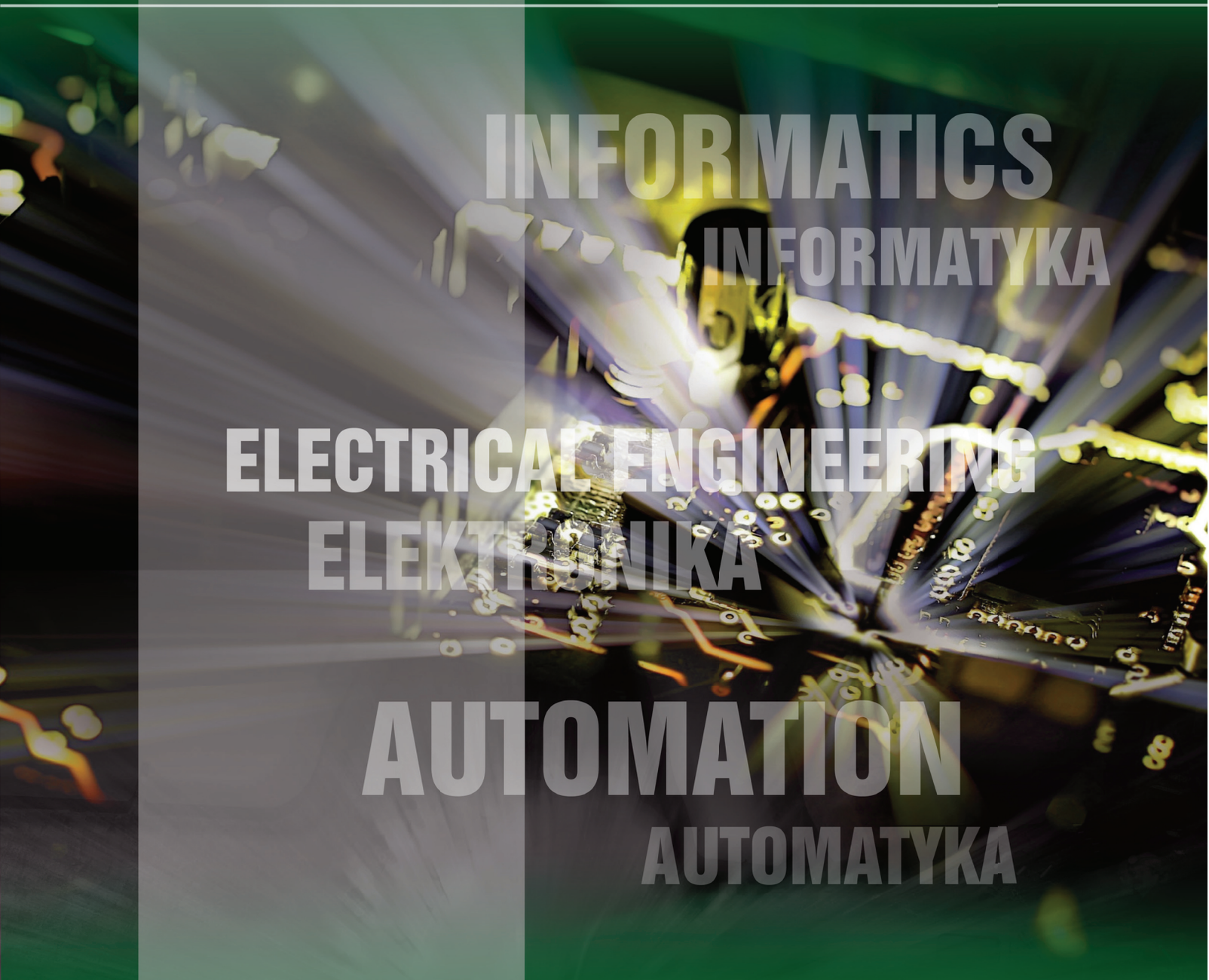
1 (541) 2020

Mining
INFORMATICS AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL



CZASOPISMO NAUKOWO-TECHNICZNE

Mining – Informatics Automation and Electrical Engineering

AGH

Mining INFORMATICS AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

NO. 1 (541) 2020

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

WYDAWNICTWA AGH
KRAKÓW 2020

e-ISSN 2449-6421
ISSN 2450-7326

MINING – INFORMATICS, AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING
Published since 1962

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

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

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

Members of the Scientific Board/ Członkowie Rady Naukowej:
Darius Andriukatis, 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, Medellin (Columbia)
Arkadiusz Mężyk, Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)
Josph Molnar, University of Miskolc, Miskolc (Hungary)
Jacek Paraszczak, Laval University, Quebec (Canada)
Sorin Mihai Radu, University of Petrosani, Petrosani (Romania)
Yuan Shujie, Anhui University of Science and Technology, Huainan (China)
Marek Sikora, Institute of Innovative Technologies EMAG, Katowice (Poland)
Radosław Zimroz, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław (Poland)
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 – *Krzysztof Kotwica*
Managing Editor/ Kierownik redakcji – *Marcin Mazur*
Manuscript Editor/ Redaktor techniczny – *Kamil Mucha*
Web Editor/ Redaktor strony internetowej – *Marcin Nawrocki*

Associate editors/ Redaktorzy tematyczni:
Waldemar Rączka (automation and robotics/ automatyka i robotyka)
Tomasz Siostrzonek (electrical engineering/ elektronika i energotechnika)
Łukasz Bołoz (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)
Joanna Augustyn-Nadzieja (materials engineering/ inżynieria materiałowa)
Patrycja Hąbek (quality management/ nauki o zarządzaniu i jakości)

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

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 2020, 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: 55

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

Table of Contents

Franciszek Plewa, Iwona Jonczy, Krzysztof Filipowicz

70 years of the Faculty of Mining, Safety Engineering, and Industrial Automation of the Silesian University of Technology in Gliwice, Poland 7

70 lat Wydziału Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej w Gliwicach 13

Michał Pietruch, Andrzej Młyniec, Andrzej Wetula

An overview and review of testing methods for the verification and validation of ADAS, active safety systems, and autonomous driving 19

Przegląd i perspektywa metod testowania wykorzystywanych do weryfikacji i walidacji ADAS, systemów aktywnego bezpieczeństwa oraz jazdy autonomicznej 28

Jacek Korski

The efficiency of a bolter miner – requirements and constraints 37

Efektywność kombajnu chodnikowego typu Bolter Miner – wymagania i ograniczenia 45

Dominik Leszczuk

Ready for new challenges – PeBeKa S.A. 53

Gotowi na nowe wyzwania – PeBeKa S.A. 59

Mining INFORMATICS AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING

Nr 1 (541) 2020

ABSTRACTS

FRANCISZEK PLEWA
IWONA JONCZY
KRZYSZTOF FILIPOWICZ

70 YEARS OF THE FACULTY OF MINING, SAFETY ENGINEERING, AND INDUSTRIAL AUTOMATION OF THE SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN GLIWICE, POLAND

On July 12th, 1950, in accordance with the Regulation of the Minister of Higher Education, the Faculty of Mining was established at the Silesian University of Technology in Gliwice. Defining its tasks and curricula, recruiting staff, attracting students, and work related to the preparation of new rooms and expansion of infrastructure were the first challenges for the newly created Faculty. Over time, the name of the Faculty has also evolved, and the Faculty of Mining, Safety Engineering and Industrial Automation has been in use since 2019.

MICHAŁ PIETRUCH
ANDRZEJ MŁYNIEC
ANDRZEJ WETULA

AN OVERVIEW AND REVIEW OF TESTING METHODS FOR THE VERIFICATION AND VALIDATION OF ADAS, ACTIVE SAFETY SYSTEMS, AND AUTONOMOUS DRIVING

The number of advanced driver assistance systems has increased dramatically in recent years. This led to a need for the development of testing methods to prove the quality and reliability of such systems. This publication presents an overview of the testing methods used in the automotive industry for the verification and validation of advanced driver assistance systems (ADAS), active safety, and autonomous driving systems. The first part presents the approach to X-in-the-loop testing such as model, software, hardware, etc., presenting the most interesting implementations. Then it discusses testing in proven areas like road traffic, artificial cities, and test tracks. The last part presents validation in the laboratory using both invasive and non-invasive methods based on virtual test drives, sensor stimulators and chassis dynamometers. Moreover, we identified the most promising approaches for the efficient verification and validation of ADAS, active safety and autonomous driving systems. Finally, we address some gaps in the research which require further investigation.

JACEK KORSKI

THE EFFICIENCY OF A BOLTER MINER – REQUIREMENTS AND CONSTRAINTS

This paper presents an analysis of the requirements and constraints concerning the efficiency of the application of coal roadway development systems with bolt roof supports by means of specialized mining, loading and bolting machines. In some cases, machines of this type can achieve very good roadway development results measured with the daily/weekly/monthly advancing of the face. An attempt was made to indicate the requirements to be met in order to achieve the expected results, as well as the factors limiting the obtained results of gateroad development operations.

STRESZCZENIA

FRANCISZEK PLEWA
IWONA JONCZY
KRZYSZTOF FILIPOWICZ

70 LAT WYDZIAŁU GÓRNICTWA, INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA I AUTOMATYKI PRZEMYSŁOWEJ POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ W GLIWICACH

12 lipca 1950 roku, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Szkół Wyższych, na Politechnice Śląskiej w Gliwicach utworzono Wydział Górniczy. Określenie zadań i programów nauczania, skompletowanie kadry naukowej, pozyskanie studentów oraz prace związane z przygotowaniem nowych pomieszczeń i rozbudową infrastruktury, stanowiły pierwsze wyzwania dla nowo utworzonego wydziału. W miarę upływu czasu ewoluowała również nazwa wydziału – od 2019 roku funkcjonuje Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej.

MICHAŁ PIETRUCH
ANDRZEJ MŁYNIEC
ANDRZEJ WETULA

PRZEGLĄD I PERSPEKTYWA METOD TESTOWANIA WYKORZYSTYWANYCH DO WERYFIKACJI I WALIDACJI ADAS, SYSTEMÓW AKTYWNEGO BEZPIECZEŃSTWA ORAZ JAZDY AUTONOMICZNEJ

W ostatnich latach znacznie wzrosła liczba zaawansowanych systemów wspomagających kierowcę. Spowodowało to potrzebę opracowania metod testowania ich jakości i niezawodności. Artykuł przedstawia przegląd metod badawczych stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym wykorzystywanych w weryfikacji i walidacji zaawansowanych systemów wspomagania kierowcy (ADAS), aktywnego bezpieczeństwa i systemów jazdy autonomicznej. W pierwszej części przedstawiono podejście do testów nazywanych testowaniem w pętli, takich jak model w pętli, oprogramowanie w pętli itd., prezentując najciekawsze implementacje. Następnie omówiono testy wykonywane na różnych terenach testowych, które mają udowodnić niezawodność i jakość systemu. Takimi testowymi terenami mogą być tory testowe, sztuczne miasta czy drogi publiczne. W ostatniej części przedstawiono walidację wykonaną w laboratorium z wykorzystaniem metod zarówno inwazyjnych, jak i nieinwazyjnych, opartych na wirtualnych jazdach testowych, stymulatorach czujników i hamowniach podwoziowych. Ponadto zidentyfikowaliśmy najbardziej obiecujące podejścia do skutecznej weryfikacji i walidacji systemów ADAS, aktywnego bezpieczeństwa oraz jazdy autonomicznej. Na koniec wskazujemy potencjalne luki w tym temacie, które wymagają dalszych badań.

JACEK KORSKI

EFEKTYWNOŚĆ KOMBAJNU CHODNIKOWEGO TYPU BOLTER MINER – WYMAGANIA I OGRANICZENIA

W artykule przeprowadzono analizę wymagań i ograniczeń efektywności stosowania systemów drążenia chodników w węglu z obudową kotwową za pomocą wyspecjalizowanych maszyn urabiająco-ładująco-kotwiących. Maszyny tego typu uzyskują w niektórych przypadkach bardzo dobre wyniki drążenia mierzone dobowym/tygodniowym, miesięcznym postępem przodka. Podjęto próbę wskazania wymagań, których wypełnienie przyczynia się do uzyskania oczekiwanych wyników oraz czynników ograniczających efekty drążenia.

DOMINIK LESZCZUK

READY FOR NEW CHALLENGES – PeBeKa S.A.

This article presents the history and activities of Przedsiębiorstwo Budowy Kopalń PeBeKa S.A., which celebrated its 60th anniversary in 2020. The range of activities and skills that accompany the functioning of PeBeKa S.A. allowed them to be referred to as the “KGHM Builders”.

DOMINIK LESZCZUK

GOTOWI NA NOWE WYZWANIA – PeBeKa S.A.

Artykuł prezentuje rys historyczny i zakres działalności Przedsiębiorstwa Budowy Kopalń PeBeKa S.A., które w 2020 roku obchodziło 60. jubileusz funkcjonowania. Zakres działalności i umiejętności, które towarzyszą funkcjonowaniu PeBeKa S.A., pozwoliło na określane firmy mianem „budowniczych KGHM”.

http://dx.doi.org/10.7494/miag.2020.1.541.7

FRANCISZEK PLEWA
IWONA JONCZY
KRZYSZTOF FILIPOWICZ

70 years of the Faculty of Mining, Safety Engineering, and Industrial Automation of the Silesian University of Technology in Gliwice, Poland

On July 12th, 1950, in accordance with the Regulation of the Minister of Higher Education, the Faculty of Mining was established at the Silesian University of Technology in Gliwice. Defining its tasks and curricula, recruiting staff, attracting students, and work related to the preparation of new rooms and expansion of infrastructure were the first challenges for the newly created Faculty. Over time, the name of the Faculty has also evolved, and the Faculty of Mining, Safety Engineering and Industrial Automation has been in use since 2019.

Key words: *Faculty of Mining, Safety Engineering and Industrial Automation, Gliwice*

1. INTRODUCTION

In accordance with the Regulation of the Minister of Higher Education and Science of July 12th, 1950 on organisational changes in some universities, on the basis of the decree of October 28th, 1947 on the organisation of science and higher education, the Faculty of Mining was established at the Silesian University of Technology in Gliwice in 1950 (Fig. 1).

Fig. 1. Regulation of the Minister of Higher Education and Science on the establishment of the Faculty of Mining of July 12th, 1950

The establishment of the Faculty, and thus mining studies, was contingent on the definition of tasks and curricula for all years of education. On this basis, the teaching load was proposed for individual internal units of the Faculty, which at the time consisted of chairs and departments. This required the coordination of the mining studies program at the Silesian University of Technology with the programs of the AGH University of Science and Technology and the Wrocław University of Technology, where a Faculty of Mining specialised in the exploitation of brown coal deposits was to be established. For this purpose, the Program Studies Committee was created which defined the framework and detailed the programs of engineering studies at the Faculties of Mining. Thus, in mid-June 1950, the basis was obtained for the Rector of the Silesian University of Technology to request the Minister to establish Mining Studies at the Silesian University of Technology [1].

2. HISTORY OF THE FACULTY

The Founding Act of the Faculty was signed on July 12th, 1950. The preparation of the act took four months, but the Ministry sped up the proceedings and, before the administrative procedures were completed, it was agreed to establish the Dean's Office of the Faculty of Mining on July 1st, 1950 and to entrust the function of acting Dean of the Faculty to prof. Józef Wąsowski.

The key challenge, however, was to attract students and staff for the Faculty. The academic authorities, in cooperation with student organisations and with the Vocational Education Department of the Ministry of Mining, organised a free "General Mining" course for students and employees of the Silesian University of Technology who were to become potential employees of the newly created faculty in the future. The course started on July 10th with the inaugural lecture *Mining in Poland. The Geology of the Polish Coal Basins* and lasted until July 19th, including lectures, seminars, and practical classes in mining.

The acquisition of the academic staff was gradual, along with the increase in the number of didactic classes. It was not until 1954–1956 that the Faculty entered its previously defined mode of operation. The Dean at that time was prof. Roman Dykacz. Over 70% of the positions of heads of chairs were taken by alumni of the AGH University of Science and Technology, but one cannot ignore the ties with the Jagiellonian University, where the first professor of mineralogy and petrography was Jan Kühl.

Simultaneously with the commencement of the teaching activities of the Faculty, organisational work was carried out to include groups of student mining specialisations, educated at the Faculties of Mechanical and Electrical Engineering, in the structure of the Faculty of Mining. Ultimately, the students of these faculties were transferred to the Faculty of Mining in the 1951/52 academic year. In 1951, the defence of the first doctoral dissertation by Ph.D. Czesław Poborski was held at the Faculty.

It was decided to erect the building of the Faculty of Mining in a location where 50 years earlier there had been a large water reservoir – a pond, a remnant of the backwaters of the nearby Kłodnica river. The faculty was constructed on several hundred reinforced concrete piles (Fig. 2 and 3).

It was essential for the functioning of the Faculty's structure to obtain premises where it would be housed. In July 1950, the Ministry of Mining handed over the building located in the Market Square in Gliwice, where the Dean's Office of the Faculty of Mining and the Student House were established. In December 1952, the first two segments of the newly established Faculty of Mining at Plac Krakowski were made available to students and staff. The period of intensive expansion of the present seat of the Faculty took place in the years 1952–1955, which was related to the demand of the ministry of mining for highly qualified engineering staff. This resulted in the establishment of first-degree extramural studies in 1954, and evening vocational studies in 1955. The rank of the Faculty was systematically increasing, so that in 1958 the Ministry of Mining, organising the International Mine Construction Exhibition, located it at the Faculty of Mining. In 1959, the Faculty's technology hall was put into operation.

Further activities aimed at the development of the Faculty were related to the establishment of its two branches, in Rybnik and Dąbrowa Górnicza.

At the beginning of its operation, the Faculty was made up of 17 chairs. In the 1960s/70s there were 19, while the reorganisation of the Faculty's structure in 1969 led to the creation of 8 chairs as large research and teaching units composed of previous smaller chairs. Two of them, i.e., the Chair of Mathematics C and the Chair of General Chemistry, were separated from the Faculty. In 1972, another reorganisation took place which reduced the number of chairs to 6. These in turn gave rise to 7 research and teaching institutes. Currently, there are 6 chairs at the Faculty.

Fig. 2. Beginning of construction of the Faculty of Mining building (view of the Krakowski Square)

Fig. 3. Beginning of construction of the Faculty of Mining building – embedding of concrete piles

The name of the Faculty has also evolved. From the establishment of the Faculty from 1950 to 1991, the name of the Faculty of Mining was in operation. In 1991 the name was changed to the Faculty of Mining and Geology. Another name change took place in 2019 and the Faculty of Mining, Safety Engineering, and Industrial Automation has been in use since then.

The history of the Faculty is also the history of its Deans. They are presented chronologically below. Starting with prof. Józef Wąsowski (1950–1951), through: prof. Roman Dykacz (1952–1962); prof. Tadeusz Zarański (1962–1964); prof. Wacław Regulski (1964–1965); prof. Witold Parysiewicz (1965–1967); prof. Tadeusz Lasek (1967–1969); prof. Mirosław Chudek PhD (1970–1975) and (1985–1990); prof. Henryk Gil (1975–1981) and (1984–1985); prof. Włodzimierz Sikora (1981–1982), prof. Marian Kozdrój (1982–1984); prof. Bernard Drzęźla Ph.D. (1990–1996); prof. Marian Dolipski (1996–2002) and (2008–2016); prof. Krystian Probierz Ph.D. (2002–2008); ending with the current Dean, prof. Franciszek Plewa (2016–2020) and since 2020 [1–4].

3. THE FACULTY TODAY

Currently, scientific and research activities are carried out at the Faculty of Mining, Safety Engineering, and Industrial Automation (Fig. 4–6) in the field of sustainable mining, understood as the economically effective extraction of minerals, including advanced mining and information technologies. The Faculty develops knowledge in the field of obtaining raw materials in environmentally friendly conditions, for

the purposes of rational resource management consisting of the supply of raw materials in sufficient quantity for the efficient operation of the national economy. These activities are also related to: mechanisation, automation, and robotisation of mining processes; minimising interference to the environment during the exploration and exploitation of mineral deposits; protection of unexploited and exploited mineral deposits by the maximum use of the deposit resources; the use of mineral resources in waste from mining and processes of mineral enrichment; and minimisation of the generated waste.

Fig. 4. View of the Faculty of Mining, Safety Engineering, and Industrial Automation (from the Rector's Office)

Fig. 5. View of the main hall of the Faculty

Fig. 6. General view of the Gliwice Campus and the Faculty of Mining, Safety Engineering, and Industrial Automation

The department also deals with issues of safety engineering, in particular the issues of public safety, occupational health and safety and fire protection, crisis management and cyber-security, as well as issues related to broadly understood automation and industrial IT, and electrical engineering and automation in mining.

The Faculty's research and teaching activities are currently focused on six departments, namely: Electrical Engineering and Industrial Automation, Mining Mechanisation and Robotisation, Safety Engineering, Geomechanics and Underground Construction, Mining, and Applied Geology.

The authorities at the Faculty currently include: the Dean of the Faculty – prof. Franciszek Plewa; Vice-Dean for Cooperation and Development – prof. Iwona Jonczy; Vice-Dean for Infrastructure and Organisation – prof. Krzysztof Filipowicz; Vice-Dean for Education – prof. Małgorzata Wyganowska.

The Faculty of Mining, Safety Engineering, and Industrial Automation is a forge of human resources for modern industry. It offers education for students in the form of 1st degree studies, 2nd degree studies, both full-time and extramural, and the education of Ph.D. students in the form of 3rd degree studies.

Education takes place in five programmes:

- Automatic Control and Industrial Informatics,
- Geodesy and Cartography,
- Geoengineering and Raw Materials Extraction,
- Safety Engineering,
- Reclamation and Management of Post-industrial Areas.

All study plans are adapted to European standards, based on the credit point system – ECTS (European Credit Transfer System), which allows students to complete part of their studies abroad.

There are active Student Scientific Clubs at the Faculty. Within the Clubs, students can pursue their interests related to the specialisation they are studying. The "Agrimensor," "Bezpieczna Ściana," "Bezpiecznik," "El-Carbo," "Gwarek," "Konstrukcja i Eksploatacja Maszyn," "Przeróbka Kopalin Stałych," and "Silesian" Clubs participate in the Faculty's annual Scientific Club Conference, organise scientific trips, conferences, and seminars. The Science Clubs and Faculty staff actively participate in the cyclically organised Scientists' Night, which includes multimedia shows, laboratories, and lectures in various fields of science for children, adolescents, and adults. Students of the "Bezpieczna Ściana" ("Safe Wall") science club regular take first place in mining knowledge competitions organised annually in Krakow.

The Faculty of Mining, Safety Engineering, and Industrial Automation actively cooperates with schools in order to popularise technical education. We are happy to meet young people, we conduct popular science lectures in the "KNOWLEDGE → TECHNOLOGY → CAREER" series, in the field of, among others, mechatronics, electronics, mineral exploitation, geology, geodesy, and safety. We are open to visits by students at our Faculty, we make our laboratories available, we encourage everyone to visit the Museum of Deposit Geology and the Technology Hall.

For many years, the Faculty has been intensively cooperating with many companies active in the mining industry and other sectors of the national economy. The cooperation includes, among others, organisation of student internships and apprenticeships, joint research and development projects.

The Faculty's activities are supported by the Social and Program Council, which is an advisory body expressing opinions on the quality of education and assessing the degree and adaptability of the Faculty's graduates in their workplaces. The Social and Program Council also aims to analyse the state and create conditions for fostering direct connections between the scientific community and workplaces, regional authorities, industry institutes, and educational institutions.

Every year, the Faculty hosts cyclical Minerals Fairs, as well as scientific and technical conferences and seminars. In December, during St. Barbara's Day Celebrations, the St. Barbara's Day Academy and Beer Feast take place.

These examples of such a broad activity of the Faculty of Mining, Safety Engineering, and Industrial Automation demonstrate the great commitment of the scientific and research staff as well as administrative and technical employees in its development, in improving their skills, in acquiring scientific knowledge, and at the same time in educating young engineers, emphasising the importance and the accuracy of the decision which led to its establishment 70 years ago.

References

[1] *40-lecie Wydziału Górniczego i spis absolwentów*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1990.
[2] *Kronika Wydziału Górnictwa i Geologii 1950–2000*, red. K. Probierz, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
[3] *Wydział Górnictwa i Geologii 1950–2005*, red. K. Probierz, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
[4] *Materials of Faculty of Mining, Safety Engineering, and Industrial Automation.*

FRANCISZEK PLEWA, Prof. Ph.D., D.Sc., Eng.
IWONA JONCZY, Ph.D., D.Sc., Eng.
KRZYSZTOF FILIPOWICZ, Ph.D., D.Sc., Eng.
Silesian University of Technology
Faculty of Mining, Safety Engineering
and Industrial Automation
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Poland
iwona.jonczy@polsl.pl

© 2020 Authors. This is an open access publication, which can be used, distributed, and reproduced in any medium according to the Creative Commons CC-BY 4.0 License.

FRANCISZEK PLEWA
IWONA JONCZY
KRZYSZTOF FILIPOWICZ

70 lat Wydziału Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej w Gliwicach

12 lipca 1950 roku, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Szkół Wyższych, na Politechnice Śląskiej w Gliwicach utworzono Wydział Górniczy. Określenie zadań i programów nauczania, skompletowanie kadry naukowej, pozyskanie studentów oraz prace związane z przygotowaniem nowych pomieszczeń i rozbudową infrastruktury, stanowiły pierwsze wyzwania dla nowo utworzonego wydziału. W miarę upływu czasu ewoluowała również nazwa wydziału – od 2019 roku funkcjonuje Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej.

Słowa kluczowe: *Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej, Gliwice*

1. WPROWADZENIE

Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Szkół Wyższych i Nauki z dnia 12 lipca 1950 roku w sprawie zmian organizacyjnych w niektórych szkołach wyższych*, na podstawie dekretu z dnia 28 października 1947 roku o organizacji nauki i szkolnictwa wyższego, na Politechnice Śląskiej w Gliwicach w roku 1950 utworzono Wydział Górniczy (rys. 1).

Rys. 1. Rozporządzenie Ministra Szkół Wyższych i Nauki z dnia 12 lipca 1950 roku o utworzeniu Wydziału Górniczego

Powołanie do istnienia wydziału i tym samym studiów górniczych było uwarunkowane określeniem zadań i programów nauczania dla wszystkich lat studiów, na tej podstawie zaproponowano obciążenie dydaktyczne dla poszczególnych jednostek wewnętrznych wydziału, którymi były wtedy katedry i zakłady. Wymagało to uzgodnienia programu studiów górniczych na Politechnice Śląskiej z programami Akademii Górniczo-Hutniczej oraz Politechniki Wrocławskiej, w której miał powstać Wydział Górniczy wyspecjalizowany w eksploatacji złóż węgla brunatnego. W tym celu powołano Komisję Studiów Programowych, która ustaliła ramowe i szczegółowe programy studiów inżynierskich na Wydziałach Górniczych. W połowie czerwca 1950 roku uzyskano więc podstawę do wystąpienia Rektora Politechniki Śląskiej do Ministra o powołanie Studiów Górniczych w Politechnice Śląskiej [1].

2. HISTORIA WYDZIAŁU

Akt erekcyjny wydziału został podpisany 12 lipca 1950 roku. Przygotowanie aktu trwało cztery miesiące, jednak Ministerstwo przyspieszyło działania i przed zakończeniem procedur administracyjnych wyrażono zgodę na powołanie z dniem 1 lipca 1950 roku Dziekanatu Wydziału Górniczego i powierzenie funkcji p.o. dziekana prof. dr. Józefowi Wąsowskiemu.

Kluczowym wyzwaniem było jednak pozyskanie studentów oraz kadry. Władze akademickie we współpracy z organizacjami studenckimi oraz z Departamentem Szkolnictwa Zawodowego Ministerstwa Górnictwa zorganizowały bezpłatny kurs „Górnictwa ogólnego" dla studentów i pracowników Politechniki Śląskiej, którzy mieli w przyszłości zostać potencjalnymi pracownikami nowo utworzonego wydziału. Kurs rozpoczął się 10 lipca wykładem inauguracyjnym „Górnictwo w Polsce. Geologia polskich zagłębi węglowych" i trwał do 19 lipca, obejmując wykłady, seminaria i zajęcia praktyczne z górnictwa.

Pozyskiwanie kadry naukowej przebiegało stopniowo, w miarę wzrastania liczby zajęć dydaktycznych, i dopiero w latach 1954–1956 wydział wszedł w już ustalony tryb pracy. Dziekanem był wówczas prof. mgr inż. Roman Dykacz. Ponad 70% stanowisk kierowników katedr objęli wychowankowie Akademii Górniczo-Hutniczej, ale nie można również pominąć związków z Uniwersytetem Jagiellońskim, którego pierwszym profesorem mineralogii i petrografii był Jan Kühl.

Jednocześnie z rozpoczęciem działalności dydaktycznej wydziału prowadzono prace organizacyjne mające na celu włączenie do struktury Wydziału Górniczego grup studenckich specjalności górniczych, kształcących się na Wydziale Mechanicznym i Wydziale Elektrycznym. Ostatecznie słuchacze tych wydziałów zostali przeniesieni na Wydział Górniczy w roku akademickim 1951/1952. W 1951 roku na wydziale została również obroniona pierwsza praca doktorska (przez doc. Czesława Poborskiego).

Budynek Wydziału Górniczego postanowiono wznieść w miejscu, w którym jeszcze pól wieku temu znajdował się duży zbiornik wodny – staw, będący pamiątką po rozlewiskach przepływającej niedaleko Kłodnicy. Obiekt stanął na kilkuset palach żelbetowych sięgających bardziej zwięzłego gruntu (rys. 2 i 3).

Istotne dla funkcjonowania struktury wydziału było uzyskanie pomieszczeń na jego lokalizację. W lipcu 1950 roku Ministerstwo Górnictwa przekazało gmach znajdujący się na rynku w Gliwicach, w którym utworzono dziekanat Wydziału Górniczego oraz dom studencki. W grudniu 1952 roku do dyspozycji studentów i pracowników przekazano dwa pierwsze segmenty nowo powstającego Wydziału Górniczego przy placu Krakowskim. Okres intensywnej rozbudowy obecnej siedziby wydziału nastąpił w latach 1952–1955, co związane było z zapotrzebowaniem resortu górnictwa na wysoko wykwalifikowaną kadrę inżynierską. Zaowocowało to powołaniem w 1954 roku studiów zaocznych I stopnia, a w 1955 roku – wieczorowego studium zawodowego. Ranga wydziału systematycznie wzrastała, tak że w 1958 roku Ministerstwo Górnictwa zorganizowało na nim Międzynarodową Wystawę Budownictwa Kopalń. W 1959 roku oddano do użytkowania halę technologiczną wydziału.

Kolejne działania na rzecz rozwoju wydziału były związane z powołaniem jego dwóch filii – w Rybniku oraz Dąbrowie Górniczej.

Na wydziale w początkowym okresie jego funkcjonowania istniało siedemnaście katedr, w latach 60. i 70. XX wieku było ich dziewiętnaście, natomiast reorganizacja struktury wydziału w 1969 roku doprowadziła do utworzenia ośmiu katedr jako dużych jednostek naukowo-dydaktycznych złożonych z poprzednich mniejszych katedr. Dwie spośród nich, tj. Katedrę Matematyki C oraz Katedrę Chemii Ogólnej, odłączono od wydziału. W 1972 roku przeprowadzono kolejną reorganizację, która spowodowała zmniejszenie liczby katedr do sześciu, które z kolei dały początek siedmiu instytutom badawczo-dydaktycznym. Obecnie na wydziale funkcjonuje sześć katedr.

Rys. 2. Budowa siedziby Wydziału Górniczego (widok na plac Krakowski)

Rys. 3. Początek budowy siedziby Wydziału Górniczego – osadzanie betonowych pali

Modyfikacjom ulegała również nazwa wydziału. Od jego powstania w 1950 roku do 1991 roku funkcjonowała nazwa Wydział Górniczy. W 1991 roku zmieniono ją na Wydział Górnictwa i Geologii. Kolejna zmiana nazwy nastąpiła w 2019 roku i od tego czasu funkcjonuje Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej.

Historia wydziału to również historia jego dziekanów. Według chronologii byli nimi: prof. dr inż. Józef Wąsowski (1950–1951), prof. mgr inż. Roman Dykacz (1952–1962), prof. dr inż. Tadeusz Zarański (1962–1964), prof. mgr inż. Wacław Regulski (1964–1965), prof. dr inż. Witold Parysiewicz (1965–1967), prof. mgr inż. Tadeusz Lasek (1967–1969), prof. zw. dr hab. inż. Mirosław Chudek dr h.c. (1970–1975) i (1985–1990), prof. dr hab. inż. Henryk Gil (1975–1981) i (1984–1985), prof. dr inż. Włodzimierz Sikora (1981–1982), prof. zw. dr hab. inż. Marian Kozdrój (1982–1984), prof. dr hab. inż. Bernard Drzęźla dr h.c. (1990–1996), prof. dr hab. inż. Marian Dolipski (1996–2002) i (2008–2016), prof. dr hab. inż. Krystian Probierz dr h.c. (2002–2008), prof. dr hab. inż. Franciszek Plewa (2016–2020 i od 2020 roku) do dziś [1–4].

3. WYDZIAŁ OBECNIE

Obecnie na Wydziale Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej (rys. 4–6) prowadzona jest działalność naukowo-badawcza w zakresie górnictwa zrównoważonego rozwoju rozumianego jako ekonomicznie efektywne wydobywanie kopalin z uwzględnieniem zaawansowanych technologii górniczych i informatycznych. Wydział kształtuje wiedzę w zakresie pozyskiwania surowców w warunkach przyjaznych środowisku na potrzeby prowadzenia racjonalnej gospodarki złożowo-surowcowej polegającej

na dostarczeniu surowców w ilości wystarczającej do sprawnego działania gospodarki krajowej. Działalność ta związana jest również z mechanizacją, automatyzacją i robotyzacją procesów wydobywczych, minimalizacją ingerencji w środowisko w czasie poszukiwań i eksploatacji złóż kopalin, ochroną nieeksploatowanych i eksploatowanych złóż kopalin przez maksymalne wykorzystanie zasobów złoża, wykorzystaniem surowców mineralnych znajdujących się w odpadach powstałych po robotach górniczych i procesach wzbogacania kopalin oraz minimalizacją powstających odpadów.

Rys. 4. Budynek Wydziału Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej (widok od strony Rektoratu)

Rys. 5. Widok holu głównego wydziału

Rys. 6. Widok ogólny na Kampus Gliwice i Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej

Wydział zajmuje się również problematyką inżynierii bezpieczeństwa, w szczególności zagadnieniami bezpieczeństwa publicznego, BHP i ochroną przeciwpożarową, zarządzaniem kryzysowym i cyberbezpieczeństwem oraz problematyką związaną z szeroko rozumianą automatyką i informatyką przemysłową, jak również elektrotechniką i automatyką w górnictwie.

Działalność naukowa i dydaktyczna wydziału skupiona jest obecnie w sześciu katedrach, mianowicie: Katedrze Elektrotechniki i Automatyki Przemysłowej, Katedrze Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa, Katedrze Geomechaniki i Budownictwa Podziemnego, Katedrze Eksploatacji Złóż oraz Katedrze Geologii Stosowanej.

Władze wydziału stanowią obecnie: dziekan prof. dr hab. inż. Franciszek Plewa, prodziekan ds. współpracy i rozwoju dr hab. inż. Iwona Jonczy, prof. PŚ, prodziekan ds. infrastruktury i organizacji dr hab. inż. Krzysztof Filipowicz, prof. PŚ, prodziekan ds. kształcenia dr hab. inż. Małgorzata Wyganowska, prof. PŚ.

Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki to kuźnia kadr dla nowoczesnego przemysłu. Oferuje się na nim kształcenie studentów na studiach I stopnia inżynierskich, II stopnia magisterskich, zarówno w systemie stacjonarnym, jak i niestacjonarnym, oraz kształcenie doktorantów na studiach III stopnia. Kształcenie odbywa się na pięciu kierunkach:

- Automatyka i Informatyka Przemysłowa,
- Geodezja i Kartografia,
- Geoinżynieria i Eksploatacja Surowców,
- Inżynieria Bezpieczeństwa,
- Rekultywacja i Zagospodarowanie Terenów Poprzemysłowych.

Wszystkie plany studiów dostosowane są do standardów europejskich, opierają się na systemie punktów kredytowych ECTS (ang. *European Credit Transfer System*), co umożliwia odbywanie części studiów za granicą.

Na wydziale aktywnie działają studenckie koła naukowe, w których studenci mogą realizować swoje zainteresowania związane ze studiowaną specjalnością. Koła Agrimensor, Bezpieczna Ściana, Bezpiecznik, El-Carbo, Gwarek, Konstrukcja i Eksploatacja Maszyn, Przeróbka Kopalin Stałych oraz Silesian co roku uczestniczą w Konferencji Kół Naukowych Wydziału, organizują wyjazdy naukowe, konferencje i seminaria. Członkowie kół naukowych oraz pracownicy wydziału aktywnie uczestniczą w cyklicznie organizowanej Nocy Naukowców, w ramach której odbywają się pokazy multimedialne, laboratoria i wykłady z różnych dziedzin nauki kierowane do dzieci, młodzieży

i dorosłych. Studenci koła naukowego Bezpieczna Ściana zajmują pierwsze miejsca w konkursach wiedzy górniczej organizowanych corocznie w Krakowie.

Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej aktywnie współpracuje ze szkołami w celu popularyzacji kształcenia technicznego. Chętnie spotykamy się z młodzieżą, prowadzimy wykłady popularnonaukowe w cyklu „WIEDZA → TECHNIKA → KARIERA", z zakresu m.in. mechatroniki, elektroniki, eksploatacji surowców mineralnych, geologii, geodezji i bezpieczeństwa. Jesteśmy otwarci na wizyty uczniów na naszym wydziale, udostępniamy nasze laboratoria, zachęcamy do odwiedzenia Muzeum Geologii Złóż oraz Hali Technologicznej.

Wydział od wielu lat intensywnie współpracuje z wieloma firmami działającymi w przemyśle górniczym i innych branżach gospodarki narodowej. Współpraca obejmuje m.in. organizację staży i praktyk studenckich, wspólne projekty i prace naukowo-badawcze.

Działalność wydziału wspierana jest przez Radę Społeczno-Programową stanowiącą organ doradczy, wyrażający opinie dotyczące jakości kształcenia oraz oceniający stopień i zdolności adaptacji absolwentów wydziału w miejscach pracy. Rada Społeczno-Programowa ma również na celu analizowanie stanu i tworzenie warunków do bezpośredniego powiązania środowiska naukowego z zakładami pracy, władzami regionu, instytutami branżowymi i placówkami oświatowymi.

Corocznie na wydziale odbywają się giełdy minerałów oraz konferencje i seminaria naukowo-techniczne, a w grudniu podczas uroczystości barbórkowych organizowana jest Akademia Barbórkowa połączona z Biesiadą Piwną.

Wymienione przykłady szerokiej działalności Wydziału Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej świadczą o dużym zaangażowaniu kadry naukowo-badawczej, pracowników administracyjnych i technicznych w jego rozwój, w doskonalenie swoich umiejętności, w zdobywanie wiedzy naukowej, a zarazem w kształcenie młodych kadr inżynierów, podkreślając ważność i trafność decyzji o jego powołaniu siedemdziesiąt lat temu.

Literatura

[1] *40-lecie Wydziału Górniczego i spis absolwentów*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1990.
[2] *Kronika Wydziału Górnictwa i Geologii 1950–2000*, red. K. Probierz, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
[3] *Wydział Górnictwa i Geologii 1950–2005*, red. K. Probierz, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
[4] Materiały własne Wydziału Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej.

prof. dr hab. inż. FRANCISZEK PLEWA
dr hab. inż. IWONA JONCZY, prof. PŚ
dr hab. inż. KRZYSZTOF FILIPOWICZ, prof. PŚ
Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa
i Automatyki Przemysłowej
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice
iwona.jonczy@polsl.pl

© 2020 Autorzy. Jest to publikacja ogólnodostępna, którą można wykorzystywać, rozpowszechniać i kopiować w dowolnej formie zgodnie z licencją Creative Commons CC-BY 4.0.

http://dx.doi.org/10.7494/miag.2020.1.541.19

MICHAŁ PIETRUCH
ANDRZEJ MŁYNIEC
ANDRZEJ WETULA

An overview and review of testing methods for the verification and validation of ADAS, active safety systems, and autonomous driving

The number of advanced driver assistance systems has increased dramatically in recent years. This led to a need for the development of testing methods to prove the quality and reliability of such systems. This publication presents an overview of the testing methods used in the automotive industry for the verification and validation of advanced driver assistance systems (ADAS), active safety, and autonomous driving systems. The first part presents the approach to X-in-the-loop testing such as model, software, hardware, etc., presenting the most interesting implementations. Then it discusses testing in proven areas like road traffic, artificial cities, and test tracks. The last part presents validation in the laboratory using both invasive and non-invasive methods based on virtual test drives, sensor stimulators and chassis dynamometers. Moreover, we identified the most promising approaches for the efficient verification and validation of ADAS, active safety and autonomous driving systems. Finally, we address some gaps in the research which require further investigation.

Key words: *ADAS validation, active safety systems verification, autonomous driving, testing methods, in the loop testing*

1. INTRODUCTION

Modern cars increasingly have more advanced active safety systems. Currently, there are no fully autonomous cars, yet some of them significantly reduce the need for driver interaction. Currently, autonomous driving systems are developed based on SIL (Software in The Loop) and HIL (Hardware in The Loop) methods, while tests are performed manually on test tracks and/or on public roads by test drivers. These methods are far from perfect due to the inability to create many test cases, the required human presence in the car during tests, and above all, the problem of repeated reconstruction of identical road conditions. Such conditions can only be reproduced in the laboratory by using specialized tools. The creation of tests in the laboratory would allow for cars to be tested in identical conditions. This, in turn, would allow cars to be compared to each other and, above all, certified based on defined procedures and test standards. There are many publications that show different approaches to testing active safety and autonomous driving systems, ranging from road traffic tests to laboratory tests. Currently, tests in the laboratory (commonly called Vehicle-in-the-loop) mainly focus on the tests of a single system, such as radar or lidar. For some time, engineers have been trying to create a test system that would be able to test several systems simultaneously, but unfortunately such a system is still not available. Therefore, the following question arises – Is it possible to create a test system that will be able to simulate the external world in the laboratory

so that driver assistance or autonomous driving systems can be tested comprehensively? This paper presents a review of this topic and attempts to specify the missing technologies.

2. X-IN-THE-LOOP TESTING

X-in-the-loop is a naming convention, where X denotes an object under test. As testing is not a one-off activity but a cyclic one, it is called loop testing. In the automotive industry, you can test many things in the loop, with the most popular applications presented here. These approaches are ordered in accordance with the chronology within the timeline of the tested system development as shown in Figure 1. However, it should be remembered that not all steps must be performed, because it depends on the specifics and complexity of the system. There is also some difference between verification and validation. Verification is intended to check whether the system meets predefined requirements, standards, and norms, while validation provides evidence that the system performs its role in a real application, in the target environment [1].

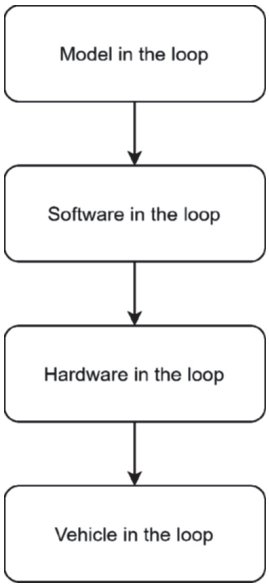


Fig. 1. Steps in a System Development

2.1. Model-in-the-loop (MIL)

The first step in the production of the system is a model in the loop (MIL), where the designed system is in the form of a model created in a modelling tool, e.g., in MATLAB- Simulink. By means of generic components a general, high-level model of the system's operation is created. As a result, we can design the system without entering the implementation details, which depend on the programming language. In addition, having such a model, we can automatically generate code in a specific language using for example, Simulink Coder or Target Link [2], thanks to which we avoid manual code writing [3] as shown in Figure 2. Testing the model involves providing a set of simulated signals to the model and checking its response.

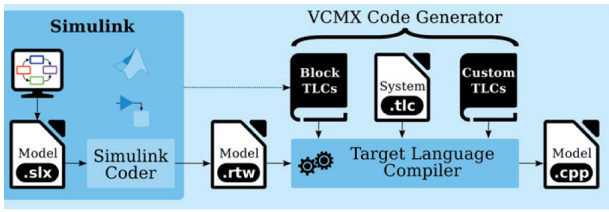


Fig. 2. Code generation process of Simulink [2]

2.2. Software-in-the-loop (SIL)

The next step is software in the loop (SIL), where our subject of testing is no longer the block model, but code in a specific programming language, e.g., C++. We can test this code by providing appropriate artificial or acquired data to its inputs. Thanks to that, we can verify the correctness of the implemented algorithms in a specific programming language in abstraction from dedicated hardware, e.g., with code running on a PC computer [4]. Such an approach brings with it some risks. First of all, if the computer program is compiled with different compiler, so the machine code may be slightly different to a machine code compiled with dedicated compiler. During execution, such programs can behave differently, so there is no 100% certainty that this program will behave exactly the same on the final hardware.

2.3. Hardware-in-the-loop (HIL)

After finishing of SIL tests, there are performed hardware in the loop tests, where the software is already tested on dedicated hardware, but not yet in a dedicated environment. This means that all other cooperating electronic devices must be simulated, so from the perspective of the device under test, there is no difference whether it is in a real or simulated

environment. This is probably the most common type of testing in the automotive industry, because usually the manufacturer of the designed device is responsible for only one device and has no access to other cooperating devices. The HIL example can be an ECU, which is responsible for recognizing lines on the road, is tested in a simulated environment [5] oraz HIL as shown in Figure 3. The main drawback is that the device is not tested in real environment with other real ECUs, with real power supplies etc. Therefore, there is a chance that the device will not work correctly in a real environment.

Fig. 3. This vehicle motion control HIL system tests braking, steering, and suspension controllers. The system can act as a stand-alone HIL test setup or be run in co-simulation with the Dynamic Driving Simulator [6]

2.4. Vehicle-in-the-loop (VIL)

The last step of testing is testing a complete car in a laboratory. Such a car is usually set on a chassis dynamometer, which, by applying the right torque to the wheels, simulates, for example, driving on a hill or other traffic resistance. In addition, car sensors are stimulated using various types of devices that work with driving simulators that are responsible for virtual test drives. In this testing method, it is often possible to meet the terms of testing in the open and closed loop, which are worth introducing here.

2.4.1. Open loop testing

Open loop testing occurs when the system under test is stimulated from the outside, but its response is not fed back to the simulator. For this reason, we do not have information about the car's reaction in the simulation. An example of testing in an open loop can be an ECU which is responsible for car detection [7]. The first step was recording the video during a real test drive, then an identical test drive was performed in the simulator, and at the end the cars were separated from the virtual drive and added to the recorded movie as shown in Figure 4. The test consisted of sending this video with added cars to the camera and analysing whether the ECU detected other vehicles. Under such conditions, it is not possible to test how the active safety system works because a recorded video cannot react to the system's behaviour.

Fig. 4. Real test drives augmented with virtual car [7]

2.4.2. Closed loop testing

Closed loop testing occurs when the response of the tested system is fed back into the simulator. Thanks to this, the reaction of the car is visible in the simulation. Closed loop testing provides an interactive simulated environment to the system under test, but it is much more demanding for a test system than the open loop method.

2.5. Other methods

In addition to the general methods described above, there are a number of other, more specific ones, such as Engine-in-the-loop (EIL) or Battery-in--the-loop (BIL), where the engine [8] or the batteries are tested [9]. Sometimes, humans are also tested to evaluate likely behaviour in specific situations or cooperation with safety systems.

2.5.1. Driver-in-the-loop (DIL)

In addition to testing the manufactured system, one can also test driver behaviour while driving a car (Fig. 5).

Thanks to this, one can obtain information about the behaviour of the driver in certain situations and thus better design the system in the car. Moreover, it is also possible to acquire information about cooperation, e.g., with active safety systems to validate if additional safety systems improve or worse the driver's reaction. An example would be testing the reaction time of the driver during braking with cooperation with intelligent lamps [10]. Of course, the driver can be tested in different environment. The less real conditions are when the driver's behaviour is tested during completely virtual test e.g., by using VR goggles. Even better is to test the driver in a real vehicle, but in a simulated environment. The most accurate is to test driver's behaviour in a real vehicle during a real test drive. Such approach gives the most precise results and certainty that the designed safety system improves or worse the driver's safety.

Fig. 5. Volvo Dynamic Driving Simulator [6]

2.5.2. Pedestrian-in-the-loop (PIL)

Pedestrian behaviour can be tested similarly to driver behaviour. By observing the pedestrians in different situations, one can assess how they interact with the car. An interesting example was given in the publication [11], where the behaviour and movement of several people is observed during a dangerous event with an autonomous car. The people have VR goggles on their heads, in which a virtual test drive is displayed. Similar tests were carried out with one passer-by, whose task was to enter a pedestrian crossing at the right moment to check whether the emergency braking algorithm of the vehicle worked properly [12] as shown in Figures 6 and 7.

Fig. 6. Pedestrian with VR goggles [12]

Fig. 7. Image seen by pedestrian [12]

3. VEHICLE TESTING METHODS

So far, the X-in-the-loop approach was presented. In the final step, vehicle tests are performed in a real environment. There are mainly three types of proving ground tests – road traffic, artificial cities, and test tracks.

3.1. Road traffic testing

Test drives in road traffic are the most popular methods of testing autonomous driving and active safety systems. In addition to the obvious advantage of driving in a natural, targeted environment, it has many disadvantages. The first drawback is the low repeatability of test conditions, which are basically non-reproducible. Secondly, the car must be fully functional, so these tests must be carried out at the end of product development, extending the development time. Test drives can cause danger to other users and the driver himself, so it is required to avoid testing immature systems. Also, testing on public roads is inconvenient and time-consuming, as every modification of hardware or software requires returning to the company's site. Unfortunately, more and more countries have prohibited the testing of autonomous cars

in road traffic due to accidents, something which is driving the development of novel alternative testing methods. An example of test performed in road traffic environment is shown in Figure 8.

Fig. 8. Road traffic test [13]

3.2. Closed area testing

In addition to road traffic tests, tests are carried out in closed areas specially adapted for testing.

3.2.1. Artificial cities

An alternative can be testing cars under artificial conditions, such as in an artificial city that has been built specifically for testing purposes. Such cities exist, among others, in South Korea – K-city [14] or in the USA – Mcity [15]. The map of such city is shown in Figure 9.

Fig. 9. Mcity map [16]

For example, Mcity consists of 40 building facades, from a tunnel, a bridge, a four-lane highway, and even mechanical pedestrians who can enter the pedestrian crossing. In addition, it is equipped with standard road markings and traffic lights [15]. A part of Mcity is shown in Figure 10. Testing in such conditions has many advantages, such as the ability to test in conditions that do not threaten other road users. Moreover, all test conditions are reproducible except for weather conditions. An important advantage is the possibility of any configuration of the environment, for example by changing signs or traffic lights. Despite all these advantages, there are still some drawbacks in this method, including a degree of danger to the driver during the tests. Furthermore, building such a city is very expensive and time consuming, and the car itself still must be fully functional.

Fig. 10. Mcity test facility [16]

3.2.2. Test tracks

A cheaper alternative is testing on test tracks or all kinds of empty squares. Usually, on the track there are individual obstacles that allow validating a given system of active safety, e.g., emergency braking. An example of test performed on empty square is shown in Figure 11. This kind of testing is probably the most popular because it is the cheapest and fastest in implementation. It is often the initial phase before testing in road traffic.

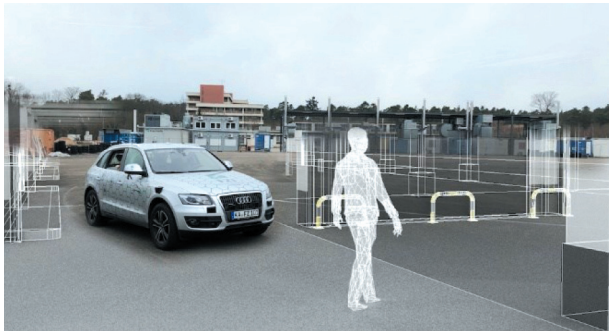


Fig. 11. Car is being tested on test track under the influence of a mixed reality environment [17]

3.2.3. Semi-virtual tests

Also, it is a common practice to combine a virtual test drive with a real one. At the beginning, the entire real track is mapped into the simulation. Then, a test car equipped with a high-accuracy Differential GPS (DGPS) sends its location to the simulator, which sends back the data in the appropriate format, e.g., for radar. This information is sent directly to the ECU of the radar, excluding the radar sensor itself, and the active safety system is triggered [18, 19]. Thanks to this the test is performed on a real track where there are no road users, while from the perspective of the car, it is driving along the same track simultaneously with other cars. Also, often in such mixed rides the driver is equipped with goggles, in which the reality is augmented by elements generated by the simulator. Thanks to this approach, the driver avoids motion sickness and is aware of the resulting car maneuvers.

Another approach to semi-virtual tests is to drive on an empty track where the driver is equipped with VR goggles displaying the completely virtual test drive as shown in Figure 12. The advantage of this approach is that the driver experiences all of the relevant forces while conducting a virtual test drive [20].

The semi-virtual tests can also be applied during the testing of a crossover management controller. The controller assigns the time in which each car could pass the intersection. As the tested car was not equipped with actuation systems that would be able to control the car, the car was run by a driver who performed the controller's commands sent to a dedicated smartphone application [21].

Fig. 12. Real test drives augmented with virtual car [20]

Semi-virtual tests often require the presence of a driver in the car, which can be dangerous, especially when the vehicle is a prototype. This risk can be avoided by replacing the driver by actuators which can be controlled wirelessly.

3.3. Laboratory tests

When it comes to Vehicle-in-the loop testing where the car is tested in laboratory conditions, the problem is simulating the outside world and stimulating the sensors, so that you can test the functionality. This can be done in several ways presented below.

3.3.1. Invasive methods

In invasive methods, one must interfere with the construction of the car. The most invasive method is to disconnect the ECU and inject the relevant data directly to the communication bus [22]. For example, radar ECU can be disconnected, and communication bus is fed with frames containing specific values. Then we are able to observe the vehicle reaction to these data. This method is inconvenient and basically not used, because it requires a significant interference into the construction of the car and deep knowledge of transmitted data structures. This effectively limits the use of this method to OEMs only.

A less invasive way is to leave the ECU connected, but disconnect only the sensor itself from the ECU and after that send electrical signals to the ECU in accordance with the sensor datasheet. As it is much easier to obtain the documentation of the sensor than a documentation of car internal communication systems, this method is already sporadically used.

3.3.2. Non-Invasive methods

There are also a few methods that do not disturb the construction of a car. The first method is to move physical objects in front of the car to trigger the tested systems. For example, a large hall can be used, and the car can be placed on a chassis dynamometer, while traffic is carried out using fake cars that are moved relative to the tested car [23] as shown in Figure 13. This solution has many disadvantages. It is very expensive because one must build cars or other

objects that will interact with the tested car. Also, a large room of about 100 m in length is necessary [23] and finally, such an enterprise is very dangerous to the surroundings.

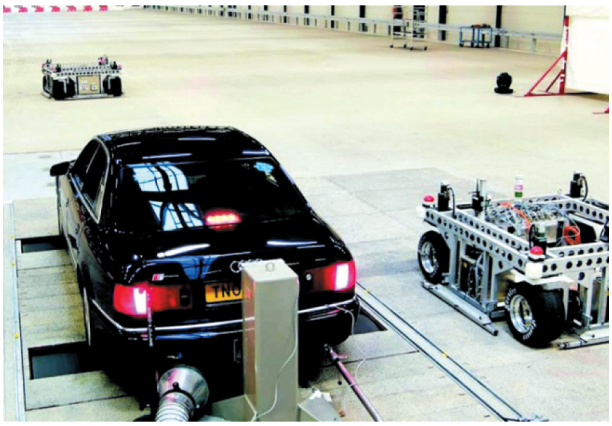


Fig. 13. Tested vehicle on the dyno with fake cars [23]

A very expensive solution, but arguably the most flexible, is to stimulate car sensors using dedicated devices. This approach is commonly used when testing active safety systems or ADAS. Such a test system consists of several components. It comprises a driving simulator which is a computer program that performs virtual test drives. In such a tool, one can also create unique roads, determine the number of lanes, level of road gradient, insert trees and other traffic participants such as cars, pedestrians, etc. [24]. The car is mapped in a simulator and is referred to in the literature as an EGO vehicle. This simulator has built in sensor models such as radar, lidar, etc. Thanks to this, it provides signals in a format dedicated for tested system, which are then sent wirelessly to the corresponding sensors in the car using specialized equipment. The tested car reacts to the received data by changing the trajectories of movement or by activating some active safety system. This reaction is measured, and is sent back to the simulator as physical values. Based on this data, our EGO vehicle reflects the behaviour of the tested vehicle. An example of this is the "Driving Cube" project [25, 26], in which the car was placed on a chassis dynamometer, while special devices were set at the front of the car to wirelessly stimulate the sensors as shown in Figure 14. A special computer program performed the virtual test drive and generated data for stimulators and for the chassis dynamometer.

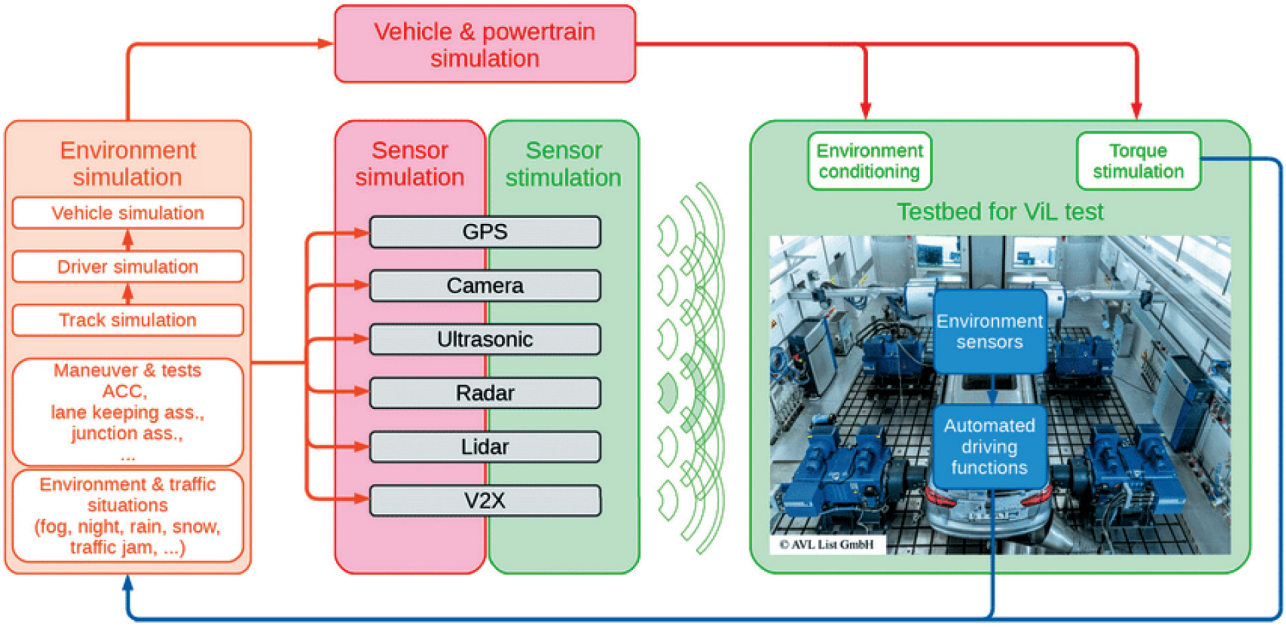


Fig. 14. Driving-Cube test bench for holistic testing of automated driving [27]

4. CONCLUSIONS

There are several ways to verify and validate ADAS and autonomous driving, from road traffic to testing in the laboratory. Currently, laboratory testing is widely used and constantly developed. However, due to the associated costs, only the largest car companies can afford it. Unfortunately, there is no

VIL test system that would be able to stimulate all of the systems used for autonomous driving. From the reviews performed we found that there exist systems that test a single system. Driving Cube is such an example where the radar and camera are tested simultaneously. Such a system primarily lacks the lidar and GPS stimulator, which are crucial systems for autonomous driving. Despite the constantly developing methods, to achieve the above-described goal, it is necessary to answer the following open research question: Is it possible to create a test system that will be able to simulate the external world in the laboratory that driver assistance or autonomous driving systems are tested comprehensively? According to the author, there is a chance to realize such a project, but it can be time-consuming, expensive and requires a multidisciplinary team of people. The main task in such a project would be to integrate existing test systems in a way that they do not disturb each other, and they are able to stimulate all of the tested systems simultaneously.

References

[1] Systems Engineering: *IEEE 1012-2016 – IEEE Standard for System, Software, and Hardware Verification and Validation*, https://standards.ieee.org/standard/1012-2016.html [8.07.2021].

[2] Bücs R.L, Reyes Aristizábal J.S., Leupers R., Ascheid G.: *Multi-level vehicle dynamics modeling and export for ADAS prototyping in a 3D driving environment*, IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Yokohama, Japan 2017.

[3] Xu F., Shen T.: *A trafic-in-loop simulation system for validation of emission control strategy in diesel engine*, IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS), Sankt Petersburg, Russia 2018.

[4] Yao S., Zhang J., Hu Z., Wang Y., Zhou X.: *Autonomous-driving vehicle test technology based on virtual reality*, The 2nd 2018 Asian Conference on Artificial Intelligence Technology, Chongqing, China 2018.

[5] Von Neumann-Cosel K., Roth E., Lehmann D., Speth J., Knoll A.: *Testing of image processing algorithms on synthetic data*, 4th International Conference on Software Engineering Advances, Porto, Portugal 2009.

[6] *National Instrument. Volvo Cars Improves Ride Quality Using an Open-HIL Platform and Dynamic Vehicle Simulation*, https://www.ni.com/pl-pl/innovations/case-studies/19/volvo-cars-improves-ride-quality-using-an-open-hil-platform-and-dynamic-vehicle-simulation.html [8.07.2021].

[7] Zofka M.R., Kohlhaas R., Schamm T., Zöllner J.M.: *Semi-virtual simulations for the evaluation of vision-based ADAS*, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Dearborn, Michigan, USA 2014.

[8] Kammerer C., Schmidt R., Hochmann G.: *A Common Testing Platform for Engine and Vehicle Testbeds*, ATZ Worldwide 2009.

[9] Chen C., Xiong R., Shen W.: *A Lithium-Ion Battery-in-the--Loop Approach to Test and Validate Multiscale Dual H Infinity Filters for State-of-Charge and Capacity Estimation*, IEEE Transactions on Power Electronics 2018.

[10] Laschinsky Y., Von Neumann-Cosel K., Gonter M., Wegwerth C., Dubitzky R., Knoll A.: *Evaluation of an active safety light using virtual test drive within vehicle in the loop*, IEEE International Conference on Industrial Technology, Via del Mar, Chile 2010.

[11] Hartmann M., Viehweger M., Desmet W., Stolz M., Watzenig D.: *Pedestrian in the loop: An approach using virtual reality*, 26th International Conference on Information, Communication and Automation Technologies, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina 2017.

[12] Zofka M.R., Ulbrich S., Karl D., Fleck T., Kohlhaas R., Rönnau A., Dillmann R., Zöllner M.: *Trafic Participants in the Loop: A Mixed Reality-Based Interaction Testbed for the Verification and Validation of Autonomous Vehicles*, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Maui, HI, USA 2018.

[13] Frost A.: *Autonomous EV completes UK's longest and most complex self-driving car journey*, https://www.traffictechnologytoday.com/news/autonomous-vehicles/autonomous-ev-completes-uks-longest-and-most-complex-self-driving-car-journey.html [8.07.2021].

[14] Xu S., Peng H., Song Z., Chen K., Tang Y.: *Design and Test of Speed Tracking Control for the Self-Driving Lincoln MKZ Platform*, IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2020.

[15] Huang W.L., Wang K., Lv Y., Zhu F.H.: *Autonomous vehicles testing methods review*, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Rio de Janeiro, Brazil 2016.

[16] Mcity: *Mcity Test Facility*, https://mcity.umich.edu/our-work/mcity-test-facility/ [28.05.2020].

[17] Zofka M.R., Essinger M., Fleck T., Kohlhaas R., Zöllner J.M.: *The sleepwalker framework: Verification and validation of autonomous vehicles by mixed reality LiDAR stimulation*, IEEE International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots, Brisbane, QLD, Australia 2018.

[18] Bokc T., Maurer M., Farber G.: *Validation of the Vehicle in the Loop (VIL); A milestone for the simulation of driver assistance systems*, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istanbul, Turkey 2007.

[19] Sieber M., Berg G., Karl I., Siedersberger K., Siegel A., Färber B.: *Validation of driving behavior in the Vehicle in the Loop: Steering responses in critical situations*, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, The Hague, Netherlands 2013.

[20] Ruger F., Nitsch V., Farber B.: *Automatic Evasion Seen from the Opposing Trafic-An Investigation with the Vehicle in the Loop*, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Gran Canaria, Spain 2015.

[21] Fayazi A., Vahidi A.: *Vehicle-in-the-loop (VIL) verification of a smart city intersection control scheme for autonomous vehicles*, 1st Annual IEEE Conference on Control Technology and Applications, Maui, HI, USA 2017.

[22] Galko C., Rossi R., Savatier X.: *Vehicle-hardware-in-the-loop system for ADAS prototyping and validation*, International Conference on Embedded Computer Systems: Architectures, Modeling and Simulation, Agios Konstantinos, Greece 2014.

[23] Gietelink O., Ploeg J., De Schutter B., Verhaegen M.: *Development of advanced driver assistance systems with vehicle hardware-in-the-loop simulations*, "Vehicle System Dynamics" 2006, 44, 7: 569–590.

[24] Geneder S., Pfister F., Wilhelm C., Arnold A.: *Development of Connected Powertrains at the Power Test Bed*, ATZ Worldwide 2016.

[25] Gadringer M. E., Maier F. M., Schreiber H., Makkapati V. P., Gruber A., Vorderderfler M., Amschl D., Metzner S., Pflügl H., Bösch W., Horn M., Paulweber M.: *Radar target stimulation for automotive applications*, IET Radar, Sonar & Navigation, 2018.

[26] Förster M., Hettel R., Schyr C., Pfeffer P. E.: *Lateral dynamics on the vehicle test bed – a steering force module as a validation tool for autonomous driving functions*, 9th International Munich Chassis Symposium, Munich, Germany 2018.
[27] Gadringer M., Schreiber H., Gruber A., Vorderderfler M., Amschl D., Bösch W., Metzner S., Pflügl H., Paulweber M.: *Virtual reality for automotive radars*, Elektrotechnik & Informationstechnik 2018.

MICHAŁ PIETRUCH, M.Sc., Eng.
Faculty of Mechanical Engineering and Robotics
AGH University of Science and Technology
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland
mpiet@agh.edu.pl

ANDRZEJ MŁYNIEC, Ph.D., Eng., prof.
Faculty of Mechanical Engineering and Robotics
AGH University of Science and Technology
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland
mlyniec@agh.edu.pl

ANDRZEJ WETULA, Ph.D., Eng.
Faculty of Electrical Engineering, Automatics,
Computer Science and Biomedical Engineering
AGH University of Science and Technology
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland
wetula@agh.edu.pl

© 2020 Authors. This is an open access publication, which can be used, distributed and reproduced in any medium according to the Creative Commons CC-BY 4.0 License.

MICHAŁ PIETRUCH
ANDRZEJ MŁYNIEC
ANDRZEJ WETULA

Przegląd i perspektywa metod testowania wykorzystywanych do weryfikacji i walidacji ADAS, systemów aktywnego bezpieczeństwa oraz jazdy autonomicznej

W ostatnich latach znacznie wzrosła liczba zaawansowanych systemów wspomagających kierowcę. Spowodowało to potrzebę opracowania metod testowania ich jakości i niezawodności. Artykuł przedstawia przegląd metod badawczych stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym wykorzystywanych w weryfikacji i walidacji zaawansowanych systemów wspomagania kierowcy (ADAS), aktywnego bezpieczeństwa i systemów jazdy autonomicznej. W pierwszej części przedstawiono podejście do testów nazywanych testowaniem w pętli, takich jak model w pętli, oprogramowanie w pętli itd., prezentując najciekawsze implementacje. Następnie omówiono testy wykonywane na różnych terenach testowych, które mają udowodnić niezawodność i jakość systemu. Testowymi terenami mogą być tory testowe, sztuczne miasta czy drogi publiczne. W ostatniej części przedstawiono walidację wykonaną w laboratorium z wykorzystaniem metod zarówno inwazyjnych, jak i nieinwazyjnych, opartych na wirtualnych jazdach testowych, stymulatorach czujników i hamowniach podwoziowych. Ponadto zidentyfikowaliśmy najbardziej obiecujące podejścia do skutecznej weryfikacji i walidacji systemów ADAS, aktywnego bezpieczeństwa oraz jazdy autonomicznej. Na koniec wskazujemy potencjalne luki w tym temacie, które wymagają dalszych badań.

Słowa kluczowe: *ADAS, weryfikacja systemów aktywnego bezpieczeństwa, jazda autonomiczna, metody testowania, testowanie w pętli*

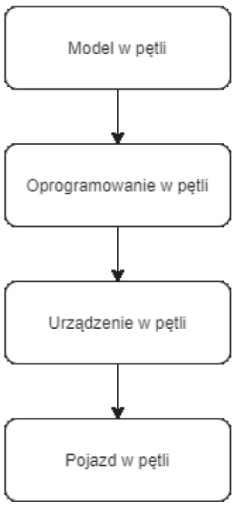
1. WPROWADZENIE

Nowoczesne samochody są wyposażone w coraz bardziej zaawansowane systemy aktywnego bezpieczeństwa. Obecnie nie ma samochodów w pełni autonomicznych, jednak niektóre z nich coraz bardziej ograniczają potrzebę interakcji z kierowcą. Systemy jazdy autonomicznej są opracowywane na podstawie metod SIL (oprogramowanie w pętli) i HIL (urządzenie w pętli), natomiast testy wykonywane są manualnie na torach testowych i/lub na drogach publicznych przez kierowców testowych. Metody te są dalekie od doskonałości ze względu na brak możliwości stworzenia wielu przypadków testowych, wymaganą obecność człowieka w samochodzie podczas testów, a przede wszystkim istnienia problemu z wielokrotnym odtworzeniem identycznych warunków drogowych. Takie warunki można zreprodukować tylko w laboratorium przy użyciu specjalistycznych narzędzi. Wykonanie testów w laboratorium pozwoliłoby na testowanie samochodów w identycznych warunkach. To z kolei pozwoliłoby na porównywanie skuteczności działania systemów pomiędzy samochodami, a przede wszystkim umożliwiłoby na certyfikowanie oparte na określonych procedurach i standardach testowych. Istnieje wiele publikacji przedstawiających różne podejścia do testowania systemów aktywnego bezpieczeństwa i systemów jazdy autonomicznej – od testów laboratoryjnych po testy w ruchu drogowym. Obecnie testy w laboratorium zwane testowaniem pojazdu w pętli koncentrują się głównie na testach pojedynczego urządzenia, takiego jak radar czy lidar. Inżynierowie od jakiegoś czasu próbują stworzyć środowisko testowe, które będzie w stanie testować kilka systemów

jednocześnie, ale niestety wciąż nie zostało ono opracowane. W związku z tym pojawia się pytanie – czy jest możliwe stworzenie środowiska testowego, które będzie w stanie symulować świat zewnętrzny w laboratorium tak, aby można było kompleksowo przetestować systemy wspomagania kierowcy lub jazdy autonomicznej? W artykule dokonano przeglądu tego tematu i podjęto próbę określenia brakujących technologii.

2. TESTOWANIE W PĘTLI

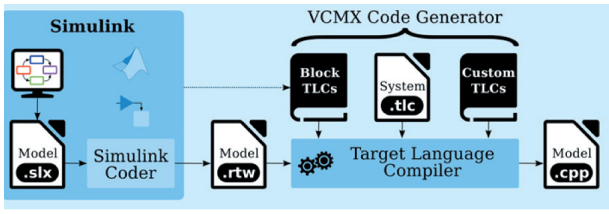
Testowanie w pętli (X w pętli) to konwencja nazewnictwa, w której X oznacza obiekt poddawany testom. Ponieważ testowanie nie jest czynnością wykonywaną jednokrotnie, ale czynnością cykliczną, nazywane jest testowaniem w pętli. W branży motoryzacyjnej można w pętli testować różne rzeczy, które zostaną tutaj przybliżone. Podejścia te są uporządkowane chronologicznie zgodnie z harmonogramem rozwoju testowanego systemu, jak pokazano na rysunku 1. Należy jednak pamiętać, że nie wszystkie kroki muszą zostać wykonane, gdyż to zależy od specyfiki i złożoności systemu. Warto również zauważyć pewną różnicę pomiędzy weryfikacją i walidacją. Weryfikacja jest to sprawdzenie, czy system spełnia wcześniej zdefiniowane wymagania, standardy i normy, natomiast walidacja dostarcza dowodów, że system spełnia swoją funkcję w prawdziwym zastosowaniu, w docelowym środowisku [1].



Rys. 1. Etapy tworzenia systemu

2.1. Model-in-the-loop (MIL)

Pierwszym krokiem podczas wytwarzania systemu jest stworzenie modelu w pętli (MIL), gdzie projektowany system ma postać modelu stworzonego w narzędziu modelującym, np. w MATLAB-Simulink. Z podstawowych komponentów tworzony jest ogólny, wysokopoziomowy model działania systemu. Dzięki temu możemy zaprojektować system bez wchodzenia w szczegóły implementacyjne, które zależą od języka programowania. Dodatkowo, mając taki model, możemy automatycznie wygenerować kod w określonym języku programowania za pomocą np. Simulink Coder lub Target Link [2], dzięki czemu unikamy ręcznego pisania kodu [3], jak pokazano na rysunku 2. Testowanie stworzonego modelu obejmuje dostarczenie zestawu symulowanych sygnałów jako wejście do modelu i sprawdzenie jego odpowiedzi na te sygnały.



Rys. 2. Proces generowania kodu z wykorzystaniem Simulink [2]

2.2. Oprogramowanie w pętli (SIL)

Kolejnym krokiem jest oprogramowanie w pętli (SIL), gdzie przedmiotem testów nie jest już model blokowy, ale kod w określonym języku programowania, np. C++. Możemy następnie przetestować ten kod, dostarczając do jego wejść odpowiednie sztuczne lub pozyskane dane. Dzięki temu możnazweryfikować poprawność zaimplementowanych algorytmów w określonym języku programowania niezależnie od docelowego sprzętu, np. z kodem uruchomionym na komputerze PC [4]. Takie podejście niesie za sobą pewne ryzyko. Przede wszystkim, jeśli program komputerowy jest kompilowany innym kompilatorem od docelowego, to kod maszynowy może się nieco różnić. Podczas wykonywania program może zachowywać się nieco inaczej, więc nie ma 100% pewności, że program zadziała dokładnie tak samo na docelowym sprzęcie.

2.3. Urządzenie w pętli (HIL)

Po zakończeniu testów SIL przeprowadzane są testy urządzenia w pętli (HIL), gdzie oprogramowanie jest już testowane na docelowym sprzęcie, ale nadal jeszcze nie w docelowym środowisku. Oznacza to, że wszystkie inne współpracujące urządzenia elektroniczne muszą zostać sztucznie zasymulowane, ale

z funkcjonalnego punktu widzenia testowanego urządzenia nie ma większej różnicy, czy znajduje się ono w środowisku rzeczywistym, czy symulowanym. To chyba najczęstszy rodzaj testów wykonywanych w branży motoryzacyjnej, ponieważ zwykle producent projektowanego urządzenia odpowiada tylko za jedno z nich i nie ma dostępu do innych współpracujących urządzeń. Przykładem HIL może być urządzenie, które jest odpowiedzialne za rozpoznawanie linii rozdzielających pasy na drodze, które jest testowane w symulowanym środowisku [5] czy HIL pokazany na rysunku 3. Główną wadą tej metody jest to, że urządzenie nie jest testowane w rzeczywistym środowisku z innymi rzeczywistymi urządzeniami, z docelowymi zasilaczami itp., dlatego istnieje ryzyko, że w rzeczywistym środowisku urządzenie nie będzie działać do końca poprawnie.

Rys. 3. HIL system testujący kontrolery hamowania, sterowania oraz zawieszenia [6]

2.4. Pojazd w pętli (VIL)

Ostatnim etapem testów jest przetestowanie samochodu w całości. Najczęściej ustawia się go na hamowni podwoziowej, która przykładając odpowiedni moment obrotowy do kół, symuluje jazdę pod wzniesienie oraz inne opory ruchu. Dodatkowo różne czujniki samochodu są stymulowane za pomocą różnego rodzaju urządzeń współpracujących z symulatorami jazdy odpowiedzialnymi za wirtualne jazdy testowe. W tej metodzie badawczej często można spotkać się z terminami, takimi jak testowanie w pętli otwartej oraz zamkniętej, które tutaj pokrótce omówię.

2.4.1. Testowanie w pętli otwartej

Testowanie w pętli otwartej polega na tym, że testowane urządzenie czy system jest stymulowany z zewnątrz, ale jego odpowiedź nie jest zwracana do symulatora. Z tego powodu w symulacji nie pojawia się informacja o reakcji samochodu na wygenerowany sygnał stymulujący. Przykładem testowania w otwartej pętli może być urządzenie, które odpowiada za detekcję innych samochodów podczas jazdy [7]. Pierwszym krokiem było nagranie filmu podczas prawdziwej jazdy testowej, następnie identyczna jazda testowa została przeprowadzona w symulatorze, a na koniec samochody z wirtualnej jazdy testowej zostały wyekstrahowane i nałożone na nagrany, rzeczywisty film, co pokazano na rysunku 4. Końcowy test polegał na przesłaniu tego filmu z dodanymi samochodami do kamery i przeanalizowaniu, czy urządzenie wykryło inne pojazdy na drodze. W takich warunkach nie jest możliwe przetestowanie działania systemu aktywnego bezpieczeństwa, gdyż nagrane wideo nie reaguje i nie odzwierciedla odpowiedzi systemu.

Rys. 4. Kadr z filmu z rzeczywistej jazdy testowej rozszerzony o samochody wirtualne [7]

2.4.1. Testowanie w pętli zamkniętej

Testowanie w pętli zamkniętej polega na tym, że odpowiedź testowanego systemu jest zwracana do symulatora. Dzięki temu w symulacji widoczna jest reakcja samochodu. Testowanie w pętli zamkniętej zapewnia interakcję pomiędzy symulowanym światem a rzeczywistym samochodem, ale jest znacznie bardziej wymagająca w implementacji niż metoda otwartej pętli.

2.5. Inne metody

Oprócz metod standardowych opisanych powyżej istnieje wiele innych, bardziej szczegółowych metod, takich jak silnik w pętli (EIL) czy bateria w pętli (BIL), w których silnik spalinowy [8] lub baterie są poddawane testom w pętli [9]. Czasami również człowiek jest poddawany testom w celu oceny jego zachowania w określonych sytuacjach lub oceny jego współpracy z systemami bezpieczeństwa.

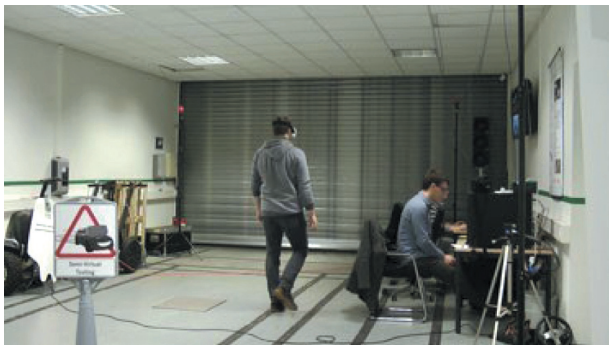
2.5.1. Kierowca w pętli (DIL)

Oprócz testowania wyprodukowanego systemu można również przetestować zachowanie kierowcy podczas jazdy samochodem (rys. 5). Dzięki temu można uzyskać informacje o zachowaniu kierowcy w różnych sytuacjach i tym samym lepiej zaprojektować system w samochodzie. Ponadto można ocenić współpracę kierowcy np. z aktywnymi systemami bezpieczeństwa w celu sprawdzenia, czy dodatkowe systemy bezpieczeństwa poprawiają, czy pogarszają reakcję kierowcy. Przykładem może być badanie czasu reakcji kierowcy podczas hamowania przy współpracy z inteligentnymi lampami [10]. Oczywiście kierowcę również można przetestować w mniej realnym środowisku, np. podczas całkowicie wirtualnej jazdy testowej, niemniej jednak najdokładniejszą metodą jest sprawdzenie zachowania kierowcy w prawdziwym pojeździe podczas prawdziwej jazdy testowej. Takie podejście daje najdokładniejsze wyniki oraz pewność, że zaprojektowany system bezpieczeństwa poprawia lub pogarsza bezpieczeństwo kierowcy.

Rys. 5. Symulator dynamicznej jazdy marki Volvo [6]

2.5.2. Pieszy w pętli (PIL)

Zachowanie pieszych można badać podobnie jak zachowanie kierowcy. Obserwując pieszych w różnych sytuacjach, można ocenić, jak wchodzą w interakcję z samochodem. Ciekawy przykład podano w publikacji [11], w której obserwuje się zachowanie kilku osób podczas niebezpiecznego zdarzenia z samochodem autonomicznym. Piesi podczas testu mają na głowach gogle VR, w których wyświetlana jest wirtualna jazda testowa. Podobne testy przeprowadzono z jednym przechodniem, którego zadaniem było wejście w odpowiednim momencie na przejście dla pieszych w celu sprawdzenia, czy algorytm awaryjnego hamowania pojazdu zadziała prawidłowo [12], co ukazano na rysunkach 6 i 7.



Rys. 6. Pieszy z goglami VR [12]

Rys. 7. Obraz widziany przez pieszego z rysunku 6 [12]

3. METODY TESTOWANIA POJAZDU

Do tej pory zaprezentowano podejście testowania w pętli. Ostatnim krokiem jest przeprowadzenie testów pojazdu w rzeczywistych warunkach. Istnieją trzy główne rodzaje testów: ruch drogowy, sztuczne miasta i tory testowe.

3.1. Testowanie w ruchu drogowym

Jazdy testowe w ruchu drogowym to najpopularniejsza metoda testowania jazdy autonomicznej i systemów aktywnego bezpieczeństwa. Oprócz oczywistych zalet wynikających z jazdy w naturalnym, docelowym środowisku ma również wiele wad. Pierwszą wadą jest mała powtarzalność warunków testowych, które są w zasadzie nieodtwarzalne. Po drugie, samochód musi być w pełni sprawny, aby wykonać testy, więc testy te jedynie mogą być przeprowadzone pod koniec tworzenia produktu, tym samym wydłużając całkowity czas produkcji. Po trzecie, jazda testowa może spowodować zagrożenie dla innych uczestników ruchu oraz samego kierowcy, dlatego unika się testowania niedojrzałych systemów. Po czwarte, testowanie na drogach publicznych jest niewygodne i czasochłonne, ponieważ każda modyfikacja urządzenia lub oprogramowania wymaga powrotu do siedziby firmy. Niestety w coraz większej liczbie

krajów zakazuje się testowania samochodów autonomicznych w ruchu drogowym z powodu wypadków, jednak skutkuje to rozwojem nowych, alternatywnych metod testowania. Przykład testu w ruchu ulicznym został pokazany na rysunku 8.

Rys. 8. Testowanie w ruchu ulicznym [13]

3.2. Testowanie na terenach zamkniętych

Oprócz testów w ruchu drogowym wykonuje się testy na terenach zamkniętych specjalnie przystosowanych do testów.

3.2.1. Sztuczne miasta

Alternatywą może być testowanie samochodów w sztucznych warunkach. Może to być na przykład sztuczne miasto, które zostało zbudowane specjalnie do celów testowych. Takie miasta istnieją m.in. w Korei Południowej – K-city [14] czy w Stanach Zjednoczonych – Mcity [15]. Na rysunku 9 przedstawiono mapę takiego miasta.

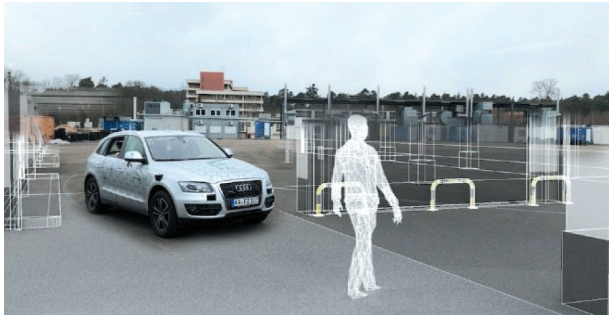
Rys. 9. Mapa Mcity [5]

Mcity składa się z czterdziestu fasad budynków, z tunelu, mostu, czteropasmowej autostrady, a nawet mechanicznych pieszych, którzy mogą wchodzić na przejście dla pieszych. Ponadto jest wyposażone w standardowe oznakowanie drogowe oraz sygnalizację świetlną [15]. Fragment Mcity pokazano na rysunku 10. Testowanie w takich warunkach ma wiele zalet, np. możliwość testowania w warunkach, które nie zagrażają innym użytkownikom drogi. Ponadto warunki testowe są w większości odtwarzalne z wyjątkiem warunków pogodowych. Istotną zaletą jest możliwość dowolnej konfiguracji otoczenia, na przykład przez zmianę znaków czy sygnalizacji świetlnej. Pomimo tych zalet metoda ta ma jednak pewne wady, np. nadal istnieje pewne zagrożenie dla kierowcy podczas wykonywania testów. Poza tym budowa takiego miasta jest bardzo kosztowna i długotrwała, a sam samochód nadal musi być w pełni funkcjonalny.

Rys. 10. Mcity [16]

3.2.1. Tory testowe

Tańszą alternatywą jest testowanie na torach testowych lub wszelkiego rodzaju pustych placach czy zamkniętych drogach. Zwykle na torze znajdują się pojedyncze przeszkody, które pozwalają na walidację pojedynczego systemu aktywnego bezpieczeństwa, np. hamowania awaryjnego. Przykład testowania na placu testowym został pokazany na rysunku 11. Ten rodzaj testowania jest prawdopodobnie najpopularniejszy, ponieważ jest najtańszy i najszybszy do zrealizowania. Często jest to faza początkowa przed testowaniem w ruchu drogowym.



Rys. 11. Samochód testowany na torze testowym w rozszerzonej rzeczywistości [17]

3.2.1. Testy półwirtualne

Powszechną praktyką jest również łączenie wirtualnej jazdy testowej z rzeczywistą jazdą testową. Na początku w symulacji odwzorowuje się prawdziwy tor. Następnie podczas rzeczywistego przejazdu samochód testowy wyposażony w bardzo dokładny różnicowy GPS (DGPS) przesyła swoją lokalizację do symulatora, który następnie odsyła dane w odpowiednim formacie, np. do radaru. Te dane są przesyłane bezpośrednio do sterownika radaru z pominięciem samego czujnika radarowego i wyzwalany jest system aktywnego bezpieczeństwa [18, 19]. Dzięki temu test odbywa się na prawdziwym torze, na którym nie ma innych uczestników ruchu drogowego, natomiast z perspektywy samochodu jedzie on po tym samym torze jednocześnie z innymi samochodami. Również często w takich przejazdach mieszanych kierowca wyposażony jest w gogle, w których rzeczywistość jest rozszerzona o elementy generowane przez symulator. Dzięki takiemu podejściu kierowca unika choroby lokomocyjnej, a ponadto jest świadomy czynników powodujących manewry samochodu.

Innym podejściem do testów półwirtualnych jest jazda po pustym torze, na którym kierowca wyposażony jest w gogle VR wyświetlające całkowicie wirtualną jazdę testową, co pokazano na rysunku 12. Zaletą tego podejścia jest to, że kierowca doświadcza wszystkich sił podczas wirtualnej jazdy próbnej [20].

Testy półwirtualne można również zastosować podczas testowania kontrolera zarządzania sygnalizacją świetlną. Kontroler przydziela czas, w którym każdy samochód może przejechać przez skrzyżowanie. Ponieważ testowany samochód nie był wyposażony w układy wykonawcze będące w stanie sterować samochodem, był on prowadzony przez kierowcę wykonującego polecenia sterownika, które były wysyłane do specjalnej aplikacji na smartfonie [21].

Rys. 12. Rzeczywista jazda testowa rozszerzona o wirtualne samochody [20]

Testy półwirtualne często wymagają obecności kierowcy w samochodzie, co może być niebezpieczne, zwłaszcza gdy pojazd jest prototypem. Ryzyka tego można uniknąć, zastępując kierowcę układami wykonawczymi, którymi następnie można sterować zdalnie.

3.3. Testy w laboratorium

Jeśli chodzi o testowanie pojazdu w pętli w warunkach laboratoryjnych, problemem jest symulacja świata zewnętrznego i stymulowanie czujników samochodu, aby można było przetestować konkretną funkcjonalność. Można to zrobić na kilka sposobów, które zostaną przedstawione poniżej.

3.3.1. Metody inwazyjne

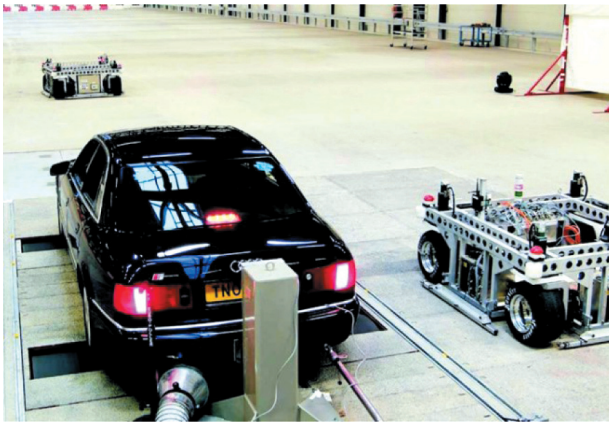
W metodach inwazyjnych zachodzi ingerencja w konstrukcję samochodu. Najbardziej inwazyjną metodą jest odłączenie zarówno czujnika, jak i sterownika i wprowadzenie odpowiednich danych bezpośrednio do magistrali komunikacyjnej [22]. Na przykład sterownik radaru może zostać całkowicie odłączony, a na magistrale komunikacyjną są wstrzykiwane ramki zawierające określone wartości. Dzięki temu możemy obserwować reakcję pojazdu na te dane. Metoda ta jest niewygodna i w zasadzie rzadko stosowana, ponieważ wymaga sporej ingerencji w konstrukcję samochodu oraz dogłębnej znajomości przesyłanych struktur danych na magistrali. Z tego powodu metoda ta jest wykorzystywana przez producentów samochodów, którzy posiadają wszelkiego rodzaju dokumentację potrzebną do wykonania takich testów.

Mniej inwazyjnym sposobem jest pozostawienie podłączonego sterownika, ale odłączenie samego czujnika, a następnie wysłanie sygnałów elektrycznych do sterownika zgodnie ze specyfikacją czujnika. Ze względu na znacznie łatwiejszy dostęp do dokumentacji czujnika niż do dokumentacji opisującej komunikację wewnętrzną samochodu metoda ta jest już stosowana sporadycznie.

3.3.2. Metody nieinwazyjne

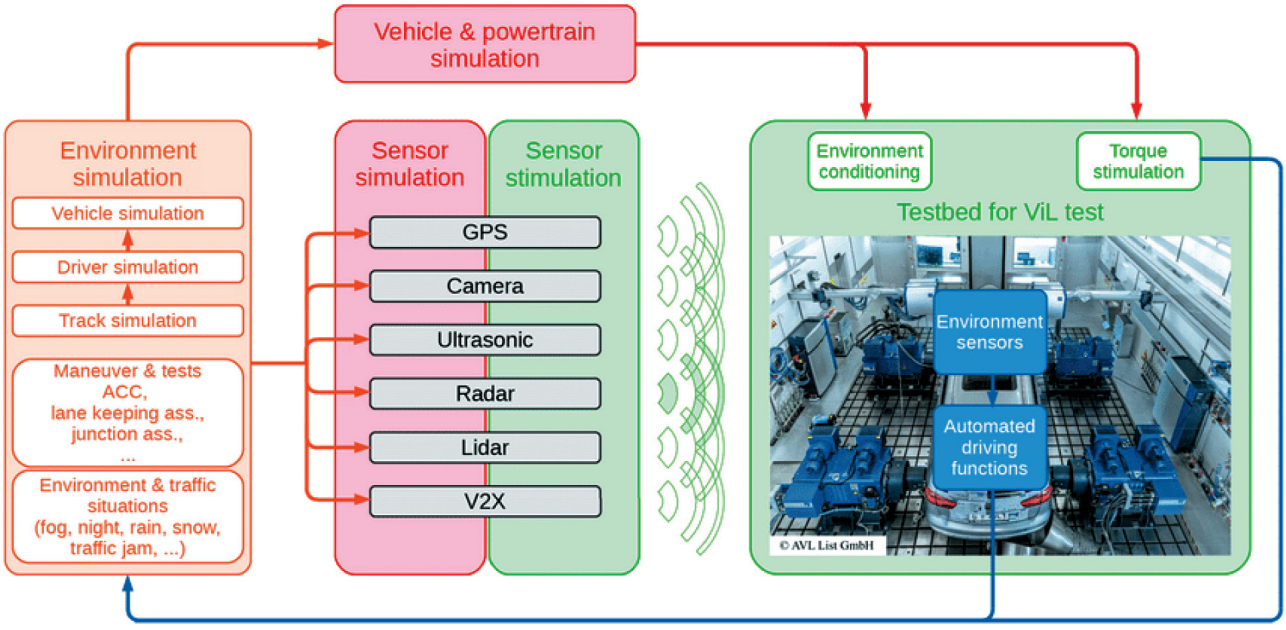
Istnieje też kilka metod, które nie ingerują w konstrukcję samochodu. Pierwsza z nich polega na ustawieniu fizycznych obiektów przed samochodem w celu uruchomienia testowanych systemów, np. systemu awaryjnego hamowania.

Do tego celu można na przykład wykorzystać dużą halę, na której samochód jest ustawiony na hamowni podwoziowej, a pozostałe sztuczne samochody poruszają się ruchem względnym wobec tego samochodu [23], jak pokazano na rysunku 13. Niestety to rozwiązanie ma wiele wad. Jest bardzo kosztowne, ponieważ trzeba zbudować sztuczne samochody lub inne obiekty, które będą wchodzić w interakcję z testowanym samochodem, oraz konieczne jest również posiadanie dużego pomieszczenia o długości około 100 m [23]. Ponadto takie przedsięwzięcie niesie pewne niebezpieczeństwo dla otoczenia, gdyż pojazdy są w permanentnym ruchu.



Rys. 13. Testowany pojazd na hamowni z sztucznymi samochodami [23]

Kolejnym rozwiązaniem jest stymulacja czujników samochodu za pomocą przeznaczonych do tego urządzeń – stymulatorów. Podejście to jest powszechnie stosowane podczas testowania systemów aktywnego bezpieczeństwa lub zaawansowanych systemów wspomagania kierowców – ADAS. System testowy tego typu składa się z kilku elementów. Obejmuje symulator jazdy będący programem komputerowym wykonującym wirtualne jazdy testowe. W takim narzędziu można tworzyć specyficzne drogi, określać liczbę pasów, poziom nachylenia drogi, wstawiać drzewa i innych uczestników ruchu, takich jak samochody, piesi itp. [24]. Rzeczywisty samochód jest odwzorowywany w symulatorze, a w literaturze jest określany jako pojazd EGO. Symulator ma wbudowane modele czujników, takich jak radar, lidar itp., dzięki czemu dostarcza sygnały w formacie używanym w badanym systemie, które następnie przesyłane są bezprzewodowo do odpowiednich czujników w samochodzie za pomocą specjalistycznego sprzętu. Badany samochód reaguje na otrzymane dane, zmieniając trajektorie ruchu lub aktywując odpowiedni system aktywnego bezpieczeństwa. Odpowiedź tego systemu jest mierzona, a wartości fizyczne są przesyłane z powrotem do symulatora. Na podstawie tych danych pojazd EGO odzwierciedla zachowanie badanego pojazdu podczas wirtualnej jazdy testowej. Przykładem tego rozwiązania jest projekt *Driving Cube* [25, 26], w którym samochód został umieszczony na hamowni podwoziowej, a z przodu samochodu umieszczono specjalne urządzenia do bezprzewodowego stymulowania czujników, jak pokazano na rysunku 14. Specjalistyczny program komputerowy wykonał wirtualną jazdę testową i wygenerował dane dla stymulatorów oraz hamowni podwoziowej.



Rys. 14. Driving Cube – stanowisko testowe do kompleksowego testowania jazdy autonomicznej [27]

4. PODSUMOWANIE

Istnieje kilka sposobów weryfikacji i walidacji zaawansowanych systemów wspomagania kierowcy ADAS, systemów aktywnego bezpieczeństwa i jazdy autonomicznej – od testów w laboratorium do testów w ruchu drogowym. Obecnie badania laboratoryjne są szeroko stosowane i stale rozwijane, jednak ze względu na koszty mogą sobie na to pozwolić tylko największe koncerny samochodowe i ośrodki badawczo-rozwojowe. Niestety nie ma systemu testowego VIL, który byłby w stanie stymulować jednocześnie wszystkie systemy używane do jazdy autonomicznej. Na podstawie przeprowadzonego przeglądu stwierdzono, że istnieją systemy, które testują jedynie pojedyncze systemy. *Driving Cube* jest rzadkim przykładem, w którym radar i kamera są testowane jednocześnie. W takim systemie brakuje przede wszystkim stymulacji lidaru oraz stymulatora GPS, które są kluczowymi systemami wykorzystywanymi podczas jazdy autonomicznej. Pomimo ciągle rozwijanych metod do osiągnięcia opisanego powyżej celu niezbędna jest odpowiedź na pytanie: Czy możliwe jest stworzenie środowiska testowego, które będzie w stanie symulować w laboratorium świat zewnętrzny, w którym systemy wspomagania kierowcy oraz autonomicznej jazdy będą kompleksowo testowane? Zdaniem autorów jest szansa na zrealizowanie takiego projektu, ale będzie to czasochłonne, kosztowne i wymagające multidyscyplinarnego zespołu ludzi. Głównym zadaniem w takim projekcie byłoby zintegrowanie istniejących systemów testowych w taki sposób, aby nie przeszkadzały i nie zakłócały się nawzajem i były w stanie stymulować wszystkie testowane systemy jednocześnie.

Literatura

[1] Systems Engineering: *IEEE 1012-2016 – IEEE Standard for System, Software, and Hardware Verification and Validation*, https://standards.ieee.org/standard/1012 2016.html [8.07.2021].

[2] Bücs R.L., Reyes Aristizábal J.S., Leupers R., Ascheid G.: *Multi-level vehicle dynamics modeling and export for ADAS prototyping in a 3D driving environment*, IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Yokohama, Japan 2017.

[3] Xu F., Shen T.: *A trafic-in-loop simulation system for validation of emission control strategy in diesel engine*, IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS), Sankt Petersburg, Russia 2018.

[4] Yao S., Zhang J., Hu Z., Wang Y., Zhou X.: *Autonomous-driving vehicle test technology based on virtual reality*, The 2nd 2018 Asian Conference on Artificial Intelligence Technology, Chongqing, China 2018.

[5] Von Neumann-Cosel K., Roth E., Lehmann D., Speth J., Knoll A.: *Testing of image processing algorithms on synthetic data*, 4th International Conference on Software Engineering Advances, Porto, Portugal 2009.

[6] *National Instrument. Volvo Cars Improves Ride Quality Using an Open-HIL Platform and Dynamic Vehicle Simulation*, https://www.ni.com/pl-pl/innovations/case-studies/19/volvo-cars-improves-ride-quality-using-an-open-hil-platform-and-dynamic-vehicle-simulation.html [8.07.2021].

[7] Zofka M.R., Kohlhaas R., Schamm T., Zöllner J.M.: *Semi-virtual simulations for the evaluation of vision-based ADAS*, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Dearborn, Michigan, USA 2014.

[8] Kammerer C., Schmidt R., Hochmann G.: *A Common Testing Platform for Engine and Vehicle Testbeds*, ATZ Worldwide 2009.

[9] Chen C., Xiong R., Shen W.: *A Lithium-Ion Battery-in-the-Loop Approach to Test and Validate Multiscale Dual H Infinity Filters for State-of-Charge and Capacity Estimation*, IEEE Transactions on Power Electronics 2018.

[10] Laschinsky Y., Von Neumann-Cosel K., Gonter M., Wegwerth C., Dubitzky R., Knoll A.: *Evaluation of an active safety light using virtual test drive within vehicle in the loop*, IEEE International Conference on Industrial Technology, Via del Mar, Chile 2010.

[11] Hartmann M., Viehweger M., Desmet W., Stolz M., Watzenig D.: *Pedestrian in the loop: An approach using virtual reality*, 26th International Conference on Information, Communication and Automation Technologies, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina 2017.

[12] Zofka M.R., Ulbrich S., Karl D., Fleck T., Kohlhaas R., Rönnau A., Dillmann R., Zöllner M.: *Trafic Participants in the Loop: A Mixed Reality-Based Interaction Testbed for the Verification and Validation of Autonomous Vehicles*, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Maui, HI, USA 2018.

[13] Frost A.: *Autonomous EV completes UK's longest and most complex self-driving car journey*, https://www.traffictechnologytoday.com/news/autonomous-vehicles/autonomous-ev-completes-uks-longest-and-most-complex-self-driving-car-journey.html [8.07.2021].

[14] Xu S., Peng H., Song Z., Chen K., Tang Y.: *Design and Test of Speed Tracking Control for the Self-Driving Lincoln MKZ Platform*, IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2020.

[15] Huang W.L., Wang K., Lv Y., Zhu F.H.: *Autonomous vehicles testing methods review*, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Rio de Janeiro, Brazil 2016.

[16] Mcity: *Mcity Test Facility*, https://mcity.umich.edu/our-work/mcity-test-facility/ [28.05.2020].

[17] Zofka M.R., Essinger M., Fleck T., Kohlhaas R., Zöllner J.M.: *The sleepwalker framework: Verification and validation of autonomous vehicles by mixed reality LiDAR stimulation*, IEEE International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots, Brisbane, QLD, Australia 2018.

[18] Bokc T., Maurer M., Farber G.: *Validation of the Vehicle in the Loop (VIL); A milestone for the simulation of driver assistance systems*, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istanbul, Turkey 2007.

[19] Sieber M., Berg G., Karl I., Siedersberger K., Siegel A., Färber B.: *Validation of driving behavior in the Vehicle in the Loop: Steering responses in critical situations*, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, The Hague, Netherlands 2013.

[20] Ruger F., Nitsch V., Farber B.: *Automatic Evasion Seen from the Opposing Trafic-An Investigation with the Vehicle in the Loop*, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Gran Canaria, Spain 2015.

[21] Fayazi A., Vahidi A.: *Vehicle-in-the-loop (VIL) verification of a smart city intersection control scheme for autonomous vehicles*, 1st Annual IEEE Conference on Control Technology and Applications, Maui, HI, USA 2017.
[22] Galko C., Rossi R., Savatier X.: *Vehicle-hardware-in-the-loop system for ADAS prototyping and validation*, International Conference on Embedded Computer Systems: Architectures, Modeling and Simulation, Agios Konstantinos, Greece 2014.
[23] Gietelink O., Ploeg J., De Schutter B., Verhaegen M.: *Development of advanced driver assistance systems with vehicle hardware-in-the-loop simulations*, „Vehicle System Dynamics" 2006, 44, 7: 569–590.
[24] Geneder S., Pfister F., Wilhelm C., Arnold A.: *Development of Connected Powertrains at the Power Test Bed*, ATZ Worldwide 2016.
[25] Gadringer M. E., Maier F. M., Schreiber H., Makkapati V. P., Gruber A., Vorderderfler M., Amschl D., Metzner S., Pflügl H., Bösch W., Horn M., Paulweber M.: *Radar target stimulation for automotive applications*, IET Radar, Sonar & Navigation, 2018.
[26] Förster M., Hettel R., Schyr C., Pfeffer P. E.: *Lateral dynamics on the vehicle test bed – a steering force module as a validation tool for autonomous driving functions*, 9th International Munich Chassis Symposium, Munich, Germany 2018.
[27] Gadringer M., Schreiber H., Gruber A., Vorderderfler M., Amschl D., Bösch W., Metzner S., Pflügl H., Paulweber M.: *Virtual reality for automotive radars*, Elektrotechnik & Informationstechnik 2018.

mgr inż. MICHAŁ PIETRUCH
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
mpiet@agh.edu.pl

dr hab. inż. ANDRZEJ MŁYNIEC
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
mlyniec@agh.edu.pl

dr inż. ANDRZEJ WETULA
Wydział Elektrotechniki, Automatyki,
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
wetula@agh.edu.pl

© 2020 Autorzy. Jest to publikacja ogólnodostępna, którą można wykorzystywać, rozpowszechniać i kopiować w dowolnej formie zgodnie z licencją Creative Commons CC-BY 4.0.

http://dx.doi.org/10.7494/miag.2020.1.541.37

JACEK KORSKI

The efficiency of a bolter miner – requirements and constraints

This paper presents an analysis of the requirements and constraints concerning the efficiency of the application of coal roadway development systems with bolt roof supports by means of specialized mining, loading and bolting machines. In some cases, machines of this type can achieve very good roadway development results measured with the daily/weekly/monthly advancing of the face. An attempt was made to indicate the requirements to be met in order to achieve the expected results, as well as the factors limiting the obtained results of gateroad development operations.

Key words: *longwall systems, gallery development, roadheading, bolt support (roof bolting), bolter miner, coal mining*

1. INTRODUCTION

Bolter miners appeared about 30 years ago as specialized equipment intended for drilling coal and coal-and-rock headings in hard coal mines that used to operate longwall mining systems. Previously, the search for a solution to the following problem had been carried out for many years: how to increase the advancing of drilling longwall gateroads and thus the increasing advancing of longwalls? The change in the perception of mechanized longwalls after they had been implemented in US coal mining [1, 2], then in Australia and subsequently in other countries (Russia, China and others) led to an increase in the daily production of longwalls and thus an increase in their daily advancing rates. This had to be followed by an increase in the daily advancing of the gateroad faces, as each subsequent longwall must be prepared before the previous one reaches its stop line. The principle of "time is money" is fully confirmed with regard to the preparation of the longwall panel for mining operations; very expensive equipment of a highly efficient longwall complex cannot wait unproductively for the preparation of the headings for the subsequent longwall [3]. Great attention has been paid to the issue of achieving high advancing rates in roadway development operations also in Poland [4, 5], and a lot of attention worldwide has been paid to improving the efficiency of gateroad development operations with the use of bolter miners [6–16]. In the most technologically advanced and productive hard coal mines in the world, it has become common practice to use a bolt support (roof bolting) as a less expensive method of securing the gateroads (headings). The combination of technical solutions enabling mechanical cutting in coal and coal-and-rock faces with the quick installation of the bolt support (roof bolting) in the heading face resulted in the creation of highly specialized machines – bolter miners. These machines enable a very high gateroad development progress rate – the best recorded result is approx. 2500 m/month, obtained in 2018 at the Daliuta mine (Shenhua Shendong Group) [17] in China. In favorable mining and geological conditions, well-prepared gateroad faces are able to achieve advancing/progress rate of 6–8 m/h. In 2019, gallery drivage with the Komatsu/ Joy Global 12CM30 bolter miner [18] was started in Poland for experimental purposes.

This paper presents an analysis of the requirements and constraints for the effective use of bolter miner machines.

2. ORIGINS AND CONSTRUCTION OF BOLTER MINERS

Bolter miners are the effect of many years of searching for a solution to the problem of high performance of mechanical mining in coal faces and the need to secure the roof and the sidewalls of the headings subject to drilling as rapidly as possible.

2.1. Before the invention of bolter miners

In its current design, the bolter miner is a combination of a continuous miner with a multi-head bolting device on one undercarriage (chassis).

In the past, attempts were made to separate in time and space the face mining (cutting) from the roof bolting using a powered roof support as a temporary support between the cutting area (face) and the roof bolting area. This solution, applied in the headings of the room and pillar system in the USA [19, 20], did not prove its advantages and as a result, it was quickly abandoned. In European mining, attempts were been made to use face-drilling machines with mechanical cutting and continuous (follow-up) roof bolting with one machine (AVSA), but also these attempts were unsuccessful.

For the needs of the dynamically developing Australian coal mining industry, the Joy company created a device called Joy Sump Shearer (JSS) in the 1980s (Fig. 1) [21]. The machine was intended for use in drilling headings with rectangular-arched cross-sections, with roof bolting in the immediate vicinity of the face (1.5 m). Two bolters were used and the heading cross-section was chosen due to the optimal use of the bolters. The machine was equipped with two cutting heads mounted on the arms, just like in longwall shearers.

These heads (cutting units) enabled cutting the roof (with rock cutting) with an arch roof support. This solution minimized the volume of the roof rock cut, as at that time, the coal walls of 2.2–2.8 m high were mined in Australia. Due to the increase in the thickness of the exploited seams, and the limited benefits of using the JSS, this solution was abandoned.

In the USA and Australian coal mining, the longwall system, especially retreat LW, is regarded as the next stage in the development of the room-and-pillar system with pillar recovery. Since the 1940s, various types of machines have been used for the mechanical mining of coal in these systems, which unlike mechanization systems with blasting (use of explosives), were called Continuous Miners [5]. For several decades, cutter-loaders with linear cutting head across the entire web have been dominant among these machines. In the room-and-pillar mining systems, these machines work in a multi-face system with alternate roof cutting and roof bolting with a separate self-propelled bolting machine. This solution was also used to gateroad development for preparing LW panels. In practice, however, it turned out that there were large losses of time related to the replacement of machines in the face – after cutting the whole undisturbed soil (coal body) to a safe depth, the continuous miner had to be reversed from the face to pass and make space for the bolting machine. An alternative, often compelled by mining and geological conditions, was roof bolting with manual bolters immediately after the roof was exposed.

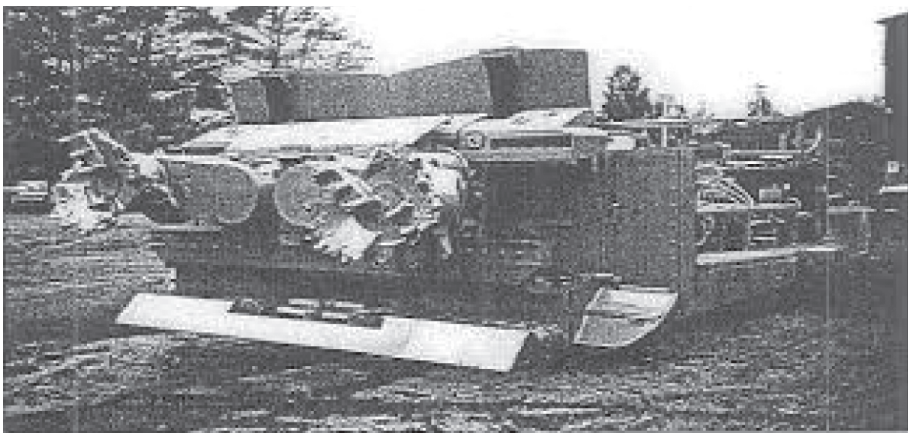


Fig. 1. Joy Sump Shearer [21]

2.2. The idea of the bolter miner

At the end of the 1980s, the idea was born to equip the Continuous Miner shearer with a bolting station that would enable simultaneous drilling and bolting the roof and the sidewalls of the headings with several bolters. The first ABM-20 device of this type, used in the Australian Tahmoor mine [3], was developed by Voest Alpine Bergtechnik (now: Sandvik). The implementation was successful and the bolter miner type very quickly became popular in the global coal mining industry, wherever there have been conditions for their effective use. Nowadays, these machines are used on a large scale in mines extracting hard coal with a longwall system in Australia, the USA, China and Russia. Individual machines are operated in other countries, while in the declining European coal mining industry they have been implemented in the Czech Republic and, recently, in Poland. High power of the linear cutting head and the machine stability resulted in the fact that, similarly to the borer miners, bolter miners have been used in the exploitation (extraction) of some other soft minerals (rock salt, sylvinite, trona) in mining systems with long gates.

Nowadays, at least 3 global manufacturers offer bolter miner machines (Fig. 2).

Similar machines are offered by other manufacturers, but there is no information about their use.

Since the first bolter miners appeared, they have been enhanced to increase drilling efficiency, and improve safety and ergonomics.

Fig. 2. Bolter miners produced by Joy 12CM30, Sandvik MB670 and CAT CM845 [22–24]

3. TECHNICAL SYSTEM OF THE FACE (GATE END) WITH THE BOLTER MINER

During the development of bolter miners, relevant experience was gained and a technical system was improved to enable the very effective drilling of coal and rock and stone headings with a rectangular cross-section with the use of a bolt support (roof bolting). The roadheader has been the key element of the system.

3.1. Design and basic features of the bolter miners

The bolter miner is a combination of two devices on a common undercarriage (chassis) [25–27]:

- A mining and loading machine enabling the haulage of the excavated material beyond the face (machine),
- A bolting station equipped with several bolting heads, enabling bolting the roof and sidewalls simultaneously. The number of bolters varies from 4 to 6.

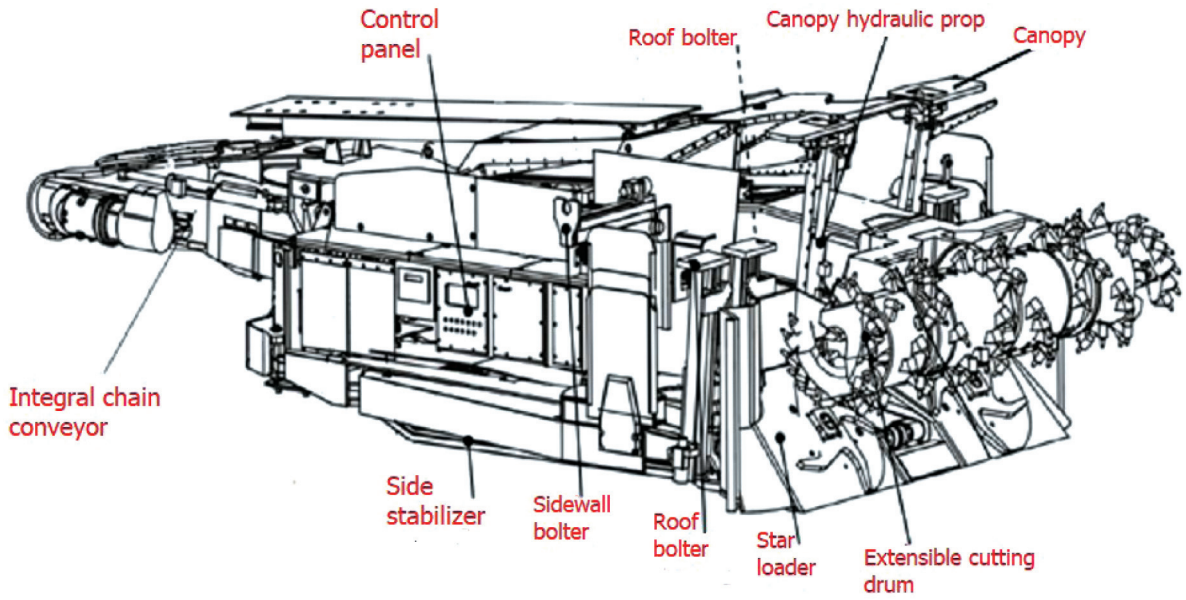


Fig. 3. Basic components of the bolter miner (own study based on [18])

The basic design assumption was to minimize the time of the basic groups of operations performed in the face by increasing the cutting efficiency and simultaneous drilling and bolting with many anchors. The basic components of the bolter miner by Sandvik are shown in Figure 3.

Unlike similar continuous miners, the characteristic feature of the bolter miner machines is an extendible cutting head. This solution is designed to enable the bolter miner to be reversed after a long gallery has been drilled in the event of its horizontal convergence. The desire to improve the efficiency of drilling and extend the share of time devoted to mining/cutting meant striving for operations of cutting/loading the excavated material and roof and sidewalls bolting to be performed at the same time (in parallel). While bolting, the bolters must be kept in a stable position. Sandvik bolter miners are equipped with an extendable cutting and loading unit (organ/unit + loader table) enabling simultaneous cutting and bolting. In order to ensure the stability of the undercarriage with the bolters, it is stabilized to the sidewalls by means of sprags/tie-beams and to the roof by means of a temporary support canopy. Three extendable supports are intended to facilitate the machine leveling.

Machines from other manufacturers have not been equipped with an extendable cutting and loading unit (sump) and therefore the possibility of simultaneous cutting and bolting is practically impossible – the duration of the basic drilling cycle is shortened by reducing the duration of individual activities and operations.

The machine is equipped with an integrated dust suppression system.

Due to the high power of the cutting unit motors (over 300 kW in total), bolter miner machines must have a relatively large weight (of 80 Mg to over 100 Mg) with limited overall dimensions to maintain stability. This results in relatively high pressure on floor (ground pressure). Due to the inability to move the cutting unit horizontally, it is necessary to maneuver the bolter miner to achieve its precise positioning before proceeding with cutting, and in particular with bolting operation. Weaker floor strata means that the bolter miner may get stuck, which implies the resulting loss of time dedicated to mining/bolting operation.

It should be noted that bolter miners are very sensitive to the transverse inclination of the seam (permissible transverse inclinations do not exceed 5°) as there are problems with maintaining the directional stability of the machine. In addition, excessive transverse inclinations of the floor causes further problems with the transport of the equipment and the operation of systems installed in such headings (gateroads).

3.2. Output haulage systems and supply systems in the face

As a standard, in the field of haulage operations the bolter miners work with the shuttle cars that transport the material to a self-propelled feeder-breaker station, as shown in Figure 4.

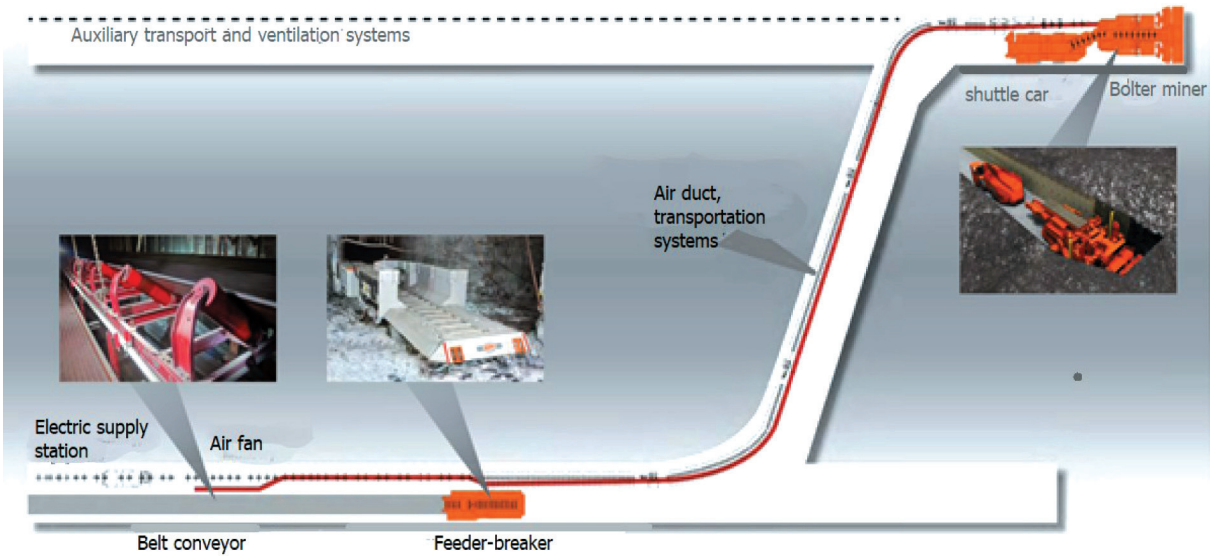


Fig. 4. The most widespread technological system/arrangement of the face (gate end) with the bolter miner (own study based on [22])

The feeder-breaker station is intended to prepare the output for a long-distance transport with a belt conveyor by crushing it and aligning the output stream. The advantage of this solution is that it makes the cutting machine operation independent of the continuity of the operation of the haulage system (conveyor belts). The shuttle car (sometimes two or more) perform function of a "flexible connection" – a movable retention reservoir (-s).

For several years, attempts have been made to apply flexible conveyor trains (e.g. the Komatsu FCT system) [23] to transport the output, with various effects.

This solution has not been applied in Australian mining, but the applications of this solution in the US coal mining have been described, where the systems of three or even more parallel gateroads interconnected by cross headings occur (Fig. 5).

Less common are solutions with the attachment of a suspended feeder (belt or armoured conveyor) from the machine, intended for reloading the output into the belt conveyor, because such a solution makes it difficult to position the bolter miner and, in addition, it changes the floor pressure distribution – in conditions of weaker floors, this may be an additional cause of floor destruction and the machine getting stuck. Any solution with some form of output retention between the bolter miner and the belt haulage is a favorable solution due to the transport characteristics of the equipment. The bolter mined has a high instantaneous capacity (up to 35 Mg/min), it feeds an output stream at this intensity for a few minutes. Without retention, the stationary belt conveyor would have to have a similar instantaneous transport capacity, which means a significant oversizing of the device, given the operating characteristics of the belt conveyors.

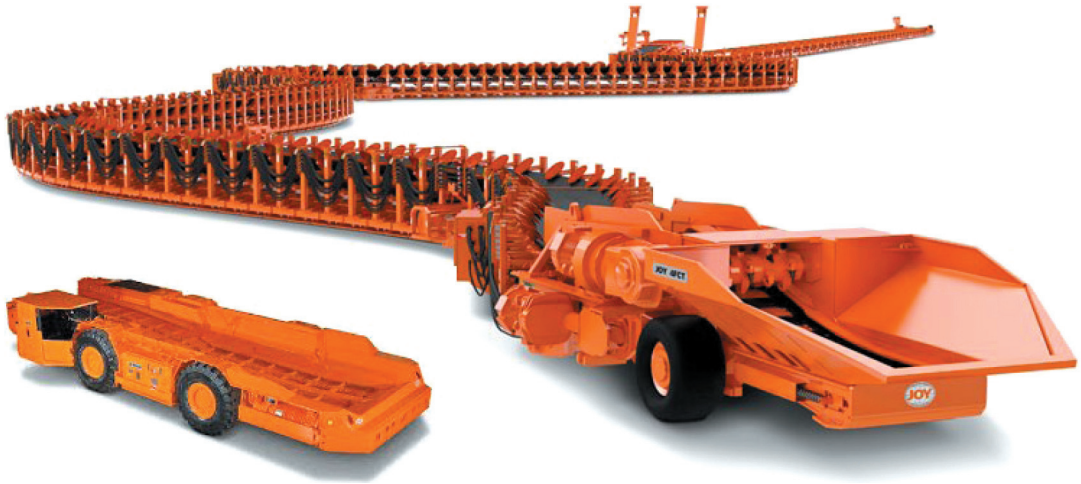


Fig. 5. Flexible belt conveyor FCT by Komatsu/Joy Global and Shuttle Car [23]

The advantage of roof & sidewalls bolting is significantly reduced material demand compared to the headings drilled with a steel roof support (as arches), and thus minor requirements as for transport systems.

3.3. Other systems

The bolter miner places high demands on the media supply.

Therefore, it is necessary to supply process water with appropriate parameters (flow capacity, pressure and purity) to the face.

Due to the high power of the electric motors installed on the bolter miner machine, high requirements are also placed on the power network.

A technical system indispensable in drilling headings (gateroads) is the face ventilation system as the so-called auxiliary ventilation system consisting of a fan built into a streamline airflow (i.e. an airflow forced to move by fans installed mostly on the surface of the underground mine). Fresh air is supplied to the face from the fan through the ventilation ducts (exhaust air extraction is less frequently used in the case of bolter miners).

4. REQUIREMENTS AND CONSTRAINTS FOR THE USE OF BOLTER MINERS

For the effective operation of the bolter miners, it is necessary to meet the technical requirements, including mining and geological conditions.

4.1. Requirements for the bolter miners

Figure 6 shows the basic groups of requirements for the effective operation of the bolter miners.

The above-mentioned requirements place high demands on the selection of the mechanization system for a heading to be drilled, just at the planning and design stage, as well as the selection of the operating staff and relevant training of the latter.

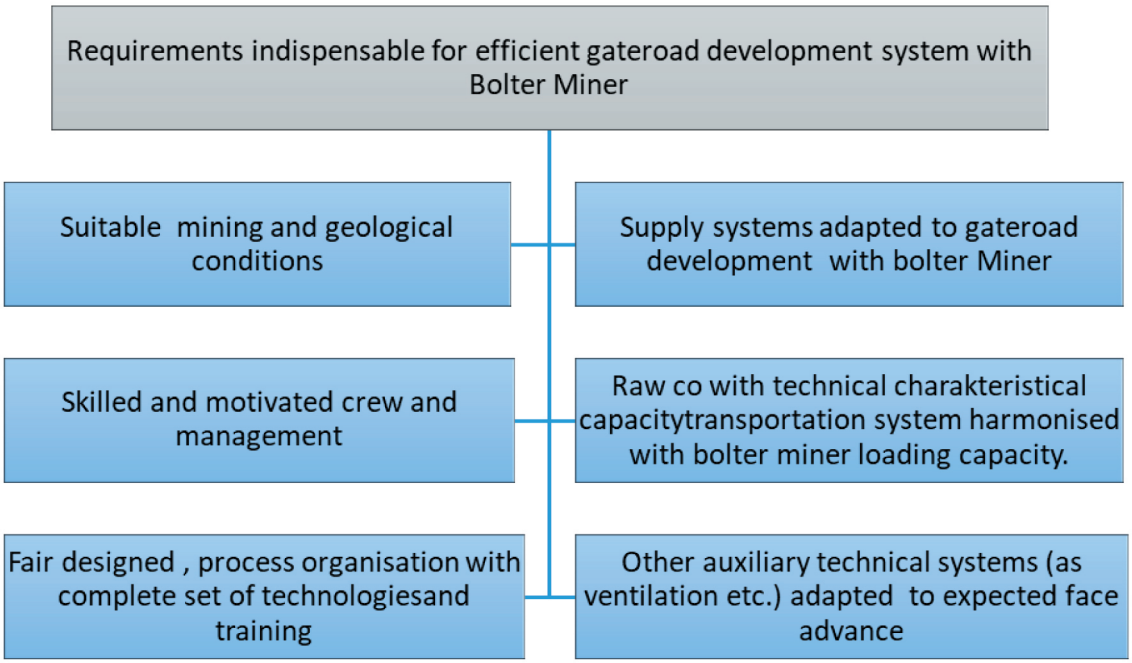


Fig. 6. Requirements for the effective operation of the bolter mine

4.2. Factors limiting the efficiency of the heading drilling with a bolter miner

Each technical system in mining has its own design constraints (usually defined as permissible operating parameters). The operation of such a system in conditions where the permissible operating parameters are exceeded is usually the reason for a decline in operation results. All mechanization systems in mining are exposed to factors limiting the potential technical capabilities of the system, as shown in Figure 7.

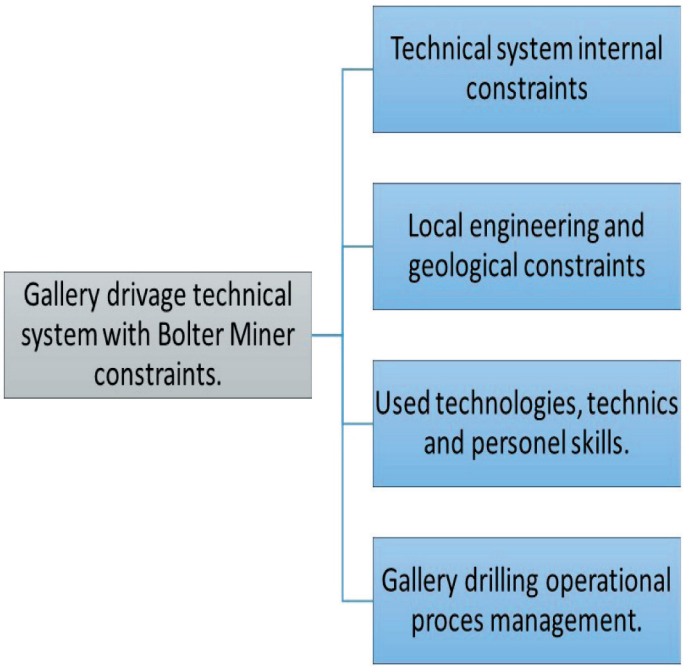


Fig. 7. Factors limiting the efficiency of the technical system of the heading drilled with the bolter miner (own study based on [9, 29, 30])

In the case of applying mechanization systems with bolter miners when drilling headings, there is a very high degree of sensitivity to the occurrence of these constraints. This is due to the high specialization of the mining machine intended to operate in a relatively narrow spectrum of mining and geological conditions. The time of making the bolt roof support, significantly affecting the duration of the basic cycle of the heading drilling, requires an open approach in the design of the bolt roof support – apart from ensuring the safety and stability of the heading in its life cycle, it is important to apply solutions that shorten the duration of the entire bolting operation.

5. SUMMARY

The high power of the linear cutting head of the bolter miner creates the potential for a high advancing rate (daily, monthly, etc.) to be achieved, but it is possible in a relatively narrow spectrum of mining and geological conditions, with cooperating technical systems adapted to the capabilities of the bolter miner, and high skills of operating staff, as well as appropriately planned, organized, and managed process of heading drilling. Failure to meet these requirements is a factor that reduces the results obtained.

The prerequisite is the use of this machine in appropriate mining and geological conditions, which requires careful identification of these conditions before making a decision. It is also important that there are good conditions for the use of the bolt roof support – in some conditions it may turn out that the labor consumption of making stable and safe roof bolting will require a different solution to be applied.

The decision on the application of a bolter miner requires a very careful cost-benefit analysis.

References

[1] Barczak T.M.: *The History and Future of Longwall Mining in the United States*, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1992.
[2] Peng S.S.: *Longwall Mining*, 3rd Edition, CRC Press/Balkema, Leiden 2020.
[3] www.coalage.com/features/faster-roadway-development/ [12.11.2020].
[4] Przybyła H., Chmiela A.: *Technika i organizacja w robotach przygotowawczych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
[5] Zając E.: *Organizacja produkcji w kopalni w kopalni węgla kamiennego*, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.
[6] ACARP: *Final Report: Australian Roadway Development – Current Practises*, Australian Coal Association Research Program, 17 October 2005.
[7] Baafi E., Gray G., Porter I., Rojas O.: *The Modelling of Roadway Development to Support Longwall Mining*, Australian Coal Association Research Program (ACARP). Simulation Modelling Services Pty Ltd, School of Civil, Mining and Environmental Engineering University of Wollongong, November 2009, http://www.undergroundcoal.com.au/roadway/pdf/roadsim_final_report.pdf [11.01.2019].

[8] Banarjee S.: *Performance evaluation of continuous miner based underground operation: An OEE based approach*, "New Trends of Production Engineering" 2019, 2, 1: 596–603.
[9] Kizil M.S., McAllister A., Pascoe R.: *Simulation of Development in Longwall Coal Mines*, [in:] *11th Underground Coal Operators Conference, University of Wollongong & Australiasian Institute of Mining and Metallurgy*, 2011: 91–98.
[10] Leeming J., Flook S., Altounyan P.: *Bolter miners for longwall development*, "Gluckauf" 2001, 137, 11: 633–638.
[11] Ma P., Qian D., Zhang N., Shimada H., Pan D., Huang K.: *Application of bolter miner rapid excavation technology in deep underground roadway in inner Mongolia: A case study*, "Sustainability" 2020, 12, 7, art. no. 2588.
[12] Singh R.D.: *Principles and practices of modern coal mining*, New Age International Publishers, New Delhi 1997.
[13] Van Duin S., Donnelly P., Oxley I.: *Automated bolting and mesh handling on a continuous miner*, [in:] *Final Report ACARP PROJECT C17018 – Stage 1*, University of Wollongong, Wollongong (NSW, Australia) 2011.
[14] Wang H.: *Present Status and Development of Mine Roadway Heading Technology and Equipment in China Coal Mine*, "Journal of Coal Science and Technology" 2010, 38, 1: 57–62.
[15] Zhang D.: *Development status and key technology of intelligent rapid driving technology in coal seam roadway*, "Journal of Coal Engineering" 2018, 50, 5: 56–59.
[16] Wallman D.: *Results of the First Trail Single Entry at Ellalong Colliery*, ACIRL Report No. PR82.1 1982.
[17] Gao D., Liu Y., Luo W.: *The Application of Speedy Drivage System in Daliuta Coal Mine*, "IOP Conference Series: Materials Science and Engineering" 2019, 490, 062073, https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/490/6/062073/pdf [10.12.2019].
[18] Korski J.: *Zastosowanie kombajnów typu Bolter Miner w warunkach polskich kopalń – uwarunkowania i ograniczenia*, "Inżynieria Górnicza" 2018, 4: 40–48.
[19] Korski J: *Tymczasowe obudowy zmechanizowane w drążeniu wyrobisk korytarzowych*, [in:] D. Prostański, B. Polnik (red.): *Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa: bezpieczeństwo – efektywność – niezawodność*, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2020.
[20] Lesiecki W., Regulski W.: *Urabianie złóż. Część 3. Urabianie kombajnami*, Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1957 ("Górnictwo", t. 5).
[21] Ward B., Down M.: *Gateroad Development in Thick Seams Using the Joy Sump Shearer*, [in:] N. Aziz, B. Kininmonth, eds., *Proceedings of the 1998 Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, 18–20 February 1998*, https://ro.uow.edu.au/coal/274 [20.12.2020].
[22] CAT, https://www.cat.com/en_US/by-industry/mining/underground-mining.html [20.12.2020]
[23] KOMATSU, www.mining.komatsu/underground-mining/room-pillar-entry-development [27.11.2020].
[24] SANDVIK, www.rocktechnology.sandvik/en/products/mechanical-cutting-equipment/ [27.07.2018].
[25] Klich A. (red.): *Maszyny i urządzenia dla inżynierii budownictwa podziemnego. Wyrobiska korytarzowe i szybowe w górnictwie*, "Śląsk" Sp. z o.o., Wydawnictwo Naukowe, Katowice 1999.
[26] Kotwica K., Klich A.: *Maszyny i urządzenia do drążenia wyrobisk korytarzowych i tunelowych*, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2011.
[27] Price D.: *Demonstration of continuous cutting/bolting/rib-bolting development machine (the Voest-Alpine ABM 20 Bolter Miner)*, "Australia's Journal of Coal Mining Technology and Research" 1992, 35: 3–12.
[28] Korski J., Tobor-Osadnik K., Wyganowska M.: *Internal Client and Efficiency in the Mining Process.* World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2018) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019, 221, DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012102.
[29] Korski J.: *Czy podejście procesowe może podnieść efektywność polskiego górnictwa węgla kamiennego?*, [in:] *Materiały konferencyjne XXVI Szkoły Eksploatacji Podziemnej*, Kraków 22–24.02.2017.

JACEK KORSKI, Ph.D., Eng.
Famur S.A.
ul. Armii Krajowej 51, 40-698 Katowice, Poland
JKorski@famur.com.pl

© 2020 Author. This is an open access publication, which can be used, distributed, and reproduced in any medium according to the Creative Commons CC-BY 4.0 License.

JACEK KORSKI

Efektywność kombajnu chodnikowego typu Bolter Miner – wymagania i ograniczenia

W artykule przeprowadzono analizę wymagań i ograniczeń efektywności stosowania systemów drążenia chodników w węglu z obudową kotwową za pomocą wyspecjalizowanych maszyn urabiająco-ładująco-kotwiących. Maszyny tego typu uzyskują w niektórych przypadkach bardzo dobre wyniki drążenia mierzone dobowym/tygodniowym, miesięcznym postępem przodka. Podjęto próbę wskazania wymagań, których wypełnienie przyczynia się do uzyskania oczekiwanych wyników oraz czynników ograniczających uzyskane efekty drążenia.

Słowa kluczowe: *system ścianowy, kombajny chodnikowe, drążenie wyrobisk korytarzowych, obudowa kotwowa, Bolter Miner*

1. WPROWADZENIE

Kombajny chodnikowe typu Bolter Miner pojawiły się około trzydziestu lat temu jako urządzenia wyspecjalizowane do drążenia węglowych i węglowo-kamiennych wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego stosujących ścianowe systemy wydobywcze. Wcześniej przez wiele lat poszukiwano rozwiązania problemu: jak zwiększyć postęp drążenia wyrobisk przyścianowych w konsekwencji rosnących postępów ścian wydobywczych. Zmiana sposobu postrzegania zmechanizowanych ścian wydobywczych po wprowadzeniu ich w górnictwie węglowym w USA [1, 2], potem w Australii i kolejno w innych krajach (np. Rosja, Chiny) doprowadziły do wzrostu dobowego wydobycia surowca ze ścian i tym samym wzrostu dobowych postępów ścian. W ślad za tym musiało pójść zwiększenie dobowych postępów przodków chodnikowych, ponieważ kolejna ściana musi być przygotowana, zanim poprzednia osiągnie linię swojego zatrzymania. Powiedzenie „czas to pieniądz" znajduje potwierdzenie w odniesieniu do przygotowania pola ścianowego do wydobycia – bardzo kosztowne wyposażenie wysokowydajnego kompleksu ścianowego nie może bezproduktywnie czekać na przygotowanie wyrobisk dla kolejnej ściany [3]. Zagadnieniu uzyskiwania wysokich postępów w drążeniu wyrobisk korytarzowych od dawna poświęca się w Polsce dużo uwagi [4, 5], w licznych światowych publikacjach pisze się o poprawie efektywności drążenia wyrobisk z zastosowaniem kombajnów typu Bolter Miner [6–16]. W najbardziej zaawansowanych technicznie i najproduktywniejszych kopalniach węgla kamiennego na świecie powszechną praktyką stało się stosowanie obudowy kotwowej jako mniej kosztownego sposobu zabezpieczenia wyrobisk korytarzowych. Połączenie rozwiązań technicznych pozwalających na mechaniczne urabianie w przodkach węglowych i węglowo-kamiennych z szybkim wykonywaniem obudowy kotwowej w przodku doprowadziło do stworzenia ściśle wyspecjalizowanych maszyn – kombajnów chodnikowych typu Bolter Miner. Maszyny te pozwalają na uzyskiwanie bardzo wysokich postępów w drążeniu wyrobisk korytarzowych – najlepszy odnotowany wynik to około 2500 m.b./miesiąc uzyskany w 2018 roku w chińskiej kopalni Daliuta (Grupa Shenhua Shendong) [17]. W sprzyjających warunkach górniczo-geologicznych dobrze przygotowane przodki są w stanie uzyskiwać postępy 6–8 m.b./h. W 2019 roku uruchomiono w celach doświadczalnych także w Polsce przodek chodnikowy z kombajnem typu Komatsu/Joy Global 12CM30 [18].

W artykule przedstawiono analizę wymagań i ograniczeń dotyczących efektywnego stosowania maszyn typu Bolter Miner.

2. GENEZA I BUDOWA KOMBAJNÓW TYPU BOLTER MINER

Kombajny typu Bolter Miner są wynikiem wieloletnich poszukiwań rozwiązania problemu wysokiej wydajności urabiania mechanicznego w przodkach węglowych i konieczności możliwie szybkiego zabezpieczenia stropu i ociosów drążonego wyrobiska.

2.1. Zanim powstał Bolter Miner

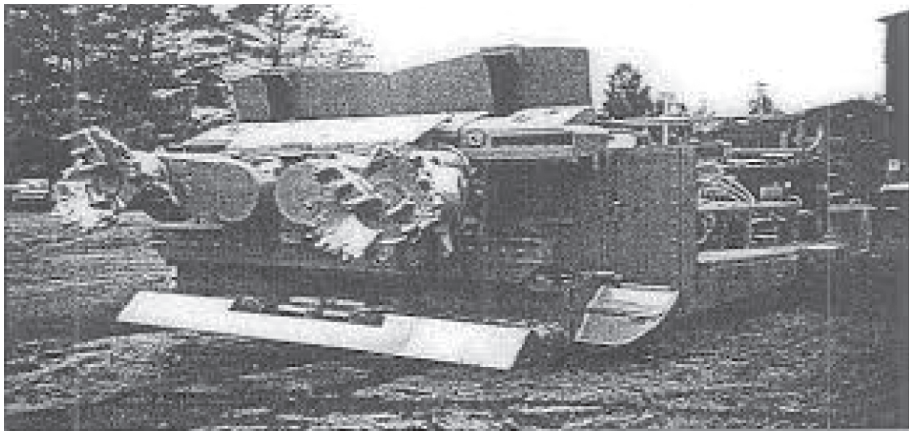
Obecna konstrukcja kombajnu typu Bolter Miner to połączenie na jednym podwoziu maszyny urabiającej typu Continuous Miner z wielogłowicowym urządzeniem kotwiącym.

W przeszłości podejmowano próby rozdzielenia w czasie i przestrzeni urabiania przodka z kotwieniem stropu z zastosowaniem zmechanizowanej obudowy kroczącej jako obudowy tymczasowej pomiędzy strefą urabiania (przodkiem) a strefą wykonywania kotwienia stropu. Rozwiązanie to stosowane w przodkach systemu komorowo-filarowego w USA [19, 20] nie potwierdziło swoich zalet i dość szybko z niego zrezygnowano. W europejskim górnictwie podejmowano próby zastosowania urządzeń do drążenia przodków z urabianiem mechanicznym i nadążnym wykonywaniem obudowy kotwowej jednym urządzeniem (AVSA) – także te próby nie zakończyły się sukcesem.

Na potrzeby dynamicznie rozwijanego australijskiego górnictwa węglowego firma Joy opracowała w latach 80. XX wieku urządzenie nazwane Joy Sump Shearer (JSS) (rys. 1) [21]. Maszyna przeznaczona była do drążenia wyrobisk o przekroju prostokątno-łukowym z kotwieniem stropu w bezpośredniej bliskości czoła przodka (1,5 m). Stosowano dwie kotwiarki, a przekrój poprzeczny wyrobiska dobrano ze względu na optymalne wykorzystanie kotwiarek. Maszyna wyposażona była w dwa organy urabiające osadzone na ramionach w podobny sposób jak w przypadku kombajnów ścianowych.

Organy te umożliwiały urabianie stropu (z przycinaniem kamienia) z łukowym sklepieniem. Minimalizowało to ilość urabianego w stropie kamienia, ponieważ w tamtym czasie w górnictwie australijskim wybierano ściany węglowe o wysokości 2,2–2,8 m. Wzrost miąższości eksploatowanych pokładów i ograniczone korzyści stosowania JSS spowodowały, że zaniechano tego rozwiązania.

W USA i australijskim górnictwie węglowym system ścianowy, zwłaszcza od granic, jest traktowany jako kolejny etap rozwoju systemu komorowo-filarowego z wybieraniem filarów węglowych. Do mechanicznego wybierania węgla w tych systemach od lat 40. XX wieku są stosowane różnego typu maszyny, które w odróżnieniu od systemów mechanizacyjnych z urabianiem materiałami wybuchowymi, nazwano Continuous Miner [5]. Od kilkudziesięciu lat dominują wśród tych maszyn kombajny z liniowym organem urabiającym na całą szerokość zabioru. W komorowo-filarowych systemach eksploatacji maszyny te pracują w układzie wieloprzodkowym z naprzemiennym urabianiem stropu i jego kotwieniem odrębną samobieżną maszyną kotwiącą. Takie też rozwiązanie zastosowano do drążenia chodników na potrzeby przygotowania ścian wydobywczych. W praktyce okazało się jednak, że występują duże straty czasu związane z wymianą maszyn w przodku – po urobieniu calizny na bezpieczną głębokość kombajn wycofywał się z przodka, aby wycofywał się z przodka, robiąc miejsce maszynie kotwiącej. Alternatywą, często wymuszaną warunkami górniczo-geologicznymi, było kotwienie stropu ręcznymi kotwiarkami bezpośrednio po jego odsłonięciu.



Rys. 1. Joy Sump Shearer [21]

2.2. Idea kombajnu typu Bolter Miner

Pod koniec lat 80. XX wieku zrodziła się idea wyposażenia kombajnu typu Continuous Miner w stację kotwiarek, które umożliwiałyby jednoczesne wiercenie i kotwienie kilkoma kotwiarkami stropu i ociosów wyrobiska. Pierwsze urządzenie tego typu ABM 20 zastosowane w australijskiej kopalni Tahmoor [3] zostało opracowane w firmie Voest Alpine Bergtechnik (obecnie: Sandvik). Wdrożenie to zakończyło się sukcesem i bardzo szybko kombajny typu Bolter Miner rozpowszechniły się w światowym górnictwie węglowym, wszędzie tam, gdzie występują warunki do ich efektywnego stosowania. Współcześnie maszyny te stosowane są na dużą skalę w kopalniach eksploatujących węgiel kamienny systemem ścianowym w Australii, USA, Chinach czy Rosji. Pojedyncze maszyny są stosowane w innych krajach, w zanikającym europejskim górnictwie węglowym wdrażano je w Czechach i, ostatnio, w Polsce. Duża moc liniowego organu urabiającego i stabilność maszyny spowodowała, że podobnie jak maszyny urabiające pełnoprzekrojowe (*borer miner*) kombajny typu Bolter Miner stosowane są w eksploatacji (wybieraniu) niektórych innych kopalin miękkich (sól kamienna, sól potasowa, soda pasemkowa) w systemach wybierania długimi chodnikami.

Obecnie co najmniej trzech światowych producentów oferuje maszyny typu Bolter Miner (rys. 2).

Podobne maszyny oferowane są przez innych producentów, ale brak informacji o ich stosowaniu.

Kombajny typu Bolter Miner są wciąż doskonalone w kierunku poprawy wydajności drążenia, bezpieczeństwa i ergonomii pracy.

Rys. 2. Kombajny typu Bolter Miner produkcji Joy 12CM30, Sandvik MB670 i CAT CM845 [22–24]

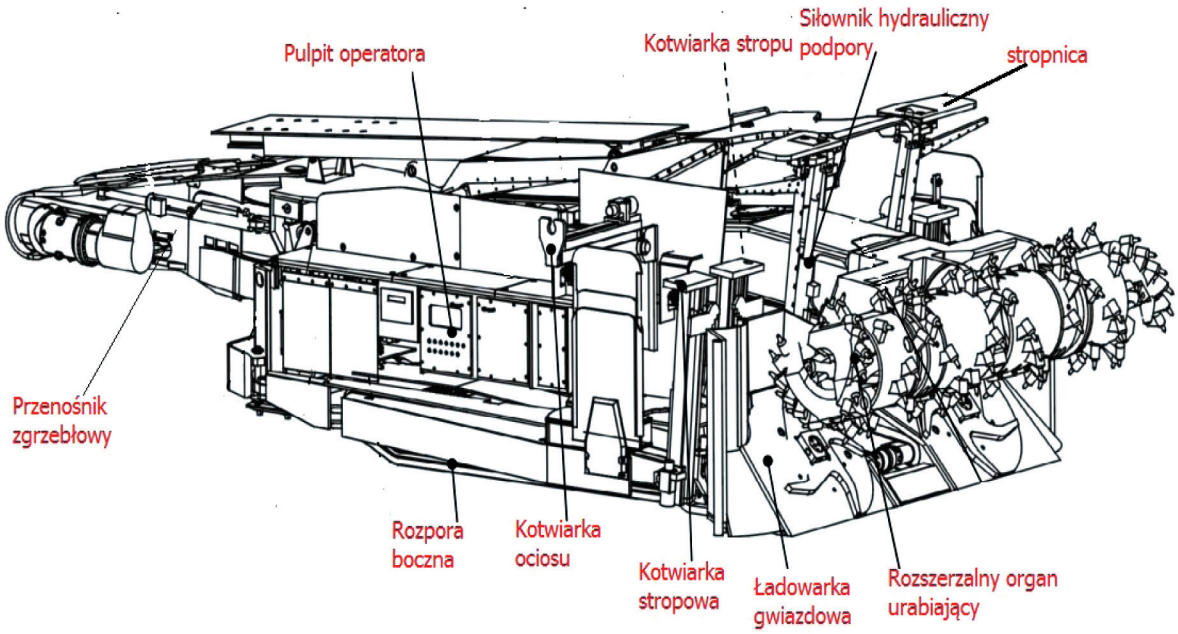
3. SYSTEM TECHNICZNY PRZODKA Z KOMBAJNEM TYPU BOLTER MINER

W okresie rozwoju kombajnów typu Bolter Miner zdobyto doświadczenia i wypracowano system techniczny umożliwiający bardzo efektywne drążenie węglowych i węglowo-kamiennych wyrobisk korytarzowych o przekroju prostokątnym z zastosowaniem obudowy kotwowej. Kluczowym elementem systemu jest kombajn.

3.1. Budowa i podstawowe cechy kombajnów typu Bolter Miner

Kombajn typu Bolter Miner to połączenie na wspólnej platformie (podwoziu) [25–27] dwóch urządzeń:

- maszyny urabiająco-ładującej umożliwiającej odtransportowanie urobku poza przodek (maszynę),
- stacji kotwiącej wyposażonej w kilka głowic kotwiących, umożliwiającej równoczesne kotwienie stropu i ociosów (liczba głowic waha się od 4 do 6 sztuk).



Rys. 3. Podstawowe elementy kombajnu typu Bolter Miner (opracowanie własne na podstawie [18])

Głównym założeniem konstrukcyjnym było maksymalne skrócenie czasu trwania podstawowych grup operacji realizowanych w przodku przez zwiększenie wydajności urabiania i równoległe wiercenie i kotwienie wielu kotwi. Podstawowe elementy kombajnu typu Bolter Miner firmy Sandvik pokazano na rysunku 3.

W odróżnieniu od podobnych kombajnów typu Continuous Miner cechą charakterystyczną maszyn typu Bolter Miner jest rozszerzalny organ urabiający. Rozwiązanie to ma na celu umożliwienie wycofania kombajnu po wydrążeniu długiego wyrobiska w sytuacji jego poziomej konwergencji. Aby poprawić efektywność drążenia i wydłużenia udziału czasu przeznaczonego na urabianie, dąży się do równoległego wykonywania czynności urabiania/ładowania urobku i kotwienia stropu i ociosów wyrobiska. W trakcie kotwienia kotwiarki muszą być utrzymywanie w stabilnej pozycji. Maszyny Bolter Miner firmy Sandvik wyposażone są w wysuwany zespół urabiająco-ładujący (organ i stół ładowarki) umożliwiający równoległe urabianie i kotwienie. W celu zapewnienia stateczności podwozia z kotwiarkami jest ono stabilizowane rozporami do ociosów i stropnicą obudowy tymczasowej do stropu. Trzy wysuwne podpory ułatwiają poziomowanie maszyny.

Maszyny innych producentów nie były wyposażone w wysuwny zespół urabiająco-ładujący i z tego powodu możliwość równoczesnego urabiania i kotwienia jest praktycznie niemożliwa – skrócenie czasu trwania podstawowego cyklu drążenia uzyskuje się przez skrócenie czasu trwania poszczególnych czynności i operacji.

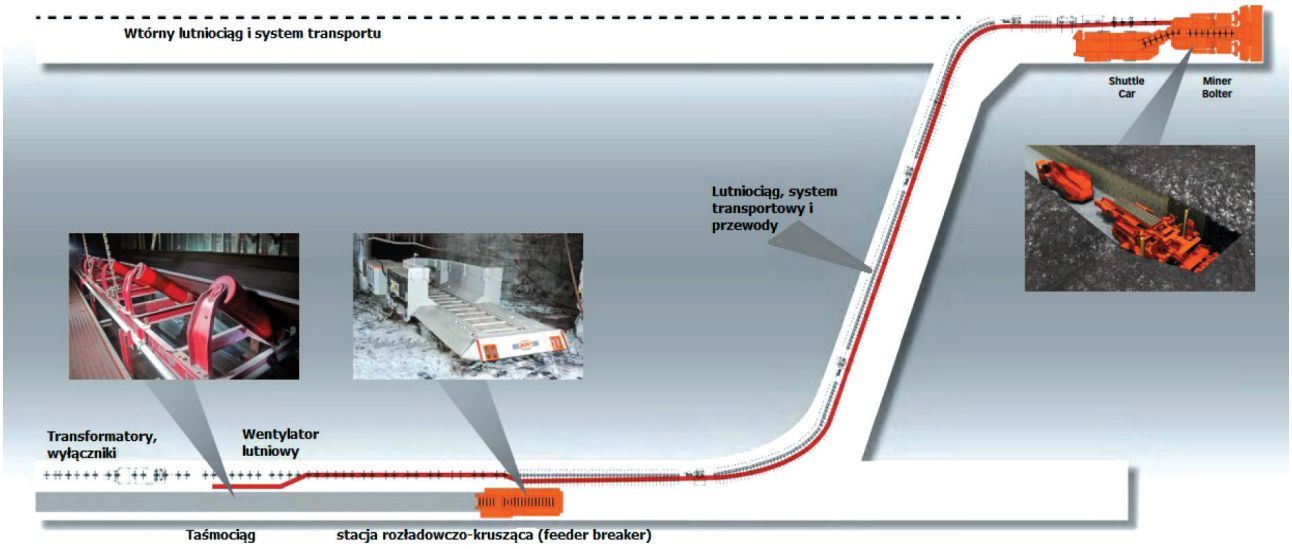
Maszyna jest wyposażona w zintegrowany układ odpylający.

Ze względu na dużą moc silników organu urabiającego (łącznie ponad ok. 300 kW) maszyny typu Bolter Miner, dla zachowania stateczności, muszą mieć stosunkowo dużą masę (od 80 Mg do ponad 100 Mg) przy ograniczonych gabarytach. Powoduje to występowanie stosunkowo dużych nacisków na spąg wyrobiska. W związku z brakiem możliwości przemieszczania organu urabiającego w płaszczyźnie poziomej konieczne są manewry kombajnem w celu jego precyzyjnego ustawienia (pozycjonowania) przed rozpoczęciem urabiania, a zwłaszcza kotwienia. W warunkach mniej wytrzymałych spągów oznacza to możliwość grzęźnięcia kombajnu i wynikające z tego straty czasu dostępnego, przeznaczonego na urabianie/kotwienie.

Należy zauważyć, że maszyny typu Bolter Miner są bardzo wrażliwe na poprzeczne nachylenie pokładu (dopuszczalne nachylenia poprzeczne nie przekraczają 5°), ponieważ występują problemy z utrzymaniem stateczności kierunkowej maszyny. Dodatkowo nadmierne pochylenie poprzeczne spągu powoduje późniejsze problemy z transportem urządzeń i pracą instalacji zabudowanych w takich chodnikach.

3.2. Systemy odstawy urobku i zasilania przodka

Standardowo kombajny typu Bolter Miner współpracują w zakresie odstawy urobku z wozidłami typu Shuttle Car, które przewożą urobek do samojezdnej stacji rozładowczo-kruszącej (Feeder-Breaker), jak pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Najbardziej rozpowszechniony układ technologiczny przodka z kombajnem typu Bolter Miner (opracowanie własne na podstawie [22])

Zadaniem stacji rozładowczo-kruszącej jest przygotowanie urobku do dalekiego transportu przenośnikiem taśmowym przez jego skruszenie i wyrównanie strumienia urobku. Zaletą takiego rozwiązania jest uniezależnienie pracy maszyny urabiającej od ciągłości pracy odstawy taśmociągami. Wozidło typu Shuttle Car (czasem dwa lub więcej) spełniają funkcję „elastycznego połączenia" – ruchomego zbiornika (zbiorników) retencyjnego.

Od kilku lat podejmuje się z różnym skutkiem z zastosowaniem do transportu urobku wieloczłonowych elastycznych, przegubowych przenośników taśmowych (np. system FCT f-my Komatsu) [23]. Rozwiązanie to nie jest stosowane w górnictwie australijskim, ale opisywane są jego zastosowania w górnictwie węglowym USA, gdzie stosuje się układy trzech, a nawet więcej równoległych chodników przyścianowych połączonych pomiędzy sobą przecinkami (rys. 5).

Rzadziej spotykane są rozwiązania z podwieszaniem od kombajnu podajnika podwieszanego (taśmowego lub zgrzebłowego) przeładowującego urobek przenośnik taśmowy, ponieważ rozwiązanie takie utrudnia pozycjonowanie kombajnu i dodatkowo zmienia rozkład nacisków na spąg – w warunkach słabszych spągów może to być dodatkową przyczyną niszczenia spągu i grzęźnięcia maszyny. Każde rozwiązanie z jakąś formą retencji urobku pomiędzy kombajnem typu Bolter Miner a stacjonarną odstawą taśmową jest rozwiązaniem korzystnym ze względu na charakterystyki transportowe urządzeń. Kombajn ma wysoką wydajność chwilową (do 35 Mg/min.), podaje strugę urobku o tej intensywności przez kilka minut. Bez retencji stacjonarny przenośnik taśmowy musiałby mieć podobną chwilową zdolność transportową, co oznacza, przy charakterystyce pracy przenośników taśmowych znaczne przewymiarowanie urządzenia.

Rys. 5. Elastyczny przenośnik taśmowy FCT firmy Komatsu/Joy Global i wozidło typu Shuttle Car [23]

Zaletą stosowania kotwienia stropu i ociosów jest znacznie mniejsze zapotrzebowanie ma materiały w porównaniu z wyrobiskami drążonymi w obudowie podporowej, a tym samym mniejsze wymagania wobec systemów transportowych.

3.3. Inne systemy i instalacje

Maszyna typu Bolter Miner stawia duże wymagania w zakresie zasilania w media.

Bardzo ważne jest doprowadzenie do przodka wody technologicznej o odpowiednich parametrach (wydatek, ciśnienie i czystość).

Ze względu na dużą moc zainstalowanych na maszynie Bolter Miner silników elektrycznych wysokie wymagania stawiane są także sieci elektroenergetycznej.

Niezbędnym systemem technicznym w drążeniu wyrobisk korytarzowych jest system przewietrzania przodka w ramach tzw. wentylacji odrębnej składającej się z wentylatora zabudowanego w opływowym prądzie powietrza (tj. prądzie powietrza, którego ruch wymuszany jest wentylatorami zabudowanymi przeważnie na powierzchni kopalni podziemnej). Do przodka od wentylatora doprowadza się świeże powietrze przewodami wentylacyjnymi (rzadziej w przypadku kombajnów typu Bolter Miner stosuje się odprowadzenie powietrza zużytego).

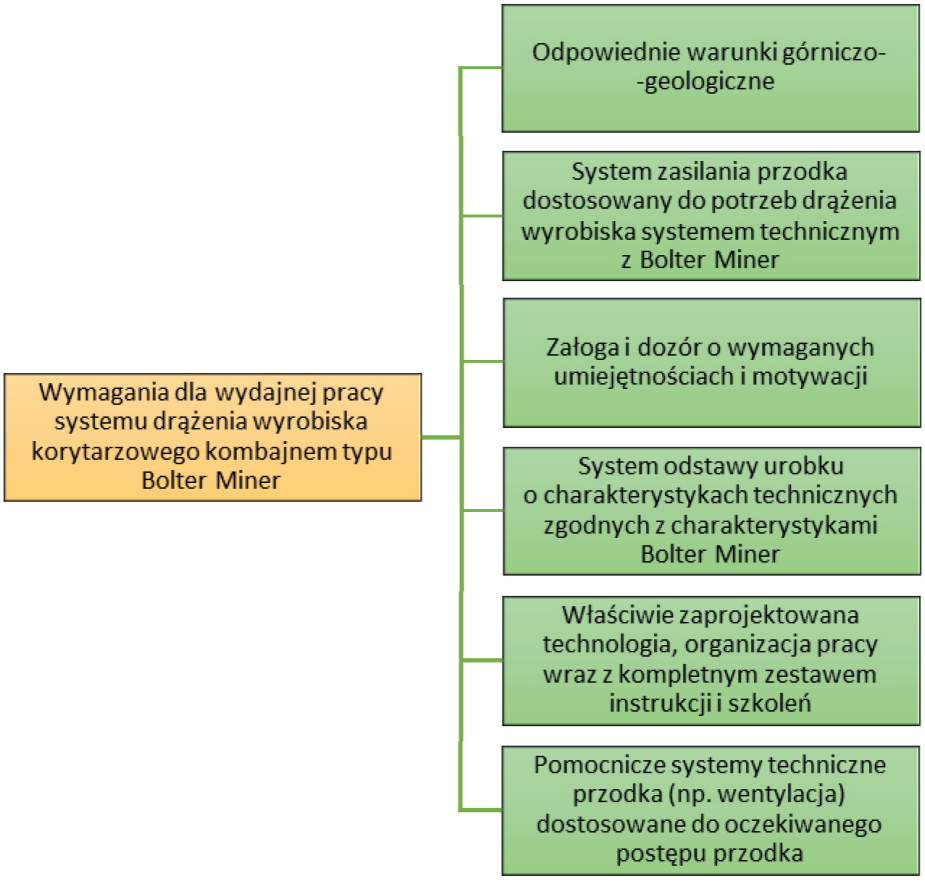
4. WYMAGANIA I OGRANICZENIA STOSOWANIA KOMBAJNÓW TYPU BOLTER MINER

Dla efektywnej pracy kombajnów typu Bolter Miner niezbędne jest spełnienie wymagań technicznych, w tym warunków górniczo-geologicznych.

4.1. Wymagania dla kombajnów typu Bolter Miner

Na rysunku 6 pokazano podstawowe grupy wymań dla efektywnej pracy kombajnów typu Bolter Miner.

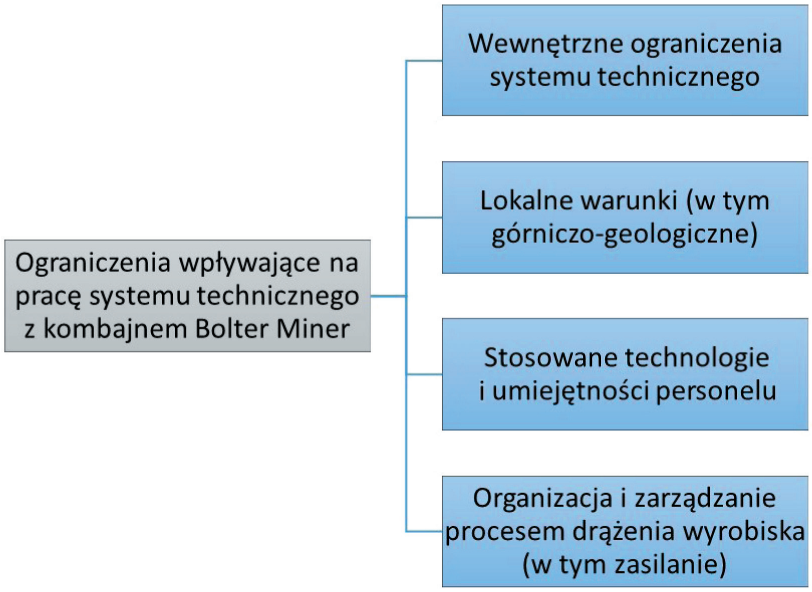
Wymienione wyżej wymagania w zakresie doboru systemu mechanizacyjnego drążonego wyrobiska korytarzowego muszą być uwzględnione już na etapie planowania i projektowania. Zaplanowany i przygotowany powinien być także proces doboru załogi i jej szkolenia.



Rys. 6. Wymagania dla wydajnej pracy kombajnu typu Bolter Miner

4.2. Czynniki ograniczające efektywność drążenia wyrobiska korytarzowego kombajnem typu Bolter Miner

Każdy system techniczny w górnictwie ma swoje ograniczenia konstrukcyjne (określane przeważnie jako dopuszczalne parametry robocze). Eksploatacja takiego systemu w warunkach przekroczenia dopuszczalnych parametrów pracy jest przeważnie powodem pogorszenia wyników operacyjnych. Wszystkie systemy mechanizacyjne w górnictwie są narażone na występowanie czynników ograniczających potencjalne możliwości techniczne systemu, tak jak pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Czynniki ograniczające wydajność systemu technicznego przodka drążonego kombajnem typu Bolter Miner (opracowanie własne na podstawie [9, 29, 28])

W przypadku zastosowania w drążeniu wyrobisk korytarzowych systemów mechanizacyjnych z kombajnami typu Bolter Miner występuje bardzo duża wrażliwość na te ograniczenia. Wynika to z wysokiej specjalizacji maszyny urabiającej przeznaczonej do pracy w stosunkowo wąskim spektrum warunków górniczo-geologicznych. Czas wykonywania obudowy kotwowej, wpływający istotnie na czas trwania podstawowego cyklu drążenia wyrobiska, wymaga otwartego podejścia w projektowaniu obudowy kotwowej – obok zapewnienia bezpieczeństwa i stateczności wyrobiska w cyklu jego życia, istotne jest zastosowanie rozwiązań skracających czas trwania kompletnej operacji kotwienia.

5. PODSUMOWANIE

Duża moc liniowego organu urabiającego kombajnu typu Bolter Miner stwarza potencjalne możliwości uzyskiwania wysokich postępów (dobowych, miesięcznych itd.). Ze względu jednak na inne własności maszyny i realizowany przez nią drogi proces – kotwienie, jest to możliwe w stosunkowo wąskim spektrum warunków górniczo-geologicznych. Kolejnym warunkiem uzyskiwania dużych postępów drążenia jest odpowiedni dobór współpracujących systemów technicznych, dostosowanych do możliwości kombajnu. Niezbędne są także wysokie umiejętności pracowników. Proces drążenia wyrobiska musi być odpowiednio zaplanowany, zorganizowany i zarządzany z uwzględnieniem możliwości maszyny Bolter Miner. Niespełnienie tych wymagań jest czynnikiem powodującym obniżenie uzyskiwanych wyników.

Warunkiem wstępnym jest zastosowanie tej maszyny w odpowiednich warunkach górniczo-geologicznych, co wymaga ich możliwie starannego rozpoznania przed podjęciem decyzji. Istotne jest także istnienie dobrych warunków do stosowania obudowy kotwowej – w niektórych warunkach może się okazać, że pracochłonność wykonania statecznej i bezpiecznej obudowy kotwowej będzie wymagała zastosowania innego rozwiązania.

Decyzja o zastosowaniu maszyny typu Bolter Miner wymaga bardzo starannych analiz kosztów i potencjalnych korzyści.

Literatura

[1] Barczak T.M.: *The History and Future of Longwall Mining in the United States*, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1992.

[2] Peng S.S.: *Longwall Mining*, 3rd Edition, CRC Press/Balkema, Leiden 2020.

[3] www.coalage.com/features/faster-roadway-development/ [12.11.2020].

[4] Przybyła H., Chmiela A.: *Technika i organizacja w robotach przygotowawczych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.

[5] Zając E.: *Organizacja produkcji w kopalni węgla kamiennego*, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.

[6] ACARP: *Final Report: Australian Roadway Development – Current Practises*, Australian Coal Association Research Program, 17 October 2005.

[7] Baafi E., Gray G., Porter I., Rojas O.: *The Modelling of Roadway Development to Support Longwall Mining*, Australian Coal Association Research Program (ACARP). Simulation Modelling Services Pty Ltd, School of Civil, Mining and Environmental Engineering University of Wollongong, November 2009, http://www.undergroundcoal.com.au/roadway/pdf/roadsim_final_report.pdf [11.01.2019].

[8] Banarjee S.: *Performance evaluation of continuous miner based underground operation: An OEE based approach*, „New Trends of Production Engineering" 2019, 2, 1: 596–603.

[9] Kizil M.S., McAllister A., Pascoe R.: *Simulation of Development in Longwall Coal Mines*, [w:] *11th Underground Coal Operators Conference, University of Wollongong & Australiasian Institute of Mining and Metallurgy*, 2011: 91–98.

[10] Leeming J., Flook S., Altounyan P.: *Bolter miners for longwall development*, „Gluckauf" 2001, 137, 11: 633–638.

[11] Ma P., Qian D., Zhang N., Shimada H., Pan D., Huang K.: *Application of bolter miner rapid excavation technology in deep underground roadway in inner Mongolia: A case study*, „Sustainability" 2020, 12 (7), art. no. 2588.

[12] Singh R.D.: *Principles and practices of modern coal mining*, New Age International Publishers, New Delhi 1997.

[13] Van Duin S., Donnelly P., Oxley I.: *Automated bolting and mesh handling on a continuous miner*, [w:] *Final Report ACARP PROJECT C17018 – Stage 1*, University of Wollongong, Wollongong (NSW, Australia) 2011.

[14] Wang H.: *Present Status and Development of Mine Roadway Heading Technology and Equipment in China Coal Mine*, „Journal of Coal Science and Technology" 2010, 38, 1: 57–62.

[15] Zhang D.: *Development status and key technology of intelligent rapid driving technology in coal seam roadway*, „Journal of Coal Engineering" 2018, 50, 5: 56–59.

[16] Wallman D.: *Results of the First Trail Single Entry at Ellalong Colliery*, ACIRL Report No. PR82.1 1982.

[17] Gao D., Liu Y., Luo W.: *The Application of Speedy Drivage System in Daliuta Coal Mine*, „IOP Conference Series: Materials Science and Engineering" 2019, 490, 062073, https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/490/6/062073/pdf [10.12.2019].

[18] Korski J.: *Zastosowanie kombajnów typu Bolter Miner w warunkach polskich kopalń – uwarunkowania i ograniczenia*, „Inżynieria Górnicza" 2018, 4: 40–48.

[19] Korski J: *Tymczasowe obudowy zmechanizowane w drążeniu wyrobisk korytarzowych*, [w:] D. Prostański, B. Polnik (red.): *Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa: bezpieczeństwo – efektywność – niezawodność*, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2020.

[20] Lesiecki W., Regulski W.: *Urabianie złóż. Część 3. Urabianie kombajnami*, Wydawnictwo „Śląsk", Katowice 1957 („Górnictwo", t. 5).

[21] Ward B., Down M.: *Gateroad Development in Thick Seams Using the Joy Sump Shearer*, [w:] N. Aziz, B. Kininmonth, (eds.), *Proceedings of the 1998 Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, 18–20 February 1998*, https://ro.uow.edu.au/coal/274 [20.12.2020].

[22] CAT, https://www.cat.com/en_US/by-industry/mining/underground-mining.html [20.12.2020].

[23] KOMATSU, www.mining.komatsu/underground-mining/room-pillar-entry-development [27.11.2020].

[24] SANDVIK, www.rocktechnology.sandvik/en/products/mechanical-cutting-equipment/ [27.07.2018].

[25] Klich A. (red.): *Maszyny i urządzenia dla inżynierii budownictwa podziemnego. Wyrobiska korytarzowe i szybowe w górnictwie*, „Śląsk" Sp. z o.o., Wydawnictwo Naukowe, Katowice 1999.

[26] Kotwica K., Klich A.: *Maszyny i urządzenia do drążenia wyrobisk korytarzowych i tunelowych*, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2011.

[27] Price D.: *Demonstration of continuous cutting/bolting/rib-bolting development machine (the Voest-Alpine ABM 20 Bolter Miner)*, „Australia's Journal of Coal Mining Technology and Research" 1992, 35: 3–12.

[28] Korski J., Tobor-Osadnik K., Wyganowska M.: *Internal Client and Efficiency in the Mining Process.* World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2018) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019, 221, DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012102.

[29] Korski J.: *Czy podejście procesowe może podnieść efektywność polskiego górnictwa węgla kamiennego?*, [w:] *Materiały konferencyjne XXVI Szkoły Eksploatacji Podziemnej*, Kraków 22–24.02.2017.

dr inż. JACEK KORSKI
Famur S.A.
ul. Armii Krajowej 51, 40-698 Katowice
JKorski@famur.com.pl

© 2020 Autor. Jest to publikacja ogólnodostępna, którą można wykorzystywać, rozpowszechniać i kopiować w dowolnej formie zgodnie z licencją Creative Commons CC-BY 4.0.

http://dx.doi.org/10.7494/miag.2020.1.541.53

DOMINIK LESZCZUK

Ready for new challenges – PeBeKa S.A.

This article presents the history and activities of Przedsiębiorstwo Budowy Kopalń PeBeKa S.A., which celebrated its 60th anniversary in 2020. The range of activities and skills that accompany the functioning of PeBeKa S.A. allowed them to be referred to as the "KGHM Builders".

Key words: *underground mining, mining works, construction works, deep drilling*

1. PRELUDE

In 2020, Przedsiębiorstwo Budowy Kopalń PeBeKa S.A. proudly celebrated the 60th anniversary of its existence on the market. On April 27th, 1960, PBKRM (later ZBRM, now Przedsiębiorstwo Budowy Kopalń PeBeKa S.A.) was founded with the purpose of the extraction of copper ore in the area between Lubin and Głogów in Lower Silesia. At that time, PBKRM was the general contractor of the largest copper ore mining complex in Europe. The degree of difficulty and the scale of the project was a huge challenge for the engineering staff and employees of the newly established enterprise. Over the last 60 years we have met these challenges and we can proudly define PeBeKa S.A. as the "KGHM Builders".

2. INTRODUCTION

Thanks to the knowledge and traditions passed down by subsequent generations of employees, PeBeKa S.A. is an enterprise providing services in the field of mining and construction work:

- mining shafts: sinking, maintenance and shut down,
- mining services,
- construction of mines: underground and on the surface,
- deep drilling,
- tunneling,
- construction work,
- conservation of historic mines.

To illustrate the range of activities of PeBeKa S.A. this article will describe the main undertakings of the company, along with a short presentation highlighting the technologies used. The value and success of PeBeKa S.A.'s work provides great results and rewards the trust that our clients have placed in us. The projects implemented by PeBeKa are in several dozen locations on five continents. From its inception, PeBeKa S.A. constructed 31 shafts for Polish copper mines and nearly 1.5 thousand kilometers of underground headings and drifts. In its history, PeBeKa has constructed several dozen tunnels – metro, rail, road and hydrotechnical. It was PeBeKa that undertook the construction of the metro in Warsaw in the 1980s. Drawing on tradition and great skills, PeBeKa S.A. contributed to the preservation of the history of Polish mining by conducting mining works in the historic Salt Mine in Wieliczka [1].

3. MINING WORKS

3.1. Mining shafts

To access the copper ore deposit in the Fore-Sudetic Monocline, it was necessary to create the requisite infrastructure and assemble the mining facilities and equipment. The first challenge faced by the crew of PBKRM was shaft sinking. The main barrier that made it difficult to reach the level of the ore layers was the geological conditions of the Copper Basin, which consisted of abundant waterlogging, the large depth of unstable sediments and their heterogeneous formation in terms of physical, mechanical and thermal properties. During the planning and design stage, the loose deposits of waterlogged sands, plastic clays and coal managed to achieve

a water inflow reaching up to 30 m^3/min, and this posed (and still poses) a major challenge for PeBeKa employees. Striving to ensure safe working conditions that would allow for shaft sinking, PeBeKa employees mobilized to develop and improve their skills and technical ideas, which resulted in the introduction of shaft sinking by means of **artificial ground freezing (AGF)** in the 1960's. Used in KGHM mines, it is a unique solution both in terms of the depth and extent of freezing. The experience with AGF enabled our company to build all the shafts of the KGHM Mines.

Fig. 1. GG-1 Shaft Tower

Now, the 31st mining shaft for KGHM is under construction, with a record depth of 1351.0 m and a record freezing depth of 770 m, the shaft diameter of the lining is 7.5 m [1] (Fig 1). The shafts made by PeBeKa have a complex structure and their final casing, depending on local hydrogeological conditions, can consist of: concrete casing, reinforced concrete casing and cast iron tubing (Fig 2). During the shaft sinking stage, carried out with the use of both blasting agents and mechanical mining, mining bolt linings with nets are formed.

Throughout the entire period of operation of the Company, the evolution of shaft sinking technology continues. It is thanks to the involvement of the engineering staff, employees and cooperation with scientific facilities that shaft sinking, as well as shaft maintenance, is carried out efficiently, safely and includes mining services, assembly and construction works. Thanks to our knowledge and skills, as well as our equipment and facilities, sinking shafts is still the pride of our company.

Fig. 2. Sinking the Shaft GG-1 for O/ZG "Polkowice-Sieroszowice" Mine

PeBeKa specialists also participate in the liquidation of mining shafts. A very complicated process of the disassembly of all shaft equipment and installations has to be carried out, and water dams have to be built to cut off the mine workings from the shaft pipe, thus protecting the functioning part of the mining plant from potential water ingress. Thanks to the preparation of detailed documentation, the lining of the terminated shaft is made malleable, which is then filled with a specially selected material [2].

3.2. Mining excavations

Another area in which PeBeKa S.A. specializes is the construction of mining drifts to create the basic underground structure of the mining plant, enabling the commencement of the exploitation of the deposit (Fig. 3). Nearly sixty years ago, the pioneers of Polish copper mining used hand-operated pneumatic tools to drill drifts and moved between areas of the mine on foot.

As technology progressed and new mechanical devices appeared, including self-propelled mining machines, the PeBeKa equipment fleet and the range of mining technologies was constantly expanding. At the moment, the company has a very well-equipped fleet enabling the construction of underground drifts by blasting the rock mass with explosives, as well as with mechanical mining of the rock mass.

In the vast majority of drifts, the walls and ceilings are secured with mining bolts, which are the basic form of support in KGHM's mining plants. Our mining technologies are not solely limited to mining bolt support, we also execute horizontal drifts secured with flexible support casings (Fig. 4) as well as implementing other technical solutions.

Fig. 3. Drift in the Salt Layer

Fig. 4. Drift with Mine roadway supports and EKOFLEX – Mine Foam

The PeBeKa crew made about 20 km of drifts with Roadheaders, which were also secured with mining bolt lining. Depending on the prevailing conditions, we use preemptive merging injections. As already mentioned, the PeBeKa team has carried out mining works on five continents, and it is this experience that makes us constantly raise the bar of the difficulty of the tasks we perform.

It is precisely this type of challenge that is currently being carried out on a project involving the construction of a new underground ore bunker, and the modernization of an existing, functioning underground ore bunker. The task is being carried out in the immediate vicinity of an active mining shaft, and the constantly operating equipment and facilities of the mining plant. Only thanks to the involvement of the employees and the equipment fleet was the task carried out without any unnecessary downtime and the level of work safety and work quality at a very high degree [2].

Fig. 5. Construction works in Ore Bunker

4. ASSEMBLY WORKS

The functioning of a mining plant is characterized by continuous change. The mine develops, expands its area of operation, and finally closes down after the end of its operation. In each of the main stages of the mining plant operation period, it is necessary to perform tasks whose unique traits are well known to PeBeKa.

Along with reaching for lower and lower parts of the copper ore deposits, new challenges arise that PeBeKa has to face. As part of our skills, we make various types of underground facilities, devices and installations that enable the operation of underground mining plants. In order to ensure the proper working conditions in the underground workings located at depths exceeding 1,200 m, it was necessary to build an air-conditioning system. At the beginning of the 21st century, this was the challenge that PeBeKa engineers faced. The result of their hard work and cooperation with contractors is the central air conditioning system in the Rudna Mine [2]. The cooling system for underground workings operates by utilizing 'ice water' at a temperature of 1.5°C, which is produced by the two air-conditioning stations on the surface. Chilled water is brought in from the mining station with the use of shaft pipelines and pipelines built into large-diameter holes in the rock mass. The underground part of the system includes a three-chamber feeder, pumping station, main pipelines, controlling and measuring equipment and air coolers.

In the past, PeBeKa has built a lot of facilities, such as: underground machinery operation chambers, belt conveyors with a total length of more than 100 km, ore bunkers and transformer chambers. Each of these objects is a very important element of the mining plant and their execution requires a large amount of knowledge and skill.

The vast majority of the implemented facilities have been commissioned by the user, which means that the works were performed in the "turn-key" formula. In 2015, using the formula "design-build" PeBeKa S.A., got to modernize a nearly thirty-year-old shaft. The modernization of the shaft also involved a change in its function. Without stopping the functioning of the mining plant, PeBeKa employees carried out a very complicated process of chang-

ing the function of the mining shaft. The functioning air-intake shaft was transformed into a material, people and equipment hoisting and air-intake shaft. Such a function change is a very complex process, involving:

- assembly works:
  - reconstruction of the Shaft Tower,
  - assembly and installation of hoisting devices,
  - shaft reinforcement,
  - assembly and installation of electrical and telecommunication devices, etc.
- mining works:
  - reconstruction of the shaft bottom,
  - construction works:
  - erecting buildings related to the new functions of the shaft.

5. DEEP DRILLING AND CONSTRUCTIONS WORKS

The analysis of the demand for specialized mining services prompted the authorities of PeBeKa to create another branch whose task is to provide drilling services. The technical staff, crew and their drilling equipment perform a number of drilling works in our country, related to the identification of mineral deposits, as well as the search for geothermal water deposits.

To ensure the comprehensive execution of complex tasks, within the PeBeKa structure is also a branch whose task is conducting construction work. The range of services provided by this branch is very wide, and includes industrial, housing and communication construction.

Fig. 6. Geothermal borehole – Tomaszów Mazowiecki

6. SUMMARY

A willingness to face new challenges, and the constant development of technology has accompanied our employees, thanks to which PeBeKa S.A. has achieved so much in its great history and continues to grow. It is worth emphasizing that PeBeKa boasts over 1600 km of underground drifts.

It is also worth noting the safe working conditions for the PeBeKa S.A. staff which are of superior value. The commitment of the management and staff was appreciated by the "Bezpieczne Górnictwo" Foundation of Professor Wacław Cybulski in December 2019, by awarding PeBeKa a prize in the "Safe Branch" competition (Fig. 7).

Fig. 7. "Safe Branch" diploma for PeBeKa S.A.

References

[1] PeBeKa S.A.: *Czerpiemy z tradycji, stawiamy na przyszłość Kronika 50-lecia PeBeKa S.A.*, Lubin 2010.
[2] PeBeKa S.A.: *Kronika PeBeKa 1960–2020. Cel – Ludzie – Technologia*, Lubin 2020.

DOMINIK LESZCZUK
PeBeKa S.A.
ul. Marii Sklodowskiej-Curie 76, 59-300 Lubin, Poland
dominik.leszczuk@pebeka.com.pl

© 2021 Author. This is an open access publication, which can be used, distributed, and reproduced in any medium according to the Creative Commons CC-BY 4.0 License.

DOMINIK LESZCZUK

Gotowi na nowe wyzwania – PeBeKa S.A.

Artykuł prezentuje rys historyczny i zakres działalności Przedsiębiorstwa Budowy Kopalń PeBeKa S.A., które w 2020 roku obchodziło 60. jubileusz funkcjonowania. Zakres działalności i umiejętności, które towarzyszą funkcjonowaniu PeBeKa S.A., pozwoliło na określane firmy mianem „budowniczych KGHM".

Słowa kluczowe: *górnictwo podziemne, roboty górnicze, roboty budowlane, wiercenia powierzchniowe*

1. WSTĘP

W 2020 roku Przedsiębiorstwo Budowy Kopalń PeBeKa S.A. obchodziło jubileusz 60 lat istnienia na rynku. 27 kwietnia 1960 roku zostało utworzone Przedsiębiorstwo Budowy Kopalń Rud Miedzi (PBKRM), którego celem było uruchomienie wydobycia rud miedzi w obszarze między Lubinem a Głogowem na Dolnym Śląsku. To właśnie PBKRM było generalnym wykonawcą planowanego na ówczesne czasy największego w Europie kompleksu wydobywczego rud miedzi. Stopień trudności i skala przedsięwzięcia stanowiły ogromne wyzwanie dla kadry inżynieryjnej i pracowników nowo powstałego przedsiębiorstwa. Wyzwaniom tym sprostano i PeBeKa S.A. można określić mianem „budowniczych KGHM".

2. WPROWADZENIE

Dzięki wiedzy i tradycjom przekazywanym z pokolenia na pokolenie PeBeKa S.A. jest przedsiębiorstwem świadczącym usługi w zakresie robót górniczych oraz budowalnych:

- drążenie, zbrojenie, utrzymanie i likwidacja szybów górniczych,
- drążenie wyrobisk podziemnych,
- budowa kompletnej infrastruktury zakładów górniczych zarówno w wyrobiskach dołowych, jak i na powierzchni,
- roboty wiertnicze zarówno powierzchniowe, jak i dołowe,
- drążenie tuneli różnego przeznaczenia,
- budownictwo przemysłowe i kubaturowe,
- konserwacja zabytkowych obiektów górniczych.

Aby zobrazować zakres działalności PeBeKa S.A., w niniejszym artykule opisane zostaną główne kierunki działalności wraz z krótkim przedstawieniem stosowanych technologii. O wartości pracy PeBeKa S.A. świadczą efekty oraz zaufanie, jakim obdarzyli nas klienci. Mapę zrealizowanych przez PeBeKa projektów tworzy kilkadziesiąt lokalizacji na pięciu kontynentach. Od początku istnienia PeBeKa S.A. wykonało wszystkie trzydzieści szybów dla polskich kopalni miedzi oraz blisko 1,5 tysiąca kilometrów podziemnych chodników i przekopów. W swojej historii PeBeKa wykonało kilkadziesiąt tuneli – metra, kolejowych, drogowych i hydrotechnicznych. To właśnie PeBeKa podjęło się latach 80. XX wieku realizacji metra w Warszawie. Czerpiąc z tradycji i posiadając ogromne umiejętności, PeBeKa S.A. przyczyniło się do zachowania historii polskiego górnictwa przez prowadzenie robót górniczych w zabytkowej Kopalni Soli w Wieliczce [1].

3. ROBOTY GÓRNICZE

3.1. Szyby górnicze

Udostępnienie zalegającego w Monoklinie Przedsudeckiej złoża rud miedzi wymagało stworzenie niezbędnej infrastruktury, obiektów i urządzeń górniczych. Pierwszym wyzwaniem, któremu przyszło stawić czoło załodze ówczesnego PBKRM, było głębienie szybów. Główną barierą utrudniającą w prosty sposób osiągnięcie poziomu warstw rudnych były warunki geologiczne Zagłębia Miedziowego, na które składały się obfite zawodnienie, duża głębokość zalegania osadów niestatecznych oraz niejednorodne ich wykształcenie pod względem właściwości fizycznych, mechanicznych i termicznych. To właśnie luźne utwory zawodnionych piasków, plastycznych iłów i węgli z dopływem wody osiągającym na etapie badań projektowych nawet 30 m^3/min stanowiły i nadal stanowią

wyzwanie dla pracowników PeBeKa. Dążenie do zapewnienia bezpiecznych warunków pracy umożliwiających drążenie szybów mobilizowało pracowników firmy do rozwoju i doskonalenia umiejętności oraz myśli technicznej, czego skutkiem było wprowadzenie jeszcze w latach 60. ubiegłego wieku głębienia szybów za pomocą mrożenia górotworu. Metoda zastosowana w kopalniach KGHM stanowi unikatowe rozwiązanie zarówno pod względem głębokości, jak i zasięgu mrożenia. Doświadczenia z mrożeniem górotworu umożliwiły naszemu przedsiębiorstwu wykonanie wszystkich szybów Zagłębia Miedziowego. Aktualnie jest wykonywany trzydziesty pierwszy szyb górniczy dla KGHM o rekordowej głębokości wynoszącej 1351,0 m oraz rekordowej głębokości mrożenia się-gającej 770 m, średnica szybu w świetle obudowy to 7,5 m (rys. 1) [1]. Szyby wykonane przez PeBeKa posiadają złożoną konstrukcje, a ich obudowę ostateczną w zależności od lokalnych warunków hydrogeologicznych stanowią: obudowa betonowa, obudowa żelbetowa, obudowa z tubingów (rys. 2). Na etapie drążenia prowadzonego zarówno z wykorzystaniem środków strzałowych, jak i urabiania mechanicznego obudowę wstępną wyrobiska stanowi obudowa kotwowa wraz z siatkami.

Rys. 1. Wieża szybowa szybu GG-1

Przez cały okres funkcjonowania firmy rozwijana jest technologia głębienia szybów. To właśnie dzięki zaangażowaniu kadry inżynieryjnej, pracowników oraz współpracy z zapleczem naukowym głębienie szybów, a także ich konserwacja są prowadzone efektywnie i bezpiecznie. Ich zakres obejmuje roboty górnicze, montażowe i budowlane. Posiadana wiedza i umiejętności oraz zaplecze sprzętowe sprawiają, że drążenie szybów stanowi ważny obszar działalności przedsiębiorstwa.

Rys. 2. Drążony szyb GG-1 dla O/ZG Polkowice-Sieroszowice

Specjaliści PeBeKa uczestniczyli również w likwidacji szybów górniczych. Przeprowadzono bardzo skomplikowany proces demontażu urządzeń i instalacji szybowych, wybudowano tamy wodne odcinające wyrobiska dołowe od rury szybowej, zabezpieczając tym samym funkcjonującą część zakładu górniczego przed możliwością wdarcia się wody. Dzięki opracowaniu szczegółowej dokumentacji przeprowadzono upodatnienie obudowy likwidowanego szybu, który został wypełniony specjalnie dobranym materiałem [2].

3.2. Wyrobiska górnicze

Kolejnym obszarem, w którym specjalizuje się PeBeKa S.A., jest wykonywanie wyrobisk chodnikowych służących stworzeniu podstawowej struktury podziemnej zakładu górniczego umożliwiającej rozpoczęcie eksploatacji złoża (rys. 3). Pionierzy polskiej miedzi blisko sześćdziesiąt lat temu do drążenia wyrobisk używali ręcznych narzędzi pneumatycznych, przemieszczali się pomiędzy rejonami prowadzonych robót na piechotę.

W miarę postępu techniki i pojawiania się nowych urządzeń mechanicznych, w tym samojezdnych maszyn górniczych, park maszynowy PeBeKa i zakres technologii górniczych stale się powiększał. W tej chwili przedsiębiorstwo dysponuje bardzo bogato wyposażonym parkiem maszynowym umożliwiającym wykonywanie podziemnych wyrobisk chodnikowych z zastosowaniem urabiania górotworu materiałem wybuchowym, jak również z zastosowaniem mechanicznego urabiania górotworu.

W większości wykonywane są wyrobiska, których ociosy i stropy są zabezpieczone obudową kotwową. Jest ona obudową podstawową w zakładach górniczych KGHM. Technologie górnicze firmy nie ograniczają się tylko do obudowy kotwowej, realizuje ona również wyrobiska poziome zabezpieczone obudową podatną podporową (rys. 4), a także inne rozwiązania technicznymi.

Rys. 3. Wyrobisko drążone w pokładzie soli

Rys. 4. Wyrobisko w obudowie podatnej z wykładką EKOFLEX

Dzięki prowadzeniu robót czterema kombajnami chodnikowymi zdobyliśmy cenne doświadczenia w mechanicznym urabianiu górotworu. Wykonane zostało blisko 20 km wyrobisk chodnikowych, które również zostały zabezpieczone obudową kotwową. W zależności od panujących warunków stosujemy scalające iniekcje wyprzedzające. Jak już wcześniej zostało napisane, załoga PeBeKa realizowała roboty górnicze na pięciu kontynentach i właśnie te doświadczenia sprawiają, że nie obawiamy się realizowania coraz trudniejszych zadań.

Właśnie tego typu wyzwaniem jest prowadzone obecnie zadanie obejmujące wykonanie nowego i modernizację funkcjonującego retencyjnego, podziemnego zbiornika urobku. Zadanie prowadzone jest w bezpośrednim sąsiedztwie (rys. 5) czynnego szybu wydobywczo-zjazdowego i stale funkcjonujących urządzeń i obiektów zakładu górniczego. Tylko dzięki zaangażowaniu pracowników i nowoczesnemu parkowi maszynowemu zadanie realizowane jest bez zbędnych przestojów a bezpieczeństwo prac i jakość robót stoją na bardzo wysokim poziomie [2].

Rys. 5. Zbiornik urobku na etapie robót górniczych

4. ROBOTY MONTAŻOWE

Wraz z sięganiem po coraz niżej położone partie złoża rud miedzi pojawiają się kolejne wyzwania, którym naprzeciw wychodzi PeBeKa. Firma wykonuje różnego rodzaju podziemne obiekty, urządzenia i instalacje, które umożliwiają prowadzenie ruchu podziemnych zakładów górniczych. W celu zapewnienia właściwych parametrów środowiska pracy w wyrobiskach dołowych położonych na głębokościach przekraczających 1200 m konieczne stało się wybudowanie systemu klimatyzacji. Na początku XXI wieku z właśnie takim wyzwaniem zmierzyli się inżynierowie PeBeKa. Efektem ich wytężonej pracy, współpracy z kontrahentami stała się funkcjonująca na terenie O/ZG Rudna klimatyzacja centralna [2]. Zastosowano system chłodzenia wyrobisk dołowych z wykorzystaniem wody lodowej o temperaturze 1,5°C wytwarzanej w dwóch stacjach klimatyzacyjnych na powierzchni. Woda lodowa sprowadzana jest z wyrobisk zakładu górniczego z wykorzystaniem rurociągów szybowych oraz rurociągów zabudowanych w otworach wielkośrednicowych w górotworze. W skład podziemnej części systemu wchodzi podajnik trójkomorowy, przepompownia, rurociągi magistralne, aparatura sterująca i pomiarowa oraz chłodnice powietrza. W miejscach bardzo oddalonych zabudowane zostały maszyny klimatyzacyjne, które wykorzystują wodę lodową z obiegu powrotnego [2].

W minionych latach PeBeKa wykonało szereg obiektów takich jak: komory eksploatacji maszyn dołowych, przenośniki taśmowe o łącznej długości przekraczającej 100 km, zbiorniki retencyjne, komory transformatorowe. Każdy z tych obiektów jest bardzo ważnym elementem zakładu górniczego, a ich budowa wymagała dużego zasobu wiedzy i umiejętności.

Zdecydowana większość realizowanych obiektów została oddana użytkownikowi do eksploatacji, co oznacza, że roboty wykonane zostały w formule „pod klucz". W formule „zaprojektuj – wybuduj" PeBeKa S.A. w 2015 roku otrzymało zlecenie modernizacji blisko trzydziestoletniego szybu. Modernizacja szybu wiązała się z również ze zmianą jego funkcji. Bez zaburzenia funkcjonowania zakładu górniczego pracow-

nicy PeBeKa przeprowadzili skomplikowany proces zmiany funkcji szybu górniczego. Funkcjonujący szyb wdechowy został przekształcony w szyb materiałowo-zjazdowy. Taka zmiana funkcji jest procesem bardzo skomplikowanym, obejmującym:

– roboty montażowe:
  • przebudowa wieży szybowej,
  • zabudowa urządzeń wyciągowych,
  • zbrojenie szybu,
  • zabudowa urządzeń i instalacji elektrycznych, telekomunikacyjnych itp.
– roboty górnicze:
  • przebudowa podszybia,
  • roboty budowlane,
  • wzniesienie obiektów budowlanych związanych z nowymi funkcjami szybu.

5. ROBOTY WIERTNICZE I ROBOTY BUDOWLANE

Prowadzona analiza zapotrzebowania na specjalistyczne usługi górnicze skłoniła władze PeBeKa do utworzenia kolejnego oddziału, którego zadaniem jest świadczenie usług wiertniczych. Posiadana kadra techniczna, załoga i sprzęt wiertniczy wykonuje na terenie naszego kraju szereg robót wiertniczych związanych z rozpoznaniem złóż kopalin, a także poszukiwaniem złóż wód geotermalnych (rys. 6).

W celu zapewnienia kompleksowej realizacji zadań w strukturze PeBeKa znajduje się również oddział, którego zadaniem jest prowadzenie robót budowlanych. Zakres świadczonych usług jest bardzo szeroki i obejmuje budownictwo przemysłowe, komunikacyjne oraz kubaturowe.

Rys. 6. Odwiert geotermalny w Tomaszowie Mazowieckim

6. PODSUMOWANIE

Chęć stawiania czoła nowym wyzwaniom, stały rozwój techniki i technologii stale towarzyszyły i nadal towarzyszą pracownikom, dzięki czemu PeBeKa S.A. osiągnęła tak wiele i nadal się rozwija. Wart podkreślenia jest fakt, że PeBeKa może pochwalić się wykonaniem ponad 1600 km wyrobisk podziemnych. Stworzenie

bezpiecznych warunków pracy załogi PeBeKa S.A. jest wartością nadrzędną. Zaangażowanie kierownictwa i załogi zostało docenione przez Fundację „Bezpieczne Górnictwo" im. prof. Wacława Cybulskiego w grudniu 2019 roku, która przyznała PeBeKa nagrodę w kolejnej edycji konkursu „Bezpieczny Oddział" (rys. 7).

Rys. 7. Dyplom „Bezpieczny Oddział" dla PeBeKa S.A.

Literatura

[1] PeBeKa S.A.: *Czerpiemy z tradycji, stawiamy na przyszłość Kronika 50-lecia PeBeKa S.A.*, Lubin 2010.
[2] PeBeKa S.A.: *Kronika PeBeKa 1960–2020. Cel – Ludzie – Technologia*, Lubin 2020.

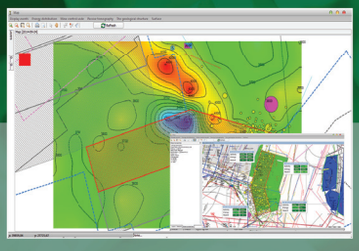
DOMINIK LESZCZUK
PeBeKa S.A.
ul. Marii Skłodowskiej-Curie 76, 59-300 Lubin
dominik.leszczuk@pebeka.com.pl

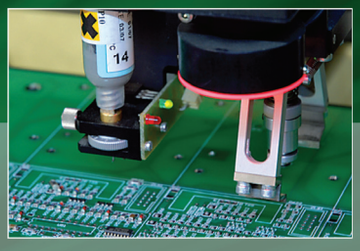
© 2020 Autor. Jest to publikacja ogólnodostępna, którą można wykorzystywać, rozpowszechniać i kopiować w dowolnej formie zgodnie z licencją Creative Commons CC-BY 4.0.

We would like to extendour heart felt thanks to the reviewers of papers for "MINING - Informatics, Automation and Electrical Engineering" journal in 2019

Chcielibyśmy serdecznie podziękować recenzentom artykułów do czasopisma „MINING – Informatics, Automation and Electrical Engineering" w 2019 roku

Łukasz Bołoz, AGH University of Science and Technology (Poland)
Kazimierz Chmielowiec, AGH University of Science and Technology (Poland)
Kazimierz Drozd, Lublin University of Technology (Poland)
Piotr Dudziński, Wroclaw University of Science and Technology (Poland)
Grzegorz Dyduch, Silesian University of Technology (Poland)
Krzysztof Filipowicz, Silesian University of Technology (Poland)
Lech Gładysiewicz, Wroclaw University of Science and Technology (Poland)
Józef Jonak, Lublin University of Technology (Poland)
Marek Kalita, KOMAG Institute of Mining Technology (Poland)
Paweł Kamiński, Przedsiębiorstwo Budowy Szybów S.A. (Poland)
Krzysztof Kotwica, AGH University of Science and Technology (Poland)
Robert Król, Wroclaw University of Science and Technology (Poland)
Małgorzata Łatka, Rzeszow University of Technology (Poland)
Marcin Mazur, AGH University of Science and Technology (Poland)
Szymon Molski, AGH University of Science and Technology (Poland)
Dariusz Obracaj, AGH University of Science and Technology (Poland)
Grzegorz Olszyna, AGH University of Science and Technology (Poland)
Vitaliy Pasichnyk, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (Ukraine)
Arkadiusz Pawlikowski, Silesian University of Technology (Poland)
Dariusz Prostański, KOMAG Institute of Mining Technology (Poland)
Sorin Mihai Radu, University of Petrosani (Romania)
Tomasz Rokita, AGH University of Science and Technology (Poland)
Marek Sibielak, AGH University of Science and Technology (Poland)
Vadym Stupnytskyy, Lviv Polytechnic National University (Ukraine)
Dawid Szurgacz, PGG S.A. KWK ROW Ruch Chwałowice (Poland)
Janina Świątek, GIG Central MiningInstitute (Poland)
Paweł Tomach, AGH University of Science and Technology (Poland)
Andrzej N. Wieczorek, Silesian University of Technology (Poland)
Antoni Wojaczek, Silesian University of Technology (Poland)
Piotr Wojtas, Institute of Innovative Technologies EMAG (Poland)
Marian Wójcik, AGH University of Science and Technology (Poland)
Tomasz Wydro, AGH University of Science and Technology (Poland)
Marcel Żołnierz, Advanced Water Systems (Poland)





e-ISSN 2449-6421
ISSN 2450-7326