station at the Wilson shaft in the “Wieliczka” Salt Mine*. Technical project. Zakład Projektowania i Doradztwa Technicznego “Gorprojekt” Sp. z o.o. in Gliwice, Gliwice 2020 [unpublished].
- [4] Inventory of fan stations. As-built documentation “Modernization of the Wilson shaft fan station in the “Wieliczka” Salt Mine S.A., Demetrix Sp. z o.o., ul. 1 Maja 35, 41-940 Piekary Śląskie, Wieliczka 2021 [unpublished].
- [5] *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych*. Dz.U. 2017, poz. 1118 [Ordinance of the Minister of Energy of November 23, 2016 on detailed operational requirements for underground mining plants].

RAFAŁ PASEK, M.Sc., Eng.
 KRZYSZTOF ROZWADOWSKI, M.Sc., Eng.
 ZYGMUNT ZUSKI, M.Sc., Eng.
 Kopalnia Soli “Wieliczka” S.A.
 Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka, Poland
 {rafal.pasek, krzysztof.rozwadowski,
 zygmun.zuski}@kopalnia.pl

RAFAŁ PASEK

KRZYSZTOF ROZWADOWSKI

ZYGMUNT ZUSKI

Modernizacja stacji wentylatorów głównych szybu „Wilson” w KS „Wieliczka” S.A.

Artykuł omawia modernizację stacji wentylatorów głównych szybu „Wilson” w KS „Wieliczka” S.A., która objęła: budynek stacji, wentylatory główne, silniki elektryczne o mocy 110 kW do napędu wentylatorów, transformatory 3/0,4 kV, rozdzielnię 3 kV „Wilson”, rozdzielnię główną 0,4 kV oraz systemy komunikacyjne do sterowania stacją.

Słowa kluczowe: szyb kopalniany, wentylatory główne, modernizacja, kopalnia soli

1. WPROWADZENIE

Artykuł dotyczy zagadnienia związanego z modernizacją stacji wentylatorów głównych szybu „Wilson”, która obejmowała w części architektonicznej: zabudowę nowego budynku stacji wentylatorów wraz z pomieszczeniami elektrycznymi i socjalnymi, budynku dekompresyjnego oraz pomieszczeń wentylatorów wraz z dyfuzorami i tłumikami. Do budowy wykorzystano materiały dźwiękochłonne, aby ograniczyć poziom hałasu. Zakres modernizacji obejmował zabudowę nowych wentylatorów typu dAL16-1100 z napędem elektrycznym. W celu zasilania stacji wentylatorów została zabudowana nowa rozdzielnia SN 3 kV „Wilson”, nowe transformatory mocy 3/0,4 kV oraz rozdzielnia RG 0,4 kV. Sterowanie rozdzielnią przebiega w sposób ręczny lub automatyczny (zdalny) z poziomu panelu operatora zainstalowanego w pomieszczeniu dyspozytora elektrycznego GSTR 15/3/0,4 kV. Celem zapewnienia bezprzerwowego zasilania wrażliwych odbiorników, głównie systemu automatyki, pomiarów, sterowania i teletechniki zastosowano układ zasilania napięciem gwarantowanym. W zakresie analizy parametrów pracy wentylatorów zastosowano nowe urządzenia automatyki kontrolno-pomiarowej. Układ sterowania i wizualizacji pracy stacji wentylatorów realizowany jest za pomocą programowalnych sterowników przemysłowych (PLC) oraz komputerów PC. W ramach realizacji projektu zlikwidowano również starą stację wentylatorów głównych wraz z infrastrukturą zasilającą, sterowniczą i kontrolno-pomiarową. Dzięki modernizacji stacji wentylatorów powstał no-

woczesny obiekt poprawiający bezpieczeństwo prowadzenia ruchu turystycznego, sanatoryjnego oraz pracowników przebywających w podziemnych wyrobiskach Kopalni Soli „Wieliczka”. Dzięki zabudowie nowoczesnych urządzeń kopalnia spełnia wymagania restrykcyjnych norm środowiskowych w zakresie dopuszczalnego poziomu hałasu.

2. BUDYNEK STACJI WENTYLATORÓW GŁÓWNYCH PRZED MODERNIZACJĄ

Budynek stacji wentylatorów głównych szybu „Wilson” KS „Wieliczka” S.A. przed modernizacją znajdował się na tej samej działce co nowy budynek i miał długość 16,88 m przy szerokości 6,48 m. Od strony północnej znajdowała się dyżurka. Był on obiektem parterowym, przykrytym w całości stropodachem krytym papą. Obiekt został wykonany w technologii tradycyjnej z cegły ceramicznej. W budynku głównym wszystkie okna stalowe były nietypowe, szklone pojedynczo. Również drzwi były stalowe. Posadzki wykonano z zaprawy cementowej, zatartej na gładko na podłożu betonowym z izolacją przeciwwilgociową z papy. Wejście do budynku szybu usytuowano od północnej strony, a do dyżurki od strony wschodniej. W budynku stacji wentylatorów znajdowały się dwa wentylatory główne (rys. 1) typu WOK – 4duB, każdy o wydajności 58,3 m³/s przy obrotach nominalnych 490 obr/min. Mogły one pracować zarówno w trybie pracy ssącej, jak i rewersyjnej. Zmianę trybu

pracy wykonywano za pomocą zmiany kierunku obrotów silników. Zasilanie odbywało się za pomocą silników elektrycznych o mocy 200 kW i napięciu 3 kV [1].

Rozdzielnię SN 3 kV „Wilson” (rys. 2) zabudowano w budynku stacji wentylatorów głównych szybu „Wilson”. W skład rozdzielni wchodziły dwie sekcje rozdzielcze 3 kV zbudowane z pięciu pól rozdzielczych typu RSK6. Zasilanie podstawowe oraz rezerwowe stanowiły dwie niezależne linie kablowe z dwóch różnych sekcji głównej stacji transformatorowo-rozdzielczej GSTR 15/3/0,4 kV. Rozdzielnia SN 3 kV „Wilson” zasilala stację wentylatorów głównych szybu „Wilson” oraz rozdzielnię SN 3 kV „III Wschód” na poziomie III kopalni. Z rozdzielni SN 3 kV „Wilson” zasilane były dwa transformatory 3/0,4 kV o mocy 6,3 kVA, które

z kolei zasilaly obwody potrzeb własnych stacji wentylatorów głównych „Wilson”. Punktem rozdzielczym dla odbiorów 380/220 V była rozdzielnia okapturzona, znajdująca się w pomieszczeniu wentylatorów. Zasadniczo rozdzielnia pracowała na jednym zasilaniu, drugie stanowiło rezerwę załączaną ręcznie w przypadku zaniku napięcia. Jednak w czasie pracy wszystkich grzejników (np. w okresie zimowym) rozdzielnię należało zasilić z obu transformatorów. Rozdzielnia potrzeb własnych 380/220 V zasilala: obwody gniazd grzejników, szafy przełączników obrotów, szafę pomiarową AKP, obwód zasilający napędy zasuw, obwód gniazd 24 V oraz obwody oświetlenia zewnętrznego i wewnętrznego.

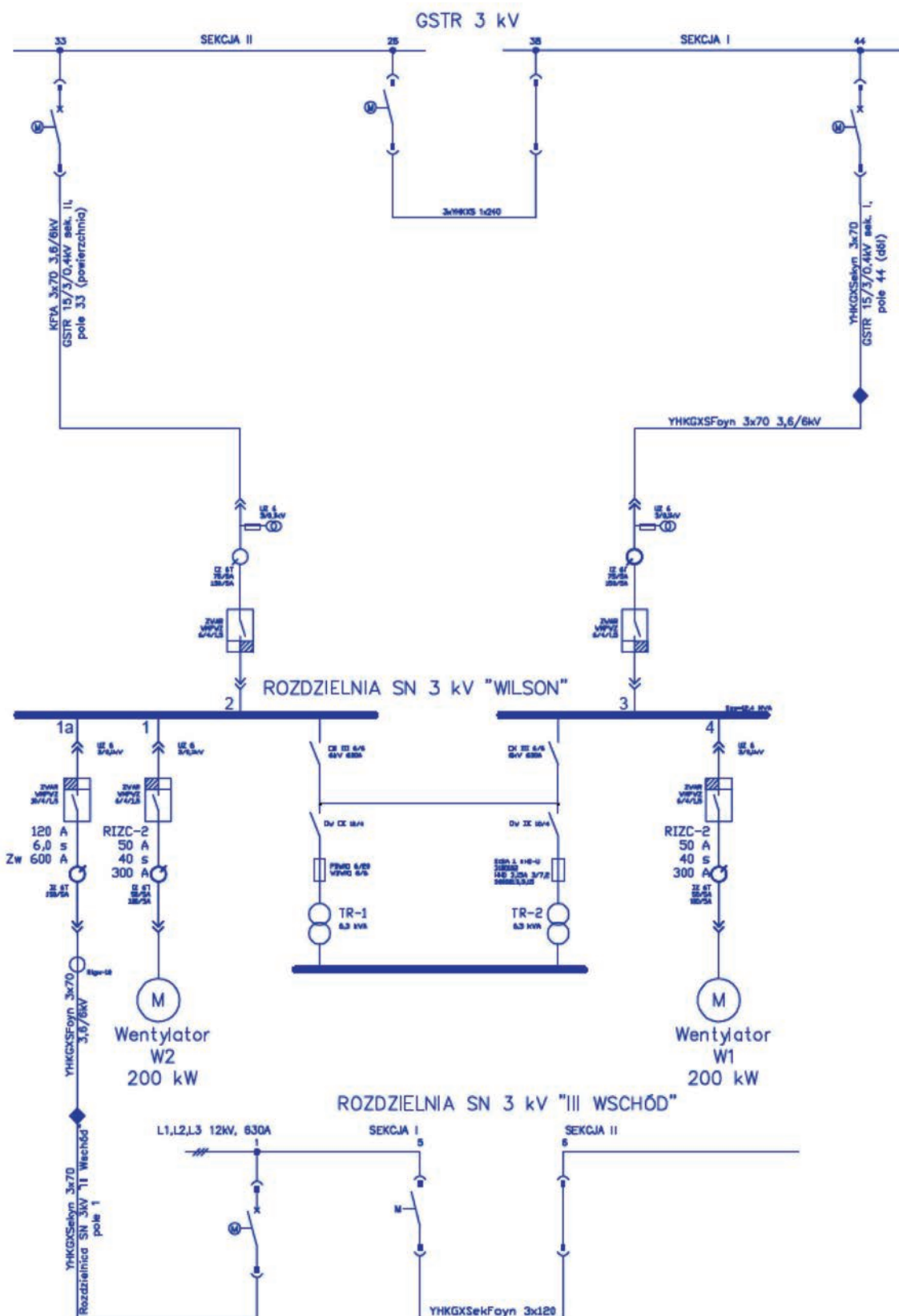
Schemat zasilania starej stacji wentylatorów głównych szybu „Wilson” przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 1. Wentylatory głównego przewietrzania szybu „Wilson”



Rys. 2. Pola rozdzielcze typu RSK-6 rozdzielni SN 3 kV „Wilson”



Rys. 3. Schemat strukturalny zasilania stacji wentylatorów głównych szybu „Wilson”

Sterowanie rozdzielnią SN 3 kV „Wilson”, rozdzielnią potrzeb własnych 380/220 V oraz załączanie wentylatorów głównego przewietrzania odbywało się ręcznie. Również sterowanie klapami odbywało się ręcz-

nie za pomocą wyłączników trójfazowych lewo – prawo. System nadzoru i informacji o pracy stacji wentylatorów realizowano za pomocą szafy AKP i sygnalizacji powiązanej z polami średniego napięcia. Obsługa

stacji przebywała w pomieszczeniu socjalnym na terenie obiektu. Szafa AKP dostarczała informacji o parametrach powietrza wydechowego oraz o temperaturze łożysk wentylatora. Ponadto parametry powietrza wydechowego przekazywane były do dyspozytorni głównej kopalni za pomocą stacji VAL i systemu komputerowego. Łączność zapewniał aparat telefoniczny ogólnozakładowej sieci telefonicznej. W czasie jakichkolwiek awarii wyłączenie wentylatora sygnalizowane było sygnałem dźwiękowym (buczek). Stan pracy pola średniego napięcia rozdzielni SN 3 kV „Wilson” sygnalizowały lampki zamontowane w każdym polu. O przekroczeniu temperatury łożysk wentylatorów informował z kolei sygnał optyczny (lampki sygnalizacyjne) oraz sygnał dźwiękowy (dzwonek). Praca wentylatora w trybie ssania lub tłoczenia sygnalizowana była lampkami sygnalizacyjnymi zamontowanymi w szafach zmiany kierunku obrotów każdego wentylatora.

Do oświetlenia pomieszczenia zastosowano oprawy fluorescencyjne i żarowe przeznaczone do napięcia 220 V, 50 Hz. Zastosowano także cztery oprawy żarowe 60 W do oświetlenia awaryjnego na napięcie 24 V z baterii akumulatorów 4×6 V. Baterie były zasilane przez prostownik BZB 24/25 z sieci 220 V, 50 Hz. Teren zewnętrzny oświetlono za pomocą opraw z lampami rtęciowymi 250 W.

Rozdzielnia SN 3 kV „Wilson” posiadała blokady w postaci rygli zamontowanych w każdym polu rozdzielni. Działanie rygla powodowało wyłączenie pola średniego napięcia. Ponadto przy drzwiach każdej szafy zmiany kierunku obrotów wentylatorów S-1 i S-2, zamontowano wyłączniki krańcowe, które uniemożliwiały uruchomienie wentylatora przy otwartych drzwiach szafy zmiany kierunku jego obrotów. Pola silnikowe rozdzielni SN 3 kV „Wilson” posiadały zabezpieczenia przeciążeniowe i zwarciowe z zastosowaniem przekładników RIZc2. W polach zasilających wentylatory zamontowano zabezpieczenia podnapięciowe wyłączające pole w przypadku zaniku napięcia 3 kV. Pole odpływowe do zasilania rozdzielni SN 3 kV „III Wschód” zabezpieczono przeciążeniowo i zwarciowo zabezpieczeniami VIP-40. Pole to miało również ochronę ziemnozwarciową. W sieci średniego napięcia 3 kV ochronę przeciwporażeniową zapewniało uziemienie ochronne urządzeń średniego napięcia. W sieci niskiego napięcia ochronę przeciwporażeniową realizowano jako szybkie wyłączenie zasilania za pomocą bezpieczników instalacyjnych i wyłączników bezpiecznikowych typu S. Dodatkowo w obwodach niskiego napięcia jako ochronę uzupełniającą zastosowano wyłączniki różnicowoprądowe o prądzie różnicowym 30 mA.

3. ZMODERNIZOWANY BUDYNEK STACJI WENTYLATORÓW GŁÓWNYCH SZYBU „WILSON”

3.1. Budynek główny

Nowy budynek stacji wentylatorów głównych szybu „Wilson” ma prostą formę składającą się z kilku przylegających do siebie brył, które są ze sobą połączone funkcjonalnie i tworzą zwartą całość. Od strony północno-zachodniej umieszczono zaplecze wraz z pomieszczeniami elektrycznymi oraz pomieszczeniem socjalnym. Pomieszczenia mają zapewniony dostęp z zewnątrz. Od strony wschodniej znajduje się pomieszczenie wentylatorów wraz z dyfuzorem i tłumikiem. Do pomieszczenia wentylatorów prowadzą z zewnątrz bramy wjazdowe z drzwiami przejściowymi. Budynek w całości jest obiektem jednokondygnacyjnym, przykrytym dachem płaskim o kącie nachylenia połaci wynoszącym co najmniej 2% lub 3%. Przy budowie wykorzystano materiały dźwiękochłonne, aby ograniczyć poziom generowanego hałasu głównego przenikającego na sąsiednie tereny domów jednorodzinnych tak, by nie przekraczał 40 dB w nocy, a 50 dB za dnia, zgodnie z przepisami oraz decyzją Starosty Powiatu Wielickiego [2].

3.2. Wentylatory główne

Wentylatory osiowe dAL16-1100 (rys. 4) przeznaczone są do przewietrzania podziemnych wyrobisk kopalni. Są to wentylatory jednowirnikowe z napędem elektrycznym. Mają one wydajność $42,8 \text{ m}^3/\text{s}$ i mogą wykonywać 1250 obr/min. W celu spełnienia rygorystycznych norm hałasu wentylatory zostały dodatkowo umieszczone w specjalnych obudowach z elementami tłumiącymi. Wał wentylatora osadzono na łożyskach tocznych. Wentylatory zostały wyposażone w układy diagnostyczne. Czujniki temperatury zabudowano w gniazdach przygotowanych w oprawach łożyskowych wentylatora, natomiast czujniki drgań na każdym z kadłubów łożysk oraz – jeden – na obudowie wentylatora. Sygnały z przetworników pobierane są do wizualizacji i wyświetlane w trybie ciągłym na ekranie monitora w pomieszczeniu stacji oraz u dyspozytora. Każdy wentylator zasilany jest z szafy przemiennika częstotliwości, zapewniającego płynną regulację wydajności i ciśnienia zasysanego powietrza przez zmianę obrotów silnika o mocy 110 kW i napięciu 400 V. Wentylatory mają możliwość pracy rewersyjnej po zmianie kierunku obrotów silnika. Wydajność wentylatora podczas pracy w układzie rewersji wynosi do $27,0 \text{ m}^3/\text{s}$, co stanowi ok. 70%

jego wydajności nominalnej podczas pracy w układzie ssącym. Wentylatory połączone są z kanałem wentylacyjnym prowadzącym do szybu „Wilson” oraz z dyfuzorem [3]. Układ kanału wentylacyjnego umożliwia dwukierunkowy przepływ powietrza w zależności od potrzeb przewietrzania kopalni. Wentylato-

ry wyposażono w przepustnice, które są wykonane jako wielopłaszczyznowe (poziome) z napędem typu AUMA, wyposażonym w wyłączniki krańcowe z dodatkowym napędem ręcznym. Istnieje możliwość regulacji położenia kłap oraz czasu przejścia w położenia skrajne.



Rys. 4. Wentylator typu dAL16-1100 produkcji firmy Korfmann

3.3. Rozdzielnia 3 kV „Wilson” oraz rozdzielnia główna 0,4 kV wraz ze stacją transformatorową 3/0,4 kV

W ramach modernizacji pola rozdzielni 3 kV „Wilson” typu RSK6 wymieniono na pola typu e²ALPHA

(rys. 5) z zabezpieczeniami e²TANGO-800 i wyłącznikami e²BRAVO. Zabudowano je w nowym budynku stacji wentylatorów głównych. W rozdzielni posiada dwie sekcje po pięć pól każda [3]. Charakteryzuje ją konstrukcja przedziałowa, wykonano ją w izolacji powietrznej.



Rys. 5. Celki rozdzielcze typu e²ALPHA rozdzielni SN 3 kV „Wilson”

Rozdzielnia zasilana jest z położonej na terenie KS „Wieliczka” własnej rozdzielnicy powierzchniowej GSTR-15/3/0,4 kV napięciem 3 kV w systemie IT za pośrednictwem istniejących dwóch linii kablowych 3,6/6 kV 3 × 70 mm², które zasilają istniejącą przy szybie „Wilson” stację wentylatorów. Jedną z tych linii poprowadzono na powierzchni, a drugą podziemnymi wyrobiskami kopalni i szybem „Wilson”. Linie

na powierzchni na terenie działki szybu „Wilson” przecięto i połączono przez mufę z nowym odcinkiem kabla, który wprowadzono do I sekcji projektowanej rozdzielnicy RSN 3 kV „Wilson”. Linie prowadzoną podziemnymi wyrobiskami kopalni przecięto na poziomie III w pobliżu szybu „Wilson” i przez mufę połączono z nowym odcinkiem kabla prowadzonym szybem „Wilson”, który został wprowadzony do II sekcji

Sterowanie rozdzielnią przebiega w sposób ręczny, ale także automatyczny lub zdalny z poziomu panelu operatora, zainstalowanego w pomieszczeniu dyspozytora oraz w pomieszczeniu operatora w budynku stacji wentylatorów głównych. Sieć komunikacyjna w stacji wentylatorów głównych szybu „Wilson” oparta jest głównie na interfejsie Ethernet. Połączenie stacji z dyspozytornią zakładową zrealizowano za pomocą dwóch linii światłowodowych. W celu podniesienia poziomu niezawodności komunikacji linie światłowodowe skonfigurowano w pierścień umożliwiający nieprzerwaną pracę w przypadku uszkodzenia jednej z nich.

Podstawowym aspektem bezpiecznego użytkowania rozdzielnic e^2 ALPHA jest bieżąca informacja o stanie i położeniu łączników zainstalowanych w polu rozdzielczym. Informacja ta może pochodzić z dwóch źródeł: ze wskaźników typu LED umieszczonych na schemacie synoptycznym pola (na przodzie drzwi przedziału nn) lub ze sterownika polowego zamontowanego na przodzie drzwi przedziału nn. Dodatkowo istnieje możliwość wzrokowego sprawdzenia stanu lub położenia łączników przez wzierniki zamontowane w drzwiach przedziałów aparaturowego i kablowego.

W stacji wentylatorów głównych znajduje się rozdzielnica potrzeb własnych niskiego napięcia, która przeznaczona jest do rozdziału energii elektrycznej w sieciach trójfazowych prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz i napięciu znamionowym do 690 V oraz sterowania i zabezpieczania urządzeń odbiorczych przed skutkami zwarć i przeciążeń. Rozdzielnica ma konstrukcję szafową do zabudowy wewnętrz-

nej stacjonarnej o konstrukcji jednolitej. W budynku występuje także rozdzielnica RG 0,4 kV „Wilson”, przeznaczona do zasilania urządzeń związanych z wentylatorami głównego przewietrzania, potrzeb własnych stacji wentylatorów, stacji transformatorowej, oświetlenia, ogrzewania i wentylacji. Jest ona zasilana z dwóch transformatorów normalnych typu TZEa 250/3,3/0,4 kV o mocy 250 kVA.

3.4. Układy pomiarowe

W celu monitorowania poprawnej pracy stacji wentylatorów głównych zabudowano urządzenia pomiarowe (rys. 7), które przyłączono bezpośrednio do sterownika PLC w szafie TPA. Wszystkie technologiczne urządzenia pomiarowe posiadają dopuszczenie do pracy w strefie zagrożenia wybuchem w kategorii I M1 oraz są odporne na działanie korozji chlorkowej. W celu zapewnienia największej dokładności i braku konieczności odwadniania torów impulsowych przetworniki pomiarowe ciśnienia zabudowano możliwie jak najbliżej punktu poboru ciśnienia, a tory impulsowe ułożono ze spadkiem w stronę kanałów wentylacyjnych. Przetworniki ciśnienia wyposażono w zawory manometryczne umożliwiające okresową kontrolę wskazań urządzeń i wzorcowania. Pomiar prędkości przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym realizowany jest za pomocą rurki Pitota (Prandtla) i przetwornika różnicy ciśnienia. Przetwornik wyposażony jest w zblozce trójdrogowe do okresowych kontroli wskazań urządzenia i wzorcowania.



Rys. 7. Aparatura kontrolno-pomiarowa systemu „Venturon”

Na potrzeby okresowych kontroli urządzeń zaprojektowano dodatkowe króćce pomiarowe. Zaciski uziemiające na obudowach przetworników pomiarowych przyłączono do lokalnych szyn wyrównawczych.

W ramach modernizacji przeniesiono do budynku i uruchomiono istniejący system kontroli parametrów bezpieczeństwa wraz z mikroprocesorowym, iskrobezpiecznym, programowalnym sterownikiem przeznaczonym do zbierania sygnałów z czujników analogowych i dwustanowych typu VAL-101P oraz czujnikami zainstalowanymi w rejonie szybu. Przeniesienie stacji VAL wykonano po uruchomieniu nowej stacji wentylatorów głównych i zatrzymaniu istniejącej tak, aby zapewnić jak najkrótszą przerwę w monitorowaniu parametrów bezpieczeństwa. Stację VAL wraz z zasilaczem i skrzynką krosową zainstalowano w hali wentylatorów. Przetworniki pomiarowe umieszczono obok przetworników technologicznych stacji, a pobór ciśnienia zrealizowany jest przez trójnik na przyłączy przetwornika technologicznego.

3.5. Zasilacz napięcia gwarantowanego

W celu zapewnienia bezprzerwowego zasilania wrażliwych odbiorników, głównie systemu automatyki, pomiarów, sterowania i teletechniki, zastosowano:

- zasilacz napięcia gwarantowanego 110 V DC, o prądzie nominalnym 60 A (dwa systemy A i B),
- zasilacz napięcia gwarantowanego 230 V AC o mocy 1,5 kVA (+1,5 kVA – redundancja),

- baterie akumulatorów (rys. 8) dla podtrzymania mocy 6 kW (+6 kW – redundancja) przez 2 godziny.

3.6. Zabezpieczenia

Pole rozdzielni e²ALPHA posiada szereg zabezpieczeń przeciwporażeniowych. Podstawowy środek ochrony (przed dotknięciem bezpośrednim) elementów znajdujących się na potencjale wysokiego napięcia zapewniają osłony wykonane z blachy stalowej o grubości 2 mm i 3 mm (stopień ochrony IP 4X, wg [3]). Wszystkie przewodzące elementy rozdzielnic, niebędące częścią składową obwodu elektrycznego, zostały z kolei przyłączone do przewodu ochronnego. Komponent ten wykonano z płaskownika miedzianego o przekroju 30 mm × 5 mm, dobranym ze względu na cieplne i dynamiczne oddziaływanie prądów zwarciovych. Wszystkie części składowe torów głównych posiadają zacisk uziemiający połączony z główną szyną uziemiającą. Każde z pól rozdzielniczych rozdzielnic e²ALPHA wyposażono w zewnętrzne zaciski do podłączania głównej szyny uziemiającej do uziomu znajdującego się w budynku rozdzielni. Obwody sterownicze w rozdzielnicach wykonano na napięciu 110 V DC, zasilając je z siłowni prądu stałego, wyposażonej w układ ciągłej kontroli stanu izolacji. Drzwi przedziałów wysokiego napięcia oraz osłony przedziału obwodów sterowniczych zawierającego aparaty o napięciu znamionowym nie wyższym niż



Rys. 8. Baterie akumulatorów

1 kV połączono z przewodem ochronnym za pomocą linki miedzianej o przekroju nie mniejszym niż 6 mm². Miejsca podłączenia uziemienia oznaczono odpowiednim symbolem. Uziemienie członu wysuwego względem rozdzielnic zostało wykonane za pomocą połączenia ślizgowego ze stałym dociskiem, przy zastosowaniu wyłącznika e²BRAVO. Elementami stykowymi są: listwa miedziana przykręcona od spodu wózka członu ruchomego oraz specjalnie wyprofilowana szyna umieszczona na przegrodzie podwyłącznikowej.

Ochronę przed przepięciami indukowanymi i łączeniowymi dla rozdzielnic SN zrealizowano za pomocą ochronników przepięciowych zabudowanych w przedziale kablowym rozdzielnic typu 3EK4 3,6 kV. Dla rozdzielnic głównej RG 0,4 kV zastosowano ochronniki przepięciowe (SPD) zintegrowane typu 1+2.

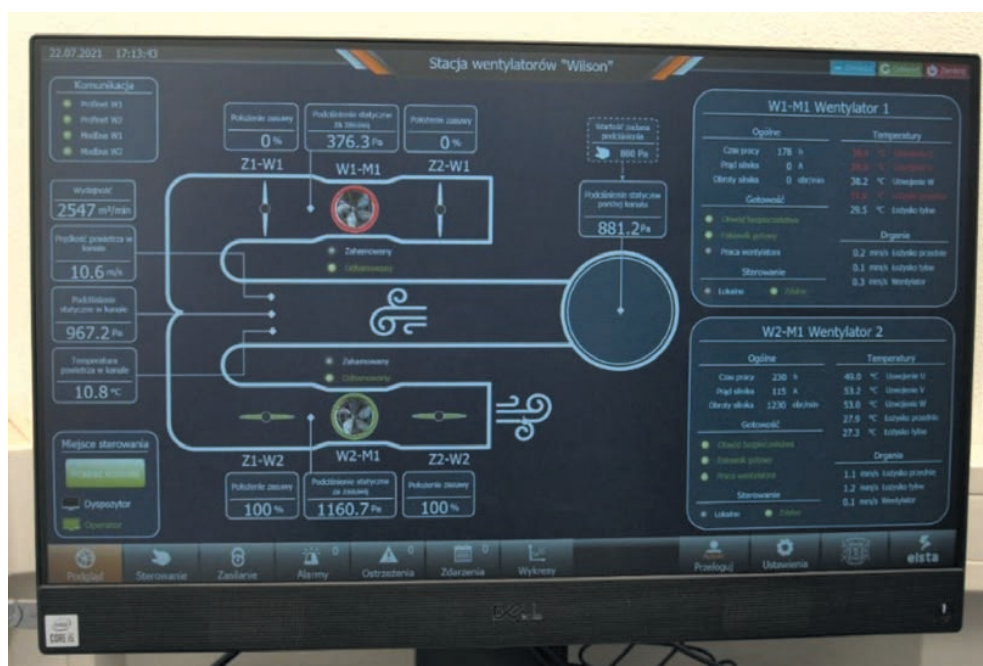
W związku z tym, że w budynku stacji wentylatorów może wystąpić zagrożenie pożarowe, zabudowano przeciwpożarowy wyłącznik prądu odcinający napięcie. Umieszczono go przy drzwiach wejściowych do korytarza stacji transformatorowej. Dodatkowo wszystkie kable przechodzące przez strefy pożarowe uszczelniono przeciwpożarowo.

3.7. Sterowanie stacją wentylatorów

Sterowanie i wizualizacja pracy stacji wentylatorów realizowane są za pomocą programowalnych sterowników przemysłowych (PLC) oraz komputerów PC z zaimplementowanymi aplikacjami sterowania

i wizualizacji (rys. 9). Do sterowników PLC podłączone są sygnały sterujące i pomiarowe pochodzące z: czujników pomiarowych, przetworników, przemenników częstotliwości oraz innych elementów kontrolnych i wykonawczych. Sterownik PLC nadzoruje pracę wentylatorów na podstawie sygnałów z czujników pomiarowych, m.in.: prędkości przepływu i podciśnienia statycznego powietrza oraz algorytmu sterowania zapisanego w pamięci. System wyposażony jest w stanowiska sterownicze w pomieszczeniu obsługi wentylatorów oraz dyspozytorni zakładowej.

Transmisja danych pomiędzy sterownikami a stanowiskiem w dyspozytorni zakładowej oparta jest na magistrali światłowodowej. Dla zapewnienia bezpieczeństwa dane są przekazywane dwoma niezależnymi drogami, z wykorzystaniem podziemnych wyrobisk górniczych. Główny sterownik technologiczny, nadzorujący pracę wentylatorów znajduje się w szafie transmisyjno-pomiarowej automatyki TPA, w pomieszczeniu rozdzielni głównej nN RG 0,4 kV. Szafa TPA zasilana jest dwoma liniami 110 V DC z obu systemów zasilacza napięcia gwarantowanego RPS. Do sterownika bezpośrednio podłączone są klapy przed wentylatorami i za nimi oraz urządzenia pomiarowe kontrolujące ciśnienia w szybie, przed klapami i za nimi oraz prędkość przepływu powietrza i temperaturę. Pomiary monitorujące temperatury i wibracje wentylatorów zostały przyłączone do dedykowanych modułów kontrolnych w szafkach lokalnego sterowania wentylatorów, z których również można sterować wentylatorem, jeśli zajdzie taka potrzeba [4].



Rys. 9. Pulpit systemu sterowania stacją wentylatorów

4. PODSUMOWANIE

Opisana modernizacja stacji wentylatorów głównych szybu „Wilson” udostępniła nowoczesny obiekt poprawiający bezpieczeństwo prowadzenia ruchu turystycznego i sanatoryjnego oraz bezpieczeństwo pracowników i innych osób przebywających w podziemnych wyrobiskach KS „Wieliczka”. Dzięki zabudowie nowoczesnych urządzeń kopalnia spełnia też wymagania zawarte w przepisach, w tym przestrzega restrykcyjnych norm środowiskowych w zakresie dopuszczalnego poziomu hałasu [5]. W zakresie modernizacji stacji wentylatorów głównych zastosowano urządzenia o mniejszym zużyciu energii elektrycznej, co przekłada się na zmniejszenie wysokości rachunków za prąd. Kolejnym rozwiązaniem ograniczającym koszty jest zastosowanie urządzeń zautomatyzowanych, co w perspektywie czasu całkowicie zlikwiduje stanowisko stałe obsługi urządzeń.

Literatura

- [1] *Wielowariantowa koncepcja modernizacji stacji wentylatorowej przy szybie Wilson*. Biuro Studiów i Projektów Górniczych Sp. z o.o., Katowice 2017 [niepublikowane].
- [2] Program funkcjonalno-użytkowy modernizacji stacji wentylatorów przy szybie Wilson w Kopalni Soli „Wieliczka” S.A. (wraz z załącznikiem: „Szczegółowe założenia dotyczące branży energomechanicznej”). Biuro Architektoniczno-Budowlane „JUNAK”, Kraków 2018 [niepublikowane].
- [3] *Modernizacja stacji wentylatorów przy szybie Wilson w Kopalni Soli „Wieliczka”*. Projekt techniczny. Zakład Projektowania i Doradztwa Technicznego „Gorprojekt” Sp. z o.o. w Gliwicach, Gliwice 2020 [niepublikowane].
- [4] Inwentaryzacja stacji wentylatorów. Dokumentacja powykonawcza „Modernizacja stacji wentylatorów szybu Wilson w Kopalni Soli Wieliczka S.A.”, Demetrix Sp. z o.o., ul. 1 Maja 35, 41-940 Piekary Śląskie, Wieliczka 2021 [niepublikowane].
- [5] *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.

mgr inż. RAFAŁ PASEK
mgr inż. KRZYSZTOF ROZWADOWSKI
mgr inż. ZYGMUNT ZUSKI
Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A.
Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka
{rafal.pasek, krzysztof.rozwadowski,
zygmunt.zuski}@kopalnia.pl

WOJCIECH TEMEL

IRENEUSZ CZAJKA

TOMASZ LACH

ŁUKASZ HALAMA

Design of a station for welding parts of a car exhaust system

Making large batches of repeatable components is a challenge for the manual welding process. The solution to these problems is automation using machines with two- or multi-axis systems. The design of a station for welding elements of car mufflers focuses on the automation of one of the processes at Ulter-Sport Sp. z o.o. through the use of a prototype five-axis numerically controlled station. The use of this type of solution provides the operator with the opportunity to quickly develop new welding cycles, which are repeatedly and accurately mapped using a ball system and stepper motors. The spacious working area and large movement capabilities of the torch allow the machine to adapt to perform other welding tasks.

Key words: welding, exhaust system, automation

1. INTRODUCTION

The exhaust system is one of the basic components of modern combustion cars. The sound experience it produces depends on the geometry, build quality of the components, and the connections between them. The constant pursuit of innovative shapes has led to significant complexity in the manufactured tips, thus making it difficult to ensure the necessary accuracy of execution.

In the automotive industry, large expenditures of repetitive elements are the basis for broadly used automation, thanks to which the performance of difficult and monotonous tasks is transferred from the operator to the machine.

One of the elements requiring a high degree of accuracy are tailpipes (Fig. 1). The final product, consisting of a perforated tube and two rings, requires the use of six welds arranged circumferentially on the edge connecting the elements.



Fig. 1. Exhaust system parts made at the Welding Station AS-03

The narrow space available to the operator and the small wall thickness significantly hinder the repeatability of welds with the required strength [1].

2. MANUAL WELDING

Manual execution of the tailpipes was carried out at the Programmable Turntable. This device is

equipped with a rotating plate that allows the use of tools positioning components for the time of welding. Programming is carried out by dividing the rotation into “fast passage” and “welding” sections, after starting the device rotates the tool to the position in which the weld should have been made, and then informs the employee, by means of an audible signal, when to start the welding process. After rotation by the programmed angle and at the assigned speed, the cycle repeats around the entire perimeter, resulting in the execution of a given number of welds with the indicated parameters.



Fig. 2. Programmable Turntable (PT)

Maintaining the required quality requires a lot of experience and focus from the operator throughout the entire working time. Due to the large batches of identical elements (reaching up to 600 pieces at a time), such monotonous work leads to a decrease in accuracy and frequent occurrence of welding defects that exclude details from subsequent stages of production.

On the basis of the Programmable Turntable (Fig. 2), the Automatic Torch Pushing System (ATPS) was developed. Operating on the basis of a pneumatic actuator, a set of linear bearings and a valve system. It made it possible to automatically move the welding torch in relation to the welded element, depending on the current work cycle of the station.

The ATPS system allowed automation to be tested on simple details requiring short torch movements in

one axis. During testing, many irregularities were noticed, such as:

- difficulties in adjusting the position of the welding torch;
- difficulties in adjusting control of the feed speed;
- vibrations resulting from insufficient number of linear bearings.

These problems had to be solved in subsequent stages of design.

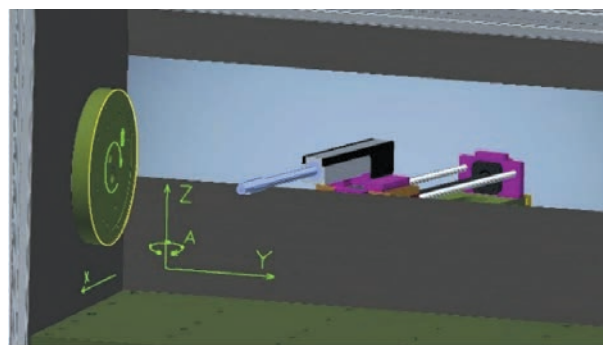
3. CONSTRUCTION REQUIREMENTS

On the basis of the technical documentation of the manufactured elements, as well as the experience resulting from the tests carried out on the ATPS, the following design requirements of the station for welding car muffler elements were determined:

- the number of welds: two, three or four;
- elimination of torch vibrations;
- control of the speed of movement;
- shortening the cycle time;
- weld length in the range of 30–40 mm;
- weld laying speed: 10–15 mm/s;
- welding current voltage within 14–19 V;
- welding current within 80–140 A;
- wire feed speed: 6–9 m/min;
- melting depth: $ET1 \geq 0.2$ [2].

4. THE AS-03 WELDING STATION

In order to meet all the design assumptions, as well as the complex shapes of the tailpipes, it was decided to use a machine based on a five-axis (Fig. 3).



*Fig. 3. Workspace model
with AS-03 station axis arrangement marked.
Model generated with Inventor*

The Automatic Welding Machine (AS-03) (Fig. 5) is equipped with a system of three linear axes, the movement of which is carried out through a stepper motor with an encoder [3] connected to a ball screw by the claw clutch [4, 5]. As linear axes, the following are distinguished:

- X axis – responsible for moving the torch to the welded element in the range of 0–255 mm;
- Y axis – responsible for the movement along the welded element in the range of 0–810 mm;
- Z axis – responsible for height adjustment in the range of 0–162 mm.

Additional angular axes are one of the most important elements of the machine design. Those are responsible for controlling the angle between the torch and the welded edge, as well as its positioning and the welding speed. As angular axes, the following are distinguished:

- A axis – responsible for tilting the torch around the Z axis in the range of 0–95°;
- B axis – responsible for the rotation of the welded element in the range of 0–360°.

Due to the design and production capacity of the company's machine park, the AS-03 station uses welding heads of its own design (Fig. 4). It consists of a Teflon housing mounted on a carriage with linear bearings and a brass tube guiding the liner. The end of the head is topped with a gas nozzle holder for use of standardized current tips and gas nozzle.

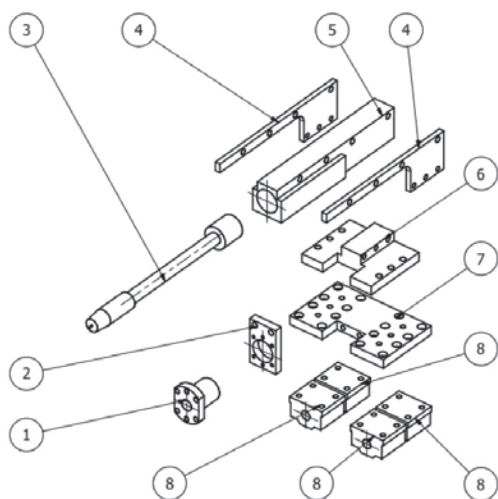


Fig. 4. List of elements included in the welding torch of the AS-03 Welding Station.
Drawing generated with Inventor

The most important aspect of working on machines with moving parts is the safety of the operator. Pictograms, covers, ESTOP button, as well as limit switches

in combination with the SICK safety module provide hardware protection for the operator against injury.



Fig. 5. Welding Station AS-03

In addition, security systems have been duplicated using a number of macros and scripts written in Python. Those are responsible for such functions as door locking during operation, operation of sensors and other external systems cooperating with the AS-03 station [6, 7].

Additional functions of the station are controlled by a motion controller CSMIO equipped with a number of analog and digital outputs transmitting signals to the station equipment. One such component is the Oerlikon Citowave III welding machine [8], the work of which is controlled by two analog signals that allow a smooth change of wire feed and welding current during a single cycle, and even during the execution of a single weld.

The AS-03 station operates on the basis of G-code with linear accuracies of 0.01 mm and angular accuracies of 30'.

To facilitate the development of programs, the machine is equipped with an MPG remote control (Fig. 6) with an additional button that allows current coordinates to be saved to a file.



Fig. 6. MPG remote control used for development of the G-code

The B angular axis is finished with a rotating plate on which pins and a number of threaded holes are placed, ensuring the uniform installation of positioning tools (Fig. 7) with each retooling of the station.

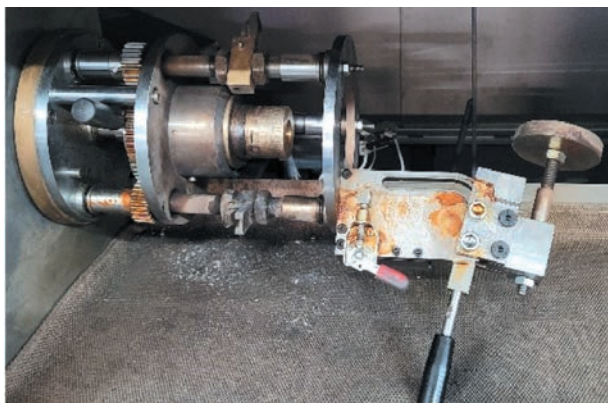


Fig. 7. Tool mounted in the working space of the AS-03 Welding Station

5. USES OF AS-03

The machine has been developed based on all design requirements, and it also provides for the possibility of adapting to welding other elements of the exhaust system such as muffler jackets. Ultimately, the position has the following capabilities:

- compliance with safety rules in accordance with CE directives;
- reduction of the welding cycle time by 144 seconds to 54 seconds (for one of the elements);
- control of wire feed in the range of 2–25 m/min;
- control of welding current in the range of 15–420 A;
- linear accuracy of 0.01 mm;
- an accuracy of the angular axes of 30';
- the operating range of the X-axis in the range of 0–255 mm;
- the operating range of the Y-axis in the range of 0–800 mm;
- the operating range of the Z linear axis in the range of 0–162.5 mm;
- the operating range of the A-axis in the range of 0–95°;
- operating range of the B angular axis in the range of 0–360°;
- the cylinder-shaped working area measuring $\varnothing 360 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$;
- easy programming using the MPG remote control.

6. METALLOGRAPHIC EXAMINATION

The components made on the AS-03 stand were subjected to metallographic examination (Fig. 8) in the laboratory of the quality control department of Ulter-Sport Sp. z o.o. The test report confirmed the correctness of the ET1, ET2, EL1 and EL2 parameters [2] in the case of 95% of the tested welds.

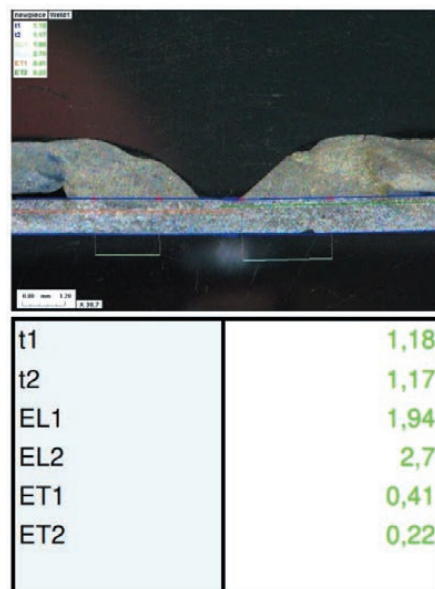


Fig. 8. Part of the metallographic examination report (t1, t2 – walls thickness; EL1, EL2 – fusion length in the axis of the cut; ET1, ET2 – fusion penetration)

7. SUMMARY

The developed stations for welding car muffler elements were designed, manufactured, tested and put into production at Ulter-Sport Sp. z o.o.

With a working area of $\varnothing 360 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$, a torch tilting range of $\pm 45^\circ$, control of the wire feed, welding current and feed speed all enabled a significant improvement in the repeatability and accuracy of the obtained welds. In combination with a set of positioning tools, it is one of the most important systems ensuring continuity in the production of car exhaust systems.

The AS-03 Welding Machine stand found additional applications in welding other elements such as muffler jackets, and thanks to the system used to support long elements, research on the regeneration of worn machine shafts by means of hardfacing began on it.

Acknowledgements

I would like to express my sincere thanks to Ulter-Sport Sp. z o.o. and its employees for financing and assisting in the implementation of the project of a station for welding car muffler elements.

References

- [1] Adamiec P., Pilarczyk J.: *Poradnik inżyniera. Spawalnictwo*, t. 1–4. WNT, Warszawa 2003.
- [2] TAE13005 Welding Exhaust systems EN 2017-08 [TENNECO standard]. Edenkoben 2017.
- [3] *Silniki krokowe i enkodery z oferty WObit*. <https://automatyka.b2b.pl/prezentacje/53098-silniki-krokowe-i-enkodery-z-oferty-wobit> [3.12.2020].
- [4] Dobrzański T.: *Rysunek techniczny maszynowy*. WNT, Warszawa 2015.
- [5] Kurmaz L.: *Podstawy konstrukcji maszyn projektowanie*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
- [6] *Podstawy Pythona*. <https://python101.readthedocs.io/pl/latest/podstawy/index.html> [30.11.2020].
- [7] *Przewodnik po makrach Python*. <https://www.cs-lab.eu/wp-content/uploads/2019/08/makra-python-przewodnik-simcnc.pdf> [30.11.2020].
- [8] Instrukcja obsługi spawarki Oerlikon Citowave III. https://www.oerlikon-welding.com/sites/oerlikon/files/2018/06/22/citowave-iii_pl_2018.pdf [3.12.2020].

WOJCIECH TEMEL, Eng.
wojciech.temel@gmail.com

IRENEUSZ CZAJKA, Ph.D., Eng., prof. AGH
iczajka@agh.edu.pl
AGH University of Science and Technology
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland

TOMASZ LACH, M.Sc., Eng.
tlach@ulter.com.pl
ŁUKASZ HALAMA, M.Sc., Eng.
lhalama@ulter.com.pl
Ulter-Sport Sp. z o.o.
ul. Wyzwolenia 24
34-350 Węgierska Góra, Poland

WOJCIECH TEMEL
IRENEUSZ CZAJKA
TOMASZ LACH
ŁUKASZ HALAMA

Projekt stanowiska do spawania elementów tłumika samochodowego

Wykonywanie dużych partii powtarzających się elementów stanowi wyzwanie dla ręcznego procesu spawania. Rozwiązaniem tych problemów jest automatyzacja z wykorzystaniem maszyn o układach dwu- lub wieloosiowych. Projekt stanowiska do spawania elementów tłumika samochodowego skupia się na automatyzacji jednego z procesów produkcji w firmie Ulter-Sport Sp. z o.o. dzięki wykorzystaniu prototypowego pięcioosiowego stanowiska sterowanego numerycznie. Zastosowanie tego rodzaju rozwiązania daje operatorowi możliwość szybkiego opracowania nowych cykli spawania, które za pomocą układu śrub kulowych oraz silników krokowych są wielokrotnie i dokładnie odtwarzanie. Przestronne pole robocze oraz duże możliwości ruchu głowicy spawalniczej pozwalają na adaptację maszyny do wykonywania innych zadań bazujących na spawaniu.

Słowa kluczowe: spawanie, układ wydechowy, automatyzacja

1. WSTĘP

Układ wydechowy jest jednym z podstawowych podzespołów współczesnych samochodów spalinyowych. Uzyskiwane za jego pomocą wrażenia dźwiękowe zależą od geometrii, jakości wykonania komponentów i połączeń między nimi. Ciągłe dążenie za innowacyjnymi kształtami prowadzi do znacznego skomplikowania produkowanych końcówek, utrudniając tym samym zapewnienie koniecznej dokładności wykonania.

W przemyśle z branży *automotive* duże nakłady powtarzających się elementów stanowią bazę do szeroko pojętej automatyzacji, dzięki której wykonywanie trudnych i monotonicznych zadań zostaje przeniesione z operatora na maszynę.

Jednym z elementów wymagających dużej dokładności są końcówki przedstawione na rysunku 1. Produkt końcowy składający się z perforowanej rurki oraz dwóch pierścieni wymaga zastosowania sześciu spoin rozmieszczonych obwodowo na krawędzi łączącej elementy.



Rys. 1. Końcówki układu wydechowego wykonane na stanowisku automatu spawalniczego (AS-03)

Wąska przestrzeń dostępna dla operatora oraz niewielka grubość ścianek znacząco utrudnia uzyskanie powtarzalności spoin o wymaganej wytrzymałości [1].

2. RĘCZNE WYKONYWANIE SPOIN

Ręczne wykonanie końcówek układu wydechowego odbywało się na stanowisku obrotownika programowanego.

Urządzenie to zostało wyposażone w obrotowy talerz umożliwiający montaż narzędzi pozycjonujących komponenty na czas spawania. Programowanie odbywa się w wyniku podziału obrotu na odcinki „szybkiego przejazdu” oraz „spawania”, następnie po ich uruchomieniu urządzenie obraca narzędzie do położenia, w którym należało wykonać spoinę, i informuje pracownika za pomocą sygnału dźwiękowego o rozpoczęciu procesu spawania. Po obrocie o zaprogramowany kąt i z przypisaną prędkością cykl powtarzał się na całym obwodzie, czego skutkiem było wykonanie zadanej liczby spoin o wskazanych parametrach.



Rys. 2. Stanowisko obrotownika programowalnego (SOP)

Utrzymanie jakości wymaga od operatora dużego doświadczenia oraz skupienia przez cały czas pracy. Ze względu na duże partie identycznych elementów (sięgających jednorazowo nawet 600 sztuk) monotonna praca prowadzi do zmniejszenia się dokładności i częstego występowania wad spawalniczych wykluczających detale z kolejnych etapów produkcji.

Na bazie stanowiska obrotownika programowalnego (rys. 2) został opracowany System Automatycznego Dosuwania (SAD), działający z wykorzystaniem siłownika pneumatycznego, zestaw łożysk liniowych i układ zaworów. Umożliwiał on automatyczne przysuwanie lub odsuwanie uchwytu spawalniczego względem spawanego elementu w zależności od aktualnego cyklu pracy stanowiska.

System SAD pozwolił na przetestowanie automatyzacji na prostych detalach wymagających wyłącznie krótkich ruchów w jednej osi.

Dodatkowo w trakcie testowania zauważono wiele nieprawidłowości, takich jak:

- trudności w regulacji położenia uchwytu spawalniczego;
- trudności w sterowaniu prędkością dosuwu;
- drgania wynikające z niedostatecznej liczby łożysk liniowych.

Problemy te należało rozwiązać w kolejnych etapach projektowania.

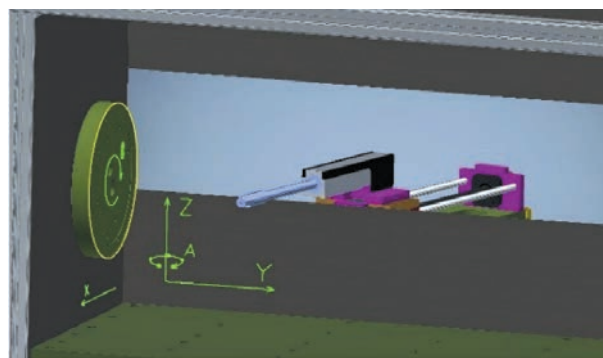
3. WYMAGANIA KONSTRUKCYJNE

Na podstawie dokumentacji technicznej produkowanych elementów, a także doświadczeń płynących z prób przeprowadzonych na systemie automatycznego dosuwania określone zostały następujące wymagania konstrukcyjne stanowiska do spawania elementów tłumika samochodowego:

- liczba spoin: dwie, trzy lub cztery;
- eliminacja drgań uchwytu spawalniczego;
- sterowanie prędkością ruchu;
- skrócenie czasu cyklu;
- długość spoiny w zakresie 30–40 mm;
- prędkość kładzenia spoiny: 10–15 mm/s;
- napięcie prądu spawania w granicach 14–19 V;
- natężenie prądu spawania w granicach 80–140 A;
- prędkość podawania drutu: 6–9 m/min;
- głębokość przetopu: $ET1 \geq 0,2$ [2].

4. AUTOMAT SPAWALNICZY AS-03

W celu sprostania wszystkim założeniom konstrukcyjnym, a także skomplikowanym kształtom końcówek układu wydechowego zdecydowano się na maszynę bazującą na układzie pięciu osi ruchowych (rys. 3).



Rys. 3. Model przestrzeni roboczej z zaznaczonym rozmieszczeniem osi stanowiska AS-03 wygenerowany za pomocą programu Inventor

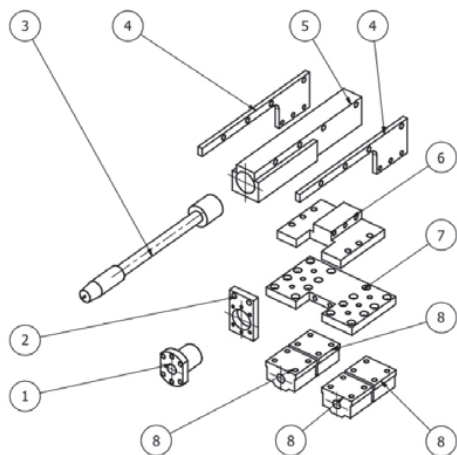
Automat spawalniczy (AS-03) (rys. 5) wyposażony jest w układ trzech osi liniowych, których ruch odbywa się za pośrednictwem silnika krokowego z enkoderem [3] połączonego ze śrubą kulową za pomocą sprzęgła kłowego [4, 5]. Jako osie liniowe wyróżnia się:

- oś X – odpowiadającą za przysuwanie uchwytu spawalniczego do spawanego elementu w zakresie 0–255 mm;
- oś Y – odpowiadającą za ruch wzdłuż spawanego elementu w zakresie 0–810 mm;
- oś Z – odpowiadającą za regulację wysokości w zakresie 0–162 mm.

Dodatkowe osie kątowe są jednymi z najważniejszych elementów konstrukcji maszyny. Odpowiadają one za sterowanie kątem przystawienia głowicy spawalniczej do spawanej krawędzi, a także za jej pozycjonowanie i nadawanie prędkości wykonywania spoiny. Jako osie kątowe wyróżnia się:

- oś A – odpowiadającą za wychylanie głowicy spawalniczej wokół osi Z w zakresie 0–95°;
- oś B – odpowiadającą za obrót spawanego elementu w zakresie 0–360°.

Ze względów konstrukcyjnych oraz możliwości produkcyjnych firmowego parku maszyn w stanowisku AS-03 zastosowano głowicę spawalniczą własnej konstrukcji (rys. 4). Składa się ona z teflonowej obudowy zamocowanej na wózku z łożyskami liniowymi oraz mosiężnej rurki prowadzącej pancierz. Końcówka głowicy zwieńczona jest łącznikiem prądowym przystosowanym do montażu znormalizowanych końcówek prądowych oraz dysz gazowych.



Rys. 4. Zestawienie elementów wchodzących w skład głowicy spawalniczej stanowiska AS-03.

Rysunek wygenerowany za pomocą programu Inventor

Najważniejszym aspektem pracy na maszynach z ruchomymi elementami jest bezpieczeństwo operatora. Piktogramy, osłony, przycisk ESTOP, a także

krańcówki w połączeniu z modulem bezpieczeństwa firmy SICK stanowią sprzętowe zabezpieczenie operatora przed urazem.



Rys. 5. Automat spawalniczy AS-03

Dodatkowo systemy bezpieczeństwa zostały zdublowane za pomocą szeregu makr oraz skryptów sporządzonych w języku Python. Odpowiadają one za takie funkcje, jak blokowanie się drzwi w czasie pracy, obsługę czujników i innych systemów zewnętrznych współpracujących ze stanowiskiem AS-03 [6, 7].

Za sterowanie dodatkowymi funkcjami stanowiska odpowiada osiowy kontroler ruchu firmy CSMIO wyposażony w szereg wyjść analogowych oraz cyfrowych przesyłających sygnały na osprzęt stanowiska. Jednym z takich komponentów jest spawarka Oerlikon Citowave III [8], której praca kontrolowana jest za pomocą dwóch sygnałów analogowych umożliwiających płynną zmianę posuwu drutu oraz prądu spawania w czasie pojedynczego cyklu, a nawet w trakcie wykonywania pojedynczej spoiny.

Praca stanowiska AS-03 jest oparta na G-code z dokładnościami liniowymi na poziomie 0,01 mm oraz kątowymi na poziomie 30'.

Aby ułatwić opracowywanie programów, w wyposażeniu maszyny znajduje się pilot MPG (rys. 6) z dodatkowym przyciskiem umożliwiającym zapis aktualnych współrzędnych do pliku.



Rys. 6. Pilot MPG do opracowywania kodów G-code

Oś kątowa B zakończona jest obrotowym talerzem, na którym rozmieszczono sworznie oraz szereg otworów gwintowanych zapewniających jednakowe zamontowanie narzędzi pozycjonujących (rys. 7) przy każdym przeobrażeniu stanowiska.



Rys. 7. Narzędzie zamontowane w przestrzeni roboczej stanowiska AS-03

5. ZASTOSOWANIE AS-03

Maszyna została opracowana z uwzględnieniem wszystkich wymagań konstrukcyjnych, a także została w niej przewidziana możliwość adaptacji do spawania innych elementów układu wydechowego, takich jak płaszcze tłumika. Ostatecznie stanowisko posiada następujące możliwości:

- zachowanie zasad bezpieczeństwa zgodnych z dyrektywami CE;
- skrócenie czasu cyklu spawania z 144 s do 54 s (dla jednego z elementów);
- płynne sterowanie posuwem drutu w zakresie 2–25 m/min;
- płynne sterowanie prądem spawania w zakresie 15–420 A;
- dokładność liniowa na poziomie 0,01 mm;
- dokładność osi kątowych na poziomie 30';
- zakres pracy osi liniowej X w zakresie 0–255 mm;
- zakres pracy osi liniowej Y w zakresie 0–800 mm;
- zakres pracy osi liniowej Z w zakresie 0–162,5 mm;
- zakres pracy osi kątowej A w zakresie 0–95°;
- zakres pracy osi kątowej B w zakresie 0–360°;
- obszar roboczy w kształcie walca o wymiarach $\varnothing 360 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$;
- łatwe programowanie z wykorzystaniem pilota MPG.

6. METALOGRAFICZNE BADANIE ZGŁADÓW

Komponenty wykonane na stanowisku AS-03 zostały poddane metalograficznemu badaniu zgładów

(rys. 8) w laboratorium działu kontroli jakości firmy Ulter-Sport Sp. z o.o. Raport z badań pozwolił stwierdzić poprawność parametrów ET1, ET2, EL1 oraz EL2 [2] w przypadku 95% badanych spoin.



Rys. 8. Fragment raportu z metalograficznego badania zgładów (t1, t2 – grubość materiału bazowego; EL1, EL2 – długości wtopienia w osi cięcia; ET1, ET2 – głębokość wtopienia)

7. PODSUMOWANIE

Opracowane stanowisko do spawania elementów tłumika samochodowego zostało zaprojektowane, wykonane, przetestowane i włączone do produkcji w firmie Ulter-Sport Sp. z o.o.

Pole robocze o wymiarach $\varnothing 360 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$, zakres wychylenia głowicy spawalniczej $\pm 45^\circ$, płynne sterowanie posuwem drutu i prądem spawania oraz kontrola prędkości posuwu umożliwiły znaczną poprawę powtarzalności oraz dokładności uzyskiwanych spoin. W połączeniu z zestawem narzędzi pozycjonujących stanowi ono system zapewniający ciągłość produkcji końcówek tłumika samochodowego.

Stanowisko automatu spawalniczego AS-03 znalazło dodatkowe zastosowanie w spawaniu innych elementów, takich jak płaszcze tłumika, a dzięki systemowi podtrzymywania długich elementów rozpoczęły się na nim badania z zakresu regeneracji zużytych wałów maszynowych w procesie napawania.

Podziękowania

Dziękujemy firmie Ulter-Sport Sp. z o.o. oraz jej pracownikom za finansowanie oraz pomoc w realizacji projektu stanowiska do spawania elementów tłumika samochodowego.

Literatura

- [1] Adamiec. P., Pilarczyk J.: *Poradnik inżyniera. Spawalnictwo*, t. 1–4. WNT, Warszawa 2003.
- [2] TAE13005 Welding Exhaust systems EN 2017-08 [norma branżowa TENNECO]. Edenkoben 2017.
- [3] *Silniki krokowe i enkodery z oferty WObit*. <https://automatyka.b2b.pl/prezentacje/53098-silniki-krokowe-i-enkodery-z-oferty-wobit> [3.12.2020].
- [4] Dobrzański T.: *Rysunek techniczny maszynowy*. WNT, Warszawa 2015.
- [5] Kurmaz L.: *Podstawy konstrukcji maszyn projektowanie*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
- [6] *Podstawy Pythona*. <https://python101.readthedocs.io/pl/latest/podstawy/index.html> [30.11.2020].
- [7] *Przewodnik po makrach Python*. <https://www.cs-lab.eu/wp-content/uploads/2019/08/makra-python-przewodnik-simcnc.pdf> [30.11.2020].
- [8] Instrukcja obsługi spawarki Oerlikon Citowave III. https://www.oerlikon-welding.com/sites/oerlikon/files/2018/06/22/citowave-iii_pl_2018.pdf [3.12.2020].

inż. WOJCIECH TEMEL

wojciech.temel@gmail.com

dr hab. inż., prof. AGH IRENEUSZ CZAJKA

iczajka@agh.edu.pl

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

im. Stanisława Staszica

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

mgr inż. TOMASZ LACH

tlach@ulter.com.pl

mgr inż. ŁUKASZ HALAMA

lhalama@ulter.com.pl

Ulter-Sport Sp. z o.o.

ul. Wyzwolenia 24, 34-350 Węgierska Góra

