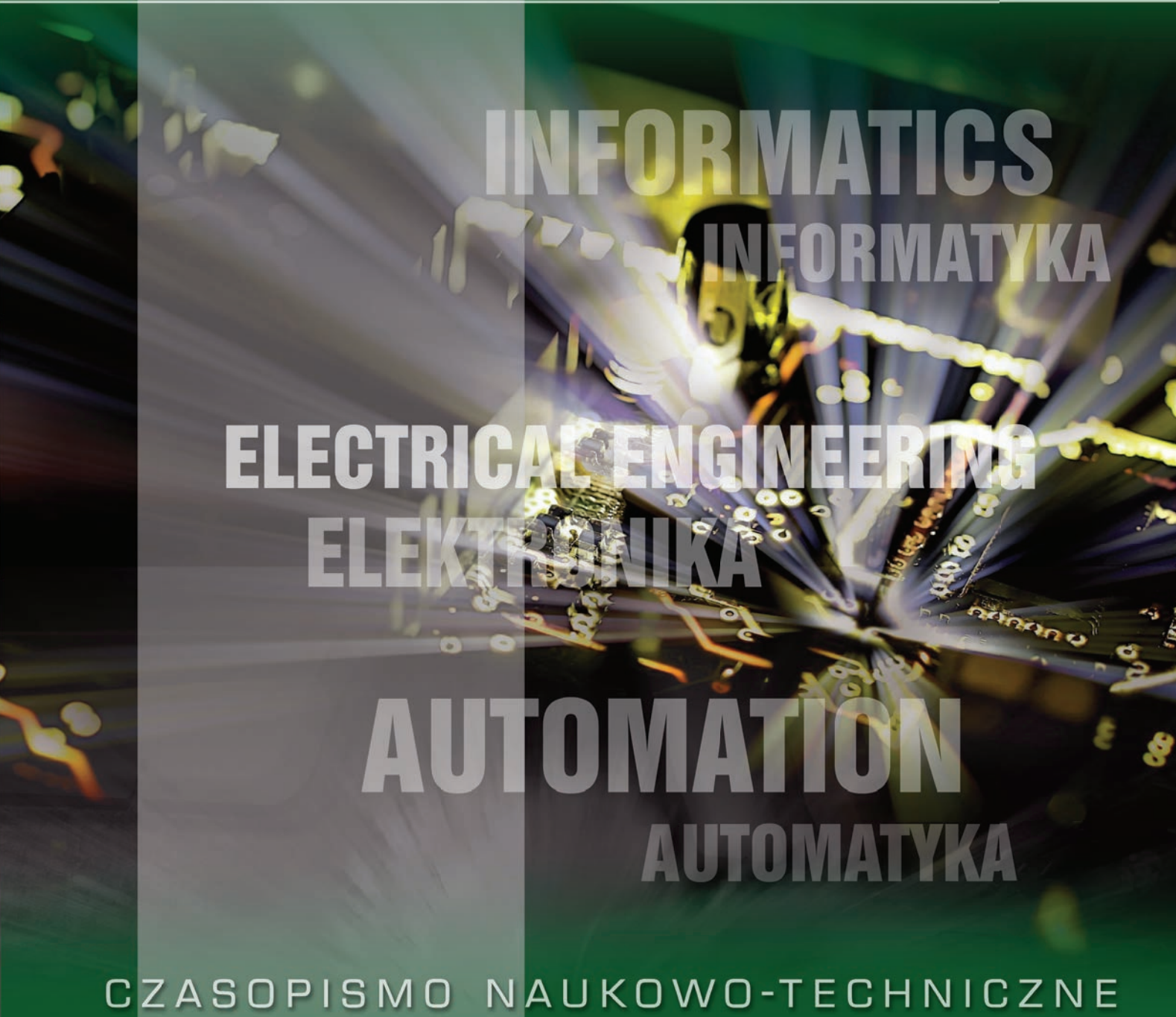


4 (544) 2020

Mining

INFORMATICS AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL



INFORMATICS
INFORMATYKA

ELECTRICAL ENGINEERING
ELEKTRONIKA

AUTOMATION
AUTOMATYKA

CZASOPISMO NAUKOWO-TECHNICZNE

Mining – Informatics Automation and Electrical Engineering

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

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

MINING – INFORMATICS, AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING
Published since 1962

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

Chairman of the Scientific Board/Przewodniczący Rady Naukowej:
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:
Dariusz Andriukaitis, Kaunas University of Technology, Kaunas (Lithuania)
Naj Aziz, University of Wollongong, Wollongong (Australia)
Edward Chlebus, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław (Poland)
George L. Danko, University of Nevada, Reno (USA)
Krzysztof Filipowicz, Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)
Jiří Fries, Technical University of Ostrava, Ostrava (Czech Republic)
Leonel Heradia, EAFIT University, Medellín (Columbia)
Arkadiusz Mężyk, Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)
Josph Molnar, University of Miskolc, Miskolc (Hungary)
Jacek Paraszcak, Laval University, Quebec (Canada)
Sorin Mihai Radu, University of Petrosani, Petrosani (Romania)
Yuan Shujie, Anhui University of Science and Technology, Huainan (China)
Marek Sikora, Institute of Innovative Technologies EMAG, Katowice (Poland)
Radosław Zimroz, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław (Poland)
Nenad Zrnić, University of Belgrade, Belgrade (Serbia)

Editorial staff/ Redakcja czasopisma:
Editor in Chief/ Redaktor naczelny – *Krzysztof Krauze*
Deputy Editor in Chief/ Zastępca redaktora naczelnego – *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

Patrycja Janiszewska

Mine Master made self-propelled drilling and bolting rigs designed for underground mining	7
Samojezdne maszyny wierzące i kotwiące dla górnictwa podziemnego firmy Mine Master	12

Mirosław Skibski, Karol Osadnik, Magdalena Białas

The Hard Coal Industry in Poland: 1990 to 2020	17
Górnictwo węgla kamiennego w Polsce w latach 1990–2020	26

Henryk Karaś

Clean and Climate Neutral Planet and Mineral Resources in the EU	35
Czysta i neutralna klimatycznie planeta a surowce mineralne w UE	47

Iurii Tsybulia, Hubert Przygucki, Maweja Kasonde, Damian Mątewski

DEC – diamond enhanced carbides: a new super-hard material with enhanced wear resistance	59
DEC – węgliki wzmocnione diamentem: nowy materiał supertwardy o zwiększonej odporności na zużycie	65

ABSTRACTS

PATRYCJA JANISZEWSKA

MINE MASTER MADE SELF-PROPELLED DRILLING AND BOLTING RIGS DESIGNED FOR UNDERGROUND MINING

Underground exploitation (mining) of useful minerals consists of three main stages, with the entire process starting with winning through loading and finishing with construction of the lining. Minerals are mined using explosives or mechanically by machines which are called combined cutter-loaders (cutting and loading). When rocks are hard to mine or they are abrasive, now only methods using explosives can be used as a factor destroying rock cohesion, and room or room-pillar or gallery technology may be applied as well. The application of explosives requires holes to be drilled of various length and diameter oriented spatially, manually, or mechanically. Then, self-propelled drilling rigs, loaders, self-propelled bolting rigs and haulage vehicles are applied most often in these circumstances. A set of these machines constitutes a complex for the exploitation of mined-hard and abrasive minerals, though the machines may be used with other types of rock as well. One such example are the machines made by Mine Master Sp. z o.o. designed for mining metal ores like copper, zinc, nickel ores, also rock-salts and potassium salts and bituminous shale.

MIROSLAW SKIBSKI
KAROL OSADNIK
MAGDALENA BIAŁAS

THE HARD COAL INDUSTRY IN POLAND: 1990 TO 2020

The article analyses the changes that have been taking place in the hard coal mining sector since 1990, i.e. since the departure from the economy in the central planning system and the transition to market economy. In the article the following periods are specified: the economic transformation and the high dynamics of changes in the mining sector that took place during this period (1990–2002), the process in the mining industry was closed by the mining reform carried out in 2003, the period of stabilisation that took place in the mining industry after the 2003 reform and the image of the mining industry after 2015.

HENRYK KARAŚ

CLEAN AND CLIMATE NEUTRAL PLANET AND MINERAL RESOURCES IN THE EU

The directions of EU activities in the field of mineral resources and their extraction, which are important for the development of the economy, are presented herein. The breakthrough in the EU came in 2008 with the announcement of the new Raw Materials Policy (RMP) and its presentation in Brussels in 2007. The long-term negligence of the EU authorities in terms of the lack of investment in research and development in the extractive industry in successive innovation programs implemented by the EU has been noticed. Changes in the global market at the end of the 20th century made the EU economy highly dependent from the import of many raw materials. The RMP plan adopted for implementation included 10 activities covering the EU bodies, member states and the mining industry. In the following years (2011–2012), a program aimed at strengthening the raw materials policy, called

STRESZCZENIA

PATRYCJA JANISZEWSKA

SAMOJEZDNE MASZYNY WIERCĄCE I KOTWIĄCE DLA GÓRNICTWA PODZIEMNEGO FIRMY MINE MASTER

Eksploracja podziemna (wybieranie) minerałów użytecznych składa się z trzech głównych faz: zaczyna się od urabiania i następnie poprzez ładowanie kończy się na stawianiu obudowy. Urabianie minerału realizowane jest za pomocą materiału wybuchowego lub mechanicznie maszynami nazywanymi kombajnami (urabianie i ładowanie). W przypadku skał trudno urabialnych i abrazywnych pozostaje w chwili obecnej jedynie wykorzystanie materiału wybuchowego jako czynnika niszczącego spójność skały oraz zastosowanie technologii komorowej lub komorowo-filarowej czy chodnikowej. Zastosowanie materiału wybuchowego wymaga wykonania otworów o różnej długości i średnicy zorientowanych przestrzennie, manualnie lub mechanicznie. Wtedy najczęściej stosuje się samojezdne wozy wierzące, ładowarki, samojezdne wozy kotwiące i transportowe. Zestaw tych maszyn stanowi zmechanizowany kompleks do eksploatacji minerałów trudnourabialnych i abrazywnych, choć można je stosować również w przypadku innych skał. Przykładem są maszyny produkowane przez firmę Mine Master Sp. z o.o. przeznaczone do eksploatacji rud metali takich jak miedź, cynk czy nikiel, ale również soli kamiennych i potasowych oraz łupków bitumicznych.

MIROSLAW SKIBSKI
KAROL OSADNIK
MAGDALENA BIAŁAS

GÓRNICTWO WĘGLA KAMIENNEGO W POLSCE W LATACH 1990–2020

W artykule zanalizowano zmiany zachodzące w górnictwie węgla kamiennego od 1990 roku, tj. od czasu odejścia od gospodarki w systemie centralnego planowania i przejścia do gospodarki rynkowej. W artykule wyszczególniono okresy: transformacji gospodarczej i wysoką dynamikę zmian w sektorze górnictwa, jakie w tym okresie zachodziły (lata 1990–2002), okres stabilizacji w górnictwie po reformie 2003 roku oraz obraz tego sektora przemysłu po roku 2015.

HENRYK KARAŚ

CZYSTA I NEUTRALNA KLIMATYCZNIE PLANETA A SUROWCE MINERALNE W UE

Przedstawiono kierunki działania UE w ważnej dla rozwoju gospodarki dziedzinie, jaką są surowce mineralne i ich pozyskiwanie. Przełom w UE nastąpił dopiero w 2008 roku z chwilą ogłoszenia Nowej Polityki Surowcowej (NPS) i jej prezentacji w Brukseli. Dostrzeżono wieloletnie zaniedbania organów UE w dziedzinie braku nakładów na badania i rozwój w przemyśle wydobywczym w kolejnych programach innowacyjnych realizowanych przez UE. Zmiany na rynku globalnym pod koniec XX wieku spowodowały wysokie uniezależnienie gospodarki UE od importu wielu surowców. Przyjęty do realizacji plan NPS zawierał dziesięć działań obejmujących organy UE, kraje członkowskie oraz przemysł wydobywczy. W latach 2011–2012 pojawił się program nakierowany na wzmocnienie polityki surowcowej o nazwie EIP on RM – partnerstwo innowacyjne w surowcach. Jego efektem było także zwiększenie nakładów na działania w obszarze gospodarki w obiegu

EIP on RM – innovative partnership on raw materials, appeared. It also resulted in an increase in expenditure on activities in the area of circular economy. The new innovation program Horizon Europe planned for 2021–2027 also provided for the important role of raw materials in the field of clean energy development and the implementation of the principles of the “green deal”, which is expected to reduce climate change plan in the EU by 2050. It is assumed that the principles of the EU’s “green deal” are to be a model for other countries/continents of the world to follow.

*IURII TSYBULIA
HUBERT PRZYGUCKI
MAWEJA KASONDE
DAMIAN MĄTEWSKI*

DEC – DIAMOND ENHANCED CARBIDES:
A NEW SUPER-HARD MATERIAL
WITH ENHANCED WEAR RESISTANCE

The paper presents the application of the pulse plasma consolidation (PPC) method in the field of diamond composites sintered under conditions of thermodynamic instability of diamond for the manufacture of tools intended for the cutting of different stones. Diamond enhanced carbides (DEC) are a composite material containing 30% vol of diamond particles and were produced using a mixture of submicron WC6Co (wt %). Due to PPC sintering conditions, dense sinters with a strong bond between the diamond particles and the sintered carbide matrix were obtained. The values of the specific cutting energy and the apparent friction coefficient of DEC cutter were investigated in comparison with the similar devices from PCD and ordinary tungsten carbide. DEC materials sintered in GeniCore confirmed the good market prospects for these materials in both cutting and mining applications.

zamkniętym. Nowy program innowacyjny Horyzont Europa planowany na lata 2021–2027 przewiduje również ważną rolę dla surowców w dziedzinie rozwoju czystej energii i wdrażania zasad „zielonego ładu”, co ma wpłynąć na ograniczenie zmian klimatycznych w UE do 2050 roku. Zasady „zielonego ładu” UE mają być wzorem do naśladowania dla innych krajów/kontynentów świata.

*IURII TSYBULIA
HUBERT PRZYGUCKI
MAWEJA KASONDE
DAMIAN MĄTEWSKI*

DEC – WĘGLIKI WZMOCNIONE DIAMENTEM:
NOWY MATERIAŁ SUPERTWARDY
O ZWIĘKSZONEJ ODPORNOŚCI NA ZUŻYCIE

W pracy przedstawiono zastosowanie metody spiekania impulsowo-plazmowego (PPC) w dziedzinie spiekanych kompozytów diamentowych w warunkach termodynamicznej niestabilności diamentu do wytwarzania narzędzi przeznaczonych do cięcia i urabiania różnych kamieni. Węgliki wzmocnione diamentem (DEC – ang. Diamond Enhanced Carbide), w dalszej części tekstu nazywane skrótowo DEC, jako materiał kompozytowy zawierający 30% obj. cząstek diamentu wytworzono, stosując mieszaninę submikronową WC6Co [% wag.]. Dzięki warunkom spiekania PPC uzyskano spieki o wysokiej gęstości z silnym wiązaniem pomiędzy cząstkami diamentu a osnową węglika spiekanego. Badano wartości energii właściwej skrawania i współczynnika tarcia pozornego frezu DEC w porównaniu z podobnymi narzędziami z PCD i zwykłego węglika wolframu. Wyniki badań materiałów DEC spiekanych przez GeniCore potwierdziły dobre perspektywy rynkowe dla tych materiałów do zastosowań w cięciu i górnictwie.

PATRYCJA JANISZEWSKA

Mine Master made self-propelled drilling and bolting rigs designed for underground mining

Underground exploitation (mining) of useful minerals consists of three main stages, with the entire process starting with winning through loading and finishing with construction of the lining. Minerals are mined using explosives or mechanically by machines which are called combined cutter-loaders (cutting and loading). When rocks are hard to mine or they are abrasive, now only methods using explosives can be used as a factor destroying rock cohesion, and room or room-pillar or gallery technology may be applied as well. The application of explosives requires holes to be drilled of various length and diameter oriented spatially, manually, or mechanically. Then, self-propelled drilling rigs, loaders, self-propelled bolting rigs and haulage vehicles are applied most often in these circumstances. A set of these machines constitutes a complex for the exploitation of mined-hard and abrasive minerals, though the machines may be used with other types of rock as well. One such example are the machines made by Mine Master Sp. z o.o. designed for mining metal ores like copper, zinc, nickel ores, also rock-salts and potassium salts and bituminous shale.

Key words: room and room-pillar exploitation systems, self-propelled drilling rigs, self-propelled bolting rigs, self-propelled haulage cars, and self-propelled loaders

1. INTRODUCTION

Underground mining of useful minerals consists of three main stages when the entire process starts with winning (explosives, cutting, scaling) through loading (serial, parallel) and finishes with construction of the lining (roof bolting, roof supports). Mining of minerals is made by means of explosives or mechanically using machines called combined cutter-loaders (cutting and loading). For mined-hard or abrasive rock mass nowadays only explosives may be used as a factor destroying the rock cohesion and room or room-pillar or gallery technology may be applied. The application of explosives requires holes to be drilled of various length and diameter oriented spatially, manually, or mechanically. Then, holes may be drilled using local, remote or automatic control. Of course, these holes are most often made mechanically using self-propelled drilling rigs where a main assembly of such a rig is a boom or booms with feeders fit-

ted with various types of drills [1, 2]. Next, after blasting, the excavated material is loaded with loaders, most often front-end bucket loaders, to self-propelled haulage machines which transport it to further transport means. Excavation stability is achieved using various types of linings, most often roof bolting. Also in this case, drilling a hole to install a bolt is required. It may be done manually or mechanically using self-propelled drilling-bolting rigs [3]. Sets of these machines constitute a mechanized complex for mining minerals that are hard to be mined and abrasive, although they may also be used for mining other rocks where the decisive factor is mainly an abrasive feature of the rock mass. One such example are the machines manufactured by Mine Master Sp. z o.o. designed for mining metal ores like copper, zinc, nickel ores, also rock-salts and potassium salts and bituminous shale. These machines are used successfully also in tunneling [4] where rocks are mined by means of explosives.

Mine Master Sp. z o.o. manufactures several types of self-propelled drilling rigs [5] with combustion driving systems (diesel engine) or electric driving systems (batteries) [6], as well as self-propelled bolting rigs. New products are self-propelled rigs for spatial-oriented drilling of long holes fitted with a drill rod rack.

2. SELF-PROPELLED MACHINES

As said above, Mine Master specializes mainly in self-propelled drilling rigs and bolting rigs with combustion driving systems or electric driving systems (additional letter “E”). Self-propelled drilling rigs are marked respectively as Face Master 1.4, Face Master 1.7, Face Master 1.7K, Face Master 2.1, Face Master 2.3, and Face Master 3.0, and they are designed for drilling blast holes. And self-propelled bolting rigs are marked as Roof Master 1.4, Roof Master 1.7, Roof Master 1.8, and Roof Master 2.3, and they are designed for bolting in the excavation to ensure its stability. A self-propelled rig for spatial-oriented drilling of long holes fitted with a drill rod rack is marked as Production Master 2.3.

2.1. Self-propelled drilling rigs

A self-propelled low drilling rig – Face Master 1.4 (Fig. 1) is designed for drilling blast holes with diameters 41–76 mm and net length 3.2 m. It is an articulat-

ed machine with a 4-wheel hydrostatic drive (motors in wheels) and dynamic brakes including a HAP (emergency-parking) brake. The rig may be used in methane-free excavations of ore mines and mineral material mines. A design of the rig allows effective drilling in excavations with heights starting from 1.6 m.

A self-propelled low drilling rig, the Face Master 1.7, is designed for drilling blast holes with diameters in the range 41–76 mm and net length 3.2 m. The rig may be used in methane-free excavations of ore mines and mineral material mines. The design of the rig allows effective drilling in excavations with heights from 2 to 4.3 m.

Face Master 1.7K (Fig. 2) is an improved version of FM 1.7. The rig is fitted with a closed and ergonomic operator's cab (capsule), raised and lowered hydraulically. The design of the cab and the (front) working platform frame are subject to dynamic tests on transfer of loads of kinetic energy 60 kJ which is acknowledged by a respective certificate. A front window panel of the operator's cab complies with requirements of class P8B according to standard EN-356. The cab is also equipped with an air-conditioning system which operates when the machine is being driven and works being powered by the 500 V mine power network, and with a cab filter. Additionally, in order to provide the best protection for the operator against gas hazards occurring in the mine excavations of the KGHM Group, the cab is equipped with a hydrogen sulfide (H_2S) filter.

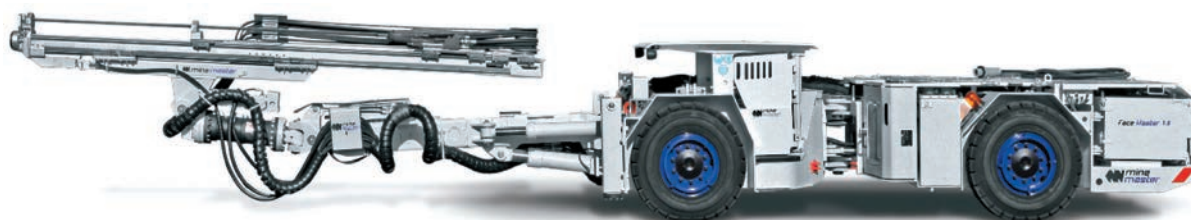


Fig. 1. Face Master 1.4 – drilling rig for low excavations



Fig. 2. Face Master 1.7K – drilling rig for low excavations with an air-conditioned cab

In order to ensure superior traction, the rig is fitted with an articulated joint featuring two turn axes (vertical and horizontal oscillation) due to which very good stability in maneuvering and considerably reduced excavations where the rig may move have been obtained. A working unit of the rig is of a well-proven design of the B40 HD boom and the HC 109 drill made by Montabert, equipped with a water box featuring the increased resistance to aggressive flushing water.

A single-boom drilling rig of the Face Master 2.1 is designed to be operated in narrow veins. The main features of the rig are as follows:

- A working unit with a two-axis rotary actuator significantly improves the maneuverability of the feeder,
- the 360° turn of the boom in both planes allows drill bits from the operator's stand to be replaced,
- a well-proven design of swinging the main articulation to improve traction,
- an operator's canopy (FOPS & ROPS) with a raising canopy and a hydraulically controlled segment in order to improve the visibility during vertical drilling,
- drilling coverage 30 m²,
- a strong hydrostatic tramming system to drive slopes up to 14 degrees,
- an automatic articulation lock to ensure an increased stability of the rig during drilling operations.

Face Master 2.3 (Fig. 3) is a two-boom drilling rig designed for drilling blast holes with a diameter 41–76 mm, drilling coverage 67 m², and 4-wheel drive. The rig may be used in methane-free excava-

tions of ore mines and mineral material mines. The design of the rig allows effective drilling in excavations with heights from 2.5 to 6.1 m. The features of this rig are as follows:

- a hydraulic system with a direct control providing: anti-jamming of a bit in a hole, collaring, feed pressure control in order to optimize drilling parameters,
- B40L booms with 1500 mm extension,
- an aluminum feeder of F 700 series with stainless steel rails – a simple design ensuring low maintenance costs,
- a minimum tramming height of 2.3 m with an adjustable operator's seat,
- the rig width of 1.99 m allowing tramming in excavations of minimum width 4.5 m at 90-degree angles,
- the articulated design with 4-wheel drive,
- a SAHR braking system controlling the service brakes and a HASR system controlling the parking / emergency brakes,
- the rig is equipped with four floor jacks,
- the rig in its basic version is equipped with an operator's canopy (FOPS/ROPS).

The Face Master 3.0 is an articulated rig with 4-wheel drive, with the minimum tramming height of 2.9 m. Control of the 1500 mm-extension B 40L straight-line boom movements by means of a joystick ensures precise and fast relocation of the boom and the drill between successive holes to be drilled. A simple and robust design of the aluminum feeder of F 7000 series reduces costs and facilitates servicing. Hydraulic control ensures low operation costs and high performance.



Fig. 3. Face Master 2.3 – two-boom drilling rig

2.2. Self-propelled bolting rigs

The Roof Master 1.4 bolting rig is fitted with a dry drilling system (suction removal of drill chippings) or a wet drilling with a flushing system (water flushing). Drilling is carried out by means of a rotary drill. The location of the operator's stand allows for full control when bolts are installed. A working system as employed in the rig allows drilling holes with diameters

from 25 to 38 mm to install expansion and resin bolts in two stages using a possibility of drill rod string elongation.

The Roof Master 1.7 (Fig. 4) is design for making roof bolting in mine excavations with heights from 1.92 m to max. 4.0 m. Its working unit is composed of a roof bolting mast made by J.H. Fletcher including a rotary drill and a drill chippings suction removal system.



Fig. 4. Roof Master 1.7 – bolting rig

The Roof Master 2.3 self-propelled bolting rig is designed for bolting underground excavations with heights from 4 to 7 m. The rig allows the drilling of holes to install bolts, installation of cement bolts and placing the roof and side walls with mining mesh by means of a mining mesh feeder.

depending on a configuration. An easy-in-operation positioning system facilitates drilling in the required directions. The rig features very good stability, allowing its fast tramming even in hard conditions. A portable control panel allows precise drilling, and easy and safe operation.

2.3. Self-propelled rig for spatial-oriented drilling of long holes

The Production Master 2.3 (Fig. 5) is a self-propelled drilling rig for drilling parallel long holes in the roof and the floor, as well as for radial and circular drilling vertically and at a set angle. Atop-hammer system allows drilling holes in the range from 64 to 165 mm

2.4. Self-propelled drilling and bolting rigs with electric drive

The Roof Master 1.8KE (battery)electric bolting rig (Fig. 6) is designed to be operated in excavations with heights from 3.0 to 5.8 m. The rig is fitted with a bolting mast that holds 9 bolts 1.8 m long.



Fig. 5. Production Master 2.3 – rig for drilling long holes



Fig. 6. Roof Master 1.8KE – battery electric bolting rig

The rig is equipped with a 120 kWh sodium-nickel battery. A characteristic feature of the BEV system applied in the both versions of battery electric machines is a possibility of recharging the battery from the existing mine power network within the voltage scope 500–1000 V using a battery charger installed on the chassis of the machine, as well as a possibility of recharging the battery during tramming when applying brakes and when driving downhill. The operator is provided an ergonomic air-conditioned cab with a cab filter.

The Face Master 1.7LE is a drilling rig designed for drilling blast holes with diameters from 41 to 76 mm, and length 3.2 m, in excavations above 1.7 m high. It is equipped with a closed, air-conditioned cab providing very good visibility for the operator. Regarding this type of drilling rig, a particular achievement is the low transporting height of the machine (1.65 m) in this class of machine, despite the fact that a battery is installed on board, and that the rig is adapted for tramming in heavy conditions of mine excavations in the room-pillar system inclined up to 15 degrees.

3. SUMMARY

Self-propelled drilling or bolting rigs are used in the mining of various minerals, most often by means of room or room-pillar systems, but also in driving dog headings where rock cohesion is destroyed by means of explosives. The machines and self-propelled rigs for spatial drilling start the process of mining and, together with loaders and self-propelled haulage vehicles, they constitute a set of machines called complexes. Such a set may not only be used for useful minerals mining but also for construction ob-

jects like tunnels, cross-cuts, culverts, discharge adits or canals. In each of the mentioned cases, machines should be arranged taking into account their technical parameters bearing in mind their place of their operation, assumed output or advance.

The self-propelled drilling and bolting rigs, or rigs drilling holes or the holes made by the Mine Master are designed for just these purposes. Their application on specific mining-geological conditions is connected with their technical parameters which allow the assumed outputs or advances to be achieved. That is why they are always dedicated to specific orders, and in many cases they meet future needs and requirements.

References

- [1] Gospodarczyk P., Kotwica K., Mendyka P., Stopka G., Bołoz Ł.: *The design and analysis of drilling and bolting rigs for narrow vein exploitation*, Exploration and mining, mineral processing. International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, Sofia, vol. 2, 2016: 881–888.
- [2] Karliński J., Działak P., Bałchanowski K.J., Wudarczyk S.: *Development and analysis of kinematics of working unit of self-propelled drilling machine*. Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering 2018, 1: 67–73.
- [3] Czajkowski A., Nadolny J., Gill D., Reś J.: *Automatyzacja procesu kotwienia przyszłością procesu eksploatacji złóż rudy miedzi*. In: *Materiały międzynarodowego kongresu górnictwa rud miedzi: perspektywy i wyzwania*, Lubin 2009: 30–39.
- [4] Derlukiewicz D., Karliński J.: *Static and dynamic analysis of telescopic boom of self-propelled tunneling machine*. Journal of Theoretical and Applied Mechanics 20212, 50, 1: 47–59.
- [5] Mine Master: www.minemaster.eu [15.03.2021].
- [6] Szurlej T., Ostapów L., Mendyka P.: *Functional structure of battery drive for self-propelled mining rig used in room-pillar ore exploitation system*. New Trends in Production Engineering, 2, 1, 2019: 112–120.

PATRYCJA JANISZEWSKA, M.Sc.

Mine Master Sp. z o.o.

ul. Dworcowa 27, 59-500 Wilków, Poland

pjaniszewska@minemaster.eu

PATRYCJA JANISZEWSKA

Samojezdne maszyny wierzące i kotwiące dla górnictwa podziemnego firmy Mine Master

Eksploatacja podziemna (wybieranie) minerałów użytecznych składa się z trzech głównych faz, gdzie cały proces zaczyna się od urabiania i następnie poprzez ładowanie kończy się na stawianiu obudowy. Urabianie minerału realizowane jest za pomocą materiału wybuchowego lub mechanicznie maszynami nazywanymi kombajnami (urabianie i ładowanie). W przypadku skał trudno urabialnych i abrazywnych pozostaje w chwili obecnej jedynie wykorzystanie materiału wybuchowego jako czynnika niszczącego spójność skały oraz zastosowanie technologii komorowej lub komorowo-filarowej czy chodnikowej. Zastosowanie materiału wybuchowego wymaga wykonania otworów o różnej długości i średnicy zorientowanych przestrzennie, manualnie lub mechanicznie. Wtedy najczęściej stosuje się samojezdne wozy wierzące, ładowarki, samojezdne wozy kotwiące i transportowe. Zestaw tych maszyn stanowi zmechanizowany kompleks do eksploatacji minerałów trudno urabialnych i abrazywnych, choć można je stosować również w przypadku innych skał. Takim przykładem są maszyny produkowane przez firmę Mine Master Sp. z o.o. przeznaczone do eksploatacji rud metali takich jak miedź, cynk czy nikiel, ale również soli kamiennych i potasowych oraz łupków bitumicznych.

Słowa kluczowe: system eksploatacji komorowy i komorowo-filarowy, samojezdne wozy wierzące, kotwiące i transportowe, ładowarki

1. WPROWADZENIE

Wybieranie podziemne minerałów użytecznych składa się z trzech głównych faz: cały proces zaczyna się od urabiania (materiał wybuchowy, frezowanie, struganie) i następnie – przez ładowanie (szeregowie, równoległe) – kończy się na stawianiu obudowy (odbudowa kotwowa, podporowa). Urabianie minerału realizowane jest za pomocą materiału wybuchowego lub mechanicznie maszynami nazywanymi kombajnami (urabianie i ładowanie). W przypadku skał trudno urabialnych i abrazywnych pozostaje w chwili obecnej jedynie wykorzystanie materiału wybuchowego jako czynnika niszczącego spójność skały oraz zastosowanie technologii komorowej lub komorowo-filarowej czy chodnikowej. Zastosowanie materiału wybuchowego wymaga wykonania otworów o różnej długości i średnicy, zorientowanych przestrzennie, manualnie lub mechanicznie. Otwory można wykonywać manual-

nie (ręcznie) lub mechanicznie, stosując sterowanie lokalne, zdalne lub automatyczne. Oczywiście najczęściej otwory te wykonuje się mechanicznie, stosując samojezdne wozy wierzące, gdzie głównym podzespołem takiego wozu jest wysięgnik lub wysięgniki z ramami prowadniczymi, wyposażone w różnego typu wiertarki [1, 2]. Następnie, po odstrzeleniu, urobek ładowany jest ładowarkami, najczęściej czołowo sypiącymi, do samojezdných wozów transportowych, które przemieszczają go do dalszych środków transportowych. Stateczność wyrobiska uzyskuje się, stosując różnego typu obudowy, najczęściej kotwowe. Również wtedy wymagane jest wykonanie otworu do zabudowy kotwy. Można to osiągnąć manualnie lub mechanicznie za pomocą samojezdných wozów wierząco-kotwiących [3]. Zestaw tych maszyn stanowi zmechanizowany kompleks do eksploatacji minerałów trudno urabialnych i abrazywnych, choć można je stosować również w przypadku innych skał, gdzie czynnikiem decydującym jest

głównie ich abrazywność. Takim przykładem są maszyny produkowane przez firmę Mine Master Sp. z o.o. przeznaczone do eksploatacji rud metali, takich jak miedź, cynk czy nikiel, ale również soli kamiennych i potasowych oraz łupków bitumicznych. Maszyny te są stosowane z powodzeniem również w robotach tunelowych [4], gdzie skały urabiane są z wykorzystaniem materiału wybuchowego.

Firma Mine Master Sp. z o.o. produkuje kilka typów samojezdnych wozów wierzących [5] z napędem spalinowym (silnik diesla) lub elektrycznym (baterie akumulatorowe) [6], jak również samojezdnych wozów kotwiących. Nowością są samojezdne wozy do wiercenia przestrzennego długich otworów z magazynem żerdzi.

2. SAMOJEZDNE WOZY

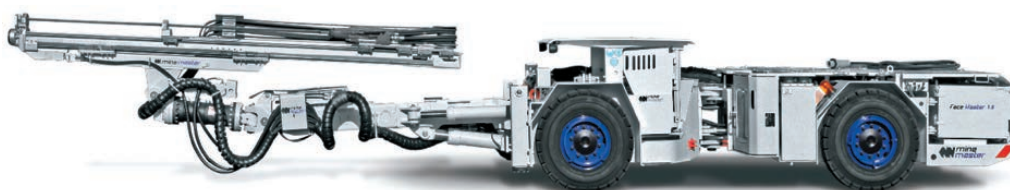
Wspomniano wcześniej, że Mine Master specjalizuje się głównie w samojezdnych wozach wierzących, wiertniczych oraz kotwiących z napędem spalinowym lub elektrycznym (dodatkowo litera E). Samojezdne wozy wierzące oznaczane są odpowiednio: Face Master 1.4, Face Master 1.7, Face Master 1.7K, Face Master 2.1, Face Master 2.3 i Face Master 3.0 i służą one do wykonywania otworów strzałowych. Natomiast samojezdne wozy kotwiące oznaczono Roof Master 1.4, Roof Master 1.7, Roof Master 1.8 i Roof Master 2.3 i służą one do kotwienia wyrobiska w celu zapewnienia jego stateczności. Samojezdny wóz do wiercenia przestrzennego długich otworów z magazynem żerdzi oznaczono w następujący sposób: Production Master 2.3.

2.1. Samojezdne wozy wierzące

Samojezdny wóz wierzący niski Face Master 1.4 (rys. 1) jest przeznaczony do wiercenia otworów strzałowych w zakresie średnic 41–76 mm i długości netto 3,2 m. Maszyna przegubowa z napędem hydrostatycznym na cztery koła (silniki w kołach) i hamulcami dynamicznymi oraz HAP. Maszyna może być stosowana w niemietanowych wyrobiskach kopalń rud oraz surowców mineralnych. Konstrukcja maszyny pozwala na skuteczne wykonywanie wierceń w wyrobiskach o wysokości od 1,6 m.

Samojezdny wóz wierzący niski, Face Master 1.7, jest przeznaczony do wiercenia otworów strzałowych w zakresie średnic 41–76 mm i długości netto 3,2 m. Maszynę można stosować w niemietanowych wyrobiskach kopalń rud oraz surowców mineralnych. Konstrukcja maszyny pozwala na skuteczne wykonywanie wierceń w wyrobiskach o wysokości od 2 m do 4,3 m.

Face Master 1.7K (rys. 2) to udoskonalona wersja FM 1.7. Maszyna ma zamkniętą i ergonomiczną kabinę operatora (kapsuła), podnoszoną i opuszczaną hydraulicznie. Konstrukcja kabiny oraz rama platformy roboczej (przedniej) poddawana jest badaniom dynamicznym na przenoszenie obciążeń o energii kinetycznej 60 kJ, co potwierdzone jest stosownym certyfikatem. Natomiast przednia szyba operatora spełnia wymagania klasy P8B wg normy EN-356. Kabina jest również wyposażona w układ klimatyzacji pracujący podczas przejazdów oraz podczas pracy z sieci kopalnianej 500 V oraz w filtr kabinowy. Dodatkowo w celu zapewnienia najlepszej ochrony operatora przed zagrożeniem gazowym, pojawiającym się w wyrobiskach KGHM, w kabinie znajduje się filtr przeciwko siarkowodorowi (H_2S).



Rys. 1. Face Master 1.4 – wóz wierzący do niskich wyrobisk



Rys. 2. Face Master 1.7K – wóz wierzący do niskich wyrobisk z klimatyzowaną kabiną

W celu zapewnienia doskonałej trakcji został zastosowany przegub o dwóch osiach skrętu (pionowy oraz o oscylacji poziomej), dzięki czemu została uzyskana bardzo dobra stateczność przy manewrowaniu i znacznie zmniejszone wymiary wyrobisk, w których może poruszać się maszyna. Organ roboczy maszyny oparty jest na sprawdzonej konstrukcji wysięgnika B40 HD oraz wiertarki HC 109 produkcji Montabert, wyposażonej w głowicę wodną o podwyższonej odporności na działanie agresywnej wody płuczkowej.

Jednowysięgnikowy wóz wierzący Face Master 2.1 przeznaczony jest do pracy w wąskich pokładach. Główne cechy tej maszyny to:

- organ roboczy z obrotnikiem dwuosiowym znacznie poprawiającym manewrowanie ramą prowadniczą,
- obrót o 360° wysięgnika w obu płaszczyznach umożliwiający wymianę koronki ze stanowiska operatora,
- sprawdzona konstrukcja wychyłu przegubu głównego dla poprawy trakcji,
- osłona operatora w wykonaniu FOPS & ROPS z podnoszonym daszkiem oraz hydraulicznie sterowanym segmentem w celu poprawy widoczności podczas wiercenia pionowego,
- pole pokrycia 30 m²,
- mocny napęd hydrostatyczny do jazdy przy wzniesieniach do 14 stopni,
- automatyczna blokada przegubu zapewniająca zwiększoną stateczność maszyny podczas wiercenia.

Face Master 2.3 (rys. 3) to dwuwysięgnikowy wóz wierzący przeznaczony do wiercenia otworów strzałowych w zakresie średnic 41–76 mm, o polu pokrycia 67 m² i napędem na cztery koła. Maszynę można stosować w niemietanowych wyrobiskach kopalń rud oraz surowców mineralnych. Konstrukcja maszyny

pozwala na skuteczne wykonywanie wierceń w wyrobiskach o wysokości od 2,5 m do 6,1 m. Niniejszy wóz charakteryzuje się następującymi cechami:

- system hydrauliczny z bezpośrednim sterowaniem zawierający funkcje: antyzakleszczeniowe koronki w otworze, zawieranie oraz kontrolę ciśnienia posuwu w celu zoptymalizowania parametrów wiercenia,
- wysięgniki B40L o wysuwie 1500 mm,
- aluminiowa rama prowadnicza serii F 7000 w prowadnicach ze stali nierdzewnej – prosta konstrukcja zapewniająca niskie koszty użytkowania,
- minimalna wysokość transportowa 2,3 m z regulowanym siedziskiem operatora,
- szerokość maszyny 1,99 m pozwalająca na jazdę w wyrobiskach o minimalnej szerokości 4,5 m pod kątem 90 stopni,
- konstrukcja przegubowa z napędem na 4 koła,
- system hamulcowy SAHR obsługujący hamulce zasadnicze i HASR obsługujący hamulce postojowe/ bezpieczeństwa,
- wóz jest wyposażony w cztery podpory spągowe,
- maszyna w wykonaniu standardowym zawiera osłonę operatora w wykonaniu FOPS/ROPS.

Face Master 3.0 to maszyna przegubowa z napędem na cztery koła, której minimalna wysokość transportowa to 2,9 m. Sterowanie ruchami prostowodowego wysięgnika typu B 40L o standardowym wysuwie 1500 mm za pomocą joysticka zapewnia precyzyjne i szybkie przemieszczenie wysięgnika i wiertarki między kolejnymi wierconymi otworami. Prosta i niezawodna konstrukcja aluminiowej ramy prowadniczej z serii F 7000 znacznie obniża koszty i ułatwia serwisowanie. Sterowanie hydrauliczne zapewnia niskie koszty eksploatacji i wysoką niezawodność.



Rys. 3. Face Master 2.3 – dwuwysięgnikowy wóz wierzący

2.2. Samojezdne wozy kotwiące

Wóz kotwiący Roof Master 1.4 jest wyposażony w system wiercenia na sucho (odsysanie zwiercin) lub system wiercenia płuczkowego (z płuczką wodną). Wiercenie odbywa się za pomocą wiertarki obrotowej. Położenie stanowiska operatora umożliwia pełną kontrolę podczas instalacji kotew. Zastosowany w wozie układ roboczy umożliwia wiercenie otworów o średnicy 25–38 mm pod kotwy ekspansywne i wkładane, dwufazowo z wykorzystaniem możliwości przedłużania kolumny żerdzi.



Rys. 4. Roof Master 1.7 – wóz kotwiący

2.3. Samojezdny wóz do wiercenia przestrzennego długich otworów

Production Master 2.3 (rys. 5) to samojezdna maszyna do wiercenia długich otworów równoległych w stropie i spągu, jak również do wierceń wachlarzowych i obwodowych w pionie lub pod zadanym kątem. System młotka górnego daje możliwość wiercenia otworów w zakresie 64–165 mm w zależności od konfiguracji. Prosty w obsłudze system pozycjonowania ułatwia wiercenie w wymaganych kierunkach. Maszyna ma bardzo dobrą stateczność pozwalającą na szybką jazdę nawet w trudnych warunkach. Przenośny panel sterowania umożliwia dokładne wiercenie oraz łatwą i bezpieczną obsługę.



Rys. 5. Production Master 2.3 – wóz do wiercenia długich otworów

Roof Master 1.7 (rys. 4) jest przeznaczony do wykonywania obudowy kotwowej w wyrobiskach górniczych o wysokości min. 1,92 m i maks. 4,0 m. Zespół roboczy stanowi wieżyczka produkcji J.H. Fletcher z wiertarką obrotową i z odsysaniem zwiercin.

Samojezdny wóz kotwiący Roof Master 2.3 jest przeznaczony do kotwienia wyrobisk podziemnych w zakresie wysokości 4–7 m. Maszyna umożliwia wykonanie wiercenia otworów kotwowych, instalację kotew cementowych i wyłożenie stropu oraz ociosów siatką za pomocą podajnika siatki.

2.4. Samojezdne wozy wierzące i kotwiące z napędem elektrycznym

Wóz kotwiący z napędem elektrycznym (baterijnym) Roof Master 1.8KE (rys. 6) jest przeznaczony do pracy w wyrobiskach o wysokości od 3,0 m do 5,8 m. Maszyna jest wyposażona w wieżyczkę kotwiącą, która mieści dziewięć kotew o długości 1,8 m. Na maszynie zainstalowano baterię sodowo-niklową o pojemności 120 kWh. Cechą charakterystyczną układu BEV zastosowanego na obu rozwiązaniach maszyn bateryjnych jest możliwość doładowywania baterii z istniejącej sieci energetycznej kopalni w zakresie napięcia 500–1000 V z wykorzystaniem ładowarki baterii zabudowanej na podwoziu maszyn, a także możliwość doładowywania baterii w czasie przejazdów podczas hamowania oraz podczas zjazdów na nachyleniach.



Rys. 6. Roof Master 1.8KE – wóz kotwiący o napędzie baterijnym

Operator ma do dyspozycji ergonomiczną, klimatyzowaną kabinę z filtrem kabinowym.

Face Master 1.7LE to wóz wierzący przeznaczony do wykonywania otworów strzałowych o średnicy od 41 mm do 76 mm i długości 3,2 m, w wyrobiskach powyżej 1,7 m. Jest wyposażony w zamkniętą, klimatyzowaną kabinę, w której operator ma bardzo dobrą widoczność. Szczególnym osiągnięciem, jeżeli chodzi o tę wiertnicę, jest to, że mimo zabudowanej baterii maszyna ma jedną z najniższych wysokości transportowych (1,65 m) w swojej klasie maszyn i przystosowana jest do przejazdów w ciężkich warunkach wyrobisk górniczych w systemie filarowo-komorowym o nachyleniu do 15 stopni.

3. PODSUMOWANIE

Samojezdne wozy wierzące czy kotwiące stosowane są przy eksploatacji różnego rodzaju minerałów, najczęściej systemem komorowym lub komorowo-filarowym, ale też przy drażeniu wyrobisk korytarzowych. Wtedy spójność skał niszczona jest za pomocą materiału wybuchowego. Wspomniane maszyny oraz samojezdne wozy wierzące otwory przestrzennie zapoczątkowują proces wybierania, gdzie z ładowarkami i samojezdnymi wozami transportowymi stanowią zestaw maszyn nazywanych kompleksami. Można również taki zestaw stosować nie tylko do eksploatacji minerałów użytecznych, ale też do realizacji obiektów budowlanych, takich jak tunele, przekopy, przepusty, sztolnie zrzutowe czy kanały. Należy jednak w każdym z tych wspomnianych przypadków zestawiać maszyny, uwzględniając ich parametry technicz-

ne, mając na uwadze miejsce ich pracy oraz założoną wydajność czy postęp.

Opisane powyżej samojezdne wozy wierzące, kotwiące czy wierzące otwory przestrzennie firmy Mine Master produkowane są właśnie do tych celów. Zastosowanie ich w konkretnych warunkach górniczo-geologicznych związane jest z ich parametrami technicznymi, które umożliwiają uzyskanie założonych wydajności czy postępów. Stąd zawsze produkowane są do konkretnych zamówień, a w wielu przypadkach wychodzą naprzeciw przyszłym potrzebom i wymaganiom.

Literatura

- [1] Gospodarczyk P., Kotwica K., Mendyka P., Stopka G., Bołoz Ł.: *The design and analysis of drilling and bolting rigs for narrow vein exploitation, Exploration and mining, mineral processing*. International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, Sofia, vol. 2, 2016: 881–888.
- [2] Karliński J., Działak P., Bałchanowski K.J., Wudarczyk S.: *Development and analysis of kinematics of working unit of self-propelled drilling machine*. Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering 2018, 1: 67–73.
- [3] Czajkowski A., Nadolny J., Gill D., Reś J.: *Automatyzacja procesu kotwienia przyszłością procesu eksploatacji złóż rudy miedzi*. W: *Materiały międzynarodowego kongresu górnictwa rud miedzi: perspektywy i wyzwania*, Lubin 2009: 30–39.
- [4] Derlukiewicz D., Karliński J.: *Static and dynamic analysis of telescopic boom of self-propelled tunneling machine*. Journal of Theoretical and Applied Mechanics 2012, 50, 1: 47–59.
- [5] Mine Master: www.minemaster.eu [15.03.2021].
- [6] Szurlej T., Ostapów L., Mendyka P.: *Functional structure of battery drive for self-propelled mining rig used in room-pillar ore exploitation system*. New Trends in Production Engineering, 2, 1, 2019: 112–120.

mgr **PATRYCJA JANISZEWSKA**
 Mine Master Sp. z o.o.
 ul. Dworcowa 27, 59-500 Wilków
pjaniszewska@minemaster.eu

MIROŚLAW SKIBSKI
KAROL OSADNIK
MAGDALENA BIAŁAS

The Hard Coal Industry in Poland: 1990 to 2020

The article analyses the changes that have been taking place in the hard coal mining sector since 1990, i.e. since the departure from the economy in the central planning system and the transition to market economy. In the article the following periods are specified: the economic transformation and the high dynamics of changes in the mining sector that took place during this period (1990–2002), the process in the mining industry was closed by the mining reform carried out in 2003, the period of stabilisation that took place in the mining industry after the 2003 reform and the image of the mining industry after 2015.

Key words: *economic transition, mining reform, employment restructuring, mine closures, exports imports*

1. INTRODUCTION

There have been many attempts to repair, sanitise and reform the Polish coal mining industry in the past thirty years. Initially the authors intended to entitle this article “The Polish mining industry in the years 1990–2020 from crisis to crisis”, but after giving it some thought we came to the conclusion that the coal mining industry cannot be seen as an isolated sector of the economy. In the 1990s the Polish economy was transformed from a centralised economy into a market economy. From the economic processes taking place in those years, we have identified those that, in our opinion, exerted an impact on the coal mining industry:

- large drops in production, as a result of opening the market to imported products,
- rapid reduction of the energy intensity of the economy,
- liquidation of large farms (State Agricultural Farms),
- reduction of the demand for system heat as a result of metering of flats and increased rate of thermal insulation of buildings,
- bankruptcy of a large number of enterprises,
- energy poverty of a significant part of the population,
- state interference in coal exports and the setting of coal prices by the state between 1990 and July 1992.

We propose to look at the past thirty years in the following order:

- 1) the period of 1990 to 2002 (years of transformation of the economy) considering measures taken by successive governments towards the coal mining industry [1],
- 2) period of 2003 to 2014 [2],
- 3) period of 2015 to 2019 [2],
- 4) the post 2020 period, mining in its phasing out period.

The data presented in this article come from own resources of Industry Development Agency JSC (IDA) – Katowice Branch and have been compiled in the presented figures for the purpose of this article.

2. 1990–2002

In this period, the Coal Community was established, Coal Exploitation Companies (PEW) were dissolved, the mines were granted freedom of economic activity in 1991, and in 1993 Katowicki Holding Węglowy S.A. and Coal Mining Companies (6 companies) were established. In 1993, 1995 and 1998, unsuccessful attempts were made to reform the mining industry so as to enable it to operate under

the conditions of a market economy (budget subsidies and annulments – in total, in the years 1990–2002, state aid amounted to PLN 16.5 billion, of which PLN 11.1 billion in subsidies – data from the Industry Development Agency JSC (IDA) Katowice Branch), while the state setting coal prices and interference in coal exports limited the freedom of mines to operate on the market. It should be mentioned that until December 1990 official prices were in force, when the departure from official prices for hard coal was announced and an obligation to inform tax offices about increases in hard coal prices was introduced – this lasted until July 1992. In December 1990, hard coal was made subject to export restrictions in the form of the requirement of permits for each contract. This situation continued until July 1992, a period which saw hyperinflation in Poland. Maintaining prices at a constant level hit the mining industry hard, while it was necessary to purchase machinery, equipment, services etc. which were realised at market prices. Restrictions on exports prevented the mines from executing profitable export contracts. The years 1990–2002 have been divided into three periods, but they all relate to the time of the transformation, so they are included in the period between 1990 and 2002.

2.1. Period from 1990 to 1993

From the dissolution of PEW to the establishment of Coal Companies and Katowicki Holding Węglowy S.A. employment (Fig. 1) decreased from 387,900 to 311,300, so by 76,600 (i.e. 19.75%), the number of longwalls (Fig. 2) was reduced by 221, which was a percentage reduction by 28.9% of active longwalls,

three mines were put into liquidation (Fig. 3), coal production was reduced (Fig. 4) from 147.4 million tonnes in 1990 to 130.2 million tonnes in 1993, i.e. by 12.1%, the productivity per employee (Fig. 5) increased from 380 to 407 tonnes / year, the working shifts availability at the longwalls increased from 2.18 to 2.45 (Fig. 2), investment expenditure (Fig. 6) increased from PLN 241 million to PLN 647 million, and during this period, PLN 1.958 billion was allocated to investments in total. Unfortunately, we do not have specific data on which investment targets the funds were allocated. In turn, coal stocks (Fig. 7) increased from about a million tonnes in 1990 to 4 million tonnes in 1992, and then decreased to 700,000 tonnes in 1993 (we suppose this is related to the establishment of coal companies and the signing of agreements with creditors. The Katowice Branch of the IDA (JSC) does not have data on the volume of coal imports and exports (Fig. 8) in the years 1990 to 1992, for the entire period from 1990 to 1993 we observe a higher rate of growth of liabilities than receivables (Fig. 10), and thus an unfavourable increase in the balance (Fig. 10) of liabilities to receivables in 1993 we recorded a balance of – PLN 3.465 billion. Throughout this period the net financial result of the mining industry (Fig. 11) was negative and in 1993 it reached a level of – PLN 1.5 billion. It is also difficult to assess what impact export restrictions and the price of coal set by the government had on the mining industry's net result, and to what extent the compensation paid covered the mining industry's losses. The changes that were taking place at that time were transformational in nature (a large decrease in production, concentration of extraction, a high decline in employment).

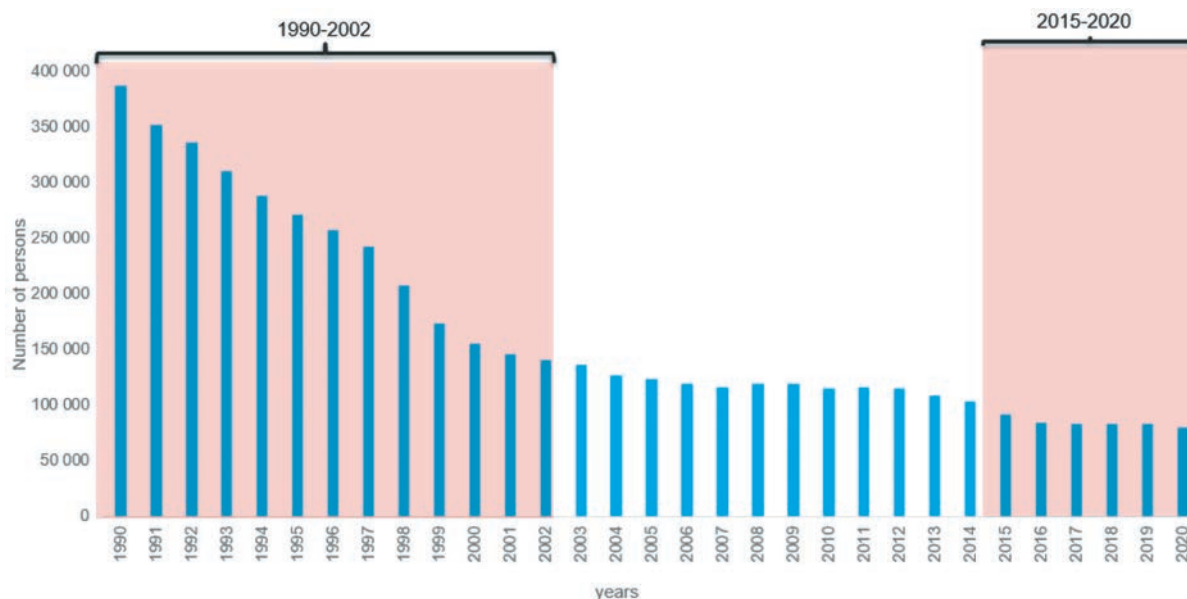


Fig. 1. The employment in 1990–2020 [3]

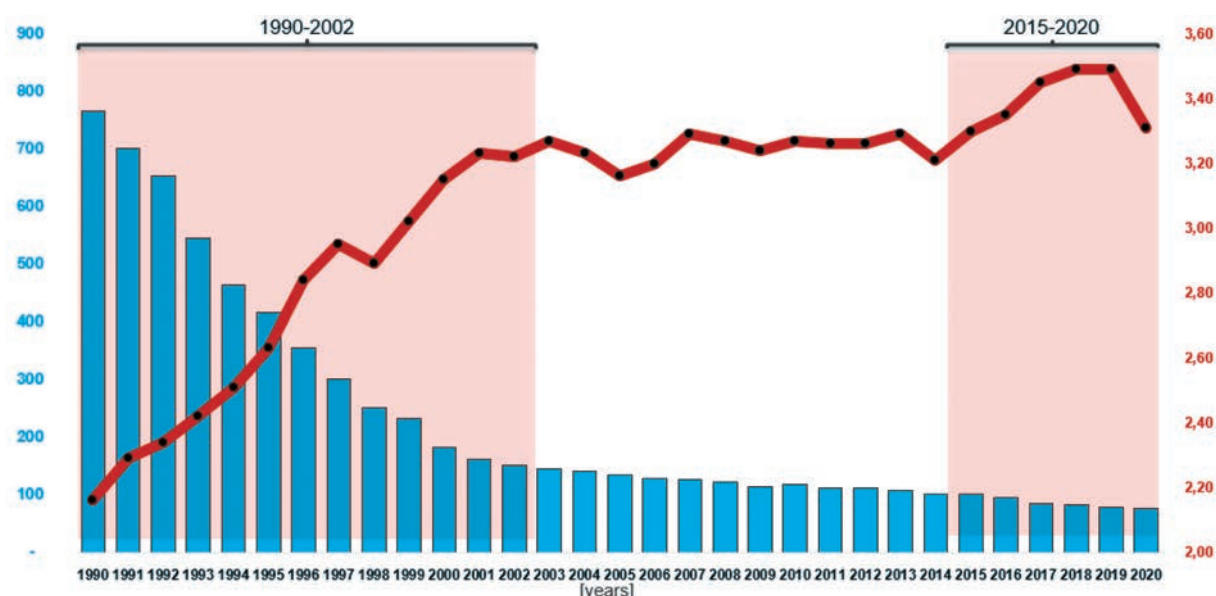


Fig. 2. The average daily number of active longwalls and working shifts availability in 1990–2019 and 2020 [4]

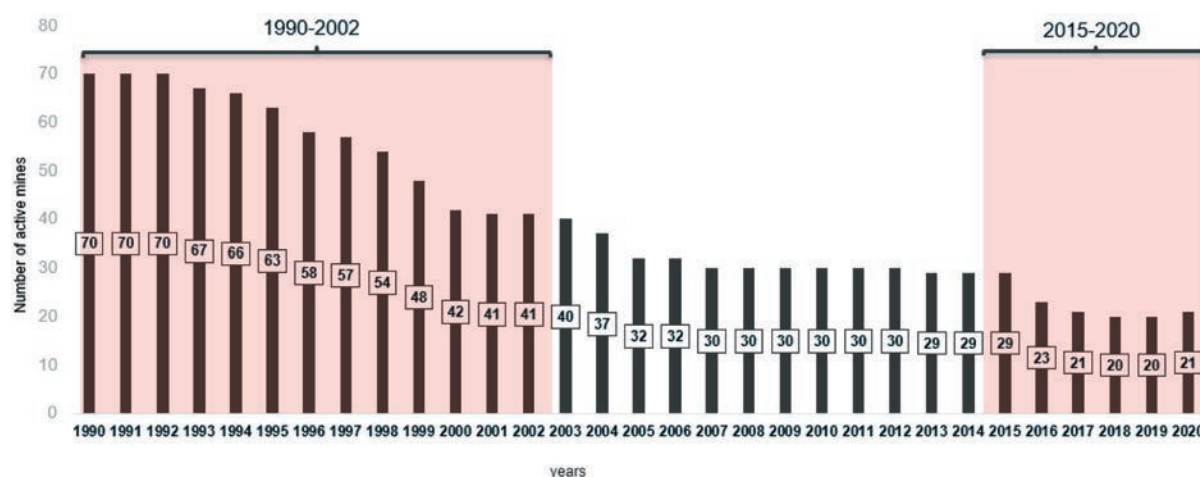


Fig. 3. Number of active mines in 1990–2020 (as of the end of the year) [3, 4]

Such changes were taking place within the whole economy, while at the same time the financial results achieved indicate that the changes were not sufficient, which may be associated with the difficulty of forecasting demand for coal on the domestic market, as well as high resistance of trade unions with regards to the changes introduced. The state aid granted in the form of subsidies and annulments was also insufficient and amounted to PLN 2.150 billion (own data of the Katowice Branch of the IDA (JSC)).

2.2. Period from 1993 to 1998

Employment (Fig. 1) during this period decreased from 311,300 to 207,900 (i.e. by 33.3%), the number of longwalls (Fig. 2) decreased from 545 in 1993 to 252 in 1998 (i.e. by 53.8%). Within this period

13 mines were put into liquidation (Fig. 3), with 67 mines in 1993 and 54 mines in 1998. Coal production (Fig. 4) after an increasing trend until 1997 (where it reached 137.1 million tons) dropped in 1998 to 116 million tons, productivity per worker (Fig. 5) increased from 407 tonnes/year in 1993 to 516 tonnes/year in 1998, with the highest productivity in that period recorded in 1997 at 561 tonnes/year. The shift availability of active longwalls increased (Fig. 2) from 2.42 at the beginning of the period to 2.89 in 1998.

Investment expenditure (Fig. 6) rose to PLN 836 million in 1998, with PLN 503 million spent on mining equipment, stocks (Fig. 7) increased from 700,000 tonnes to 3.5 million tonnes, exports (Fig. 8) fluctuated between 24.5 and 32.3 million tonnes over the period, with imports (Fig. 8) rising from 1.0 million tonnes in 1993 to 4.0 million tonnes in 1998.

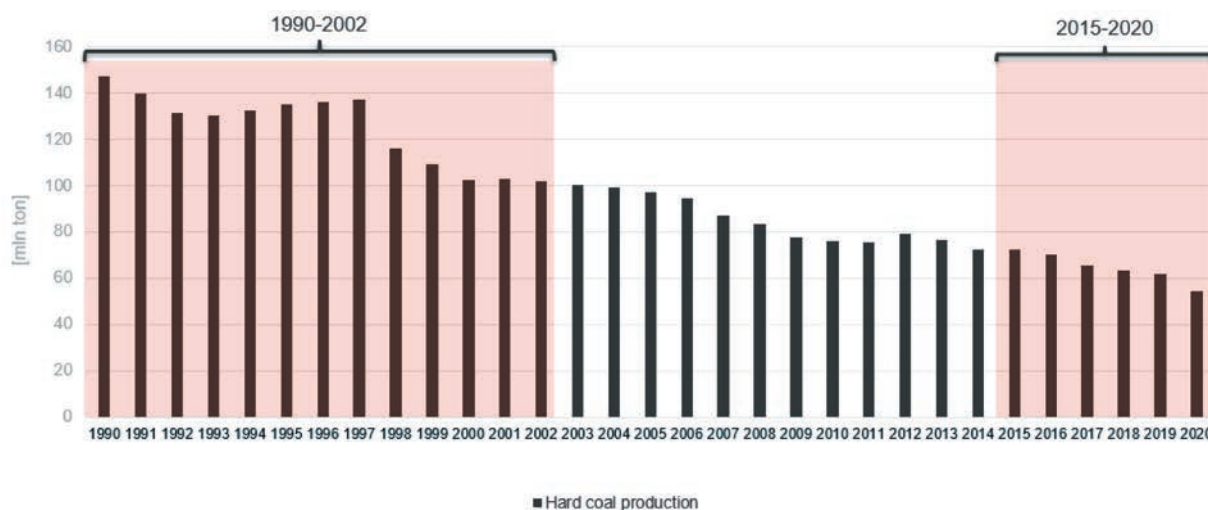


Fig. 4. Hard coal production in 1990–2020 [1, 2]

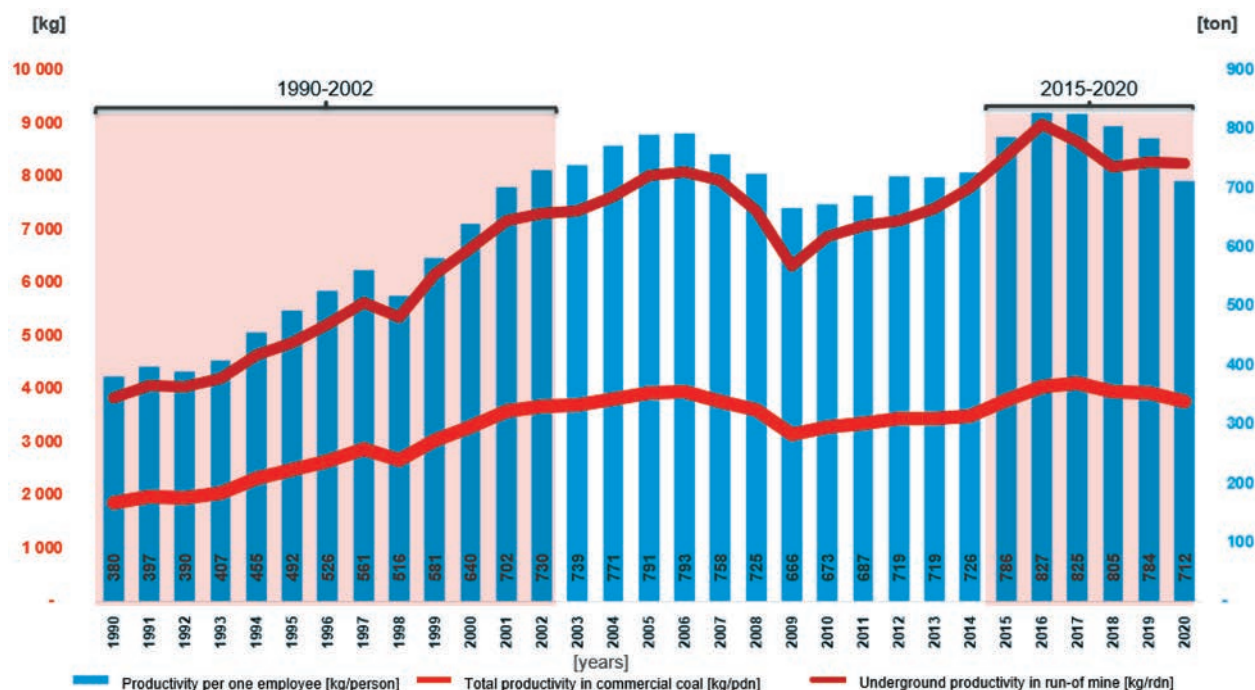


Fig. 5. Productivity in 1990–2020 [1, 2]

Over the whole period we can observe the growth of liabilities (Fig. 10) to the level of about PLN 16.52 billion in 1998, receivables (Fig. 10) grew more slowly, thus the balance of liabilities to receivables amounted to about PLN 13.21 billion in 1998. The net financial result (Fig. 11) was negative throughout the whole period, reaching the amount of PLN 4.27 billion in 1998. The changes which were taking place in the mining industry in that period were still of a transformational nature, and the state aid measures taken (state aid in that period amounted to PLN 6.11 billion – own data of the Industry Development Agency JSC (IDA) Katowice Branch) only mitigated the growing difficulties, but did not solve them. Neither did price compe-

tition and export barriers removal did not solve the problem (coal prices in 1998 were 10 times higher than in 1990 – Industry Development Agency JSC (IDA) Katowice Branch – Fig. 9). It seems that this situation was caused by the lack of stabilisation of the whole economy, which, in our opinion, was still in the period of transformation, and caused difficulties in balancing the demand for coal.

2.3. Period from 1998 to 2002

Another mining restructuring programme was implemented in 1998, as a result of which 13 mines were put into liquidation (Fig. 3) (1998 – 54 mines 2002 –

41 mines); the number of active longwalls (Fig. 2) fell from 252 to 151, i.e., by 40.1%, the shift availability of active longwalls (Fig. 2) rose to 3.1, in 1999 it exceeded 3. The number of active longwalls (Fig. 2) decreased from 252 to 151 longwalls, i.e. by 40.1%, the number of shifts (Fig. 2) at longwalls increased to 3.1, exceeding 3 in 1999; coal output (Fig. 4) decreased from 116 million tons to 102.1 million tons, i.e. by 12%; productivity per worker (Fig. 5) increased from 516 tons/year in 1998 to 730 tons/year in 2002, i.e. by 41.3% coal export (Fig. 8) decreased from 27.7 million tons in 1998 to 23 million tons in 2002; throughout the entire period the advantage of coal export over import remained above 20 million tons/year. Coal prices between 1998 and 2002 fluctuated from – 3.1% to +17.2% with respect to 1998 (Industry Development Agency JSC (IDA) Katowice Branch – Fig. 9).

Liabilities grew throughout this period, reaching over PLN 22.846 billion in 2002, while the balance of liabil-

ities and receivables exceeded PLN 20.3 billion, and the net financial result (Fig. 11) was positive for the first time in this period in 2001 (PLN (+)182.1 million), but in 2002 it amounted to PLN (–)656.8 million. Investment expenditure (Fig. 6) reached their maximum in 2001 and amounted to PLN 1.1 billion, whereas in the whole period PLN 2.664 billion was spent on the purchase of mining equipment. The changes that took place in the years 1998–2002 were transformational changes, which is evidenced by its scale and continuous character throughout the whole period, i.e., 1990–2002. State aid in that period amounted to PLN 8.2 billion (own data of the Industry Development Agency JSC (IDA) Katowice Branch). The aid was insufficient to restore the mining industry financially and get it out of debt and nor did the changes which were carried out lead the mining industry to economically effective functioning in conditions of a market economy.

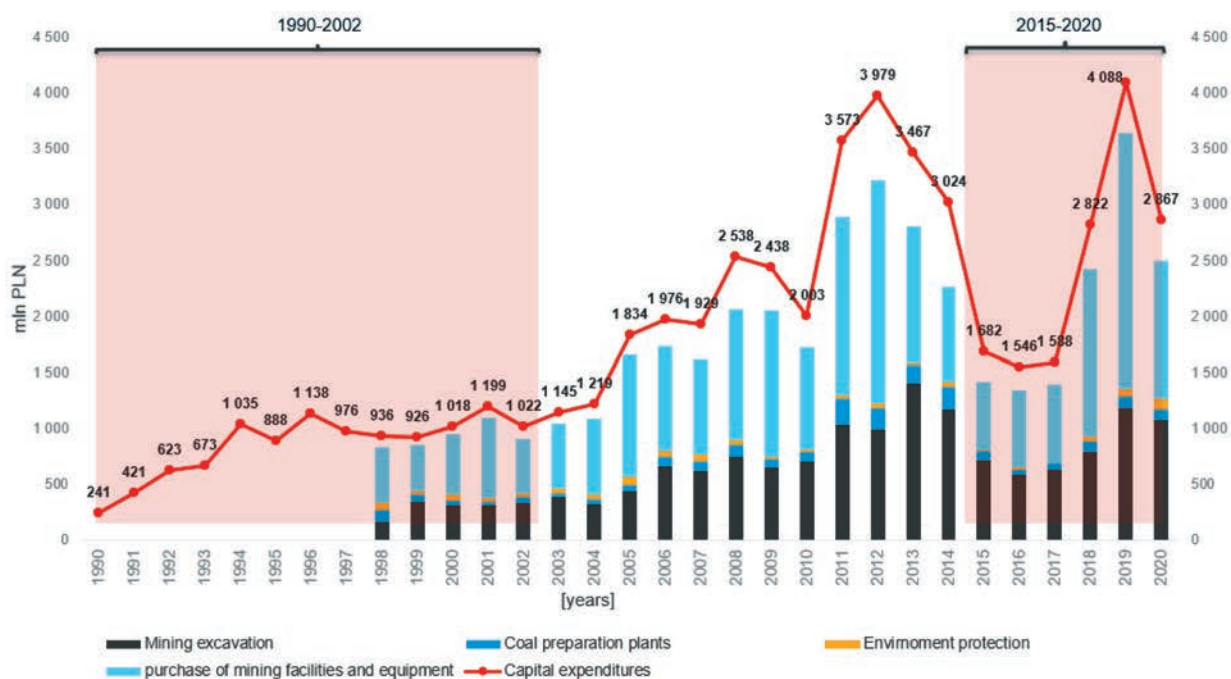


Fig. 6. Investment expenditures 1990–2020 [1, 2]

3. THE PERIOD FROM 2003–2014

The hard coal mining reform was implemented in 2003, as a result of which coal mining companies (with the exception of JSW S.A.) were put into liquidation and Kompania Węglowa S.A. was established in their place. About PLN 18.1 billion of liabilities were annulled, repayments of another PLN 2.6 billion were postponed, and the Kompania Węglowa was recapitalised by means of an additional income

of PLN 952 million (in total, state aid in 2003 amounted to PLN 22.687 billion). By 2005, 9 hard coal mines were completely closed (from 41 in 2002 to 32 in 2005, see Figure 3), employment (Fig. 1) was reduced from 140.7 thousand people in 2002 to 123.4 thousand people in 2005. These measures enabled the mining industry to operate within free market economy conditions.

After 2005, 3 mines were closed by 2014 (Fig. 3), the number of active longwalls (Fig. 2) decreased by 41

(140 in 2004 to 103 in 2014, i.e. by 26.5%), the number of shift availability of active longwalls (Fig. 2) fluctuated above 3.2 throughout the period, employment (Fig. 1) decreased from 127.1 thousand people to 100.6 thousand people. The mining output (Fig. 4)

decreased from 99.2 million tonnes in 2004 to 72.5 million tonnes in 2014, i.e. 27.0%, productivity (Fig. 5) per employee in 2014 was 726 tonnes/year and only between 2009 and 2011 was it below 700 tonnes/year per employee.

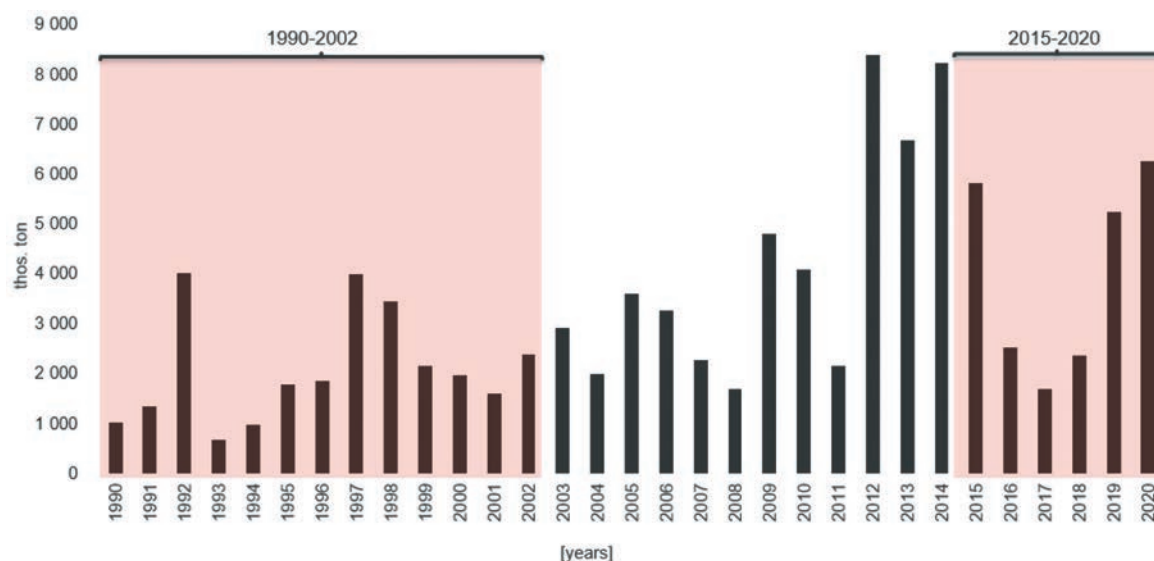


Fig. 7. The coal stocks in 1990–2020 [1, 2]

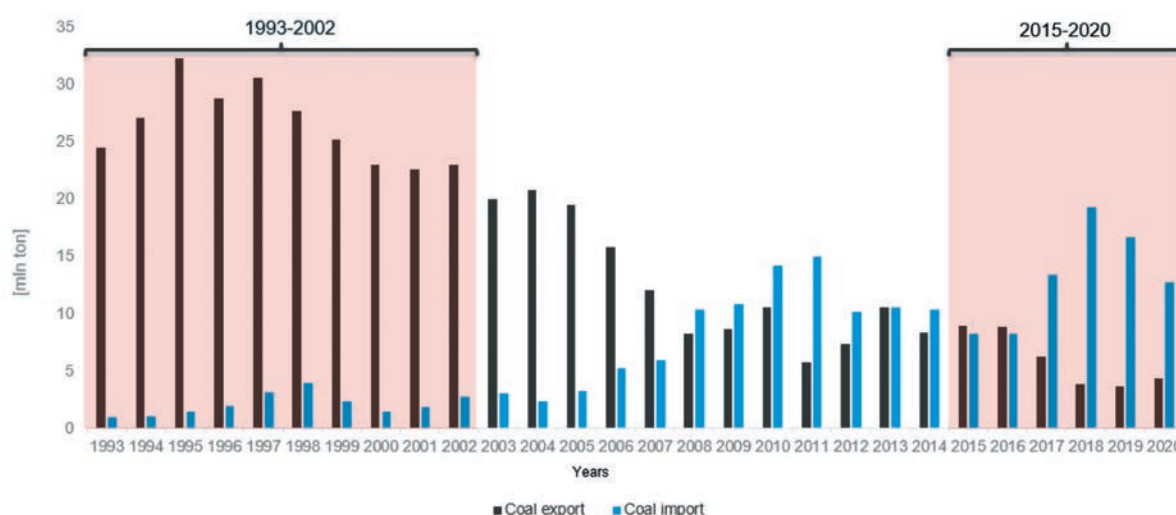


Fig. 8. Export and import of hard coal in 1993–2020 [3]¹

Export of coal (Fig. 8) in 2004 amounted to 20.8 million tonnes. In following years, the export volume decreased to 8.3 million in 2008, while imports (Fig. 8) increased steadily from 2.3 million tonnes in 2004 to 10.3 million tonnes in 2008. In 2008, for the first time in the history of the post-war Polish mining industry, imports exceeded exports (2.0 million tonnes), in the

following years until 2012, coal imports to Poland were higher than its exports, with imports reaching their highest level for that period at 15.0 million tonnes in 2011, with exports at 5.8 million tonnes. In 2013, exports slightly exceeded imports (by 100,000 tonnes) and 2014 ended with imports of 10.3 million tonnes against exports of 8.4 million tonnes.

¹ In 1993, an import volume of approximately 1 million tonnes was assumed (this value corresponds to the figure quoted in the literature), e.g. Stala-Szlugaj K., *Import węgla kamiennego do Polski*. Przegląd Górniczy 2014, 5: 32–38. Export data: “Report on trade in hard coal” (G-09.1); data on imports: years 1994–2001 Biuletyn Górniczy GIPH 2006, 3–4 (129–130); years 2002–2020 (I–XI) compiled at IDA JSC Katowice Branch according to data of the Tax Administration Chamber in Warsaw.

Coal stocks (Fig. 7) in 2014 amounted to 8.2 million tonnes in 2012, 2013 and 2014 saw the highest coal stocks since the beginning of 1990. Coal prices, after a period of stabilisation between 2004 and 2007, in-

creased in 2008 by 34% compared to 2007 and in 2012 increased by 78.55 PLN/t compared to 2007. Afterwards they started to in 2013 fall and in 2014 reached 278.74 PLN/t (Fig. 9).

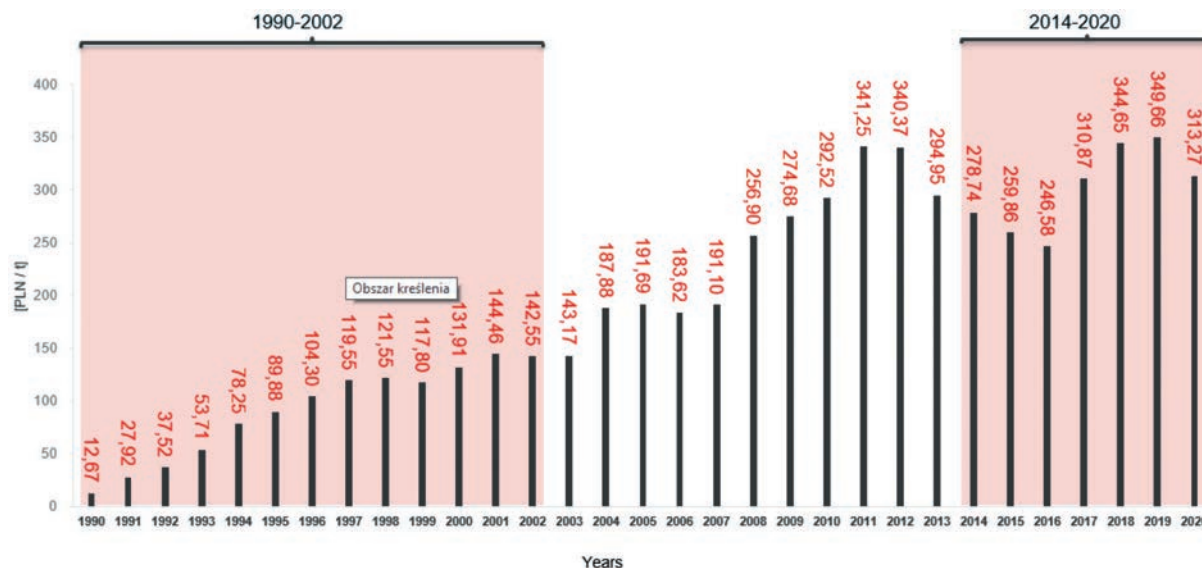


Fig. 9. Coal sale prices in 1990–2020 [1, 2]

According to the authors, a systematic increase in coal imports accompanied by a decrease in coal exports and an unprecedented growth in coal reserves indicates a systematic decrease in the competitiveness of Polish coal, both on the domestic market and on third markets. Investment expenditures (Fig. 6) have been steadily increasing until 2012, reaching PLN 3.2 billion in 2013. In 2004–2014, the coal mining industry spent PLN 10.493 billion on the purchase of mining equipment (Fig. 6). Liabilities until 2007 were decreasing with simultaneous decrease of receivables. The balance of liabilities to receivables (Fig. 10) in 2007 amounted to PLN 5.18 billion, starting from 2008 liabilities were increasing reaching in 2014 the amount of PLN 15.5 billion, in 2014 the balance of liabilities to receivables amounted to PLN 12.729 billion. The net financial result (Fig. 11) in 2003–2012 was positive, in 2013 it decreased to PLN (–)406.7 million and in 2014 to PLN (–)2.2 billion. Summarising the years 2003–2014, it should be stated that the reform undertaken in 2003 allowed the mining industry to operate on the hard coal market. The main feature of a market economy is constant adaptation to the situation on the market. After 2007, such actions were conspicuously absent in the mining industry. Despite the increase in liabilities (Fig. 9), the sudden collapse of the stock exchange and the related crisis in 2008 and 2009, saw insufficient action being taken to halt the accumulation of

liabilities and the loss of competitiveness. As a consequence, the rapid accumulation of liabilities and the deteriorating financial results led the mining industry to a crisis situation in which corrective measures became necessary and which were taken and implemented at the beginning of 2015.

4. THE PERIOD FROM 2015–2019

In 2015, another recovery programme for the hard coal mining sector was implemented, at the same time starting work on the Programme for the Hard Coal Mining Sector in Poland, which was adopted by the Council of Ministers in January of 2018. The programme included, among others, the takeover by Spółka Restrukturyzacji Kopalń S.A. of mines which will be put into liquidation by the end of 2018. In total, 9 mines (Fig. 3) were put into liquidation, which represented 31.1% of active ones (2015 – 29 mines, 2018 – 20 mines), the number of longwalls (Fig. 2) decreased from 102 in 2015 to 75 in 2019, i.e. by 26.5%, the shift availability of active longwalls (Fig. 2) increased from 3.3 in 2015 to 3.5 in 2019, hard coal production (Fig. 4) decreased from 72.2 million tonnes in 2015 to 61.6 million tonnes in 2019 i.e. by 14.7%. From 2015 to 2016, we recorded a surplus of exports over imports (Fig. 8) (about 1.0 million tonnes per year), while from 2017 onwards we recorded

a sharp increase in imports, with 2018 and 2019 recording the highest coal imports to Poland since 1990 at 19.3 and 16.7 million tonnes respectively. The surplus of imports over exports in 2017; 2018 and 2019 was 7.1 million tonnes; 15.4 million tonnes and 13.0 million tonnes respectively. Hard coal stocks (Fig. 7) decreased from 5.8 million tonnes in 2015 to 1.7 million in 2017 after which they started to increase reaching a level above 5.2 million tonnes in 2019. Coal prices after decreasing in 2015, 2016 (2015 – 259.86 PLN/t, 2016 – 246.5 PLN/t respectively started to increase to reach 349.66 PLN/t in 2019 (Fig. 9). Liabilities (Fig. 10) initially decreased from the level of PLN 15.182 billion in 2015 to the level of PLN 11.854 billion and the balance of liabilities and receivables decreased from the level of PLN 12.752 billion in 2015 to PLN 8.029 billion in 2017. The next two years brought an increase in liabilities to the level of PLN 14.955 billion in 2019 and the balance of liabilities to receivables reached the level of PLN 12.814 billion. The net financial result (Fig. 11) improved until 2018 in which it amounted to PLN (+)918 million (in 2015 it amounted to PLN (–)4.5 billion), but in 2019 the net financial result of the mining industry was recorded at PLN (–)2.8 billion. According to the authors, after a short-lived improvement, starting from 2017 the mining industry has again lost its ability to compete in the market as evidenced by growing imports and coal stocks. Investment expenditures (Fig. 6), after a slight decrease in 2016 (by 73 million PLN compared to 2015), started to increase, reaching a level of 3.64 billion PLN in 2019, which has not been recorded since 1990. 3.5 billion PLN was allocated to the purchase of mining equip-

ment in 2015 to 2019 and the total expenditures in 2015 to 2019 amounted to 10.22 billion PLN.

5. 2020

In the period under discussion, 2020 deserves special attention and thus we have chosen to discuss it separately. In 2020, the number of mines and the number of longwalls did not change and employment decreased by only 4% despite the deteriorating situation in hard coal mining. In 2020, there was a decline in coal production by 11.7% compared to 2019 to 54.4 million tonnes, capital expenditures were reduced to PLN 2.867 billion while in 2019 they were PLN – 4.088 billion. There was an increase in coal stocks to 6.2 million tonnes while coal imports fell to 12.8 million tonnes from 16.7 million tonnes in 2019 and exports increased slightly to 4.4 million tonnes. Simultaneously further increase in liabilities has took place, receivables decreased slightly and with that the balance of liabilities and receivables increased. The net financial result amounted to (–)6.465 billion PLN and fell to the lowest level in years.

2020 saw another crisis in the world, this time caused by the COVID-19 epidemic. The demand for coal fell sharply and in Poland, the accumulated stocks of this fuel additionally did not support the demand for coal, thus the investment effort made between 2015 and 2019 could not bring results in the form of lowering the cost of mined coal. In 2020, Poland signed and adopted the EU climate policy, which assumes that European Union countries will achieve neutrality in terms of CO₂ emissions by the year 2050.

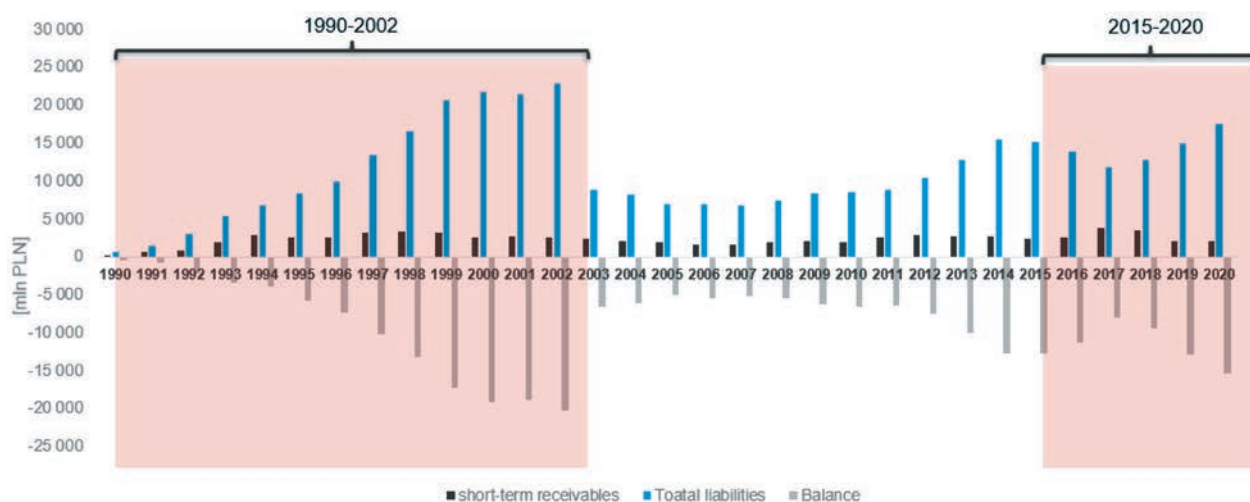


Fig. 10. Liabilities, receivables and the balance of liabilities and receivables in the years 1990–2020 [1, 2]

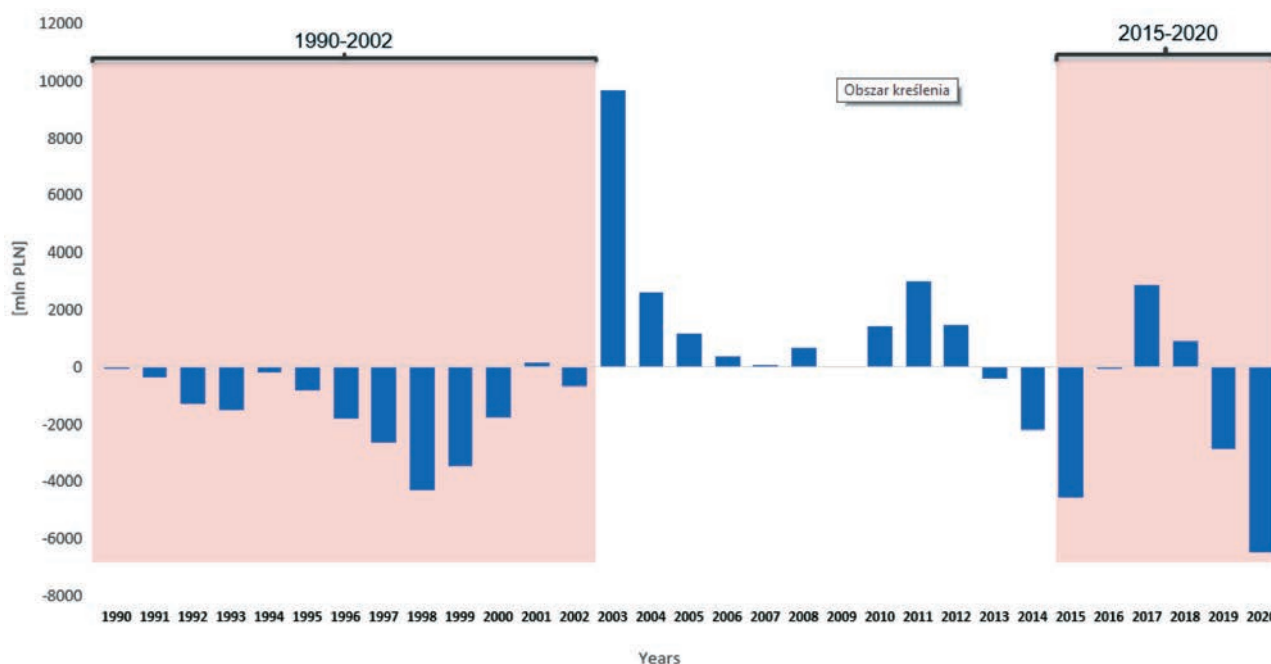


Fig. 11. Net financial result in 1990–2020 [1, 2]

In the second half of 2020, as a result of the dramatically deteriorating situation of the hard coal mining industry, the government started talks with trade unions operating in the hard coal mining sector regarding further developments of the mining industry. As a result of these talks, a plan was adopted for the closure of all mines by 2049, with the exception of Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. and KWK Bogdan-ka S.A. A draft of the Polish Energy Policy until 2040 was presented at the end of 2020, which envisages the abandonment of coal-based energy (including hard coal and lignite) in the energy sector.

References

- [1] Data 1990–2002 come from own studies of the State Agency for Mining Restructuring S.A. (currently held by Industry Development Agency JSC (IDA) ARP S.A. Katowice Branch).

- [2] Data 2003–2020 come from own studies of Industry Development Agency JSC (IDA) – Katowice Branch.
 [3] Paszcza H.: *Restrukturyzacja górnictwa węgla kamiennego – historia, teraźniejszość i przesłanki na przyszłość*. Agencja Rozwoju Przemysłu S.A. Oddział w Katowicach, IGSMiE PAN, Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2017.
 [4] *Monitoring procesów związanych z funkcjonowaniem górnictwa węgla kamiennego. Część 2: Wyniki działalności gospodarczej przedsiębiorstw górniczych*. Agencja Rozwoju Przemysłu S.A. Oddział w Katowicach.
 [5] Stala-Szlugaj K., *Import węgla kamiennego do Polski*. Przegląd Górniczy, 2014, 5: 32–38.

MIROSŁAW SKIBSKI, M.Sc.
 KAROL OSADNIK, M.Sc., Eng.
 MAGDALENA BIAŁAS, M.Sc.
 Agencja Rozwoju Przemysłu S.A.

Oddział w Katowicach
 ul. Mikołowska 100, 40-065 Katowice, Poland
 {miroslaw.skibski, magdalena.bialas}@katowice.arp.pl

MIROSŁAW SKIBSKI
KAROL OSADNIK
MAGDALENA BIAŁAS

Górnictwo węgla kamiennego w Polsce w latach 1990–2020

W artykule zanalizowano zmiany zachodzące w górnictwie węgla kamiennego od 1990 roku, tj. od czasu odejścia od gospodarki w systemie centralnego planowania i przejścia do gospodarki rynkowej. W artykule wyszczególniono okresy: transformacji gospodarczej i wysoką dynamikę zmian w sektorze górnictwa, jakie w tym okresie zachodziły (lata 1990–2002), proces ten w górnictwie zamknęła reforma górnictwa przeprowadzona w 2003 roku, okres stabilizacji w górnictwie po reformie 2003 roku oraz obraz górnictwa po roku 2015.

Słowa kluczowe: transformacja gospodarcza, reforma górnictwa, restrukturyzacja zatrudnienia, likwidacja kopalń, eksport, import

1. WSTĘP

W minionych trzydziestu latach w polskim górnictwie węgla kamiennego wielokrotnie podejmowano próby jego naprawy, sanacji, reformy. Początkowo autorzy zamierzali nadać niniejszemu artykułowi tytuł: *Górnictwo polskie w latach 1990–2020 od kryzysu do kryzysu*, niemniej po zastanowieniu doszliśmy do wniosku, że nie można rozpatrywać górnictwa węglowego jako wyizolowanej z całości gałęzi gospodarki. W latach dziewięćdziesiątych XX wieku gospodarka polska ulegała transformacji z gospodarki scentralizowanej w gospodarkę rynkową. Z toczących się w tamtych latach procesów gospodarczych wyodrębniliśmy te, które naszym zdaniem miały wpływ na sytuację górnictwa węglowego:

- duże spadki produkcji na skutek otwarcia rynku na produkty z importu,
- szybkie tempo zmniejszania energochłonności gospodarki,
- likwidacja dużych gospodarstw rolnych (PGR-ów),
- zmniejszanie zapotrzebowania na ciepło systemowe w wyniku olicznikowania mieszkań i zwiększenia tempa termoizolacji budynków,
- upadłość wielu przedsiębiorstw,
- ubóstwo energetyczne znacznej części społeczeństwa,
- ingerencja państwa w eksport węgla oraz ustalenie cen węgla przez państwo w latach do 1990 roku do lipca 1992 roku.

Proponujemy spojrzeć na minione trzydziestolecie w następującej kolejności:

- 1) lata 1990–2002 (lata transformacji gospodarki) z uwzględnieniem podejmowanych przez kolejne rządy działań wobec górnictwa węglowego [1],
- 2) lata 2003–2014 [2],
- 3) lata 2015–2019 [2],
- 4) rok 2020 i stan górnictwa w okresie jego stopniowego wygaszania.

Prezentowane w artykule dane pochodzą z zasobów własnych ARP S.A. Oddział w Katowicach i zostały zestawione w prezentowanych rysunkach na potrzeby niniejszego artykułu.

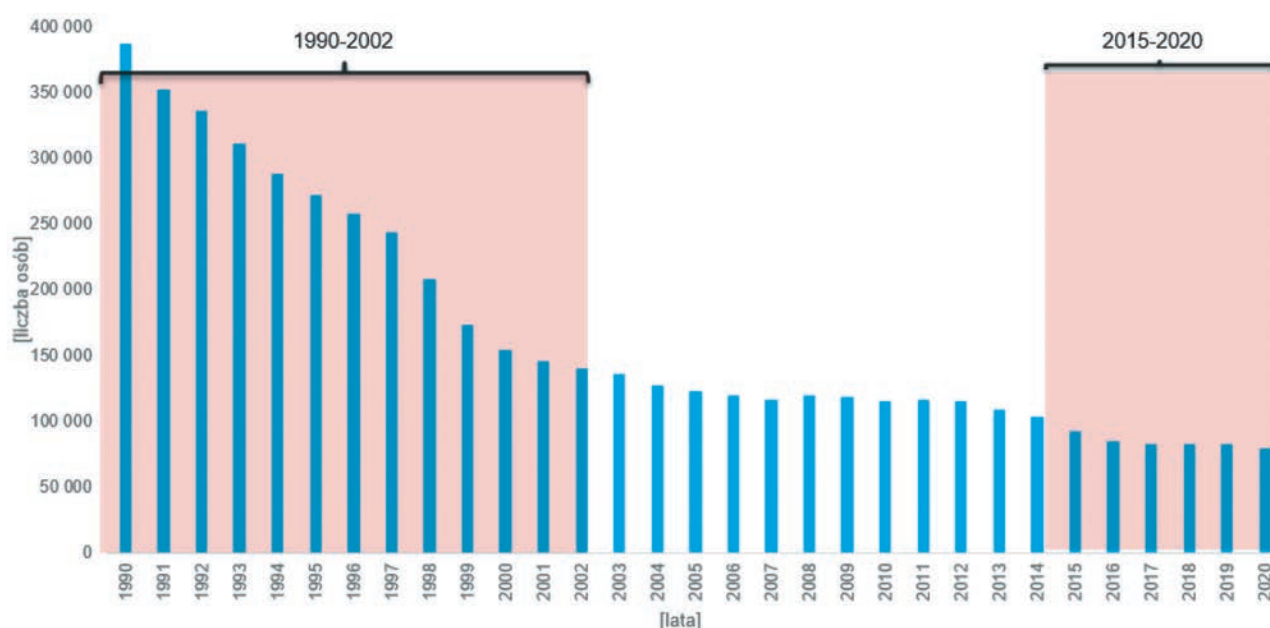
2. LATA 1990–2002

W tym okresie powołano Wspólnotę Węgla Kamiennego, rozwiązano Przedsiębiorstwa Eksploatacji Węgla (PEW), kopalnie w 1991 roku uzyskały swobodę działalności gospodarczej, w 1993 roku powołano Katowicki Holding Węglowy S.A. oraz Spółki Węglowe (6 spółek). W latach 1993, 1995, 1998 podejmowano bez powodzenia próby reformy górnictwa, tak by umożliwić mu funkcjonowanie w warunkach gospodarki rynkowej (dotacje budżetowe i umorzenia – w sumie w latach 1990–2002 pomoc państwa wyniosła 16,5 mld zł, z tego 11,1 mld zł dotacji – dane ARP S.A.

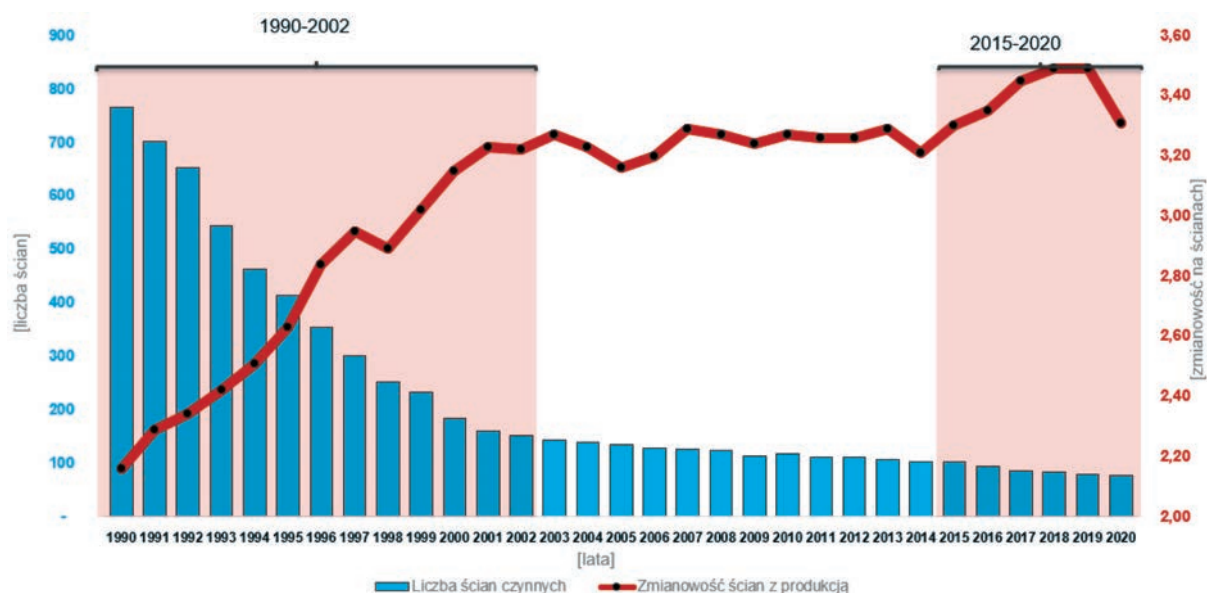
Oddział w Katowicach), z kolei ustalanie przez państwo cen węgla oraz ingerencja państwa w eksport węgla ograniczały swobodę funkcjonowania kopalń na rynku. Przypomnijmy: do grudnia 1990 roku obowiązywały ceny urzędowe, następnie ogłoszono odejście od cen urzędowych węgla kamiennego i wprowadzono obowiązek informowania urzędów skarbowych o podwyżkach cen węgla kamiennego, co trwało do lipca 1992 roku. W grudniu 1990 roku objęto węgiel kamienny ograniczeniami wywozowymi w postaci wymagania zezwoleń na każdy kontrakt. Taka sytuacja miała miejsce do lipca 1992 roku. W tym czasie w Polsce panowała hiperinflacja. Utrzymywanie cen na stałym poziomie mocno uderzało w górnictwo, a przecież konieczne były zakupy maszyn, urządzeń i usług itp., które realizowano po cenach rynkowych. Ograniczenia w eksporcie nie pozwalały kopalniom na realizację korzystnych kontraktów eksportowych. Lata 1990–2002 podzieliliśmy na trzy okresy, niemniej dotyczyły one czasu transformacji, więc w całości mieszczą się w cezurze lat 1990–2002.

2.1. Okres 1990–1993

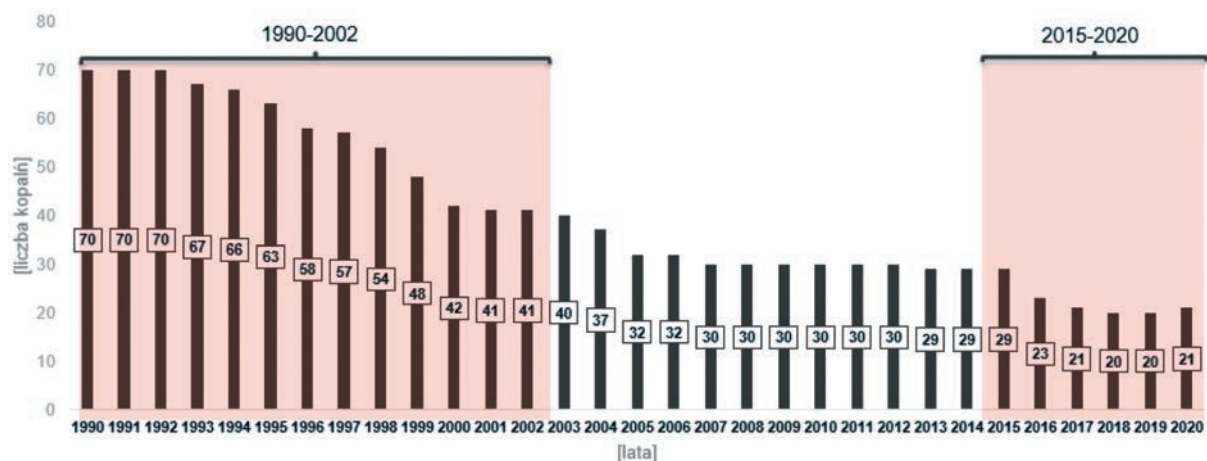
Od rozwiązania PEW do powołania Spółek Węglowych i Katowickiego Holdingu Węglowego S.A. zatrudnienie (rys. 1) zmniejszyło się z 387 900 tys. do 311 300 tys. a więc o 76 600 tys. osób (tj. 19,75%), zmniejszono liczbę ścian (rys. 2) o 221, co stanowiło procentowo redukcję o 28,9% ścian czynnych, w stan likwidacji postawiono trzy kopalnie (rys. 3), zmniejszono produkcję węgla (rys. 4) z 147,4 mln ton w roku 1990 do 130,2 mln ton w roku 1993, tj. o 12,1%, wydajność na jednego zatrudnionego (rys. 5) wzrosła z 380 do 407 ton/rok, wzrosła zmianowość na ścianach z 2,18 do 2,45 (rys. 2), nakłady inwestycyjne (rys. 6) wzrosły z 241 mln zł do 647 mln zł, a sumarycznie w tym okresie na inwestycje przeznaczono 1,958 mld zł (niestety nie mamy danych, na jakie konkretne cele przeznaczono środki inwestycyjne), zapasy węgla (rys. 7) wzrosły z około miliona ton w roku 1990 do 4 mln ton w roku 1992, po czym spadły do 700 tys. ton w roku 1993 (przypuszczamy, że ma to związek z powołaniem spółek węglowych i podpisaniem układów z wierzycielami. Wielu z nich, chcąc uniknąć redukcji wierzytelności, jakie przewidywał układ, zamieniało swoje wierzytelności na węgiel). Oddział ARP S.A. w Katowicach nie posiada danych o wielkości importu i eksportu węgla (rys. 8) w latach 1990–1992, przez cały okres od 1990 do 1993 roku obserwujemy większe tempo narastania zobowiązań od należności (rys. 10), a tym samym niekorzystne narastanie salda zobowiązań do należności w roku 1993 notujemy saldo na poziomie 3,465 mld zł. Przez cały ten okres wynik netto górnictwa (rys. 11) był ujemny, a w roku 1993 osiągnął poziom 1,5 mld zł. Trudno jest również ocenić, jaki wpływ na wynik netto górnictwa miały ograniczenia eksportu i wyznaczana przez rząd cena węgla, na ile wypłacona rekompensata pokryła straty górnictwa. Zmiany zachodzące w tym czasie miały charakter zmian transformacyjnych (duży spadek produkcji, koncentracja wydobywania, wysoki spadek zatrudnienia).



Rys. 1. Stan zatrudnienia w latach 1990–2020 [3]



Rys. 2. Średnia dzienna liczba ścian czynnych i zmianowość ścian z produkcją w latach 1990–2019 oraz w 2020 roku [4]



Rys. 3. Liczba kopalń czynnych z produkcją węgla w latach 1990–2020 (stan na koniec roku) [3, 4]

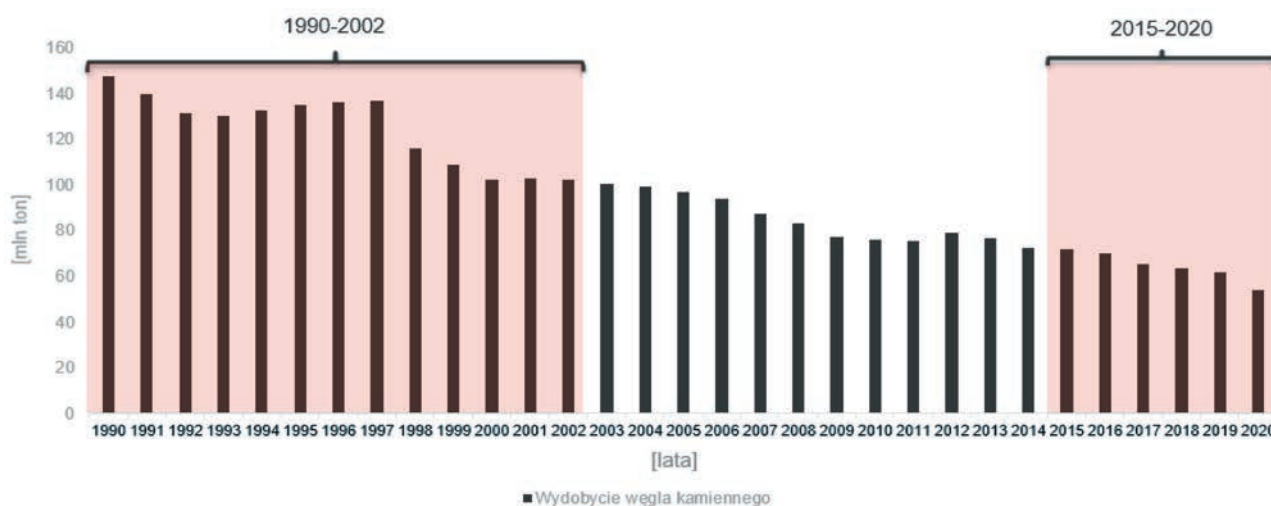
Tego typu zmiany przebiegały w całej gospodarce, jednocześnie osiągane wyniki finansowe wskazują, że zmiany nie były wystarczające, co może się wiązać z trudnością przewidywania zapotrzebowania na węgiel na rynku krajowym, jak również dużym oporem związków zawodowych przed wprowadzaniem zmianami. Udzielana pomoc państwa w postaci dotacji i umorzeń wynosząca 2,15 mld zł również okazała się niewystarczająca (dane własne ARP S.A. Oddział w Katowicach).

2.2. Okres 1993–1998

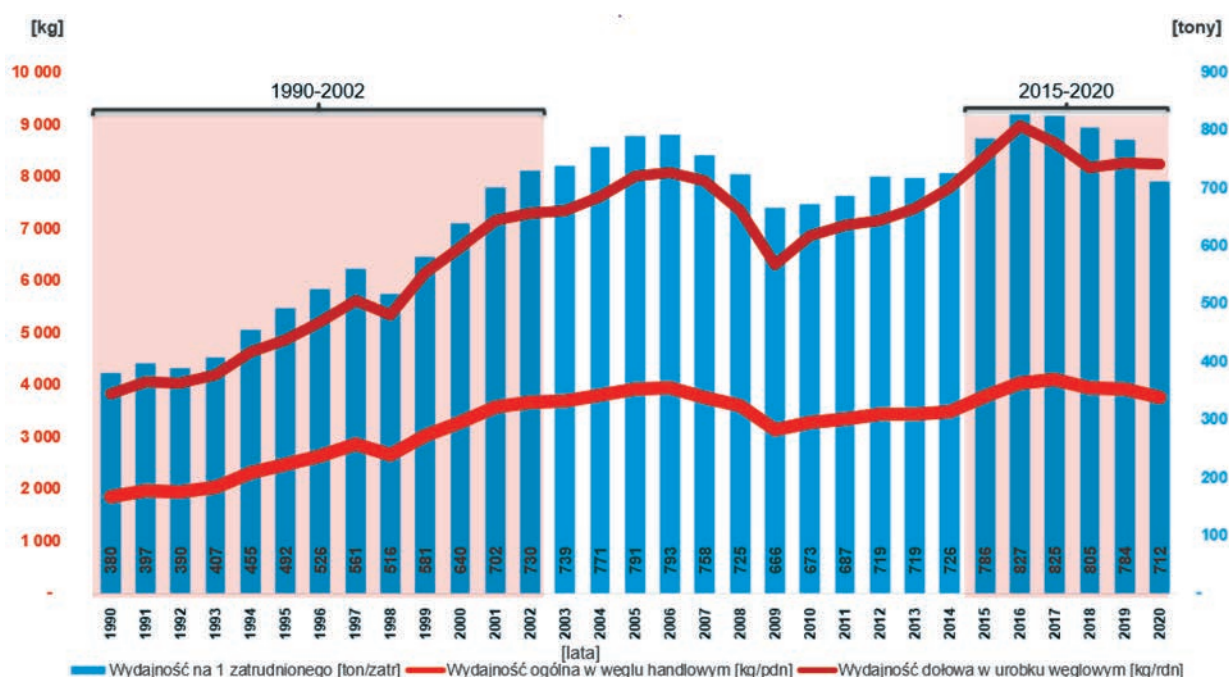
Zatrudnienie (rys. 1) w tym okresie zmniejszyło się z 311,3 tys. osób do 207,9 tys. osób (tj. o 33,3%), liczba ścian (rys. 2) zmniejszyła się do 545 w roku 1993 do 252 w roku 1998 (tj. o 53,8%), w stan likwidacji posta-

wiono 13 kopalń (rys. 3), 67 kopalń w 1993 roku, 54 kopalnie w roku 1998. Produkcja węgla (rys. 4) po cyklu wzrastającym do 1997 roku (gdzie osiągnęła poziom 137,1 mln ton) spadła w roku 1998 do poziomu 116 mln ton, wydajność na jednego zatrudnionego (rys. 5) wzrosła z 407 ton/rok w roku 1993 do 516 ton/rok w roku 1998, przy czym największą wydajność tego okresu zanotowano w 1997 roku w wysokości 561 ton/rok, wzrosła zmianowość na ścianach (rys. 2) z 2,42 na początku okresu do 2,89 w roku 1998.

Nakłady inwestycyjne (rys. 6) wzrosły do poziomu 836 mln zł w roku 1998, przy czym na maszyny i urządzenia przeznaczono 503 mln zł, zapasy (rys. 7) wzrosły z 700 tys. ton do 3,5 mln ton. Eksport (rys. 8) w tym okresie wahał się od 24,5 mln ton do 32,3 mln ton, przy czym w roku 1998 wyniósł 27,7 mln ton, import (rys. 8) wzrósł z 1,0 mln ton w roku 1993 do 4,0 mln ton w roku 1998.



Rys. 4. Produkcja węgla w latach 1990–2020 [1, 2]



Rys. 5. Wydajność pracy w latach 1990–2020 [1, 2]

Przez cały okres obserwujemy narastanie zobowiązań (rys. 10) do poziomu około 16,524 mld zł w 1998 roku, należności (rys. 10) narastały wolniej, tym samym saldo zobowiązań do należności wyniosło w roku 1998 około 13,218 mld zł. Wynik finansowy netto (rys. 11) przez cały okres był ujemny, by w roku 1998 osiągnąć kwotę (–)4,27 mld zł. Zmiany, jakie w tym okresie zachodziły w górnictwie, miały ciągle charakter transformacyjny, a podjęte przez państwo działania pomocowe (pomoc państwa w tym okresie wyniosła 6,109 mld zł – dane własne ARP S.A. Oddział w Katowicach) jedynie łagodziły narastające trudności, lecz ich nie rozwiązywały. Również uwolnienie cen i barier eksportu nie zlikwidowało problemu (ceny węgla

w roku 1998 były 10-krotnie wyższe niż w roku 1990 – dane ARP S.A. Oddział w Katowicach, rys. 9). Wydaje się, że przyczyną takiej sytuacji był brak stabilizacji całej gospodarki, która naszym zdaniem była ciągle w okresie transformacji, co powodowało trudności w zbilansowaniu zapotrzebowania na węgiel.

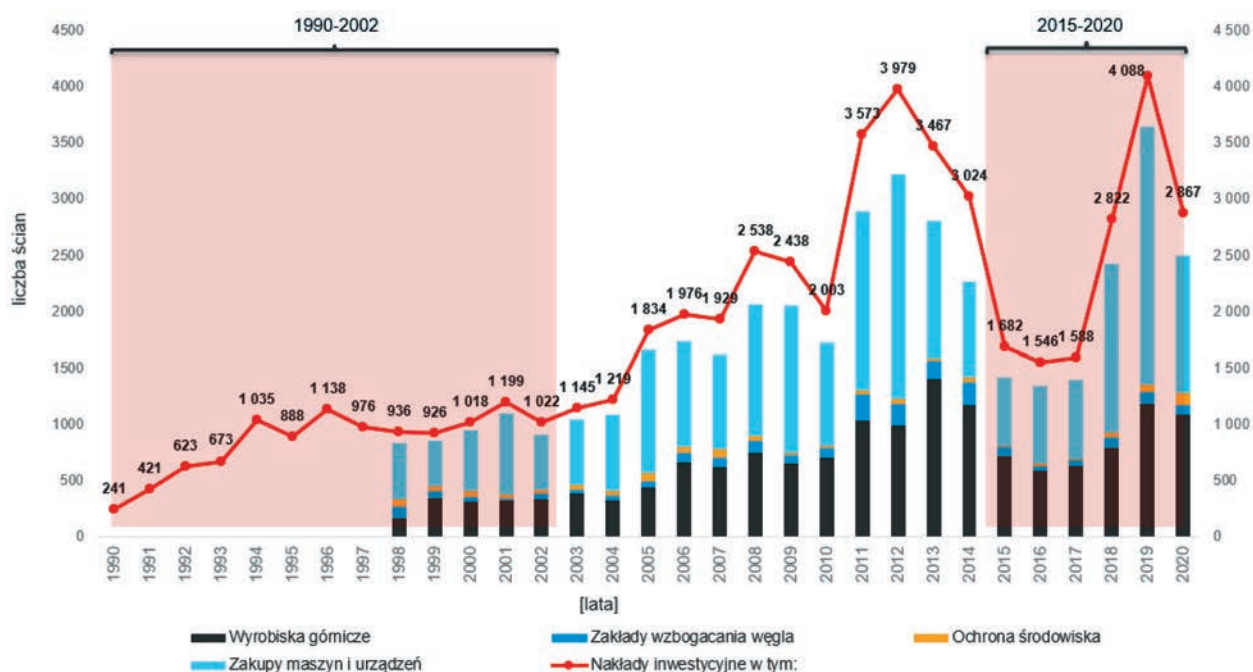
2.3. Okres 1998–2002

W roku 1998 wdrożono kolejny program restrukturyzacji górnictwa, w wyniku którego postawiono w stan likwidacji (rys. 3) 13 kopalń (1998 – 54 kopalnie, 2002 – 41 kopalń), liczba ścian czynnych (rys. 2)

spadła z 252 do 151, tj. o 40,1%, zmianowość (rys. 2) na ścianach wzrosła do poziomu 3,1, w 1999 roku przekroczyła poziom 3; wydobywanie węgla (rys. 4) spadło z 116 mln ton do 102,1 mln ton, tj. o 12%, wydajność na jednego zatrudnionego (rys. 5) wzrosła z 516 ton/rok w 1998 roku do 730 ton/rok w roku 2002, tj. o 41,3%, eksport węgla (rys. 8) spadł z 27,7 mln ton w 1998 roku do 23 mln ton w roku 2002 – przez cały okres przewaga eksportu węgla nad importem utrzymywała się na poziomie powyżej 20 mln ton rocznie. Ceny węgla pomiędzy rokiem 1998 a 2002 zmieniały się od (–)3,1% do (+)17,2% w odniesieniu do roku 1998 (dane ARP S.A. Oddział w Katowicach, rys. 9).

Zobowiązania (rys. 10) przez cały okres narastały, osiągając w 2002 roku poziom ponad 22,846 mld zł, a saldo zobowiązań i należności przekroczyło kwotę

20,3 mld zł, wynik finansowy netto (rys. 11) po raz pierwszy w omawianym okresie w roku 2001 był dodatni: (+)182,1 mln zł, lecz w roku 2002 wyniósł (–)656,8 mln zł. Nakłady inwestycyjne (rys. 6) osiągnęły maximum w roku 2001 i wyniosły 1,1 mld zł, w całym okresie na zakup maszyn i urządzeń wydano 2,664 mld zł. Zmiany, jakie przebiegały w latach 1998–2002, miały charakter zmian transformacyjnych, o czym świadczy skala zmian i jej ciągły charakter przez cały okres 1990–2002. Pomoc państwa w tym okresie wyniosła 8,2 mld zł (dane własne ARP S.A. Oddział w Katowicach). Pomoc nie była wystarczająca, by wyprowadzić górnictwo z pętli zadłużenia. Również przeprowadzone zmiany nie doprowadziły górnictwa do możliwości funkcjonowania w warunkach gospodarki rynkowej.



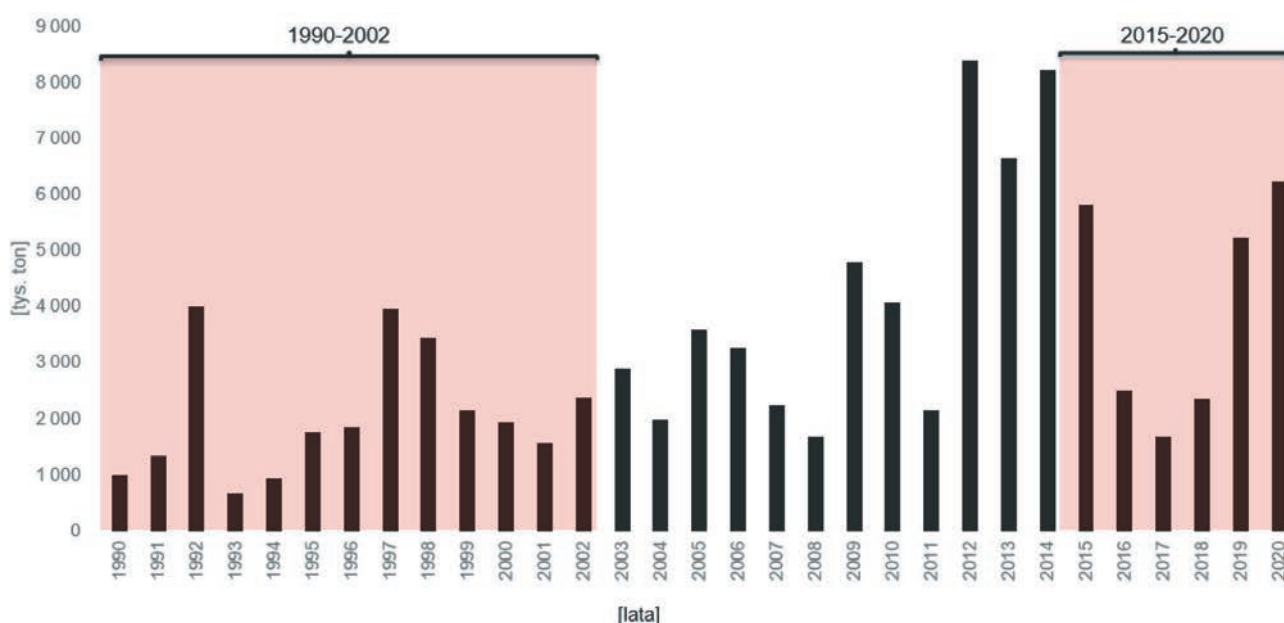
Rys. 6. Nakłady inwestycyjne w latach 1990–2020 [1, 2]

3. LATA 2003–2014

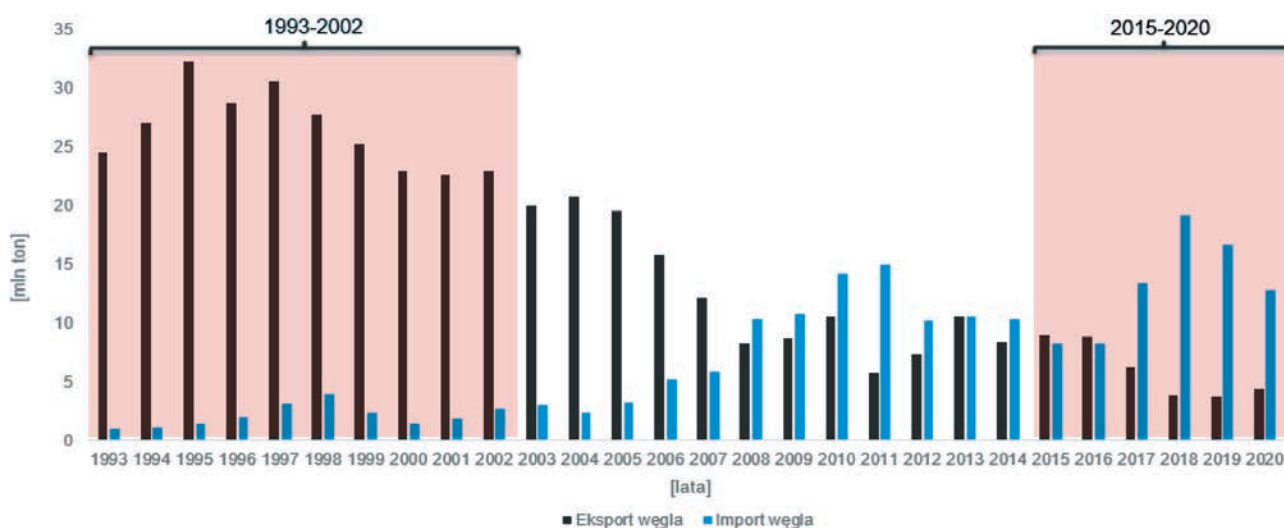
W wyniku podjętej w 2003 roku reformy górnictwa węgla kamiennego postawiono w stan likwidacji spółki węglowe (z wyjątkiem JSW S.A.) i powołano na ich miejsce Kompanię Węglową S.A. Umorzono około 18,1 mld zł zobowiązań, odroczone spłaty kolejnych 2,6 mld zł oraz dokapitalizowano Kompanię Węglową w wysokości 952 mln zł (w sumie pomoc państwa w roku 2003 wyniosła 22,687 mld zł). Do roku 2005 zlikwidowano 9 kopalń węgla kamiennego (z 41 w 2002 do 32 w 2005 roku – patrz rys. 3), zatrudnienie (rys. 1) obniżono z 140,7 tys. osób w 2002 roku do 123,4 tys. osób

w roku 2005. Działania te umożliwiły funkcjonowanie górnictwa w warunkach gospodarki rynkowej.

Po roku 2005 do roku 2014 zamknięto trzy kopalnie (rys. 3), liczba ścian czynnych (rys. 2) zmniejszyła się o 41 (ze 140 w 2004 do 103 w 2014 roku, tj. o 26,5%), zmianowość na ścianach (rys. 2) w całym okresie oscylowała powyżej 3,2, zatrudnienie (rys. 1) spadło z 127,1 tys. osób do 100,6 tys. osób, tj. 20,9%, wydobywanie (rys. 4) spadło z 99,2 mln ton w roku 2004 do 72,5 mln ton w roku 2014, tj. 27,0%, wydajność (rys. 5) na jednego zatrudnionego w roku 2014 wyniosła 726 ton/rok i tylko w latach 2009–2011 spadła poniżej 700 ton/rok na jednego zatrudnionego.



Rys. 7. Stan zapasów węgla kamiennego w latach 1990–2020 [1, 2]



Rys. 8. Eksport i import węgla kamiennego do Polski w latach 1993–2020 [3]¹

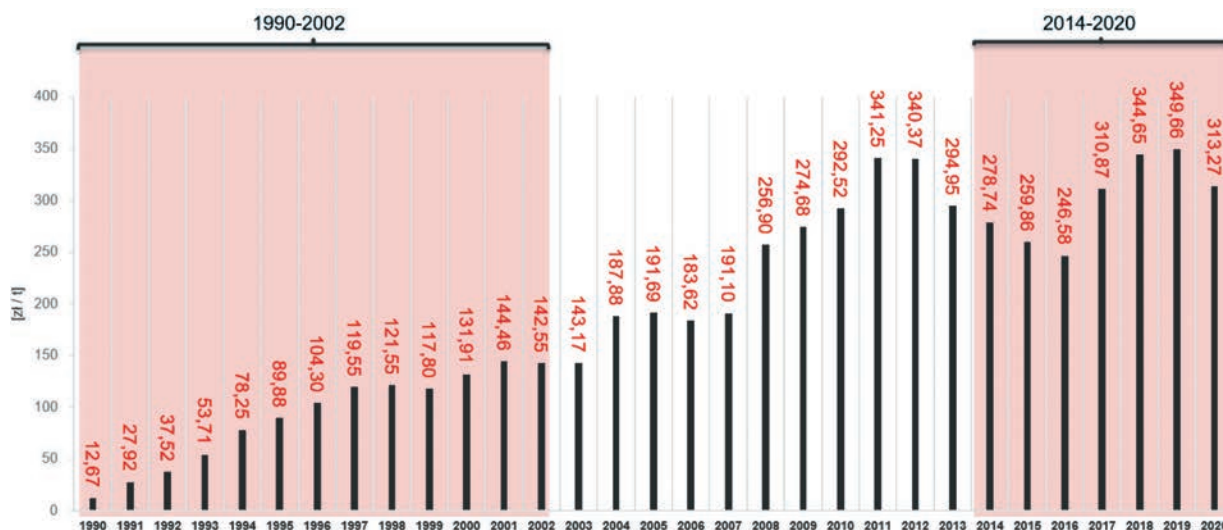
Eksport węgla (rys. 8) w roku 2004 wyniósł 20,8 mln ton. W kolejnych latach wielkość eksportu spadała do 8,3 mln ton w roku 2008, w tym czasie import (rys. 8) systematycznie wzrastał z 2,3 mln ton w roku 2004 do 10,3 mln ton w roku 2008. W 2008 roku po raz pierwszy w historii powojennego górnictwa polskiego import przewyższył eksport (2,0 mln ton), w kolejnych latach do roku 2012 import węgla do Pol-

ski był wyższy od jego eksportu, przy czym w roku 2011 import osiągnął apogeum na ten okres, wynosząc 15,0 mln ton przy eksporcie 5,8 mln ton. W roku 2013 eksport nieznacznie przewyższył import (o 100 tys. ton), rok 2014 zakończył się importem w wysokości 10,3 mln ton przy eksporcie 8,4 mln ton. Zapasy węgla (rys. 7) w 2014 roku wyniosły 8,2 mln ton. W latach 2012, 2013 i 2014 notujemy najwyższe zapasy

¹ W 1993 roku przyjęto wolumen importu w wysokości ok. 1 mln ton (wartość ta odpowiada przytaczanej w literaturze wielkości – np.: Stala-Szluga K., *Import węgla kamiennego do Polski*. Przegląd Górniczy 2014, 5: 32–38. Dane dotyczące eksportu pochodzą ze „Sprawozdania o obrocie węglem kamiennym” (G-09.1), zaś dane o imporcie z lat 1994–2001 – Biuletyn Górniczy GIPH 2006, 3–4 (129–130), natomiast z okresu 2002–2020 (I–XI) opracowano w Agencji Rozwoju Przemysłu S.A. Oddział w Katowicach według danych Izby Administracji Skarbowej w Warszawie.

węgla od początku 1990 roku. Ceny węgla po okresie stabilizacji w latach 2004–2007 wzrosły w roku 2008 o 34% w stosunku do roku 2007, a w roku 2012 wzro-

sły o 78,55 zł za tonę w stosunku do 2007 roku. W 2013 roku zaczęły spadać i w roku 2014 osiągnęły poziom 278,74 zł za tonę (rys. 9).



Rys. 9. Ceny zbytu węgla ogółem w latach 1990–2020 [1, 2]

Systematyczny wzrost importu węgla przy jednoczesnym spadku jego eksportu oraz niespotykanym dotychczas wzroście zapasów węgla, zdaniem autorów, świadczy o regularnym spadku konkurencyjności polskiego węgla tak na rynku krajowym, jak i na rynkach trzecich. Nakłady inwestycyjne (rys. 6) do roku 2012 systematycznie rosły, osiągając w roku 2013 poziom 3,2 mld zł. W latach 2004–2014 na zakup maszyn i urządzeń (rys. 6) górnictwo węglowe przeznaczyło 10,493 mld zł. Zobowiązania do roku 2007 ulegały obniżaniu przy równoczesnym spadku należności. Saldo zobowiązań do należności (rys. 10) w roku 2007 wyniosło 5,18 mld zł, począwszy od 2008 roku zobowiązania narastały, osiągając w roku 2014 kwotę 15,5 mld zł, zaś saldo zobowiązań do należności wyniosło 12,729 mld zł. Wynik finansowy netto (rys. 11) w latach 2003–2012 był dodatni, w roku 2013 spadł i wyniósł (–)406,7 mln zł, a w roku 2014 wyniósł (–)2,2 mld zł. Podsumowując lata 2003–2014, należy stwierdzić, że podjęta reforma roku 2003 pozwoliła na funkcjonowanie górnictwa na rynku węgla kamiennego. Główną cechą gospodarki rynkowej jest ciągle dostosowywanie się do sytuacji na rynku. Po roku 2007 w górnictwie takich działań zabrakło. Pomimo wzrostu zobowiązań (rys. 9), gwałtownego załamania na giełdzie i związanego z tym kryzysu w latach 2008 i 2009 nie podejmowano wystarczających działań, by zahamować narastanie zobowiązań, utratę konkurencyjności. W konsekwencji szybkie narastanie zobo-

wiązań oraz pogarszający się wynik finansowy doprowadziły górnictwo do sytuacji kryzysowej, w której konieczne stały się działania naprawcze, podjęte i wdrożone z początkiem 2015 roku.

4. LATA 2015–2019

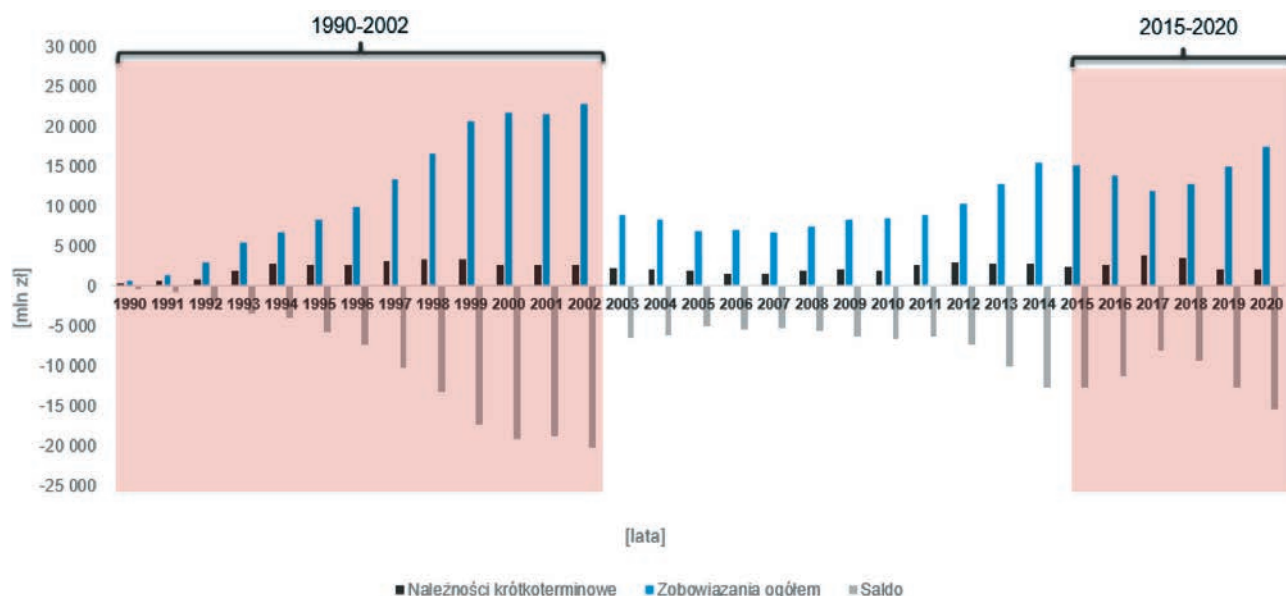
W roku 2015 wdrożono kolejny program naprawy dla górnictwa węgla kamiennego, rozpoczynając jednocześnie prace nad Programem dla sektora Górnictwa Węgla Kamiennego w Polsce, który Rada Ministrów przyjęła w styczniu 2018 roku. Program obejmował m.in. przejęcie przez Spółkę Restrukturyzacji Kopalń S.A. zakładów, które zostaną postawione w stan likwidacji do końca 2018 roku. W sumie postawiono w stan likwidacji 9 kopalń (rys. 3), co stanowiło 31,1% kopalń czynnych (2015 rok – 29 kopalń, rok 2018 – 20 kopalń), liczba ścian (rys. 2) spadła z 102 w roku 2015 do 75 w roku 2019, tj. o 26,5%, zmianowość na ścianach (rys. 2) wzrosła z 3,3 w roku 2015 do 3,5 w roku 2019, produkcja węgla kamiennego (rys. 4) obniżyła się z 72,2 mln ton w roku 2015 do 61,6 mln ton w roku 2019, tj. o 14,7%. W latach 2015–2016 notowaliśmy nadwyżkę eksportu nad importem (rys. 8) (ok. 1,0 mln ton rocznie), natomiast począwszy od 2017 roku notujemy gwałtowny wzrost importu, przy czym w latach 2018 i 2019 zanotowano najwyższy od 1990 roku import węgla do Polski odpowiednio 19,3 i 16,7 mln ton.

Nadwyżka importu na eksportem w latach 2017; 2018 i 2019 wyniosła odpowiednio 7,1 mln ton; 15,4 mln ton i 13,0 mln ton. Zapasy węgla kamiennego (rys. 7) obniżyły się z 5,8 mln ton w roku 2015 do 1,7 mln w 2017, po czym zaczęły rosnąć, osiągając poziom powyżej 5,2 mln ton w roku 2019. Ceny węgla po spadku w latach 2015–2016 (odpowiednio 2015 – 259,86 zł/t, 2016 – 246,5 zł/t zaczęły rosnąć, by w roku 2019 osiągnąć poziom 349,66 zł/t (rys. 9). Zobowiązania (rys. 10) początkowo zmniejszały się z poziomu 15,182 mld zł, a w 2015 roku do poziomu 11,854 mld zł, a saldo zobowiązań i należności zmniejszyło się z poziomu 12,752 mld zł w roku 2015 do 8,029 mld zł w roku 2017. Dwa kolejne lata przyniosły wzrost zobowiązań do poziomu 14,955 mld zł w roku 2019, a saldo zobowiązań do należności osiągnęło poziom 12,814 mld zł. Wynik finansowy netto (rys. 11) ulegał poprawie do roku 2018, w którym wyniósł 918 mln zł (w 2015 wyniósł (–)4,5 mld zł), lecz w roku 2019 zanotowano wynik finansowy netto górnictwa na poziomie (–)2,8 mld zł. Zdaniem autorów po krótkotrwałej poprawie, począwszy od 2017 górnictwo ponownie utraciło zdolność do konkurowania na rynku o czym świadczą rosnące: import i zapasy węgla. Nakłady inwestycyjne (rys. 6) po nieznacznym spadku w 2016 roku (o 73 mln zł w stosunku do roku 2015) zaczęły rosnąć, osiągając nienotowany od 1990 roku poziom 3,64 mld zł w roku 2019. Na zakup maszyn i urządzeń przeznaczono w latach 2015–2019 3,5 mld zł, a sumarycznie nakłady inwestycyjne w latach 2015–2019 wyniosły 10,22 mld zł.

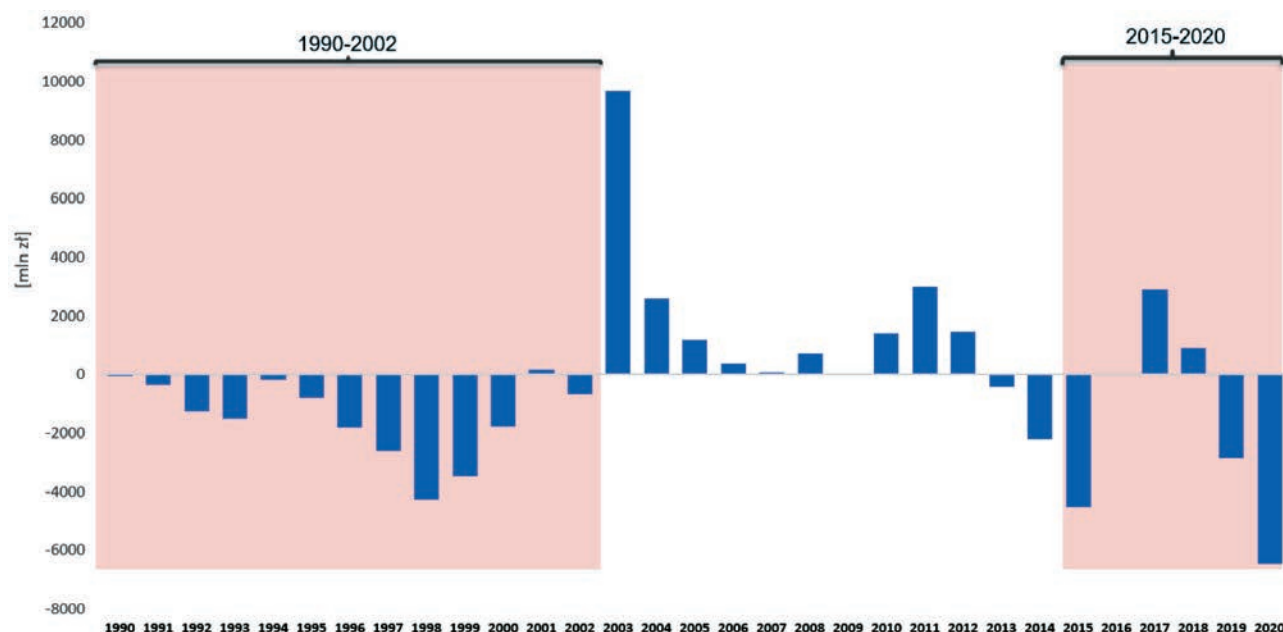
5. ROK 2020

W omawianym okresie na szczególną uwagę zasługuje rok 2020, dlatego omówiliśmy go oddzielnie. W roku 2020 liczba kopalń nie uległa zmianie, a zatrudnienie obniżyło się tylko o 4% pomimo pogarszającej się sytuacji w górnictwie węgla kamiennego. W 2020 roku zanotowano spadek produkcji węgla o 11,7% w stosunku do 2019 roku do 54,4 mln ton nakłady inwestycyjne obniżono do poziomu 2,867 mld zł, podczas gdy w roku 2019 wynosiły 4,088 mld zł. Zanotowano wzrost zapasów węgla do poziomu 6,2 mln ton spadł import węgla do 12,8 mln ton z 16,7 mln ton w roku 2019 i nieznacznie wzrósł jego eksport do poziomu 4,4 mln ton. Nastąpił dalszy wzrost zobowiązań, należności nieznacznie się zmniejszyły, przez co wzrosło ich saldo. Wynik finansowy netto wyniósł (–)6,465 mld zł i spadł do poziomu najniższego od wielu lat.

Rok 2020 przyniósł kryzys wywołany epidemią COVID-19 na świecie. Gwałtownie spadło zapotrzebowanie na węgiel. W Polsce nagromadzone zapasy tego paliwa dodatkowo nie sprzyjały popytowi na węgiel, tym samym poczyniony wysiłek inwestycyjny w latach 2015–2019 nie mógł przynieść efektów w postaci obniżenia kosztów wydobywanego węgla. W roku 2020 Polska podpisała i przyjęła do stosowania unijną politykę klimatyczną zakładającą, że w 2050 roku kraje Unii Europejskiej osiągną neutralność w zakresie emisji CO₂.



Rys. 10. Zobowiązania, należności oraz saldo zobowiązań i należności w latach 1990–2020 [1, 2]



Rys. 11. Wynik finansowy netto w latach 1990–2020 [1, 2]

W drugiej połowie 2020 roku na skutek dramatycznie pogarszającej się sytuacji górnictwa węgla kamiennego rząd podjął rozmowy na temat dalszych losów górnictwa ze stroną społeczną – Związkami Zawodowymi działającymi w górnictwie węgla kamiennego. W wyniku tych rozmów przyjęto plan likwidacji kopalń do 2049 roku, którym nie będą objęte jedynie kopalnie Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. oraz KWK Bogdanka S.A. Pod koniec 2020 roku przedstawiono projekt Polityki Energetycznej Polski do roku 2040, w którym przewidywane jest odejście energetyki od węgla kamiennego i brunatnego.

Literatura

- [1] Dane 1990–2002, z: opracowania własne Państwowej Agencji Restrukturyzacji Górnictwa Węgla Kamiennego S.A. (obecnie przechowywanych przez ARP S.A. Oddział w Katowicach).
- [2] Dane 2003–2020, z: opracowania własne Agencji Rozwoju Przemysłu S.A. Oddział w Katowicach.
- [3] Paszcza H.: *Restrukturyzacja górnictwa węgla kamiennego – historia, teraźniejszość i przesłanki na przyszłość*. Agencja Rozwoju Przemysłu S.A. Oddział w Katowicach, IGSMiE PAN, Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2017.
- [4] *Monitoring procesów związanych z funkcjonowaniem górnictwa węgla kamiennego. Część 2: Wyniki działalności gospodarczej przedsiębiorstw górniczych*. Agencja Rozwoju Przemysłu S.A. Oddział w Katowicach.
- [5] Stala-Szlugaj K., *Import węgla kamiennego do Polski*. Przegląd Górniczy 2014, 5: 32–38.

mgr MIROSŁAW SKIBSKI
mgr inż. KAROL OSADNIK
mgr MAGDALENA BIAŁAS
Agencja Rozwoju Przemysłu S.A.
Oddział w Katowicach

ul. Mikołowska 100, 40-065 Katowice

{miroslaw.skibski, magdalena.bialas}@katowice.arp.pl

HENRYK KARAŚ

Clean and Climate Neutral Planet and Mineral Resources in the EU

The directions of EU activities in the field of mineral resources and their extraction, which are important for the development of the economy, are presented herein. The breakthrough in the EU came in 2008 with the announcement of the new Raw Materials Policy (RMP) and its presentation in Brussels in 2007. The long-term negligence of the EU authorities in terms of the lack of investment in research and development in the extractive industry in successive innovation programs implemented by the EU has been noticed. Changes in the global market at the end of the 20th century made the EU economy highly dependent from the import of many raw materials [1, 2]. The RMP plan adopted for implementation included 10 activities covering the EU bodies, member states and the mining industry. In the following years (2011–2012), a program aimed at strengthening the raw materials policy, called EIP on RM – innovative partnership on raw materials, appeared. It also resulted in an increase in expenditure on activities in the area of circular economy. The new innovation program Horizon Europe planned for 2021–2027 also provided for the important role of raw materials in the field of clean energy development and the implementation of the principles of the “green deal”, which is expected to reduce climate change plan in the EU by 2050 [3]. It is assumed that the principles of the EU’s “green deal” are to be a model for other countries / continents of the world to follow.

Key words: EU, resource policy, climate change, mineral resources, critical resources

1. INTRODUCTION

At the beginning of the 21st century, the mining industry in the EU was considered one of the obstacles to the development of a green economy. It was considered dirty and harmful to the environment, there was a visible lack of social support. The industry itself was not without blame. In the innovative programs implemented under the auspices of this industry, there was no visible support in innovation. In FP6, only a few metal recovery projects received EU funding, but only because they were related to a newly developed field – biotechnology. In 2001, the author of the article managed to establish a consortium implementing projects for the recovery of metals from shale deposits found in non-ferrous deposits in Europe (Poland, Finland, Germany). The established

international consortium created and implemented an innovative project called BioShale, the conclusions of which were implemented only in Finland. Another, much broader mining project related to the wider use of biotechnology techniques for metal recovery was called BioMine, implemented by a wider consortium with additional participation from a research centre from outside Europe (Republic of South Africa – Mintek).

2. THE BEGINNING OF THE EU RAW MATERIALS POLICY

As of 2005, the EU authorities began to recognize the need to support the mineral resources sector as an essential factor in ensuring the development of the

European economy. In preparation for the opening of the next edition of the EU innovation program – FP7, the need to support the extractive industries in

Europe was recognized and all the more so as Europe had long lost its global leadership in the extraction of many metals (Fig. 1).

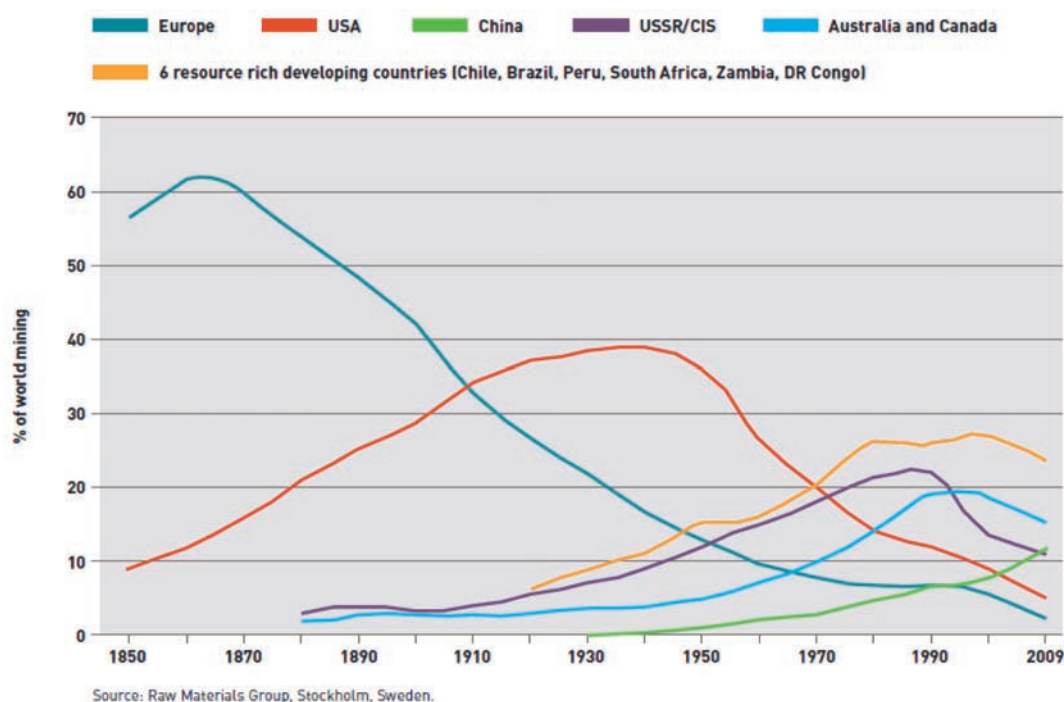


Fig. 1. Activity of the metal mining industry since the XIX century in the world

In the global world, countries such as: China, Republic of South Africa, DR Congo, Chile, Peru, Brazil are currently important in the extraction of metals such as copper, cobalt, aluminium, iron, and rare earths, and the leading role of Europe in innovation and metal mining which had been visible in the nineteenth century had already begun to decline [3]. The situation of high dependence of the economies of the

EU member states on the supply of raw materials was shown in a report commissioned by DG Enterprise, the findings of which became the basis for the announcement of the New EU Raw Material Policy in 2008. It was a real breakthrough for the European mining industry and for the new FP7 innovation program.

In the global world, there is a visible pressure to increase the extraction of raw materials (Fig. 2).

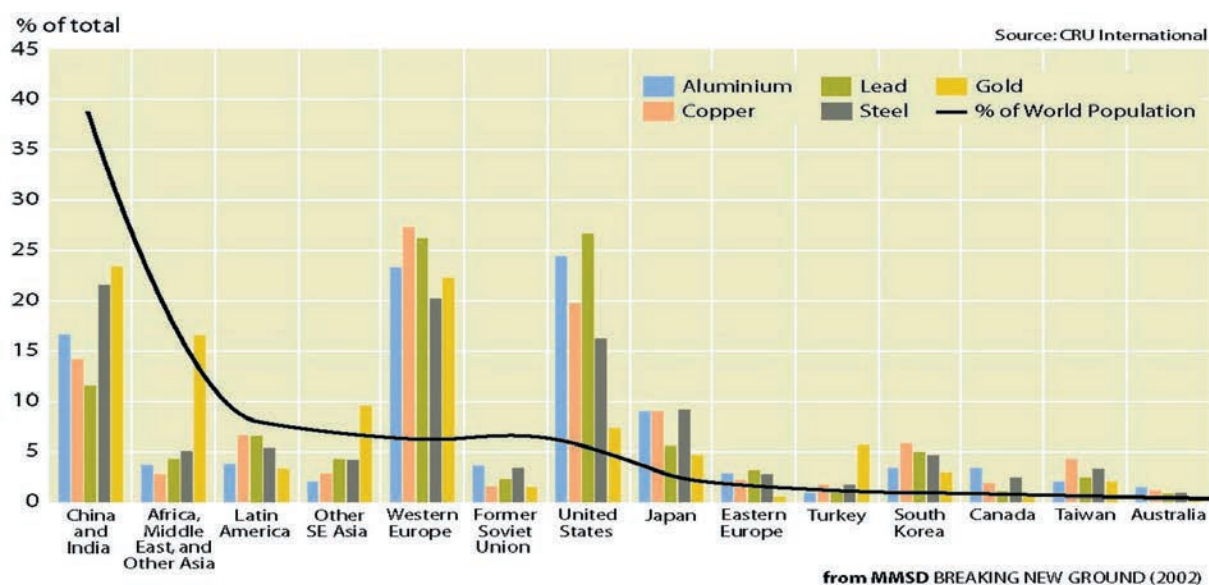


Fig. 2. Metal consumption compared to population in regions and selected countries (2000)

If current trends continue, the intensive use of raw materials will threaten the raw material security of many countries in EU. Hence, in the EU report on the state of the raw materials market published in 2007, there were analyses that revealed unfavourable trends that threaten the security of the EU economy. The EU economy has shifted from relying on raw materials mined in European countries and has become heavily dependent on imports. The further economic development of the EU requires an increasing supply of raw materials, some of which have become extremely important for key sectors of the economy. The unstable political situation in many raw material countries (Africa, South America) also poses a high risk of interrupting their supplies to EU countries. In the EU, little attention has been paid to the search for substitutes for raw materials relevant to key sectors of modern industry (electronics, clean energy). The report provides information on major changes in global commodity markets, indicates export restrictions and restrictions on access to critical raw materials applied by some countries. Half of the raw materials necessary for development are found in countries with very low per capita incomes. After the publication of the EC Communication in 2006 (EC Communication, COM (2006/699), an announcement was made to introduce the principles of the new EU raw materials policy, which were presented in 2008 in the form of 10 main activities. For implementation of these are EU member states, the extractive industries and related research and scientific institutions. The program of the new EU raw materials policy Raw Materials Initiative (RMI) was presented in Brussels in 2008. Additionally it also involved the compilation of a list of critical raw materials for the EU [4]. This list is to be updated every 3 years. There has also been a significant increase in investment in research and innovation in raw materials in EU innovation programs, starting with FP7. When presenting the assumptions and the RMI program, attention was drawn in Brussels to the need to:

- more efficient use of raw materials, recycling and implementation of the 3R principle (*Reuse, Recycle, Repair*),
- stronger cooperation between geological institutes of EU member states,
- greater support for identifying Europe's own raw material resources,

- launching a more vigorous diplomatic action and cooperation with other raw materials countries outside Europe,
- as well as for wider scientific and innovative cooperation in raw materials within the EU as well as with countries outside Europe (in Republic of South Africa, South America, Japan, Canada, the USA).

3. THE NEW EU RAW MATERIALS POLICY

In 2012, the European Commission presented the assumptions of the program dedicated exclusively to the mineral resources sector, called the European Innovation Partnership (EIP) on Raw Materials, which was to be part of the EU's Horizon 2020 innovation program. New program in raw materials was to strengthen the implementation of this policy based on three pillars:

- promote the sustainable supply of raw materials from global markets related to fair trade and address the causes of conflicts due to lack of access to raw materials;
- sustainable supplies of raw materials from European sources and increase financial support for innovation in the raw materials sector (approximately EUR 600 million has been planned);
- direct attention to programs for more efficient use of raw materials and create an action plan to support recycling. This was included in a program called "Circular Economy Action Plan" (Fig. 3).

Prepared in 2011 and announced a year later, the EIP on RM program was to be a network of interconnections and a platform connecting EU Member States, companies operating in the field of raw materials, research centres and non-governmental organizations operating in this area (NGOs). The main objectives of the EIP on RM program published in the communication (COM 2012) 82 Final of 29 February 2012) were:

- reducing the dependence of EU countries on the import of important raw materials (Fig. 4);
- providing alternative solutions in their market supply;
- to push EU countries to the forefront of innovation in the raw materials sector;
- reduce the environmental impact of the EU's extractive industries.

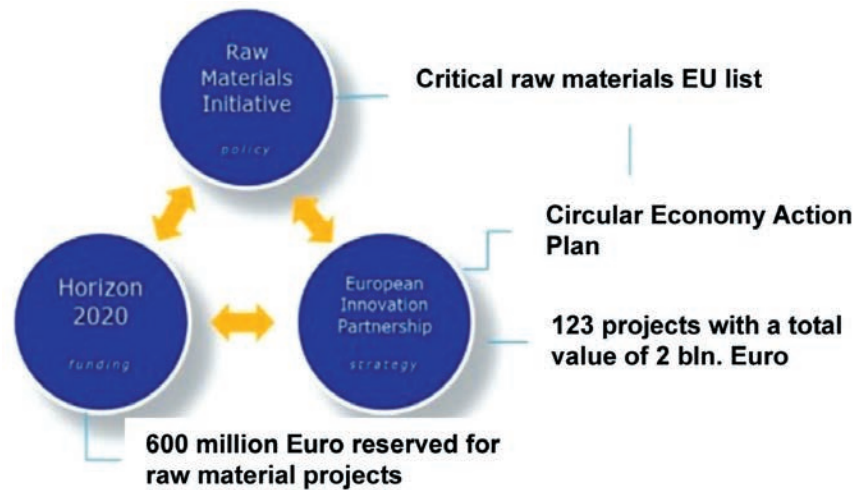


Fig. 3. The EU Raw Materials Initiative and its further development, including funding from the Horizon 2020 innovation program (©EU, 2016)

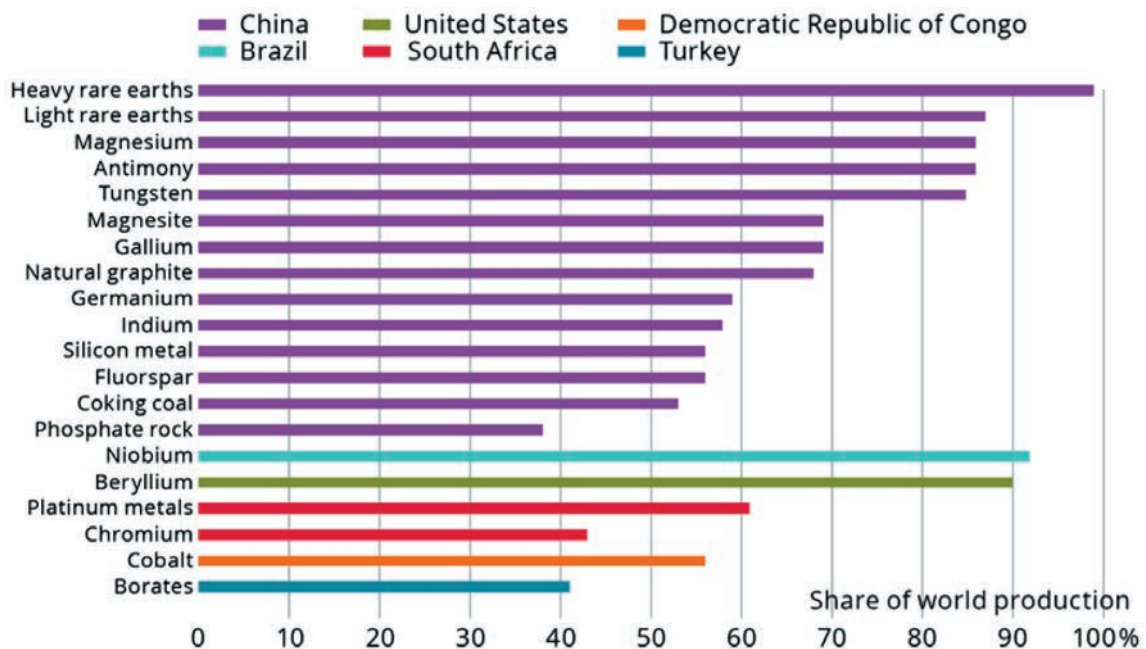


Fig. 4. The geographic concentration of some raw material reserves creates supply risks for Europe – 2015 (European Commission 2014. *The European Environment State and Outlook 2015; EEA*)

There are also other initiatives and studies carried out by a number of global institutions emphasizing the role of raw materials in the economy and problems with their availability:

1. Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential: United Nations Environment Program (UNEP, 2009),
2. World Economic Forum: Future Availability of Resources (WEF, 2014),
3. Yale Study on Materials Criticality (Graedel & Beck, 2015),
4. British Geological Survey Risk List (BGS, 2015),
5. German Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research and the German Mineral Resources Agency (BGR, reports since 2009),
6. The European Union (EU): Supply Risk Assessment (European Commission, 2017),
7. Forecasting demand and supply of key minerals (P. Christmann, 2017).

These studies analysed the impact of the following factors on the volume and directions of raw material

extraction in the world, such as: market prices, technology development, politics, population growth, economic growth, mutual cooperation in the field of politics, economy, substitutability of certain raw materials with others, the amount of recycling, stability policy of raw material countries, the state of development of mining and innovation, distribution channels, legal regulations, supply channels, resources

and their distribution, degree of resource concentration, restrictions on access to raw materials, the impact of resource depletion, demand for renewable energy, development of the middle class and the degree of country urbanization.

The first list of EU critical raw materials, in line with the EC recommendation, was published in 2011. It included 14 mineral resources (Fig. 5).

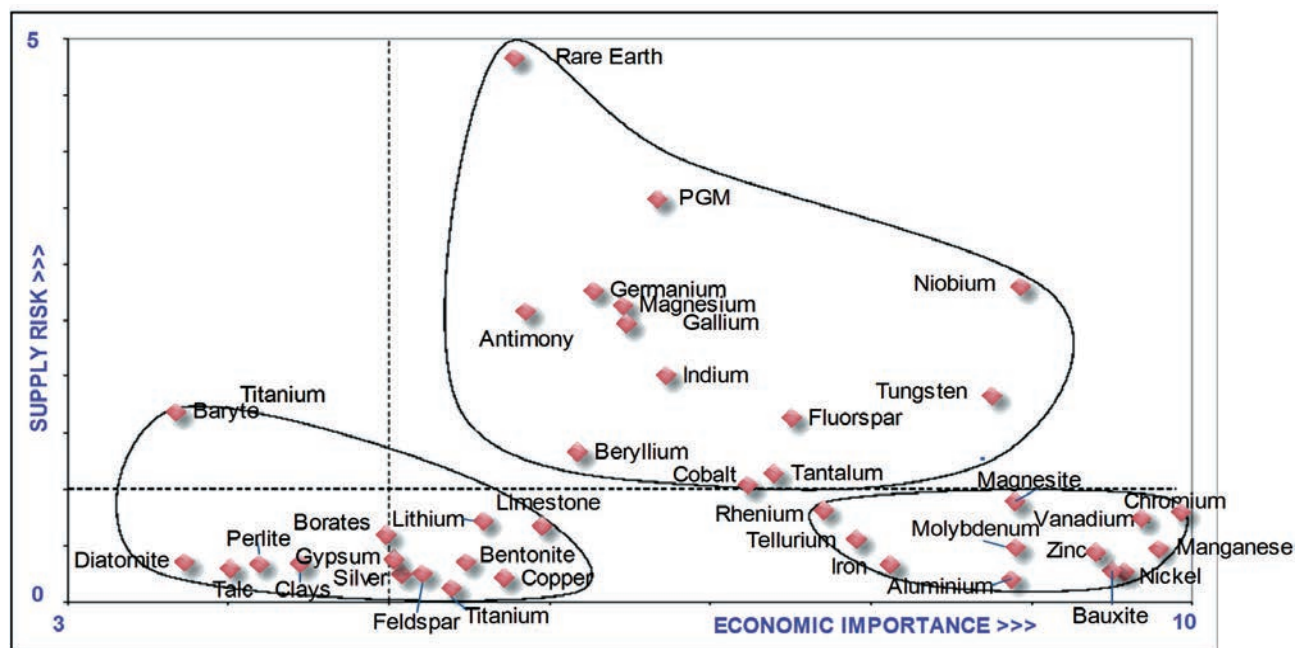


Fig. 5. The first list of EU critical raw materials – 2011 [4]

The following factors were taken into account in its preparation: the highest market value of a given raw material compared to others; the greatest risk of supply disruption due to the political stability of the producing countries; the greatest risk of supply disruption, taking into account ecological contamination or the amount of recycling and the possibility of obtaining them from another source. The economic value was calculated taking into account the main applications of a given raw material and the possibility of its substitution by another.

EU countries also have quite large opportunities to start the extraction and acquisition of critical raw materials from their own resources (deposits and recycling). Europe has its own raw material resources, including aggregates, industrial raw materials for construction or road construction and metals such as copper or zinc. But it has less success in the development of deposits of critical raw materials, although it has considerable potential for their extraction and

production. Figure 6 shows the EU geological resources including their occurrence in the deposits. There are many reasons for this condition:

- no investment in exploration and extraction of these raw materials,
- long permit procedures to initiate their reconnaissance and extraction,
- lack of social acceptance for mining activities in many EU countries.

The latest 2020 list of critical raw materials already contains 30 raw materials, while the 2014 and 2017 lists contain 20 and 27 raw materials, respectively. Raw materials such as bauxite, lithium, titanium and strontium were added to the 2020 list for the first time.

Figure 7 shows from which countries the EU Member States import the most critical raw materials necessary for the functioning of modern and developing sectors of their economy.

CRITICAL RAW MATERIALS RESOURCES POTENTIAL IN THE EU

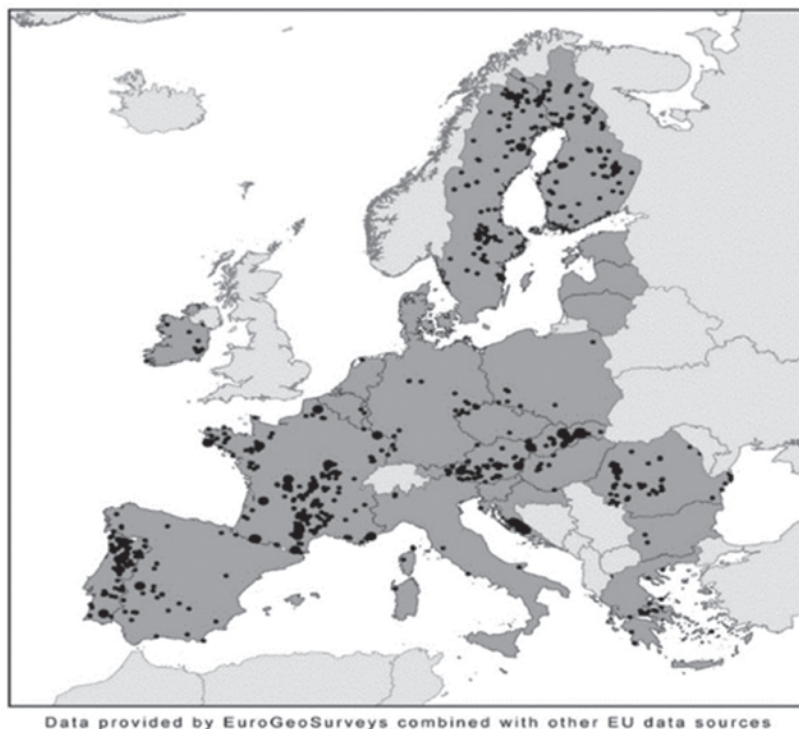


Fig. 6. Location of deposits of critical raw materials resources in the EU

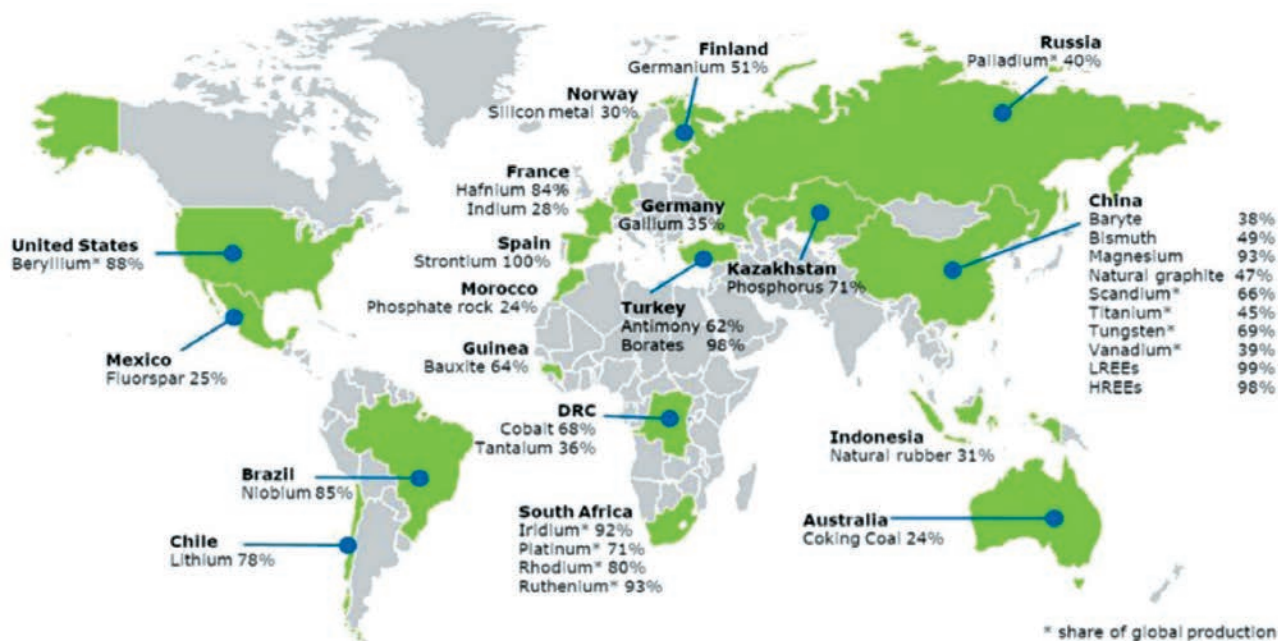


Fig. 7. Import of critical raw materials from non-European countries and share in global production [5]

Thanks to the launch of the EIP on RM program in 2015, within the European Institute of Innovation and Technology in Budapest (EIT) a knowledge and innovation node (EIT on RM) dedicated only to mineral resources was established. It has its headquarters in Berlin and branches (CLC) in individual EU countries (Fig. 8).

In the innovative program Horizon 2020, planned for the years 2013–2020, raw materials played an important role. This program took steps to use them more effectively and to search for innovative solutions in their acquisition. The assumptions of the Europe 2020 strategy and the place of raw materials in this strategy are presented below (Fig. 9).



Fig. 8. EIT – Branches of the knowledge and innovation centres in mineral resources in the EU countries [6]

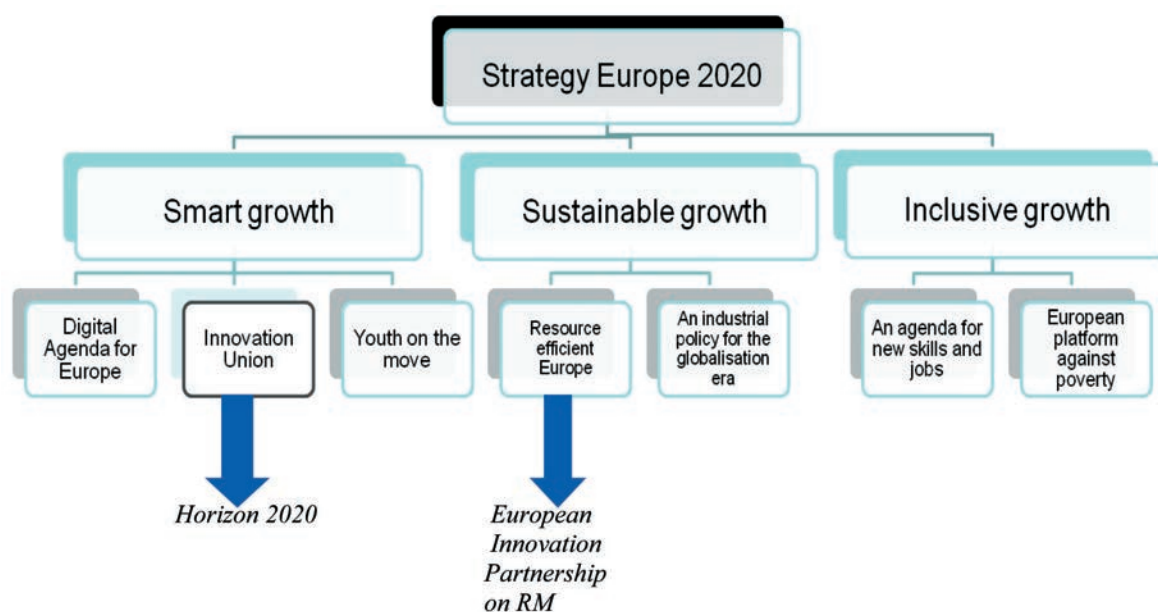


Fig. 9. Europe 2020 strategy and the place for raw materials in it [7]

In the Horizon 2020, a program on raw materials was planned in the Societal Challenge theme. This theme was supplemented with additional environmental tasks that are affected by the activities of the mining industry. It was a preparation for the next innovative program Horizon Europe which was taking into account actions to put some limits on climate change. These were:

- sustainable management of natural resources and ecosystems,
- sustainable supply of non-energy and non-agricultural minerals,
- moving towards a green economy through eco-innovations,

- global environmental observations and information systems,
- cultural heritage.

This evolution of the tasks provided for in the EIP on RM program clearly shows a change in the attitude of the European Commission striving to develop solutions for recycling, green energy production, decarbonisation, and paying attention to more efficient use of raw materials [8]. On December 2, 2015, the European Commission adopted a package called Circular Economy Plan for implementation, consisting of a communication, an action plan, and proposals for new legal regulations related to waste management [5].

These plans included:

- creation of jobs, support for economic growth and investments towards a circular economy and promoting economic growth based on the principles of the green economy;
- energy Union – changes towards decarbonisation of the economy (renewable energy, electricity market, new solutions for transport);
- internal market – unleashing the full potential of one market – New Industrial Strategy;
- trade policy to tackle the risks of globalization in raw materials, economic diplomacy and the inclusion of raw materials in cooperation agreements with other countries;
- the EU is to become a stronger and more active partner on the global market, focused on cooperation and international development.

At the same time, further activities and actions planned for 2017–2020 were undertaken in the Horizon 2020 program. At the expert level, a high-level group (HLG), operational groups implementing the SIP strategic plan, functioned until the end of the EIP on Raw Materials program.

A framework for action has been developed, including a new EU resource policy guide and provisions on procedures related to granting consent to mining activities. These were projects:

1. MIN-GUIDE (2016–2018) „Minerals Policy Guide“;
2. MINLEX (2017) – Legal framework and permitting procedures in the NEEI in EU28.

Mining regions were also addressed by creating a cooperation network of mining region:

- MIREU program – EU network of mining and metallurgy regions (2017–2020);
- REMIX program – Smart and Green Mining Regions of EU (2017+).

Access to important raw materials in Europe and the assessment of their potential were to provide the following programs:

- MINLAND (2017–2019) – mineral resources in sustainable land-use planning and
- MINATURE2020 (2015–2017) – mineral deposits of public importance.

4. IS MINING RETURNING TO ITS IMPORTANCE IN THE EU?

The Vice-President of the European Commission, Maroš Šefčovič, in an appeal to members of the Supervisory Board of the EIB argued: “We cannot sit idly when China controls most supplies of critical raw

materials. More investment is needed to acquire them in EU countries”. Some EU member states are prepared to launch 10 mining projects for lithium production, which is to increase their supply in the EU from 1% to 30% of global production.

These calls from the EU are starting to take effect. The policy of major EU banks to finance energy investments has changed. Lending for investment projects related to the extraction and production of energy from coal was limited, and loans for the extraction, processing and recovery of critical raw materials from the CRM list were considered. There are projects in Europe to exploit rare earth metals in Norway, cobalt in Finland, lithium in Spain, the Czech Republic and Portugal. Similar actions were taken in the USA. On December 20, 2017 president D.J. Trump ordered the preparation of a US resource security strategy (Executive Order 13817 – A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals [9]). It covers following actions:

- increasing funds for research and development and education in the field of critical raw materials,
- strengthening access to resources of critical raw materials and securing them for the purposes of national defence,
- improve trade relations and cooperation in the field of critical raw materials,
- better identification of and access to domestic resources of critical raw materials,
- shortening the procedures for authorizing the extraction of critical raw materials.

Scheduled for the period 2021–2027, the EU innovation program Horizon Europe (Fig. 10) is the largest and most ambitious EU research and innovation program [7].

Its main goal is to put the EU at the forefront of research and innovation in two areas: digitization and the green economy. The EC proposed €100 billion to finance research and development, of which €15 billion was allocated for closed-loop industries (minerals) and low-carbon industries (decarbonisation) and clean energy industries. As part of the new growth strategy for the EU economy (The European Green Deal), Europe intends to be the first climate neutral continent by 2050. This strategy was announced on 10/03/2020. It is based on two main directions of changes: ecological and digital, and it is to affect every aspect of the economy and society. This will require new technical solutions, investment in innovation to create new products, services, markets, business models, new jobs and skills. It is also intended to ensure a conflict-free transition from a linear economy (the dominant one at present) to a circular economy.

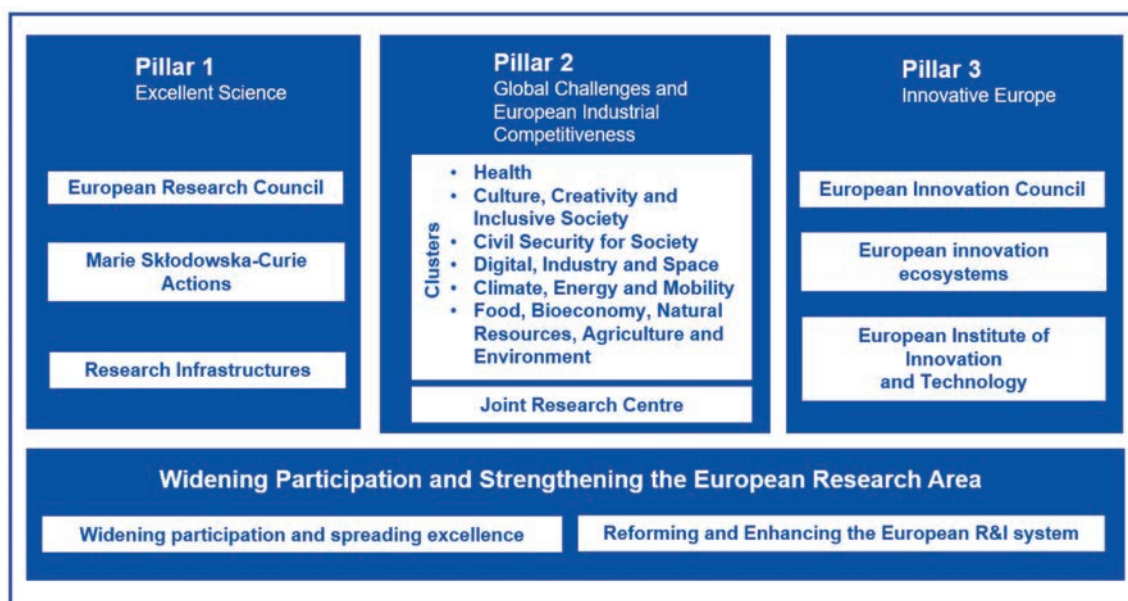


Fig. 10. Scheme and planned activities of the Horizon Europe innovation program (2021–2027) [6]

It is assumed that EU industry will need secure access to clean energy and raw materials to become more competitive as it becomes more recycling and green energy oriented. It is expected to increase investment in research, innovation, investing in new solutions and modern infrastructure, which will allow to develop new production processes and create new jobs, the mining industry, including mines, processing of raw materials, metallurgy, is an energy-intensive sector, and the emphasis on extraction and greater production of mineral resources from primary deposits strengthens the pursuit of a more closed loop in

production technologies. The extraction of iron ores and the production of steel in them, the production of cement, the operation of refineries, the petrochemical industry and the production of agricultural fertilizers are already responsible for over 70% of CO₂ emissions – according to EU ETS data. Hence the decarbonisation program (abandoning coal as the main source of energy in many EU countries. The process of phasing out coal and lignite as an energy source will be implemented in many EU countries (Germany, Poland, Spain, Portugal, Greece). Figure 11 explains the steps taken by the EU related to decarbonization.

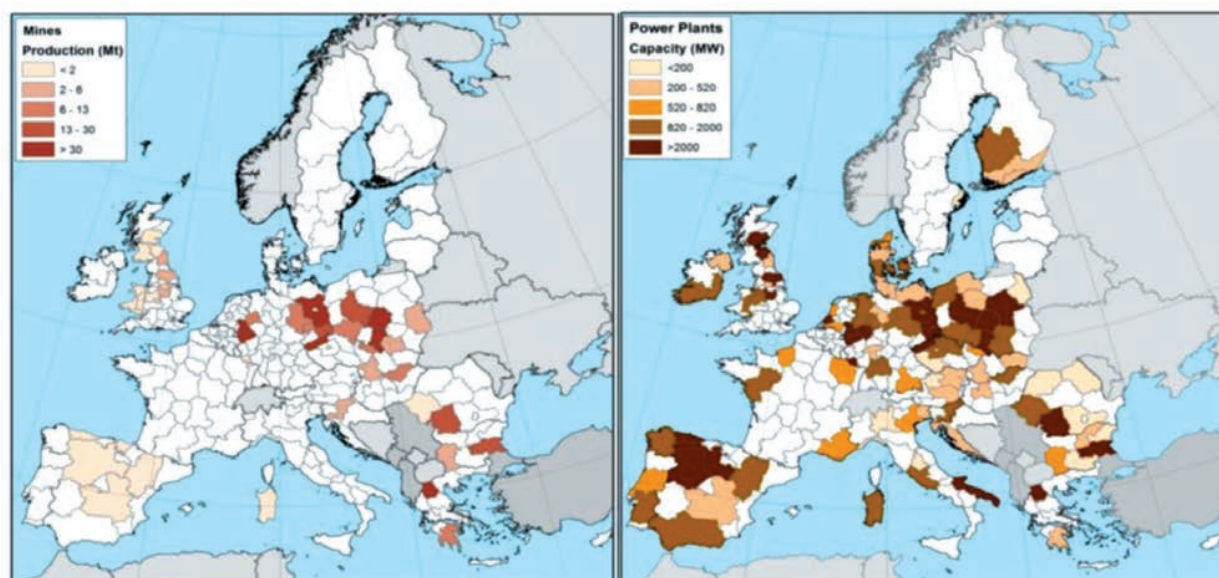


Fig. 11. EU regions with operating coal mines and coal-based power plants (The European Commission's science and knowledge service Joint Research Centre High Level Event Smart Specialisation Platform on energy (S3PEnergy); 2018)

Key technologies are important for the future of industry in Europe. Some of them are closely related to the critical raw materials that must be used in the development of these technologies. Support for recycling and the use of secondary raw materials will reduce the dependence on primary minerals. To meet these ambitious goals, safe access to raw materials will be required and which meets the following technological challenges:

- Lithium-ion battery technology that is being developed for the application and commissioning of electric transport and clean energy production. Importantly, this technology is becoming more and more useful for military applications.
- Fuel cells (FCs) are an important technology for energy conversion based primarily on hydrogen as an energy source. Hydrogen-based cells offer the possibility of a rapid departure from coal in energy production systems in the future and will create conditions for the implementation of e-mobility, although such solutions are not yet available on a large scale.
- Wind energy is one of the most effective technologies in the production of clean energy supporting the implementation of climate change reduction programs. It is expected to remain one of the main sources of energy for EU industry.
- Engines for vehicle propulsion are to be an essential component of electric vehicles. These rare earth permanent magnet motors are particularly efficient and attractive for current and future electric transport applications.
- Photovoltaic (PV) technology, including solutions using wind energy, will transform the entire energy sector in the world. Solar panels are already widely used in space research.
- Robotics is an emerging new technology with a growing role to play in the factories of the future including the defence and aerospace industries. It is also expected to be used in energy and automation.
- Drones (UAV) their importance is growing in civil and military applications.
- 3D Printing and Associated Manufacturing – Additive Manufacturing (3DP /AM) which can quickly change traditional delivery channels and replace traditional manufacturing, particularly in the defence and aerospace industries. It is also expected to lead to significant changes in the use of raw materials used in process processing
- Development of digital technologies whose task will be to support the huge developing digital sector ensuring the implementation of the above solutions.

The Circular Economy Action Plan adopted is meant to support the implementation of these challenges. By providing consumers with better information about products and consumer rights, the EU expects them to play a more active role. The EU will also support the development of these key technologies that are strategically important for the future economy of the Union. This applies to: robotics, microelectronics, fast data processing and infrastructure, blockchain technology, quantum technologies, photonics, industrial biotechnology, biomedicine, nano-technology, pharmaceutical industry and advanced materials.

5. RECOMMENDATIONS FOR THE EU'S FUTURE POLICY

The EU remains at the forefront of countries that implement production with significant added value. However, this does not apply to all member states. Hence, the EU will expect significant investment in research and development to keep these technologically advanced countries and regions in line with others, more advanced. Therefore, there is a need to develop such production to maintain at least a minimum of opportunities for the following high-priority products:

- Batteries – increasing production of raw materials, their processing and potential for their production will require investments to reduce dependence on Asian markets.
- Insufficient production capacity for solar cells to meet the current demand turns out to be the weakest point of the implementation programs in this field in the EU. Hence, it is necessary to improve their production possibilities in Europe, with Chinese competition is very visible here.
- Drones (UAVs) – the EU faces a serious risk of failing to keep pace with other global manufacturers in this key technology that intelligently integrates knowledge of the possibilities offered by real-time drones based on data from the ground.
- Digital technologies – technological leadership requires the EU to secure safe access to and processing of key raw materials and redevelop the capacity to manufacture and assemble key ingredients in EU countries.
- Fuel cells – the main course of action is to improve operational reliability and reduce costs by increasing research expenditure in order to reduce the use of platinum in fuel cell catalysts.

- Wind, safer supply of rare earths to Europe – possibly by recycling them, which would secure the EU's ability to produce magnets.
- Robotics, securing access to raw materials and improving component production, as well as preparing a skills program for employees to maintain the EU's competitive position in the global market.
- Maintaining leadership in 3D printer materials in relation to the specific needs of technology is key to maintaining the EU's competitive advantage.

The European Commission intends to develop and implement these priority objectives and action plan with the help of member states, in particular the platform implementing the EIP on RM program and the expert group associated with the RM Supply Group. The Commission also counts on the support and expertise of the European Institute of Technology in Raw Materials (EIT on RM) based in Berlin. The new SIP strategic program of the EIP on RM platform should strengthen the transition of the EU industry to a climate neutral industry, i.e. a large energy-consuming industry such as the mining industry, to achieve climate neutrality in 2050 in line with the EU strategy. This will also be helped by focusing on activities and technologies that reduce CO₂ emissions from current processes. This can be achieved by:

- energy efficiency – production of the same levels with less energy consumption,
- the use of electricity from renewable energy sources,
- use of geothermal energy,
- biomass; hydrogen or other synthetic fuel,
- CCS (carbon capture and storage) technology.

To accelerate these activities, the EU intends to create the European Raw Material Alliance with strong industry support and implement a raw material policy through this body in the years 2021–2027. The following actions to implement are predicted:

1. Launch the activities of the European Raw Materials Alliance in the third quarter of 2020. Initially building an action program for rare earths and magnet production before this activity is extended to other raw material areas (responsible: industry, EC, investors, European Investment Bank (EIB), shareholders, member states, regions).
2. Prepare a proposal of criteria for financing the entire value-added chain in the extractive industry by the end of 2021 (Delegated Acts on Taxonomy) (responsible: Sustainable Finance Platform, European Commission).

3. To start a program in 2021 covering innovation and research in the field of critical raw materials based on waste processing, advanced materials and substitutes using the Horizon Europe program, the European Regional Development Fund and national research and development programs (responsible: EC, member states, regions, R&D community).
4. Collect and analyse potential sources of secondary critical raw materials and identify critical raw materials from waste and storage sites in the EU and feasible recovery projects – by 2022 (responsible: EC, EIT Raw Materials).
5. Identify mining and processing projects and investment needs along with the possibilities of financing them for critical raw materials in the EU that can be launched by 2025 with priority for mining regions in which there was / is coal mining (responsible: EC, member states, regions, shareholders).
6. Prepare expertise on the knowledge of mining, processing and processing technologies as part of a strategic program for regions undergoing changes from 2022 (responsible: EC, industry, trade unions, member states and regions).
7. Launch earth observation programs for deposit exploration, monitoring of mining operations and the state of the environment after completion of these operations (responsible: EC, industry);
8. Prepare innovative projects for the Horizon Europe program regarding the exploitation and processing of critical raw materials in order to reduce the environmental impact – starting from 2021 (responsible: EC, R&D community).
9. Develop strategic partnerships and related funds in 2021 to secure the safe supply of critical raw materials including secure trade agreements and investment conditions in cooperation with the Canadian government, African countries concerned, EU neighbouring countries (responsible: EC, Member States, industry and third countries).
10. Support responsible mining practices for critical raw materials through EU legal regulations (proposals from 2020–2021) and appropriate international cooperation (responsible: EC, member states, industry, civil organizations).

6. SUMMARY

Despite the introduction of a circular economy strategy, savings programs in the use of raw materials and the assumptions of the climate policy, mineral

resources are still the basic pillar of economic development in the world and raw materials are becoming necessary in the implementation of many activities resulting from the current mega-trends of the world economy (new low-emission technologies, urbanization, decarbonization, digitization). It seems that traditional energy fuels (coal, gas, oil) will continue to play a fundamental role in the economy of many EU countries (although decreasing) and in ensuring energy security of many countries, including Poland and Germany (lignite). The role and supervision of the state in the creation of raw material policy instruments supporting the economic development and security of individual countries is growing. In view of the declining content of metallic raw materials in deposits and the increasing difficulties in accessing them, the EU mining sector must find its own innovative solutions (e.g. effective and safe exploitation of deep-lying deposits, profitable extraction and processing of poor metal deposits, management of raw materials from waste and secondary raw materials (3R principle – Reuse, Repair, Recycle) more effective methods of separation. I believe that in the case of raw materials and the mining sector, it will be necessary to develop cooperation with countries outside the EU: Australia, Canada and the USA, Japan, which are leaders in many solutions in the mining and processing sector (automation, robotics, digitization, improving work safety, monitoring technological operations).

References

- [1] Communication from the Commission to the European Parliament and the Council: *The raw materials initiative – meeting our critical needs for growth and jobs in Europe* (COM(2008) 699 final), <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0699:FIN:en:PDF> [12.11.2020].
- [2] Keating D.: *Europe looks home for new mining opportunities*, <https://www.euractiv.com/section/economy-jobs/news/europe-looks-home-for-new-mining-opportunities/> [12.11.2020].
- [3] Communication from the Commission to the European Parliament and the Council: *The Road from Paris: assessing the implications of the Paris Agreement and accompanying the proposal for a Council decision on the signing, on behalf of the European Union, of the Paris agreement adopted under the United Nations Framework Convention on Climate Change* (COM(2016) 110 final): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0110&from=EN> [12.11.2020].
- [4] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: *Tackling the challenges in commodity markets and on raw materials* (COM(2011) 25 final): <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0681:FIN:EN:PDF> [12.11.2020].
- [5] Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020) – Final Report: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42883/attachments/1/translations/en/renditions/native> [12.11.2020].
- [6] Karaś H.: *Innovation and new technology in mining and recycling*. Prezentacja dla studentów opracowana w ramach programu EIT Raw Material Academy – RMS Manager, 2020
- [7] Communication from the Commission Europe 2020: *A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:2020:FIN:EN:PDF> [12.11.2020].
- [8] Grohol M.: *Towards a comprehensive management system for resources in the EU*. Raw Materials Week, Knowledge event, 21 November 2019, Brussels. https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/unfc_egrm/egrm.10_apr2019/egrm_02.05.2019/19_Milan_Grohol.pdf [12.11.2020].
- [9] A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals (2019): https://www.commerce.gov/sites/default/files/2020-01/Critical_Minerals_Strategy_Final.pdf [12.11.2020].

HENRYK KARAŚ, M.Sc., Eng.

Cracow Technical Society

ul. Malborska 10/6, 30-563 Krakow, Poland

h.karas@data.pl

HENRYK KARAŚ

Czysta i neutralna klimatycznie planeta a surowce mineralne w UE

Przedstawiono kierunki działania UE w ważnej dla rozwoju gospodarki dziedzinie, jaką są surowce mineralne i ich pozyskiwanie. Przełom w UE nastąpił dopiero w 2008 roku z chwilą ogłoszenia Nowej Polityki Surowcowej (NPS) i jej prezentacji w Brukseli. Dostrzeżono wieloletnie zaniedbania organów UE w dziedzinie braku nakładów na badania i rozwój w przemyśle wydobywczym w kolejnych programach innowacyjnych realizowanych przez UE. Zmiany na rynku globalnym pod koniec XX wieku spowodowały wysokie uniezależnienie gospodarki UE od importu wielu surowców [1, 2]. Przyjęty do realizacji plan NPS zawierał dziesięć działań obejmujących organy UE, kraje członkowskie oraz przemysł wydobywczy. W latach 2011–2012 pojawił się program nakierowany na wzmocnienie polityki surowcowej o nazwie EIP on RM – partnerstwo innowacyjne w surowcach. Jego efektem było także zwiększenie nakładów na działania w obszarze gospodarki w obiegu zamkniętym. Nowy program innowacyjny Horyzont Europa planowany na lata 2021–2027 przewiduje również ważną rolę dla surowców w dziedzinie rozwoju czystej energii i wdrażania zasad „zielonego ładu”, co ma wpłynąć na ograniczenie zmian klimatycznych w UE do 2050 roku [3]. Zasady „zielonego ładu” UE mają być wzorem do naśladowania dla innych krajów/kontynentów świata.

Słowa kluczowe: UE, polityka surowcowa, zmiany klimatyczne, surowce mineralne, surowce krytyczne

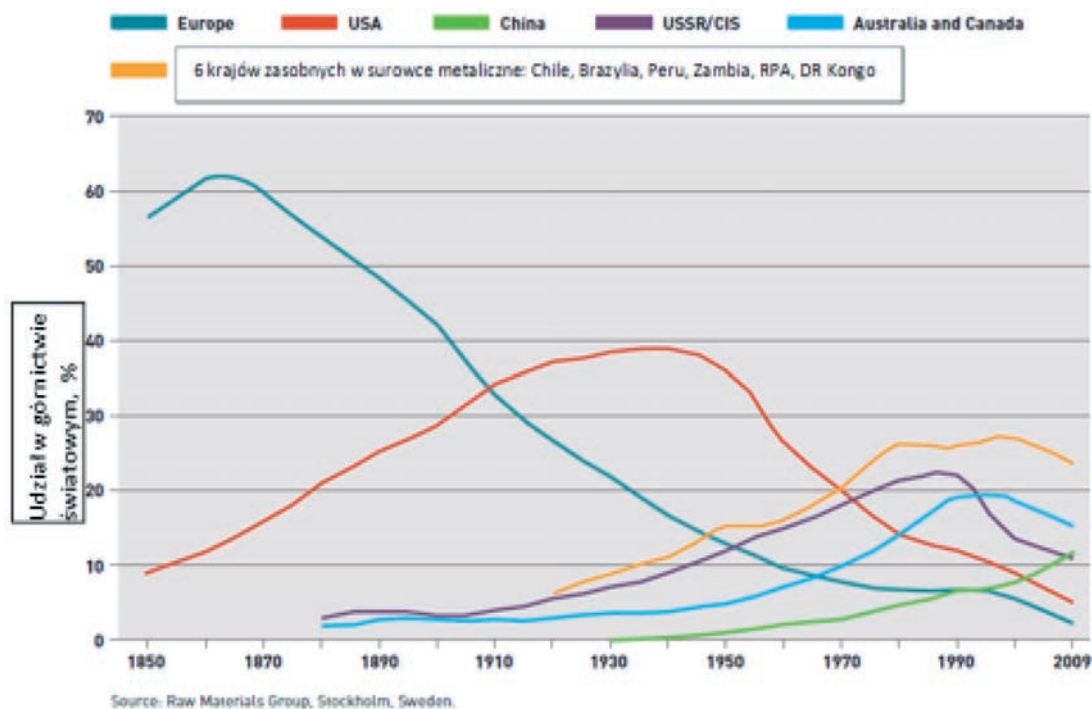
1. WSTĘP

Na początku XXI wieku przemysł wydobywczy w UE był uważany za jedną z przeszkód w rozwijaniu proekologicznej gospodarki. Uznawano go za brudny i szkodzący środowisku, widoczny był brak społecznego wsparcia. Sam przemysł nie był bez winy. W programach innowacyjnych realizowanych pod auspicjami KE nie widać było wsparcia w finansowaniu innowacji dla tego przemysłu. W programie FP6 tylko kilka projektów nakierowanych na odzysk metali uzyskało wsparcie finansowe ze strony UE, ale tylko dlatego, że związane były z nowo rozwijaną dziedziną – biotechnologią. Autorowi artykułu udało się w 2001 roku stworzyć konsorcjum realizujące projekty odzysku metali z pokładów łupków występujących w złożach w Europie (Polska, Finlandia, Niemcy). Powołane międzynarodowe konsorcjum stworzyło i zrealizowało projekt innowacyjny o nazwie BioShale, którego

wnioski zostały wdrożone tylko w Finlandii. Innym, znacznie szerszym projektem górniczym związanym z wykorzystaniem technik biotechnologii do odzysku metali, był projekt BioMine realizowany przez szersze konsorcjum z dodatkowym udziałem ośrodków badawczych spoza Europy (RPA – Mintek).

2. POCZĄTKI POLITYKI SUROWCOWEJ UE

Począwszy od 2005 roku władze UE zaczęły zauważać potrzebę wspierania sektora surowców mineralnych jako niezbędnego czynnika zapewniającego rozwój gospodarki Europy. Przygotowując się do otwarcia następnej edycji programu innowacyjnego UE o nazwie FP7, dostrzeżono potrzebę wsparcia dla przemysłu wydobywczego w Europie. Tym bardziej, że Europa już dawno straciła światowe przewodnictwo m.in. w wydobyciu metali (rys. 1).



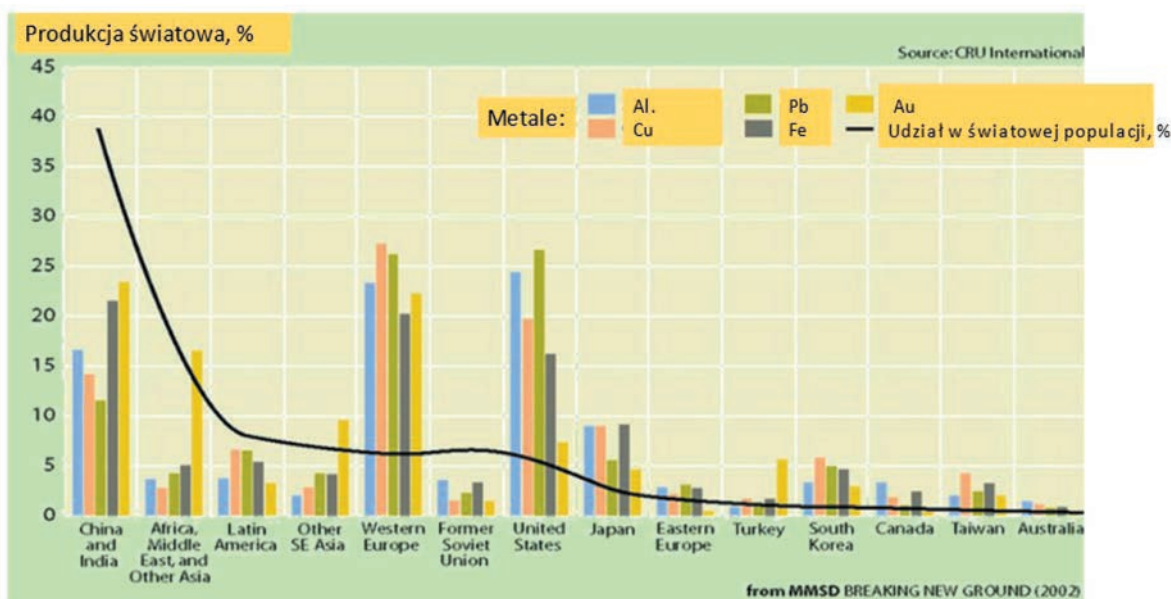
Rys. 1. Aktywność przemysłu wydobywczego metali na przestrzeni ostatnich 160 lat na świecie

W globalnym świecie w wydobyciu takich metali, jak miedź, kobalt, aluminium, żelazo, metale ziem rzadkich, liczą się obecnie Chiny, RPA, DR Kongo, Chile, Peru, Brazylia, a czołowa rola Europy w innowacjach w dziedzinie surowcowej, widoczna w XIX wieku, zaczęła maleć [3].

Sytuację wysokiego uzależnienia gospodarek krajów zrzeszonych w UE od dostaw surowców pokazał raport zlecony przez DG Enterprise, którego ustalenia stały się podstawą do ogłoszenia w 2006 roku nowej polityki surowcowej UE. Był to praw-

dziwy przełom dla europejskiego przemysłu wydobywczego oraz dla nowego programu innowacyjnego FP7.

W globalnym świecie widoczny jest nacisk na wzrost wydobycia surowców (rys. 2). Jeżeli obecne trendy się utrzymają, to intensywne wykorzystanie surowców zagrazi bezpieczeństwu surowcowemu gospodarek wielu państw. Dlatego w raporcie UE dotyczącym stanu rynku surowcowego opublikowanym w 2007 roku pojawiły się analizy, które ujawniły niekorzystne tendencje zagrażające bezpieczeństwu gospodarki unijnej.



Rys. 2. Konsumpcja metali na tle liczby ludności w regionach i wybranych krajach (2000)

Gospodarka UE odeszła od polegania na surowcach wydobywanych w krajach europejskich i uzależniła się mocno od ich importu. Dalszy rozwój gospodarczy UE wymaga coraz większych dostaw surowców, a niektóre z nich stały się wyjątkowo ważne dla kluczowych sektorów gospodarki. Również niestabilna sytuacja polityczna w wielu krajach surowcowych (Afryka, Ameryka Południowa) stanowi wysokie ryzyko przerwania ich dostaw do krajów Wspólnoty.

W UE nie poświęcono uwagi poszukiwaniu substytutów surowców mających znaczenie dla kluczowych sektorów nowoczesnego przemysłu (elektronika, czysta energia). W raporcie podano informacje o dużych zmianach na globalnych rynkach surowcowych, zasygnalizowano restrykcje eksportowe, ograniczenia w dostępie do surowców krytycznych stosowane przez niektóre kraje. Połowa surowców niezbędnych dla rozwoju gospodarki znajduje się w krajach o bardzo niskim dochodzie na mieszkańca, często niestabilnych politycznie.

Po opublikowaniu w 2006 roku komunikatu KE – COM (2006/699) została ogłoszona zapowiedź wprowadzenia zasad nowej polityki surowcowej UE, które zaprezentowano w 2008 roku w postaci 10 niezbędnych działań dla gospodarki UE. Za ich wdrożenie odpowiedzialne są: Komisja Europejska, kraje członkowskie UE, przemysł wydobywczy i związane z nimi instytucje badawcze i naukowe.

Program nowej polityki surowcowej UE Raw Materials Initiative (RMI), zaprezentowany w Brukseli w 2008 roku obejmował także stworzenie listy surowców krytycznych niezbędnych dla gospodarki dla UE. Lista ta jest uaktualniana co trzy lata. Nastąpiło też znaczne zwiększenie nakładów na badania i innowacje w surowce w programach innowacyjnych UE, poczynając od FP7. Prezentując założenia i program RMI, zwrócono w Brukseli uwagę na:

- bardziej efektywne wykorzystanie surowców, recykling i wdrożenie zasady 3R (*Reuse, Recycle, Repair*),
- mocniejszą współpracę instytutów geologicznych krajów członkowskich UE,
- większe wsparcie dla rozpoznania własnych zasobów surowcowych Europy,
- rozpoczęcie bardziej energicznej akcji dyplomatycznej i współpracę z innymi krajami surowcowymi spoza Europy,

- szerszą współpracę naukową i innowacyjną w surowcach w ramach UE, a także z krajami spoza Europy (kraje Afryki, Ameryki Południowej, Japonia, Kanada, USA).

3. NOWA POLITYKA SUROWCOWA UE

W roku 2012 KE zaprezentowała założenia programu przeznaczonego wyłącznie dla sektora surowców mineralnych o nazwie European Innovation Partnership on Raw Materials (EIP on RM), który miał stanowić część programu innowacyjnego UE Horyzont 2020. Program ten miał wzmocnić realizację tej polityki, opierając ją na trzech filarach, takich jak:

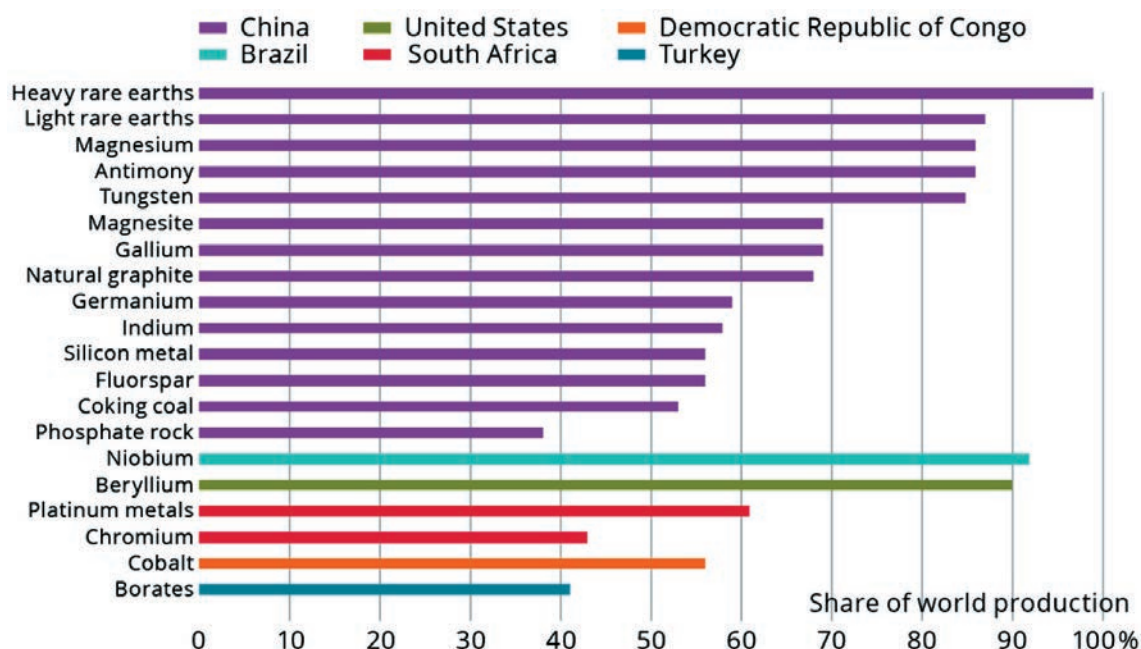
- wsparcie zrównoważonych dostaw surowców z rynków globalnych związane z uczciwą wymianą handlową i wyeliminowanie przyczyn konfliktów z powodu braku dostępu do surowców,
- zrównoważone dostawy surowców ze źródeł europejskich oraz zwiększone wsparcie finansowe dla innowacji w sektorze surowcowym (zaplanowano ok. 600 mln euro),
- skierowanie uwagi na programy bardziej efektywnego wykorzystania surowców oraz stworzenie planu działania dla wsparcia recyklingu, co zostało ujęte w programie o nazwie „Plan działania gospodarki w obiegu zamkniętym” (rys. 3).

Przygotowany w 2011 roku i ogłoszony rok później program EIP on RM miał być siecią wzajemnych połączeń oraz platformą łączącą państwa członkowskie UE, firmy działające w obszarze surowcowym, ośrodki badawcze oraz nierzadowe organizacje działające w tym obszarze (NGO). Głównymi celami programu EIP on RM, opublikowanymi w komunikacie KE (COM 2012) 82 Final z dnia 29 lutego 2012 było:

- zmniejszenie zależności krajów UE od importu ważnych surowców (rys. 4),
- dostarczenie innych możliwych rozwiązań w ich dostawach rynkowych,
- wysunięcie krajów UE na czoło innowacji w sektorze surowców,
- ograniczenie oddziaływania na środowisko ze strony przemysłu wydobywczego w UE.



Rys. 3. Inicjatywa surowcowa UE i jej dalszy rozwój z uwzględnieniem finansowania z programu innowacyjnego Horyzont 2020 (©EU, 2016)



Rys. 4. Świadczenie zmian na światowych rynkach surowcowych (2013) (European Commission 2014. The European Environment State and Outlook 2015; EEA)

Pojawiły się także inne inicjatywy i opracowania realizowane przez szereg instytucji światowych podkreślające rolę surowców w gospodarce i sygnalizowane problemy z ich dostępnością:

1. *Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential: United Nations Environment Programme* (UNEP, 2009),
2. *World Economic Forum: Future Availability of Resources* (WEF, 2014),
3. *Yale Study on Materials Criticality* (Graedel & Beck, 2015),

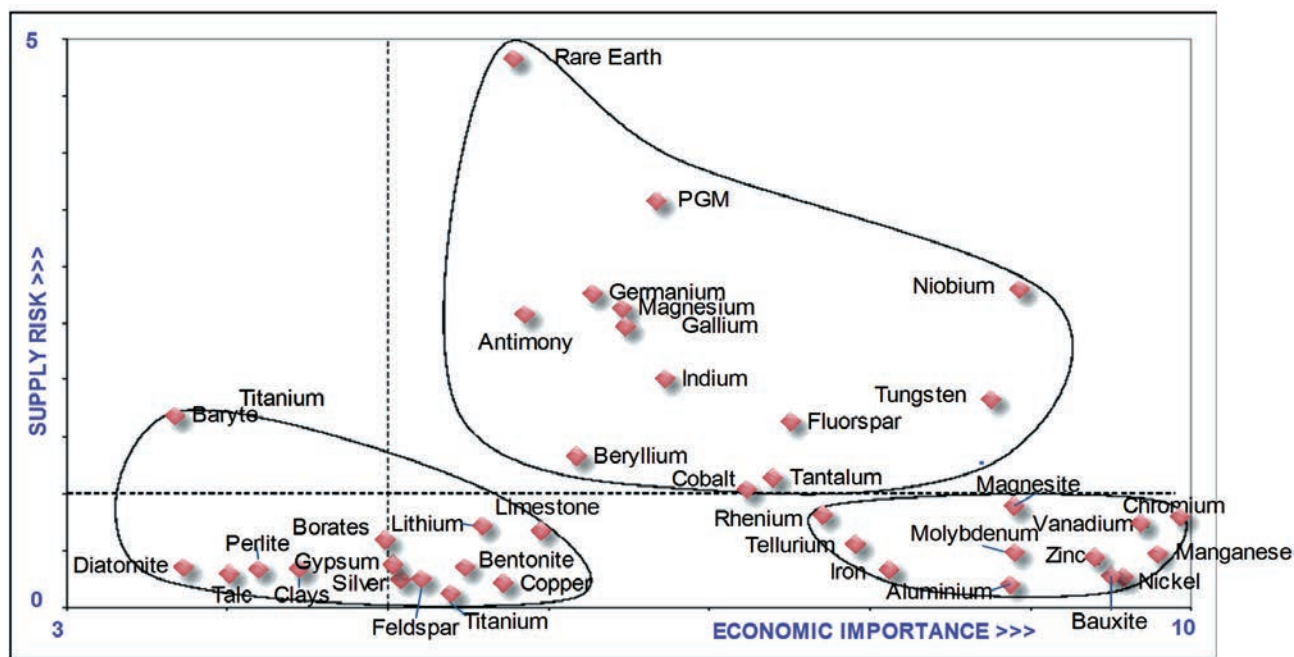
4. *British Geological Survey Risk List* (BGS, 2015),
5. *German Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research and the German Mineral Resources Agency* (BGR, raporty od 2009 r.),
6. *The European Union (EU): Supply Risk Assessment* (European Commission, 2017),
7. *Forecasting demand and supply of key minerals* (P. Christmann, 2017).

W wymienionych powyżej opracowaniach przeanalizowano wpływ następujących czynników na wielkość i kierunki wydobycia surowców na świecie: ceny

rynkowe, rozwój technologii, politykę, wzrost liczby ludności, wzrost ekonomiczny, wzajemną współpracę w obszarze polityki, gospodarki, zastępowalność jednych surowców innymi, wielkość i zakres recyklingu, stabilność polityczną krajów surowcowych, stan rozwoju górnictwa i innowacji, kanały dystrybucji, regulacje prawne, kanały dostaw, zasoby i ich rozkład,

stopień koncentracji zasobów, stosowane restrykcje w dostępie do surowców, wpływ wyczerpywania zasobów surowcowych, popyt na energię odnawialną, rozwój klasy średniej i stopień urbanizacji kraju.

Pierwszą listę surowców krytycznych UE zgodnie z zaleceniem KE opublikowano w 2011 roku. Obejmowała ona czternaście surowców mineralnych (rys. 5).



Rys. 5. Pierwsza lista surowców krytycznych UE, 2011 [4]

W jej przygotowaniu brano pod uwagę następujące czynniki:

- największą wartość rynkową danego surowca w stosunku do innych,
- największe ryzyko zerwania dostaw ze względu na stabilność polityczną krajów je produkujących,
- największe ryzyko przerwania dostaw z uwzględnieniem skażenia ekologicznego czy wielkości recyklingu oraz możliwość ich pozyskania z innego źródła.

Wartość ekonomiczną obliczano, biorąc pod uwagę główne zastosowania danego surowca oraz możliwość jego zastąpienia przez inny.

Kraje UE mają również dość duże możliwości uruchomienia wydobywania i pozyskiwania surowców krytycznych z własnych zasobów (złóża i recykling). Europa posiada własne zasoby surowcowe, takie jak: agregaty, surowce przemysłowe na potrzeby budownictwa czy drogownictwa oraz metale, np. miedź czy cynk. Ale ma mniej sukcesów w zagospodarowaniu złóż surow-

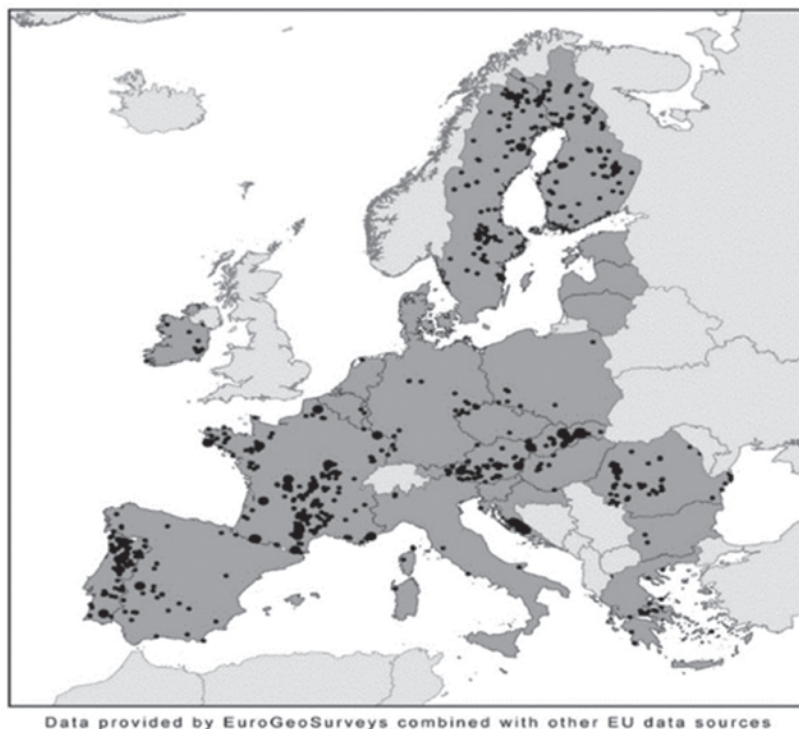
ców krytycznych, chociaż posiada spory potencjał do ich wydobywania i produkcji. Rysunek 6 pokazuje zasoby geologiczne UE obejmujące ich miejsca występowania w złożach. Jest wiele powodów tego stanu, m.in.:

- brak inwestycji w rozpoznanie i wydobycie tych surowców,
- długie procedury na pozwolenie uruchamiające ich rozpoznanie i wydobycie,
- brak społecznej akceptacji dla działalności wydobywczej w wielu krajach UE.

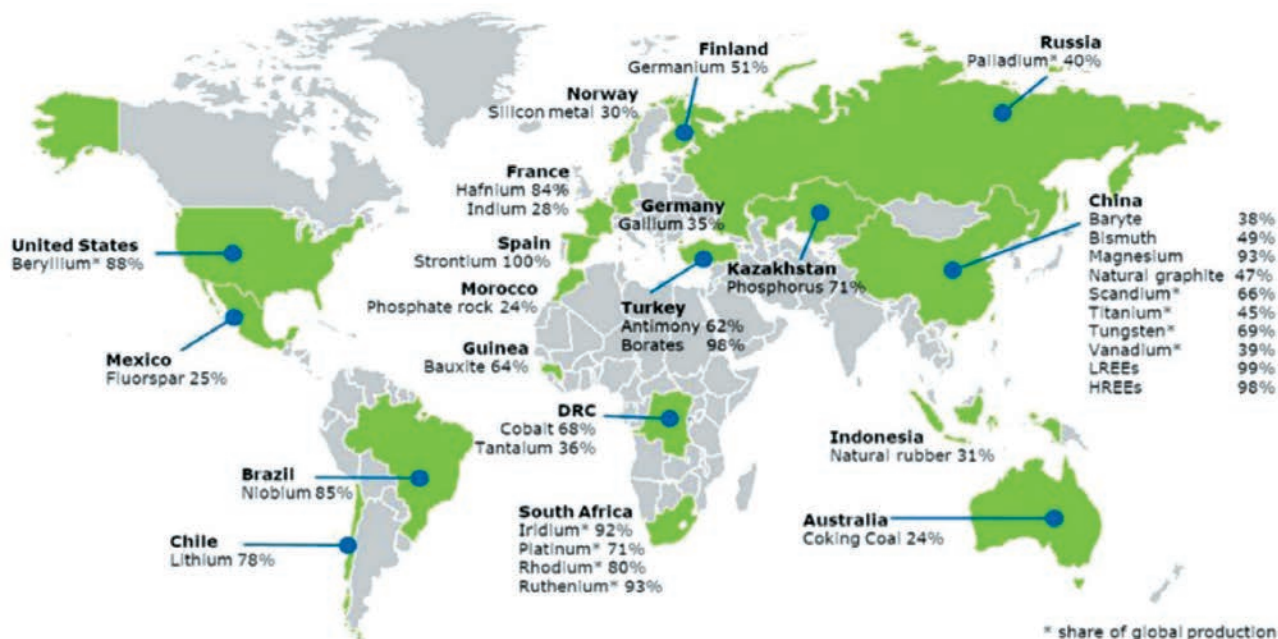
Ostatnia lista surowców krytycznych z roku 2020 zawiera już 30 surowców, a listy z lat 2014 i 2017 zawierają odpowiednio 20 i 27 surowców. Do listy z roku 2020 po raz pierwszy dodano takie surowce, jak: boksyt, lit, tytan oraz stront.

Rysunek 7 przedstawia, z jakich krajów państwa członkowskie UE importują obecnie najwięcej surowców krytycznych niezbędnych do funkcjonowania nowoczesnych, rozwijających się sektorów swojej gospodarki.

CRITICAL RAW MATERIALS RESOURCES POTENTIAL IN THE EU



Rys. 6. Miejsca występowania złóż zasobów surowców krytycznych w UE



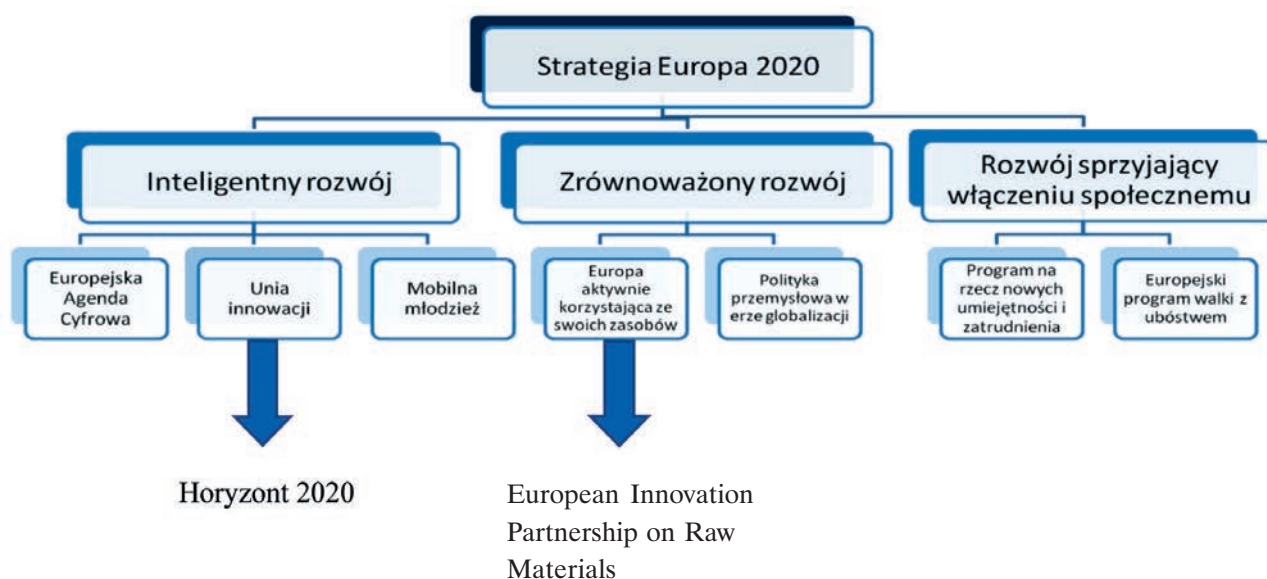
Rys. 7. Import surowców krytycznych z krajów pozaeuropejskich oraz ich udział w globalnej produkcji [5]

Dzięki uruchomieniu programu European Innovation Partnership on Raw Materials w 2015 roku powstał w ramach Europejskiego Instytutu Innowacji i Technologii w Budapeszcie (EIT) węzeł wiedzy i innowacji (EIT on RM) poświęcony tylko surowcom mineralnym. Ma on siedzibę w Berlinie oraz oddziały (CLC) w poszczególnych krajach UE (rys. 8).

W programie innowacyjnym Horyzont 2020 zaplanowanym na lata 2013–2020 surowce zajmowały ważną pozycję. Program ten podjął działania w kierunku bardziej efektywnego ich wykorzystania i poszukiwania innowacyjnych rozwiązań w ich pozyskiwaniu. Na rysunku 9 przedstawiono założenia strategii Europa 2020 i miejsca surowców w tej strategii.



Rys. 8. EIT – oddziały węzła wiedzy i innowacji w surowcach mineralnych w krajach UE [6]



Rys. 9. Założenia strategii Europa 2020 i miejsce w niej dla surowców mineralnych [7]

W programie Horyzont 2020 miejsce dla surowców zostało zaplanowane w pakiecie Wyzwania Społeczne (*Societal Challenge*). Pakiet ten został uzupełniony o dodatkowe zadania z dziedziny ochrony środowiska, na które ma wpływ działalność przemysłu wydobywczego. Było to przygotowaniem do opracowania kolejnego programu innowacyjnego Horyzont Europa uwzględniającego działania na rzecz ograniczenia zmian klimatycznych. Są to:

- zrównoważone zarządzanie naturalnymi zasobami surowcowymi oraz ekosystemy,
- zrównoważone dostawy nieenergetycznych i nierolniczych surowców mineralnych,
- przejście w kierunku zielonej gospodarki poprzez innowacje w technologiach proekologicznych,

- globalne obserwacje środowiska i systemy informatyczne,
- dziedzictwo kulturowe.

Z tej ewolucji zadań przewidzianych do realizacji w programie European Innovation Partnership on Raw Material wyraźnie widać zmianę nastawienia KE dążącej do opracowania rozwiązań dotyczących recyklingu, produkcji zielonej energii, dekarbonizacji, zwrócenia uwagi na bardziej efektywne wykorzystanie surowców [8]. KE dnia 2 grudnia 2015 roku przyjęła do realizacji pakiet o nazwie *Circular Economy* składający się z planu działania oraz propozycji nowych przepisów prawnych związanych z zagospodarowaniem odpadów [5].

Plany te obejmowały następujące zagadnienia:

- tworzenie miejsc pracy, wsparcie dla wzrostu gospodarczego i inwestycje w kierunku ekonomii w obiegu zamkniętym i wspierania wzrostu gospodarczego oparte na zasadach zielonej ekonomii;
- unia energetyczna – zmiany w kierunku dekarbonizacji gospodarki (energia odnawialna, rynek elektryczny, nowe rozwiązania dla transportu);
- rynek wewnętrzny – uwolnienie pełnego potencjału jednego rynku – nowa strategia przemysłowa;
- polityka handlowa w celu opanowania zagrożeń związanych z globalizacją w surowcach, dyplomacja gospodarcza i ujęcie surowców w porozumieniach o współpracy z innymi krajami;
- UE ma stać się mocniejszym i aktywniejszym partnerem na rynku globalnym, nastawienie na współpracę międzynarodową i rozwój.

Jednocześnie w programie Horyzont 2020 zostały podjęte dalsze działania i akcje zaplanowane na lata 2017–2020. Na poziomie eksperckim funkcjonowały do końca programu EIP on RM grupa wysokiego szczebla (HLG), grupy operacyjne wdrażające plan strategiczny SIP.

Stworzono ramy działania obejmujące nowy przewodnik dotyczący polityki surowcowej UE oraz przepisy dotyczące procedur związanych z udzielaniem zgody na działalność wydobywczą:

- MIN-GUIDE (2016–2018) – *Minerals Policy Guide*,
- MINLEX (2017) – *Legal framework and permitting procedures in the NEEI in EU28*.

Zajęto się także regionami górniczymi, tworząc sieć współpracy:

- program MIREU (2017–2020) – *EU network of mining and metallurgy regions*,
- program REMIX (2017+) – *Smart and Green Mining Regions of EU*.

Dostęp do ważnych surowców w Europie i ocenę ich potencjału miały zapewnić programy:

- MINLAND (2017–2019) – *Mineral resources in sustainable land-use planning*,
- MINATURA 2020 (2015–2017) – *Mineral deposits of public importance*.

4. CZY SUROWCE WRACAJĄ DO ZNACZENIA W UE?

Wiceprzewodniczący KE Maroš Šefčovič w apelu do członków RN EIB powiedział: „Nie możemy siedzieć beczynn timer, gdy Chiny kontrolują większość do-

staw surowców krytycznych. Potrzeba więcej inwestycji na ich pozyskiwanie w krajach UE”. Okazuje się, że niektóre kraje członkowskie UE są przygotowane do tego, aby uruchomić dziesięć projektów górniczych do produkcji litu, co ma zwiększyć ich podaż w UE z 1% do 30% światowej produkcji.

Nawoływania UE zaczynają przynosić skutek. Polityka głównych banków unijnych w zakresie finansowania inwestycji energetycznych uległa zmianie. Ograniczono kredytowanie projektów inwestycyjnych związanych z wydobywaniem i produkcją energii z węgla, a zaczęto rozważać kredyty skierowane w wydobywanie, przerób, odzysk surowców krytycznych z listy CRM. Istnieją projekty w Europie na podjęcie eksploatacji metali ziem rzadkich w Norwegii, kobaltu w Finlandii, litu w Hiszpanii, Czechach i Portugalii.

Podobne działania podjęto w USA. Prezydent Donald Trump w 2017 roku polecił przygotować strategię dotyczącą bezpieczeństwa surowcowego USA (Executive Order 13817 – A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals) [9]. Obejmuje ona przygotowanie i podjęcie działań w kierunku:

- zwiększenia środków na badania i rozwój oraz edukację w zakresie surowców krytycznych,
- wzmocnienia dostępu do zasobów surowców krytycznych i zabezpieczenia ich na cele obrony narodowej,
- poprawy stosunków handlowych i współpracy w zakresie surowców krytycznych,
- lepszego rozpoznania i dostępu do krajowych zasobów surowców krytycznych,
- skrócenia procedur zezwalających na wydobywanie surowców krytycznych.

Zaplanowany na lata 2021–2027 program innowacyjny UE o nazwie Horyzont Europa (rys. 10) jest największym i najbardziej ambitnym programem badawczym i innowacyjnym UE [7]. Jego głównym celem jest zapewnianie Unii czołowego miejsca w badaniach i innowacjach dotyczących dwóch dziedzin: cyfryzacji oraz zielonego ładu w gospodarce. KE zaproponowała 100 mld euro na sfinansowanie badań i rozwoju, z tego 15 mld euro na przemysł realizujący działania w gospodarce o obiegu zamkniętym (surowce mineralne) oraz przemysł o niskim zużyciu węgla (dekarbonizacja) i wykorzystujący czystą energię.

W ramach nowej strategii wzrostu gospodarki UE (*The European Green Deal*) Europa zamierza być pierwszym kontynentem neutralnym klimatycznie do roku 2050. Tę strategię ogłoszono 10 marca 2020 roku. Opiera się ona na dwóch zasadniczych kierunkach zmian: ekologicznym i cyfrowym, oraz ma wpływać na każdy aspekt gospodarki oraz społeczeństwa.

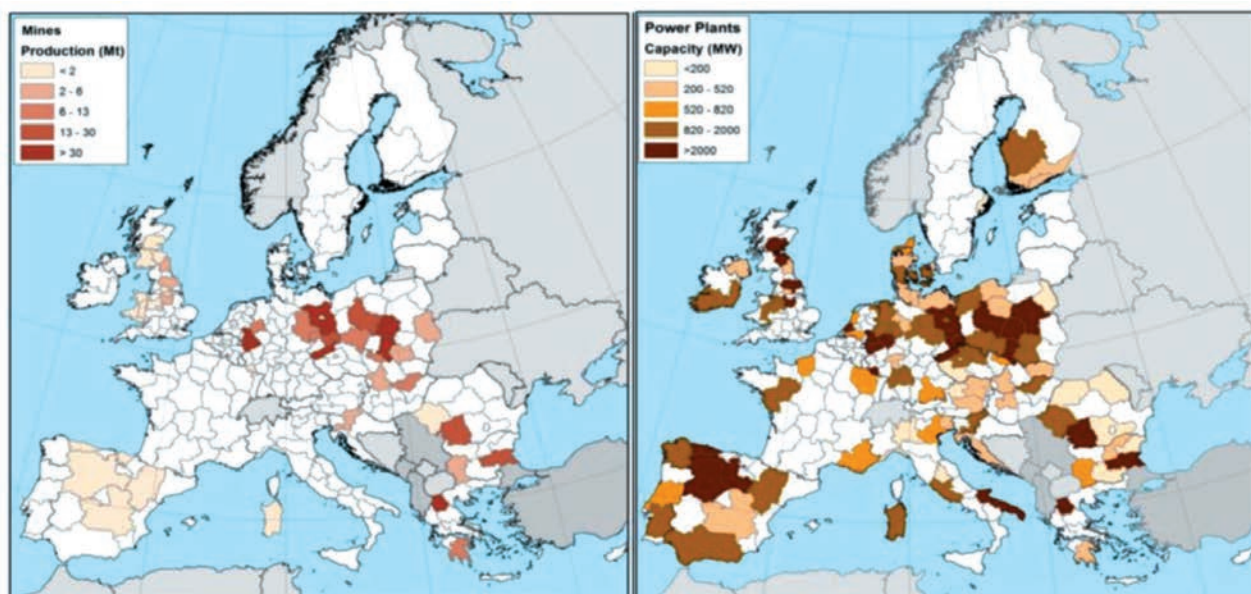


Rys. 10. Schemat i przewidywane działania programu innowacyjnego Horyzont Europa (2021–2027) [6]

Będzie to wymagać nowych rozwiązań technicznych, inwestycji w innowacje, aby stworzyć nowe produkty, usługi, rynki, modele biznesowe, nowe stanowiska pracy i umiejętności. Ma to także zapewnić bezkonfliktowe przejście z gospodarki liniowej (dominującej obecnie) do gospodarki w obiegu zamkniętym.

Zakłada się, że przemysł EU będzie potrzebował bezpiecznego dostępu do czystej energii oraz surowców, by stać się bardziej konkurencyjnym, gdy będzie częściej nastawiony na recykling i zieloną energię. Przewiduje się wzrost inwestycji na badania, innowacje, inwestowanie w nowe rozwiązania oraz nowoczesną infrastrukturę, co pozwoli rozwijać nowe procesy produkcyjne oraz tworzyć nowe miejsca pracy.

Przemysł wydobywczy obejmujący kopalnie, przetwórkę surowców, hutnictwo to sektor zużywający duże ilości energii (*energy intensive*), a nacisk na wydobycie i większą produkcję surowców mineralnych ze złóż pierwotnych wzmacnia dążenie do bardziej zamkniętego obiegu w technologiach produkcyjnych. Już teraz wydobycie rud żelaza oraz produkcja stali i cementu, działalność rafinerii, przemysłu petrochemicznego oraz produkcja nawozów rolniczych odpowiada za emisję ponad 70% CO₂ (wg danych EU ETS). Stąd program dekarbonizacji, czyli odchodzenia od węgla kamiennego i brunatnego jako źródła energii będzie realizowany w wielu krajach UE (Niemcy, Polska, Hiszpania, Portugalia). Rysunek 11 wyjaśnia kroki związane z dekarbonizacją podejmowane przez Unię Europejską.



Rys. 11. Regiony UE z działającymi kopalniami węgla oraz elektrowniami opartymi na węglu
(The European Commission's science and knowledge service Joint Research Centre High Level Event Smart Specialisation Platform on energy – S3PEnergy; 2018)

Kluczowe technologie są ważne dla przyszłości przemysłu w Europie. Niektóre z nich są blisko powiązane z surowcami krytycznymi, które muszą być zastosowane w opracowaniu tych technologii. Wsparcie dla recyklingu i zastosowanie wtórnych materiałów surowcowych pozwoli na zmniejszenie zależności od pierwotnych surowców mineralnych. Aby osiągnąć te ambitne cele, konieczny będzie bezpieczny dostęp do tych surowców oraz sprostanie następującym wyzwaniom technologicznym:

- Technologia baterii jonowo-litowych, która jest rozwijana do zastosowania i uruchomienia transportu elektrycznego i produkcji czystej energii. Co ważne, to ta technologia staje się coraz bardziej przydatna do zastosowań militarnych.
- Ogniwa paliwowe (FCs) są ważną technologią służącą konwersji energii przede wszystkim z wykorzystaniem wodoru jako źródła energii. Ogniwa oparte na wodorze dają możliwość szybkiego odejścia w przyszłości od węgla w systemach produkcji energii oraz stworzą warunki do wdrożenia transportu elektrycznego (*e-mobility*), chociaż takie rozwiązania na dużą skalę nie są jeszcze stosowane.
- Energia z wiatru jest jedną z najbardziej efektywnych technologii w produkcji czystej energii wspomagającej realizację programów ograniczenia zmian klimatycznych. Przewiduje się, że pozostanie jednym z głównych źródeł energii dla przemysłu UE.
- Silniki dla napędu pojazdów mają być zasadniczym składnikiem samochodów z napędem elektrycznym. Te silniki wykorzystujące stałe magnesy zawierające pierwiastki ziem rzadkich są szczególnie wydajne i atrakcyjne dla bieżących i przyszłych zastosowań w transporcie elektrycznym.
- Technologia fotowoltaiczna (PV) łącznie z rozwiązaniami wykorzystującymi energię wiatrową będzie służyć do transformacji całego sektora energetycznego na świecie. Panele fotowoltaiczne już teraz mają szerokie zastosowanie w badaniach kosmosu.
- Robotyka jako nowa technologia z rosnącą rolą w fabrykach przyszłości, włączając w to przemysł obronny oraz przemysł lotniczy. Przewiduje się również jej zastosowania w energetyce i automatyce.
- Drony (UAV), których znaczenie rośnie w zastosowaniach zarówno cywilnych, jak i wojskowych.
- Druk 3D oraz Skojarzona Produkcja, Additive Manufacturing (3DP/AM), który może szybko zmienić tradycyjne kanały dostaw i zastąpić tradycyjne wytwarzanie, w szczególności w przemyśle zbrojeniowym i lotniczym. Ma też doprowadzić do znaczących zmian w zastosowaniu surowców wykorzystywanych w przetwarzaniu procesowym.
- Rozwój technologii cyfrowych, których zadaniem będzie podtrzymać ogromny rozwijający się sektor cyfrowy zapewniający wdrożenie powyższych rozwiązań.

W sprostaniu tym wyzwaniom ma pomóc przyjęty do realizacji plan o nazwie *Circular Economy Action Plan*. UE, uzbrajając konsumentów w lepszą informację na temat produktów i praw konsumenta, spodziewa się, że odegrają oni bardziej aktywną rolę. UE będzie także wspierać rozwijanie tych kluczowych technologii, które są strategicznie ważne dla przyszłej gospodarki Unii. Dotyczy to: robotyki, mikroelektroniki, szybkiego przetwarzania danych oraz infrastruktury, technologii blockchain, technologii kwantowych, fotoniki, przemysłowej biotechnologii, biomedycyny, nanotechnologii, przemysłu farmaceutycznego oraz zaawansowanych materiałów.

5. REKOMENDACJE DLA PRZYSZŁEJ POLITYKI SUROWCOWEJ UE

UE pozostaje w czołówce krajów, które realizują produkcję o znacznej wartości dodanej. Nie dotyczy to jednak wszystkich krajów członkowskich. Stąd UE będzie oczekiwać znaczących inwestycji w badania i rozwój, by te mniej zaawansowane technologicznie kraje i regiony dotrzymały kroku innym, bardziej zaawansowanym. Istnieje więc potrzeba rozwijania takiej produkcji, by utrzymać choć minimum możliwości dla ośmiu następujących produktów o wysokim priorytecie:

- Baterie – rosnąca produkcja surowców, ich przetwarzanie oraz potencjał w dziedzinie ich produkcji będzie wymagał inwestycji, by zmniejszyć zależność od rynków azjatyckich.
- Ogniwa słoneczne – niewystarczające możliwości ich produkcji w porównaniu z obecnym popytem okazują się jak najsłabszym punktem programów wdrażania rozwiązań w tej dziedzinie w UE. Stąd należy polepszyć możliwości ich produkcji w Europie. Chińska konkurencja jest tu bardzo widoczna.
- Drony (UAV) – UE stoi przed poważnym ryzykiem niedotrzymania kroku innym globalnym producentom w tej kluczowej technologii, która w sposób inteligentny integruje wiedzę o możliwościach, jakie daje zastosowanie dronów w czasie rzeczywistym na podstawie danych z Ziemi.
- Technologie cyfrowe – przywództwo technologiczne wymaga, by UE zapewniła sobie bezpieczny dostęp do kluczowych surowców i ich przetwórstwa oraz powtórnie rozwinęła możliwości wytwarzania kluczowych składników oraz ich składania w krajach UE.
- Ogniwa paliwowe – głównym kierunkiem w tym zakresie jest poprawa ich niezawodności i redukcja kosztów przez zwiększenie nakładów na badania celem ograniczenia stosowania wielu surowców, np. platyny, do katalizatorów ogniwa paliwowych.

- Wiatr – bardziej bezpieczne dostawy pierwiastków ziem rzadkich do Europy, być może przez ich recykling, co zabezpieczyłoby możliwości UE w produkcji magnezów.
- Robotyka – zabezpieczenie dostępu do surowców oraz poprawa produkcji komponentów, a także przygotowanie programu umiejętności dla pracowników, by utrzymać konkurencyjną pozycję UE na rynku globalnym.
- Technologia 3D – utrzymanie przywództwa w zakresie materiałów tworzonych z wykorzystaniem drukarek 3D w odniesieniu do specyficznych potrzeb technologii jest kluczem utrzymania przewagi konkurencyjnej UE.

Komisja Europejska zamierza rozwijać i wdrażać te cele oraz plan działania z pomocą krajów członkowskich, a w szczególności platformy realizującej program EIP on RM oraz grupy ekspertów skupionych w RM Supply Group. Komisja liczy również na wsparcie i ekspertyzy Europejskiego Instytutu Technologicznego (EIT) z siedzibą w Berlinie.

Nowy program strategiczny SIP platformy EIP on RM powinien wzmocnić przejście przemysłu UE do przemysłu neutralnego klimatycznie, tj. przemysłu zużywającego duże ilości energii, jakim jest przemysł wydobywczy, by osiągnąć w 2050 roku neutralność klimatyczną zgodnie ze strategią UE. Pomoże temu również skupienie się na działaniach i technologiach, które zmniejszają emisję CO₂ w aktualnych procesach. Można to osiągnąć przez:

- efektywność energetyczną – produkcja tej samej ilości przy mniejszym wykorzystaniu energii,
- wykorzystanie energii elektrycznej z odnawialnych źródeł,
- wykorzystanie energii geotermalnej,
- użycie biomasy, wodoru lub innego paliwa syntetycznego,
- technologię CCS (*carbon capture and storage*).

Aby przyspieszyć te działania, Unia Europejska zamierza utworzyć z mocnym wsparciem przemysłu sojusz European Raw Material Alliance i realizować za jego pomocą politykę surowcową w latach 2021–2027 opartą na dziesięciu działaniach:

1. Uruchomić w III kwartale 2020 roku działania European Raw Materials Alliance. Początkowo budując program działania dla metali ziem rzadkich i produkcji magnezów, zanim działanie to rozszerzy się na inne obszary surowcowe (odpowiedzialni: przemysł, KE, inwestorzy, European Investment Bank [EIB], udziałowcy, kraje członkowskie, regiony).

2. Przygotować do końca 2021 roku propozycję kryteriów finansowania całego łańcucha wartości dodanej w przemyśle wydobywczym – Delegated Acts on Taxonomy (odpowiedzialni: Platforma Zrównoważonych Finansów, KE).
3. Wystartować w roku 2021 z programem obejmującym innowacje i badania w obszarze surowców krytycznych na bazie przetwórstwa odpadów, zaawansowanych materiałów i substytutów, wykorzystując program Horizon Europe, European Regional Development Fund oraz programy narodowe badań i rozwoju (odpowiedzialni: KE, kraje członkowskie, regiony, społeczność B&R).
4. Zebrać i przeanalizować potencjalne źródła wtórnych surowców krytycznych i zidentyfikować surowce krytyczne z odpadów i miejsc składowania w UE oraz dające się zrealizować projekty ich odzysku – do roku 2022 (odpowiedzialni: KE, EIT Raw Materials).
5. Zidentyfikować wydobywcze i przetwórcze projekty oraz potrzeby inwestycyjne wraz z możliwościami ich finansowania dla surowców krytycznych w UE, które mogą zostać uruchomione do 2025 roku z priorytetem dla regionów górniczych, w których istniało/istnieje górnictwo węgla (odpowiedzialni: KE, kraje członkowskie, regiony, udziałowcy).
6. Przygotować ekspertyzy dotyczące znajomości technologii wydobywania przeróbki oraz przetwórstwa jako części programu strategicznego dla regionów podlegających zmianom od 2022 roku (odpowiedzialni: KE, przemysł, związki zawodowe, kraje członkowskie i regiony).
7. Uruchomić programy obserwacji ziemi dla poszukiwań złóż, monitorowania operacji górniczych oraz stanu środowiska po zakończeniu tych operacji (odpowiedzialni: KE, przemysł).
8. Przygotować projekty innowacyjne dla programu Horizon Europe dotyczące eksploatacji i przetwarzania surowców krytycznych w celu ograniczenia oddziaływania na środowisko – rozpoczynając od 2021 roku (odpowiedzialni: KE, społeczność B & R).
9. Opracować w 2021 roku strategiczne partnerstwa oraz powiązane fundusze dla zabezpieczenia bezpiecznych dostaw surowców krytycznych, włączając w to bezpieczne umowy handlowe i warunki inwestowania przy współpracy z rządem Kanady, zainteresowanymi krajami afrykańskimi, krajami sąsiadującymi z UE (odpowiedzialni: KE, kraje członkowskie, przemysł oraz kraje trzecie).
10. Wspierać odpowiedzialne praktyki górnicze dla surowców krytycznych poprzez regulacje prawne UE (propozycje z lat 2020–2021) i współpracę międzynarodową (odpowiedzialni: KE, kraje członkowskie, przemysł, organizacje cywilne).

6. PODSUMOWANIE

Pomimo wprowadzania strategii gospodarki w obiegu zamkniętym, programów oszczędnościowych w wykorzystaniu surowców oraz założeń polityki klimatycznej to surowce mineralne dalej będą podstawowym filarem rozwoju gospodarczego na świecie i stają się niezbędne w realizacji wielu działań wynikających z obecnych megatrendów gospodarki światowej (nowe technologie niskoemisyjne, urbanizacja, dekarbonizacja, cyfryzacja). Wydaje się, że tradycyjne paliwa energetyczne (węgiel, gaz, ropa) będą dalej odgrywać podstawową rolę w gospodarce wielu krajów UE (choć malejącą) oraz w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego wielu państw, w tym Polski (węgiel kamienny) i Niemiec (węgiel brunatny).

Rosnie rola i nadzór państwa w tworzeniu instrumentów polityki surowcowej wspierającej rozwój gospodarczy i bezpieczeństwo poszczególnych krajów. Na malejące zawartości surowców metalicznych w złożach oraz coraz większe trudności w dostępie do nich sektor wydobywczy UE musi znaleźć własne rozwiązania innowacyjne, takie jak np. efektywna i bezpieczna eksploatacja głęboko położonych złóż, opłacalne wydobywanie i przerób ubogich złóż metali, zagospodarowanie surowców z odpadów i surowców wtórnych (zasada 3R – *Reuse, Repair, Recycle*), bardziej skuteczne metody separacji.

Sadzę, że w przypadku surowców i sektora wydobywczego niezbędne będzie rozwijanie współpracy z krajami spoza Unii Europejskiej: Australią, Kanadą i USA oraz Japonią, które są liderami w wielu rozwiązaniach w sektorze wydobywczym i przetwórczym (automatyzacja, robotyka, cyfryzacja, poprawa bezpieczeństwa pracy, monitoring operacji technologicznych).

Literatura

- [1] Communication from the Commission to the European Parliament and the Council: *The raw materials initiative – meeting our critical needs for growth and jobs in Europe* (COM(2008) 699 final), <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0699:FIN:en:PDF> [12.11.2020].
- [2] Keating D.: *Europe looks home for new mining opportunities*, <https://www.euractiv.com/section/economy-jobs/news/europe-looks-home-for-new-mining-opportunities/> [12.11.2020].
- [3] Communication from the Commission to the European Parliament and the Council: *The Road from Paris: assessing the implications of the Paris Agreement and accompanying the proposal for a Council decision on the signing, on behalf of the European Union, of the Paris agreement adopted under the United Nations Framework Convention on Climate Change* (COM(2016) 110 final): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0110&from=EN> [12.11.2020].
- [4] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: *Tackling the challenges in commodity markets and on raw materials* (COM(2011) 25 final): <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0681:FIN:EN:PDF> [12.11.2020].
- [5] Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020) – Final Report: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42883/attachments/1/translations/en/renditions/native> [12.11.2020].
- [6] Karaś H.: *Innovation and new technology in mining and recycling*. Prezentacja dla studentów opracowana w ramach programu EIT Raw Material Academy – RMS Manager, 2020
- [7] Communication from the Commission Europe 2020: *A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:2020:FIN:EN:PDF> [12.11.2020].
- [8] Grohol M.: *Towards a comprehensive management system for resources in the EU*. Raw Materials Week, Knowledge event, 21 November 2019, Brussels. https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/unfc_egrm/egrm.10_apr2019/egrm_02.05.2019/19_Milan_Grohol.pdf [12.11.2020].
- [9] A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals (2019): https://www.commerce.gov/sites/default/files/2020-01/Critical_Minerals_Strategy_Final.pdf [12.11.2020].

mgr inż. HENRYK KARASZ
Krakowskie Towarzystwo Techniczne
ul. Malborska 10/6, 30-563 Kraków
h.karas@data.pl

IURII TSYBULIA
HUBERT PRZYGUCKI
MAWEJA KASONDE
DAMIAN MATEWSKI

DEC – diamond enhanced carbides: a new super-hard material with enhanced wear resistance

The paper presents the application of the pulse plasma consolidation (PPC) method in the field of diamond composites sintered under conditions of thermodynamic instability of diamond for the manufacture of tools intended for the cutting of different stones. Diamond enhanced carbides (DEC) are a composite material containing 30% vol of diamond particles and were produced using a mixture of submicron WC6Co (wt %). Due to PPC sintering conditions, dense sinters with a strong bond between the diamond particles and the sintered carbide matrix were obtained. The values of the specific cutting energy and the apparent friction coefficient of DEC cutter were investigated in comparison with the similar devices from PCD and ordinary tungsten carbide. DEC materials sintered in GeniCore confirmed the good market prospects for these materials in both cutting and mining applications.

Key words: metal matrix composite, DEC, SPS, sintering, diamond, cemented carbide

1. INTRODUCTION

Diamond enhanced carbides were developed at the beginning of the XXI century [1, 2] as materials which should combine the best properties of Polycrystalline Diamonds (PCD) based metal matrix composites (MMC) and cemented carbides as known superhard materials. However, there was a technological difficulty in the production of DEC, since diamond is in a metastable phase at the temperature of the sintering of cemented carbides (1400–1500°C) and transforms into graphite. Under high vacuum (at low partial oxygen pressure) at temperatures up to 1400°C, the graphitization proceeds slowly and only occurs on the surface of the diamond particles, whereas above this temperature, the transformation proceeds quickly and occurs throughout the entire particle. In order to avoid graphitization, it is therefore necessary to conduct the sintering process quickly

ly in a vacuum, and at a relatively low temperature. The innovatory Pulse – Plasma – Compaction (PPC) technology met mentioned requirements, because of using of electric current impulses, with the amplitude of the order of several hundred kA, which are generated by discharging a capacitor battery. The patented solution of an electronic switcher and the transformation of PPC puts that technology Pulse – Plasma – Compaction ready for the industrial application and sintering of DEC based composites with improved performance characteristics.

2. EXPERIMENTAL PART

2.1. Materials

The WC-6Co (weight %) composites were produced from mixtures of tungsten carbide (94 weight %)

powder with an average grain size of $0.4\ \mu\text{m}$ and ultra-fine-grained cobalt powder (6 weight %). At the second stage 30% vol. of the diamond powder with an average size of about $60\ \text{m}\mu$ was added to the basic carbide mixture. The powders were dry mixed in a Turbo Mixer made in China according to Schatz's geometry [3] using carbide balls with a 1:1 ball-to-powder mass ratio. The mixing time was 5 hours.

2.2. The PPC sintering process

The sintering process was conducted in an apparatus which uses PPC technology, shown in Figure 1,

under the following basic conditions. Before the sintering, the chamber was pumped out to a pressure of $1.5 \times 10^{-3}\ \text{Pa}$. Then, under a loading force of 100 kN, the sample was heated to a temperature of 800°C for 10 min so as to remove the gases adsorbed on the powder particle surfaces. After degassing, the sample was further heated to reach the required sintering temperature of 1250°C and was maintained at this temperature for 3 min. At the beginning of this stage, the loading force was increased to 212 kN. The final stage included cooling the sample to room temperature, still under a loading force of 212 MPa. All the operations were performed in a vacuum of $1.5 \times 10^{-3}\ \text{Pa}$.



Fig. 1. The production system for sintering by the PPC technology manufactured by GeniCore in Poland

2.3. Testing methods

Wear resistance testing of materials by friction against loosely fixed abrasive particles was made in accordance to GOST 23.208-79 [4], as presented in Figure 2.

Cutting tool characterization was made in cooperation with the Mining Engineering Department of the University of Mons based on a series of standardized cutting tests performed on a Rock Strength Device (RSD) developed in the United States of America [5]. Shown in Figure 3, RSD was used to carry out cutting tests at constant speed and depth of cut. It was composed of a two parts frame, one fixed and one mobile, a stepper motor, and a two-dimensional load sensor.

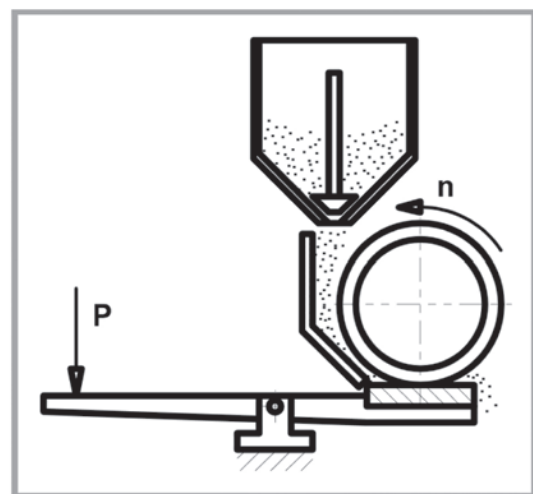


Fig. 2. Test setup diagram according to GOST 23.208-79

Table 1
Main parameters of wear resistance testing according to GOST 23.208-79

Parameter name	Value, unit
Abrasive material (type)	SiC 97C 150–180 μm
Pressure	44 N
Test roller diameter	50 mm
Rotation speed	60 rpm
Time of test	4 hours

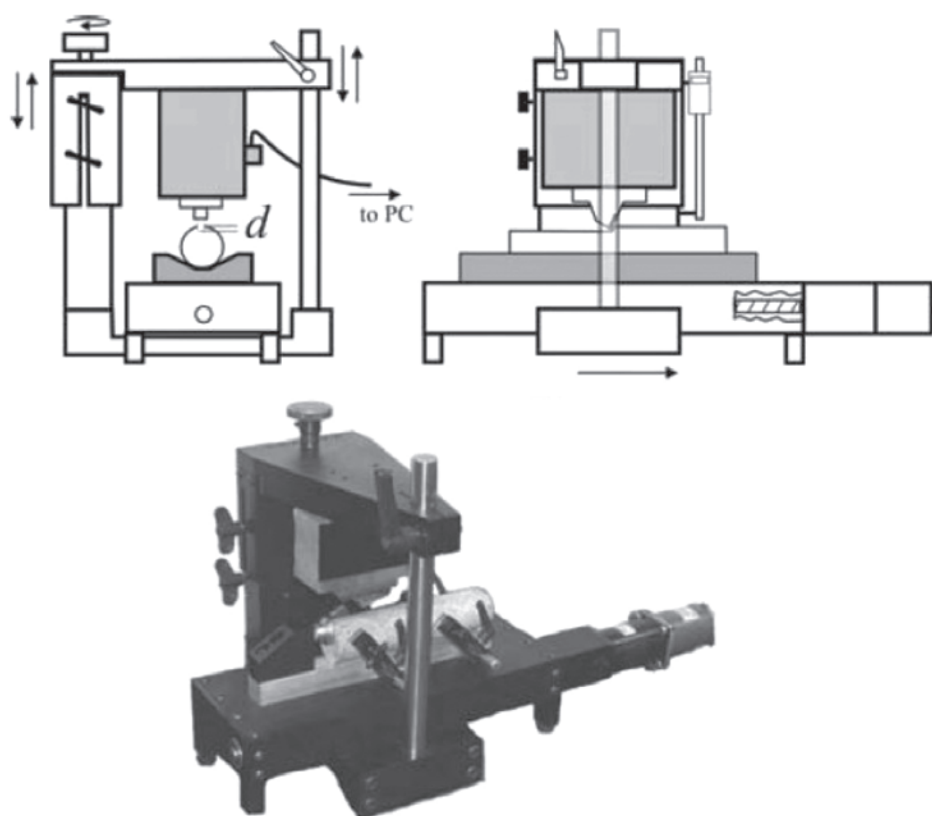


Fig. 3. Device for testing friction and wear resistance [6]

The whole device was controlled by a microcomputer which manages both the displacement of the mobile part and the processing of the data coming from the load sensor. The load sensor measured the horizontal F_h and vertical F_v , components of the force F acting on the cutter.

The standard test procedure [6] to characterize a cutter consists of 10 cutting tests performed on a reference rock sample (generally Vosges sandstone) and on two other rocks – the Mocca limestone and the Soignies limestone – for a depth of cut going from 0.1 to 1 mm. To perform these tests, the cutting speed is set at 4 mm/s while the back rake angle θ is fixed

at 15° . Generally, the tests are carried out on 4 cm lengths. After testing, the effective groove depths are measured with a probe indicator to avoid errors due to the mechanical deformation of the experimental frame.

Based on these tests, two parameters can be determined to characterize the DEC cutter – the specific cutting energy E , which was defined as the horizontal cutting energy required to cut a unit volume of rock (1) and the apparent friction coefficient on the cutting face ζ , which was calculated based on the diagram of the evolution of horizontal and vertical forces versus the active surface of the cutter (2) [7–9, 10].

Due to the similar geometry between DEC cutters and the cutters usually tested in the University of Mons, it was possible to compare the results from tests on Vosges sandstone with those of PDC or Tungsten Carbide cutters from the database of the University of Mons.

$$E = \frac{\int_C^2 F_t d\bar{u}}{\int_C^2 S_g d\bar{u}} \quad (1)$$

where:

- E – specific energy of cutting,
- F_t – tangential cutting force,
- S_G – vertical cross section of the groove,
- $\bar{u}$ – tool displacement vector,
- C – tool path.

$$\zeta = \frac{S_v}{S_h} \quad (2)$$

where:

- S_v – slope of the vertical regression line of the component of the force acting on the active surface,
- S_h – slope of the regression line of the horizontal component of the force acting on the active surface.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Comparative results of wear resistance testing of WC-6Co and DEC composites by friction against

loosely fixed SiC abrasive particles are presented in Table 2 and confirm the advances of DEC material sintering by means of the new PPC technology.

The values of the specific cutting energy and the apparent friction coefficient of DEC cutter determined for different stones is provided in Table 3.

Comparison of the wear of DEC cutters for different types of stone is presented in Figures 4 and 5. The DEC cutter tested on Vosges sandstone started to show wear after ten cutting tests (Figs 4 and 5 (a)).

In comparison, the cutters tested on the Mocca limestone (Fig. 5b) or on the Soignies limestone (Fig. 5c) were intact. Although the Soignies limestone is a rock with a higher compressive strength than the other two rocks, no wear by chipping was observed on the DEC cutter tested on this rock. Such wear results were consistent with the abrasiveness of the different rocks. However, for wear by chipping due to repeated impacts, it would be necessary to carry out specific tests for this type of wear to draw final conclusions.

Since the comparison between cutters must be done under specific conditions (same rocks studied, same cutter geometry), only the results obtained with the DEC cutter tested on Vosges sandstone were compared with the results of the database of the University of Mons. Table 4 compares the results of the DEC cutter with the ones of two PCD cutters and one Tungsten Carbide cutter. Based on this comparison, it is possible to state that DEC cutters have an intermediate efficiency to PCD and Tungsten Carbide cutters.

Table 2

Comparative wear resistance of WC-6Co and DEC composites

Sample Name	Density [g/cm ³]	Δm [mg]	Relative wear resistance [cm ³ /turn]
DEC	11.23	52	6×10^{-6}
WC-6Co	14.88	104	1.2×10^{-5}

Table 3

Results of the tests performed with the DEC cutters for different rocks and the basic properties of rocks

Rock tested	Density	Compressive strength	E [J/m ³]	ζ
Vosges sandstone	2.2–2.8 g/cm ³	95 MPa	3.75×10^7	0.90
Mocca limestone	2.7 g/cm ³	91 MPa	4.38×10^7	0.75
Soignies limestone	2.7 g/cm ³	159,4 MPa	8.84×10^7	0.89

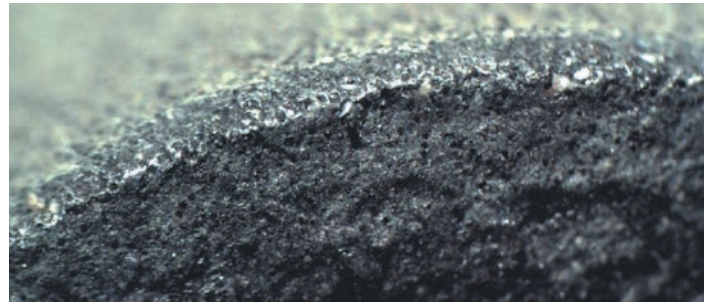


Fig. 4. Worn out edge of cutter after tests on Vosges sandstone

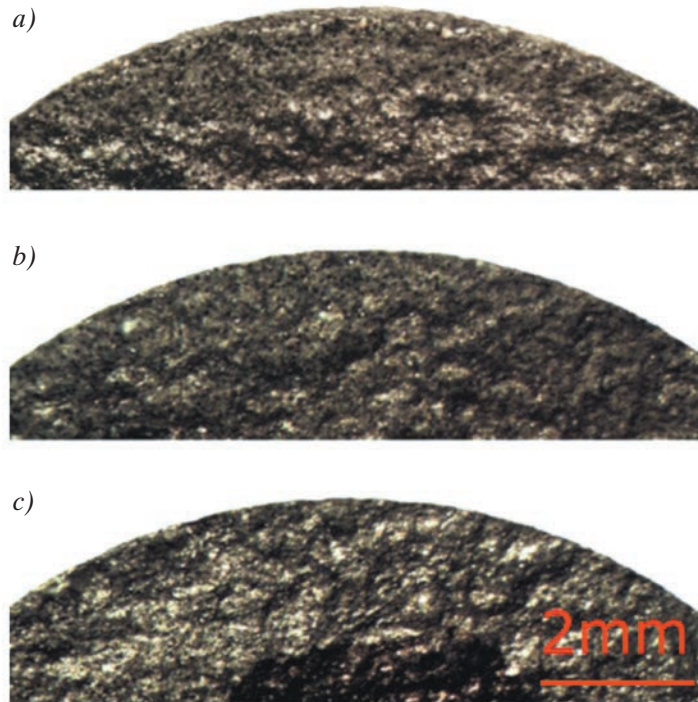


Fig. 5. Comparison of the cutting edges after tests performed on: a) Vosges sandstone; b) Mocca limestone; c) Soignies limestone

Table 4

Comparison of DEC cutters with PCD and Tungsten Carbide (WC) ones

Cutter's material type	E [MPa]	ζ
PCD typ 1	26.5	0.55
PCD typ 2	20.5	0.57
DEC	37.5	0.90
WC	76	1.00

The higher value of the apparent friction coefficient for DEC materials than PDC cutters is mainly due to the surface condition of DEC cutters. Indeed, the cutting surface is very rough, which tends to increase this coefficient.

It is also important to note that the Tungsten Carbide cutter did not have the same geometry and had a cham-

fer, in the case of DEC and PCD cutters, the clearance angle was zero degrees, while in the case of a tungsten carbide tool, this angle was non-zero. Therefore, the above comparative data can be only indicative, and more detailed investigations would be necessary to verify the real difference in performance characteristics of DEC and WC based cutters for wider range of rocks.

4. CONCLUSIONS

DEC has tremendous prospects in finding a niche for itself between the PCD and cemented carbides via synergy of the best consumer properties of both known products. The advanced specific features of PPC machines that has been designed and produced by GeniCore, such as extremely high heating speed (up to 1000 K per min) and unique form of the high energy pulses open up the possibility for the sintering of DEC materials based on polycrystalline diamond and with improved wear performance characteristics. The results of preliminary comparative tests of wear resistance of DEC materials which were sintered by GeniCore confirmed the bright market prospects of these materials. Further investigations are needed to meet the different challenges of such important markets as wood machining or the drilling of hard ceramic tiles, concrete, machining of CFRP composites and mining applications.

Acknowledgments

The work was co-financed by the National Center for Research and Development as part of the POIR 1.1.1 project “R&D on the creation of a device for the mass synthesis of a breakthrough diamond-enriched carbide composite” co-financed by the European Regional Development Fund.

References

- [1] Moriguchi H., Tsuzuki K., Ikegaya A.: *Diamond dispersed cemented carbide produced without using ultrahigh pressure equipment*. In: *15th International Plansee Seminar*, eds. G. Kneringer, P. Rodhammer, H. Wildner, Plansee Holding AG, Reutte 2001, 2: 326–336.
- [2] Moriguchi H., Tsuzuki K.: *Superhard particle-containing composite material*. Japanese patent JP3606311, 5.01.2005.
- [3] Bhoite K., Kakandikar G.M., Nandedkar V.M.: *Schatz mechanism with 3D-motion mixer – A review*. *Materials Today: Proceedings* 2015, 2: 1700–1706.
- [4] GOST 23.208-79: *Ensuring of wear resistance of products. Wear resistance testing of materials by friction against loosely fixed abrasive particles*. Gosstandart of the USSR, 11/29/1979
- [5] Dagrain F., Gernay C.: *Field applications for the scratching tests*. Conference Paper, 2006.
- [6] Mitaim S., Dagrain F., Richard T., Detournay E., Drescher A.: *A novel apparatus to determine the rock strength parameters*. Proceedings of the 9th National Convention on Civil Engineering, Phetburi, Thailand 2004.
- [7] Detournay E., Drescher A., Defourny P., Fourmaintraux D.: *Assessment of rock strength properties from cutting tests: preliminary experimental evidence*. Proceedings of the Colloquium Mundanum on Chalk and Shales, 1995: 1.1.13–1.1.22. Brussels, Groupement Belge de Mécanique des Roches.
- [8] Adachi J., Detournay E., Drescher A.: *Determination of rock strength parameters from cutting tests*. 2nd North American Rock Mechanics Symposium, NARM 1996: 1517–1523.
- [9] Richard T., Detournay E., Drescher A., Nicodeme D., Fourmaintraux D.: *The scratch test as a means to measure strength of sedimentary rocks*. Proceedings of the SPE/ISRM Rock Mechanics in Petroleum Engineering Conference 1998: 15–22.
- [10] Dagrain F., Richard T., Gernay C.: *The Rock Strength Device: A scratching apparatus to determine rock properties*. Conference paper: The 7th National Congress on theoretical and applied Mechanics NCTAM 2006.

IURI TSYBULIA, Dr. Eng.
HUBERT PRZYGUCKI, M.Sc., Eng.
MAWEJA KASONDE, Dr. Eng.
DAMIAN MATEWSKI, M.Sc., Eng.
GeniCore Sp. z o.o.
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa, Poland
hubert.przygucki@genicore.pl

IURII TSYBULIA
HUBERT PRZYGUCKI
MAWEJA KASONDE
DAMIAN MĄTEWSKI

DEC – węgliki wzmocnione diamentem: nowy materiał supertwardy o zwiększonej odporności na zużycie

W pracy przedstawiono zastosowanie metody spiekania impulsowo-plazmowego (PPC) w dziedzinie spiekanych kompozytów diamentowych w warunkach termodynamicznej niestabilności diamentu do wytwarzania narzędzi przeznaczonych do cięcia i urabiania różnych kamieni. Węgliki wzmocnione diamentem (DEC – ang. Diamond Enchanced Carbide), w dalszej części tekstu nazywane skrótowo DEC, jako materiał kompozytowy zawierający 30% obj. cząstek diamentu wytworzono, stosując mieszaninę submikro-nową WC6Co [% wag.]. Dzięki warunkom spiekania PPC uzyskano spieki o wysokiej gęstości z silnym wiązaniem pomiędzy cząstkami diamentu a osnową węglika spiekane-go. Badano wartości energii właściwej skrawania i współczynnika tarcia pozornego frezu DEC w porównaniu z podobnymi narzędziami z PCD i zwykłego węglika wolframu. Wyniki badań materiałów DEC spiekanych przez GeniCore potwierdziły dobre perspektywy rynkowe dla tych materiałów do zastosowań w cięciu i górnictwie.

Słowa kluczowe: kompozyt o osnowie metalicznej, DEC, SPS, spiekanie, diament, węglik spiekany

1. WSTĘP

Węgliki wzmocnione diamentem zostały opracowane na początku XXI wieku [1, 2] jako materiały łączące najlepsze właściwości Polikrystalicznych Diamentów (PCD – ang. *Polycrystalline Diamond*) na bazie kompozytów metalowych (MMC – ang. *Metal Matrix Composite*) i węglików spiekanych znanych jako materiały supertwarde. W produkcji DEC istniał problem technologiczny, ponieważ w temperaturze spiekania węglików (1400–1500°C), diament jest fazą metastabilną i przekształca się w grafit. W warunkach wysokiego podciśnienia (w niskim ciśnieniu cząstkowym tlenu) w temperaturach do 1400°C, grafityzacja przebiega powoli i występuje tylko na powierzchni cząstek diamentowych, natomiast powyżej tej temperatury transformacja przebiega szybko i występuje w całej cząstce. Aby uniknąć grafityzacji, konieczne jest prowadzenie procesu spiekania w podciśnieniu,

krótkim czasie i we względnie niskiej wartości temperatury. Innowacyjna technologia spiekania impulsowo-plazmowego (PPC) spełnia wymienione wymagania przez wykorzystanie impulsów prądu elektrycznego, o amplitudzie rzędu kilkuset kiloamperów, które są generowane w wyniku wyładowania baterii kondensatorów. Opatentowane rozwiązanie elektronicznego przełącznika i transformacji PPC czyni technologię spiekania impulsowo-plazmowego gotową do zastosowania przemysłowego i spiekania kompozytów na bazie DEC o ulepszonych parametrach.

2. CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

2.1. Materiały

Kompozyty WC-6Co [% wag.] były produkowane z mieszanek sproszkowanego węglika wolframu (94% wag.)

o średniej wielkości ziaren $0,4\ \mu\text{m}$ i bardzo drobnopokruszonego sproszkowanego kobaltu (6% wag.). W drugim etapie dodawano 30% objętościowo sproszkowanego diamentu o średnim rozmiarze około $60\ \mu\text{m}$ do podstawowej mieszanki węglkowej. Proszki były mieszane na sucho w mieszalniku Turbo Mixer wyprodukowanym w Chinach, pracującym w geometrii Schatz [3] z wykorzystaniem kulek węglkowych w proporcji masy kulek do proszku 1:1. Czas mieszania wynosił 5 godzin.

2.2. Proces spiekania PPC

Proces spiekania przeprowadzono w urządzeniu wykorzystującym technologię PPC, przedstawionym

na rysunku 1, w następujących warunkach podstawowych. Przed spiekaniem komora była sprowadzana do ciśnienia $1,5 \times 10^{-3}\ \text{Pa}$. Następnie, przy zastosowaniu obciążenia 100 kN, próbka była ogrzewana do temperatury 800°C przez 10 min tak, aby usunąć gazy zaadsorbowane na powierzchniach cząstek proszku. Po odgazowaniu próbka była dalej podgrzewana w celu osiągnięcia wymaganej temperatury spiekania 1250°C i była utrzymywana w tej temperaturze przez 3 min. Na początku tego etapu siła obciążenia wzrosła do 212 kN. Końcowy etap obejmował chłodzenie próbki do temperatury pokojowej, nadal pod obciążeniem 212 MPa. Wszystkie operacje były prowadzone w podciśnieniu $1,5 \times 10^{-3}\ \text{Pa}$.

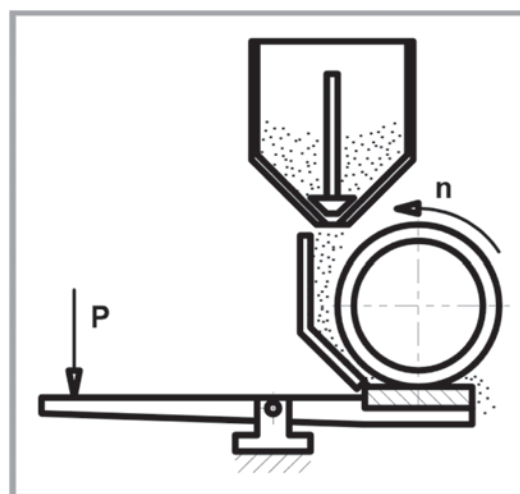


Rys. 1. System produkcyjny do spiekania w technologii PPC wyprodukowany przez GeniCore w Polsce

2.3. Metody testowe

Odporność na zużycie materiałów testowano w warunkach tarcia (oraz mikroskrawania) o luźne ścierniwo w zgodności z GOST 23.208-79 [4], jak przedstawiono na rysunku 2. Główne parametry testowe zamieszczono w tabeli 1.

Charakterystyka narzędzia skrawającego została przygotowana we współpracy z Wydziałem Inżynierii Górnictwa Uniwersytetu w Mons na podstawie serii standaryzowanych testów cięcia zrealizowanych na testerze do badania tarcia i zużycia RSD opracowanym w Stanach Zjednoczonych Ameryki (RSD – ang. *Rock Strength Device*) [5]. Pokazany na rysunku 3 tester RSD wykorzystano do zrealizowania testów

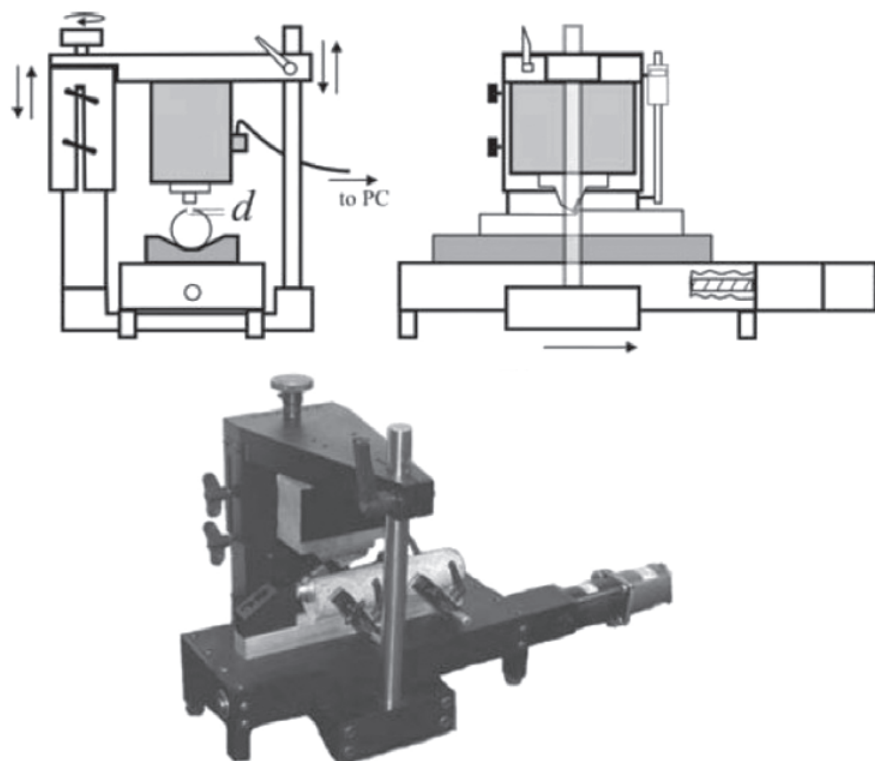


Rys. 2. Schemat testu zgodnie z GOST 23.208-79

Tabela 1

Główne parametry testu odporności na zużycie zgodnie z GOST 23.208-79

Nazwa parametru	Wartość
Ściemiwo (typ)	SiC 97C 150–180 μm
Nacisk	44 N
Średnica wałka testowego	50 mm
Prędkość obrotowa	60 obr/min
Czas testu	4 godz.



Rys. 3. Tester do badania tarcia i zużycia [6]

cięcia ze stałą prędkością i głębokością cięcia. Obejmował dwuczęściową ramę, z jedną częścią stałą i jedną ruchomą, silnik krokowy i dwuosiowy czujnik obciążenia. Całe urządzenie było sterowane przez mikrokomputer kierujący skokiem części ruchomej i przetwarzający dane pochodzące z czujnika obciążenia. Czujnik obciążenia mierzył składowe, poziomą F_h i pionową F_v , siły F działającej na narzędzie.

Standardowa procedura testowa [6] do charakteryzowania narzędzia obejmuje 10 testów cięcia realizowanych na próbnej skale odniesienia (piaskowiec z Wogezów) oraz na dwóch innych skałach (wapień Mocca oraz wapień z Soignies) z głębokością cięcia od 0,1 mm do 1 mm. Aby wykonać te testy, prędkość cięcia ustawiono na 4 mm/s, a kąt natarcia narzędzia θ ustawiono na 15°. Ogólnie testy są przeprowadzane

na długości 4 cm. Po przetestowaniu głębokości wytworzonych bruzd są mierzone sondą w celu uniknięcia błędów spowodowanych mechanicznym odkształceniem eksperymentalnej ramy.

Na podstawie tych testów można ustalić dwa parametry w celu scharakteryzowania narzędzia DEC – energia właściwa cięcia E , która została zdefiniowana jako energia cięcia poziomego konieczna do wycięcia objętości jednostkowej skały (1) [10] i współczynnik tarcia pozornego na powierzchni cięcia ζ , który został obliczony na podstawie schematu zmiany sił poziomych i pionowych względem czynnej powierzchni narzędzia (2) [7–9, 10].

Dzięki podobnej geometrii narzędzi DEC i narzędzi zwykle testowanych na Uniwersytecie w Mons możliwe było porównanie wyników testów na piaskowcu

z Wogezów z narzędziami z PCD lub węgla wolframu z bazy danych Uniwersytetu w Mons.

$$E = \frac{\int_0^2 F_t d\bar{u}}{\int_0^2 S_g d\bar{u}} \quad (1)$$

gdzie:

- E – energia właściwa cięcia,
- F_t – styczna siła skrawania,
- S_G – pionowy przekrój poprzeczny rowka,
- $\bar{u}$ – wektor przemieszczenia narzędzia,
- C – ścieżka narzędzia.

$$\zeta = \frac{S_v}{S_h} \quad (2)$$

gdzie:

- S_v – nachylenie linii regresji pionowej składowej siły działającej na powierzchnię aktywną,
- S_h – nachylenie linii regresji poziomej składowej siły działającej na powierzchnię aktywną.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Porównawcze wyniki testów odporności na zużycie ściernie kompozytów WC-6Co i DEC przez tarcie o luźno związane cząstki ściernie SiC są przedstawione w tabeli 2 i potwierdzają one zalety materiału DEC spiekanej nowoczesną technologią PPC.

Wartości energii właściwej cięcia i współczynnika tarcia pozornego narzędzia DEC ustalone dla różnych skał podano w tabeli 3.

Porównanie zużycia narzędzi DEC na różnych rodzajach skał przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Narzędzie DEC przetestowane na piaskowcu z Wogezów zaczęło wykazywać zużycie po dziesięciu testach cięcia (patrz rys. 4 i 5a).

Dla porównania narzędzia przetestowane na wapieniu Mocca (rys. 5b) lub wapieniu z Soignies (rys. 5c) nie wykazywały śladów zużycia. Choć wapień z Soignies to skała o wyższej wytrzymałości na ściskanie niż dwie pozostałe skały, nie zaobserwowano zużycia w postaci wykruszania w przypadku narzędzia DEC przetestowanego na tej skałe. Takie wyniki zużycia były zgodne z własnościami ściernymi poszczególnych skał. Jednak, jeśli chodzi o zużycie w postaci wykruszania w wyniku powtarzanych uderzeń, konieczne byłoby zrealizowanie specjalnych testów na ten typ zużycia w celu wyciągnięcia ostatecznych wniosków.

Ponieważ porównanie narzędzi tnących musi być dokonane w określonych warunkach (takie same badane skały, taka sama geometria narzędzia), tylko wyniki uzyskane dla narzędzia DEC przetestowanego na piaskowcu z Wogezów zostały porównane z wynikami z bazy danych Uniwersytetu w Mons. Tabela 4 zestawia porównanie wyników narzędzia DEC z wynikami dwóch narzędzi skrawających PCD i jednego narzędzia z węgla wolframu. Na podstawie powyższego porównania można stwierdzić, że efektywność narzędzi DEC jest pomiędzy narzędziami tnącymi PCD a tymi z węgla wolframu.

Tabela 2

Porównanie odporności na zużycie kompozytów WC-6Co i DEC

Oznaczenie własne	Gęstość [g/cm ³]	Δm [mg]	Zużycie [cm ³ /obr]
DEC	11,23	52	6×10^{-6}
WC-6Co	14,88	104	$1,2 \times 10^{-5}$

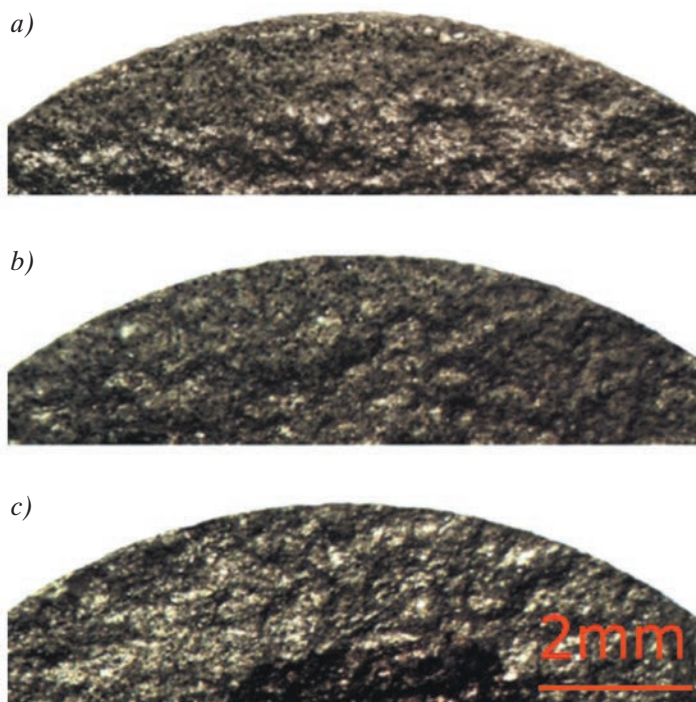
Tabela 3

Wyniki testów wykonanych narzędziami DEC na różnych skałach oraz podstawowe właściwości skał

Testowana skała	Gęstość	Wytrzymałość na ściskanie	E [J/m ³]	ζ
Piaskowiec z Wogezów	2,2–2,8 g/cm ³	95 MPa	$3,75 \times 10^7$	0,90
Wapień Mocca	2,7 g/cm ³	91 MPa	$4,38 \times 10^7$	0,75
Wapień z Soignies	2,7 g/cm ³	159,4 MPa	$8,84 \times 10^7$	0,89



Rys. 4. Zużyta krawędź narzędzia po testach na piaskowcu z Wogezów



Rys. 5. Porównanie krawędzi tnących po testach zrealizowanych na: a) piaskowcu z Wogezów; b) wapieniu Mocca; c) wapieniu z Soignies

Tabela 4

Porównanie narzędzi DEC z narzędziami z PCD i węglika wolframu (WC)

Typ materiału narzędzia	E [MPa]	ζ
PCD typ 1	26,5	0,55
PCD typ 2	20,5	0,57
DEC	37,5	0,90
WC	76	1,00

Wyższa wartość współczynnika tarcia pozornego materiałów DEC niż w przypadku narzędzi tnących z PCD jest głównie wynikiem stanu powierzchni narzędzi DEC. W istocie powierzchnia cięcia jest bardzo szorstka, co na ogół zwiększa ten współczynnik.

Należy także odnotować, że narzędzie z węglika wolframu nie miało tej samej geometrii, w przypadku narzędzi DEC oraz PCD kąt przyłożenia wynosił zero stopni, natomiast w przypadku narzędzia z węglika wolframu kąt ten był niezerowy. Dlatego powyższe

dane porównawcze mogą być tylko wskazaniem i konieczne byłyby bardziej szczegółowe badania w celu ustalenia rzeczywistej różnicy w parametrach narzędzi z DEC i WC dla większej gamy skał.

4. WNIOSKI

DEC ma dużą szansę na znalezienie niszy pomiędzy materiałami PCD i węglkami spiekanyymi dzięki synergii najlepszych właściwości użytkowych obu znanych produktów. Zaawansowane właściwości maszyn pracujących w technologii PPC, które zostały zaprojektowane i wytworzone przez GeniCore, takie jak bardzo duża szybkość nagrzewania (do 1000 K na min) i unikalna forma wysoko energetycznych impulsów, otwierają możliwość spiekania materiałów DEC opartych na polikrystalicznych diamentach o podwyższonej odporności na ścieranie. Wyniki wstępnych testów porównawczych odporności na zużycie materiałów DEC, które zostały poddane spiekaniu przez firmę GeniCore, potwierdziły przydatność kompozytu DEC w zastosowaniach przemysłowych. Dalsze badania powinny wykazać przydatność nowego materiału do zbrojenia narzędzi specjalistycznych do obróbki drewna i kompozytów CFRP z dużymi prędkościami, wiercenia i frezowania w twardych materiałach niemetalowych oraz w narzędziach górniczych.

Podziękowania

Praca powstała przy współfinansowaniu z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu POIR 1.1.1 „Prace B+R nad stworzeniem urządzenia do masowej syntezy przełomowego kompozytu węglików wzbogaconych diamentem” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Literatura

- [1] Moriguchi H., Tsuzuki K., Ikegaya A.: *Diamond dispersed cemented carbide produced without using ultrahigh pressure equipment*. W: 15th International Plansee Seminar, eds. G. Kneringer, P. Rodhammer, H. Wildner, Plansee Holding AG, Reutte 2001, 2: 326–336.
- [2] Moriguchi H., Tsuzuki K.: *Superhard particle-containing composite material*. Japanese patent JP3606311 (2005-01-05).
- [3] Bhoite K., Kakandikar G.M., Nandedkar V.M.: *Schatz mechanism with 3D-motion mixer – A review*. Materials Today: Proceedings 2015, 2: 1700–1706.
- [4] GOST 23.208-79: *Ensuring of wear resistance of products. Wear resistance testing of materials by friction against loosely fixed abrasive particles*, Gosstandart of the USSR, 11/29/1979.
- [5] Dagrain F., Gernay C.: *Field applications for the scratching tests*. Conference Paper, 2006.
- [6] Mitaim S., Dagrain F., Richard T., Detournay E., Drescher A.: *A novel apparatus to determine the rock strength parameters*. Proceedings of the 9th National Convention on Civil Engineering, 2004. Phetburi, Thailand 2004.
- [7] Detournay E., Drescher A., Defourny P., Fourmaintraux D.: *Assessment of rock strength properties from cutting tests: preliminary experimental evidence*. Proceedings of the Colloquium Mundanum on Chalk and Shales, 1995: 1.1.13–1.1.22. Brussels, Groupement Belge de Mécanique des Roches.
- [8] Adachi J., Detournay E., Drescher A.: *Determination of rock strength parameters from cutting tests*. 2nd North American Rock Mechanics Symposium, NARM 1996: 1517–1523.
- [9] Richard T., Detournay E., Drescher A., Nicodeme D., Fourmaintraux D.: *The scratch test as a means to measure strength of sedimentary rocks*. Proceedings of the SPE/ISRM Rock Mechanics in Petroleum Engineering Conference 1998: 15–22.
- [10] Dagrain F., Richard T., Gernay C.: *The Rock Strength Device: A scratching apparatus to determine rock properties*. Conference paper: The 7th National Congress on theoretical and applied Mechanics NCTAM 2006.

dr inż. IURII TSYBULIA
mgr inż. HUBERT PRZYGUCKI
dr inż. MAWEJA KASONDE
mgr inż. DAMIAN MĄTEWSKI
GeniCore Sp. z o.o.
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa
hubert.przygucki@genicore.pl

