

KRUSZYWA MINERALNE

t. 6



Oficina Wydawnicza
Politechniki Wrocławskiej
Wrocław 2023

Kruszywa mineralne

t. 6



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
Wrocław 2023

Redaktor naukowy

Wojciech GLAPA

Recenzenci

Krzysztof GALOS

Wiesław KOZIÓŁ

Redaktor techniczny

Stanisław GANCARZ

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej książki, zarówno w całości, jak i we fragmentach, nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny, fotograficzny i inny bez zgody wydawcy i właścicieli praw autorskich.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2023

OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

<http://www.oficyna.pwr.edu.pl>

e-mail: oficwyd@pwr.edu.pl

zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl

ISBN 978-83-7493-233-2

Druk i oprawa: beta-druk, www.betadruk.pl

SPIS TREŚCI

Ireneusz BAIC, Wiesław KOZIOL, Artur MIROS	
Zależność wydobycia kruszyw mineralnych od wybranych wskaźników rozwoju gospodarczego	5
Stefan GÓRALCZYK	
Badania laboratoryjne kruszyw i betonów do oceny uszkodzeń konstrukcji w wyniku reakcji AAR	15
Urszula KAŻMIERCZAK, Marek W. LORENC, Paweł MAREK, Danuta RAJZAKOWSKA	
Dobre praktyki w rekultywacji terenów poeksploatacyjnych	29
Joanna KRASUSKA, Kamila BRODA, Olimpia KOZŁOWSKA	
Projekt „Geologia Samorządowa” – potencjał do współdziałania branży geologicznej	45
Łukasz MACHNIAK, Konrad SŁOWIŃSKI	
Ocena samorządowych inwestycji drogowych na podstawie bazy <i>e-zamówienia</i>	51
Jerzy MALEWSKI	
Eksploatacja złoża w kontekście technologicznym i środowiskowym	63
Zdzisław NAZIEMIEC, Agnieszka SARAMAK	
Przemiałownia z młynem pionowym w Kopalni Wapienia Celiny	71
Dorota NIEDŹWIEDŹ, Marcin PABISEK, Grzegorz GROCH	
Kruszywa sztuczne alternatywą w ochronie zasobów naturalnych	85
Sławomir PATLA	
Zagrożenie rozrzutem odłamków skalnych jako wypadkowa stosowanych parametrów robót strzałowych	97
Paweł PIETKIEWICZ, Michał DUDEK	
Stawki czynszu dzierżawnego za grunty Lasów Państwowych i Wód Polskich w aktualnych warunkach rynkowych	109
Daniel SARAMAK, Dariusz FOSZCZ, Damian KRAWCZYKOWSKI, Tomasz GAWENDA, Aldona KRAWCZYKOWSKA	
Innowacje w górnictwie w świetle aktualnych badań naukowych	119
Daniel SARAMAK, Tomasz GAWENDA, Agnieszka SARAMAK	
Modele emisji wybranych zanieczyszczeń pyłowych i gazowych dla kruszarek	129
Daniel SARAMAK, Tomasz GAWENDA, Agnieszka SARAMAK, Zdzisław NAZIEMIEC	
Ocena branży kruszywowej na podstawie publikacji z bazy naukowej Web of Science	141
Paweł STRZAŁKOWSKI, Katarzyna GUZIK, Krzysztof GALOS	
Gospodarowanie kamieniami łamanymi i blocznymi – rozwój bazy zasobowej i wydobycia w ostatnich 25 latach	151
Jarosław SZLUGAJ	
Możliwości produkcji kruszyw z odpadów wydobywczych z wybranych kopalń węgla kamiennego	165
Dariusz WOŹNIAK, Monika HARDYGÓRA	
Modelowanie odcinka przejściowego przenośnika taśmowego	179
Autorzy	194

CONTENTS

Ireneusz BAIC, Wiesław KOZIOL, Artur MIROS Dependence of mineral aggregates extraction on selected indicators of economic development	5
Stefan GÓRALCZYK Laboratory tests of aggregates and concretes for the assessment of structural damage resulting from the AAR reaction	15
Urszula KAŻMIERCZAK, Marek W. LORENC, Paweł MAREK, Danuta RAJCAKOWSKA Good practices in the reclamation of post-mining areas	29
Joanna KRASUSKA, Kamila BRODA, Olimpia KOZŁOWSKA Project “Geology Local Government” – potential for geological industry interaction	45
Łukasz MACHNIAK, Konrad SŁOWIŃSKI Evaluation of local government road investments based on <i>e-zamowienia</i> database	51
Jerzy MALEWSKI Exploitation of deposit in the technological and environmental context	63
Zdzisław NAZIEMIEC, Agnieszka SARAMAK Vertical grinding process applied in KW Celiny plant	71
Dorota NIEDŹWIEDŹ, Marcin PABISEK, Grzegorz GROCH Artificial aggregates as an alternative in the protection of natural resources	85
Sławomir PATLA The risk of flyrock as a result of the parameters of the blasting and the degree of their control	97
Paweł PIETKIEWICZ, Michał DUDEK Lease rates for State Forests and Polish Waters lands under current market conditions	109
Daniel SARAMAK, Dariusz FOSZCZ, Damian KRAWCZYKOWSKI, Tomasz GAWENDA, Aldona KRAWCZYKOWSKA Innovations in mining sector in the light of recent investigations	119
Daniel SARAMAK, Tomasz GAWENDA, Agnieszka SARAMAK Emission models of selected dust and gas pollutants for crushers	129
Daniel SARAMAK, Tomasz GAWENDA, Agnieszka SARAMAK, Zdzisław NAZIEMIEC Assessment of the aggregate industry based on publications from the Web of Science database	141
Paweł STRZAŁKOWSKI, Katarzyna GUZIK, Krzysztof GALOS The management of dimension and crushed stones – development of the resource base and output in the last 25 years	151
Jarosław SZLUGAJ Possibilities of production of mineral aggregates from mining waste from selected hard coal mines in Poland	165
Dariusz WOŹNIAK, Monika HARDYGÓRA Modeling of the transition section of the belt	179
Authors	194

Ireneusz BAIC
Wiesław KOZIOL
Artur MIROS

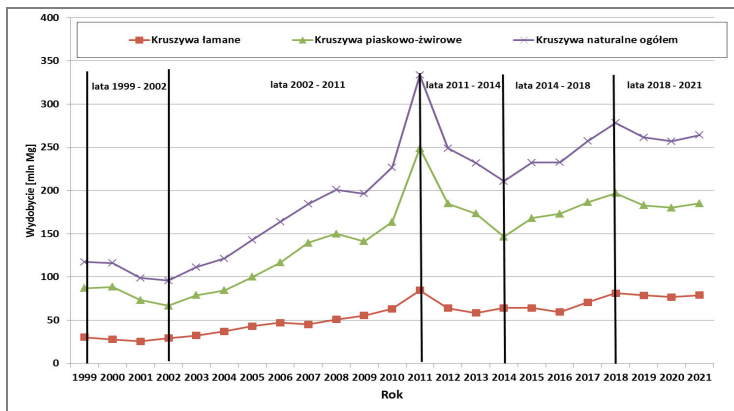
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny w Warszawie

ZALEŻNOŚĆ WYDOBYCIA KRUSZYW MINERALNYCH OD WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW ROZWOJU GOSPODARCZEGO

Artykuł jest kontynuacją publikacji [2], w której przedstawiono wstępne prognozy wydobycia kruszyw opracowane na podstawie analizy zależności ekonometrycznych od trzech wskaźników rozwoju gospodarczego: PKB, zużycia (produkcji) cementu i wskaźników koniunktury w budownictwie. Wskaźniki te w okresach comiesięcznych publikowane są przez GUS, co jest ich zaletą. W artykule podano nowe zależności ekonometryczne uzupełnione o dane za 2021 r. i częściowo 2022 r. wraz z prognozami na lata 2023–2025.

1. WPROWADZENIE

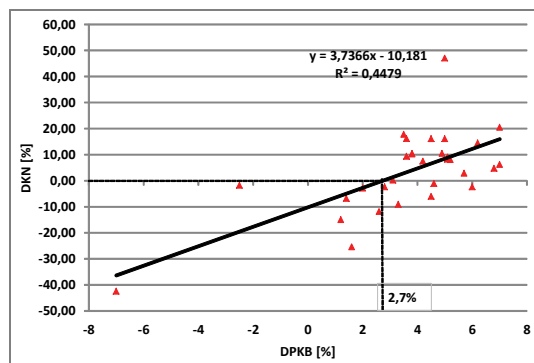
W branży kruszyw jednym z problemów jest brak bieżących (np. miesięcznych, kwartalnych, półrocznych) informacji o wydobyciu i produkcji. Przyczyną tego jest głównie duża liczba; ponad 2500 producentów, w większości nie dużych, zatrudniających poniżej 10 pracowników, nie podlegających badaniom GUS. Utrudnia to opracowanie bieżących analiz rynkowych i prognoz produkcji i zużycia kruszyw. Problem ten dotyczy również wielu innych krajów. W Polsce w miarę wiarygodne informacje o wydobyciu żwirów i piasków oraz kamieni łamanych i blocznych (kruszyw łamanych) ukazują się w połowie kolejnych lat, w corocznie publikowanych przez PIG-PIB bilansach zasobów złóż kopalin. Na przykład na rys. 1, na podstawie danych bilansu [3], mamy wykresy wydobycia kruszyw w kraju w latach 1999–2021; wiemy jak było w 2021 r., a nie wiemy jak było w poszczególnych regionach kraju w 2022 i stąd jak może być w 2023 r. i latach następnych; co jest szczególnie interesujące dla producentów i odbiorców kruszyw i jednostek współpracujących, np. dostawców maszyn, urządzeń, różnych materiałów itp.



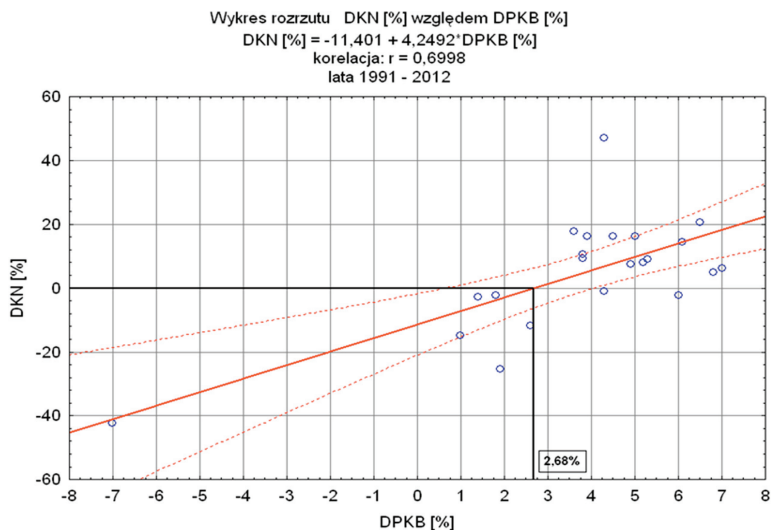
Rys. 1. Wydobycie kruszyw mineralnych w latach 1999–2021
 Fig. 1. Extraction of natural aggregates in the years 1999–2021

2. ZALEŻNOŚĆ WYDOBYCIA KRUSZYW OD DYNAMIKI ZMIAN PKB

Zależność wielkości wydobycia kruszyw od zmian (wzrosty, spadki) PKB w Polsce w okresie 30 lat (1991–2021) przedstawiono na rys. 2, zaś dla porównania na rys. 3 przedstawiono tę zależność sprzed 10 lat, uwzględniającą dane za lata 1991–2012. Z graficznego i analitycznego porównania obliczeń wynika, że charakter zależności jest bardzo podobny. Pomimo nieco innych parametrów modelu regresji liniowej, nadal barierą wzrostu wydobycia kruszyw jest wzrost PKB o ok. 2,7%. Zbliżony również uzyskano współczynnik korelacji liniowej $r = 0,67$ ($R^2 = 0,4479$), w porównaniu do wartości poprzedniej, co wskazuje że w obu zależnościach korelacja jest wysoka i spełnia warunek istotności na poziomie $P = 0,001$.



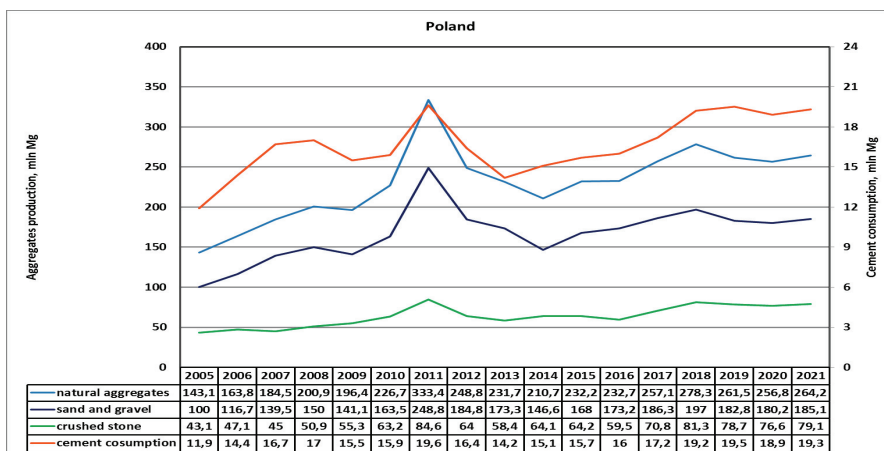
Rys. 2. Zależność wydobycia kruszyw od dynamiki wzrostu PKB w Polsce w latach 1991–2021
 Fig. 2. Dependence of aggregates extraction on the dynamics of GDP growth in Poland in the years 1991–2021



Rys. 3. Zależność wydobycia kruszyw naturalnych od dynamiki wzrostu PKB w latach 1991–2012 [6]
 Fig. 3. Dependence of natural aggregates extracion on the dynamics of GDP growth in the years 1991–2012 [6]

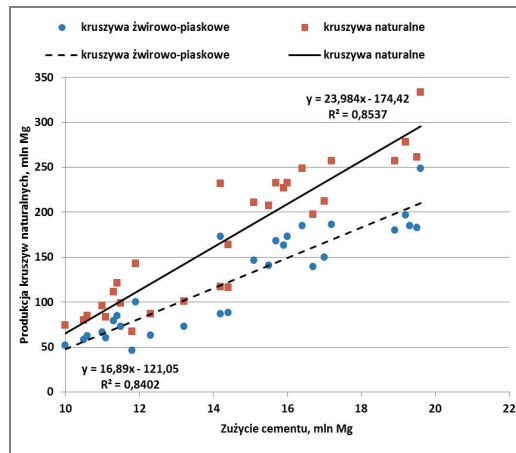
3. ZALEŻNOŚĆ WYDOBYCIA KRUSZYW OD ZUŻYCIA CEMENTU

Drugą analizowaną zależnością jest zależność wydobycia kruszyw (piaski i żwiry, kruszywa łamane) od zużycia cementu, którego produkcja na ogół jest dość dokładnie identyfikowana w statystykach poszczególnych krajów. W świecie wykorzystanie



Rys. 4. Wydobycie kruszyw i zużycie cementu w Polsce w latach 2005–2021
 Fig. 4. Extraction aggregates and cement consumption in Poland in the years 2005–2021

kruszyw mineralnych do betonu i wyrobów prefabrykowanych szacuje się na 28,7 do 32,8 mld Mg [1, 4, 10, 11], czyli około 2/3 produkcji kruszyw zużywana jest razem z cementem do produkcji betonów, prefabrykatów betonowych itp. W zależności od klasy betonu do jego produkcji zużywa się 5–7 Mg kruszyw na 1 Mg cementu, w tym ok. 65% kruszywa grubego (żwiru, grysy) i 35% piasków. Kształtowanie się wydobycia kruszyw i zużycia (sprzedaży) cementu w Polsce w latach 2005–2021 przedstawiono na rys. 4. Wykresy te mają zbliżony przebieg, co wskazuje na wyraźne zależności. Na ogół wzrostowi zużycia cementu odpowiada wzrost wydobycia kruszyw i odwrotnie. Dla zależności tych obliczono parametry regresji liniowych i współczynniki korelacji Pearsona (rys. 5). Uzyskane w obliczeniach wysokie współczynniki korelacji R^2 w granicach ok. 0,85 czyli $r > 0,92$, potwierdzają dobrą lub nawet ścisłą zależność na poziomie istotności $P = 0,001$.

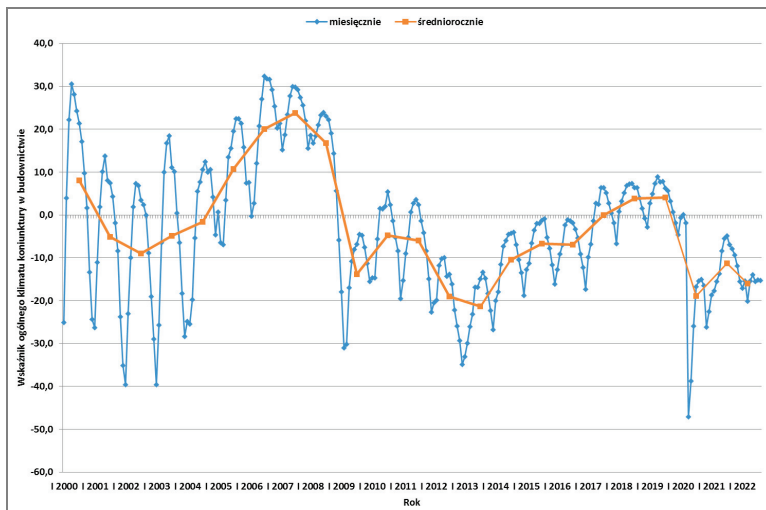


Rys. 5. Zależność wydobycia kruszyw od zużycia cementu w latach 1992–2021

Fig. 5. Dependence of aggregate extraction on cement consumption in the years 1992–2021

4. ZALEŻNOŚĆ WYDOBYCIA KRUSZYW OD WSKAŹNIKA OGÓLNEGO KLIMATU KONIUNKTURY W BUDOWNICTWIE

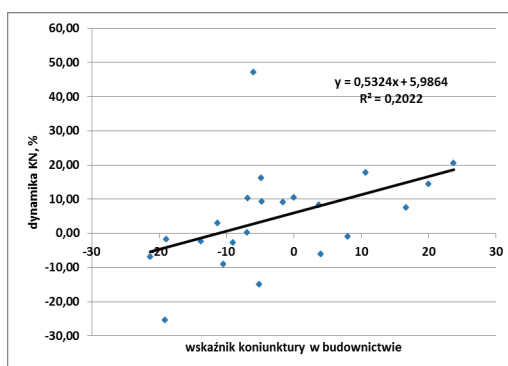
GUS wśród wielu danych dotyczących przemysłu i budownictwa, podaje między innymi, w okresach co miesięcznych i kwartalnych, wskaźniki ogólnej koniunktury w budownictwie [5]. Wskaźniki koniunktury dla budownictwa ustalane są na podstawie badań ankietowych 5000 firm o różnej liczbie pracowników. Wskaźniki mogą przyjmować wartości od +100 do –100. Wartości dodatnie oznaczają dobrą koniunkturę, zaś wartości poniżej zera wskazują na złą koniunkturę. Na rysunku 6 mamy wykresy danych miesięcznych i średniorocznych tego wskaźnika z lat 2000–2022, stanowiących podstawę dalszych obliczeń.



Rys. 6. Wskaźnik ogólnego klimatu koniunktury w budownictwie w latach 2000–2022

Fig. 6. Indicator of the general business climate in the construction industry in the years 2000–2022

Zmiany wartości miesięcznych mają charakter zmian cyklicznych, ze wzrostami w okresach wiosenno-letnich i spadkami w okresach zimowych. Podobny charakter zmian ma wydobycie kruszyw budowlanych. Od końca 2019 r. wskaźniki przyjmują wartości ujemne, przy czym bardzo duże wartości poniżej zera odnotowano od kwietnia 2020 ($-47,1$; $-38,9$; $-25,9$) czyli od wystąpienia pandemii COVID 19 [2]. W 2022 r. i obecnie wskaźniki te utrzymują się także na niskim, ujemnym poziomie; średnio miesięczna wartość wyniosła minus 18,0 (IV kwartał $-22,9$), a w styczniu i lutym 2023 r. zanotował wartości $-21,7$ i $-20,4$ [5].



Rys. 7. Zależność zmian produkcji kruszyw naturalnych od wskaźnika ogólnej koniunktury w budownictwie

Fig. 7. Dependence of changes in the production of natural aggregates on the general economic situation in the construction industry

Na rysunku 7 przedstawiono zależność dynamiki zmian produkcji kruszyw naturalnych (piaskowo-żwirowych i łamanych) od uśrednionego rocznego wskaźnika koniunktury przedsiębiorstw budowlanych. Dla zależności tej współczynnik korelacji liniowej Pearsona r wynosi 0,45 ($R^2 = 0,2022$), co oznacza średni stopień korelacji (zależności) spełniający jej istotność na poziomie 0,05.

5. PROGNOZA WYDOBYCIA KRUSZYW

Uzyskane zależności ekonometryczne można wykorzystać do określenia prognoz wydobywania kruszyw. Najpierw obliczono prognozy *ex post* wydobywania kruszyw w latach 2020 i 2021 i porównano je z osiągniętym wydobyciem [3]. Wyniki porównań przedstawiono w tab. 1. Z porównania tych wielkości wynika, że najmniejsze różnice (–2,8 i –2,9%) uzyskano dla prognozy według wskaźnika ogólnego klimatu koniunktury w budownictwie, pomimo że współczynnik korelacji dla tej zależności jest najniższy ($R^2 = 0,2022$, $r = 0,45$) spośród badanych zależności.

Tabela 1. Prognoza wydobywania kruszyw *ex post*
Table 1. *Ex post* forecast of aggregates extraction

Prognoza według	Wydobycie, mln Mg/rok		Prognoza wydobywania, mln Mg/rok, (błąd prognozy +/-), %		
	2020	2021	2020	2021	2022
PKB, %	256,8	264,2	223,4 (–13,0)	286,6 (+8,5)	
Zużycie cementu, mln Mg/rok	256,8	264,2	272,1 (+6,0)	283,9 (+7,5)	
Koniunktura w budownictwie	256,8	264,2	249,7 (–2,8)	256,6 (–2,9)	

Dla prognozy wydobywania według wielkości zużycia cementu błąd prognozy był większy i wyniósł +6,0 i +7,5%. Największe różnice oszacowano dla prognozy według PKB –13% i +8,5%. Dla PKB uzyskano też rozbieżne tendencje prognoz, w 2020 r. niedoszacowanie, a w 2021 r. przeszacowanie wydobywania?

Interesuje nas jednak bardziej nie porównanie prognoz z wydobyciem już uzyskanym, a określenie prognoz ku przyszłości, np. prognozy aktualnego łącznego wydobywania kruszyw i na lata 2024–2025. Tutaj jednak zaczynają się problemy...

Podstawowy trudność polega na tym, jakie wartości zmiennych niezależnych: PKB, zużycia cementu i koniunktury w budownictwie, przyjmujemy w estymowanych modelach ekonometrycznych. W zależności od ich wielkości uzyskamy różne wielkości prognozy.

Dla PKB publikowanych jest stosunkowo dużo prognoz; są one jednak zróżnicowane i zmieniają się z miesiąca na miesiąc, a czasami nawet z tygodnia na tydzień. W ostatnich trzech latach zanotowano następujące wartości PKB w Polsce [9]: 2020 r. – 2,0%, 2021 – 6,8%; 2022 r. – 4,9%. Po analizie różnych prognoz na rok 2023 i dwa następne lata przyjęto: 2023 – 0,5%; 2024 – 2,0%; 2025 – 2,5%.

Zużycie cementu (mln Mg/rok) według danych GUS i SPC [7, 8] w latach 2020–2022 wynosiło: 2020 – 18,9, 2021 – 19,3, 2022 – 18,9. W prognozie przyjęto: 2023 – 18,7, 2024 – 18,5, 2025 – 18,8 mln Mg/rok.

Pewnym problemem jest prognoza wskaźników koniunktury w budownictwie. Wskaźniki te w 2022 r. (średnio –18,0/m-c) były znacznie niższe od wskaźników w 2021 r. (średnio –11,3/m-c). Na początku obecnego roku przyjmują także niskie wartości (styczeń –21,7; luty –20,4), oznaczające pogorszenie koniunktury w budownictwie w stosunku do lat ubiegłych. W analizie założono, że koniunktura w obecnym i w następnych dwóch latach raczej nie poprawi się i w związku z tym przyjęto wartości: 2023 r. –18,5, 2024 –19,0, 2025 –18,0. Ogólnie dla wszystkich trzech parametrów założono – dosyć bezpieczne, uśrednione na podstawie różnych prognoz wielkości wskaźników: co otrzymano?...

Jeżeli chodzi o rok 2022, to z modeli zależności wydobycia od PKB i cementu wynika, że wydobycie kruszyw w porównaniu do 2021 r. powinno być większe o 5,5–8,3%, natomiast według prognozy uwzględniającej koniunkturę w budownictwie, wydobycie to może być mniejsze o 3,7%. I ta prognoza wydaje się bardziej prawdopodobna, co okaże się pod koniec czerwca po opublikowaniu danych przez PIG-PIB.

W 2023 i 2024 r. według wszystkich trzech wskaźników (zmiennych niezależnych) uzyskano zmniejszenie wydobycia w stosunku do roku poprzedniego. Dla roku 2023 zmniejszenie to wynosi od –1,7% (według zużycia cementu) do –8,3% (wg PKB); dla 2024 r. różnice prognoz są mniejsze i mieszczą się w przedziale: od –1,75% (według zużycia cementu) do –4,2% (według koniunktury w budownictwie). W 2025 r. uzyskano także zmniejszenie wydobycia w stosunku do roku poprzedniego: wg PKB o –0,75%, a według koniunktury w budownictwie o –3,7%, natomiast według założonego zużycia cementu prognoza wskazuje na możliwość wzrostu wydobycia o 2,7%. Pomimo zróżnicowania wartości prognoz, zaletą modeli jest to, że przyjęte jako zmienne niezależne parametry są identyfikowane w bilansach produkcji przemysłowej większości krajów, w odróżnieniu od braku takiej identyfikacji lub nie dokładnej ewidencji dla produkcji kruszyw mineralnych.

6. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Przedstawiono zależności wydobycia kruszyw od trzech makroekonomicznych wskaźników publikowanych przez GUS: dynamiki zmian PKB, wielkości krajowego

zużycia cementu i wskaźnika ogólnego klimatu koniunktury w budownictwie i wielkości krajowego zużycia cementu.

2. Uzyskane dla badanych zależności współczynniki determinacji R^2 są najkorzystniejsze dla zależności wydobywania (produkcji) kruszyw od zużycia cementu. Z porównania wielkości prognozowanych z uzyskanym wydobywaniem kruszyw w 2020 i 2021 r. (prognozy *ex post*) wynika, że najmniejsze różnice ($-2,8$ i $-2,9\%$) uzyskano dla prognozy według wskaźnika ogólnego klimatu koniunktury w budownictwie, pomimo że współczynnik korelacji dla tej zależności jest najmniejszy ($r = 0,45$) spośród badanych zależności.

Tabela 2. Prognoza wydobywania kruszyw w latach 2022–2025
Table 2. Forecast of aggregates extraction in the years 2022–2025

Prognoza według:	Wydobycie w 2021 r., mln Mg	Prognoza wydobywania, mln Mg/rok, (+/- do roku poprzedniego), %			
		2022	2023	2024	2025
PKB, %	264,2	286,1 (8,3)	262,3 (-8,3)	255,4 (-2,6)	253,5 (-0,75)
Zużycie cementu, mln Mg/rok	264,2	278,8 (5,5)	274,0 (-1,7)	269,2 (-1,75)	276,4 (2,7)
Koniunktura w budownictwie	264,2	254,5 (-3,7)	244,5 (-4,0)	234,2 (-4,2)	225,6 (-3,7)

3. Dla prognozy wydobywania według wielkości zużycia cementu błąd prognozy był większy i wyniósł: $+6,0\%$ i $+7,5\%$. Największe błędy wystąpiły dla prognozy według wskaźników PKB: dla łącznego wydobywania -13% (2020 r.) oraz $+8,5\%$ (2021 r.).

Wynika stąd wniosek, że w prognozowaniu przy wyborze zmiennych niezależnych nie zawsze należy się sugerować wielkością współczynników korelacji. W przedstawionym przypadku dla najmniejszego współczynnika korelacji dla wskaźników koniunktury w budownictwie uzyskano najdokładniejsze prognozy wydobywania kruszyw.

4. W 2023 r. i 2024 r. wg wszystkich trzech wskaźników (zmiennych niezależnych) uzyskano zmniejszenie wydobywania w stosunku do roku poprzedniego. Dla 2023 r. zmniejszenie to wynosi od $-1,7\%$ (według zużycia cementu) do $-8,3\%$ (według PKB), zaś dla 2024 r. różnice prognoz są mniejsze i mieszczą się w przedziale od $-1,75\%$ (według zużycia cementu) do $-4,2\%$ (według koniunktury w budownictwie). W 2025 r. uzyskano także zmniejszenie wydobywania w stosunku do roku poprzedniego wg PKB o $-0,75\%$, a według koniunktury w budownictwie o $-3,7\%$, natomiast według założonego zużycia cementu prognoza wskazuje na możliwość wzrostu wydobywania o $2,7\%$.

5. Z prognoz tych wynika, że w 2025 r. wydobywanie kruszyw może wynosić w przedziale od 225,6 mln Mg (mniejsze o ok. 15% w porównaniu do 2021 r.) według koniunktury w budownictwie do 276,4 mln Mg (wzrost o ok. 4,6% w porównaniu do 2021 r.) według założonego zużycia cementu.

6. Należy jednak mieć na uwadze, że w latach 2012 i 2013 PKB uległ zmniejszeniu z 5% w 2011 r. do 1,6 i 1,4% (nie było recesji), a wydobycie kruszyw zmalało wówczas z rekordowej wielkości 333 do 230 mln Mg, a zatem o prawie o 30%. Wskaźniki koniunktury dla lat 2012 i 2013 wynosiły wówczas –19,1 i –21,3. Zagrożenia tego typu należy także brać pod uwagę, ze względu na sytuację geopolityczną i gospodarczą w kraju i w Europie, w tym możliwości wpływu różnych nieoczekiwanych, mało prawdopodobnych czynników zwanych obecnie czarnymi łabędziami (Black Swans).

7. Pomimo zróżnicowania wartości prognoz dla uwzględnianych trzech wskaźników (zmiennych), ich zaletą jest to, że wskaźniki te są identyfikowane w bilansach produkcji przemysłowej w Polsce i w większości krajów, w odróżnieniu od braku takiej identyfikacji lub nie dokładnej ewidencji dla produkcji kruszyw mineralnych.

LITERATURA

- [1] BAIC I., W. KOZIOŁ, *Aggregates production in Poland and other selected countries – an analysis of dependence on cement production*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management, Kraków 2020, vol. 36, t. 3, 59–73.
- [2] KOZIOŁ W., BAIC I., MIROS A., 2022, *Analiza zależności wydobycia i produkcji kruszyw od wybranych wskaźników makroekonomicznych*, [w:] W. Glapa (red.), *Kruszywa mineralne* t. 5, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2022, 93–101.
- [3] *Bilanse zasobów kopalin w Polsce*, Wyd. PIG – PIB, Warszawa 2009–2021.
- [4] *Cement na świecie*, Budownictwo – Technologie – Architektura, GUS, 2019–2022, nr 8, 76–77.
- [5] <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/koniunktura/>
- [6] KOZIOŁ W., GALOS K. (red.), *Scenariusze zapotrzebowania na kruszywo naturalne w Polsce i w poszczególnych jej regionach*, Wyd. Poltegor-Institut, Kraków–Wrocław 2013, s. 206.
- [7] <https://pl.tradingeconomics.com/poland/cement-production>
- [8] <https://www.muratorplus.pl/biznes/raporty-i-prognozy/produkcja-cementu-w-polsce-spadnie-do-19-mln-ton-aa-XpCa-eZ4R-Y7vW.html>
- [9] PKB Polski – Produkt krajowy brutto IV kwartał 2022 r. – szybki szacunek GUS – Money.pl
- [10] UEPG, *Annual Review*, Brussels 2009–2019.
- [11] UNEP, *Sand and Sustainability, Finding new solutions for environmental governance of global sand resources*, Geneva 2019, p. 31.

DEPENDENCE OF MINERAL AGGREGATES EXTRACTION ON SELECTED INDICATORS OF ECONOMIC DEVELOPMENT

The article presents the dependence of aggregate extraction on three macroeconomic indicators published by the Central Statistical Office: dynamics of changes in GDP, domestic cement consumption and indicators of the general business climate in construction. Correlation coefficients (R square) obtained for the studied relationships are the most favorable for the dependence of aggregate extraction (production) on cement consumption. They take values of 0.85 for total aggregate extraction and 0.84 for sand and gravel extraction, which indicates a good relationship, from the point of view of mathematical statistics at the level of 0.001. The obtained models of the dependence of aggregates extraction

on changes in GDP show that on a national scale, the barrier to the growth of demand and production of mineral aggregates is at least about 2.7% of GDP growth. Using the developed econometric models, forecasts of aggregate extraction in Poland were estimated. Despite the variation in forecast values for specific indicators, their advantage is that they are identified in the industrial production balances of most countries, as opposed to the lack of such identification or inaccurate records of mineral aggregates production.

Stefan GÓRALCZYK

Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych Naczelna Organizacja Techniczna, Warszawa

BADANIA LABORATORYJNE KRUSZYW I BETONÓW DO OCENY USZKODZEŃ KONSTRUKCJI W WYNIKU REAKCJI AAR

Opisano konieczne do przeprowadzenia badania laboratoryjne kruszyw i betonów, w tym również pobieranie próbek do badań i specyfikę ich przygotowywania aby potwierdzić, że przyczyną destrukcji betonu były reakcje alkaliów kruszywa.

1. WSTĘP

Diagnostyka uszkodzeń betonu w konstrukcjach wywołanych reakcją alkaliów–kruszywa (AAR) często wymaga stosowania złożonych procesów z uwagi powodu podobieństwa zewnętrznego cech uszkodzenia, powodowanymi przez inne czynniki, jak: wpływ mrozu, oddziaływanie siarczanów oraz naprężenia w konstrukcji.

Podobnie jak wiele innych przyczyn uszkodzeń w betonie, diagnozy i prognozy wystąpienia AAR w strukturze betonu opierają się w dużej mierze na ocenie i poziomie wiedzy eksperckiej zaangażowanego personelu. Szeroka gama rodzajów kruszyw stosowanych w betonie na całym świecie, różna reaktywność i proporcje składników reaktywnych w zastosowanych kruszywach i występowaniu różnych czynników, które wpływają na reakcję, utrudniają diagnozę.

Celem zidentyfikowania reakcji AAR i ich intensywności w różnych elementach struktury betonowej oraz ustalenia, czy reakcja jest pierwotną, przyczyną uszkodzeń w betonie, konieczne jest zaplanowanie i przeprowadzenie szczegółowych badań:

- w ramach inspekcji terenowej konstrukcji,
- laboratoryjnych, w tym: pobieranie próbek, badania petrograficzne podstawowe oraz uzupełniające, analizy rdzeni, testy mechaniczne i analiza chemiczna.

Problematyka ta została szczegółowo opisana w publikacjach [1–3].

2. BADANIA LABORATORYJNE

2.1. CELE BADAŃ

Cele badań laboratoryjnych zależą od rodzaju i głębokości badań oraz zależą od jednego lub więcej elementów:

- określenie zakresu i przyczyn uszkodzeń widocznych w próbkach,
- ustalenie, czy AAR jest główną przyczyną uszkodzenia w betonie i czy AAR jest przede wszystkim odpowiedzialny za uszkodzenia w betonie, lub czy jest tylko jedną z przyczyn,
- określenie stopnia uszkodzenia betonu przez AAR.

Następnym krokiem jest sporządzenie prognozy potencjalnego dalszego pogorszenia się stanu betonu wynikającego z AAR i zaplanowania środków zaradczych. Każdy z powyższych celów powinien być oceniony na podstawie wyników laboratoryjnych w połączeniu z wynikami inspekcji terenowej, oceny inżynierskiej oraz innych dodatkowych testów zintegrowanej oceny. Badanie laboratoryjne można podzielić na trzy części:

- badanie wzrokowe rdzeni lub innych próbek,
- badanie petrograficzne,
- testy uzupełniające.

Każdy z powyższych etapów badania może obejmować: przygotowanie próbki, metody badań, petrograficzny opis uszkodzenia, rozróżnienie AAR od innych czynników niszczących, identyfikację minerałów reaktywnych i kruszyw w betonie, określenie reakcji alkalicznej i krzemionkowej (ASR) oraz reakcji dotyczące kruszyw węglanowych (dedolomitalizacja) i innych szkodliwych materiałów, ocena zakresu i etapu ASR, a także oszacowanie minimalnej zawartości alkaliów w stosowanym cemencie.

2.2. POBIERANIE PRÓBEK

Pobieranie próbek jest jednym z najważniejszych etapów badania, którego celem jest wyselekcjonowanie reprezentatywnych rdzeni lub odpowiednich materiałów z określonych miejsc konstrukcji w celu dalszego badania i testowania w laboratorium. W przypadku małych konstrukcji można zaplanować i zrealizować program pobierania próbek *ad hoc*, natomiast, jeśli badanie jest w fazie wstępnej to program testowy musi być dostosowany specjalnie do diagnozowania tych czynników, które mogą przyczynić się do zaobserwowanych pęknięć i uszkodzeń. Jeśli z drugiej strony badanie jest w fazie szczegółowej, to program testowy powinien zostać zaplanowany jako część dodatkowa całościowego badania obejmującego również badanie strukturalne oceny i mode-

lowania, oraz badania czynników innych niż AAR, jak przenikanie (penetracja) węgla i chlorku.

2.2.1. RODZAJE PRÓBEK

Próbki rdzeniowe powinny być pozyskiwane za pomocą diamentowego wiertła z bezpiecznych miejsc, gdzie betonowa konstrukcja uległa uszkodzeniu. Wszelkie zbrojenia znalezione w próbkach rdzeniowych muszą być rejestrowane i natychmiast zgłaszane inżynierowi, aby można było ocenić stopień uszkodzenia konstrukcji.

Po pobraniu próbki, otwór powinien być wypełniony odpowiednim materiałem na bazie cementu. Jeśli na górnej powierzchni struktury (np. mostu) występuje warstwa wodoodporna, zaleca się pobieranie próbki rdzeniowej od dołu do góry (aby zatrzymać się przed warstwą hydroizolacyjną). Pożądane jest, aby pobierane rdzenie miały średnicę trzykrotnie lub, co najmniej dwukrotnie większą od maksymalnego rozmiaru kruszywa grubego, np. minimalna średnica 50 mm przy kruszywie 20 mm. Jednakże, gdzie tylko to możliwe, pobrane rdzenie powinny mieć 75 mm (zalecane) lub 100 mm, ponieważ rdzenie te będą również lepiej przystosowane do badań szczątkowych i testów mechanicznych.

Próbki betonu można uzyskać zarówno z powierzchni betonowej poprzez skuwanie lub ze stosu odpadów pochodzących z poprzednich napraw konstrukcji. Grube i duże bloki pobrane z konstrukcji mogą być przygotowane do badań przez cięcie w laboratorium. Małe fragmenty betonu nie są zwykle zalecane do stosowania w analizie chemicznej i szczegółowym badaniu petrograficznym. Nie zaleca się używania sproszkowanego materiału z odwiertów, w celu określenia zawartości alkaliów w betonie oraz analizie petrograficznej.

Elementy konstrukcji betonowej, na których stwierdzono wykwit, naloty i wycieki, należy pobrać w celu identyfikacji, np. za pomocą analizy dyfraktometrii rentgenowskiej (XRD). Miękkie substancje włosowate tworzące się na wilgotnych powierzchniach betonu należy zbierać szczotką i przechowywać w małej szklanej butelce z przykrywką, w przeciwnym razie mogą być odwodnione lub zgazowane podczas transportu przed wykonaniem analizy. Twarde inkrustujące rodzaje wykwitów, przypominające stalaktyty, można pobrać przez zadrapanie igłą lub przez zdemonstrowanie powierzchni betonu z przyłączonym wykwitom.

2.2.2. LICZBA PRÓBEK, PRZECHOWYWANIE I ICH ZABEZPIECZENIE

Liczba wymaganych próbek zależy od typu i złożoności konstrukcji, rodzajów kruszywa i środowiska. Ze względu na niejednorodność większości betonów w dużej konstrukcji, i zależnie od typu konstrukcji i fazy badania, można wybrać do pobrania, trzy lub więcej obszarów spośród każdego typu elementu konstrukcji (płyty, belki, podstawy,

wsporniki), różnie reprezentujących typowo lub umiarkowanie uszkodzony, lub poważnie uszkodzony beton. Sugeruje się również, aby próbki rdzeniowe były pobierane z każdego z trzech obszarów, jeśli uznano to za właściwe. Po ustaleniu zmienności cech między rdzeniami, można zastosować testy statystyczne, aby ocenić, czy liczba próbek jest wystarczająca do określenia pełnego zakresu AAR w konstrukcji.

Betonowe rdzenie i fragmenty powinny być wysuszone; jeśli są mokre i szczelnie zamknięte, natychmiast po pobraniu, aby zapobiec wysychaniu i karbonatyzacji. Po owinięciu tych próbek folią kryjącą (kilka warstw) należy je zaplombować w torebkach z polietylenu lub winylu. Jeśli rdzenie są długie i rozdrobnione, zaleca się stosowanie specjalnych pudeł do transportu. Pyły należy zaplombować w małej torbie z polietylenu, wypuszczając powietrze. Małe szklane butelki z przykrywką powinny być stosowane do przechowywania materiałów z wykwitów, Nie zaleca się stosowania dużych butelek, ponieważ może utrzymywać się w nich przez dłuższy czas wilgoć.

2.3. DOSTĘPNE METODY BADAŃ

Reakcję alkaliczną w betonie można wiarygodnie ustalić za pomocą jednej lub kilku różnych metod, w tym petrografii betonu. Metody obejmują: skanowanie rdzeniowe (wykonując obraz cylindrycznej zewnętrznej powierzchni rdzenia), badania wizualne i stereo mikroskopowe, liczenie punktowe, petrografię cienkowarstwową na podstawie mikroskopii polaryzacyjnej, odbijającej i fluorescencyjnej dla polerowanego materiału cienkościennego, analiza XRD, obserwacja SME (skaningowa mikroskopia elektronowa), odwzorowanie elementów przy użyciu EPMA (Electron Probe Micro Analysis) oraz ilościową analizę EPMA.

W przypadku wstępnego badania w celu ustalenia przyczyny powstałego uszkodzenia stosuje się zintegrowaną procedurę analityczną obejmującą petrografię betonu, składającą się głównie z stereomikroskopii i badania cienkiego wycinka betonu z impregnacją barwnikiem fluorescencyjnym (lub bez niej).

Metoda obserwacji SEM zastosowana na szczelinowanym betonie może dostarczyć wystarczających informacji. W przypadku, gdy typy skał reaktywnych są złożone (jak krzemionka i dolomitowy wapień), zalecane jest badanie SEM i EPMA na polerowanych cienkich szlifach, bez szkła okrywającego.

2.3.1. BADANIE WIZUALNE I SKANOWANIE RDZENIOWE (PETROGRAFIA)

Pierwszym krokiem do diagnozowania reakcji alkalicznej w laboratorium jest badanie wizualne próbek rdzenia. Wszelkie widoczne miejsca reakcji alkalicznej kruszyw na powierzchni betonowej powinny zostać zarejestrowane (pęknięcia, krawędzie reakcji, wypukłości, wysięki żelatyny żelowej i osady) w niskich powiększeniach (do

około 5 razy) przy użyciu aparatu fotograficznego z właściwą makro soczewką lub aparatem cyfrowym do makrofotografii.

Skanywanie rdzeniowe wykonuje się do przedstawiania makroskopowych tekstur w betonie, jak:

- pęknięcia prawdopodobnie spowodowane przez AAR, które rozszerzają się ku powierzchni,
- „pęknięcia podrównoległe” rozwijają się równoległe do powierzchni zwykle blisko płaszczyzny zbrojenia, zwykle tego typu pęknięcia poprzedzają rozwarstwienie strukturalne,
- dystrybucja obramowanych cząstek kruszywa, kieszenie żelu i wycieki żelowe, które wystąpiły przed lub po pobraniu rdzenia,
- wskazanie obszaru karbonizowanego przez rozpylenie roztworu fenoloftaleiny,
- wady związane z złym lub/i nieprawidłowym wykonaniem świeżych betonów podczas lania betonu,
- laminowanie betonu spowodowane atakiem mrozu i zmęczeniem materiału.

Badanie wizualne jest pierwszym krokiem nie tylko zebrania informacji o cechach uszkodzenia AAR, ale także służy do selekcji próbek w celu dokładniejszego zbadania. Zakres wizualnego badania rdzeni obejmuje:

- a) **Kruszywo.** Należy zidentyfikować typy kruszywa grubego i skład mineralny. Powinien zostać ustalony maksymalny rozmiar i zakres uziarnienia kruszywa, np. 5–20 mm. Tam gdzie jest to możliwe, należy również rejestrować maksymalny rozmiar i klasyfikację, plus segregację lub preferowaną orientację drobnych kruszyw, a także rozróżnienie między piaskiem naturalnym, piaskiem sztucznym (kruszoną skałą, kruszonym żuzłem) lub materiałem mieszanym. Istotne znaczenie ma klasyfikacja kruszyw na reaktywne, lekko reaktywne i niereaktywne, i odniesienie do ich dystrybucji w konstrukcji jest to istotne;
- b) **Wykwity.** Jeśli kruszywo jest bardzo reaktywne, wykwyty mogą pojawić się w ciągu tygodnia po próbowaniu, wokół cząsteczki reagującego kruszywa na cylindrycznej powierzchni rdzenia. Jest to wynikiem uwolnienia naprężenia spowodowanego ekspansywnym żelom AAR, który zgromadził się wokół cząstki kruszywa. Dokładny widok tego fragmentu powinien być zarejestrowany aparatem fotograficznym lub stereomikroskopem przed badaniem w mikroskopie polaryzacyjnym i XRD;
- c) **Matryca cementowa.** Należy zanotować kolor zaczynu cementowego, zwłaszcza stopień gradacji, przebarwienia lub nagłe zmiany sekwencji próbek rdzenia, co może sugerować wtórne zmiany w zaczynie. Komory powietrzne w betonie mogą być wypełnione żelom AAR, innymi osadami lub hydratami cementu. Zaleca się ocenę czy powietrze może być uwolnione przez beton zawierający więcej niż 3% powietrza zawartego głównie w pu-

stych kulistych przestrzeniach. Dobrze zagęszczony beton, powinien zawierać mniej niż 3% (zwykle 1–2%) pustych przestrzeni powietrznych, głównie nieregularnych.

2.3.2. ANALIZA MODALNA KRUSZYW

Stosunek objętościowy poszczególnych typów skał tworzących kruszywo gruboziarniste może być określony za pomocą procedury liczenia punktowego lub liniowego podczas badania wizualnego bez użycia stereomikroskopu. W tym celu można użyć skanowanej fotografii powierzchni rdzenia (pkt 2.3.1) lub spiłowanej części betonu. Alternatywną metodą jest wyodrębnienie kruszyw z rdzeni betonowych i przeprowadzenie analizy petrograficznej, np. analizą klasyfikacyjną.

2.3.3. STEREO MIKROSKOPIA I DALSZE BADANIE

Stereo mikroskopia jest jednym z pierwszych etapów diagnozowania pogorszenia stanu betonu spowodowanego przez AAR. Zwykle jest to podstawowa metoda służąca do wizualnego zbadania próbek. Stereo mikroskop jest mikroskopem o małej rozdzielczości (zwykle powiększa do około 60 razy), który jest w stanie podać trójwymiarowy widok próbki. Zazwyczaj jest używany do badania obszarów próbek, które mogą być interesujące w kontekście dalszych badań mikroskopią polaryzacyjną i fluorescencyjną lub SEM. Szczególnie ważne są:

- wzory pęknięć i ich rozmieszczenie na powierzchni, wokół lub poprzez cząstki kruszyw, związane z tym wysychanie żelu (materiał wypełniający pęknięcia), ich szerokość i głębokość;
- obecność jakiegokolwiek żelu w porach i pęknięciach wokół ziaren kruszyw lub wypychanych z rdzenia,
- wilgotne lub „spoczone” plamy na betonowej powierzchni;
- obwódki reakcyjne wokół cząstek kruszyw, ale występują one tylko z pewnymi rodzajami kruszyw.

2.3.4. MIKROSKOPIA CIENKOWARSTWOWA

Cienkie przekroje powinny być przygotowane z różnych lokalizacji na rdzeniu, gdzie widoczne są dowody na występowanie AAR (tab. 1). Aby móc zidentyfikować różne składniki w cienkich przekrojach i odpowiednio scharakteryzować mikrostrukturę, a zwłaszcza działanie jakiegokolwiek AAR, badanie petrograficzne powinno być przeprowadzane mikroskopią polaryzacyjną i fluorescencyjną. Jest to metoda dwutorowa, polegająca na badaniu cienkich przekrojów mikroskopią polaryzowaną, mikroskopią świetlną lub mikroskopią fluorescencyjną. Za pomocą mikroskopii świetlnej z powiększeniem do 400 razy można ustalić różne składniki betonu i wszelkie szkody wyrządzone przez AAR.

Mikroskopią polaryzacyjną i fluorescencyjną można uzyskać informacje z analizy przekrojów cienkowarstwowych:

- typy kruszyw stosowanych w betonie, ich rozkład w betonie (lepiej widać w dużych cienkich odcinkach o powierzchni: 150×100 mm) i wszelkich innych, które mogły mieć wpływ na AAR,
- rodzaj stosowanego cementu, stopień uwodnienia, stężenie wodorotlenku wapnia w zaczynie cementowym i jednorodność pasty cementowej,
- ogólna charakterystyka wszelkich mikrokapsulek, w tym intensywność, rozmiar pęknięć, pozorne powiązanie z konkretnym typem kruszyw, pęknięcia wokół cząstek kruszyw, charakter połączeń między kruszywem zaczynem i obecność jakiegokolwiek żelu AAR lub innych złóż w spękaniach,
- obecność jakiegokolwiek strumienia żelu AAR z reaktywnymi cząstkami z sąsiadującym zaczynem cementowym, oraz pustych przestrzeni, w tym innych osadów, takie jak ettringit w pustych przestrzeniach,
- stopień związania zaczynu cementowego z kruszywem,
- wszelkie inne nieprawidłowości.

2.3.5. BADANIE TYPU SEM

Skanowanie za pomocą mikroskopii elektronowej (SEM) jest obecnie uważane za niezbędne do wykrywania żelu ASR i związanych z nimi produktów w betonie, zwłaszcza, gdy mikroskopia cienkowarstwowa ma trudności z identyfikacją obecności żelu ASR. Obserwacja SEM jest najczęściej wykonywana na powierzchniach pęknięć betonu. Odcinki betonu w tym obszary zainteresowania (obwódki reaktywne, wysięki, kieszenie żelowe, itp.) powinny być podzielone na małe kawałki w celu przygotowania próbki do badań (zazwyczaj $1 \times 1 \times 0,5$ cm), a następnie zamontowane na metalowym podium żywicą epoksydową. Badania obejmują:

1) Produkty AAR, identyfikacja:

- masywnego, amorficznego żelu umiejscowionego w pęknięciach, pustych przestrzeniach powietrznych oraz szczelinach z obwódkami reakcyjnymi i zaczynem cementowym,
- skupisk struktur płytkowych kryształów podobnych do folii,
- skupisk przypominających rozety struktur płytkowych często spotykanych we wnętrzu (otwarte przestrzenie uformowane wewnątrz obwódki reakcyjnej) reaktywnych cząstek kruszyw w starym betonie;

2) Hydraty cementowe i pokrewne substancje, np.:

- ettringit w postaci pęczków sześciokątnych kryształów lub wypełnień szczeliny powietrznej,
- monosiarczan, węglowodory i monokarbofluminat w postaci cienkich płyt sześciokątnych lub skupisk blokowych,
- sól Friedela jako małe sześciokątne płyty,
- portlandyt jako duża sześciokątna płyta lub gruba warstwa kompozytowa,

- gips jako cienkie płyty prostokątne,
- halit i sylwit jako drobne ziarna sześciennie.

W granulowanych cząstkach żużlu wielkopiecowego mogą powstawać skupiska bloków cienkich płytek (zawierających Mg, Al, Si) wewnątrz ich obwódek hydratyzacyjnych. Zidentyfikowano również produkty węgla (kalcytu) i wykwit.

2.3.6. MAPOWANIE ELEMENTÓW

Rozmieszczenie elementów w sekcjach struktury betonowej można przedstawić jako mapę kolorystyczną za pomocą jakościowej analizy EPMA, w zależności od stężenia pierwiastków, minerałów (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, S, Cl, C, O itp.). Mapowanie elementów jest przydatne do identyfikacji składu obserwowanych żeli, a także do oceny wpływu karbonatyzacji, niszczyielskiego wpływu chlorków i siarczanów, a także reakcji AAR. Przy użyciu tej metody wyjaśnić można szczegóły:

- punkt tworzenia żelu ASR na reaktywnych ziarnach krzemionki,
- chemiczny podział na strefy w złożach żelu ASR, wypełniającym pęknięcia i puste przestrzenie powietrzne,
- punkt dedolomitalizacji cząstek kruszyw węglanowych przylegających do halogenu węgla,
- wytrącanie hydratów cementu w pustych przestrzeniach i szczelinach (np. etringit, monosiarczan, sól Friedela i portlandyt),
- obwódki hydratyzacyjne żużlu wielkopiecowego i cząstek popiołu lotnego,
- różnicowanie drobnoziarnistych faz śródmiaższowych klinkieru,
- w nieutralonych cząstkach cementu (np. szkło, glinian, ferryt i peryklaz),
- zmiana zaczynu cementowego na front węglanowy (żel CSH, żel krzemionkowy, kalcyt),
- impregnacja produktów korozyjnych w pęknięciach betonu,
- ścieżki przenikania jonów Cl do organicznych środków lub do cementu.

2.3.7. ANALIZA EPMA

Jest podstawą do oceny ilościowej żelu ASR. Może on być bardzo zróżnicowany składem jakościowym, co ma wpływ na jego właściwości pęczniące. Przemieszczający się lub spęczniony żel ASR wokół reagujących cząstek jest „czystym” żelem krzemionkowym zawierającym alkalia i żelazo, który składa się zasadniczo z Na, K, Si i wody, jego skład jest prawie identyczny ze szkłem wodnym. Natomiast stary żel ASR, który od dawna miał kontakt z zaczynem cementowym jest twardy i nie pęcznieje. Taki żel ASR zabsorbował Ca i stracił część Na i K.

2.3.8. DODATKOWE TESTY I ANALIZY

Ilość rozpuszczonych alkaliów zależy od zastosowanej metody ekstrakcji, tj. rozpuszczanie w kwasie lub wodzie, na gorąco lub na zimno itp. Wybór metody zależy od

zmiennych okoliczności (typ kruszywa, doświadczenia lokalne, wyposażenie, konkretny cel badania) – testy potwierdzające łączną reaktywność, wg metod AAR:

- szczątkowego rozprężania na rdzeniach betonowych,
- określenie właściwości mechanicznych próbek betonu (jednoosiowa siła ściskająca, wytrzymałość na rozciąganie, moduł sprężystości),
- oznaczanie zawartości cementu,
- określenie zawartości wody *in situ* (stopień odsysania kapilar).

3. OCENA USZKODZEŃ BETONU W WYNIKU ODDZIAŁYWANIA AAR

3.1. STOPNIE USZKODZENIA

Wystąpienie żelu alkaliczno-krzemionkowego stwierdzonego opisanymi, odpowiednimi badaniami, potwierdza istnienie ASR w betonie; co niekoniecznie jednak oznacza, że reakcja powoduje lub powodowała jakiekolwiek uszkodzenie betonu. Jednakże stopień zniszczenia można ocenić badając wzór pęknięć w materiałach rdzeniowych. Jeśli rdzenie pochodzą z obszarów, w których przeprowadzono pomiar ilościowy pęknięć, jest możliwe zaobserwowanie związku pomiędzy obserwacjami z badań laboratoryjnych i badaniem w terenie. Aby ocenić stopień uszkodzenia betonu można badać wzór pęknięć pod mikroskopem na wypolerowanych przekrojach z rdzeni lub przy użyciu techniki fluorescencji.

Inny stopień uszkodzenia można uzyskać przez określenie zmniejszenia modułu sprężystości w rdzeniach z uszkodzonymi, nie uszkodzonymi, lub mniej uszkodzonymi częściami konstrukcji. Petrografia jest potrzebna do określenia ile szkód wyrządziło AAR lub inne mechanizmy uszkadzające.

3.1.1. WSKAŹNIK WSPÓŁCZYNNIKA USZKODZENIA

Polerowane odcinki z rdzeni są badane pod mikroskopem, a uszkodzenia rejestrowane przy użyciu mikroskopu wyposażonego w binokular (powiększenie 16×) na minimalnym obszarze 180 cm². Widoczne wady to: szerokie pęknięcia, nieregularne cząstki z pęknięciami i żelem, odłamane nieregularne cząstki, strefy reakcji, pęknięcia w zaczynie cementowym, pęknięcia i żele w zaczynie cementowym, puste przestrzenie powietrza z żelem i nieregularnymi cząstkami o „szerokich” pęknięciach.

3.1.2. STOPIEŃ USZKODZEŃ MIERZONY NA PODSTAWIE MODUŁU SPRĘŻYSTOŚCI

Badania mechaniczne na rdzeniach betonowych powinny stanowić właściwy sposób na określenie wszelkich szkodliwych efektów, ponieważ takie wyniki testów są używane do opisu jakości betonu i konstrukcji struktur. Moduł sprężystości ma duży

wpływ na to, jak konstrukcja się deformuje, a także jak bardzo wrażliwa jest na uszkodzenia AAR.

Określenie modułu sprężystości może być nieinwazyjne, jeśli zakres naprężeń jest ograniczony do mniej niż 5,5 MPa, a po badaniu rdzeń wciąż może być używany do innych celów. Ważną zaletą testu jest, że charakteryzuje średnie uszkodzenie na znacznej objętości, co różni go, od np. technik petrograficznych oceniających niewielkie powierzchnie. Statyczny moduł sprężystości (moduł Younga) określa się przez poddanie rdzeni pobranych z konstrukcji, powtarzanym obciążeniom na ściskanie. Rdzenie z części betonów narażonych na ASR, wykazują znaczne zdeformowanie plastyczne, rozwój histerezy i znacznie mniejszy moduł sprężystości, na przykład tylko 50% tego, jaki posiada rdzeń pobrany z mniej uszkodzonej części.

3.1.3. OBSERWACJE TERENOWE

Ocena prawdopodobieństwa uszkodzenia AAR może być dokonana, biorąc pod uwagę widoczne uszkodzenie konstrukcji i określenie, czy rodzaj uszkodzenia jest zgodny z AAR. Listę właściwości (cech), które mogą wskazywać na AAR i klasyfikację prawdopodobieństwa ich wystąpienia (wskazujące na niskie, średnie lub wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia AAR) podano w tab. 1.

Ocena oparta jest na indywidualnej interpretacji i powinna być przeprowadzona przez inspektora doświadczonego w badaniu betonu zaatakowanego przez AAR.

Tabela 1. System klasyfikacji obserwacji terenowych
Table 1. Field observation classification system

Właściwość/cecha	Prawdopodobieństwo wystąpienia AAR		
	Niskie	Średnie	Wysokie
1	2	3	4
Ekspansja i /lub przesunięcia elementów	Niskie	Średnie	Struktura pokazuje symptomy wzrostu objętości betonu prowadzące do przesunięcia i niewspółosiowości elementów
Pękanie i wzór pęknięć	Niskie	Niektóre wzory pęknięć typowe dla AAR, tj. mapowanie lub pęknięcia wzdłuż zbrojeń lub naprężeń	Rozległe mapowanie lub pęknięcia wzdłuż zbrojeń lub naprężeń. Niewspółosiowość okładzin (ekspansja różnicowa, po każdej stronie pęknięcia)
Poniższe właściwości/cechy wskazują niekiedy na AAR, ale ich nieobecności nie wykluczają			

1	2	3	4
Odbarwienie powierzchni jest zmienne	Niskie	Niewielka zmiana zabarwienia powierzchni związana z pewnymi pęknięciami	Linia pęknięć z ciemnymi przebarwieniami sąsiadującymi ze strefą jasnego betonu
Wykwity z depozytami żeluz	Niskie	Średnie	Wysokie
Wysięk	Niskie	Biały wysięk wokół niektórych pęknięć	Bezbarwny, galaretowaty wysięk, zidentyfikowany jako żel AAR związany z niektórymi pęknięciami
Środowisko	Suche i osłonięte	Ekspozowane za warunki zewnętrzne, ale chronione przed zwilżeniem	Części składowe często narażone na wilgoć, np.: deszcz, woda gruntowa, woda z naturalną funkcją struktury (tama hydrauliczna)

3.1.4. WYNIKI LABORATORYJNE

Obecność AAR stwierdzona na polerowanych powierzchniach lub cienkich przekrojach może być pozytywnie zdiagnozowana poprzez dwie właściwości (cechy): obecność żeluz ASR i miejsc ekspansywnej reakcji. Inne cechy mogą być spójne z AAR, ale nie są niezawodne diagnostycznie, tj. mogą być wynikiem innego mechanizmu. Wyniki badań laboratoryjnych należy skompilować w celu dokonania ogólnej oceny prawdopodobieństwa i stopnia uszkodzenia na AAR, przy użyciu np. wytycznych wg tab. 2 i biorąc pod uwagę współczynnik uszkodzenia (pkt. 3.1).

Tabela 2. System klasyfikacji ustaleń wykonanych w terenie lub laboratorium

Table 2. The arrangement classification system made in the field or laboratory

Prawdopodobieństwo wystąpienia znacznego AAR	Natura i zakres ustaleń
1	2
Niska	Żel nieobecny, nie ma miejsc ekspansywnej reakcji, obecność innych cech indykacyjnych rzadko spotykana, mała ilość izolowanego żeluz ASR, sporadycznie obecny w zaczynie cementowym, ale niewiele zidentyfikowanych cząstek reaktywnych. Brak innych produktów ekspansji i objawów spowodowanych przez inne mechanizmy. Jakość betonu jest mikroskopowo stosunkowo dobra.
Średnia do wysokiej	Obecność niektórych lub wszystkich objawów zgodnych z AAR, np.: a) obecność pęknięć i mikropęknięć, zwłaszcza gdy są związane ze znanymi kruszywami reaktywnymi, b) obecność potencjalnie reaktywnych kruszyw, c) wewnętrzne szczelinowanie znanych kruszyw reaktywnych, d) zaciemnienie zaczynu cementowego wokół cząstek kruszyw, pęknięcia lub puste przestrzenie,

1	2
Średnia do wysokiej	e) obecność obwódek reakcyjnych wewnętrznych brzegów kruszywa reaktywnego, f) obecność wilgotnych plam na powierzchniach rdzeniowych.
Bardzo wysoka	Obecność objawów jak: a) dowody na obszary ekspansywnej reakcji, tzn. miejsca, gdzie można zidentyfikować dowody reakcji i wydzielanie emulsji pod wpływem ciśnienia, np. przepływ żelu ASR z przereagowanej, popękanej cząstki kruszyw do sąsiadującego zaczynu cementowego z rozwojem pęknięć zarówno w zaczynie jak i wzdłuż łącznika zaczyn-kruszywo, b) obecność żelu ASR w pęknięciach i pustych przestrzeniach związanych z cząsteczkami reaktywnymi i łatwo widoczne w normalnych lub skorygowanym warunkach lub przy niskim powiększeniu.

3.2. PODSUMOWANIE DIAGNOZY

Diagnoza obecności AAR w betonie obiektu, oraz rozmiaru szkody, jaką wyrządziła, polega na połączeniu klasyfikacji z terenu i z laboratorium (tab. 3).

Tabela 3. Diagnoza obecności AAR w betonie
Table 3. Diagnosis of the presence of AAR in concrete

Ilość dowodów na AAR		Interpretacja
Badania		
Terenowe	Laboratoryjne	
1	2	
Mała	Znaczna	Jeśli zarówno badania laboratoryjne jak i terenowe nie wykażą istotnych dowodów na to, że reakcja może być pozytywnie wyeliminowana jako możliwa przyczyna uszkodzeń, należy szukać innych mechanizmów. Obecność znacznych przesunięć, ruchów lub pęknięć struktury nie wystarcza, aby sugerować AAR, jeśli zarówno typ uszkodzenia obserwowanego jak i wyniki badań laboratoryjnych nie są zgodne z AAR.
Mała	Znaczna	Jeśli dowody z badań terenowych wskazują na małe prawdopodobieństwo wystąpienia AAR, ale w laboratorium obserwuje się dużą częstość występowania reakcji, nie można ustalić związku przyczynowego między pogorszeniem stanu na miejscu a AAR. Najbardziej prawdopodobnym wyjaśnieniem tego wyniku jest, że AAR wystąpił, ale działanie innych mechanizmów uniemożliwiło typowe przejawienie się AAR w strukturze. Inne możliwe mechanizmy należy szukać i wyeliminować, zanim AAR zostanie uznany za główną lub jedyną przyczynę uszkodzeń.
Mała	Znaczna	Jeśli dowody z badań terenowych wskazują na wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia AAR, ale w badaniu laboratoryjnym nie zaobserwowano na to żadnych dowodów, istnieją trzy możliwości:

1	2	3
Mała	Znaczna	a) program pobierania próbek wykluczał lokalizacje, w których wystąpiła znaczna reakcja, b) objawy obserwowane na miejscu, choć zgodne z AAR, są wynikiem innego mechanizmu, c) reakcja nie jest dostatecznie zaawansowana, aby być zaobserwowana w próbkach. Należy się zastanowić czy przeprowadzić kolejne pobieranie próbek, czy poszukać alternatywnych mechanizmów, czy też jedno i drugie.
Średnia	Średnia	Jeśli dowody pochodzące z badań terenowych i w laboratorium wskazują na średnie prawdopodobieństwo wystąpienia AAR, można stwierdzić, że AAR wystąpił i może stanowić przyczynę szkody, ale jest prawdopodobne, że istnieją inne mechanizmy i przyczyniały się do ogólnego pogorszenia konstrukcji.
Znaczna	Znaczna	Jeśli dowody z badań terenowych i laboratoryjnych pociągają za sobą średnie i wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia AAR, można stwierdzić, że AAR jest, co najmniej istotną przyczyną uszkodzenia struktury. Wobec braku innego mechanizmu można zasadnie przypuszczać, że AAR jest główną lub jedyną przyczyną uszkodzenia.

Podczas gdy te uogólnione dane tabelaryczne zawierają tzw. wykazy kontrolne, to specjalista ds. materiałów musi oprzeć swoją opinię i uzasadnione wnioski na całości dostępnych informacji, ze szczególnym uwzględnieniem na znane cechy konkretnego typu reaktywnego kruszywa.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Występowanie zjawiska reaktywności w betonie jest uzależnione od wielu czynników środowiskowych, struktury i składu betonu oraz jakości i rodzaju kruszyw. Jego wpływ na destrukcję betonu również jest często niedecydujący i może stanowić sumę innych czynników negatywnych oddziałujących na beton.

Stąd, identyfikacja wystąpienia AAR w konstrukcjach betonowych, oraz ocena ich negatywnego wpływu na beton, wymaga stosowania szerokiego zakresu badań: terenowych, laboratoryjnych, mineralogicznych, chemicznych i mechanicznych.

Zakres tych badań powinien być dobierany przez specjalistów, w zależności od stwierdzonych cech betonu oraz jakości konstrukcji budowlanej. Ocena uszkodzeń spowodowanych w betonach przez AAR, również powinna być wykonywana oddzielnie dla różnych rodzajów badań: terenowych i laboratoryjnych, które są następnie podstawą ostatecznej, sumarycznej oceny stanu konstrukcji betonowej.

LITERATURA

- [1] GÓRALCZYK S., *Diagnostyka i ocena uszkodzeń betonu spowodowana reakcjami AAR*, cz. 1. Wyd. Elamed, Kruszywa, 2021, nr 4, 48–51.
- [2] GÓRALCZYK S., *Diagnostyka i ocena uszkodzeń betonu spowodowana reakcjami AAR*, cz. 2. Wyd. Elamed, Kruszywa, 2022, nr 1, 42–49.
- [3] GÓRALCZYK S., *Zalecenia dotyczące stosowania specyfikacji minimalizujących wystąpienie uszkodzeń betonu spowodowanych reakcjami alkaliczno-krzemionkowymi*, [w:] W. Glapa (red.), *Kruszywa mineralne*, t. 5, Oficyna Wydawnicza PWr, Wrocław 2022, 39–42.

LABORATORY TESTS OF AGGREGATES AND CONCRETES
FOR THE ASSESSMENT OF STRUCTURAL DAMAGE RESULTING
FROM THE AAR REACTION

The article concerns the identification and diagnosis of concrete damage caused by AAR reactions. The method of sampling, the scope and the methods of testing necessary to perform are given. The method of assessing damage to concrete structures as a result of the tests was presented. It is the basis for diagnosing the qualitative condition of the structure.

Urszula KAŻMIERCZAK¹
Marek W. LORENC²
Paweł MAREK³
Danuta RAJCAKOWSKA⁴

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

² Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Architektury Krajobrazu

³ COLAS Kruszywa Sp. z o.o.

⁴ Strzeblowskie Kopalnie Surowców Mineralnych Sp. z o.o.

DOBRE PRAKTYKI W REKULTYWACJI TERENÓW POEKSPLOATACYJNYCH

Każde wyrobisko po odkrywkowym górnictwie skalnym wymaga zastosowania odpowiednich dla danego miejsca kierunków rekultywacji, a potem (ewentualnie) odpowiedniego zagospodarowania. Oba te procesy powinny skupiać się na wprowadzaniu takich wartości przyrodniczych i/lub użytkowych, aby objęte nimi tereny mogły służyć zarówno wszystkim ludziom jak i naturze. W artykule przedstawiono przykłady wskazujące na bardzo dobre podejście do zainteresowań ludności lokalnej, a także władz samorządowych oraz przyjęcie właściwych kierunków rekultywacji i zagospodarowania. Podejścia te, a przede wszystkim otwarcie na społeczność sprawiły, że wybrane obiekty są niewątpliwie przykładami dobrych praktyk z zakresu rekultywacji i zagospodarowania terenów poeksploatacyjnych.

1. WPROWADZENIE

Działalność górnictwa odkrywkowego niewątpliwie wykorzystuje przestrzeń przyrodniczą, korzystając z zasobów mineralnych. Zasoby te są jednym ze składników kapitału przyrodniczego, który decyduje o rozwoju społeczno-gospodarczym. Zatem korzystając z przestrzeni przyrodniczej w formie działalności górniczej wyraźnie zarysowują się jej wpływy na środowisko w postaci: zmniejszenia powierzchni przyrodniczej, przekształceń geomechanicznych, spływu i zanieczyszczeń wód, zanieczyszczenia powietrza, hałasu itd. Zamiany zachodzące w wyniku działalności górniczej powodują powstawanie sytuacji konfliktowych. Występują więc sytuacje problemowe, w których osiągnięcie kompromisu może być trudne [1]. Przemysł górniczy zauważa swój wpływ na zasoby środowiskowe i społeczne, dlatego pojawiła się koncepcja społecznej odpowiedzialności biznesu (SCR – Corporate Social Responsibility). Jest to ważny filar komunikacji między przemysłem górniczym a społeczeństwem. Jednak ciągle

widoczne jest postrzeganie tej branży w sposób negatywny i nieakceptujący przez społeczeństwo, które często nie zdaje sobie sprawy, że jego komfort życia w ogromnym stopniu uzależniony jest od surowców mineralnych. Dlatego niezbędne wydaje się wypracowanie kompromisu, w którym dążenia przemysłu górniczego i gospodarki będą się dopełniać, a nie wykluczać. Istotne jednak tutaj jest wykazanie, że negatywna ingerencja w środowisko na etapie eksploatacji przedsięwzięcia jest uciążliwością przemijającą po wybraniu złoża, bowiem tereny poeksploatacyjne mogą wnieść do środowiska nowe i bardzo istotne wartości przyrodnicze, krajobrazowe, gospodarcze czy rekreacyjne, jeśli będą odpowiednio rozważane na etapie planowania przestrzennego i procesu decyzyjnego w zarządzaniu lokalnymi zasobami środowiska [1]. Dodatkowo wskazanie korzyści, jakie mogą wynikać z rekultywacji i zagospodarowania terenów pogórnich, może przyczynić się do łagodzenia konfliktów społecznych poprzez możliwość argumentacji mocnych stron tej branży wynikających z likwidacji przestrzeni poprodukcyjnej. Zagadnienie to jest przedmiotem niniejszej publikacji, która wskazuje na dobre praktyki wynikające z przeprowadzonych działań rekultywacyjnych na poeksploatacyjnych terenach górnictwa skalnego.

2. POJĘCIE DOBREJ PRAKTYKI

Definicje dobrych praktyk w różnych krajach są różne, a literatura wskazuje na rosnące ich znaczenie w doskonaleniu dziedzin życia zarówno społecznego, jak i gospodarczego [2–5]. Zasadniczo dobrymi praktykami określane są działania, które przynoszą dobre lub bardzo dobre rezultaty, posiadają potencjał innowacji w danym podejściu, są trwałe z możliwością powtarzalności i implementacji w podobnych warunkach lub innym miejscu. Analizując ten aspekt dalej można przyjąć, że dobrą praktyką może być zrealizowany całościowo lub częściowo projekt, procedury działania, a także modele jakości, programy i procesy planowania czy zarządzania. Najważniejsze w tym jest to, aby dane działania można było zakwalifikować do zbioru dobrych praktyk, a w takim przypadku muszą one być uznane za dobre. Oznacza to, że dana dobra praktyka będzie prowadziła dane przedsiębiorstwo do jak najlepszych rezultatów [3]. Z kolei Brajer-Marczak [4] zauważa, że dobre praktyki należy traktować jako narzędzie ułatwiające poszukiwania konkretnych, wzorcowych rozwiązań, najbliższych potrzebom i uwarunkowaniom danego przedsiębiorstwa. Podstawową rolą dobrych praktyk jest bowiem możliwość ich naśladowania lub inspiracji oraz służenie jako aspekt porównawczy do oceniania działań danej firmy [3].

Literatura przedmiotu nie wskazuje jednoznacznych wytycznych sposobu wyboru dobrych praktyk. Dlatego Karwińska i Witor [3] przedstawiły zasadnicze cechy pojęcia dobrej praktyki:

- skuteczność; podstawowe kryterium pozwalające na porównanie zaplanowanych działań z efektami ich realizacji,
- wydajność; czynnik realizacji nakładów (kosztów) oraz wyników (korzyści),
- planowanie; dokładne przygotowanie działań, pozwala na szybkie i sprawne realizowanie poszczególnych etapów zadań,
- refleksyjność; bieżąca ocena prowadzonych działań,
- innowacyjność; kryterium pozwalające na wyróżnienie nieszablonowych, ciekawych pomysłów,
- uniwersalność; praktyka, która jest możliwa do implementacji w innych warunkach
- etyczność; respektowanie obowiązujących reguł prawnych oraz norm moralnych, przestrzeganie zasad ochrony środowiska naturalnego, równości i innych zasad ważnych dla funkcjonowania społeczeństwa.

Oczywiście powyższa lista nie jest ostateczna i stanowi jedynie punkt wyjścia do dalszych rozważań. Warto również dodać, że wymienione elementy mogą być traktowane rozłącznie lecz niekoniecznie

3. UWARUNKOWANIA PROCESU REKULTYWACJI

W przypadku rekultywacji i zagospodarowania terenów poeksploatacyjnych kluczem do dobrej praktyki jest dostosowanie do lokalnych potrzeb i uwarunkowań. Strategiczne podejście do tego aspektu to spójna wizja rozwoju samorządu terytorialnego, przedsiębiorcy górniczego, a także społeczności lokalnej. Planowanie to powinno zatem odbywać się w porozumieniu wszystkich uczestników procesu. Dyskusja tutaj najczęściej związana jest z pojęciem wartości terenu, która zależna jest od funkcji użytkowych jakie ma spełniać dany obszar, a które mogą być różne. Biorąc pod uwagę literaturę przedmiotu, funkcje te mogą być funkcjonalne: gospodarcze (rolne, leśne, przemysłowe, budowlane), społeczne (sportowo-rekreacyjne, zdrowotne, estetyczne, edukacyjne, przyrodnicze (flora, fauna, różnorodność biologiczna, ochrona gatunkowa, pomniki przyrody) itd. [1, 6–9–13]. Generalnie wartość ta będzie oceniana różnie w zależności od grupy interesów. Dla prywatnych właścicieli danego obszaru zależność będzie od potencjalnych korzyści gospodarczych, jakie sobą przedstawiają. Dla właścicieli publicznych (np. gminy) wartość tych terenów będzie oceniana w kontekście posiadanych zasobów przyrodniczych i potrzeb społeczno-gospodarczych.

W działalności górniczej funkcje użytkowe lub przyrodnicze rekultywowanego obszaru wyrażone są w postaci tzw. kierunku rekultywacji, który jest zapisany w decyzji administracyjnej. Ten określony kierunek warunkuje zakres (i koszt) rekultywacji i powinien być precyzyjnie sformułowany co do oczekiwanej formy zagospodarowania [14]. Jest to istotne z punktu widzenia wartości dodanej danego ob-

szaru, spodziewanej po zagospodarowaniu przestrzeni pogórnicy, która będzie dostrzegana przede wszystkim przez społeczność lokalną. Wybór kierunku rekultywacji jest zagadnieniem skomplikowanym i złożonym ze względu na możliwe odmienne interesy zainteresowanych stron procesu ale także pod względem wpływu czynników geologiczno-inżynierskich, przyrodniczych, planistycznych czy ekonomicznych. Dlatego wybór ten można nazwać kompromisem zainteresowanych grup biorących udział w tym procesie. Zatem określenie optymalnego kierunku rekultywacji zgodne z oczekiwaniami wszystkich stron jest tutaj kluczowym elementem, a realizacja zaplanowanego kierunku w zgodzie z oczekiwaniami, nie tylko przedsiębiorcy górniczego, ale także społeczności lokalnej i administracji terytorialnej, pozwala na uznanie danego działania za przykład dobrej praktyki.

4. PRZYKŁADY DOBRZYCH PRAKTYK W REKULTYWACJI TERENÓW POEKSPLOATACYJNYCH GÓRNICTWA SKALNEGO

Tereny poeksploatacyjne w górnictwie skalnym mają ogromny potencjał przyrodniczy oraz użytkowy. Ta atrakcyjność podkreślana jest w wielu publikacjach [8, 10, 12–15] i wiąże się ściśle z atrakcyjnością geologiczną, przyrodniczą, przestrzenną, a także rekreacyjną. W związku z tym na obszarach tego typu w efekcie odpowiedniego podejścia związanego z rekultywacją i zagospodarowaniem, można uzyskać walory gospodarcze czy przyrodnicze często zdecydowanie atrakcyjniejsze od tych, które istniały wcześniej. Przedstawione przykłady, uznane według autorów za dobre praktyki, mają na celu pokazanie udanych rozwiązań, wypracowanych we współpracy z samorządem terytorialnym oraz udostępnionych dla społeczności.

4.1. REKULTYWACJA TERENÓW POEKSPLOATACYJNYCH KOPALNI BAZALTU „WILCZA GÓRA”

Wydobywana na przełomie XIX i XX w. surowiec w Kopalni „Wilcza Góra” wykorzystywana była do produkcji kruszyw łamanych, stosowanych przede wszystkim w drogownictwie, kolejnictwie oraz w budownictwie. Obszar eksploatacji złoża był ograniczony ze względu na konieczność ochrony rezerwatu przyrody nieożywionej „Wilcza Góra”. Charakteryzując rekultywację Kopalni Bazaltu Wilcza Góra warto wspomnieć, że występowanie bazaltu w tym miejscu jest obiektem od dawna doskonale znanym i określanym jako jedno z najlepiej rozpoznawalnych i najlepiej odsłoniętych stanowisk kenozoicznych bazaltów na Dolnym Śląsku [1]. Jego znaczenie naukowe i dydaktyczne zostało podkreślone utworzeniem w 1959 r. jednego z nielicznych w Polsce rezerwatów przyrody nieożywionej „Wilcza Góra”. O geologicznym znaczeniu Wilczej Góry decyduje również fakt doskonałej dostępności skały

oraz wyjątkowo dobrze rozwinięty cios słupowy bazaltu, o różnej orientacji słupów, tworzących między innymi struktury tzw. róż bazaltowych. W związku z tym Wilcza Góra pozostaje jednym ze stałych stanowisk badawczych wulkanitów dolnośląskich, a także „atrakcyjnym punktem” wycieczek geologicznych, konferencyjnych czy terenowych praktyk studenckich.

Pierwsza decyzja ustalająca kierunek rekultywacji dla kopalni została wydana w 1988 r. Zakładała ona leśny kierunek rekultywacji poeksploatacyjnych terenów. Firma COLAS zwróciła uwagę na walory geologiczne i przyrodnicze obszaru i w 2015 r. wystąpiła z wnioskiem o zmianę kierunku rekultywacji przedstawiając odpowiednią dokumentację rekultywacyjną [1]. Oczywiście zmiana ta uzgodniona została z samorządem terytorialnym. Przygotowana dokumentacja proponowała rekultywację terenów kopalni w kierunkach: rolnym, leśnym, terenów zieleni oraz przyrodniczych z funkcjami rekreacyjno-dydaktycznymi.

Kierunek rolny był projektowany na powierzchni ok. 1,9 ha (po składzie materiałów wybuchowych), a kierunek leśny ok. 0,92 ha na zwałowiskach zewnętrznych. Teren zakładu przerobczego wnioskowano do wykorzystania jako tereny zieleni ok. 13,7 ha. Na całym terenie przekształconym działalnością górnictwem zaproponowano utworzenie obszaru *Park Georóżnorodności „Wilcza Góra”*, z nadanymi funkcjami terenów: zieleni oraz rekreacyjno-dydaktycznymi. Funkcje te miały być realizowane poprzez stworzenie ścieżki dydaktycznej z dziewięcioma stanowiskami obserwacyjnymi, trzema punktami widokowymi, oczka wodnego oraz miejsc wypoczynku i rekreacji, jak: plac zabaw, park linowy, wiaty wypoczynkowe oraz miejsce przeznaczone pod ognisko.



Fot. 1, 2. Osuwisko mas skalnych
Photos 1, 2. Rock mass landslide

biska (jedynie stanowisko obserwacyjne). Ponadto funkcje parku miały być realizowane poprzez stworzenie ścieżki dydaktycznej z dwoma stanowiskami obserwacyjnymi, trzema punktami widokowymi, miejscami wypoczynku i rekreacji, jak: ścieżki spacerowe, wiaty wypoczynkowe, skateparku rowerowego, ściany graffiti, miejsca imprez zorganizowanych, a także miejsca pod ognisko (fot. 3–7). Propozycja została przyjęta z uznaniem przez samorząd terytorialny i społeczeństwo. W związku z tym Starosta Złotoryjski wydał pozytywną decyzję zmieniającą kierunki oraz zakres prac rekultywacyjnych.

Prace rekultywacyjne firma COLAS Sp. z o.o. zrealizowała z końcem 2022 r. i zwróciła się do starosty z wnioskiem o uznanie rekultywacji za zakończoną.



Fot. 4. Fragment arboretum skalnego
Photo 4. A fragment of the rock arboretum

Fot. 5. Miejsce na ognisko oraz widok na Wilczą Górę
Photo 5. A place for a bonfire and a view of Wilcza Góra



Fot. 6. Ekstremalna trasa rowerowa
Photo 6. Extreme bike route



Fot. 7. Ściana graffiti
Photo 7. Graffiti wall

4.2. STRZEBLOWSKIE KOPALNIE SUROWCÓW MINERALNYCH – „STARY ŁÓM”

Strzeblowskie Kopalnie Surowców Mineralnych Sp. z o.o. są najstarszym i największym krajowym dostawcą surowców skaleniowych. W 1764 r. przebadano ten „piasek” w Królewskiej Fabryce Porcelany w Berlinie i po stwierdzeniu kaolinu rozpoczęto eksploatację w 1768 r. dla potrzeb przemysłu ceramicznego. Po znalezieniu bogatszych złóż eksploatacja prowadzona była na niewielką skalę. Rozwój jej datuje się dopiero od 1908 r., gdy eksploatację objęła firma Quarzspat Ströbel GmbH. Wprowadzono na rynek „strzeblowski szpat kwarcowy”, a od 1921 r. „skaień strzeblowski” ze złoża „Stary Łom” [25].

W 1999 r. została dokonana prywatyzacja przedsiębiorstwa w formę leasingu pracowniczego; obecnie funkcjonującego pod nazwą „Strzeblowskie Kopalnie Surowców Mineralnych” i w oparciu o 100-letnie doświadczenia konsekwentnie realizującego strategię zrównoważonego rozwoju, szczególnie dbając o efektywność procesów produkcyjnych i jakość wyrobów, a także o racjonalne wykorzystanie terenów poeksploatacyjnych. Tego przykładem jest obszar najstarszego złoża skalenia „Stary Łom”.

W wyniku wieloletniej eksploatacji skalenia ze złoża „Stary Łom” powstało wypełnione wodą wyrobisko, a kierunki rekultywacji uznano jako wodno-zadrzewieniowy z funkcją rekreacyjną (fot. 8). Na środku akwenu znajduje się wyspa – zagospodarowana jako miejsce do grillowania z ławeczkami (fot. 9). Zrekultywowany i zagospodarowany teren jest otwarty dla społeczności; zbiornik został zarybiony; funkcjonuje tu koło wędkarskie PZW. Organizowane są różne imprezy zarówno zakładowe i ogólnopolskie. Jako przykład można wskazać organizację Ogólnopolskich Zawodów dla Ratowników w Zakresie Kwalifikowania Pierwszej Pomocy w 2021 r.



Fot. 8. Wyrobisko „Stary Łom”
Photo 8. Excavation “Stary Łom”



Fot. 9. Teren wyspy
Photo 9. Island area

4.3. GEOSFERA

Wydobywanie triasowych wapieni i dolomitów na Sadowej Górze k. Jaworzna rozpoczęto w 1954 r., dla potrzeb do produkcji cementu portlandzkiego i nawozów. Największy okres wydobycia surowców oraz produkcji cementu przypadła na początek lat 70. XX w. Ostateczną decyzję o zaprzestaniu wytwarzania cementu podjęto w 1980 r. Dolomit prażony i hutniczy produkowano jeszcze przez jakiś czas, podobnie jak materiały ogniotrwałe, mączkę dolomitową oraz nawozy dla rolnictwa. Po likwidacji także tej części cementowni, eksploatację w kamieniołomie definitywnie zakończono [20].

Podczas prac wydobywczych na ścianach kamieniołomu odsłonięto warstwy obfite w skamieniałości organizmów żyjących w płytkim morzu triasowym, a także w bardzo dobrze wykształcone i zachowane struktury sedimentacyjne. Odkryto też pojedyncze formy krasowe oraz unikatowe szczątki jaszczura – notozaury. Fakt ten sprawił, że po zakończeniu eksploatacji kamieniołom stał się miejscem intensywnych badań naukowych. Po wykonaniu specjalistycznych badań i dokładnych oznaczeń, postanowiono ten kamieniołom zabezpieczyć. Nadzwyczaj trafną inicjatywą było zagospodarowanie tego miejsca na cele edukacyjne poprzez stworzenie w 2014 r. Ośrodka Edukacji Ekologiczno-Geologicznej GEOsfera. Począwszy od zachodniej części kamieniołomu ostatecznie stworzono rozległy geopark o powierzchni 8 ha z bardzo dobrą infrastrukturą (fot. 10).



Fot. 10. Widok z drona na część GEOsfery (fot. Ł. Gawor)
Photo 10. A drone view of part of the GEOsfera (photo Ł. Gawor)

Projekt ten łączy: wychodnie triasowych wapieni i dolomitów – zasoby przyrody nieożywionej oraz rośliny w naturalnych siedliskach i specjalnie zaprojektowane ko-

lekcje botaniczne – zasoby przyrody ożywionej. Na skalnych ścianach dawnego kamieniołomu znajdują się liczne szczątki szkarłupni, mięczaków, głowonogów, ryb, a nawet kości wspomnianego notozaura sprzed 230 mln lat. Na terenie ośrodka odkryto też bardzo cenne stanowisko tzw. megaripllemarków – falistych struktur dawnego morskiego dna, będących kopalnym zapisem działalności silnych tropikalnych sztormów i huraganów [21].

Poza ekspozycją zasobów geologicznych i paleontologicznych, na terenie Ośrodka stworzono też ciekawą ekspozycję stratygraficzną, ukazującą najważniejsze epizody z historii Ziemi. Zagospodarowanie tego rozległego terenu obejmuje ścieżki, alejki, elementy małej architektury, wiaty, toalety oraz liczne tablice edukacyjne objaśniające poszczególne okresy geologiczne oraz roślinność (fot. 11). W centralnym punkcie b. wyrobiska pojawił się ogród sensoryczny, w którym opisy kolekcji roślinnych zamieszczono również w języku Braille'a. Wyeksponowany tu zestaw roślinności podzielono na kilka grup: dotykowy, zapachowy, przyprawowy, ozdobny i leczniczy, oddzielonych kamiennymi murkami (fot. 12). Wydzielono też strefę rekreacyjną z drewnianą wiatą ze stołami i ławkami oraz w bezpiecznej odległości palenisko. Miejsce to może być wykorzystywane na biwakowanie, ale można tam realizować też zajęcia edukacyjne [22]. Ważną atrakcją dla najmłodszych gości jest nowoczesny plac zabaw zlokalizowany w pobliżu strefy biwakowej (fot. 13). W części relaksacyjnej znajduje się



Fot. 11. Informacja o geologii i historii stanowiska
Photo 11. Information about the geology and history of the site

Fot. 12. Część rekreacyjna
Photo 12. Recreation part

Fot. 13. Ogród sensoryczny
Photo 13. Sensory garden

też zbiornik wodny z piaszczystą plażą, a lokalny uzdrowski klimat doskonale uzupełnia solankowa łożnia. Warto podkreślić jeszcze jeden ważny aspekt; obiekt jest czynny przez całą dobę, a wejście na jego teren jest bezpłatny.

4.4. LIMESTONE HERITAGE (MALTA)

Budowa geologiczna archipelagu Malty jest mało skomplikowana. Jedyną litą skałą są tu wapienie wieku oligoceńskiego i mioceńskiego, wykształcone w dwóch odmianach, różniących się środowiskiem powstawania, barwą, jakościowym składem mineralnym i własnościami fizycznymi. Obie odróżniają się też w krajobrazie, zwłaszcza na przekroju klifów. Niższą warstwę stanowi oligoceński twardszy i bardziej odporny na czynniki atmosferyczne popielaty tzw. dolny wapień koralowy. Na nim spoczywa mioceński wapień globigerynowy barwy złocisto-żółtej, nieco bardziej miękki i bardziej podatny na erozję. W niektórych miejscach zachowany jest też drugi poziom tzw. górnego wapienia koralowego. Niekiedy między nimi zachowana bywa warstwa mioceńskich piasków glaukonitowych i niebieskich ilów [23, 24]. Ulegająca szybszej erozji warstwa wapieni globigerynowych ulega szybszej destrukcji, co częstokroć powoduje obrywanie się i grawitacyjne obsuwanie bloków górnej warstwy wapieni koralowych.

Właśnie to zjawisko było m.in. przyczyną zawalenia się w 2017 r. głównej atrakcji Malty, którą było Azure Window na wyspie Gozo (fot. 14).



Fot. 14. Azure Window (stan z 2012 r.)
Photo 14. Azure Window (as of 2012)

Ze względu na ochronę krajobrazu, eksploatacja wapienia jest obecnie ograniczona do zaledwie kilku czynnych kamieniołomów. W czasach historycznych używano

przede wszystkim wydobywanego na skalę przemysłową wapienia globigerynowego. Charakter petrograficzny tej skały umożliwiał uzyskiwanie kształtnych, prostopadłościennych bloków o jednolitej, zbitej strukturze względnie prostymi metodami i narzędziami. Ważną cechą była też niezmienna, złocista barwa kamienia.

W południowej części głównej wyspy w miejscowości Siggiewi, jeden z dawnych kamieniołomów wapienia został odpowiednio zagospodarowany. Z inicjatywy ówczesnego właściciela kopalni Manuela Baldacchinio stworzono tu muzeum górnictwa odkrywkowego Limestone Heritage, oficjalnie otwarte w 2011 r. W ramach wprowadzenia do zwiedzania, w salach kinowych wyświetlane są filmy ukazujące poszczególne etapy eksploatacji wapienia i życie mieszkańców Malty na przełomie wieków. Główną ekspozycję stanowią sale z edukacyjnymi panelami objaśniającymi historię i budowę geologiczną Malty oraz kolekcja rozmaitych eksponatów związanych wydobywaniem i obróbką kamienia. Szczególnym zainteresowaniem cieszy się bogaty zestaw ręcznych narzędzi: rozmaitych młotków, pił, klinów, haków, chwytaków oraz pracownia kamieniarska z prezentacją metod rzeźbienia w tym miękkim wapieniu.

Na gładkich ścianach kamieniołomu liczących ponad 20 m wysokości zachowane są wyraźne ślady maszyn wycinających kamień, a w połowie wysokości jednej z nich znajduje się przekrój przez zbiornik na wodę (fot. 15). Dla dobrego zobrazowania pracy w kamieniołomie, na otwartej przestrzeni wyrobiska przedstawiono narzędzia i maszyny jakimi wycinano i formowano wapienne bloki, a przy nich naturalnej wielkości figury pracowników (fot. 16).



Fot. 15. Kamieniołom Limestone Heritage
Photo 15. Limestone Heritage Quarry



Fot. 16. Ekspozycja maszyn
Photo 16. Machinery exhibition

Integralną część Limestone Heritage stanowi rekonstrukcja domu wraz z gospodarstwem z tamtych czasów oraz figury członków rodziny skalnika podczas wykonywania codziennych czynności (fot. 17, 18). Na terenie kamieniołomu znajdują się też ogrody cytrusowe, a także niewielkie zagrody z najpopularniejszymi zwierzętami gospodarskimi, co nadaje temu miejscu także charakter atrakcji agroturystycznej.



Fot. 17. Wiejska zagroda
Photo 17. Country homestead



Fot. 18. Wnętrze domu
Photo 18. House interior

5. WNIOSKI

Wszelkie formy eksploatacji złóż są ingerencją w naturalne środowisko. Nie oznacza to, że zmiany po zakończeniu wydobywania są nieodwracalne i zawsze negatywne. W przypadku odkrywkowego górnictwa skalnego bywa, że krajobraz pogórnicy jest morfologicznie znacznie ciekawszy od pierwotnego. Po temu muszą jednak być zrealizowane dwa procesy: odpowiednia rekultywacja i zagospodarowanie terenu wyrobiska. Procesy te powinny być realizowane we współpracy przedsiębiorcy górniczego z administracją terytorialną i lokalną społecznością. Tylko w takim przypadku efektem może być stworzenie miejsca, które nie zagrażając środowisku doskonale wkomponuje się w krajobraz najbliższego otoczenia i będzie pełnić rolę użytkową dla społeczeństwa. Im lepsze będzie jego zagospodarowanie, tym większa będzie jego wartość dla nauki i edukacji oraz dla zainteresowania turystycznego i frekwencji osób nie tylko z najbliższej okolicy, ale nawet z odległych zakątków świata.

W artykule przedstawiono tylko kilka wybranych miejsc, które zyskały wielką akceptację społeczną i na różne sposoby poszerzyły wiedzę odwiedzających. Są to właśnie przykłady dobrych praktyk dotyczących rekultywacji i zagospodarowania terenów poeksploatacyjnych.

Ich dodatkowym walorem edukacyjnym jest prezentacja i interpretacja lokalnej budowy geologicznej, a częstokroć mało znanych metod pracy stosowanych w górnictwie skalnym. Paradoks polega na tym, że to wszystko nie byłoby możliwe, gdyby ktoś kiedyś nie zaczął wydobywać w takim miejscu kamienia, z czasem powiększając swoje miejsce pracy w kamieniołom, niekiedy wręcz olbrzymi – wówczas zapewne powszechnie nieakceptowany przez lokalną społeczność.

LITERATURA

- [1] KAŹMIERCZAK U., *Efektywność waloryzacji terenów poeksploatacyjnych górnictwa skalnego*, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2019, s. 113.
- [2] DANI S., HARDING J.A., CASE K., YOUNG R.I.M, COCHRANE S., GAO J., BAXTER D., *A methodology for best practice knowledge management*, Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Part B, Journal of Engineering Manufacture, 2006, Vol. 220, No. 10, 1717–1728, DOI: 10.1243/09544054JEM651.
- [3] KARWIŃSKA A., WIKTOR D., *Przedsiębiorczość i korzyści społeczne: identyfikacja dobrych praktyk w ekonomii społecznej, Ekonomia Społeczna Teksty*, UE w Krakowie, Kraków 2008, vol. 6, s. 25.
- [4] BRAJER-MARCZAK R., *Dobre praktyki w doskonaleniu procesów biznesowych*, Studia Informatyka Pomerania, 2017, vol. 1, nr 43, 15–25, DOI: 10.18276/si.2017.43-02.
- [5] RUTKOWSKI K., *Zrozumieć fenomen najlepszych praktyk w logistyce i zarządzaniu łańcuchem dostaw. Europejskie wyzwania projektu BestLog*, Gospodarka Materiałowa, 2006, nr 12, 2–7.
- [6] BACZYŃSKA E., LORENC M. W., KAŹMIERCZAK U., *Research on the landscape attractiveness of the selected abandoned quarries*, International Journal of Mining Reclamation and Environment 2017, [dokument elektroniczny], 1–19.
- [7] CAŁA M., BISMARCK F., ILLING M., *Geotechniczne i środowiskowe aspekty rekultywacji rewitalizacji obszarów pogórnicznych w Polsce i Niemczech*, Wyd. AGH, Kraków 2014, s. 450.
- [8] HAO G., YIN Y., XIANKE Y., LICHANG Y., DI S., LIYING M., *Study on ecological characteristic and reclamation in Xianshui coal mining area, Guizhou, China*, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2011, Vol. 24, No. 1, 18–33.
- [9] KASZTELEWICZ Z., PTAK M., *Rekultywacja terenów pogórnicznych w kopalniach surowców skalnych*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWR, Seria: Studia i Materiały 2011, Nr 39, 165–175.
- [10] KASZTELEWICZ Z., *Rekultywacja terenów pogórnicznych w polskich kopalniach odkrywkowych*, Agencja Wyd.-Poligraficzna ART. TEKST, Kraków 2010, s. 359.
- [11] KAŹMIERCZAK U., MALEWSKI J., *O kosztach rekultywacji w górnictwie odkrywkowym*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWR, Górnictwo i Geologia, 2002, nr 102/29, 105–112.
- [12] KAŹMIERCZAK U., LORENC M.W., STRZAŁKOWSKI P., *The analysis of the existing terminology related to a post-mining land use: a proposal for new classification*, Environmental Earth Science, 2017, Vol. 76, No. 693; <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6997-7>.
- [13] MALEWSKI J. (red.), *Zagospodarowanie wyrobisk. Technologiczne, przyrodnicze i gospodarcze uwarunkowania zagospodarowania wyrobisk poeksploatacyjnych surowców skalnych Dolnego Śląska*, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław, s. 224.
- [14] KAŹMIERCZAK U., MALEWSKI J., STRZAŁKOWSKI P., *Finansowe skutki zobowiązania rekultywacji w górnictwie skalnym*, Górnictwo Odkrywkowe, 2015, nr 5, s. 9–13.
- [15] LORENC M.W., MAZUREK S., *Wybrane, nowe propozycje atrakcji geoturystycznych z Dolnego Śląska*, Geoturystyka, 2010, nr 3–4 (22–23), 3–18.
- [16] PIETRZYK-SOKULSKA E., *Rekultywacja i adaptacja terenów pogórnicznych. Wybrane przykłady realizacji w Europie i Polsce*, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2016, s. 242.
- [17] KAŹMIERCZAK U., MILIAN A., ZAGOŹDŹON P., *Dokumentacja rekultywacyjna terenów poeksploatacyjnych Kopalni „Wilcza Góra” w miejscowości Wilków gm. Złotoryja, Pęgów 2015*, 60 s.
- [18] KAŹMIERCZAK U., *Aneks nr 1 do Dokumentacji rekultywacyjnej terenów poeksploatacyjnych Kopalni „Wilcza Góra” w miejscowości Wilków gm. Złotoryja, Pęgów 2019*, s. 43.
- [19] KAŹMIERCZAK U., *Aneks do Dokumentacji rekultywacyjnej terenów poeksploatacyjnych Kopalni „Wilcza Góra” w miejscowości Wilków gm. Złotoryja, Pęgów 2021*, s. 35.
- [20] <http://um.jaworzno.pl>
- [21] <https://biblioteka.jaw.pl>

- [22] GAWOR Ł., MARCISZ M., LORENC M.W., *Stan zagospodarowania i wykorzystania przez człowieka materiału skalnego z wybranych kamieniołomów Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*, [w:] M. Dzwoniarek-Konieczna, M. Węclawska (red.), *Człowiek i kamień – badania geologiczne w perspektywie archeologii*, Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań 2019, 105–113.
- [23] LORENC M.W., *Prehistoryczne kompleksy megalityczne Malty*, Nowy Kamieniarz, 2014, vol. 75, nr 4, 48–52.
- [24] SKOCZYŁAS J., *Adaptacja dawnego kamieniołomu wapienia na Malcie dla potrzeb turystyki*, *Geoturystyka*, 2008, vol. 1, nr 12, 41–48.
- [25] KOZŁOWSKI S., *Złoże surowców skaleniowych na Dolnym Śląsku*, *Przegląd Geologiczny*, 1961, nr 10, 531–537.

GOOD PRACTICES IN THE RECLAMATION OF POST-MINING AREAS

Each quarry, after the end of rock exploitation in it, requires the application of directions of reclamation appropriate for a given site, and then (possibly) its appropriate development. Both of these processes should focus on introducing such natural and/or utilitarian values that the places covered by them could serve both people and nature. The article presents examples showing a very good approach to the interests of the local population, as well as local government authorities and the adoption of appropriate directions for reclamation and development. Approaches to the directions of reclamation and reclamation works applied in these areas, and above all their openness to the community, made the selected objects undoubtedly examples of good practice in the field of reclamation and development of post-mining areas.

Joanna KRASUSKA
Kamila BRODA
Olimpia KOZŁOWSKA

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy

PROJEKT „GEOLOGIA SAMORZĄDOWA” – POTENCJAŁ DO WSPÓŁDZIAŁANIA BRANŻY GEOLOGICZNEJ

Państwowy Instytut Geologiczny pełni zadania Państwowej Służby Geologicznej i ze względu na zapisy w ustawie *Prawo geologiczne i górnicze* [1] realizuje zadania na polecenie Głównego Geologa Kraju. Jednym z takich zadań PSG jest realizacja projektu „Geologia samorządowa serwis informacyjno-edukacyjny PIG-PIB w zakresie geologii, górnictwa, ochrony środowiska, administracji i przepisów prawa”. Zadanie to jest realizowane od 2012 r., a jego głównym celem jest wsparcie terenowej administracji geologicznej [2].

1. CELE I ZADANIA PROJEKTU

Prawidłowo działająca administracja geologiczna jest równoznaczna z prowadzeniem odpowiedzialnej gospodarki zasobami kopalin, wodami podziemnymi oraz bezpiecznym lokowaniem, budową i funkcjonowaniem obiektów infrastruktury. Podstawowy zakres zadań organów administracji geologicznej wynika z art. 158 ustawy [1], zgodnie z którym, do zakresu działania organów administracji geologicznej należy wykonywanie określonych zadań, a w szczególności: podejmowanie rozstrzygnięć oraz wykonywanie innych czynności niezbędnych do przestrzegania i stosowania ustawy, w tym udzielanie koncesji; kontrola i nadzór nad działalnością regulowaną ustawą, w tym w zakresie projektowania prac geologicznych oraz sporządzania dokumentacji geologicznych.

Urzednicy stanowią zatem kluczową rolę w uruchamianiu przedsięwzięć inwestycyjnych, związanych z geologią i górnictwem. Istotny jest zatem sprawny przebieg postępowania administracyjnego, zwłaszcza w zakresie zatwierdzenia projektów czy dokumentacji geologicznych.

Niestety nie zawsze jest to możliwe. Problemy z zatwierdzaniem dokumentów w urzędach mogą wynikać z wielu różnych przyczyn, tj.: nieprawidłowości w dokumentacji, niedopełnienie formalności, brak wymaganych dokumentów, przeciążenie

urzędu, niejasność przepisów czy błędy ludzkie. Niektóre z tych problemów są stosunkowo proste do rozwiązania, jednakże część z staje się powodami nieporozumień pomiędzy urzędnikiem a obywatelem/przedsiębiorcą. Dotyczy to przede wszystkim zakresu i jakości informacji przedstawianych w przedkładanych dokumentach. Należy bowiem zauważyć, że oprócz ich kompletności pod względem wymagań formalnych, o ich znaczeniu decyduje również wartość merytoryczna. Pomimo, że treść poszczególnych projektów i dokumentacji regulowana jest stosownymi przepisami prawa, to różnorodna interpretacja przepisów oraz doświadczenie osób zarówno sporządzających te dokumenty, jak i sprawdzających, powoduje komplikacje i przedłużanie się procedur administracyjnych.

Sporządzanie projektów i dokumentacji wymaga nie tylko rzetelnej wiedzy i doświadczenia, ale również stosowania reguł etyki zawodowej. „To nie formalne stwierdzenie kwalifikacji w zakresie geologii (uprawnień zawodowych), czy nawet znajomość aktualnych przepisów prawa przesądza o poprawności dokumentacji, ale uczciwe stosowanie zasad sztuki geologicznej i górniczej. Za użyteczność dokumentacji geologicznej współodpowiada także organ administracji geologicznej, który ją zatwierdza. Istotnym warunkiem dobrego dokumentowania – prócz kompetencji i profesjonalności autora, obiektywności i przejrzystości – jest niezależność wypowiedzenia opinii, a nie poddawanie się oczekiwaniom odbiorcy (inwestora) w odniesieniu do treści dokumentacji” [3].

Biorąc powyższe pod uwagę, potrzebna jest współpraca pomiędzy środowiskiem geologów dokumentujących, a organami administracji geologicznej, zwłaszcza wypracowania dobrych praktyk w celu ułatwienia procedowania postępowań administracyjnych. Tym bardziej, że przepisy są niejednoznaczne, a interpretacje zarówno urzędników, jak i organów odwoławczych niejednorodne, co znacznie utrudnia działalność geologiczno-górnictw przedsiębiorcom i obywatelom.

W ramach prowadzonego zadania Geologia Samorządowa zauważa się potrzebę współdziałania wszystkich struktur/komórek/instytucji reprezentujących pełny przekrój środowiska i zainteresowanych resortów stanowiących branżę geologiczną.

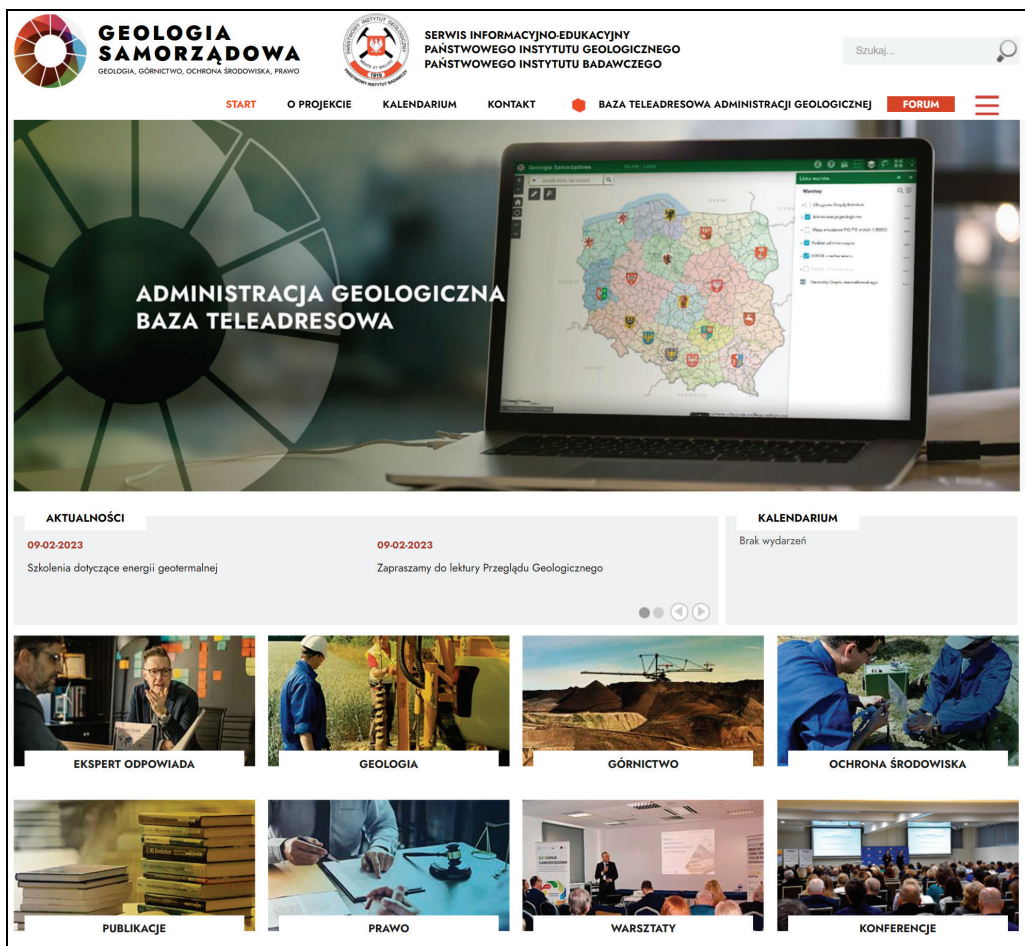
Jednym z głównych celów zadania jest rewizja kompetencji organów administracji oraz opracowanie koncepcji zmian legislacyjnych mających na celu usprawnienie działalności administracji geologicznej [4], co niewątpliwie korzystnie wpłynie na funkcjonowanie przedsiębiorstw i gospodarkę.

Należy jednakże wziąć pod uwagę podstawowe problemy sygnalizowane od lat przez przedstawicieli różnych środowisk: brak wykwalifikowanej kadry (starostwa), brak środków na szkolenia, niejednoznaczne przepisy dopuszczające wiele sposobów ich interpretacji, mnogość spraw; przekraczająca realne możliwości urzędników, brak wystarczających środków finansowych na ich działalność.

Z tych powodów wsparcie terenowej administracji geologicznej przez państwową służbę geologiczną jest konieczne i niezwykle istotne, ponieważ umożliwia zdobywanie lub uzupełnianie dziedzinowej wiedzy przez geologów powiatowych, zwłaszcza

nieposiadających kierunkowego wykształcenia geologicznego. Pozwala także na zasięganie na ich potrzeby eksperckich opinii prawnych, a przede wszystkim daje możliwość wypracowywania optymalnych rozwiązań kompetencyjnych w podlegających tym organom obowiązkach.

Realizacja zadania PSG dla terenowej administracji geologicznej rozpoczęła się jako forma konsultacji merytorycznych, polegających m.in. na udzielaniu przez PIG-PIB odpowiedzi na kierowane zapytania. Następnie, uruchomiony został serwis internetowy „Geologia Samorządowa”, który obecnie stanowi rozbudowaną platformę komunikacyjno-informacyjno-edukacyjną z zakresu geologii, górnictwa, ochrony środowiska, administracji i przepisów prawa (rys. 1).



Rys. 1. Widok strony głównej serwisu [7]
Fig. 1. View of the home page of the website [7]

W zakładkach tematycznych: „Górnictwo”, „Geologia”, „Ochrona środowiska” zamieszczane są artykuły o charakterze informacyjnym, organizacyjnym i/lub technicznym, w zakładce „Prawo” wykaz obowiązujących przepisów szczebla międzynarodowego oraz krajowego (wraz z przepisami wykonawczymi). W kontekście wsparcia merytorycznego administracji geologicznej na szczególną uwagę zasługuje zakładka „Ekspert odpowiada”, w której publikowane są odpowiedzi na liczne pytania przesłane przez pracowników administracji geologicznej. Koncentrują się one przede wszystkim wokół zagadnień dotyczących: interpretacji przepisów prawa geologicznego i górnictwa, geologii inżynierskiej i hydrogeologii oraz informacji geologicznej. Strona internetowa jest stale dostosowywana do aktualnych potrzeb pracowników administracji geologicznej. Wsparciem w tym obszarze są konsultacje z użytkownikami witryny realizowane w sposób ciągły. Inspiracją dla wprowadzanych modyfikacji są także zgłaszane problemy, które geolodzy napotykają podczas wykonywania obowiązków służbowych.

Dosyć nowym rozwiązaniem jest Forum Geologów powiatowych i wojewódzkich, działające na zasadzie usługi komunikacyjnej pomiędzy poszczególnymi pracownikami administracji. Dzięki temu rozwiązaniu pracownicy starostw i urzędów marszałkowskich dzielą się swoimi problemami oraz rozwiązaniami proceduralno-formalnymi, dyskutują i utrzymują ścisły kontakt zawodowy. Niewątpliwie rozwiązanie to przyczynia się do nawiązywania współpracy, a przez to do optymalizowania procedur będących w kompetencjach tych urzędników [4].

Kolejnym rodzajem działań wspierających pracowników administracji geologicznej w ramach projektu „Geologia samorządowa” organizowane są przez PSG specjalistyczne szkolenia i warsztaty, mające na celu podniesienie poziomu wiedzy i umiejętności z poszczególnych dziedzin geologii. W tych organizowanych cyklicznie działaniach edukacyjnych angażowani są jako eksperci nie tylko specjaliści zatrudnieni w PIG-PIB, ale także eksperci z innych instytucji, uczelni i urzędów.

Niezwykle istotną formą korzystnego oddziaływania na funkcjonowanie administracji geologicznej jest zainaugurowana w 2022 roku Konferencja Współczesna Geologia Samorządowa (WGS). Jednym z głównych jej celów jest nawiązywanie relacji zawodowych grup wzajemnie od siebie zależnych, wypracowanie jak najlepszych rozwiązań, które w praktyce będą racjonalizować ich pracę, a tym samym wpływać pozytywnie na odpowiedzialne i rozważne korzystanie z zasobów kopalin i wód podziemnych.

Należy podkreślić, że docelowo cykliczne, realizowane w ramach konferencji spotkania są i będą niezwykle ważne, również ze względu na fakt, że stanowią okazję do integracji środowiska geologów ze wszystkich regionów Polski. Po owocnych obradach i intensywnych dyskusjach w trakcie paneli dyskusyjnych wyszczególnić można najważniejsze wnioski wynikające z obrad I Konferencji WGS:

- konieczność konsolidacji i intensyfikacji współpracy środowiska pracowników administracji geologicznej wszystkich szczebli,

- konieczność wypracowania jednolitych wzorców postępowań administracyjnych, z uwzględnieniem przywrócenia cyklicznych spotkań geologów wojewódzkich z Głównym Geologiem Kraju,
- potrzeba wzmocnienia pozycji administracji geologicznej szczebla powiatowego przez zacieśnienie współpracy z PSG oraz organami nadzoru górniczego, a także administracją geologiczną wyższych szczebli,
- potrzeba utworzenia wyspecjalizowanej komórki, której zadaniem byłaby weryfikacja wybranych dokumentacji wpływających do organów administracji geologicznej, w celu poprawy poziomu opracowań dokumentacyjnych i ograniczenia nadużyć,
- konieczność wdrożenia rozwiązań prawnych usprawniających prace administracji geologicznej, dotyczy to m.in.: uporządkowania zapisów wskazujących kompetencje administracji geologicznej w ustawach innych niż Prawo geologiczne i górnicze oraz potrzeby zmiany obecnych organów drugiej instancji dla postępowań administracyjnych prowadzonych przez starostów (prezydentów miast na prawach powiatów),
- konieczność formalnego, pilnego przywrócenia wymogu posiadania kierunkowego wykształcenia geologicznego dla urzędników w starostwach, realizujących obowiązki geologów powiatowych; obecnie funkcję geologa powiatowego może pełnić pracownik posiadający jakiegokolwiek inne wykształcenie wyższe, co z uwagi na specyfikę i stopień trudności zagadnień geologicznych jest ewidentnie niewłaściwym rozwiązaniem prawnym [5].

Od 2012 r. w ramach projektu „Geologia Samorządowa” zrealizowano: 4 jednodniowe szkolenia, 2 trzydniowe cykle spotkań, 5 dwudniowych warsztatów, 2 cykle jednodniowych szkoleń online i 3 jednodniowe warsztaty komputerowe. Zakres poruszanych zagadnień był bardzo szeroki, obejmował tematykę związaną z: eksploatacją kopalin, gazu łupkowego, geologią inżynierską, rekultywacją terenów poeksploatacyjnych, postępowań koncesyjnych, zagospodarowania przestrzennego, projektów robót geologicznych, projektów zagospodarowania złoża, prowadzenia ruchu w zakładach górniczych, informacją geologiczną, archiwizacją danych geologicznych oraz procedurami w postępowaniach administracyjnych [4, 6].

2. PODSUMOWANIE

Administracja samorządowa – starostowie działający przy pomocy geologów powiatowych oraz marszałkowie poprzez geologów wojewódzkich funkcjonują blisko przedsiębiorców górniczych i problemów charakterystycznych dla danego regionu, dzięki czemu znacznie szybciej mogą reagować na sytuacje kryzysowe. Oni również mają możliwość na kształtowanie projektu, aby jak najlepiej i najtrafniej służył ich celom.

Z uwagi, że administracja geologiczna zmagą się z wieloma problemami i niedo-
godnościami natury formalno-prawnej, konieczna jest dalsza aktywna współpraca.
Takie współdziałanie może przynieść wiele korzyści dla pracy geologów w urzędach
marszałkowskich i powiatowych, a z czasem przyczynić się do umacniania jej
statusu i znaczenia w funkcjonowaniu oraz działaniu samorządów.

LITERATURA

- [1] Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. *Prawo geologiczne i górnicze* (t.j. DzU 2022.2687).
- [2] KRASUSKA J., WÓLKOWICZ S., *Geologia samorządowa 2021*, Przegląd Geologiczny, 2021, vol. 69, nr 11, 728.
- [3] KRASUSKA J., FAJFER J., KOSTRZ-SIKORA P., *Działania państwowej służby geologicznej wspierające administrację geologiczną*, Zeszyt streszczeń XXX Konferencji „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2021, 51–53.
- [4] KRASUSKA J., OLEJNICZAK K., *Współpraca Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego z samorządową administracją geologiczną*, Przegląd Geologiczny, 2021, vol. 69, nr 11, 729–733.
- [5] BRODA K., CHEĆKO A., DYKA M., KOZŁOWSKA O., KRASUSKA J., PACUŁA J., *1. Konferencja Współczesna Geologia Samorządowa*, Przegląd Geologiczny, 2022, vol. 70, nr 12, 888–892.
- [6] SIDORCZUK M., KOWALSKA M., *Państwowa służba geologiczna i hydrogeologiczna ramię w ramię z administracją geologiczną*, Przegląd Geologiczny, 2015, vol. 63, nr 12/1, 1310–1311.
- [7] <https://www.pgi.gov.pl/geologia-samorzadowa/start/>

PROJECT “GEOLOGY LOCAL GOVERNMENT” – POTENTIAL FOR GEOLOGICAL INDUSTRY INTERACTION

The local government administration – the starosts, acting with the help of the district geologists, and the marshals, through the provincial geologists, function close to the citizens and their region-specific problems, so they can react much more quickly to crisis situations. They also have the opportunity to shape the project to best and most accurately serve their purposes.

As the geological administration faces many formal and legal problems and inconveniences, further active cooperation is necessary. Such cooperation can bring many benefits to the work of geologists in marshal and district offices and, in time, contribute to strengthening its status and importance in the functioning and operation of local governments.

Łukasz MACHNIAK¹
Konrad SŁOWIŃSKI²

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami

² Polski Związek Producentów Kruszyw, Kielce

OCENA SAMORZĄDOWYCH INWESTYCJI DROGOWYCH NA PODSTAWIE BAZY *E-ZAMÓWIENIA*

W artykule podjęto próbę oceny rynku samorządowych inwestycji drogowych na podstawie ogólnie dostępnej bazy danych. Analizę wykonano dla okresu 1.09.2022–31.01.2023.

1. WPROWADZENIE

Posiadanie rozwiniętej i dobrej jakości układu komunikacji to temat strategiczny w kwestii sprawnego działania każdego państwa. Inwestycje realizowane w ramach budowy dróg szybkiego ruchu i autostrad od lat budzą duże zainteresowanie. W 2022 r. GDDKiA podpisała 24 umowy o łącznej wartości 12,8 mld zł [1]. W przypadku samorządowych inwestycji drogowych sytuacja wygląda nieco inaczej. Ilość podpisywanych umów jest znacznie większa, ale nakłady finansowe pojedynczego przedsięwzięcia są mniejsze względem tych zawieranych przez GDDKiA.

2. METODYKA

Dane zostały w całości pozyskane w oparciu o platformę E-Zamówienia. Platforma umożliwia pozyskanie informacji o postępowaniach oraz zawartych w ramach postępowań umowach. Ponieważ wyszukiwarka nie daje możliwości wyszukania bezpośrednio inwestycji drogowych, konieczne było zastosowanie odpowiedniej filtracji danych. W tym celu wykorzystano możliwości platformy pozwalające na zastosowanie filtrów wyszukiwania. Zastosowane filtry dotyczyły: rodzaju zamówienia, wyniku postępowania, województwa, okresu publikacji wyniku oraz frazy pomocniczej.

Do pełniejszej selekcji zastosowano również kody CPV, czyli kody stanowiące jednolity system klasyfikacji zamówień publicznych, którego celem jest standaryzacja pozycji stosowanych przez instytucje i podmioty zamawiające przy opisywaniu przedmiotów zamówień publicznych. Przykładowe kody zamówień przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Przykładowe jednolite kody zamówień publicznych
Table 1. Examples of unified procurement codes

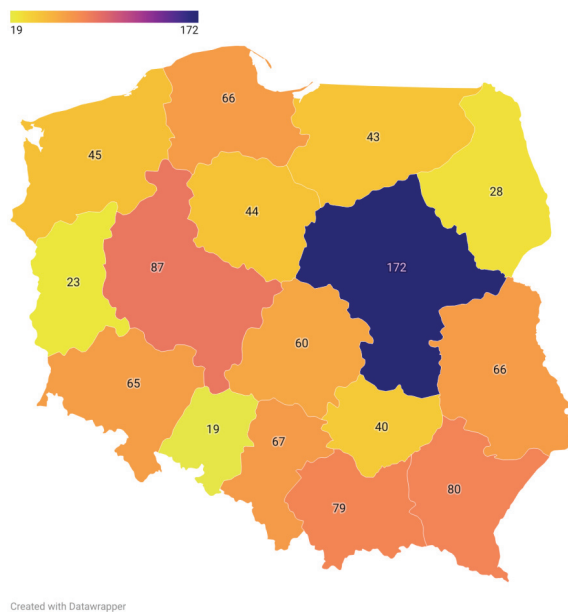
Lp.	Nr kodu	Zakres
1	45200000-9	Roboty budowlane w zakresie wznoszenia kompletnych obiektów budowlanych lub ich części oraz roboty inżynierii lądowej i wodnej
2	45220000-5	Roboty inżynieryjne i budowlane
3	45233121-3	Roboty w zakresie budowy dróg głównych
4	45230000-8	Roboty budowlane w zakresie budowy rurociągów, linii komunikacyjnych i elektroenergetycznych, autostrad, dróg, lotnisk i kolei; wyrównywanie terenu
5	45233220-7	Roboty w zakresie nawierzchni dróg
6	45233140-2	Roboty drogowe

Po zastosowaniu odpowiednich filtrów z każdego zamówienia pozyskiwano kwotę na jaką z wykonawcą została zawarta umowa. Następnym krokiem było zsumowanie wartości dla każdego województwa oraz dokonanie stosownych obliczeń i analiz.

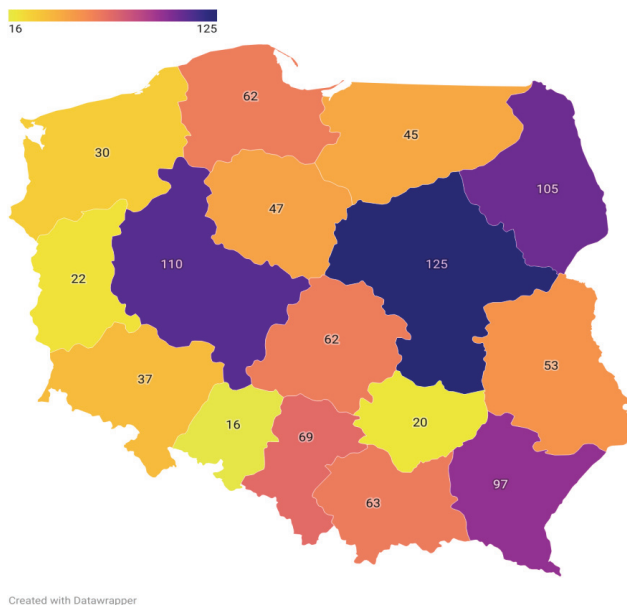
3. LICZBA ZADAŃ

W okresie 1.10.2022–31.01.2023 zidentyfikowano łącznie 3 603 zadań inwestycyjnych, z czego najwięcej 984 przypadło na miesiąc wrzesień. Liczbę zadań w poszczególnych województwach różniła w zależności od miesiąca w którym dane zostały pozyskane. Mapę przedstawiającą podział ilościowy w miesiącu wrzesień przedstawiono na rysunku 1.

Największy udział przypadł dla województwa mazowieckiego i wynosił aż 172 różne zadania, co stanowi 17% wszystkich podpisanych umów. Drugim województwem było wielkopolskie, w którym zidentyfikowano 87 różnych inwestycji co daje 9% udziału inwestycji w całym kraju. Duża liczba inwestycji została zidentyfikowana również dla Podkarpacia oraz Podlasia. Najmniej podpisano umów w województwie opolskim. Na mapie (rys. 2) przedstawiono liczbę inwestycji drogowych w okresie od 1.10.2022 do 31.10.2022.



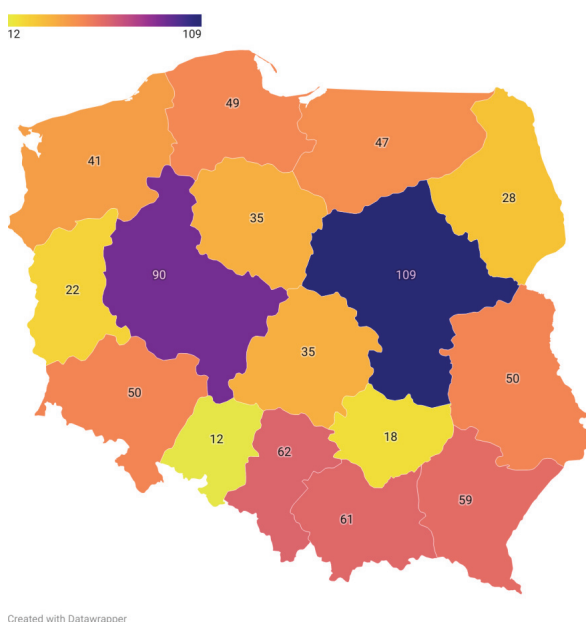
Rys. 1. Mapa liczby zamówień na inwestycje drogowe we wrześniu
 Fig. 1. Map of the numbers of orders for road projects in September



Rys. 2. Mapa liczby zamówień na inwestycje drogowe w październiku
 Fig. 2. Map of the numbers of orders for road projects in October

W październiku najwięcej zamówień przypadło ponownie w województwie mazowieckim. Duży wzrost, względem miesiąca poprzedniego nastąpił w wielkopolskim oraz podkarpackim. Natomiast największy wzrost zawartych umów nastąpił w podlaskim i wyniósł aż 105 zadań, co stanowiło prawie 4-krotny wzrost względem poprzedniego miesiąca. Ponownie najmniej inwestycji podjęto w województwie opolskim. Dodatkowo w województwie tym, względem poprzedniego miesiąca, nastąpił spadek liczby podpisanych umów.

W listopadzie ponownie najwięcej zadań realizowano w województwie mazowieckim oraz wielkopolskim. Najmniej inwestycji zidentyfikowano ponownie w województwie opolskim. W ogólnym ujęciu, całego kraju, liczba inwestycji znacząco spadła względem października. Liczbę inwestycji przedstawiono na rysunku 3.



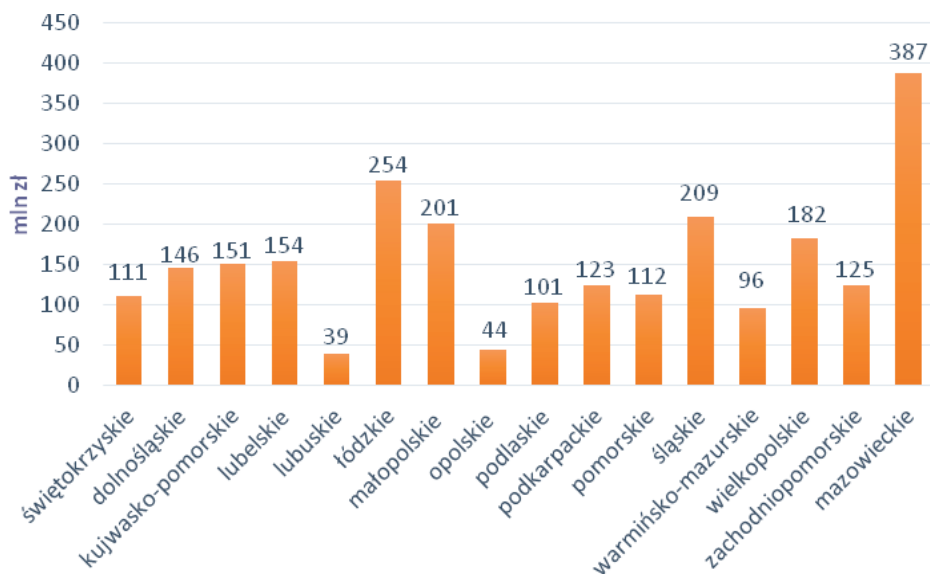
Rys. 3. Mapa liczby zamówień na inwestycje drogowe w listopadzie
Fig. 3. Map of the density of orders for road projects in November

W grudniu, pierwszym miesiącu rozpoczynającym okres zimy, najwięcej inwestycji ponownie zidentyfikowano w województwie mazowieckim. Duży spadek nastąpił w przypadku wielkopolskiego oraz małopolskiego. Najmniej nowych zadań ogłoszono w opolskim oraz lubuskim. Nieznaczny wzrost, względem poprzedniego miesiąca, nastąpił w dolnośląskim, świętokrzyskim oraz podlaskim. W tym miesiącu liczba podpisanych umów była niższa względem poprzedniego. Liczbę inwestycji przedstawiono na rysunku 4.

W miesiącu styczniu nastąpiła bardzo duża redukcja podpisanych umów. W żadnym z województw, poza mazowieckim, liczba podpisanych umów nie przekraczała 50. Najmniej nowych umów podpisano w województwie lubuskim. Liczbę inwestycji przedstawiono na rysunku 5.

4. NAKŁADY FINANSOWE

Platforma E-Zamówienia stanowi nie tylko informacje na temat liczby postępowań ale również pozwala na podgląd ofert cenowych. Na kolejnych wykresach (rys. 6–10), dla kolejnych analizowanych miesięcy, przedstawiono nakłady finansowe do poniesienia na realizację zidentyfikowanych inwestycji drogowych.



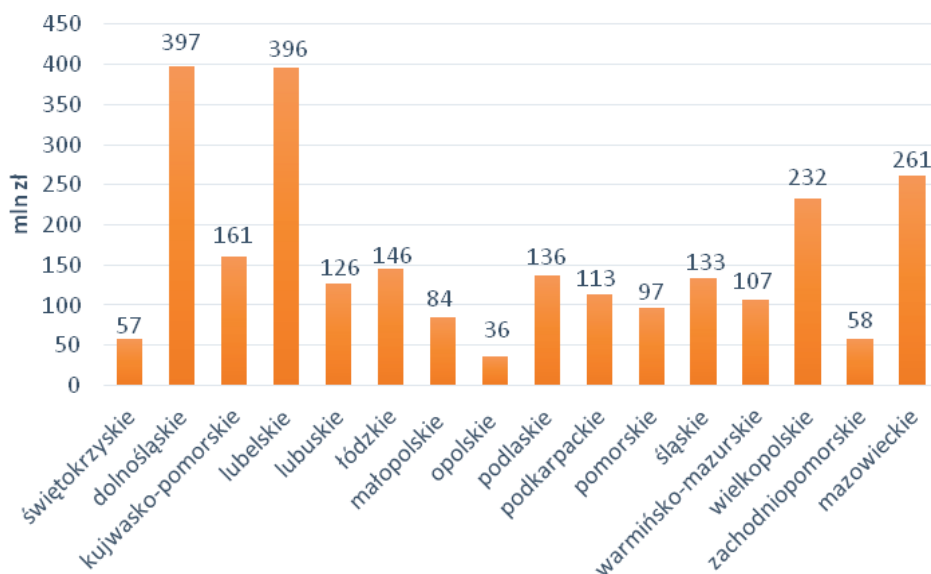
Rys. 6. Nakłady finansowe dla poszczególnych województw we wrześniu

Fig. 6. Financial outlays for individual voivodeships in September

We wrześniu (rys. 6) łączne nakłady finansowe na inwestycje drogowe wyniosły 2,4 mld zł. Największe środki przeznaczono w województwie mazowieckim. Znaczne nakłady przeznaczono również w województwach łódzkim, śląskim, małopolskim oraz wielkopolskim. Najmniej środków przeznaczono w przypadku lubuskiego oraz opolskiego. Wartość realizowanych w tych województwach inwes-

tycji jest blisko 10-krotnie mniejsza niż w województwie mazowieckim. Pozostałe województwa przeznaczały zbliżone względem siebie kwoty na realizację inwestycji drogowych.

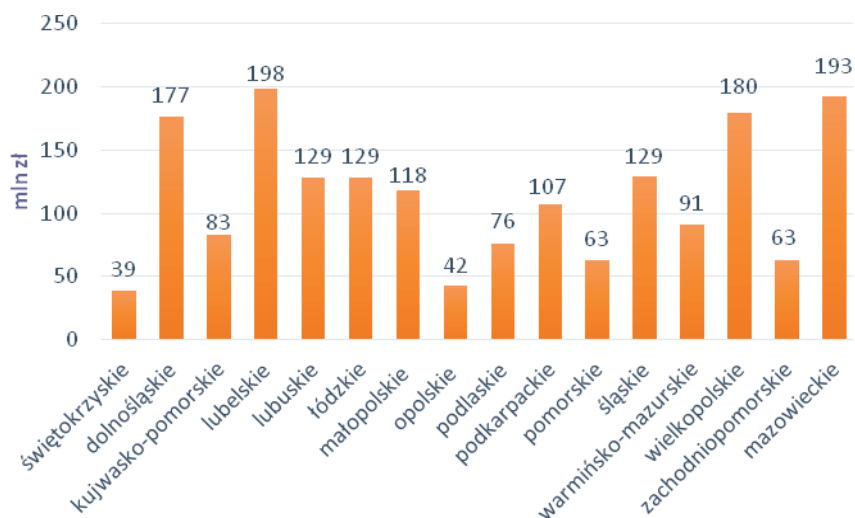
W październiku łączne nakłady finansowe na inwestycje drogowe wyniosły 2541 mld zł, tj. o 4% więcej niż we wrześniu (rys. 7). Największe środki przeznaczono w województwie dolnośląskim i lubelskim. Najmniej środków przeznaczono w województwie opolskim. Jest to również ponad 10-krotnie mniejsza wartość w porównaniu do województw znajdujących się na górze rankingu. Warto zauważyć, że dla takich województw jak lubelskie, dolnośląskie nastąpiła istotna zmiana wartości podpisanych umów, względem poprzedniego miesiąca.



Rys. 7. Nakłady finansowe dla poszczególnych województw w październiku

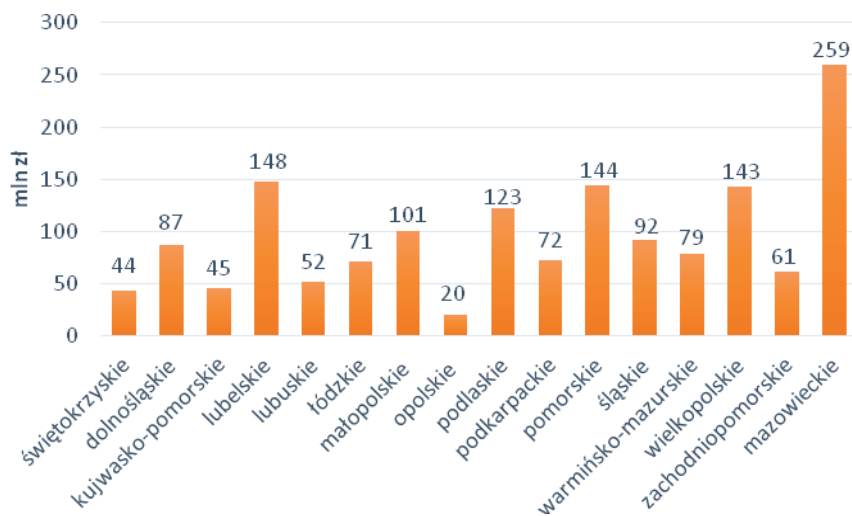
Fig. 7. Financial outlays for individual voivodeships in October

W listopadzie (rys. 8) łączne nakłady finansowe na inwestycje drogowe wyniosły 1817 mld zł, tj. o 28% mniej niż miesiąc wcześniej. Najwięcej środków przeznaczyły województwa lubelskie, mazowieckie, wielkopolskie, oraz dolnośląskie. Najniższą wartość inwestycji zidentyfikowano w województwach świętokrzyskim i opolskim. Przy czym różnice w porównaniu do liderów rankingu nie są tak duże jak w miesiącach poprzednich. W większości województw wartość inwestycji była znacząco mniejsza niż w ubiegłych miesiącach.



Rys. 8. Nakłady finansowe dla poszczególnych województw w listopadzie
 Fig. 8. Financial outlays for individual voivodeships in November

W grudniu (rys. 9) nakłady finansowe na inwestycje drogowe wyniosły 1 539 mld zł, tj. o 15% mniej niż miesiąc wcześniej.



Rys. 9. Nakłady finansowe dla poszczególnych województw w grudniu
 Fig. 9. Financial outlays for individual voivodeships in December

Najwięcej środków na inwestycje przeznaczyło ponownie województwo mazowieckie. Natomiast najmniej ponownie województwo opolskie.

W styczniu (rys. 9) ogólne nakłady finansowe wyniosły 1 mld, zł. Najwyższy wynik ponownie odnotowało województwo mazowieckie. W czołówce znalazły się również województwa wielkopolskie, dolnośląskie oraz warmińsko-mazurskie. Najmniejszą sumę wartości inwestycji odnotowało województwo lubuskie.



Rys. 10. Nakłady finansowe dla poszczególnych województw w styczniu
Fig. 10. Financial outlays for individual voivodeships in January

W tabeli 3 przedstawiono średni koszt wykonania jednej inwestycji w poszczególnych województwach oraz w kraju. Różni się on w zależności od województwa oraz miesiąca. W wrześniu największy średni koszt wykonania inwestycji wynosił 42 mln zł, było to w województwie łódzkim. Natomiast w październiku już 107 mln zł, w województwie dolnośląskim, a w listopadzie 58 mln zł w województwie lubuskim. W grudniu najwyższa średnia kwota jednego zadania wynosiła 41 mln zł, dla dwóch województw pomorskiego oraz podlaskiego. W styczniu to w województwie warmińsko-mazurskim odnotowano najwyższy średni koszt realizacji zadania, wynosił on 79 mln zł.

W ujęciu globalnym całego kraju średnia kwota była jednak zbliżona. Zauważalny jest na tym poziomie widoczny trend wzrostowy realizacji jednego zadania z 25 mln we wrześniu 2022 do 33 mln w styczniu 2023. Jest to wzrost na poziomie ponad 33%. Wpisuje się to w zmiany cen materiałów budowlanych i ogólny trend wzrostu kosztów realizacji inwestycji budowlanych.

Tabela 2. Średni koszt wykonania jednej inwestycji drogowej w każdym z województw
Table 2. Average cost of one road investment in each voivodship

Województwo	Koszt mln zł				
	2022				2023
	IX	X	XI	XII	I
świętokrzyskie	28	29	21	19	53
dolnośląskie	22	107	35	17	33
kujawsko-pomorskie	34	34	24	22	21
lubelskie	23	75	40	34	27
lubuskie	17	57	58	27	21
łódzkie	42	24	37	24	37
małopolskie	25	13	19	26	33
opolskie	23	23	35	11	21
podlaskie	36	13	27	41	30
podkarpackie	15	12	18	16	35
pomorskie	17	16	13	41	42
śląskie	31	19	21	21	34
warmińsko-mazurskie	22	24	19	36	79
wielkopolskie	21	21	20	29	31
zachodniopomorskie	28	19	15	25	18
mazowieckie	23	21	18	30	31
średnia	25	26	24	27	33

W tabeli 3 przedstawiono syntetyczne podsumowanie zmian (miesiąc do miesiąca) wartości inwestycji oraz ich liczby w poszczególnych miesiącach i globalnie w skali całego kraju.

Tabela 3. Różnica wydatkowania środków oraz liczby inwestycji wyrażona w procentach (m/m)
Table 3. Difference in spending on road investments expressed as an percentage and the numbers of investments to the compared previous months

Województwo	Zmiana X–IX		Zmiana XI–X		Zmiana XII–XI		Zmiana I–XII	
	Wartość umów	Liczba	Wartość umów	Liczba	Wartość umów	Liczba	Wartość umów	Liczba
	[%]							
1	2	3	4	5	6	7	8	9
świętokrzyskie	-48	-50	-33	-10	13	28	-16	-70
dolnośląskie	172	-43	-55	35	-51	2	20	-37
kujawsko-pomorskie	6	7	-48	-26	-46	-43	-8	0
lubelskie	157	-20	-50	-6	-26	-12	-82	-77
lubuskie	228	-4	2	0	-60	-14	-79	-74

1	2	3	4	5	6	7	8	9
łódzkie	-43	3	-12	-44	-45	-17	-21	-48
małopolskie	-58	-20	40	-3	-15	-38	-44	-55
opolskie	-17	-16	17	-25	-52	58	-28	-63
podlaskie	34	275	-44	-73	62	7	-71	-60
podkarpackie	-9	21	-5	-39	-33	-25	10	-48
pomorskie	-13	-6	-35	-21	127	-29	-53	-54
śląskie	-36	3	-3	-10	-29	-29	-26	-55
warmińsko- -mazurskie	11	5	-14	4	-14	-53	41	-36
wielkopolskie	27	26	-23	-18	-21	-44	-8	-14
zachodnio- -pomorskie	-54	-33	9	37	-3	-41	-51	-29
mazowieckie	-33	-27	-26	-13	35	-21	-38	-40
Polska	-4	-2	-28	-20	-15	-25	-33	-46

Z przedstawionych danych wynika, że od grudnia zmieniła się dynamika liczby podpisywanych umów. Jest ona większa niż wartości umów. Może to świadczyć o ograniczaniu liczby inwestycji dla utrzymania poziomu kosztów, co związane jest ze wzrostem kosztów realizacji pojedynczego zadania.

5. PODSUMOWANIE

Platforma *E-Zamówienia* stanowi dobre źródło informacji na temat inwestycji drogowych prowadzonych przez samorządy. Nie jest to jednak idealne narzędzie, a sam proces tworzenia bazy danych jest pracochłonny. W celu dalszego prowadzenia ewidencji niezbędne jest zautomatyzowanie procesu, np. korzystając z WebAPI.

Liczba zadań zależna jest od województwa oraz miesiąca, duży wpływ ma również okres zimowy który zmniejsza możliwości technologiczne prowadzenia robót. W badanym okresie najwięcej inwestycji podjęto w województwach mazowieckim, wielkopolskim oraz podkarpackim. Warto zauważyć, że liczba zdań była zdecydowanie wyższa w przypadku mazowieckiego. Najmniej inwestycji przypadało w województwie opolskim oraz lubuskim.

Najwięcej funduszy ze wszystkich województw, aż 1262 mln zł, przeznaczyło województwo mazowieckie, w którym to realizowanych zadań było najwięcej. Z pozostałych województw, najwięcej przeznaczyło lubelskie 922 mln zł oraz dolnośląskie 911 mln zł. Drugie co do liczby realizowanych inwestycji województwo wielkopolskie przeznaczyło łącznie 869 mln zł. Co oznacza, iż nie zawsze liczba zamówień idzie w parze z nakładami finansowymi. Bardzo często inwestycje różnią się rozmiarem oraz zakresem prac jakie należy wykonać.

Trudnością przy dokonywaniu analizy okazały się błędnie wprowadzane wartości zamówień. Bardzo często kwota na którą udzielono zamówienia w podpunkcie war-

tość zamówienia była przepisywana bez odpowiednich znaków, a co za tym idzie stukrotnie większa.

Aby dokonać pełnej analizy należy powiększyć bazę danych oraz zaobserwować zmiany zachodzące w ciągu pełnego roku kalendarzowego. Bazę można rozszerzyć również o dostępne pełne dane z zeszłego roku kalendarzowego oraz w momencie dostępnych danych za 2023 r. porównać je w ujęciu miesięcznym względem poprzedzającego roku. A co za tym idzie uzyskać pogląd na zmianę kosztów realizacji inwestycji oraz ilości podejmowanych przez samorządów inwestycji.

Dane będą korelowane z innymi informacjami o rynku budowlanym aby wypracować nieskomplikowany wskaźnik oceny koniunktury w segmencie inwestycji drogowych realizowanych przez samorządy.

LITERATURA

- [1] GDDKiA, *Aktualna statystyka drogowa*, www.gov.pl/web/gddkia [dostęp: 14.02.2023].
[2] SIMAP, *Kody CPV*, simap.ted.europa.eu/pl/cpv [dostęp: 12.02.2023].

EVALUATION OF LOCAL GOVERNMENT ROAD INVESTMENTS BASED ON *E-ZAMOWIENIA* DATABASE

Road investments carried out by local governments generate about 65% of the demand for aggregates. The available data on road investments are related to investments carried out by GDDKiA. There is no data on the local government roads market. The article attempts to evaluate local government road investments based on a publicly available e-procurement platform. The results of proceedings concluded for construction works throughout Poland were analyzed and those related to road investments were identified. From the collected information, a database was created, which was used to determine the size of investments in each voivodship. Ultimately, indicators will be developed for the ongoing assessment of road investments implemented by local governments.

Jerzy MALEWSKI

Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

EKSPLOATACJA ZŁOŻA W KONTEKŚCIE TECHNOLOGICZNYM I ŚRODOWISKOWYM

Eksploracja złóż mineralnych to proces realizowany wg odpowiedniej technologii i instalacji przemysłowych nazywanych górnictwami. Istnieje rozbieżność poglądów co do zakresu/struktury tej technologii, co ma znaczenie w praktyce zarządzania zasobami środowiska. Źródłem kontrowersji jest niejednoznaczność języka jaki używamy w procesach komunikacji społecznej w ocenach wpływu eksploatacji górniczej złóż na środowisko. W artykule, na przykładach technologii eksploatacji skał i rud, pokazano integralność tej technologii w kontekście ekonomicznym i ochrony środowiska. Efektem tej analizy jest propozycja systemu pojęć, który może być pewnym wkładem w kulturę języka praktyki w gospodarce surowcowej.

1. WSTĘP

Górnictwo nie cieszy się dobrą sławą we współczesnym świecie. Ale w życiu istnieje (i sprawdza się) powiedzenie, że każdy ma to, na co zasłużył. Przez lata dumnym bohaterem był górnik z symbolicznym kilofem i lampką, a produktem jego aktywności kopalina. Zredukowanie swojej funkcji społecznej do tak prostej roli w gospodarce, co wydobywanie kopaliny, to świadectwo braku roztropności i być może wykształcenia górników, którzy nie chcą widzieć procesów produkcji surowców mineralnych w szerszym kontekście: technologicznym i środowiskowym. Przykładem na to jest prawo geologiczne i górnicze, gdzie technologie górnicze ograniczono (poza węglem) do kopalnictwa, pozostawiając przeróbkę kopaliny na zewnątrz zakładu górniczego. A przeróbka kopaliny, to główna część tej technologii odpowiedzialna za efekty rynkowe produkcji i równie istotne źródło negatywnego wpływu na środowisko.

Regulatorem relacji społecznych i gospodarczych w państwie jest prawo. Jeśli pojęcia: technologia i technika górnicza nie są ściśle określone i nazwane, to można oczekiwać, że ta nieokreśloność przeniknie również do prawa, jak to jest w ww. przypadku zakładu górniczego [2].

Ten brak logiki jest źródłem problemów w procesach planistycznych, inwestycyjnych, a nawet ubezpieczeń emerytalnych pracowników górnictwa. Ma bowiem wpływ

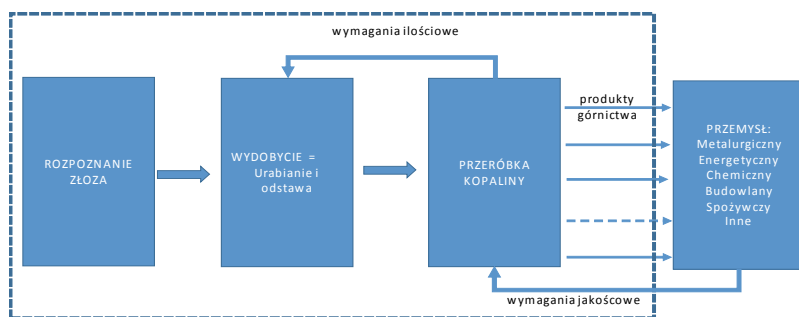
na praktykę urbanistyczną, kształtującą prawo miejscowe przez odpowiednie zapisy planistyczne w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego [1]. A w przypadku przeznaczenia terenów na eksploatację złoża i pojawienie się inwestora górniczego, następuje aktywizacja miejscowej ludności w obronie rzeczywistych lub rzekomych zagrożeń środowiska.

Rozpoczynają się protesty i rozbieranie treści decyzji administracyjnych po literze prawa. Jeśli język tych decyzji jest nieprecyzyjny lub odwołuje się do niepewnych źródeł, to proces inwestycyjny jest opóźniony i zagrożony niepowodzeniem. Dlatego warto, jak się wydaje, podjąć dyskusję nad tym zagadnieniem, rozpoczynając od pojęcia eksploatacji złoża. Artykuł ten jest propozycją systemowego ujęcia tego terminu, aby było wiadomo co dokładnie znaczy, jeśli zostanie użyty w przepisach prawnych.

2. EKSPLOATACJA ZŁOŻA JAKO TECHNOLOGIA GÓRNICZA

Eksploracja zasobów mineralnych Ziemi jest domeną górnictwa, którego zadaniem jest produkcja surowców dla różnych przemysłów gospodarki narodowej. Przedmiotem eksploatacji są złoża kopaliny, których ilość i jakość w obrębie złoża mają potencjalną wartość gospodarczą. Wartość rzeczywistą nabiera ono po wydobyciu kopaliny i doprowadzeniu jakości jej użytecznych składników do wymagań stawianych przez inne przemysły.

Odbywa się to w szeregu operacjach technologicznych wydobycia i odstawy kopaliny oraz oczyszczania lub wzbogacenia jej składników do wartości rynkowej. Rysunek 1 jest schematem (makro) operacji produkcji górniczej, czyli technologią, a rys. 2 i 3 są ilustracją tej technologii w wydaniu odkrywkowym i podziemnym.



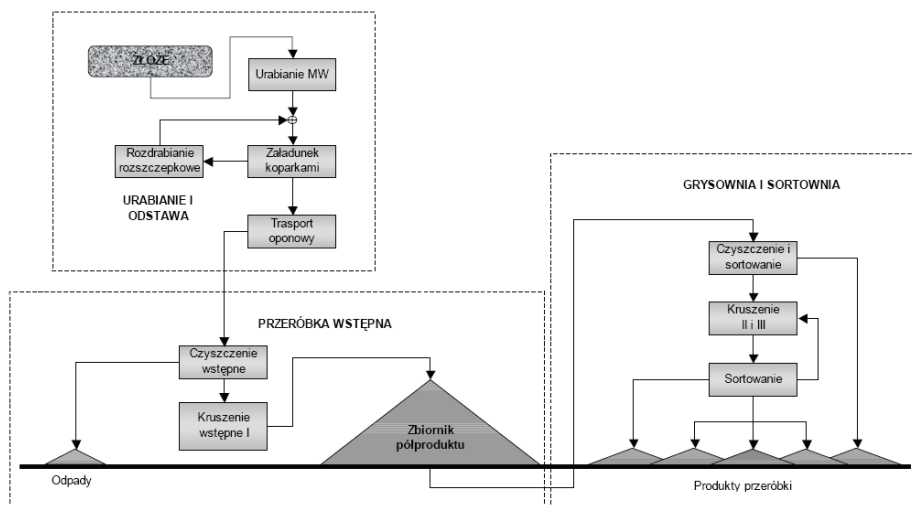
Rys. 1. Technologia produkcji górniczej jako wynik eksploatacji złoża

Fig. 1. Mining production as the exploitation of deposit

Integralność struktury technologii górniczej przedstawionej na rys. 1 ma swoje uzasadnienie środowiskowe i ekonomiczne, ale bywa kwestionowana przez administrację

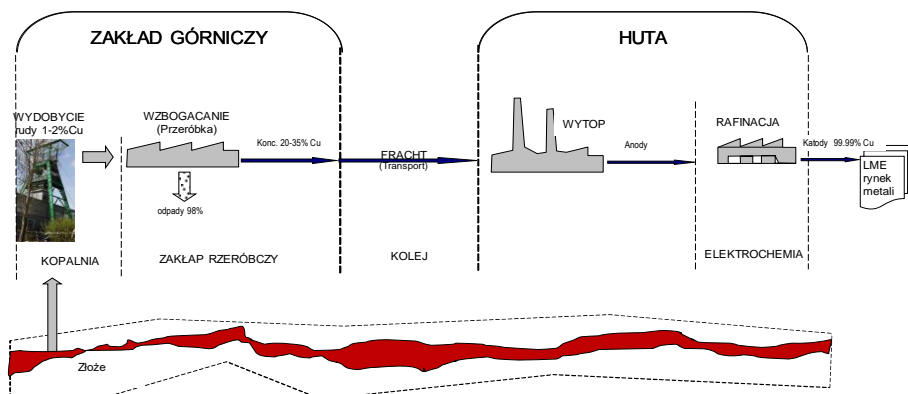
publiczną, prawników, geologów, a nawet samych górników, i dotyczy końcowej fazy produkcji, czyli przeróbki kopaliny. Integralność ta w sensie produkcyjnym jest oczywista, ale w sensie przestrzennym mogą występować różne rozwiązania. Na rysunku 2 przedstawiono technologie przeróbki skał na kruszywa w trzech charakterystycznych stadiach produkcji: urabianie i odstawa, przeróbka wstępna oraz przeróbka wtórna i finalna. Nie można przestrzennie rozdzielić instalacji urabiania skał i ich załadunku na środki transportu (kopalnictwo). Z kolei instalacje wydobywania kopaliny i jej przeróbki mogą być i przestrzennie i czasowo rozdzielone. Mogą, co nie znaczy, że powinny, ponieważ taki rozdział jest nieekonomiczny i nieekologiczny, i w praktyce jest stosowany na zasadach wyjątku.

O tym, że taki rozdział jest rozwiązaniem nieracjonalnym decyduje po części ekonomika produkcji, zwłaszcza koszt transportu wewnętrznego. Najlepiej obrazuje to przykład górnictwa rud metali (rys. 3). Produktem końcowym tego górnictwa nie jest ruda, tylko koncentrat mineralny – surowiec dla przetwórstwa metalurgicznego gdziekolwiek by to przetwórstwo się odbywało. Koncentraty mineralne metali, jako końcowy produkt górnictwa są już przedmiotem obrotu gospodarczego, w tym międzynarodowego.



Rys. 2. Typowa technologia górnictwa skalnego
Fig. 2. Typical structure of the quarry technology

Koncentrat miedziowy jest produktem eksploatacji złoże, czyli wydobywania i przeróbki, tu wzbogacenia kopaliny od zawartości ok. 0,9–1,5% Cu w rudzie do zawartości ok. 24% Cu w koncentracie. Oznacza to, że na wyjściu zakładu przerobczego ok. 95% całości urobku kopalni jest odpadem. Właśnie z tego powodu zakład przerobczy jest lokalizowany jak najbliżej operacji wydobywania, aby nie ponosić kosztów transportu odpadowej masy skalnej na większe odległości.



Rys. 3. Technologia górnictwa i hutnictwa rud
 Fig. 3. Typical structure of the mining technology

W górnictwie skalnym, które dominuje w świecie wolumenem produkcji nad resztą górnictwa, kamień surowy tylko w wyjątkowych przypadkach znajduje nabywcę na rynku surowcowym; produktem końcowym jest tu oczyszczony i posortowany surowiec budowlany. Co do wpływu produkcji na środowisko, to podobnie jest jak w górnictwie rud lub węgla. Wprawdzie ilość odpadów jest tu znacznie mniejsza (ok. 30%) niż ma to miejsce w górnictwie rud, ale skutki lokalizacji systemu przerobczego dla efektywności produkcji są podobne: im dalej od złoża, tym większe są koszty produkcji i tym większe koszty środowiska.



Rys. 4. Przykład bliskiej lokalizacji wydobywania i przeróbki skał
 Fig. 4. The example of the mining and processing operations as integrated system

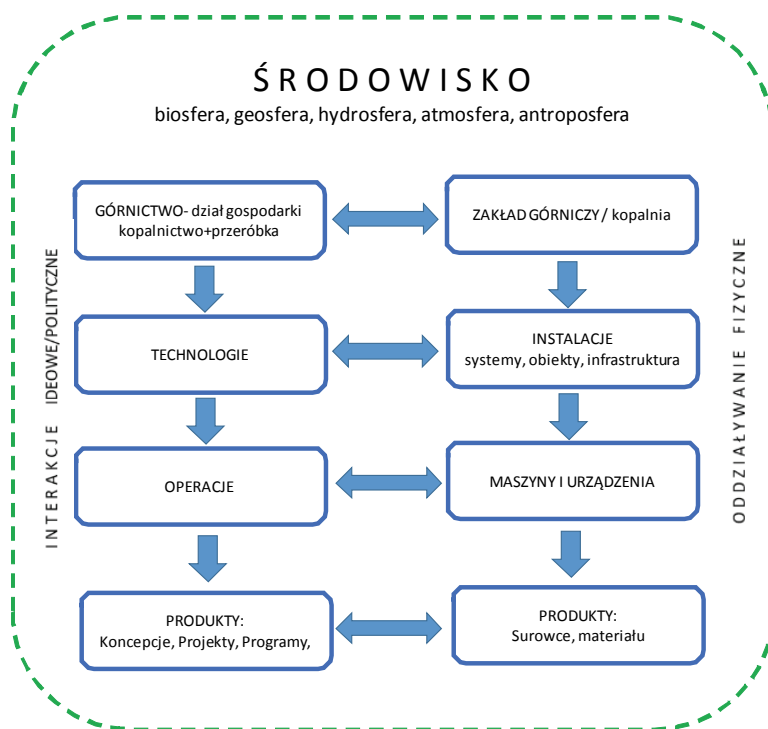
W obu przypadkach ważnym argumentem za bliskim sąsiedztwem operacji wydobywczych i przerobczych jest zmniejszenie obciążenia środowiska odpadami.

Zawracanie odpadów do recyklingu jak najbliżej miejsca ich wytwarzania jest podstawową zasadą gospodarki odpadami. Zasoby pozabilansowe złoża są odpadem rozpoznania geologicznego i pozostają na terenie górnictwa, odpady wydobywcze (np. z robót udostępniających) w sposób naturalny lokowane są w pobliżu na zwałowiskach lub

w wyrobiskach górnictwa. RównieŹ dla odpadów przeróbczych, jeŹli nie ma na nie bywców, najbliŹszym i najlepszym miejscem składowania sã wyrobiska. W przeciwnym razie transport odpadów na wiêksze odległoŹci (poza teren górnictwa), to nieuchronne i szkodliwe obciãżenie przestrzeni publicznej i wzrost kosztów ochrony Źrodowiska.

3. GÓRNICCTWO I JEGO STRUKTURA W UJĘCIU ŹRODOWISKOWYM

Technologie górnictwa pokazane na rys. 1–4 przedstawiajã systemy operacji, które sã realizowane za pomocã odpowiednich instalacji technicznych, a które będziemy nazywali technikã. Pojêcia technologii i techniki sã czêŹto uŹywane zamiennie, co nie wydaje siê byc potrzebne i wlaŹciwe. To nie technologia ma fizyczny wplyw na Źrodowisko, lecz technika, czyli instalacje produkcyjne.



Rys. 5. Górnictwo i Źrodowisko – struktura i znaczenie pojêć
Fig. 5. Mining and environment – the structure and system of meanings

Relacje pojêciowe miêdzy technologiã i technikã a Źrodowiskiem podano na rys. 5. Lewa strona schematu pokazuje strukturê i hierarchiê idei, a prawa ich wyraz materialny. Górnictwo jest działem gospodarki osadzonym w Źrodowisku idei i materii, jako czêŹc

ogólniejszego systemu kultury materialnej człowieka. W świecie idei, interakcje ze środowiskiem wyrażają się w sposobie zarządzania i polityki państwa, które ustanawia zasady, normy lub prawa funkcjonowania tego działu gospodarki w środowisku.

Z kolei fizyczna strona górnictwa to przemysł, którego podstawową jednostką jest zakład górniczy, ze strukturą hierarchiczną jak po prawej stronie rysunku. Oddziaływanie na środowisko następuje w wymiarze fizycznym w granicach wyznaczonych przez prawo, ale kosztem zasobów środowiska jako całości. Wyjęcie z tego systemu instalacji przeróbczych to błąd w systemie prawa ochrony środowiska. A złe prawo jest równie (jeśli nie bardziej) szkodliwe, co zła technologia lub technika eksploatacji złoża.

4. WNIOSKI

Złoże to nagromadzenie pewnego dobra w środowisku w stopniu ponadprzeciętnym. Ma swoje położenie i granice. Eksploatacja złoża jest procesem wydobywania (ekstrakcja) tego dobra w postaci kopaliny i dostosowania jego cech użytkowych do przydatności gospodarczej. Ma swój stan początkowy (procesy rozpoznawcze i udostępniające) oraz końcowy (zaprzestanie eksploatacji i/lub likwidacja działalności).

Eksploatacja złóż nie jest możliwa bez użycia sił przyrody i naruszenia stanu pierwotnego środowiska nie tylko w granicach złoża, ale też i w pewnym od niego oddaleniu, ponieważ nie ma możliwości realizacji wszystkich operacji technologicznych eksploatacji złoża w jego w granicach, a bez nich nie ma możliwości eksploatacji złoża.

Eksploatacja złoża jest jednocześnie produkcją górniczą realizowaną w odpowiednich instalacjach zakładu górniczego, którego produktem jest przetworzona kopalina. Aby ten produkt był zdatny dla tych przemysłów, kopalina musi przejść proces oczyszczania i uszlachetniania. Inaczej mówiąc: eksploatacja złoża = produkcja górnicza = wydobywanie i przeróbka kopaliny.

Integralność operacji wydobywczych i przeróbczych jest uzasadniona w sensie technologicznym, technicznym, ekonomicznym i ochrony środowiska. Zasadą powinno być, że zapisy w koncesji lub przeznaczenia terenu w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego na górniczą eksploatację złoża oznaczają cały cykl produkcyjny: od wydobywania do przeróbki kopaliny, czyli do momentu i miejsca, w którym produkt eksploatacji złoża traci swoje cechy kopaliny.

LITERATURA

- [1] GLAPA W., MALEWSKI J., WILAND M., *Ustalenia w zakresie wydobywania kopaliny i ich przeróbki w dokumentach planowania przestrzennego*, [w:] *Problemy planistyczne – jesień 2021*, Oficyna Wyd. SU ZOIU, Wrocław 2021, vol. 02, 95–108.
- [2] SCHWARZ H., *Prawo geologiczne i górnicze. Komentarz*, t. II, Amadeus, Wrocław 2016.

EXPLOITATION OF DEPOSIT IN THE TECHNOLOGICAL
AND ENVIRONMENTAL CONTEXT

Exploitation of mineral deposits is a technological process performed by appropriate industrial installations. There is a divergence of views on the scope of mining technology and its impact on the environment, what has some influence on the social communication processes regarding the deposit exploitation. The basis of controversy is sometimes the ambiguity of language. The paper, discusses the integrity of this technology beginning from extraction to mineral processing in the economic and environmental context,. The result of this analysis is a system of concepts that can be a certain contribution to the culture of the language of economic practice in mining and raw material processing industry.

Zdzisław NAZIEMIEC¹
Agnieszka SARAMAK²

¹ Kopalnia Granitu Kamienna Góra – Celiny, Sp. z o.o.

² Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami

PRZEMIAŁOWNIA Z MŁYNEM PIONOWYM W KOPALNI WAPIENIA CELINY

W artykule przedstawiono informacje dotyczące przemiałowni wapieni w KW Celiny z młynem rolowo-misowym firmy Loesche. Podano wskaźniki dotyczące wydajności, uziarnienia i energochłonności procesu przemiału i dla porównania dane o efektywności przemiału wapieni w innych młynach pionowych. Mączki wapienne są wykorzystywane jako wypełniacze w różnych gałęziach przemysłu. Przytoczono informacje o uziarnieniu mączek wapiennych zależnie od ich przeznaczenia. Uzyskanie odpowiednich klas ziarnowych wypełniaczy możliwe jest dzięki zastosowaniu klasyfikatorów powietrznych i przesiewaczy do klasyfikacji materiałów drobnodziarnistych. W artykule opisano przesiewacze stosowanych do tego celu.

1. WPROWADZENIE

W Kopalni Wapienia Celiny powstaje nowa przemiałownia kamienia wapiennego. Nadawę do tego procesu stanowi wyselekcjonowany wapień, o dużej czystości, pochodzący z eksploatowanego złoża oraz jego różne drobne frakcje powstające w zakładzie przeróbczym. Z przemiałowni będą uzyskiwane mączki wapienne o różnym uziarnieniu, przeznaczone do budownictwa i rolnictwa. Projekt realizowany jest w ramach zadania: *Opracowanie nowej technologii przetwarzania kruszywa wapiennego w celu uzyskania frakcji o unikatowych właściwościach i przeznaczeniu.*

Charakterystykę surowca wapiennego i produkowanych tu kruszyw wapiennych przedstawiono w artykule [1]. Podstawowym urządzeniem przemiału wapienia jest młyn rolowo-misowy LM 15.2, firmy Loesche. Rozdział zmielonego wapienia na mączki o różnej granulacji realizowany będzie w separatorze powietrznym zainstalowanym wewnątrz młyna i na wielopokładowym przesiewaczu zataczającym.

2. ROZWIĄZANIA TECHNOLOGICZNE KRAJOWYCH PRZEMIAŁOWNI WAPIENI

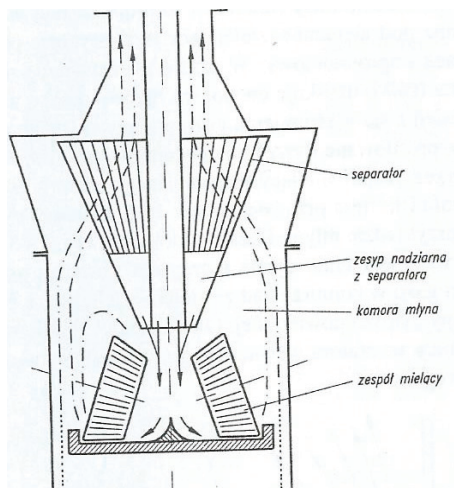
W krajowych przemiałowniach wapieni produkowane są mączki wapienne znajdujące zastosowanie w przemyśle budowlanym i drogowym (materiał wypełniający do zapraw i tynków, mączki do mas mineralno-bitumicznych). Czyste mączki wapienne, szczególnie o niskiej zawartości związków żelaza, kadmu i ołowiu, stosowane są w przemyśle paszowym (kreda pastewna), chemicznym, szklarskim, czy w ochronie środowiska przyrodniczego (np. sorbenty do odsiarczania spalin i oczyszczanie wód). Ważną dziedziną jest zastosowanie wapieni w rolnictwie, jako nawozów mineralnych.

W ostatnich latach wybudowano w kraju kilka dużych przemiałowni wapieni. W zakładach tych zastosowano różne rozwiązania technologiczne podyktowane głównie profilem produkcji (przeznaczeniem uzyskiwanych mączek wapiennych). Obecnie w procesach przemiału wapieni najczęściej stosuje się pionowe młyny rolowo-misowe. Z dobrymi efektami stosowane są też młyny udarowe i prasy walcowe wysokociśnieniowe [2]. Młyny kulowe rurowe spotkać można jeszcze w starszych zakładach przerobczych. Oprócz samych urządzeń przemielających bardzo ważny jest odpowiedni dobór urządzeń kruszących [3] i zastosowanie efektywnych urządzeń do klasyfikacji materiałów bardzo drobno uziarnionych [4]. W przypadku klasyfikacji mączek gruboziarnistych są to przesiewacze: zataczające, przesiewacze z sitami drgającymi i swobodnie drgające. Natomiast w przypadku materiałów drobnoziarnistych będą to klasyfikatory nasypowe z wewnętrznym, zamkniętym obiegiem powietrza i wysokoobrotowe, wirnikowe klasyfikatory przepływowe, o większej sprawności, z otwartym lub częściowo otwartym obiegiem powietrza. W tych ostatnich można uzyskiwać mączki o granicy podziałowej nawet rzędu kilku mikrometrów.

3. PRZEMIAŁOWNIA Z MŁYNEM ROLOWO-MISOWYM FIRMY LOESCHE

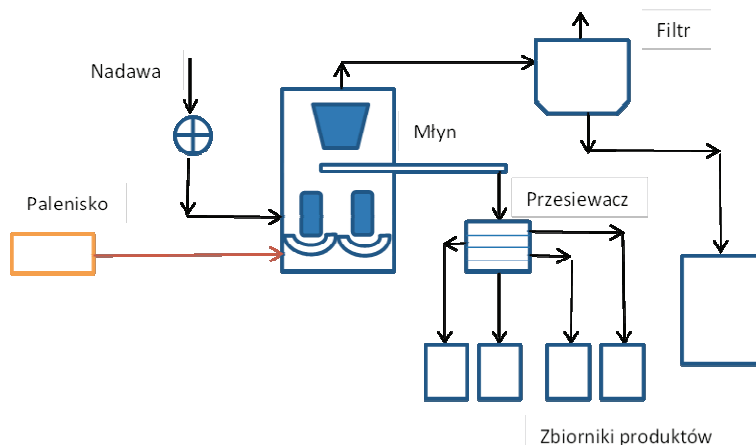
Młyny pionowe średniobieżne charakteryzują się wykorzystaniem energii strumienia gazów do wyniesienia produktu z młyna, sprzężeniem zespołu mielącego z separatorem, stałą wartością prędkości kątowej elementu rozmielającego w stosunku do warstwy przemielanego materiału na całej jej szerokości, a nacisk elementu rozmielającego wspomagany jest układem sprężynowym lub hydraulicznym. Elementem wprawianym w ruch obrotowy jest misa, talerz lub pierścień biegowy. Elementami rozmielającymi są kule, walce lub rolki, toczące się po materiale. Pierwszy młyn tego typu zbudowała firma Loesche. Zbliżone konstrukcje zostały wdrożone m.in. przez firmy: Polysius, Pfeiffer, Peters, Raymond.

Zależnie od poszczególnych rozwiązań i firm, młyny te nazywane są, jako rolowo-misowe, walcowo-talerzowe, rolowo-pierścieniowe, kulowo-pierścieniowe. Na rysunku 1 przedstawiono przepływ mediów procesowych (mielonego materiału, gazu suszącego i mieszaniny pyłowo-powietrznej) w komorze młyna Loesche [5].



Rys. 1. Schemat przepływu i cyrkulacji mediów procesowych w komorze młyna Loesche
 Fig. 1. Flow and circulation scheme of process media in the chamber of Loesche mill

Uproszczony schemat technologiczny przemalowni wapienia w KW Celiny z młynem rolowo-misowym Loesche przedstawiono na rysunku 2. Instalacja przemalowa oprócz urządzeń pokazanych na schemacie wyposażona jest w system transportu mączki (podnośniki kubelkowe, przenośniki ślimakowe, rynny aeracyjne) system odpylania, zbiorniki produktów i system załadunku mączek luzem.

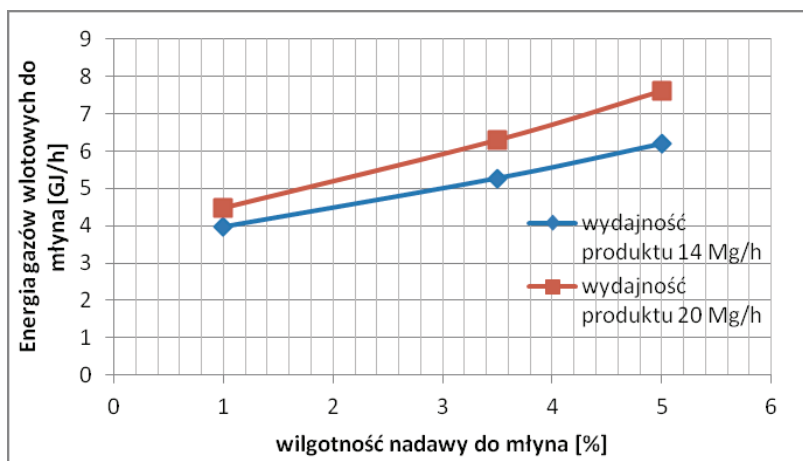


Rys. 2. Uproszczony schemat technologiczny przemalowni wapienia w KW Celiny
 Fig. 2. Simplified technological scheme for limestone grinding in Celiny plant

Typoszereg młynów tej firmy obejmuje jednostki o wydajności do 1000 Mg/h [6]. Młyn rolowo-misowy LM 15.2 może pracować w zakresie wydajności 14–23 Mg/h,

a optymalna wydajność wynosi ok. 17–20 Mg/h. Zużycie energii w procesie zależy od wielu czynników, m.in. mielności wapienia charakteryzowaną indeksem pracy W_i , wilgotności nadawy i produktu końcowego, uziarnienia produktu końcowego, temperatury otoczenia. Na rysunku 3 podano wartości energii gazów wlotowych do młyna, w zależności od wilgotności nadawy i wydajności produktu końcowego, dla warunków:

- wilgotność produktu końcowego – 0,3%,
- uziarnienie przy wydajności 14 Mg/h: pozostałość na sicie 0,08 mm – 2%,
- uziarnienie przy wydajności 20 Mg/h: pozostałość na sicie 0,08 mm – 10%.



Rys. 3. Zapotrzebowanie energii gazów wlotowych do młyna w procesie przemiału, zależnie od wilgotności nadawy i wydajności młyna

Fig. 3. Energy requirement for inlet gases to the mill in the grinding operation, depending the feed moisture and mills effectiveness

Parametry pracy młyna susząco-mielącego ulegają dużym zmianom, zależnie od charakterystyki wapienia nadawy (uziarnienie, wilgotność), temperatury otoczenia i wilgotności powietrza zasysanego do układu, ilości produktu odbieranego z młyna, uziarnienia i wilgotności. W tabeli 1 podano przykładowe dane wybranych parametrów pracy instalacji przemiałowej w KW Celiny przy wydajności produktu 20 Mg/h i wilgotności mączki 0,3%.

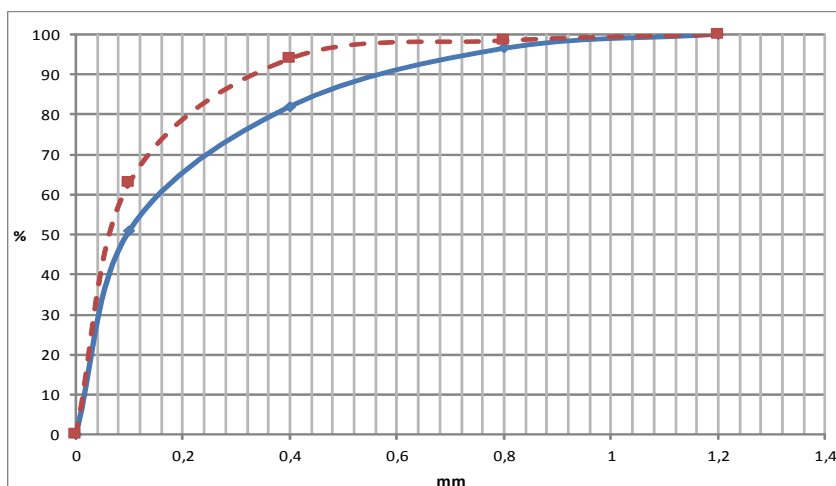
Zużycie energii w procesie przemiału rośnie wraz ze wzrostem wilgotności nadawy i wydajności. Natomiast jednostkowe zużycie energii, czyli przypadające np. na 1 Mg produktu, jest mniejsze dla większych wydajności młyna. Temperatura gorących gazów wprowadzanych do młyna wynosi ok. 450°C, a temperatura gazów wylotowych ok. 100°C. W instalacji susząco-mielącej, część gazów po przejściu przez filtr jest zawracana do obiegu, co powoduje obniżenie zużycia energii w procesie suszenia i transportu materiału wyciąganego z młyna. Ilość energii odzyskiwanej z zawracanymi gazami wynosi około 35%.

Tabela 1. Przykładowe parametry pracy młyna susząco-mielącego LM 15.2
Table 1. Exemplary parameters of operation for the drying-grinding mill LM 15.2

Parametr technologiczny	Wilgotność nadawy 1%, temperatura otoczenia 35°C			Wilgotność nadawy 5%, temperatura otoczenia -25°C		
	ilość medium m ³ /h	temp. medium °C	ilość energii GJ/h	ilość medium m ³ /h	temp. medium °C	ilość energii GJ/h
Powietrze wlotowe do układu	2284	38	0,096	7013	-25	-0,242
Gorące gazy	6532	450	1,454	25 831	450	5,749
Gaz recyrkulacyjny	31 366	104	3,011	19 660	102	1,875
Wlot gazów do młyna	37 996	139	4,465	45 676	245	7,624
Woda odparowana	217	35	-0,333	1323	-5	-2,495
Gaz wylotowy z młyna	39 400	100	5,225	39 400	100	5,264
Recykling gazu z filtra	31 372	106	3,069	19 717	105	1,931
Odprowadzony gaz	8481	106	0,830	19 995	105	1,958

Dla warunków przemiałowni KW Celiny orientacyjne, średnie zużycie ciepła wyniesie: $5,0 \text{ GJ/h} \times 278 = 1390 \text{ kWh/h}$, co przy wydajności 17 Mg/h daje 82 kWh/Mg , natomiast zużycie energii przez sam silnik młyna wyniesie ok. 9 kWh/Mg .

Z przedstawionych danych widać, jak dla całego bilansu energetycznego istotne jest kierowanie do przemiału wapieni o możliwie najmniejszej zawartości wilgoci.



Rys. 4. Zakres uziarnienia mączki wapiennej z młyna misowo-rolowego
Fig. 4. Range of particle size of limestone flour product for a roller and bowl mill

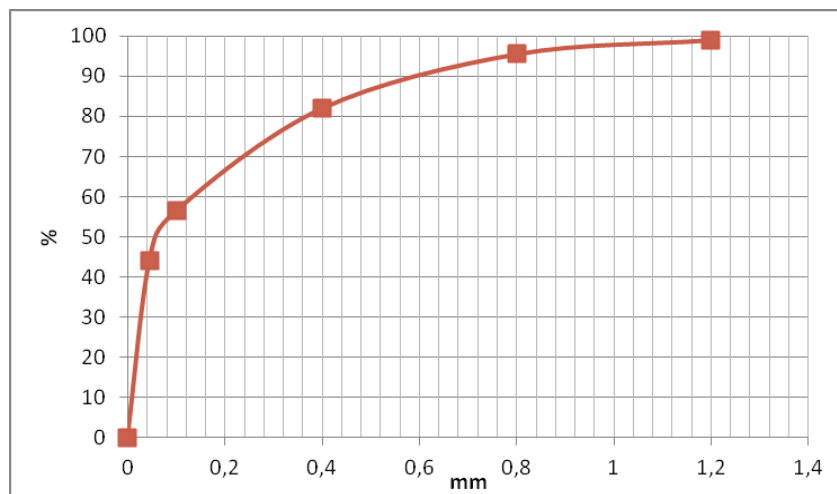
Oprócz wydajności młyna i zużycia energii w procesie suszenia i mielenia, ważny jest skład ziarnowy uzyskiwanego produktu. Uziarnienie to można regulować separatorem wewnętrznym, zależnie od zapotrzebowania na mączkę drobno- czy gruboziarnistą. Orientacyjny skład produktu z młyna misowo-rolowego przedstawiono na rysunku 4. Najkorzystniejszy jest równoczesny odbiór mączki drobno i gruboziarnistej.

Dla porównania, poniżej przedstawiono niektóre dane dotyczące przemiału wapieni w pionowych młynach rolowo-misowych. W tabeli 2 przedstawiono orientacyjne zużycie energii w procesie rozdrabniania, separacji i transportu pneumatycznego mączki wapiennej w młynach rolowo-misowych firmy Pfeiffer [7].

Tabela 2. Wskaźniki eksploatacyjne młynów rolowo-misowych przy mieleniu kamienia wapiennego [7]
Table 2. Operational indices of roller and bowl mills for limestone grinding [7]

Parametr	Węgry	Niemcy	Polska	Czechy
Uziarnienie: pns – pozostałość na sicie [μm]	90	63	45	32
[%]	7	11	17	14%
Wydajność [Mg/h]	47	70	45	20
Zużycie energii przez silnik młyna [kWh/Mg]	14	7	12	10
Zużycie energii przez silnik separatora i wentylator [kWh/Mg]	28	13	24	23

W jednej z przemiałowni zwięzłych wapieni, z pionowym młynem rolowo-misowym, pierwszy stopień klasyfikacji mączki wapiennej miał miejsce we wnętrzu młyna, w klasyfikatorze dynamicznym. Materiał drobny wyciągany był z młyna w strudze gazów



Rys. 5. Skład ziarnowy mączki z młyna misowo-rolowego (wapień $W_i = 13$ kWh/Mg)
Fig. 5. Particle size composition of limestone flour product from roller and bowl mill (limestone $W_i = 13$ kWh/Mg)

suszających, a materiał gruby odbierany przenośnikiem ślimakowym i wyprowadzany poza młyn. Materiał drobny, tj. mączka o uziarnieniu $< 0,1$ mm wytrącana była następnie w filtrach workowych. Natomiast materiał gruby kierowany był do separatora cyrkulacyjnego (nasykowego). W separatorze następował rozdział na frakcję $>1,2$ mm, zawracaną do młyna i frakcję $<1,2$ mm kierowaną na przesiewacz z sitami drgającymi. Pokłady sitowe nachylone pod dużym kątem napędzane były wibratorami umieszczonymi po bokach ram sitowych. Na przesiewaczu z sitami drgającymi następował rozdział materiału na frakcje: 0,1/0,4; 0,4/0,8 i 0,8/1,2 mm. Na rysunku 5 przedstawiono średni skład ziarnowy mączki wapiennej uzyskiwanej z młyna, przy jego wydajności do 80 Mg/h.

W innej przemiałowni wapieni z zainstalowanym pionowym młynem rolowym (wahadłowym), zmielona mączka wapienna wyciągana była pneumatycznie i kierowana do cyklonu. Materiał wytrącony w cyklonie spadał na pokład przesiewacza zataczającego, gdzie następował jego rozdział na produkt 0/0,8 mm i nadziarno $>0,8$ mm zawracane do przemiału w młynie. Klasyfikacja prowadzona była na przesiewaczu zataczającym o wymiarach pokładu sitowego $1,2 \times 4$ m. Najdrobniejsze pyły przechodzące z gazami przez cyklon zawracane były częściowo do obiegu suszącego młyna, a częściowo kierowane z gazami do odpylania w filtrze workowym. W instalacji przemiałowej, po procesie klasyfikacji w separatorze powietrznym otrzymywana była mączka drobna 0/0,05 mm i gruba 0,05/1 mm. Podczas prób przeprowadzonych na instalacji uzyskano wyniki, wyszczególnione w tabeli 3.

Tabela 3. Udział produktu drobnego i grubego w produkcie z młyna wahadłowego
Table 3. Yield of fine and coarse products from pendulum mill

Pomiar	Udział mączki wapiennej gruboziarnistej 0,05–1 mm [%]	Udział mączki wapiennej drobnoziarnistej 0–0,05 mm [%]	Łączna wydajność młyna [Mg/h]
1	40	60	38,0
2	53,5	46,5	50,5

4. KLASYFIKACJA MĄCZKI WAPIENNEJ

Mączki wapienne stosowane są, jako wypełniacze czy sorbenty w wielu dziedzinach przemysłu. Oprócz właściwości chemicznych (np. wysoka zawartość CaCO_3 , niska zawartość związków żelaza, kadmu, ołowiu), ważne jest uziarnienie. Poniżej przykłady stosowanego uziarnienia tych mączek:

Przemysł tworzyw sztucznych

Uziarnienie wypełniaczy: $d_{98} = 5\div 40$ μm ; $d_{50} = 2\div 5$ μm . Oprócz bardzo drobnych wypełniaczy stosowane są również wypełniacze o grubszym uziarnieniu np.: do produkcji rur PCV wypełniacz $d_{98} = 100$ μm , a do wykładzin podłogowych wypełniacze $d_{98} = 40\div 100$ μm .

Przemysł gumowy

- Galanteria gumowa – wypełniacze o uziarnieniu $d_{98} = 8\div 40 \mu\text{m}$,
- Guma $d_{98} = 15\div 63 \mu\text{m}$.

Przemysł kablowy

Najczęściej uziarnienie zamyka się w przedziale od kilku do 20 μm .

- Przykładowo ziarna: $<10 \mu\text{m} - 99,9\%$, $<5 \mu\text{m} - 96,0\%$, $<3,5 \mu\text{m} - 67,0\%$, $<2 \mu\text{m} - 50,0\%$, $<1 \mu\text{m} - 30,0\%$.

Krakowski „Kabel” stosował mączki wapienne o uziarnieniu $d_{98} = 20 \mu\text{m}$,

- pns (pozostałość na sicie) 40 $\mu\text{m} - \text{max } 0,2\%$,
- pns 20 $\mu\text{m} - \text{max } 2\%$,
- pns 10 $\mu\text{m} - \text{max } 10\%$.

Przemysł farb i lakierów

Do farb i lakierów stosowane są wypełniacze:

- mączka dolomitowa $d_{50} = 2\div 4 \mu\text{m}$,
- kreda strączana $d_{95} = 10 \mu\text{m}$ (zakres uziarnienia $0\div 20 \mu\text{m}$),
- mączki wapienne $d_{50} = 10 \mu\text{m}$ (zakres uziarnienia $0\div 63 \mu\text{m}$).

Przemysł papierniczy

Najczęściej stosowana jest kreda strączana oraz mączki wapienne o parametrach:

- CaCO_3 minimum 98%,
- Uziarnienie d_{98} od 2 μm do 45 μm .

Masy mineralno-bitumiczne

- pns 0,18 mm – 0%,
- pns 0,15 mm – max 5%,
- pns 0,075 mm – max 20%.

Kreda pastewna

- pns 0,3 mm – max 50%,
- pns 2 mm – max 1%.

Mączki szklarskie

- mączka gruboziarnista $0\div 2 \text{ mm}$,
- mączka drobnoziarnista $0\div 0,15 \text{ mm}$.

Aby uzyskać mączki wapienne o takich wymaganiach co do składu ziarnowego, potrzeba stosować klasyfikatory o bardzo wysokiej zdolności rozdzielczej. Są to klasyfikatory powietrzne (przepływowe lub nasypowe), a w przypadku mączek gruboziarnistych także specjalne przesiewacze. Zależnie od rodzaju przesiewanego materiału i wymagań stawianych operacji przesiewania, w procesach klasyfikacji znajdują zastosowanie różne rodzaje przesiewaczy, wśród których można wyróżnić [4]: rotacyjne (zataczające), z sitem drgającym, swobodnie drgające, przepływowe.

Przesiewacze rotacyjne (zataczające) charakteryzują się ruchem zataczającym sit w płaszczyźnie poziomej, nachylonej. Jedną z odmian tego typu są przesiewacze o ruchu „pijanej beczki”; o typowym ruchu nieliniowym, złożonym, właściwym dla przesiewania materiałów drobno uziarnionych. Mogą to być także przesiewacze o ruchu kołowym lub korbowodowym. Z tej grupy maszyn najbardziej rozpowszechnione są typowe przesiewacze zataczające posiadające rzeszota zbudowane w postaci kołowych kasetonów, umieszczonych jeden nad drugim. Nadawa podawana jest centralnie nad sito i przechodzi przez sita położone kolejno pod sobą. Przesiewacze te posiadają duże wydajności, ale są niekiedy dość uciążliwe w eksploatacji.

Przy klasyfikacji mączek wapiennych mamy do czynienia z siłami elektrostatycznymi znacznie utrudniającymi proces przesiewania. Sposobem na ograniczenie tych niekorzystnych zjawisk występujących przy przesiewaniu wapieni, jest wprowadzenie do ruchu rzeszota wymuszającej siły pionowej, która nie występuje w typowych przesiewaczach zataczających lub zastosowanie środków powierzchniowo czynnych. W przemiałowni KW Celiny zastosowano 4-pokładowy przesiewacz zataczający.

Przesiewacze z sitami drgającymi. Cechą charakterystyczną tych przesiewaczy jest ruch samych sit, a nie całego rzeszota. Podstawowe rozwiązania napędu sita:

- z pojedynczymi, niezależnymi wibratorami elektromagnetycznymi,
- ramą wibracyjną i dużym wibratorem elektromagnetycznym lub rotacyjnym.

Spotykane są również inne rozwiązania, np. przesiewacz wibracyjny z sitem drgającym: połączenie przesiewacza wibracyjnego i z sitem drgającym. Do napędu służą wibratory elektromagnetyczne lub rotacyjne.

Przesiewacze swobodnie drgające. To najnowsza grupa maszyn przesiewających. Prostopadłościennie rzeszota dzięki swobodnemu zawieszeniu posiada wiele stopni swobody. Rzeszota napędzane jest kombinacjami elektrowibratorów i wibratorów elektromagnetycznych. Wszystkie przesiewacze swobodnie drgające charakteryzują się złożonym nieliniowym ruchem sit. Jest to ruch przestrzenny. Maszyny te są proste w budowie, a zarazem możliwe jest uzyskiwanie dużych wskaźników podrzutu.

W przypadku płaskich nachylonych pokładów sitowych, napęd tych przesiewaczy najczęściej składa się z 3 grup wibratorów, mianowicie grupy środkowej i dwóch grup skrajnych. Grupa środkowa wibratorów pracuje nieprzerwanie i zapewnia wzdłużny ruch materiału po sicie. Natomiast grupy skrajne pracują okresowo przemiennie i powodują poprzeczny ruch materiału z podrzutem. W rezultacie nałożenia się ruchów składowych uzyskuje się wypadkowy ruch zygzakowaty, co powoduje intensywną segregację ziaren w warstwie i wydłużenie drogi przebytej przez warstwę ziarnistego materiału po sicie. Pamiętać należy tutaj, że istotną cechą mechanizmu przesiewania jest nakładanie się na siebie trzech zjawisk zachodzących równocześnie: segregacji i mieszania warstwy oraz przepływu klasy dolnej przez sito.

Z doświadczeń wiadomo, że decydującym o przebiegu przesiewania jest opór warstwy, rozumiany, jako zdolność do rozwarstwiania się ziaren dużych i małych na sicie.

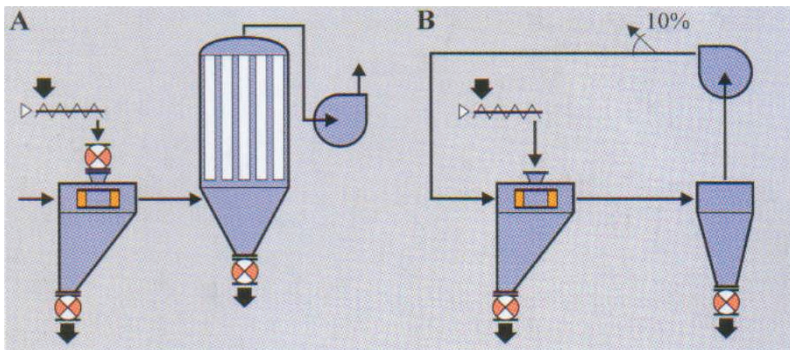
Intensywność rozwarstwiania zależy właśnie od segregacji i mieszania. Proces ten może być wspomagany poprzez zastosowanie środków powierzchniowo czynnych.

Do klasyfikacji materiałów drobno i bardzo drobno uziarnionych stosuje się różnego rodzaju klasyfikatory powietrzne, wśród których ogólnie można wydzielić klasyfikatory: spiralne, pionowe o otwartym obiegu powietrza (klasyfikatory przepływowe i pionowe o zamkniętym obiegu powietrza (klasyfikatory nasypowe).

W ocenie pracy klasyfikatorów powietrznych bardzo ważna jest uzyskiwana ostrość rozdziału, opisywana krzywą rozdziału i parametry jak wielkość rozproszenia prawdopodobnego E_p i imperfekcja I [8]. Klasyfikatory przepływowe charakteryzują się większą ostrością rozdziału niż np. klasyfikatory nasypowe.

W przemiałowni KW Celiny, w młynie Loescha zainstalowany jest wewnętrzny klasyfikator przepływowy, z którego odbierana jest mączka gruboziarnista, kierowana do klasyfikacji na przesiewaczu. Natomiast do klasyfikacji wyciąganej z młyna mączki drobnoziarnistej przewidziany jest separator przepływowy o otwartym obiegu powietrza.

Separatory przepływowe o częściowo zamkniętym obiegu powietrza (np. Stratoplex) charakteryzują się mniejszą ostrością rozdziału od separatorów z otwartym obiegiem powietrza (np. Turboplex), ale większą niż separatory nasypowe (np. Ventoplex). Wymagają one niewielkich filtrów, stąd ich koszt jest niższy niż separatorów Turboplex. Stosowane są w instalacjach przemiałowych o dużej wydajności i wymagających średniej ostrości rozdziału klas ziarnowych. Na rysunku 6 przedstawiono schemat instalacji z separatorem pracującym w otwartym obiegu powietrza (A) i w częściowo zamkniętym obiegu powietrza (B).



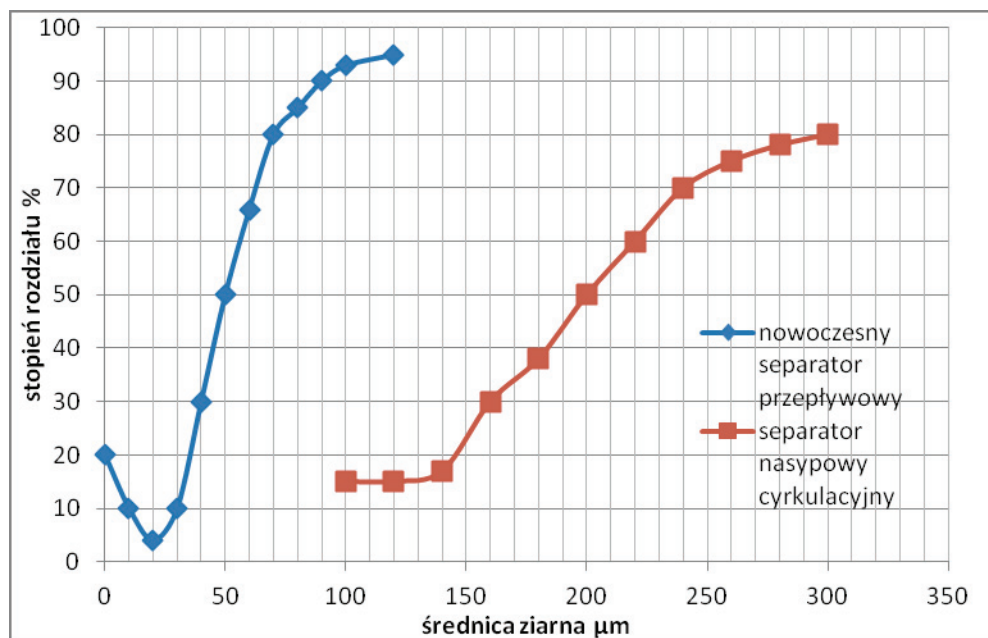
Rys. 6. Instalacja z separatorem pracującym w obiegu z otwartym (A) i w częściowo zamkniętym (B) obiegu powietrza [9]

Fig. 6. Installation with a classifier operating in open (A) and close (B) air circulation [9]

Klasyfikatory powietrzne nie dają jednak tak dużej ostrości rozdziału jak przesiewacze. W praktyce zadowalające wyniki w zakresie stosowania urządzeń do klasyfi-

kacji materiałów drobnoziarnistych uzyskuje się w instalacjach, w których pracują zarówno klasyfikatory powietrzne, jak i przesiewacze.

Na rysunku 7 przedstawiono krzywe rozdzielczości, jakie uzyskano przy separacji mączek wapiennych w różnych separatorach powietrznych.



Rys. 7. Rzeczywiste krzywe rozdzielczości separatorów pracujących przy klasyfikacji mączek wapiennych o różnej granicy podziałowej

Fig. 7. Real separation curves for classifiers treating limestone flours with various split points

Separator przepływowy charakteryzowany krzywą rozdziału na rysunku 7, rozdzielał mączkę na produkt drobny i gruby, przy wielkości ziarna podziałowego d_p równej $50 \mu\text{m}$. Natomiast separator cyrkulacyjny pracował przy ziarnie podziałowym d_p równym $200 \mu\text{m}$. Generalnie separatory przepływowe charakteryzują się możliwością uzyskanie mniejszego ziarna podziałowego. W omawianym przypadku istotne jest natomiast porównanie skuteczności rozdziału. Z nachylenia krzywych rozdziału widać, że separator przepływowy charakteryzował się większą zdolnością rozdzielczą niż separator cyrkulacyjny. Ponadto na krzywej opisującej rozdział mączki drobniejszej, przy granicy podziałowej $50 \mu\text{m}$, widoczna jest wartość tzw. współczynnika by-passu, który wynosił 20%. Jest to wielkość, która określa, jaka część nadawy do separatora uniknęła separacji i cząstki najdrobniejsze przedostały się do niewłaściwego produktu, czyli do nadziarna.

5. PODSUMOWANIE

W artykule podano podstawowe informacje dotyczące parametrów pracy młyna misowo-rolowego firmy Loesche w KW Celiny. Dla porównań przedstawiono też niektóre dane dotyczące parametrów technologicznych osiąganych w podobnych instalacjach. W młynach rolowo-misowych następuje nie tylko przemiał surowca, ale również intensywne jego suszenie. Zainstalowanie separatora dynamicznego wewnątrz młyna umożliwi regulację uziarnienia otrzymywanych produktów. Końcowa klasyfikacja produktów odbieranych z młyna prowadzona jest na przesiewaczach lub w klasyfikatorach powietrznych.

Na efekty przemiału wpływa bardzo wiele czynników. Jednym z ważniejszych jest wilgotność nadawy kierowanej do przemiału. Zużycie energii w procesie suszenia może przewyższać zapotrzebowanie energii na sam proces rozdrabniania. Zastosowanie młynów susząco-mielących poprawia zdecydowanie efektywność suszenia, gdyż proces ten prowadzony jest na drobno zmielonym materiale (większa powierzchnia odparowania wody).

Do sterowania procesem przemiału stosowane są przemysłowe oprogramowania służące wizualizacji jak i kontroli całego procesu. Opomiarowanie linii produkcyjnej pozwala na dokładną diagnostykę pracy maszyn. Szczególnie dotyczy to silników młyna i wentylatora wyciągowego, ale również pozostałych urządzeń. Całość umożliwia podejmowanie właściwych decyzji dotyczących efektywności produkcji, jak i usuwania stanów awaryjnych.

Artykuł jest wynikiem projektu nr RPSW.01.02.00-26-0042/18.

LITERATURA

- [1] NAZIEMIEC Z., SARAMAK A., 2022, *Produkcja i zastosowanie kruszyw wapiennych na przykładzie Kopalni Wapienia Celiny*, [w:] W. Głapa (red.), *Kruszywa Mineralne*, t. 5, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2022, 145–156.
- [2] SARAMAK D., *Analiza efektywności pracy technologicznych układów rozdrabniania surowców z wysokociśnieniowymi prasami walcowymi*, *Górnictwo i Geologia*, 2011, t. 6, z. 2, 189–200.
- [3] GAWENDA T., *Zasady doboru kruszarek oraz układów technologicznych w produkcji kruszyw*. Seria Rozprawy Monografie, Wyd. AGH, Kraków 2015.
- [4] WODZIŃSKI P., *Przesiewanie drobnoziarnowe i maszyny przesiewające*, *Inżynieria Mineralna*, 2001, nr 1 (3), 41–57.
- [5] NOWAK E., PŁOCICA M., STANOCH W., SZELIGA A., *Procesy przemielania i młyny w przemyśle cementowym*, ICiMB nr 26, t. 1, Wyd. Instytutu Śląskiego, Opole 1999,
- [6] SIDOR J., KLICH A., *Współczesne maszyny do rozdrabniania – kruszarki i młyny*, ITG KOMAG, Gliwice 2018.
- [7] MATEUSZUK S., *Wybrane zagadnienia mielenia materiałów w pionowych młynach rolkowo-misowych*, *Prace ICiMB*, Opole 2012, 113–124.

- [8] NAZIEMIEC Z., *Przeróbka i badania kruszyw mineralnych*, Rozprawy Monografie, nr 356, Wyd. AGH, Kraków 2019.
- [9] Alpine Aktiengesellschaft, Prospekt 37/1d, Augsburg.

VERTICAL GRINDING PROCESS APPLIED IN KW CELINY PLANT

The article concerns the issues of limestone grinding in KW Celiny plant. The basic operational device is a Loesche roll-and-bowl mill. Indices concerning process efficiency, particle size and energy consumption of the milling process were presented. For comparison, indices concerning the effectiveness of limestone grinding in other vertical mills have been given. Lime powders are used as fillers in various industries. Information on particle size distribution of lime powders, depending on their planned application, has been given as well. Obtaining an appropriate particle size classes of fillers is possible thanks to the use of air classifiers and screens in operations of classification of fine-grained materials. The article discusses various types of screens used for this purpose, too.

Dorota NIEDŹWIEDŹ
Marcin PABISEK
Grzegorz GROCH

KGHM Metraco S.A.

KRUSZYWA SZTUCZNE ALTERNATYWĄ W OCHRONIE ZASOBÓW NATURALNYCH

Kruszywa z odpadowych żużli pomiedziowych znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach budownictwa, jednak podstawowym obszarem jest budownictwo infrastrukturalne, a w szczególności drogowe. W artykule przedstawiono charakterystykę żużli powstających w procesach przeróbczych koncentratów miedzi w hutach w Głogowie i Legnicy. Opisano technologię produkcji kruszyw i mieszanek kruszywowych. Zestawiono parametry przykładowej frakcji oraz dokonano porównania z wybranymi kruszywami naturalnymi. Zaprezentowano główne kierunki ich wykorzystania oraz wielkości produkcji.

1. WSTĘP

KGHM Polska Miedź S.A. jest wiodącym producentem miedzi i srebra na świecie. Uzyskanie produktu końcowego w postaci czystej miedzi, poprzedzone jest szeregiem skomplikowanych i wymagających procesów technologicznych. Zaczynając od podziemnej eksploatacji, poprzez proces wzbogacania rud aż do ostatniego procesu wytopu, zachodzi potrzeba przemieszczania i ponoszenia znacznych nakładów energetycznych na pierwotny surowiec. Skutkuje to również powstawaniem na poszczególnych etapach produkcji znacznej ilości różnorodnych odpadów. Jednym z nich są żużle pomiedziowe z hut w Legnicy i Głogowie. Żużle te posiadają właściwości umożliwiające wytwarzanie z nich kruszyw [1–3]. Od wielu lat produkcją kruszyw z tych odpadów i ich zagospodarowaniem zajmuje się spółka produkcyjno-handlowa KGHM Metraco S.A.

W Hucie Miedzi „Legnica” produktem ubocznym, powstającym w procesie wytopu jest żużel szybowy. Wytwarzany jest z przetopu zbrykietowanego koncentratu miedzi. Żużel o temperaturze ok. 1200°C, transportowany jest tzw. kadziowozem (rys. 1) na jedną z dwóch hałd eksploatacyjnych.



Rys. 1. Wylewanie żużla

Fig. 1. Slag pouring

W zależności od intensywności wylewania, pełne zapełnienie hałdy trwa od czterech do sześciu miesięcy. Zabezpieczenie ciągłości pracy podczas remontu torowisk lub skarpowania zapewnia hałda rezerwowa. Po osiągnięciu odpowiednich parametrów żużla możliwe jest pobranie materiału z hałdy ładowarką lub koparką i jego załadunek na środki transportu wewnętrznego.

W Hucie Miedzi „Głogów I” z pieca elektrycznego otrzymuje się żużel lany; pod względem parametrów podobny do żużla szybowego, powstający według nowej, zastosowanej w 2016 r. technologii wytopu. Obiekt składa się z trzech kompleksów, tzw. dołów żużlowych, w miejscu dawnej hałdy. W skład jednego kompleksu wchodzi cztery doły na żużel płynny oraz dwa na tzw. skrzepy (babki), powstające na ściankach kadzi w wyniku stygnięcia gorącego żużla w trakcie transportu. Podczas budowy tego kompleksu, pozyskano z hałdy ok. 1 mln ton surowca do produkcji kruszyw.

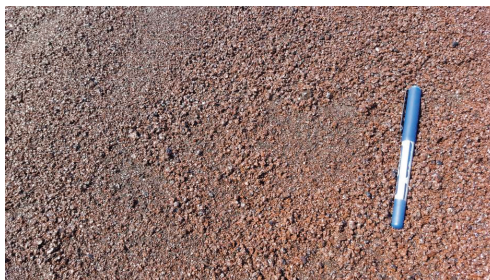
Obecnie żużel z pieca transportowany jest zestawem 7 kadziowozów (rys. 2). Wylewany jest do jednego kompleksu; w tym czasie w drugim trwa studzenie żużla, a z trzeciego pobiera się surowiec do operacji przerobczych. Wylewanie realizowane jest sekwencyjnie, trwa kilkanaście minut; ok. 200 ton z jednego zestawu. Pozwala to na wytworzenie warstwy żużla o miąższości ok. 15 cm. Żużel stygnie od temperatury ok. 1250°C do ok. 600°C przez ok. 8 godzin. W trakcie schładzania, prowadzone jest intensywne polewanie wodą, co ma istotne znaczenie dla uzyskania właściwych parametrów fizyko-chemicznych oraz skraca czas od momentu wylania do pobierania urobku. Zapełnienie dołu następuje po ok. 10–12 cyklach wylewania.



Rys. 2. Wylewanie żużla
Fig. 2. Slag pouring

Wypełnienie kompleksu dołów i ich eksploatacja trwa około 14 dni. Ten sposób składowania pozwala na optymalizację procesu, polegającego na odspojeniu i załadunku żużla koparką podsiębierną na samochody technologiczne.

W Hucie Miedzi II w Głogowie odpadem z przetopu koncentratu jest żużel granulowany. W wyniku gwałtownego chłodzenia gorącego żużla strumieniem wody, powstaje materiał odpowiadający kruszywom frakcji 0/5 mm (rys. 3).



Rys. 3. Żużel granulowany
Fig. 3. Granulated slag

Z miejsca schłodzenia transportowany jest na składowisko przenośnikiem taśmowym. Roczna wielkość produkcji wynosi ok. 400 tys. ton. Część tego materiału wykorzystywana jest do produkcji materiałów ściernych. Aktualnie trwają prace badawcze związane z nowymi zastosowaniami.

2. PRODUKCJA KRUSZYW W ZAKŁADZIE W LEGNICY

Produkcja kruszywa odbywa się na kilku zespołach maszyn. Podstawowy etapem jest główna linia produkcyjna, której zadaniem jest uzyskanie kruszyw i mieszanek

o granulacji 0–31,5 mm, 0–63 mm lub innej frakcji, stosownie do wymagań odbiorców. Linię układu technologicznego dodatkowo wyposażono w zespół urządzeń, pozwalający na doziarnianie produkowanych kruszyw lub ich separację.



Rys. 4. Załadunek kruszywa
Fig. 4. Aggregate loading

Urobiony surowiec (półprodukt) odkładany jest w buforze operacyjnym skąd podawany jest koparką lub ładowarką na kruszarkę szczękową, gdzie następuje odsiew i wstępne kruszenie do uziarnienia 0/150 mm. Tak przekruszony wstępnie produkt transportowany jest przenośnikami do kosza buforowego z regulacją nadawy i kruszarki stożkowej celem kruszenia docelowego. Uzyskane na tym etapie kruszywo o uziarnieniu ciągłym, trafia na przenośnik taśmowy, a następnie zakreśny, składujący wyrób gotowy w magazynie produkcyjnym. Docelową frakcję uzyskuje się poprzez regulację szczeliny w kruszarce stożkowej, a z kosza zasypowego dozowany jest ponadto materiał doziarniający.

Po etapie z kruszarką stożkową nadawa kierowana jest przenośnikami na przesiewacz wibracyjny, gdzie następuje separacja materiału na dwie frakcje docelowe, które jako wyroby gotowe podawane są przenośnikami do punktów magazynowania. Zestaw ten umożliwia produkcję wyrobów o niestandardowych frakcjach, które znajdują zastosowanie w inwestycjach innych niż drogowe. Spedycja odbywa się transportem samochodowym i kolejowym.

3. PRODUKCJA W ZAKŁADZIE W GŁOGOWIE

Wstępnym etapem procesu produkcji kruszyw jest przeróbka materiału w stacjonarnym układzie technologicznym. Jego zadanie polega na przygotowaniu półproduktu o uziarnieniu 0–165 mm. Materiał gromadzony jest w stalowym zasobniku nad podawaczem wibracyjnym z rusztem rozbieżnym. Przesiew z rusztu kierowany jest do kruszarki szczękowej. W celu eliminowania nadgabarytów, nad kruszarką zainstalowano

młot hydrauliczny. Przekruszony materiał odprowadzany jest na tzw. „bufor” o pojemności ok. 10 000 ton, gwarantujący ciągłość procesu. Maksymalna wydajność wężła wstępnego wynosi ok. 350 ton/h. Przenośnik wyposażony jest w separator magnetyczny dla oddzielania od surowca elementów ferromagnetycznych.

Kolejnym etapem procesu produkcji kruszyw (II stopień kruszenia i sortowania) jest przeróbka materiału w węźle grysowym i mieszkankowym, m.in. z zadaniem użyskania:

- kruszyw o uziarnieniu ciągłym, np. 0–31,5 mm, 0–63 mm,
- grysów oraz kruszyw drobnych, np. 0–5 mm,
- kruszyw grubych, np. 5–8 mm, 8–11 mm, 11–16 mm, 16–22 mm,
- materiałów o innym uziarnieniu – zgodnie z potrzebami odbiorców.

Układ składa się z tunelu stalowego z rynnami podającymi, zlokalizowanego pod zasobnikiem półproduktu. Tunel jest przeznaczony do odbioru kruszywa ze stożka nasypowego poprzez odpowiednio ukształtowany wysyp z zasuwą oraz rynnami podającymi na przenośnik z zainstalowaną wagą i detektorem metalu.

W II stopniu kruszenia biorą udział dwie kruszarki stożkowe, przesypy, podawacze i zasobnik oraz przenośnik rewersyjny podający nadawę na zestaw sortujący lub na stożek wyrobu gotowego mieszanki. Zestaw sortujący obejmuje dwa zespoły przesiewaczy.

Przykładowa konfiguracja zespołu przesiewaczy składa się z zestawu sortującego, w skład którego wchodzi przesiewacz, na którym materiał zostaje rozsiany na frakcje 0–11 mm (do dalszego przesiewu); 11–16 mm i 16–22 mm (wyroby gotowe) oraz frakcję powyżej 22 mm (naziarno). Naziarno skierowane jest do ponownego skruszenia.

Transport każdej frakcji do boksów odbywa się przenośnikami taśmowymi. Nominalna pojemność stożków wyrobu gotowego wynosi 1 500 ton dla frakcji: 5–8 mm, 8–11 mm, 11–16 mm, 16–22 mm, 0–31,5 mm oraz 3 500–4 000 ton dla frakcji 0–5 mm podawanej przenośnikiem zakreśnym. Następnie środkami transportu wewnętrznego są przemieszczane do magazynu wyrobów gotowych.



Rys. 5. Produkcja kruszyw
Fig. 5. Aggregate production

Ostatnim (opcjonalnym) etapem procesu jest doziarnianie kruszyw o uziarnieniu ciągłym. Materiałem doziarniającym jest żużel granulowany. Całość przyjmowanych żużli jest przerabiana na produkty gotowe – nie powstają żadne odpady. Spedycja wyrobów gotowych odbywa się drogą kolejową i samochodową.

4. JAKOŚĆ KRUSZYW

Proces dopuszczenia kruszyw pomiedziowych do obrotu rynkowego, poprzedzony jest koniecznością spełnienia szeregu wymagań. Przed kruszywami pomiedziowymi, które zgodnie z nomenklaturą zaliczane są do kruszyw sztucznych, stawiane są dodatkowe wymagania, pomimo że pod względem parametrów są bardzo zbliżone do kruszyw naturalnych łamanych. Żużel pomiedziowy przetwarzany na liniach produkcyjnych KGHM Metraco S.A. charakteryzuje się stabilnymi parametrami jakościowymi. Surowiec okresowo poddawany jest kontroli przez wykwalifikowany personel lub zlecane są jego badania do zewnętrznego laboratorium, na potrzeby sporządzenia Raportu Bezpieczeństwa Chemicznego REACH [4]. Ponadto wytworzone kruszywa z dostarczonych żużli podlegają badaniom na zawartość substancji szkodliwych, zgodnie z wytycznymi obowiązujących norm.

Stosowany system nadzoru nad technologią i jakością zgodnie z Zakładową Kontrolą Produkcji oraz z odpowiednimi przepisami prawa obejmuje: kwalifikację surowca do przeróbki, ocenę stanu technicznego maszyn stosowanych w linii technologicznej do przeróbki oraz badania wyrobu. Na podstawie uzyskanych wyników zrealizowanych badań, przeprowadzana jest analiza uzyskanych właściwości oraz zgodnie z aktualnymi wytycznymi prawnymi sporządzane są na tej podstawie dokumenty niezbędne do wprowadzenia wyrobu do obrotu: deklaracji właściwości użytkowych (DWU) oraz oznakowania CE zgodne z rozporządzeniem [5], ustanawiającym zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych. Produkowane kruszywa jako produkt handlowy spełniają wymagania techniczne i normatywne dla produktów o określonej granulacji i zastosowania wg norm [6–8].

Największą zaletą kruszyw pomiedziowych jest stabilność ich parametrów fizyko-chemicznych. Kruszywa te charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami, w szczególności: wysoką mrozoodpornością, niską nasiąkliwością, odpornością na rozdrabnianie i ścieranie; dodatkowo nie występują w nich żadne zanieczyszczenia organiczne. W głównej mierze wpływ na stabilność parametrów ma niezmiennosc procesu wytopu miedzi wraz z technologią powstawania, wylewania i studzenia żużla.

Badania przeprowadzane w okresach funkcjonowania pieców szybowych i obecnie elektrycznych, pokazują bardzo zbliżone parametry jakościowe (tab. 1–3).

Tabela 1. Zestawienie przykładowych parametrów kruszywa frakcji 8–11,2 mm w z lat 2017–2022
Table 1. List of sample aggregate parameters of fraction 8–11,2 mm in 2017–2022

Frakcja 8–11 mm	2017	2 018	2019	2020	2021	2022	
Wymiar ziaren d/D	8/11						
Odporność na rozdrabnianie, LA	22	19	23	21	19	19	
Odporność na ścieranie, M _{DE}	6	4	5	5,1	5,5	5	
Odporność na szok termiczny	I %	0,2	*	1,6	0,9	*	0,5
	V _{LA}	3,4	*	0,1	1	*	2
Odporność na polerowanie PSV	48	*	50	*	45	47	
Ścieralność powierzchniowa AAV	3,0	*	4,0	*	3,5	2,9	
Mrozoodporność, F %	0,3	*	0,1	*	0,2	*	
Nasiąkliwość, %	0,9	*	0,5	0,5	0,5	0,6	

* – brak wyniku.

Tabela 2. Zestawienie przykładowych parametrów kruszywa frakcji 0–31,5 mm z lat 2017–2022
Table 2. List of sample aggregate parameters of fraction 0–31,5 mm in 2017–2022

Frakcja 0–31,5 mm	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Wymiar ziaren d/D	0/31,5					
Wskaźnik piaskowy, SE	92	79	87	88	92	89
Odporność na rozdrabnianie, LA	22	19	23	23	19	18
Odporność na ścieranie, M _{DE}	6	4	5	6	5,5	5
Nasiąkliwość, %	0,90	0,30	0,30	0,50	0,30	0,40
Błękit metylenowy, MBF	0,3	0,25	0,2	0,3	0,3	0,5

Dla porównania w tab. 3 przedstawiono wyniki kruszywa 8–11 mm powstające z żużli pomiedziowych z pieców szybowych w latach 2012–2016.

Tabela 3. Zestawienie przykładowych parametrów kruszywa frakcji 8–11,2 mm z lat 2012–2016
Table 3. List of sample aggregate parameters of fraction 8–11,2 mm in 2012–2016

Frakcja 8–11 mm	2012	2013	2014	2015	2016	
Wymiar ziarn d/D	8/11,2					
Odporność na rozdrabnianie, LA	14	16	21	23	24	
Odporność na ścieranie, M _{DE}	*	3	5	10	6	
Odporność na szok termiczny	I %	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2
	V _{LA}	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00
Odporność na polerowanie PSV	49	51	52	51	57	
Ścieralność powierzchniowa AAV	2,0	2,0	2,8	2,8	3,1	
Mrozoodporność, F %	0,2	*	0,1	*	0,4	
Nasiąkliwość, %	0,6	0,7	0,6	0,5	0,7	

W latach 2017–2018 spółka KGHM Metraco S.A. podjęła współpracę z Instytutem Badawczym Dróg i Mostów z Warszawy celem przeprowadzenia analizy stabilności wybranych parametrów fizyczno-chemicznych produkowanych kruszyw. Analiza skupiła się

na głównych produktach wytwarzanych w danym okresie, a w szczególności na kruszywie o ciągłym uziarnieniu frakcji 0–31,5 mm, 0–45 mm oraz 0–63 mm. Kruszywa te poddawane były uzupełnianiu kruszywem o drobnej frakcji celem spełnienia wymagań z Wytycznych Technicznych Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad.

Kruszywa pomiedziowe stanowią tylko niewielki udział w rynku, obok naturalnych kruszyw łamanych i kruszyw z recyklingu. Proces ich pozyskania jest odmienny, jednak parametry jakie uzyskują są bardzo zbliżone do kruszyw bazaltowych czy mełafirowych. W niektórych przypadkach kruszywa sztuczne uzyskują korzystniejsze cechy. Kruszywa pomiedziowe produkowane przez KGHM Metraco S.A. stały się produktem konkurencyjnym na polskim rynku (tab. 4).

Tabela 4. Porównawcze zestawienie przykładowych parametrów kruszywa frakcji 0–31,5 mm
Table 4. List of sample aggregate parameters of fraction 0–31,5 mm

Kruszywo 0–31,5 mm	Nasiąkliwość	Mrozoodporność	Odporność na rozdrabnianie LA	Odporność na ścieranie M _{DE}
Kruszywo pomiedziowe	0,3 / WA ₂₄₁	F ₁ / 0,1	LA ₂₅ / 22	M _{DE} 15 / 6,1
Granit	<1%	F ₁	LA ₃₅	M _{DE} 20
Sjenit	WA ₂₄₁	F ₁	LA ₂₀	–
Gnejs	0,4	F ₁	LA ₃₅	M _{DE} 25
Dolomit	WA ₂₄₁	F ₁	LA ₃₀	M _{DE} 25
Szarogłaz (niesort)	1,2	F ₁	LA ₂₀	M _{DE} 20
Granit	WA ₂₄₁	F ₁	LA ₃₀	M _{DE} 15
Bazalt	0,8	F ₁	LA ₂₀	M _{DE} 15

Tabela 5. Zestawienie przykładowych parametrów kruszywa frakcji 0–31,5 mm KGHM Metraco S.A.
Table 5. List of sample aggregate parameters of fraction 0–31,5 mm KGHM Metraco S.A.

Parametr	Kategoria	Jednostka	Kategoria/wynik
Uziarnienie	G	%	G _A 85
Tolerancja uziarnienia	–	%	GT _A 20
Wskaźnik płaskości FI	FI	–	FI ₂₀ / 10
Wskaźnik kształtu SI	SI	–	SI ₂₀ / 12
Gęstość ziaren	–	t/m ³	3,12 / 3,07
Nasiąkliwość	WA _{cm}	%	0,5 / WA ₂₄₁
Gęstość nasypowa	–	t/m ³	1,98
Zawartość pyłów	F	%	f ₅ / 1,2
Wskaźnik piaskowy SE	SE	–	SE ₂ 92
Badanie błękitem metylenowym MB	MB _F	–	MB _F 10 / 1,7
Odporność na rozdrabnianie LA	LA	%	LA ₂₅ / 22
Odporność na ścieranie M _{DE}	M _{DE}	%	M _{DE} 15 / 6,1
Siarczany rozpuszczalne w kwasie	AS	–	AS _{0,2} / 0,02
Siarka całkowita	S	–	S _{1,0} / 0,01
Zawartość humusu	–	–	barwa jaśniejsza
Mrozoodporność	F	%	F ₁ / 0,1

Parametry mechaniczne, jak odporność na ścieranie i rozdrabnianie, które wyróżniają kruszywa z żużli pomiedziowych, są bardzo istotne z punktu widzenia wykonawstwa i trwałości powstałych konstrukcji. Pełne zestawienie parametrów dla frakcji 0–31,5 mm przedstawiono w tab. 5.

Systematycznie prowadzi się badania promieniowania oraz uwalnianie metali ciężkich zgodnie z normami [9, 10] (tab. 6).

Tabela 6. Zestawienie przykładowych parametrów kruszywa frakcji 0–31,5 mm
Table 6. List of sample aggregate parameters of fraction 0–31,5 mm

Kruszywo 0–31,5 mm	Promienio- wanie radioaktywne	Uwalniane metale ciężkie										
		As <0,1	Ba <2,0	Cd <0,2	Co <1,0	Cr <0,5	Cu <0,5	Mo <1,0	Ni <0,5	Pb <0,5	V <2,0	Zn <2,0
Parametr	f_1, f_2											
Wynik	$f_1 = 1,7;$ $f_2 = 368,86$	<0,1	<1,0	<0,01	<1,0	<0,05	0,09	0,019	0,02	0,219	<2,0	0,051

Stołość tych parametrów i ich odpowiednie wartości gwarantują bezpieczeństwo stosowania kruszyw z żużli pomiedziowych.

5. ZAGOSPODAROWANIE KRUSZYW

Istotnym punktem w historii funkcjonowania spółki jest ostatnia zamiana technologiczna w procesie wytopu miedzi w Hucie Miedzi „Głógów”, która miała miejsce w 2016 r. związana z uruchomieniem nowego rodzaju pieców wraz z całą infrastrukturą towarzyszącą. Skutecznie wdrożono i wprowadzono na rynek kruszywa dla potrzeb drogownictwa. Do budowy dróg w sąsiedztwie zakładów, realizowanych m.in. przez GDDKiA, w latach 2016–2022 dostarczono ok. 6 700 000 ton żużla (tab. 7).

Tabela 7. Zagospodarowanie żużli pomiedziowych w latach 2016–2022 [ton]
Table 7. Utilization of copper slags in years 2016–2022 [ton]

Zakład	Żużel	Lata							Razem
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Głógów	lany	391 460	663 441	706 458	510 658	420 303	489 319	474 973	3 656 612
	granulowa- ny	139 279	157 719	178 366	62 140	54 964	124 812	128 506	845 787
	Razem	530 739	821 160	884 824	572 798	475 268	614 132	603 479	4 502 399
Legnica	lany	435 754	550 873	382 610	277 925	188 435	173 088	190 559	2 199 242
Łącznie		990 447	1 372 033	1 272 844	850 723	663 703	791 350	804 304	6 745 402

Przedmiotem zagospodarowania był żużel lany z pieca elektrycznego oraz żużel granulowany. W przypadku żużla lanego na potrzeby produkcji kruszyw zagospodarowano całość odpadu. W przypadku żużla granulowanego kierunek związany z produkcją kruszyw pozwolił na zagospodarowanie ok. 25% tego żużla.

Żużel granulowany wykorzystywany jest jako materiał doziarniający mieszanki kruszyw. Ze względu na parametry może być też wykorzystywany jako kruszywo frakcji 0–5 mm do produkcji betonu. Produkowane w głogowskim zakładzie kruszywa znajdują zastosowanie przede wszystkim w drogownictwie; wykorzystywane są do wykonania wszystkich warstw, od podbudów po warstwy ścieralne.

Zgodnie z potrzebami, realizowano również produkcję mieszanek kruszywowych, do których wykorzystano dostępne drobne kruszywa naturalne łamane ze złóż w sąsiedztwie zakładu. Dysponując odpowiednim parkiem maszynowym oraz dzięki elastyczności produkcyjnej w ramach działalności zakładu w Legnicy zrealizowano również produkcję specjalnej frakcji do warstwy filtracyjnej dla obiektu unieszkodliwiania odpadów wydobywczych. W przedstawionej powyżej strukturze produkcji, łączny udział kruszyw naturalnych stanowił ok. 10% w stosunku do zagospodarowanego żużla.

6. PODSUMOWANIE

Kruszywa pomiedziowe stanowią tylko niewielki udział w rynku, obok naturalnych kruszyw łamanych i kruszyw z recyklingu. Proces ich pozyskania jest odmienny, jednak posiadają parametry bardzo zbliżone do naturalnych kruszyw łamanych bazaltowych czy melafirowych, a w niektórych przypadkach kruszywa sztuczne uzyskują nawet korzystniejsze cechy. Dzięki temu kruszywa produkowane przez KGHM Metraco S.A. są trwałym produktem konkurencyjnym na polskim rynku.

Ze względu na uwarunkowania rynkowe w poprzednich okresach, w dyspozycji znajdowały się znaczne ilości surowca, co pozwoliło na realizację produkcji i obsługę dostaw kruszywa na budowę m.in. drogi ekspresowej S3.

Elastyczność zakładu pozwala na realizację specjalnych zamówień i produkcję kruszyw o innym, niż standardowe uziarnienie.

Perspektywy rozwoju Polski, szczególnie w zakresie infrastruktury zarówno drogowej, jak i kolejowej wskazują, że zapotrzebowanie na kruszywa będzie utrzymywać się na wysokim poziomie. Stąd w okresach intensyfikacji realizacji inwestycji, biorąc pod uwagę zasoby surowców, moce przerobowe branży, a także dyspozycyjność środków transportu, wystąpić mogą niedobory podaży kruszyw.

Żużle pomiedziowe, stanowią alternatywę dla kruszyw naturalnych. Ich zastosowanie pozwala na osiągnięcie wymiernych korzyści, zarówno finansowych, jak i środowiskowych.

LITERATURA

- [1] GLAPA W., SROGA C., *Aktualny stan rynku naturalnych kruszyw piaskowo-żwirowych i łamanych w województwie dolnośląskim*, Mat. Konf. „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”, IGSMiE PAN, Kraków 2007, 75–94.
- [2] GAMBAL P., STAROWICZ A., *Wykorzystanie żużli pomiedziowych do produkcji kruszyw drogowych*, [w:] W. Głapa (red.) *Kruszywa mineralne*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa, nr 121, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2008, s. 153–160.
- [3] GAMBAL P., STAROWICZ A., *Żużel odpadowy z pieca elektrycznego huty „Głogów” jako surowiec do produkcji kruszyw*, [w:] *Geologia XIII*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa, nr 130, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2010, 71–80.
- [4] Rozporządzenie (WE) NR 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 18 grudnia 2006 r. *ws. rejestracji, oceny udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów REACH...*, (DzUrz UE 29.5.2007, L 133/3).
- [5] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. *ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EEG* (DzUrz UE 4.4.2011, L 88/5).
- [6] PN-EN 13242:2010. *Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym*.
- [7] PN-EN 13043:2004. *Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu*.
- [8] PN-EN 13043:2004. *Kruszywa do betonu*.
- [9] Rozporządzenia RM z dnia 2 stycznia 2007 r. *ws. wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K – 40, radu Ra – 226 i toru TH – 232 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów* (DzU 2007.4.29).
- [10] Rozporządzenia MG MiŻŚ z dnia 12 lipca 2019 r. *ws. substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych* (DzU 2019.1311).

ARTIFICIAL AGGREGATES AS AN ALTERNATIVE
IN THE PROTECTION OF NATURAL RESOURCES

Artificial aggregates produced from copper slags are a very good alternative to natural aggregates. They are used in various fields of construction, but the basic area is infrastructural construction, in particular road construction. The article presents the characteristics of copper slags formed in the processing of copper concentrates in the smelters in Głogów and Legnica. The technology of aggregates and mixtures production have been described. Parameters of an example fraction were summarized and a comparison with selected natural aggregates has been made. The main directions of use of copper aggregates and the volumes of utilized slags has been presented. Positive environmental aspects resulting from the implementation of the assumptions of the circular economy.

Sławomir PATLA

Poltegor-Instytut – Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

ZAGROŻENIE ROZRZUTEM ODŁAMKÓW SKALNYCH JAKO WYPADKOWA STOSOWANYCH PARAMETRÓW ROBÓT STRZAŁOWYCH

Prowadzenie eksploatacji złóż surowców skalnych za pomocą materiałów wybuchowych jest najbardziej ekonomicznie uzasadnioną metodą pozyskiwania surowca. Wykonywanie robót strzałowych wiąże się z emisją szkodliwych oddziaływań: drgań parasejsmicznych górotworu, oddziaływania powietrznej fali uderzeniowej (udarowej, podmuchowej), rozrzutu odłamków skalnych, emisją gazów postrzałowych i hałasu. Stosowane parametry robót wiertniczo-strzałowych powinny zapewniać odpowiednie rozdrobnienie kruszywa oraz zminimalizować emisję szkodliwych oddziaływań. W artykule zdefiniowano pojęcie: zagrożenia rozrzutem odłamków skalnych i przedstawiono wpływ parametrów robót wiertniczo-strzałowych na to oddziaływanie.

1. WSTĘP

Eksploatacja złóż surowców skalnych jest istotną gałęzią przemysłu w Polsce. Kruszywa wykorzystywane są głównie w branży budowlanej, a szczególnie w drogownictwie. Biorąc pod uwagę planowaną rozbudowę infrastruktury drogowej, popyt na kruszywa w najbliższych kilkunastu latach będzie nadal wysoki [1].

Lokalizacja złóż w sąsiedztwie zabudowań mieszkalno-gospodarczych, dróg, czy infrastruktury może wykluczać fragmenty złóż z eksploatacji przy użyciu materiałów wybuchowych (MW); podczas gdy inne metody urabiania ze względu na znaczącą energochłonność są najczęściej nieopłacalne. Urabianie skał za pomocą MW powoduje jednak szereg negatywnych oddziaływań środowiskowych:

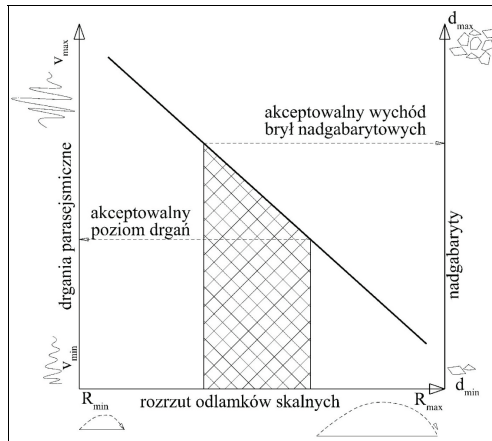
- drgania parasejsmiczne górotworu,
- powietrzna fala uderzeniowa (podmuchowa, udarowa),
- rozrzut odłamków skalnych,
- hałas,
- emisja gazów postrzałowych.

Rozrzut odłamków skalnych jest najbardziej widocznym i odczuwalnym przez środowisko oddziaływaniem. W przypadku niedostatecznego rozpoznania warunków geo-

logiczno-górnictwowych oraz nieprawidłowego doboru parametrów robót strzałowych trzeba się liczyć z wystąpieniem niekontrolowanego wyrzutu odłamków skalnych, których fragmenty mogą być przemieszczone na odległość do 500 m, powodując zniszczenia w otoczeniu wyrobiska, a także stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa publicznego.

Zasadniczym celem stosowania MW przy eksploatacji złóż surowców skalnych jest urobienie i odpowiednie rozdrobnienie calizny skalnej. Literatura przedmiotu wskazuje, że główny nacisk przypisywany jest określeniu odpowiedniej wielkości ładunku wybuchowego w zależności od zmiennych opisujących proces urabiania skał. Ich uwzględnienie będzie zapewniało określenie masy ładunku wybuchowego gwarantującego urabianie z zachowaniem warunków bezpieczeństwa. Dodatkowo ponadnormatywne przemieszczenie się urobku powoduje straty energii MW, skutkujące wzrostem kosztów strzelania oraz koniecznością usunięcia odłamków skalnych z terenu wyrobiska.

Dobór parametrów siatki strzałowej powinien zapewnić oczekiwane rozdrobnienie urobku przy akceptowalnych oddziaływaniach środowiskowych. Zależność między rozdrobnieniem, prędkością drgań parasejsmicznych i rozrzutem odłamków skalnych przedstawiono schematycznie na rys. 1.



Rys. 1. Zależność rozdrobnienia urobku i prędkości drgań parasejsmicznych od rozrzutu odłamków skalnych [6]

Fig. 1. Dependence of fragmentation and vibration speed on the flyrock [6];

v_{min} – niski stopień emisji drgań parasejsmicznych górotworu,

v_{max} – wysoki stopień emisji drgań parasejsmicznych górotworu,

R_{min} – niewielki rozrzut odłamków skalnych, R_{max} – duży rozrzut odłamków skalnych

d_{min} – mały wychód brył ponadgabarytowych, d_{max} – duży wychód brył ponadgabarytowych

Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie związek między oczekiwanym rozdrobnieniem urobku i prędkością drgań parasejsmicznych w funkcji akceptowalnego zasięgu zagrożenia rozrzutem odłamków skalnych. Stąd można wnioskować, że dobór

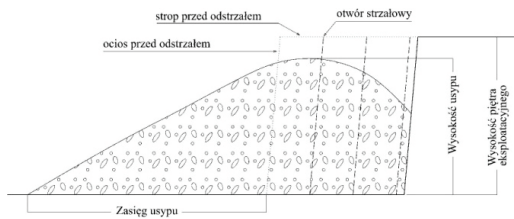
parametrów robót strzałowych zapewniających optymalny skład ziarnowy i minimalne drgania parasejsmiczne będzie się wiązał ze wzrostem możliwego rozrzutu odłamków skalnych. Z kolei określenie parametrów robót strzałowych zapewniających minimalny rozrzut odłamków skalnych może prowadzić do zwiększonej emisji drgań parasejsmicznych oraz powstawaniem większej ilości brył ponadwymiarowych. Przez akceptowalny zasięg oddziaływania należy rozumieć taki zasięg, który nie obejmuje obiektów chronionych lub nie wykracza poza granice terenu górniczego.

2. ROZRZUT ODŁAMKÓW SKALNYCH

W zjawisku rozrzutu odłamków skalnych należy rozdzielić dwa pojęcia:

- rozrzut odłamków skalnych czyli ich przemieszczanie się, które występuje przy każdym strzelaniu (z wyłączeniem strzelań rozluźwiających, kamufletowych);
- zasięg strefy zagrożenia rozrzutem odłamków skalnych (dalej skrótowo ZSZROS), który jest wypadkową zmienności warunków geologiczno-górnictwowych, stopnia ich rozpoznania, parametrów robót wiertniczo-strzałowych i stopnia ich kontroli.

Rozrzut odłamków skalnych jest ich przemieszczaniem poza obręb usypu. Taka definicja uzasadniona jest koniecznością oczyszczania poziomu wyrobiska z ostrych fragmentów skały. Dodatkowo można dodać, że energia MW zostaje wówczas w pewnym stopniu stracona. Schemat usypu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Usyp urobku oraz jego schematyczny przekrój [6]

Fig. 2. Photo and pile profile [6]

Zasięg usypu wg pracy [3] wyznaczyć można z zależności:

- dla strzelania jednoszeregowego

$$0,6H \leq h \leq 0,7H \quad (1)$$

$$1,6H \leq S \leq 1,8H \quad (2)$$

- dla strzelania wieloszeregowego

$$1,0H \leq h \leq 1,1H \quad (3)$$

$$1,6H \leq S \leq 1,9H \quad (4)$$

gdzie:

h – wysokość usypu [m],

S – poziomy zasięg usypu [m] mierzony od ociosu przed odstrzałem.

Z kolei wymiary usypu definiowane są jako [7]:

$$h = 0,473H - 0,0029q + 1,46K + 0,33A + 6,1 \quad (5)$$

$$S = 0,0045q + 0,74H + 3,8K + 8,1 \quad (6)$$

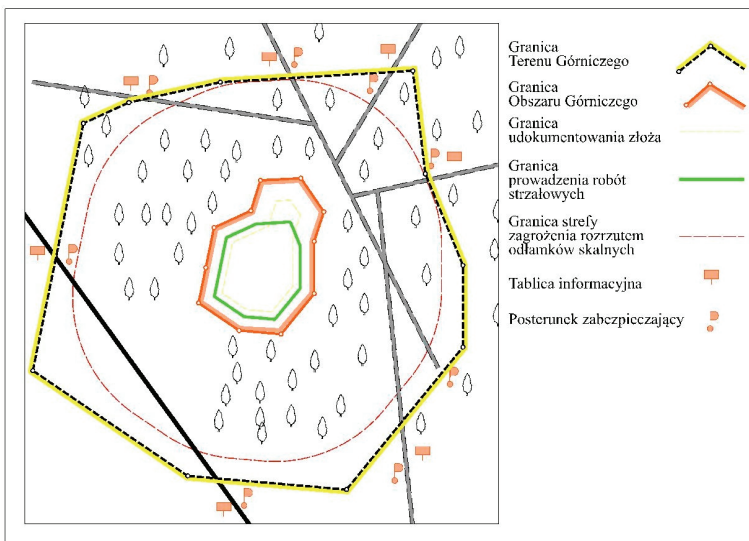
gdzie:

q – ładunek jednostkowy [kJ/kg],

K – szczelinowatość właściwa [m^{-1}],

A – szerokość (głębokość w głąb calizny) urabianego bloku skalnego.

Kształt i zasięg usypu pozwalają ocenić czy dobór parametrów strzelania był prawidłowy. Usyp płaski o dużym zasięgu świadczy o nadmiarze zadanej energii w stosunku do wymagań energetycznych urabianej skały, natomiast brak usypu oznacza zbyt małą energię MW w stosunku do wytrzymałości skały. Wnioski te dotyczą ogólnej dystrybucji energii MW w górotworze, podczas gdy lokalne osłabienie górotworu lub nagromadzenie się MW w szczelinach może powodować zwiększony rozrzut, mimo prawidłowego kształtu i zasięgu usypu. Można przyjąć z pewnym uproszczeniem, że przemieszczanie się odłamków skalnych nie powinno przekraczać trzykrotnej wysokości urabianego piętra, mierzząc od krawędzi ociosu przed odstrzałem.



Rys. 3. Rozmieszczenie posterunków zabezpieczających dostęp osób do strefy zagrożenia rozrzutem odłamków skalnych [6]

Fig. 3. Arrangement of flyrock zone checkpoints [6]

Wyznaczenie zasięgu strefy zagrożenia rozrzutem odłamków skalnych, ze względu na liczne czynniki wpływające na jej wielkość, jest zagadnieniem dosyć skomplikowanym. Zgodnie z obowiązującymi przepisami – wokół rejonu prowadzenia robót strzałowych musi być wyznaczona strefa zagrożenia. W miejscach przecięcia granicy strefy z drogami, ścieżkami, czy duktami umieszczane są posterunki, z których podczas prowadzenia robót strzałowych, egzekwowany jest zakaz wstępu osób postronnych. Schematyczne rozmieszczenie posterunków wokół kopalni przedstawiono na rys. 3.

3. METODY OKREŚLANIA ZASIĘGU STREFY ZAGROŻENIA ROZRZUTEM ODŁAMKÓW SKALNYCH

3.1. METODA KLASYCZNA

Pod pojęciem metoda klasyczna rozumiemy wykorzystanie wzorów empirycznych dostępnych w literaturze i na ich podstawie określenie ZSZROS. W zależności od składowych danego wzoru można sterować określonymi parametrami robót wiertniczo-strzałowych w celu zmniejszenia zasięgu strefy zagrożenia.

Równanie R1 SVEBEFO [5]:

$$R_r = 260(d / 25)^{2/3} \text{ [m]} \quad (7)$$

gdzie d [mm] – średnica otworu strzałowego.

Wzór ten określa zasięg rozrzutu jako funkcję jedynie średnicy otworu strzałowego. Zależność ta nie oddaje w żaden sposób rzeczywistych warunków strzelania.

Równanie R2 [2] na odległość rozrzutu odłamków wyrzucanych pod kątem 45° z wprowadzoną poprawką $R + 3\delta_s$ (odchylenie średnie standardowe):

$$R = \frac{9,2 \cdot 10^4}{\rho_s} \left(\frac{Q}{\sqrt[3]{P_{pr}}} \cdot a \cdot z \cdot l_p \right)^{0,75} + \delta_s \text{ [m]} \quad (8)$$

gdzie:

- Q – wielkość ładunku (ładunek w otworze strzałowym) [kg],
- A – odległość między otworami [m],
- l_p – długość przybitki [m],
- z – zabiór [m],
- ρ_s – gęstość skały [kg/m^3],
- P_{pr} – wskaźnik urabialności [m^3/kg]:

bazalty, diabazy, kwarcyty, porfiry	$2 \cdot 10^{-3}$
granity	$3 \cdot 10^{-3}$
wapienie, dolomity, mocne piaskowce	$5 \cdot 10^{-3}$
słabe piaskowce, marmury	$7 \cdot 10^{-3}$

δ_s – śr. odchylenie standardowe wartości R w ponad 50 próbnych odstrzałach.
Równanie R3 wg [3]:

$$R = 0,5 \sqrt{\frac{v_0 \cdot q}{B}} \quad [\text{m}] \quad (9)$$

gdzie:

v_0 – prędkość początkowa odłamka skalnego [m/s],
 B – współczynnik oporów powietrza [m^2/kg],
 q – ładunek jednostkowy [kg/m^3] ($\text{kg MW}/\text{m}^3$ skały).

$$B = \frac{0,5}{T_b \rho_s} \quad (10)$$

$$v_0 = \frac{10 \cdot d \cdot 2600}{T_b \cdot \rho_s} \quad (11)$$

gdzie:

d – średnica otworu strzałowego [cal],
 T_b – średni rozmiar bryły w urobku [m],
 ρ_s – gęstość skały [kg/m^3].

Biorąc powyższe pod uwagę, wzór (9) można przekształcić w postać:

$$R = 114 \sqrt{dq} \quad (12)$$

Równanie R4 – wzór Pokrowskiego [4, 8]:

$$R = \frac{2}{3} z \left[1 + \sqrt[3]{\left(2200 \frac{Q}{\rho_s z^3} - 0,7 \right)^2} \right]^4 \quad [\text{m}] \quad (13)$$

gdzie:

z – zabiór [m],
 Q – masa ładunku MW (w otworze strzałowym) [kg],
 ρ_s – gęstość skały [kg/m^3].

Równanie R5 – balistyczne [4]:

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \quad (14)$$

gdzie:

- R – zasięg rozrzutu odłamków skalnych,
- α – kąt wyrzutu odłamka skalnego,
- g – przyspieszenie ziemskie,
- v_0 – prędkość początkowa odspojonych mas skalnych.

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot e \cdot \eta}{\gamma}} \text{ [m/s]} \quad (15)$$

gdzie:

- e – ciepło wybuchu MW [J/kg]
- η – sprawność wybuchu, część MW wykorzystana na przemieszczenie mas skalnych poza usyp,
- γ – gęstość skały [kg/m³],
- q – ładunek jednostkowy [kg MW/m³ skały].

Przeprowadzone badania i symulacje wpływu zmienności poszczególnych składowych wzorów na wielkość oddziaływania wykazały, że wielkość zabioru z ma największy wpływ na zasięg rozrzutu [6]. Ponieważ rzeczywista wielkość zabioru może w znacznym stopniu odbiegać od wartości projektowanej, koniecznym stało się opracowanie stosownej metody.

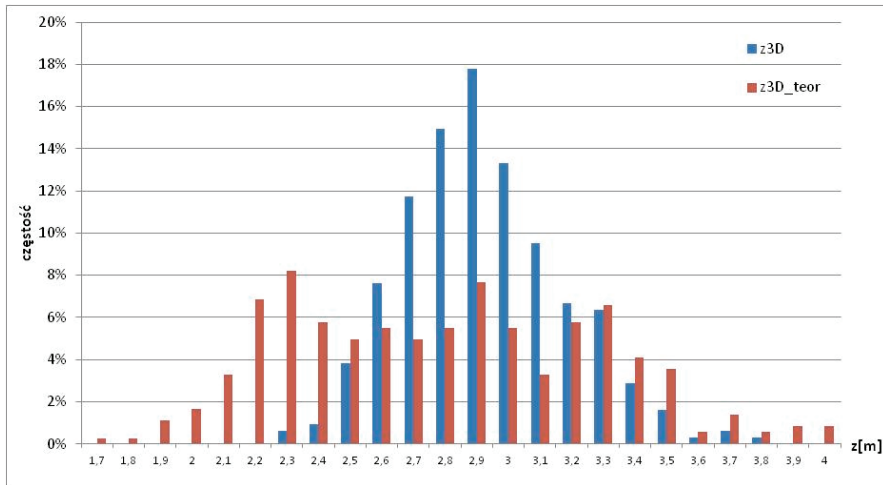
3.2. METODA ROZSZERZONA

Zastosowanie współczesnych systemów kontroli geometrii ociosu i osiowości otworu strzałowego (skaning laserowy, metody fotogrametryczne, sondy profilujące) pozwoliło opracować metodę wyznaczania ZSZROS w oparciu o określenie zmienności zabioru na całej długości otworów strzałowych w serii [6].

W przeszłości wyznaczanie zabioru polegało na odmierzeniu taśmą mierniczą odległości od krawędzi ociosu dla wyznaczenia umiejscowienia otworu strzałowego. Identyfikacja zmienności geometrii płaszczyzny ściany eksploatacyjnej wynikała z doświadczenia inżyniera strzałowego i była (często nadal jest) określana „na oko”. Dzięki urządzeniom pomiarowym możliwe jest określenie precyzyjnej – niekiedy bardzo zmiennej, geometrii ociosu. Przykładowy raport dla otworu strzałowego przedstawiono na rys. 4.

Należy zwrócić uwagę, że zmienność zabioru nie występuje tylko w płaszczyźnie prostopadłej do ociosu, ale również w płaszczyźnie równoległej. Zmienność ta powodować może kumulację ładunku MW w jednej części zabierki, a w innych zbyt małą jego masę niezbędną dla urobienia skały (rys. 5).

Opracowana autorska metoda szacowania zmienności zabioru pozwala wyznaczyć ZSZROS w oparciu o określenie jego minimalnej wielkości i na tej podstawie określić zasięg strefy. Wykonywanie robót strzałowych bez narzędzi kontrolno-pomiarowych wymaga podania minimalnego zabioru mogącego wystąpić w danym zakładzie górniczym. W tym celu należy zebrać reprezentatywną próbkę modeli ociosów oraz wyznaczyć odchylenie standardowe rozkładu wartości zabioru. Na schemacie (rys. 6) przedstawiono rozkład wartości zabiorów w sytuacji, gdy umiejscowienie otworów było wyznaczane taśmą mierniczą, a następnie wykonano przestrzenny model ociosu i skorygowano ich położenia. Dzięki temu możliwa była symulacja rozkładu wielkości zabiorów w stanie przed poprawkami.



Rys. 6. Porównanie rozkładu wielkości zabioru bez kontroli parametrów geometrycznych w odniesieniu do wartości z z modelowania 3D, dla $z_o = 2,8$ m [6]

Fig. 6. Comparison of the burden value without geometrical control to 3D burden model [6]

Dla:

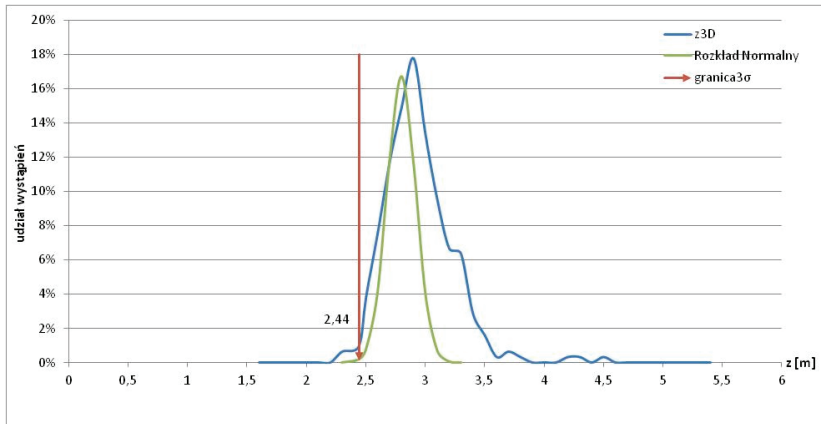
- z_{3D} – częstość przedziałów wielkości zabioru po wykonaniu trójwymiarowego modelu ociosu,
- z_{3D_teor} – wielkości zabioru po „cofnięciu” poprawek, symulacja pomiaru taśmą mierniczą, bez opracowania trójwymiarowego modelu ociosu,
- z_o – projektowany zabiór obliczeniowy.

Jak wynika z rys. 6, gdyby nie przeprowadzono korekty położenia i pochylenia otworów strzałowych – zabiór w pewnych miejscach wynosił $z = 1,6$ m, tj. wartość znacznie mniejszą od $z_o = 2,8$ m. Wykorzystując wzór (13), można zobrazować różnice w przewidywanym zasięgu rozrzutu odłamków skalnych.

Podstawiając do wzoru (13) $Q = 26,34$ kg, $\rho = 2,8$ kg/cm³ i $z = 2,8$ m, otrzymano $R_{13(z=2,8\text{ m})} = 7$ m, a dla porównania dla $z = 1,6$ m – $R_{13(z=1,6\text{ m})} = 194$ m. Podana symu-

lacja pokazuje, w jak znacznym stopniu brak kontroli zamienności zabioru może prowadzić do zwiększonego rozrzutu odłamków skalnych.

Opracowana metoda wyznaczania ZSZROS opiera się na określeniu minimalnego zabioru, mogącego wystąpić z uwzględnieniem stosowanych metod kontrolno-pomiarowych. Przykładowe określenie granicznego zabioru przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Rozkład normalny dla określonego odchylenia standardowego i zabioru graniczny [6]

Fig. 7. Normal distribution of burden standard deviation and determining burden limiting [6]

Wyznaczona wartość $z = 2,44$ m jest różnicą projektowanego zabioru z_0 i trzech odchyłeń standardowych (99,7% wystąpień jest większych od z_0) wartości zabioru w badanej próbie. Przyjęcie, określonej w ten sposób wielkości zabioru do obliczeń z wykorzystaniem funkcjonujących wzorów opisujących to oddziaływanie pozwala na wyznaczenie strefy zagrożenia rozrzutem odłamków skalnych.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiona procedura wyznaczenia ZSZROS jest fragmentem opracowanej metodyki w ramach badań w pracy [6].

Można w dużym skrócie, stwierdzić, że stosowane parametry robót wiertniczo-strzałowych, określone na podstawie posiadanych danych nt. właściwości górotworu i dostępnych w literaturze wzorów są zawsze prawidłowe i bezpieczne. Równania matematyczne opisujące optymalne parametry, co do zasady, zapewniają odpowiedni stopień rozdrobnienia urobku oraz bezpieczeństwo w aspekcie rozrzutu odłamków skalnych.

Zagrożenie rozrzutem wynika ze zmienności przyjętych parametrów, a konkretnie możliwością jej kontroli. Jeżeli wiemy w jakim zakresie dany parametr może ulec zmianie i jesteśmy w stanie zmierzyć lub określić tę zmianę oraz możemy wprowadzić

poprawki do projektu, to istnieje możliwość redukcji nadmiernego lub niebezpiecznego rozrzutu odłamków skalnych.

LITERATURA

- [1] BEDNARCZYK J. (red.), *Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych*, Poltegor-Institut Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław 2013.
- [2] HAŁAT W., MORAWA R., *Metoda prognozowania zasięgu strefy rozrzutu przy prowadzeniu robót strzałowych*, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 2007, nr 9/1, 28–32.
- [3] KORZENIOWSKI J.I., ONDERKA Z., *Roboty strzelnicze w górnictwie odkrywkowym*, Wydawnictwa i Szkolenia Górnicze Burnat i Korzeniowski, Wrocław 2006.
- [4] MODRZEJEWSKI S., *Procedury prognozowania stref zagrożeń od robót strzałowych w górnictwie odkrywkowym*, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 2013, nr 6, 6–14.
- [5] OLOFSSON S.O., *Applied explosives technology for construction and mining*, Årila, Applex AB, 2002.
- [6] PATLA S., *Prognoza zasięgu strefy zagrożenia rozrzutem odłamków skalnych przy urabianiu złóż surowców skalnych za pomocą materiałów wybuchowych*, Wrocław 2022, praca doktorska (niepubl.).
- [7] SZTUK H., ŚNIEŻEK J., WOJTKIEWICZ H., *Technika urabiania skał*, skrypt PWr, Wrocław 1980.
- [8] ŚLEBODZIŃSKI J., *Górnictwo odkrywkowe*, cz. II. *Technika strzelnicza*, skrypt PWr, Wrocław 1972.

THE RISK OF FLYROCK AS A RESULT OF THE PARAMETERS OF THE BASTING AND THE DEGREE OF THEIR CONTROL

Exploitation of rock deposits with the use of explosives is the most economically justified method of obtaining the raw material. Conducting blasting works is associated with the emission of harmful effects: paraseismic ground vibrations impact of the air shock wave, dispersion of rock fragments – flyrock, emission of toxic fumes and noise. The applied parameters of drilling and blasting works should ensure proper fragmentation of the obtained aggregate and minimize the emission of harmful impacts. The article defines the risk of flyrock and presents the impact of drilling and blasting parameters on this impact.

Paweł PIETKIEWICZ¹

Michał DUDEK²

¹ Polskie Stowarzyszenie Wyceny Złóż Kopalin, Kraków

² Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

STAWKI CZYNSZU DZIERŻAWNEGO ZA GRUNTY LASÓW PAŃSTWOWYCH I WÓD POLSKICH W AKTUALNYCH WARUNKACH RYNKOWYCH

Przedstawiono formy prawne władania nieruchomościami oraz aktualnie stosowane przez Skarb Państwa, reprezentowany przez Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe i Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, zasady naliczania opłat za korzystanie z nieruchomości ze złożami kopalin. Zasady określania stawek czynszów dzierżawnych opisane w przepisach prawa i zarządzeniach zostały poddane analizie pod kątem warunków, w jakich funkcjonują przedsiębiorcy prowadzący wydobywanie kopalin ze złóż. Stan podwyższonej niepewności gospodarczej a zwłaszcza kształtowania się popytu i podaży przy wzrastających kosztach produkcji i rosnących nakładach inwestycyjnych powodują, że wysokość stawki czynszu dzierżawnego powinna być oparta na powiązaniu rynkowej wartości gruntu nad złożem ze stopą kapitalizacji przedsięwzięć górniczych.

1. WPROWADZENIE

Zasadniczym celem artykułu jest przedstawienie aktualnie stosowanych zasad naliczania stawek czynszów dzierżawnych przez Skarb Państwa, reprezentowany przez Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe i Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, opartych o przepisy prawa, w tym ustawę *Prawo wodne* [5], rozporządzenie *ws. wysokości jednostkowych stawek opłaty rocznej za użytkowanie gruntów pokrytych wodami* [8] oraz Zarządzenie Prezesa Państwowego Gospodarstwa Wody Polskie [11]. Zasady określania stawek czynszów dzierżawnych opisane w ww. przepisach zostały skonfrontowane z aktualnymi realiami gospodarczymi, w jakich funkcjonują przedsiębiorcy prowadzący wydobywanie kopalin ze złóż pozostających własnością Skarbu Państwa, gdzie kluczową miarą rentowności przedsięwzięcia górniczego jest dochód możliwy do osiągnięcia z tytułu eksploatacji i sprzedaży surowców. Zatem wysokość stawki czynszu dzierżawnego powinna być oparta na powiązaniu rynkowej wartości gruntu złożowego ze stopą ka-

pitalizacji przedsięwzięć górniczych, których to próbę opisaną podjęto w niniejszym artykule.

2. OBECNE ZASADY USTALANIA OPŁAT ZA KORZYSTANIE Z NIERUCHOMOŚCI Z EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ

Na problematykę ustalania opłat za korzystanie z nieruchomości dla potrzeb związanych z eksploatacją górniczą należy spojrzeć poprzez pryzmat ekonomiczny, ale też i prawny. W Polsce tzw. wiązka praw do nieruchomości ma swoje źródło w Kodeksie cywilnym (dalej w tekście *Kc*) [1]. Jest to istotne, gdyż prawo własności jest kluczowe dla funkcjonowania w gospodarce rynkowej. Przedsiębiorca górniczy ubiegający się o koncesję na wydobywanie kopaliny (nieobjętej własnością górniczą), musi dysponować prawem do dysponowania nieruchomością.

Zgodnie z *Kc* prawa rzeczowe można podzielić na: własność, użytkowanie wieczyste i ograniczone prawa rzeczowe (użytkowanie, służebność, zastaw, spółdzielcze własnościowe prawo i hipoteka). Poza wymienionymi prawami, w tym prawami na rzeczy cudzej, można wymienić jeszcze cały katalog (otwarty) różnych zobowiązań umownych, m.in.: najem, dzierżawę, użyczenie. W niniejszym artykule w znacznej części uwagę poświęcono umowom użytkowania i dzierżawy.

2.1. OPŁATY ZA KORZYSTANIE Z NIERUCHOMOŚCI BĘDĄCYCH W ZASOBIE PGL LASY PAŃSTWOWE

Na wstępie należy podkreślić, że przepisy ustawy *o lasach* (dalej *uol*) [2] nie zawierają szczegółowych uregulowań dotyczących zasad zawierania umów dzierżawy na nieruchomości ze złożami kopaliny i zasad ustalania wysokości wynagrodzenia za korzystanie z przedmiotu dzierżawy. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe (dalej LP) prowadzi jak dotąd działalność na zasadzie samodzielności finansowej – art. 50 *uol* [2] oraz na podstawie rachunku ekonomicznego – § 3 rozporządzenia *ws. szczegółowych zasad gospodarki finansowej...* [9].

Zasady te obowiązują także przy zawieraniu umów dzierżawy nieruchomości na podstawie art. 39 *uol* [9]. Dlatego też LP uwzględniając powyższe uregulowania opierają zasady naliczania czynszu dzierżawnego się na:

- 1) Formule uzależnionej od dzierżawionej powierzchni wyrażonej w [ha] pomnożonej przez ustaloną stawkę ilości m³ drewna tartacznego za 1 ha,
- 2) Wzorzec parametrycznym, określonym w Zarządzeniu Dyrektora Generalnego LP Nr 77 [10],
- 3) Stawkach ustalanych rynkowo przez rzeczoznawców majątkowych, gdzie podstawą obliczeń jest formuła uzależniająca wielkość czynszu dzierżawnego od wartości nieruchomości w relacji do aktualnej stopy kapitalizacji.

Zasady ustalania czynszu dzierżawnego opisane w pkt. 1 były stosowane przez szereg nadleśnictw do 2009 r., kiedy to weszło w życie Zarządzenie Nr 77 [10]. Poziom stawek czynszu dzierżawnego określanego w ten sposób oscylował między 110 a 170 m³ drewna tartaczno-go za 1 ha, przy cenie tego drewna określonego na podstawie komunikatów Prezesa GUS. Po przeliczeniu stawka ta oznaczała czynsz dzierżawny na poziomie 2,0 zł/m², co należałoby uznać za wartość akceptowalną w ówczesnych realiach rynkowych. Nieznane jednak było kryterium ustalania ilości m³ drewna z 1 ha, które stosowały LP, co też świadczyło o pewnej uznaniowości i nierynkowości stosowania tej metody, ponieważ w żaden sposób nie było ona powiązana z rodzajem kopaliny ani jej dochodowością.

W przypadku wzoru parametrycznego, o jakim mowa w pkt. 2, stawka czynszu dzierżawnego oparta była na wielkości rocznej opłaty eksploatacyjnej skorygowanej wskaźnikiem krotności opłaty eksploatacyjnej, ustalonej odrębnie przez Regionalną Dyрекcję Lasów Państwowych (dalej RDLP):

$$S_e = P \times O_e \times W_{sk} \quad (1)$$

gdzie:

- S_e – stawka czynszu dzierżawnego,
- P – powierzchnia dzierżawionej nieruchomości,
- O_e – stawka rocznej opłaty eksploatacyjnej za dany rodzaj kopaliny, określona ustawą *Prawo geologiczne i górnicze*, (dalej *pgg*) [7], waloryzowana co-roczenie wg rozporządzenia w związku z art. 136 ust. 2 *pgg* [7],
- W_{sk} – wskaźnik krotności opłaty eksploatacyjnej ustalany przez daną RDLP.

Stawki czynszów dzierżawnych określane w ten sposób w latach 2009–2016 kształtowały się na poziomach 5000–12 150 zł/ha, co w porównaniu z zasadami określania czynszu dzierżawnego powodowało znaczące obniżenie dochodów LP. W związku z tym LP w kolejnych latach, tj. po 2016 r. zdecydowały się na korzystanie z usług rzeczoznawców majątkowych (dalej RM), stosujących rynkowe metody wyceny czynszu. Należy jednak zauważyć, że znakomita większość RM nie posiadała (i nadal nie posiada) specjalistycznej wiedzy górniczej, pozwalającej na poprawne określenie ani strumienia dochodu z eksploatacji sprzedaży wydobywanej kopaliny, ani na określenie stopy kapitalizacji właściwej i dla branży górnictwa odkrywkowego. W wycenach stawek czynszu dzierżawnego RM opierają się na danych katastralnych, wykorzystywanych do wyceny nieruchomości w podejściu porównawczym [3], które nie zawierają jednak żadnych informacji nt. otoczenia nieruchomości, zasobności złoża, ograniczeń w jego eksploatacji i innych uwarunkowań istotnych z punktu widzenia wartości rynkowej.

Metody szacowania stawek czynszu dzierżawnego przez RM oparte są na przekształconej formule, stosowanej do określania wartości nieruchomości:

$$W_n = D/R \quad (2)$$

Po przekształceniu można było określić D utożsamiany ze stawką czynszu S_e :

$$D = W_n \times R \quad (3)$$

gdzie:

- D – dochód roczny netto (rozumiany jako S_e),
- W_n – wartość nieruchomości ustalona na podstawie danych katastralnych,
- R – stopa kapitalizacji nieruchomości danego rodzaju.

O ile te stosowane metody można uznać za spełniające częściowo kryteria rynkowości, o tyle metodę określoną w Zarządzeniu Nr 77 [10] należy uznać jako całkowicie nierynkową i opartą o warunki uznaniowe RDLP.

Stąd w ocenie autorów zachodzi uzasadniona potrzeba zbudowania takiej formuły obliczeniowej, która uwzględniałaby zarówno słuszny interes LP – Skarbu Państwa, jako właściciela gruntów leśnych położonych nad złożami kopaliny, jak i przedsiębiorców prowadzących eksploatację z terenów należących do SP, bądź planujących podjęcie eksploatacji z tego rodzaju złóż.

Podstawą określania stawek czynszu dzierżawnego powinny być: cechy rynkowe zarówno nieruchomości, jak i jej części składowej w postaci złoża kopaliny, czytelne dla stron postępowania i możliwe do zweryfikowania. Do takich cech nieruchomości powinno się zaliczać m.in: lokalizację i położenie złoża, jego zasobność, rodzaj kopaliny i jej rynkową atrakcyjność, uwarunkowania środowiskowe, techniczne, transportowe i inne ograniczenia w swobodnym kształtowaniu skali eksploatacji.

W związku z tym proponuje się, aby podstawą do obliczeń poziomu czynszu dzierżawnego była wartość rynkowa gruntu położonego nad złożem kopaliny wyliczana indywidualnie dla każdego złoża/nieruchomości. W warunkach całkowicie wolnorynkowych, przedsiębiorca prowadzący eksploatację złoża, aby pozyskać kolejny teren nad złożem, musiałaby bowiem przeprowadzić negocjacje ceny z właścicielem terenu i jednorazowo dokonać zakupu gruntu, płacąc rynkową, wynegocjowaną cenę.

W przypadku gruntów leśnych, należących do LP taka możliwość praktycznie nie istnieje, a to głównie z uwagi na przepisy art. 7 i 10 *ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych* – dalej *ogrl* [4] oraz art. 38 *uol* [2]. Dlatego też w znakomitej większości przypadków stosuje się zasadę dzierżawy gruntu, z jego wyłączeniem trwałym lub czasowym z produkcji leśnej, na okres uzasadniony koncesją i zasadą racjonalnej gospodarki złożem, z uwzględnieniem przepisów art. 10 *ustawy ogrl* [4], które stanowią: *wniosek dotyczący wyłączenia gruntów z produkcji rolnej lub leśnej dotyczący gruntów o obszarze ponad 10 ha na cele inwestycji górniczych, powinien zawierać oprócz uzasadnienia potrzeby zmiany przeznaczenia gruntów oraz wykazu powierzchni gruntów, z uwzględnieniem klas bonitacyjnych gruntów rolnych i typów siedliskowych gruntów leśnych, także wariantowe rozwiązania w zakresie rekultywacji i zagospodarowania gruntów w trakcie i po zakończeniu działalności przemysłowej, określające dla każdego wariantu koszty rekultywacji i zagospodarowania oraz straty, które poniesie rolnictwo i leśnictwo.*

W tej samej ustawie art. 7 podaje, że w przypadku przeznaczenia gruntów leśnych na cele nieleśne – *grunty leśne stanowiące własność Skarbu Państwa – wymagają uzyskania zgody Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa lub upoważnionej przez niego osoby*. Zatem zdaniem autorów niezbędne jest opracowanie takiej metodologii szacowania stawek czynszu dzierżawnego dla gruntów rolnych/leśnych, położonych nad złożami kopalin, które z jednej strony uwzględniałyby uwarunkowania prawne opisane w treści art. 7 i 10 ustawy *ogrl* [4] oraz art. 39 *uol* [2], a z drugiej uwzględniałyby rynkowe zasady działania obu stron potencjalnych umów dzierżawy (rozdział 3).

2.2. OPŁATY ZA KORZYSTANIE Z NIERUCHOMOŚCI BĘDĄCYCH W ZASOBIE PGW WODY POLSKIE

Nieco odmienną specyfikę niż grunty leśne posiadają grunty pokryte wodami. Kwestie własności wód oraz gruntów pokrytych wodami (w tym nieruchomości ze złożami kopalin stanowiącymi część składową) reguluje ustawa *Prawo wodne* – dalej *upw* [5]. Wody mogą stanowić własność Skarbu Państwa, innych osób prawnych albo osób fizycznych. Ustawa reguluje także zasady gospodarowania tymi składnikami, jako mieniem Skarbu Państwa. Przepisy ustawy stosuje się do wód śródlądowych oraz morskich wód wewnętrznych. Śródlądowe wody powierzchniowe, według zapisów ustawowych dzielą się na śródlądowe wody płynące oraz stojące. Zgodnie z art. 211 [5], wody morza terytorialnego, morskie wody wewnętrzne, śródlądowe wody płynące oraz wody podziemne stanowią własność Skarbu Państwa. Śródlądowe wody płynące będące wodami publicznymi nie podlegają obrotowi cywilnoprawnemu, z wyjątkiem przypadków określonych w *upw* [5]. W związku, z czym, RM majątkowy napotyka tę trudność, że jeżeli dana nieruchomość nie występuje w obrocie rynkowym, to tym samym nie można określić wartości rynkowej zgodnie z ustawą *o gospodarce nieruchomościami* [3] lub też wynik obliczeń będzie dotyczył wartości innej niż rynkowa.

Grunty pokryte wodami stanowiące własność Skarbu Państwa, niezbędne do prowadzenia przedsięwzięć związanych z wydobywaniem kamienia, żwiru, piasku oraz innych materiałów lub wycinaniem roślin z wody, oddaje się w użytkowanie za opłatą roczną. Należy tu zwrócić uwagę na słowo „użytkowanie”, które jest jedną z form władania nieruchomością w świetle wcześniej wskazanych zapisów *Kc* [1].

Wysokość opłaty rocznej za użytkowanie gruntów stanowiących własność Skarbu Państwa (wydobycie kopalin) ustala się proporcjonalnie do okresu prowadzenia działalności określonego w pozwoleniu wodnoprawnym lub wynikającego ze zgłoszenia wodnoprawnego.

Jak stanowi art. 262 *upw* [5], maksymalna stawka opłaty rocznej za użytkowanie 1 m² gruntu nie może być wyższa niż 10-krotność obowiązującej w danym roku górnej granicy stawki podatku od nieruchomości, o której mowa w art. 5 ust. 1 pkt 1

lit. a ustawy *o podatkach i opłatach lokalnych* [6]. Stawka podatku od gruntów związanych z prowadzeniem działalności gospodarczej, bez względu na sposób zakwalifikowania w ewidencji gruntów i budynków (wg daty niniejszej publikacji) wynosi 0,62 zł od 1 m² powierzchni. Zatem górna granica określona w powyższy sposób nie może przekroczyć 6,20 zł/m². Należy tu podkreślić, że jest to bardzo wygórowana stawka biorąc pod uwagę choćby stawkę opłaty eksploatacyjnej lub przekładając to jeszcze bardziej obrazowo – stanowi ona niemal dwukrotność maksymalnej stawki rocznej i jest porównywalna z ceną transakcyjną gruntu rolnego ze złożem kruszywa naturalnego.

Powyżej podano stawki maksymalne. Cytując dalej za *upw* [5] – „wysokość jednostkowych stawek opłaty rocznej za użytkowanie 1 m² gruntu określi Rada Ministrów w drodze rozporządzenia, kierując się rodzajami przedsięwzięć, na potrzeby, których następuje oddanie w użytkowanie gruntów pokrytych wodami”.

Zgodnie z rozporządzeniem *ws. wysokości jednostkowych stawek opłaty rocznej za użytkowanie gruntów pokrytych wodami* [8] stanowiącymi własność Skarbu Państwa, niezbędnych do prowadzenia przedsięwzięć związanych z wydobywaniem kamienia, żwiru, piasku oraz innych materiałów – stawka za użytkowanie 1 m² gruntu wynosi 0,50 zł.

Lektura powyższych przepisów informuje, że obecnie stawka z tytułu użytkowania gruntów pokrytych wodami w celu eksploatacji kopaliny spod lustra wody zasadniczo wynosi 0,50 zł/m², jednakże istnieje pewna luka, pozwalająca zamiast stawki według rozporządzenia stosować własne regulacje, np. dzierżawę, o ile tylko dany odcinek cieku, rzeki lub zbiornika nie mieści się w modelu ustalonej linii brzegu. Zgodnie z art. 264 *upw* [5]: *Wody Polskie, w zakresie swojej właściwości, mogą rozporządzać nieruchomościami niebędącymi mieniem, o którym mowa w art. 261 ust. 1, gruntami zabudowanymi urządzeniami wodnymi znajdującymi się poza linią brzegu lub urządzeniami wodnymi lub ich częściami, stanowiącymi własność Skarbu Państwa, przez ustanawianie ograniczonych praw rzeczowych, oddawanie w najem, dzierżawę, użyczenie lub zamianę, a wpływy z tego tytułu stanowią ich przychód.*

W takim przypadku, stawki opłat (dzierżawy) zawarte są w Zarządzeniu Prezesa Państwowego Gospodarstwa Wody Polskie [11]. W zarządzeniu tym, podstawę wyliczenia rocznego czynszu dzierżawy użytków kopalnych (K) lub nieruchomości użytkowanych w ten sposób, stanowi równowartość pieniężna pięciokrotności stawki opłaty eksploatacyjnej określonej ustawą *pgg* [7] oraz powierzchnia zajętego gruntu wykorzystywanego w związku z wydobywaniem kopaliny oraz rekultywacją terenów wyrobiska stanowi 1 zł za 1 m² zajętego gruntu.

Według stawek opłat na 2023 r. z zakresu przepisów *pgg* [7] podanych w obwieszczeniu [12], wydobywanie piasków i żwirów podlega obecnie opłacie 0,72 zł/t i jeżeli zastosować tu pięciokrotność tej stawki oraz 1 zł/m² tzw. rezerwy rekultywacyjnej, to otrzymamy roczną stawkę dzierżawy na poziomie 4,60 zł/m², co stanowi ponad dziewięciokrotność stawki za użytkowanie określonej w rozporządzeniu.

3. PROPONOWANE KIERUNKI ZMIAN W ZASADACH USTALANIA OPŁAT ZWIĄZANYCH Z EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ

W przypadku gruntu położonego nad złożem kopaliny – wobec braku praktycznej możliwości nabycia takiej nieruchomości, to umowa dzierżawy umożliwi dostęp do złoża i jego eksploatację. Wielkość czynszu dzierżawnego stanowi zatem największy koszt uzyskania dostępu do złoża. Pozostałe koszty, jak dokumentacja geologiczna, projekt zagospodarowania złoża, plan ruchu, czy koszty postępowań administracyjnych stanowią ok. 10–15% nakładów. Jednocześnie należy zauważyć, że grunt objęty umową dzierżawy po zakończeniu eksploatacji będzie musiał być poddany zabiegom rekultywacyjnym, a po ich zakończeniu nastąpi jego zwrot wydzierżawiającemu, czyli LP lub PGW.

W tym kontekście konieczne będzie ustalenie wartości gruntów po zrehabilitowaniu, np. w kierunku leśnym w określonym umową dzierżawy okresie użytkowania. Wartość takiego gruntu będzie tym samym pomniejszała obecną wartość gruntów nad złożem kopaliny, przyjętą do analizy.

Stąd proponuje się szacowanie wartości rynkowej czynszu dzierżawnego z uwzględnieniem wartości gruntu przed rozpoczęciem eksploatacji, wartości gruntu po zakończonej rekultywacji oraz z uwzględnieniem zjawiska utraty wartości pieniądza w czasie (inflacja). Wskazuje się możliwość refinansowania przez LP lub PGW uzyskanych wpłat rat czynszu dzierżawnego przez okres n lat, np. w bezpieczne obligacje Skarbu Państwa, co spełniałoby w pewnym sensie kryteria zachowań rynkowych tak strony wydzierżawiającej jak i dzierżawcy – potencjalnego przedsiębiorcy.

W tym zakresie wielkość czynszu dzierżawnego, rozumiany jako koszt uzyskania dostępu do złoża, należy określać wariantowo w zależności od potrzeb zamawiającego, danej sytuacji rynkowej i dostępu do danych, jako wielkość uzależnioną od:

- 1) wartości nieruchomości ze złożem kopaliny, w tym obszary problemowe: rodzaj kopaliny (piasek, żwir, złoża piaskowo-żwirowe), zasobność, rekultywacja, także efektywne korzyści dla Skarbu Państwa (PGW) przez powiększenie pojemności akwenów retencyjnych w wyniku wydobycia kopaliny;
- 2) wartości nieruchomości ze złożem kopaliny z uwzględnieniem okresu eksploatacji złoża (liczby lat uzyskiwania pożytków), w tym obszary problemowe: dzierżawa oznaczonych części nieruchomości zgodnie z postępem eksploatacji);
- 3) średniej rentowności działalności prowadzonej na nieruchomości.

Szczegółowe rozwiązania wymagają dyskusji na szerszym forum, np. podczas organizowanych konferencji branżowych. Dyskusja taka powinna objąć nie tylko zasady i metodologię postępowania w szacowaniu wielkości czynszów dzierżawnych, ale także identyfikację i kryteria oceny ryzyk związanych z prowadzonymi bądź planowanymi przedsięwzięciami górnictwymi. Chodzi tu o zagrożenia: pożarowe, powodziami, okresy wyłączenia rzek z żeglugi w okresie zimowym, także o zagadnienia ochrony ekosystemów rzeka/wyrobisko itp.

Istotnym głosem w dyskusji, może się wydawać fakt, że w przypadku wyceny nieruchomości, przyjęcie określonego sposobu wyceny uzależnione jest od celu wyceny. Istnieje pewien pogląd w dotyczący wywłaszczeń, że suma wartości zobowiązań umownych i ograniczonych praw rzeczowych, co do zasady nie powinna przekraczać wartości rynkowej nieruchomości, gdyż racjonalnie działający inwestor nie zapłaci za nieruchomość więcej jak mógłby nabyć inny grunt o podobnych cechach.

Wydaje się, że podobna zasada powinna dotyczyć także nieruchomości dzierżawionych od LP czy PGW, gdyż jak wskazano, wysokie stawki opłat rocznych jaskrawo kontrastują z cenami transakcyjnymi gruntów rolnych ze złożami kruszyw naturalnych.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Stawki czynszu dzierżawnego należy powiązać z pożytkami/przychodami osiąganymi przez obecnych lub przyszłych dzierżawców terenów. Jest bowiem oczywiste, że stawka czynszu dla nieruchomości ze złożem kopaliny niskiej jakości, np. o punkcie piaskowym rzędu 90%, powinna być niższa niż dla złoża kopaliny pozwalającego na osiągnięcie większych przychodów, np. poprzez możliwość produkcji kruszyw przetworzonych (grysów), uzyskujących na rynku najwyższe ceny.

Należy przy tym podkreślić, że określenie wysokości czynszu uzależnionego od wartości dochodowej nieruchomości ze złożem kopaliny, wymaga specjalistycznej wiedzy i doświadczenia. Taką wiedzą dysponują m.in. Taksatorzy Złóż Kopalin skupieni w Polskim Stowarzyszeniu Wyceny Złóż, zajmujący się tematyką szacowania wartości aktywów geologiczno-górnicznych, w tym wartości złóż kopalin w oparciu o Kodeks POLVAL [13].

Jednostki organizacyjne LP czy PGW nie posiadają takich kwalifikacji i wiedzy, stąd wydaje się za wskazane, a nawet konieczne zaproponowanie takich rozwiązań ustawodawcy, dla dobra zarówno przedsiębiorców, jaki i zarządców mienia państwowego: PGW Wody Polskie czy PGL Lasy Państwowe.

LITERATURA

- [1] Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. *Kodeks cywilny* (t.j. DzU 2022.2339).
- [2] Ustawa z dnia 28 września 1991 r. *o lasach* (t.j. DzU 2022.2311).
- [3] Ustawa z dnia 21 sierpnia 1997 r. *o gospodarce nieruchomościami* (t.j. DzU 2023.344).
- [4] Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. *o ochronie gruntów rolnych i leśnych* (t.j. DzU 2022.2409).
- [5] Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. *Prawo wodne* (t.j. DzU 2022.2625).
- [6] Ustawa z dnia 12 stycznia 1991 r. *o podatkach i opłatach lokalnych* (t.j. DzU 2023.70).
- [7] Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. *Prawo geologiczne i górnicze* (t.j. DzU 2022.2687).
- [8] Rozporządzenie RM z dnia 28 grudnia 2017 r. *ws. wysokości jednostkowych stawek opłaty rocznej za użytkowanie gruntów pokrytych wodami* (j.t. DzU 2022.2438),

- [9] Rozporządzenie RM z dnia 6 grudnia 1994 r. ws. *szczegółowych zasad gospodarki finansowej w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe* (DzU 1994.134.692).
- [10] Zarządzenie DGLP Nr 77 z dnia 1 grudnia 2009 r. ws. *wprowadzenia wytycznych kształtowania stawek czynszu za dzierżawę gruntów na potrzeby eksploatacji kopalni* (ZS-P-210/20/2009).
- [11] Zarządzenie PPGWP Nr 34 z dnia 7.06.2022 r. ws. *zmiany Procedur gospodarowania mieniem Skarbu Państwa będącym we władaniu Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej*.
- [12] Obwieszczenie MKiŚ z dnia 3 listopada 2022 r. ws. *stawek opłat na rok 2023 z zakresu przepisów Prawa geologicznego i górniczego* (MP 2022.1080).
- [13] Kodeks Wyceny Złóż Kopalni POLVAL, Kraków 2021.

LEASE RATES FOR STATE FORESTS AND POLISH WATERS LANDS UNDER CURRENT MARKET CONDITIONS

In this paper we discuss the legal forms of property ownership and the currently applied principles of calculating fees for the use of properties with deposits by the State Treasury represented by the State Forests National Forest Holding and the State Water Holding Polish Waters. The rules for determining lease rates described in legal provisions were analyzed in terms of the conditions under which entrepreneurs conducting mineral extraction from deposits operate. The increased economic uncertainty, especially the formation of demand and supply in the face of rising production costs and high investment costs, means that the level of lease rent should be based on linking the market value of the mineral property to the rate of capitalization of mining projects. An attempt to describe this was made in this paper with full awareness of the issue of determining the market value of properties that are subject to transaction restrictions by the civil law.

Daniel SARAMAK
Dariusz FOSZCZ
Damian KRAWCZYKOWSKI
Tomasz GAWENDA
Aldona KRAWCZYKOWSKA

AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami

INNOWACJE W GÓRNICTWIE W ŚWIETLE AKTUALNYCH BADAŃ NAUKOWYCH

W artykule przedstawiono problem innowacji w branży górniczej analizowany poprzez prowadzone projekty badawcze i działalność publikacyjną. Przedstawiono ogóle cele, wspólne dla wybranych typów programów badań finansowanych ze środków krajowych i międzynarodowych. Dokonano też analizy publikacji naukowych dotyczących nowych rozwiązań w górnictwie, które zostały zarejestrowane w bazie publikacji Web of Science.

1. WSTĘP

Branża surowcowa w swoim obszarze zainteresowań i działalności skupia przedsiębiorstwa zajmujące się rozpoznawaniem, pozyskiwaniem i przetwarzaniem surowców mineralnych, a także uzyskiwaniem użytecznych produktów końcowych, wraz z utylizacją i recyklingiem materiałów odpadowych.

Stale zwiększający się popyt na surowce mineralne, wyczerpywanie się dotychczasowych złóż, skomplikowana sytuacja makro i mikroekonomiczna, stawiają nowe wymagania dla branży górniczej, m.in. pod względem wyższej wydajności, efektywniejszej technologii pozyskiwania i przetwarzania, optymalizacji kosztów oraz obniżenia uciążliwości środowiskowej [1]. Na krajowych i zagranicznych sympozjach i konferencjach dotyczących górnictwa, można usłyszeć w zasadzie zgodny głos świata nauki i przemysłu, że kierunki rozwoju branży surowcowej powinny dotyczyć takich kluczowych aspektów jak: technologia, ekonomia oraz ekologia, poprzez wprowadzanie odpowiednich innowacji produktowych i procesowych.

Według danych GUS aktywność innowacyjną w latach 2019–2021 wykazało 26,3% przedsiębiorstw przemysłowych i 22,2% usługowych. Z kolei nakłady na działalność inwestycyjną w roku 2021 w tych przedsiębiorstwach wyniosły odpowiednio 19 041,5

oraz 22 348,6 mln PLN [5]. Łączny udział wartości sprzedaży innowacyjnych produktów w przychodach ogółem przedsiębiorstw przemysłowych wyniósł 8,9%. W porównaniu z okresem 2018–2020 oznacza to spadek, gdyż wtedy odpowiednio 31,4% przedsiębiorstw przemysłowych i 30,8% usługowych wykazywało działalność innowacyjną. Co jest jednak istotne; dwie najbardziej innowacyjne branże, to górnictwo ropy naftowej i gazu ziemnego z 75% innowacyjnych firm oraz węgla kamiennego i brunatnego – 68,8%. Warto podkreślić, że w strukturze przedsiębiorstw przemysłowych według działów PKD branża górnicza, obejmująca wydobywanie węgla, górnictwo ropy naftowej i gazu ziemnego oraz pozostałe górnictwo i przemysł wydobywczy obejmuje około 2,2% ogółu przedsiębiorstw.

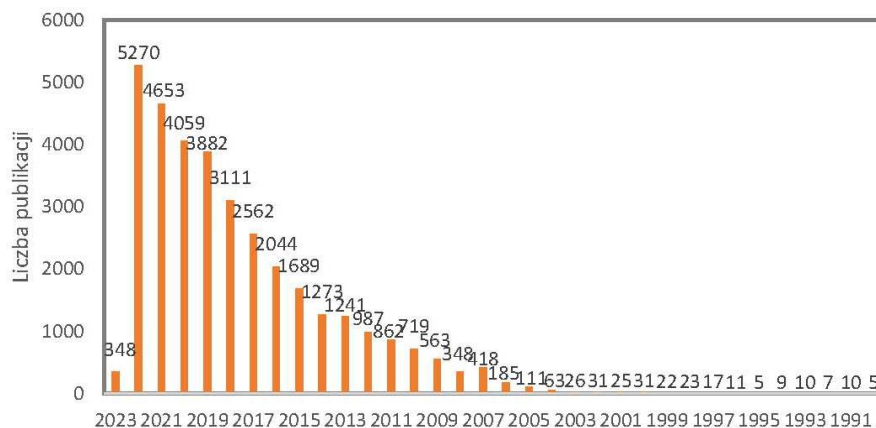
Działalność innowacyjna wiąże się z koniecznością pozyskiwaniem na ten cel środków, czy to z zasobów wewnętrznych firmy czy też ze źródeł zewnętrznych. Drugie źródło wydaje się być bardziej popularniejsze i realizowane jest poprzez wiele programów wsparcia mających na celu rozwój innowacyjności. Tymi programami zarządzają krajowe i międzynarodowe organizacje rządowe i pozarządowe, które w ramach konkursów ogłaszają nabory do dedykowanych działań. Mnogość tych instytucji i samych programów czyni niemożliwym przedstawienie bardziej szczegółowego zestawienia. Podkreślenia wart jest natomiast fakt, że są to zwykle projekty badawcze, rozwojowe, inwestycyjne, a najczęściej łączące w sobie elementy badań i rozwoju (B+R), których operatorami są powołane agencje rządowe, NGO lub sektor prywatny. Z drugiej strony bardzo miarodajnymi efektami, wynikającymi z innowacji są publikacje naukowe. Opracowania, raporty itp., prezentujące osiągnięcia, nowe idee, rozwiązania technologiczne oraz wdrożenia przyczyniające się do rozwoju branży górniczej.

W artykule podjęto próbę analizy przedmiotowego problemu poprzez ocenę ilościowo-jakościową publikacji naukowych dotyczących innowacji w górnictwie, zarejestrowanych w bazie Web of Science oraz głównych celów, które stawiane są w projektach naukowo-badawczych realizowanych w kraju i na świecie.

2. ANALIZA BIBLIOMETRYCZNA

Badania literaturowe w tym zakresie wskazują na ogromną liczbę publikacji naukowych związanych z innowacjami w górnictwie. Wykorzystując metodę analizy bibliometrycznej dokonano analizy artykułów zarejestrowanych w bazie Web of Science (WoS), jednej z najważniejszych baz naukowych na świecie [6]. Jako kryterium wyszukiwania przyjęto dwa słowa kluczowe: „mining” i „innovation”, otrzymując 34 674 rekordy (stan na dzień 10.02.2023 r.).

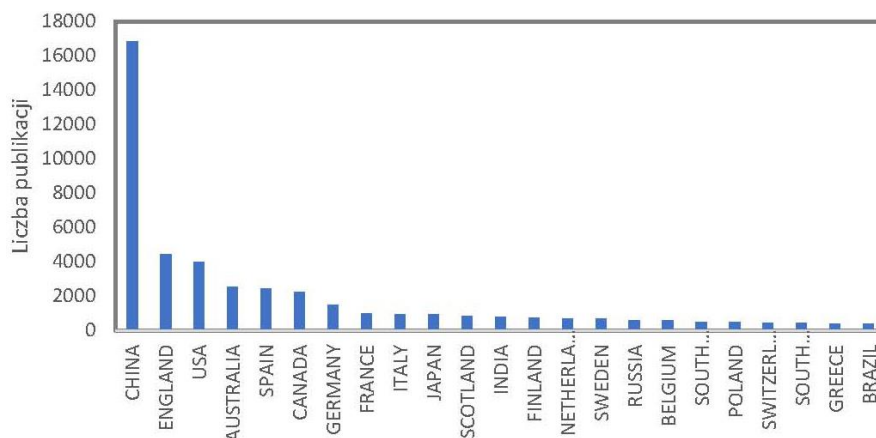
Analiza ilości publikacji w poszczególnych latach (rys. 1) wskazuje, że znaczący przyrost publikacji naukowych dotyczących innowacji w górnictwie nastąpił począwszy od około 2005 roku, przy czym w ostatniej dekadzie zaobserwować można szczególnie gwałtowny przyrost.



Rys. 1. Liczba publikacji w poszczególnych latach
 Fig. 1. Number of publications in individual years

Wśród krajów z najwyższą liczbą publikacji dominują Chiny (rys. 2). Stąd pochodzi prawie połowa publikacji zarejestrowanych w WoS. Polska z dorobkiem 478 publikacji, stanowiącym 1,38% wszystkich publikacji w bazie WoS z analizowanej tematyki, zajmuje 19. miejsce.

Analiza jednostek i agencji finansujących badania naukowe, na które dokonywano powołań w publikacjach została dokonana na podstawie danych wg tab. 1, przedstawiającej 20 jednostek finansujących, dzięki którym powstało najwięcej publikacji. Na czele znajduje się National Natural Science Foundation Of China, na którą powoływania znalazły się w prawie 30% publikacji.



Rys. 2. Liczba publikacji w poszczególnych krajach
 Fig. 2. Number of publications in individual countries

Tabela 1. Jednostki finansujące badania
Table 1. Funding agencies

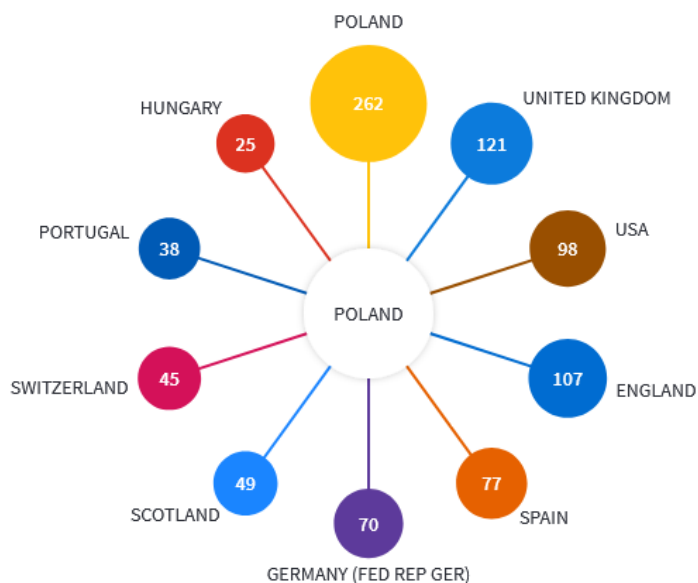
Jednostka sponsorująca badania	Kraj	Udział [%]
National Natural Science Foundation of China	Chiny	29,65
UK Research Innovation	UK	11,87
European Commission	EU	6,08
Fundamental Research Funds for the Central Universities	Chiny	4,56
Engineering Physical Sciences Research Council	UK	4,14
Spanish Government	Hiszpania	3,95
Natural Environment Research Council	UK	3,24
Ministry of Science and Innovation Spain	Hiszpania	3,11
Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada	Kanada	3,02
China Postdoctoral Science Foundation	Chiny	2,56
Australian Government	Australia	2,52
Department of Industry Innovation and Science	Australia	2,42
National Key Research and Development Program of China	Chiny	2,32
National Science Foundation	USA	2,22
Biotechnology and Biological Sciences Research Council	UK	1,99
Postgraduate Research Practice Innovation Program of Jiangsu Prov.	Chiny	1,92
Canada Foundation for Innovation	Kanada	1,79
National Basic Research Program of China	Chiny	1,70
National Key R D Program Oof China	Chiny	1,70
Medical Research Council UK	UK	1,59

Tabela 2. Najczęściej publikujące jednostki krajowe
Table 2. Top publishing domestic entities

Jednostka	Udział [%]
Wrocław University of Science and Technology	16,53
AGH University of Science and Technology	14,02
Polish Academy of Sciences	14,02
Centre national de la recherche scientifique CNRS	12,55
UK Research Innovation UKRI	9,83
University of Warsaw	9,83
University of California System	9,62
University of London	9,62
University of Oxford	9,20
Udice French Research Universities	8,99
Consejo Superior de Investigaciones Cientificas	8,37
Silesian University of Technology	8,37
Science Technology Facilities Council STFC	8,16
STFC Rutherford Appleton Laboratory	8,16
University of Liverpool	7,32

Dokonano także syntetycznej analizy stu jednostek z najwyższą liczbą powołań. Wśród instytucji finansującej badania dominują jednostki z Chin (38 rekordów), na kolejnym miejscu znalazła się Wielka Brytania z 11 jednostkami, następnie Unia Europejska (7), Hiszpania i USA (po 5), Kanada i Japonia (po 4), Australia i Brazylia (po 3), Finlandia, Niemcy, Szwecja, Hong-Kong (po 2) oraz 6 innych krajów europejskich, po 2 kraje z Ameryki Południowej, i Azji, jedna z Afryki i z Nowej Zelandii. Dokonana została też analiza publikacji krajowych ze względu na afiliację (tab. 2). Liderem w tej klasyfikacji jest Politechnika Wroclawska z udziałem procentowym 16,53%, na 2-gim miejscu AGH oraz Polska Akademia Nauk z 14,02%.

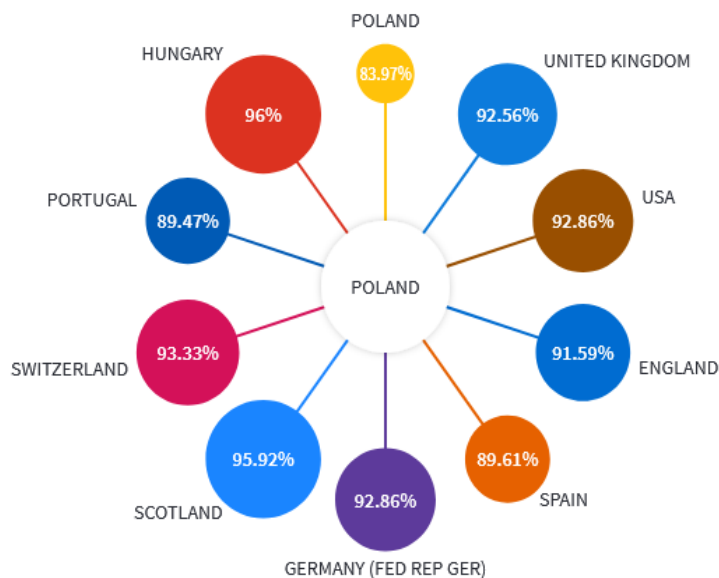
Przedstawione udziały procentowe nie sumują się do 100%, gdyż konkretny artykuł może być współautorstwa naukowców z różnych jednostek. Przykładowo, jeśli artykuł jest współautorstwa naukowców z dwóch różnych jednostek, to zalicza się on na poczet obu jednostek. Dlatego łączna liczba udziałów przekracza 100%. Pojawiły się także uczelnie zagraniczne, mimo iż klasyfikacja dotyczy Polski. Jest to powodowane tym, że przykładowy autor deklarujący uczelnię polską jako główne miejsce zatrudnienia mógł przebywać na stażu naukowym, lub prowadził inną formę współpracy z zagraniczną jednostką naukową, a podczas tej współpracy powstał artykuł afiliowany za granicą. Analizując wyniki z tabeli 2, można zauważyć, że współpraca międzynarodowa w zakresie badań nad innowacjami w górnictwie jest zauważalna. Aby ten aspekt dokładniej przeanalizować dokonano weryfikacji współpracy międzynarodowej jaka odbywa się pomiędzy Polską a innymi krajami.



Rys. 3. Współpraca międzynarodowa z perspektywy Polski – liczba publikacji
 Fig. 3. International cooperation from perspective of Poland – number of publications

Na rysunku 3 przedstawiono współpracę międzynarodową z perspektywy Polski oraz kraje w wyniku współpracy, z którymi powstało najwięcej publikacji. Jak widać – współpraca międzynarodowa odbywa się głównie z krajami europejskimi, jednakże Stany Zjednoczone znajdują się na drugim miejscu ze względu na liczbę wspólnych publikacji.

Publikacje powstałe we współpracy międzynarodowej Polski i innych krajów są dobrze postrzegane w środowisku naukowym, o czym świadczy ich cytowalność. Na rysunku 4 przedstawiono odsetek cytowanych publikacji będących rezultatem konkretnej współpracy międzynarodowej, w odniesieniu do wszystkich publikacji powstałych w wyniku tej współpracy.



Rys. 4. Współpraca międzynarodowa z perspektywy Polski – procent cytowanych publikacji
Fig. 4. International cooperation from perspective of Poland – percentage of cited publications

W tabeli 3 przedstawiono najczęściej pojawiające się kategorie i obszary badawcze według klasyfikacji prowadzonej przez bazę Web of Science. Analizując wyniki można zauważyć, że najczęściej dominują dziedziny wykazujące bezpośrednie lub pośrednie powiązania z branżą informatyczną (6 kategorii) oraz ochroną środowiska (4). Inne istotne obszary to: chemia, technologia przeróbki oraz zarządzanie. W wyszczególnionych kategoriach pojawia się także inżynieria materiałowa oraz aspekty geologiczne jako obszary innowacji w górnictwie. Uzyskane wyniki są zbieżne z obserwowanymi trendami, w których sukcesywnie na znaczeniu zyskują kwestie środowiskowe, potrzeba zwiększenia efektywności i optymalizacji produkcji górniczej a także coraz powszechniej stosowana informatyzacja i digitalizacja w górnictwie.

Tabela 3. Jednostki finansujące badania
Table 3. Funding agencies

Jednostka	Udział, [%]
Computer Science Information Systems	10,62
Environmental Sciences	10,62
Computer Science Artificial Intelligence	10,48
Engineering Electrical Electronic	8,64
Computer Science Theory Methods	7,24
Materials Science Multidisciplinary	5,79
Mining Mineral Processing	5,41
Energy Fuels	4,97
Geosciences Multidisciplinary	4,91
Computer Science Interdisciplinary Applications	4,79
Engineering Chemical	4,19
Engineering Environmental	3,74
Geochemistry Geophysics	3,49
Management	3,44
Telecommunications	3,34
Multidisciplinary Sciences	2,89
Engineering Civil	2,85
Green Sustainable Science Technology	2,67
Chemistry Multidisciplinary	2,59
Engineering Multidisciplinary	2,56

3. KIERUNKI BADAŃ NAUKOWYCH

Instytucje, inicjatywy i różnorodne programy wsparcia, którymi głównym zadaniem jest finansowanie badań naukowych są aktywne zarówno w skali lokalnej, krajowej, jak i międzynarodowej. Autorzy zwracają uwagę na programy międzynarodowe, gdyż w ich ramach, poprzez dedykowane konkursy, dostępne są do uzyskania znacznie większe środki. Pociąga to za sobą jednak zbudowanie silnego międzynarodowego konsorcjum łączącego jednostki badawcze, przemysłowe i edukacyjne, zawierającego członków z kilku lub kilkunastu krajów. W zależności od instytucji finansującej, priorytetem mogą być wspierane odmienne obszary i sektory.

W obszarze badań dotyczących surowców sformułować można szereg strategicznych celów i uwarunkowań, których spełnienie jest szczególnie istotne i premiowane przez instytucję finansującą te badania. Kluczowymi problemami są najczęściej postępujące wyczerpywanie się dotychczas eksploatowanych złóż i obniżająca się jakość kopalin, wysoka energochłonność procesów pozyskiwania i przetwarzania surowca, powstająca duża ilość odpadów oraz degradacja środowiska naturalnego przez dzia-

łałność górnictw. Istotnym efektem innowacyjnym są moŹliwoŹci zwiększenia produktywnoŹci i stymulacja rozwoju przedŹiembiorczoŹci poprzez tworzenie nowym miejsc pracy. Efektem są nowe firmy i start-upy, nowe kierunki edukacyjne, produkty i technologie itp.

Proces przejŹcia od złoŹa do produktu końcowego składa się z wielu etapów, w zaleŹnoŹci od typu surowca i stosowanej technologii, dlatego moŹna rozpisac bardziej lub mniej szczególowo główny uwarunkowania, dzielac je na cele strategiczne, taktyczne i operacyjne [3]. Jednak nadrzędną ide wydaje się byc wzmocnienie konkurencyjnoŹci i atrakcyjnoŹci szerokiego sektora związanego z surowcami mineralnymi poprzez innowacyjnoŹc i przedŹiembiorczoŹc. Surowce są niezmiennie postrzegane jako główny potencjał gospodarczy, niezaleŹnie od rozpatrywanej skali, tj. gospodarki krajowej lub międzynarodowej (np. europejskiej). Cele wynikające z takiego podejŹcia obejmują:

- tworzenie i rozwój nowych podmiotów gospodarczych,
- zwiększenie roli sektora surowcowego poprzez wprowadzanie na rynek nowych surowców i inwestycje w nowe jednostki produkcyjne,
- integracj systemu oraz tworzenie nowych partnerstw poprzez łańcuchy wartoŹci z wykorzystaniem innowacyjnych rozwiązań i inteligentnego projektowania produktu,
- tworzenie nowych form edukacji przedŹiembiorczoŹci zaspokajających potrzeby rozwojowe absolwentów i profesjonalistów sektora surowcowego w celu zwiększenia wydajnoŹci przeniesienia pomysłów do rozwiązań biznesowych i tym samym udział w rozwoju przemysłu kosztowo i zasobooszczędnego.

Kolejnymi kluczowymi obszarami badañ są kwestie wynikające z typu danej branŹy surowcowej oraz etapu w łańcuchu wartoŹci produktu. Obejmują one w szczególowoŹci rozpoznanie i eksploatacj złoŹ, optymalne wykorzystanie materiałów i recykling, substytucj materiałów toksycznych i krytycznych oraz tworzenie nowych produktów i usług dla efektywnego wdraŹania gospodarki obiegu zamknietego. Projekty badawcze w zaleŹnoŹci od ich przeznaczenia i zamierzonego do osiągnięcia efektu mogą dotyczyc budowania sieci badawczych pomiędzy jednostkami badawczo-naukowymi, przemysłowymi i edukacyjnymi, będącymi serwisem informacji i obejmującymi dostęp do wspólny sieci laboratoriów, badañ, pomysłów i innych rozwiązań. Projekty wspierające rozwój technologii mają na celu rozwijanie produktów, usług lub innych rozwiązań w celu umoŹliwienia im wejŹcia na rynek i pełnowymiarowego na nim funkcjonowania jako biznesowy produkt lub usługa. Dotyczy to takŹe wdraŹania technologii w nowych obszarach. W obszarze edukacji celem jest tworzenie kursów, kierunków studiów, seminariów, warsztatów itp., mających na celu ksztalcenie specjalistów w zakresie surowców.

Ksztalcenie ustawiczne to kolejne działanie, dedykowane sektorowi przemysłowemu i przedŹiembiorstwom. Rozwijanie ŹwiadomoŹci w społeczeñstwie na temat istotnej roli surowców w Źyciu i gospodarce, informowanie i komunikowanie w celu rozwijaniu większej ŹwiadomoŹci społecznej i transparentnoŹci w działaniu branŹy

górnictwej to z kolei działanie dedykowane szerszemu społeczeństwu, którego członkowie nie mają do czynienia na co dzień w przemyśle surowcowym.

Analizując cele wybranych programów badawczych w zakresie górnictwa można wyróżnić szereg wspólnych priorytetów, które można zgrupować w trzy strategie działania:

- a) digitalizacja procesów górniczych i przeróbczych,
- b) zrównoważone górnictwo,
- c) gospodarka odpadami.

Jest to zbieżne z kierunkami rozwoju branży, o których była mowa w rozdziale pierwszym, kładącymi nacisk na ekologię i technologię. Zrównoważone górnictwo dotyczy zastosowania nowych technologii i produktów skutkujących efektywniejszym odzyskiem składnika użytecznego z nadawy (np. w przeróbce rud metali) lub otrzymaniem produktu o poprawionych charakterystykach jakościowych, np. bardziej jednorodny produkt pod względem wielkości, kształtu itp. (produkcja kruszyw). Zrównoważone górnictwo oznacza też ograniczenie powstawania materiału odpadowego lub nawet produkcję bezodpadową, niskoemisyjną, efektywną energetycznie i z możliwie najniższym negatywnym oddziaływaniem na środowisko naturalne i społeczeństwo.

Konkretne działania zmierzające do osiągnięcia założonych celów strategicznych koncentrują się wokół optymalizacji prowadzonej działalności, właściwej gospodarki zasobami, bezpieczeństwa pracy, zapewnienia łańcuchów dostaw surowców oraz rozwijaniu nowych modeli biznesowych.

Optymalizacja działalności dotyczy takiego prowadzenia całego procesu górniczo-przeróbczego, aby zmaksymalizować jego ogólną efektywność przy utrzymaniu minimalnego negatywnego oddziaływania na środowisko i optymalne wykorzystanie zasobów osobowych i surowcowych poprzez automatyzację procesów [2], [4]. Gospodarka zasobami obejmuje kwantyfikację i pełne rozpoznanie złóż w celu określenia ich zyskowności i opłacalności a także ponowne wykorzystanie odpadów i recykling.

Z ekonomicznego punktu widzenia implementacja technik poprawiających odzysk składnika użytecznego z nadawy wydaje się przynosić najbardziej wymierne rezultaty. O ile problematyczne wydaje się wynalezienie całkiem nowej technologii separacji materiału użytecznego od skały płonnej, to wciąż nowe możliwości mogą się otwierać w badaniach nad aktualnie stosowanymi metodami wzbogacania. Rozwój technik pomiarowych i analitycznych oraz powstawanie coraz czulszych detektorów pracujących w szerokich zakresach pomiarowych, pozwala na uzyskanie coraz bardziej szczegółowych charakterystyk ilościowo-jakościowych nadawy i produktów.

4. PODSUMOWANIE

Tematyka przedstawiona w artykule dotyczyła problemów rozwoju branży górniczej w aspekcie prowadzonych badań naukowych. Temat ten jest niezwykle istotny

z uwagi na to, iż surowce mineralne są wykorzystywane w wielu branżach gospodarki i są niezbędnym surowcem w sektorze produkcyjnym i przetwórczym.

Innowacje w branży górniczej przyczyniają się przede wszystkim do bardziej efektywnego wykorzystania zasobów, które są ograniczone i powoli ulegają wyczerpaniu. Wpływają też na obniżenie kosztów pozyskiwania i przerobu poprzez wdrażanie nowych technologii i udoskonalanie istniejących, co czyni branżę bardziej konkurencyjną. Nie bez znaczenia jest też fakt wpływu na środowisko i działań podejmowanych w celu ograniczenia szkodliwych emisji do atmosfery.

Temat innowacji w górnictwie jest szerokim zagadnieniem i nie został w artykule wyczerpany. Autorzy skupili się głównie na działalności badawczo-naukowej i związanych z nią programów badań. Nie omawiano działalności wynalazczej w ramach opracowanych patentów, wzorów i nowych wynalazków, nie zagłębiano się także w działalność edukacyjną, która jest także istotna, gdyż jej skutki mają charakter długofalowy i dotyczą szerszej grupy społeczeństwa.

Artykuł powstał w wyniku realizacji projektu nr 101091885 "A Holistic Digital Mine 4.0 Ecosystem" (akronim mine.io), finansowanego przez *European Health and Digital Executive Agency* w ramach konkursu HORIZON Innovation Actions, działanie: HORIZON-CL4-2022-RESILIENCE-01-06.

LITERATURA

- [1] HODOUIN D., JÄMSÄ-JOUNELA S-L., CARVALHO M.T., BERGH L., *State of the art and challenges in mineral processing control*, Control Engineering Practice, 2001, Vol. 9, No. 9, 995–1005.
- [2] KRUCZEK P., GOMOLLA N., HEBDA-SOBKOWICZ J., MICHALAK A., ŚLIWIŃSKI P., WODECKI J., STEFANIAK P., WYŁOMAŃSKA A., ZIMROZ R., *Predictive maintenance of mining machines using advanced data analysis system based on the cloud technology*. Proceedings of the 27th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection – MPES 2018, 2019, 459–470.
- [3] SISHI M., TELUKDARIE A., *Implementation of Industry 4.0 technologies in the mining industry – a case study*, International Journal of Mining and Mineral Engineering, 2020, Vol. 11, No. 1, 1–22.
- [4] TUBIS A., WERBIŃSKA-WOJCIECHOWSKA S., ŚLIWIŃSKI P., ZIMROZ R., *Fuzzy Risk-Based Maintenance Strategy with Safety Considerations for the Mining Industry*, Sensors, 2022, Vol. 22, No. 2, p. 441.
- [5] Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl>
- [6] Web of Science Database, www.webofscience.com

INNOVATIONS IN MINING SECTOR IN THE LIGHT OF RECENT INVESTIGATIONS

The article presents the problem of innovation in the mining industry, analyzed through investigative projects and publishing activities. General objectives common to selected types of research programmes financed from domestic and international funds were presented. An analysis of scientific publications on new solutions in mining, which were registered in the Web of Science publication database, was also carried out.

Daniel SARAMAK
Tomasz GAWENDA
Agnieszka SARAMAK

AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami

MODELE EMISJI WYBRANYCH ZANIECZYSZCZEŃ PYŁOWYCH I GAZOWYCH DLA KRUSZAREK

W artykule przedstawiono modele wykorzystywane do oceny emisji wybranych typów zanieczyszczeń gazowych i pyłowych dla kruszarek. Modele te pozwalają na obliczenie emisji silnika zasilającego kruszarkę dla NO_x , HC, CO oraz pyłów PM10. Przedstawiona została szczegółowa metodyka stosowania tych modeli emisji oraz dokonano oceny i weryfikacji modeli dla emisji NO_x , HC oraz pyłów z danymi pomiarowymi. Uzyskane wyniki wskazują na dużą zgodność modeli dla emisji NO_x oraz mniejszą dokładność dla zanieczyszczeń pyłowych i HC.

1. WSTĘP

Działalność szeroko pojętej branży surowcowej cechuje się wysoką energochłonnością, wynikającą z zastosowania szeregu operacji technologicznych o dużym zapotrzebowaniu energetycznym, koniecznych w całym łańcuchu wartości produkcji. Na etapie przerobczym głównym obszarem ogromnego zapotrzebowania energetycznego są procesy rozdrabniania, które są niezbędne do uzyskania produktu o określonym składzie ziarnowym i spełniającym zadane wymogi jakościowe. Według różnych źródeł przemysłowe operacje pomniejszania nadawy są odpowiedzialne za 1–2% światowego zużycia energii elektrycznej. Operacje kruszenia odznaczają się także wysokim stopniem uciążliwości dla środowiska i człowieka z powodu emisji dwutlenku węgla do atmosfery, który jest jednym z produktów ubocznych procesu wytwarzania energii, emisji zapylenia oraz emisji innych związków gazowych (np. NO_x , CO, HC), hałasu i innych. W wyniku tych emisji obniża się jakość powietrza atmosferycznego, co skutkuje pogorszeniem warunków życia ludzi mieszkających w pobliżu zakładów przemysłowych. Do norm i poziomów emisji do atmosfery odnosi się szereg aktów prawnych krajowych i międzynarodowych. W ustawodawstwie krajowym jest to przede wszystkim ustawa [8] oraz rozporządzenie [3]. Na poziomie UE należy wspomnieć dyrektywy [1, 2]. Wszystkie te akty definiują zarówno nor-

matywne poziomy poszczególnych typów zanieczyszczeń, jak i kładą nacisk na ich redukcję (zwłaszcza akty UE).

W artykule zwrócono uwagę na występujące emisje do atmosfery wybranych typów zanieczyszczeń pyłowych i gazowych przez kruszarki. Omówione zostały modele emisji opracowane przez Amerykańską Agencję ds. Ochrony Środowiska i dokonana została ich weryfikacja.

2. METODYKA I BUDOWA MODELU OGÓLNEGO

Emisja do środowiska zanieczyszczeń pyłowych i gazowych przez kruszarki obejmuje zasadniczo dwa źródła. Pierwszym z nich jest silnik urządzenia, drugim natomiast skutek przerobu materiału w komorze roboczej kruszarki. W przypadku pracy silnika można mówić o emisjach związków gazowych i pyłów zawartych w spalinach, a emisja z drugiego źródła obejmuje głównie pyły. Oprócz wymienionych wyżej mamy do czynienia z emisją hałasu i ciepła.

Tabela 1. Kategorie niedrogowych urządzeń według różnych klasyfikacji [4]

Table 1. Non-road equipment according to various categories [4]

Europa, EEA	US Nonroad	California Offroad
– urządzenia w przemyśle przetwórczym i budowlanym	– sprzęt rolniczy	– budownictwo, przemysł, wiertnictwo
– mieszkalnictwo	– sprzęt w przemyśle lotniczym	– transport
– niedrogowe urządzenia wolnobieżne w rolnictwie/leśnictwie	– budownictwo	– rolnictwo
	– mieszkalnictwo	– chłodnictwo
	– przemysł naftowy	– pojazdy rekreacyjne
	– górnictwo	– mieszkalnictwo

Kruszarki zaliczane są do urządzeń „niedrogowych”, tj. takich, których główną funkcją nie jest przemieszczanie się po przeznaczonych do tego drogach (*non-road vehicles*) i emisja będąca jednym z efektów ich pracy jest skategoryzowana jako „non-road emission”, czyli emisja spowodowana przez urządzenia nie będące pojazdami drogowymi [7]. Kruszarki ujęte są w kategorii „Crushing/Processing Equipment”. Klasyfikacja urządzeń typu „non-road vehicles” nie jest jednorodna i różni się w zależności od regionu świata [4] (tab. 1).

W opracowanych modelach emisja uzależniona jest od typu i wielkości silnika. Na te potrzeby wyróżnione są następujące typy: silniki benzynowe (2-suwowe i 4-suwowe), silniki Diesla, silniki zasilane gazem płynnym LPG oraz silniki zasilane gazem ziemnym CNG. Ze względu na wielkość silnika, wyróżnia się następujące klasy silników, uzależnione od mocy [6] (tab. 2).

Tabela 2. Klasy silników ze względu na moc
Table 2. Engine classes according to the power

Klasa mocy silnika	Zakres mocy [KM]	Średni czas pracy (Diesel)
HP1	>16	2500
HP2	16–25	2500
HP3	25–50	2500
HP4	50–100	4667
HP5	100–175	4667
HP6	175–300	4667
HP7	300–600	7000
HP8	600–750	7000
HP9	>750	7000

Emisja do atmosfery według modelu NONROAD [5] opracowanego przez Amerykańską Agencję ds. Ochrony Środowiska (EPA), wyraża się wzorem:

$$Emisja = N \cdot P \cdot LF \cdot h \cdot E_j \quad (1)$$

gdzie:

N – liczba urządzeń,

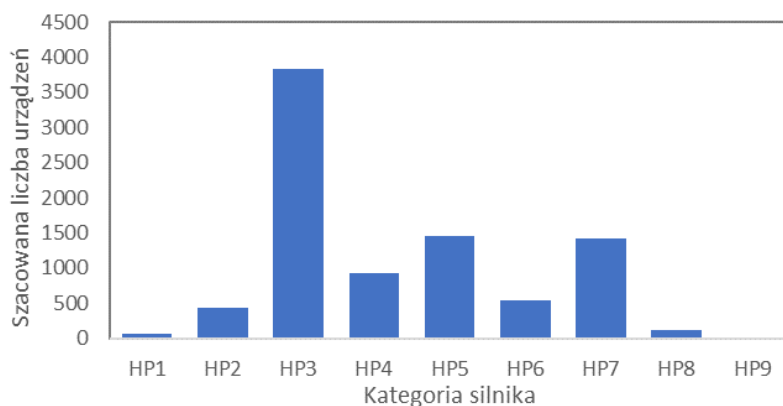
P – moc urządzenia [KM],

LF – wskaźnik obciążenia silnika,

h – liczba godzin pracy w ciągu roku,

E_j – emisja jednostkowa danego typu zanieczyszczenia [g/(KM*h)].

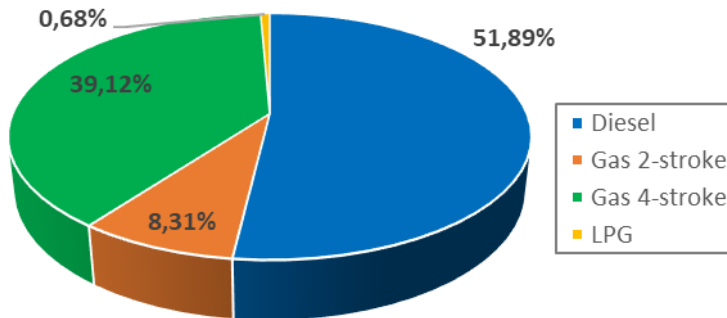
Oszacowanie całkowitej liczby operatywnych kruszarek jest zadaniem bardzo trudnym. W przyjętej metodyce oszacowano ją na około 17 000 urządzeń [7], z zastrzeżeniem, że liczba ta może nie obejmować wszystkich maszyn. Oszacowanie całkowitej



Rys. 1. Szacowana liczba kruszarek w poszczególnych klasach mocy [7]

Fig. 1. Estimated engine population according to power classes [7]

liczby kruszarek opiera się na historycznych danych produkcyjnych i sprzedażowych, pozyskiwanych przez EPA z różnych źródeł, jednakże dane te nie są do końca kompletne, zwłaszcza dla obszarów rozwijających się oraz dla starszych typów urządzeń. Biorąc pod uwagę wzrost gospodarczy na świecie w ostatniej dekadzie oraz tempo rozwoju światowych potęg górniczych można zakładać, że liczba ta może aktualnie oscylować w przedziale od 20 000 do nawet 30 000. Szczegółowe dane z podziałem na urządzenia z silnikiem Diesla oraz pozostałe (benzyna, LPG, CNG) przedstawiono na rys. 1 i 2 [7].



Rys. 2. Udział procentowy poszczególnych typów silników [7]

Fig. 2. Percentage share of individual types of engines [7]

Średni czas pracy kruszarki oraz wskaźniki obciążenia silnika w zależności od jego typu są przedstawione w tab. 3.

Tabela 3. Klasy silników ze względu na moc
Table 3. Engine classes according to the power

Typ silnika	Wskaźnik obciążenia, LF	Czas pracy, [h/rok]
Diesel	0,43	955
Benzyzna 2-suwowy	0,85	241
Benzyzna 4-suwowy	0,85	241
Gaz LPG	0,85	241
Gaz ziemny CNG	0,85	241

3. MODELE EMISJI DLA NO_x, HC, CO i PM10

Rodzaj danej emisji (E_j) występujący we wzorze (1) oblicza się następująco:

$$E_{j(\text{HC, NO}_x, \text{CO, PM})} = E_{0(\text{HC, NO}_x, \text{CO, PM})} \cdot TAF \cdot DF \quad (2)$$

gdzie:

E_0 – emisja w stanie początkowym (nowe urządzenie),

DF – współczynnik pogorszenia,

TAF – współczynnik korygujący (dla kruszarek $TAF = 1$).

Współczynnik pogorszenia określa wzrost emisji w czasie roboczym, czyli w miarę postępującego wyeksploatowania maszyny (3).

$$DF = 1 + A \cdot AF^b \quad (3)$$

gdzie:

A – względny współczynnik pogorszenia,

B – stała, w naszym przypadku $b = 1$,

AF – wiek maszyny wyrażony jako stosunek dotychczasowego czasu pracy maszyny do jej średniego czasu pracy (patrz tab. 1). Jeżeli wartość AF we wzorze (3) jest większa od 1, czyli jeśli maszyna przekroczyła połowę średniego czasu eksploatacyjnego przewidzianego dla właściwego dla niej typu, to wzór przyjmuje postać: $DF = 1 + A$.

Emisja zanieczyszczeń w początkowym okresie użytkowania urządzenia różni się w zależności od klasyfikacji silnika według standardu TIER, oraz rodzaju zanieczyszczenia. Odpowiednie wartości zostały zamieszczone w tab. 4.

Tabela 4. Wartości E_0 w zależności od typu i klasy silnika [5]

Table 4. E_0 values in relationship to engine standard and power class [5]

Klasa mocy	Standard silnika	HC	CO	NO _x	PM10
1	2	3	4	5	6
HP1	TIER 0	1,7	5,00	8,5	0,9
	TIER 1	0,44	2,16	4,44	0,27
	TIER 2	0,44	2,16	4,44	0,27
	TIER 4A	0,54	2,08	4,04	0,21
	TIER 4B	0,31	1,36	3,74	0,13
HP2	TIER 0	1,7	5,00	8,5	0,9
	TIER 1	0,44	2,16	4,44	0,27
	TIER 2	0,44	2,16	4,44	0,27
	TIER 4A	0,54	2,08	4,04	0,21
	TIER 4B	0,31	1,36	3,74	0,13
HP3	TIER 0	1,8	5,00	6,9	0,8
	TIER 1	0,28	1,53	4,73	0,34
	TIER 2	0,28	1,53	4,73	0,34
	TIER 4A	0,42	1,38	3,91	0,16
	TIER 4FA	0,14	0,41	2,76	0,03

1	2	3	4	5	6
HP4	TIER 0	0,99	3,49	6,9	0,72
	TIER 1	0,52	2,37	5,60	0,47
	TIER 2	0,37	2,37	4,70	0,24
	TIER 4IA	0,09	0,39	2,52	0,12
	TIER 4FA	0,08	1,34	3,27	0,19
HP5	TIER 0	0,68	2,7	8,38	0,40
	TIER 1	0,34	0,87	5,65	0,28
	TIER 2	0,34	0,87	4,10	0,18
	TIER 4IA	0,04	0,20	1,98	0,03
	TIER 4IB	0,02	0,26	2,03	0,01
HP6	TIER 0	0,68	2,7	8,38	0,40
	TIER 1	0,31	0,75	5,58	0,25
	TIER 2	0,31	0,75	4,00	0,13
	TIER 4IA	0,11	1,64	2,47	0,11
	TIER 4IB	0,01	0,25	1,10	0,01
HP7	TIER 0	0,68	2,70	8,38	0,40
	TIER 1	0,20	1,31	6,02	0,20
	TIER 2	0,17	0,84	4,33	0,13
	TIER 4IA	0,11	1,64	2,47	0,11
	TIER 4IB	0,01	0,25	1,10	0,01
HP8	TIER 0	0,68	2,70	8,38	0,40
	TIER 1	0,15	1,33	5,82	0,22
	TIER 2	0,17	1,33	4,10	0,13
	TIER 4IA	0,11	1,64	2,47	0,11
	TIER 4IB	0,01	0,25	1,10	0,01
HP9	TIER 0	0,68	2,7	8,38	0,40
	TIER 1	0,29	0,76	6,15	0,19
	TIER 2	0,17	0,76	4,1	0,13
	TIER 4IA	0,07	0,15	2,22	0,04
	TIER 4IB	0,04	0,02	2,28	0,02

Wartości względnego współczynnika pogorszenia w zależności od rodzaju zanieczyszczenia i standardu TIER przedstawione są w tab. 5.

W przypadku pyłów wskaźnik emisji koryguje się o zawartość siarki w paliwie:

$$E_{J(\text{PM})} = E_{0(\text{PM})} \cdot TAF \cdot DF - S_{\text{PM}} \quad (4)$$

gdzie $E_{0(\text{PM})}$, TAF , DF – jak we wzorze (2). W praktyce wartość S_{PM} wynosi około 2%, zatem całkowitą emisję pyłów należy skorygować o tę wartość.

Tabela 5. Wartości współczynnika pogorszenia A
Table 5. Values of deterioration factor A

Rodzaj zanieczyszczenia	Standard według klasyfikacji TIER			
	TIER 0	TIER 1	TIER 2	TIER 3+
HC	0,047	0,036	0,034	0,027
CO	0,185	0,101	0,101	0,151
NO _x	0,024	0,024	0,009	0,008
PM10	0,473	0,473	0,473	0,473

Prowadzone pomiary [5] pozwoliły na ustalenie średnich wartości określonych typów emisji, w zależności od mocy silnika. Wartości przedstawione w tab. 6 opracowano na podstawie wyników dla ponad 4000 przeprowadzonych pojedynczych testów certyfikujących we wszystkich klasach mocy silników. Stosowane są one do modeli emisji poszczególnych typów zanieczyszczeń pyłowych i gazowych, zgodnie ze wzorem (2).

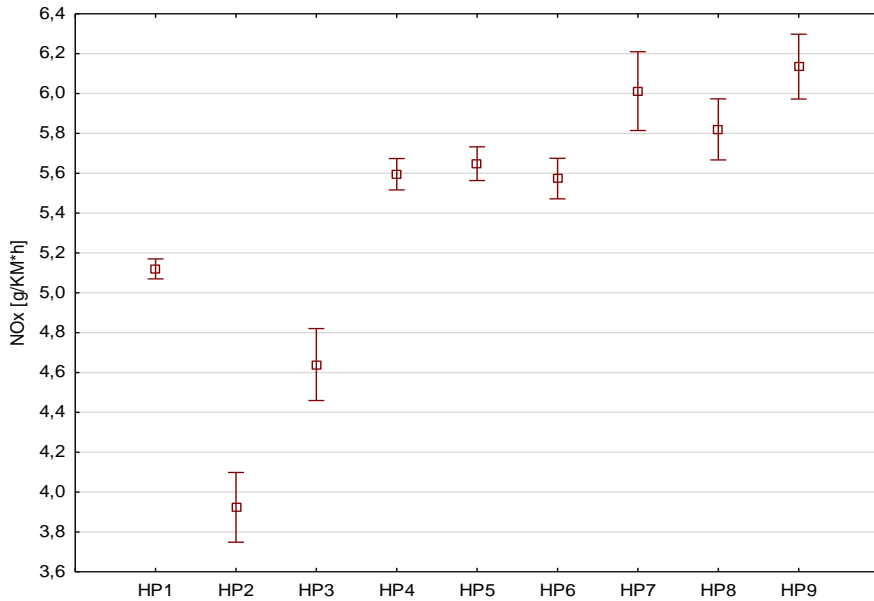
Tabela 6. Uśredniona emisja w klasach mocy silnika
Table 6. Averaged emission in individual power classes of engine

Klasa mocy silnika	Wielkość emisji [g/KM*h]			
	HC	CO	NO _x	PM10
HP1	0,760	4,113	5,122	0,447
HP2	0,469	2,161	3,930	0,266
HP3	0,474	1,532	4,641	0,339
HP4	0,521	2,365	5,599	0,473
HP5	0,338	0,867	5,652	0,280
HP6	0,308	0,748	5,577	0,252
HP7	0,202	1,306	6,015	0,201
HP8	0,147	1,327	5,822	0,220
HP9	0,286	0,764	6,153	0,193

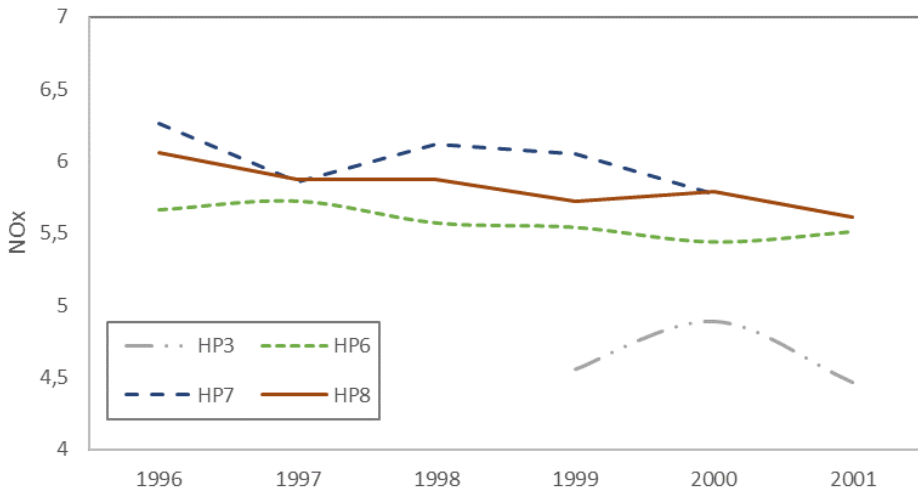
4. ANALIZA I WERYFIKACJA MODELI EMISJI

Analiza emisji NO_x w zależności od klasy mocy silnika z uwzględnieniem wartości średnich i odchyłeń standardowych przedstawiona została na rys. 3.

Analizując wyniki, można zauważyć, że wyłączwszy klasę mocy silnika HP1, emisja jednostkowa NO_x zwiększa się wraz ze zwiększaniem się mocy silnika. Analogiczna emisja w poszczególnych latach dla wybranych klas mocy silników zaprezentowana została na rys. 4. Można zauważyć, że generalnie obserwowany jest nieznaczny spadek emisji NO_x w kolejnych latach testów.



Rys. 3. Zakres emisji NO_x w zależności od klasy mocy silnika
 Fig. 3. Range of NO_x emissions in individual power classes of engines



Rys. 4. Uśredniona emisja NO_x w poszczególnych latach dla wybranych klas mocy silników
 Fig. 4. Averaged NO_x emissions in individual years in selected power classes of engines

Weryfikacja modeli emisji opisanych wzorem (2) została przeprowadzona dla osobno dla każdej klasy mocy silnika oraz dla emisji HC, NO_x oraz PM₁₀. Wyniki przedstawiono w tab. 7.

Tabela 7. Weryfikacja modeli emisji
Table 7. Verification of emission models

Klasa mocy silnika	Emisja HC		Różnica [%]	Emisja NO _x		Różnica [%]	Emisja PM10		Różnica [%]
	rzeczywista	modelowa		rzeczywista	modelowa		rzeczywista	modelowa	
HP1	0,760	0,763	0,39	5,122	5,230	2,11	0,447	0,398	12,31
HP2	0,469	0,438	6,61	3,929	4,439	12,98	0,266	0,398	33,17
HP3	0,474	0,279	41,11	4,641	4,728	1,23	0,339	0,501	32,34
HP4	0,521	0,539	3,45	5,599	5,734	2,41	0,473	0,354	33,80
HP5	0,521	0,352	32,44	5,652	5,787	2,39	0,28	0,265	5,60
HP6	0,338	0,321	5,03	5,577	5,714	2,46	0,252	0,368	31,57
HP7	0,308	0,207	32,79	6,015	6,164	2,48	0,201	0,191	4,97
HP8	0,202	0,155	23,27	5,822	5,960	2,37	0,22	0,191	14,89
HP9	0,147	0,300	51,00	6,153	6,298	2,36	0,193	0,191	0,79

Analizując wyniki zawarte w tab. 6 można stwierdzić, że największą dokładność uzyskano dla modeli emisji NO_x, gdyż różnica pomiędzy pomiarami testowymi i wartościami wyznaczonymi z modelu waha się między 1,23 a niecałe 13%, ze średnią różnicą na poziomie 3,4%. Modele emisji dla PM10 i HC wykazują o wiele niższą zbieżność z otrzymanymi wynikami podczas testów certyfikujących. Dla emisji HC różnice pomiędzy danymi empirycznymi a modelem wahają się od 0,39 do aż 51%, ze średnią 21,7% a dla emisji pyłów odpowiednio między 0,79 do 33,8%, ze średnią 18,83%.

Należy jednak zaznaczyć, że kalkulacje były wykonywane na danych uśrednionych, gdyż nie było możliwe uzyskanie dostępu do pełnych wyników z każdego przeprowadzonego testu certyfikującego, których wykonano kilka tysięcy [5]. Można zatem zauważyć, że poszczególne typy silników należy traktować indywidualnie, aby osiągnąć wyniki modelowe bliższe rzeczywistości. Poza tym istotne są także warunki pracy silnika, przestrzeganie odpowiednich norm, BHP itp., gdyż to wszystko wpływa na szybsze lub wolniejsze pogarszanie się jego parametrów eksploatacyjnych a tym samym wpływa na dynamikę zmiany emisji podczas jego żywotności.

5. PODSUMOWANIE

Przedstawiona tematyka jest istotna z punktu widzenia wpływu działalności branży surowcowej na środowisko naturalne. Na podstawie artykułu można zauważyć, że emisji zanieczyszczeń przez kruszarki jest bardzo zróżnicowana i na jej poziom wpływają zarówno typ i charakter zanieczyszczeń oraz charakterystyka silnika. Główne parametry silnika różnicujące poziom emisji danego zanieczyszczenia to typ silnika, moc, okres użytkowania oraz jego standard.

W uzupełnieniu do podanych wyników emisja zanieczyszczeń pyłowych związana z rozdrabnianiem zależy od stadium rozdrabniania, wilgotności materiału i typu kruszarki i może zmieniać się od kilku do kilkudziesięciu gramów pyłów na tonę. Ze względu na istotną uciążliwość środowiskową kruszarek w zakresie emisji zanieczyszczeń podejmowane są działania dla ograniczania ich rozprzestrzeniania się w środowisku. Stosowanie odpowiednich filtrów, kurtyn oraz hermetyzacja procesów wpływają na ograniczenie emisji, poprawę warunków pracy i ochronę środowiska.

Artykuł jest wynikiem realizacji projektu w ramach konkursu NCBiR: konkursu nr 1, Poddziałania 4.1.4 „Projekty aplikacyjne” POIR w 2017 r. pt. *Opracowanie i budowa zestawu prototypowych urządzeń technologicznych do budowy innowacyjnego układu technologicznego do uszlachetniania kruszyw mineralnych wraz z przeprowadzeniem ich testów w warunkach zbliżonych do rzeczywistych*. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Działania 4.1 Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020.

Rzeczpospolita
PolskaNarodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Unia Europejska



LITERATURA

- [1] DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2010/75/WE z dnia 24 listopada 2010 r. *o emisjach przemysłowych* (DzUrz UE L.334, 17–119)
- [2] DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2001/81/WE z dnia 23 października 2001 r. *ws. krajowych poziomów emisji dla niektórych rodzajów zanieczyszczenia powietrza* (DzUrz UE L.309, 320–329)
- [3] Rozporządzenie MŚ z dnia 4 listopada 2008 r. *ws. wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobranej wody* (DzU 2006.1291).
- [4] SHAO Z., *Non-road emission inventory model methodology*, International Council on Clean Transportation, 2016.
- [5] United States Environmental Protection Agency (EPA), *Exhaust and Crankcase Emission Factor for Nonroad Engine Modeling – Compression-Ignition in MOVES201X*, January 2018.
- [6] United States Environmental Protection Agency (EPA), *Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling*, NR 005d, July 2010.
- [7] United States Environmental Protection Agency (EPA), *Nonroad Engine Population Estimates*, NR 006e, July 2010.
- [8] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. *Prawo ochrony środowiska* (t.j. DzU 2022.2687).

EMISSION MODELS OF SELECTED DUST AND GAS POLLUTANTS FOR CRUSHERS

Article presents models used for estimation of emission volume of selected types of pollutant into atmosphere for crushing devices. The models allow for estimation of emission for HC, NO_x, CO and

PM10 particulate matters from the powering engine of a crusher. There was presented a methodology of application of these models along with their verification with empirical data. The obtained results indicate for significant accuracy of models for NO_x pollutants and lower accuracy for HC and PM10 emission.

Daniel SARAMAK¹
Tomasz GAWENDA¹
Agnieszka SARAMAK¹
Zdzisław NAZIEMIEC²

¹ AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami

² Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Krakowie

OCENA BRANŻY KRUSZYWOWEJ NA PODSTAWIE PUBLIKACJI Z BAZY NAUKOWEJ WEB OF SCIENCE

W artykule analizowano publikacje naukowe indeksowane w bazie Web of Science, związane z kruszywami mineralnymi. Dokonano charakterystyki publikacyjności na świecie w poszczególnych latach, krajach a także ze względu na tematykę badawczą. Oceniono publikacje krajowe w tym zakresie ze względu na rok publikacji, jednostkę naukową, czasopismo, obszar badawczy oraz współpracę międzynarodową.

1. WSTĘP – WYBRANE PROBLEMY W PRODUKCJI KRUSZYW

Roczna produkcja kruszyw mineralnych na świecie jest trudna do oszacowania, ze względu na znaczne rozproszenie oraz nierównomierne ich występowanie [2], co utrudnia zbilansowanie wszystkich złóż na kuli ziemskiej i oszacowanie łącznej produkcji. Dlatego też podawane dane dotyczące światowej produkcji kruszyw mineralnych na świecie cechują się dosyć dużym rozrzutem, jednakże co do jednego są zgodne: jest to surowiec o największym wolumenie produkcji na świecie, który wynosi ponad 20 mld ton rocznie. Dla porównania, wydobycie surowca zajmującego drugie miejsce na świecie (węgiel) wynosi poniżej 7 mld ton rocznie.

Funkcjonowanie oraz kierunki rozwoju branży kruszywowej mogą być rozpatrywane na wielu płaszczyznach, np. ze względu na zastosowanie gotowych produktów, ze względu na technologię pozyskiwania i przetwarzania, typ kruszywa, charakterystyki jakościowe produktów i inne.

Pomimo względnie dobrze opracowanej technologii pozyskiwania i przetwarzania kruszyw, zagadnienie to wydaje się nabierać coraz większego znaczenia, ze względu na m.in. stopniowe wyczerpywanie się aktualnie eksploatowanych złóż, obniżanie

parametrów jakościowych surowców, wyższe koszty produkcji kruszywa pozyskiwanego z trudniej dostępnych złóż, wymagania jakościowe dla produktów kruszywowych, czy problemy środowiskowe. Te oraz szereg innych problemów powoduje nacisk na coraz efektywniejsze wykorzystanie zarówno eksploatowanych złóż, jak i odpadów powstałych w wyniku produkcji kruszyw. Stąd prowadzone są badania mające na celu opracowanie innowacyjnych rozwiązań w zakresie technologii pozyskiwania i przeróbki kruszyw mineralnych [1].

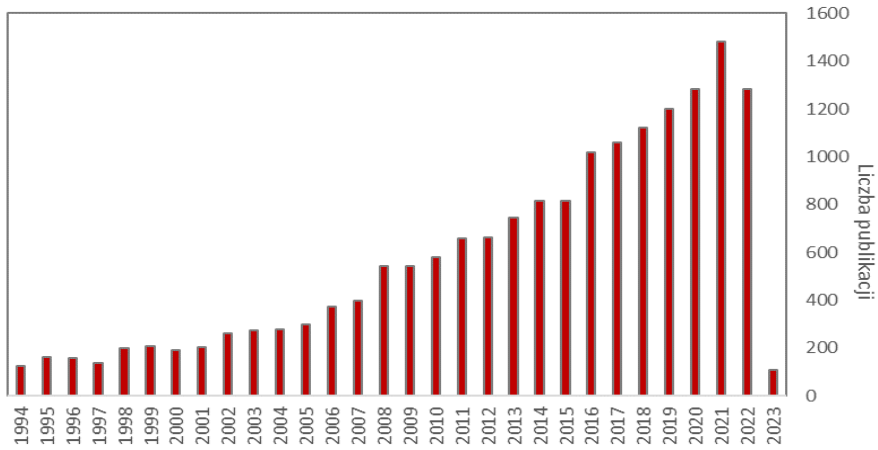
Intensywny rozwój branż, będących głównymi odbiorcami kruszyw (budownictwo drogowe, kolejowe, przemysłowe i mieszkaniowe, szeroko rozumiany przemysł chemiczny) wymaga stałego zapotrzebowania na surowce w odpowiedniej ilości ale też o wymaganej jakości [3, 6]. W tym zakresie perspektywiczne staje się zastosowanie materiałów alternatywnych, np. kruszyw sztucznych lub pochodzących z recyklingu [5], jednak problemem staje się uzyskanie odpowiedniej jakości kruszywa, gdyż wykorzystywane w tym celu materiały odpadowe muszą być poddane dodatkowym operacjom uszlachetniającym lub usuwającym niepożądane zanieczyszczenia lub frakcje [4]. W celu rozwiązania powyższych problemów prowadzonych jest wiele badań naukowych, których wyniki prezentowane są w publikacjach naukowych, raportach, sprawozdaniach lub na branżowych konferencjach i sympozjach.

Wyniki wielu badań pozwoliły na opracowanie innowacyjnych rozwiązań pozwalających na bardziej efektywne wykorzystanie surowców i produkcję kruszyw o poprawionych charakterystykach jakościowych, np. lepszych parametrów fizyko mechanicznych, bardziej jednorodnego składu i kształtu wybranych frakcji, obniżenia kosztocłonności produkcji itp.

Celem artykułu jest analiza głównych problemów poruszanych w publikacjach naukowych dotyczących kruszyw mineralnych w kraju i na świecie i na tej podstawie próba określenia kierunków rozwoju technologii branży kruszywowej. W tym celu dokonano analizy bibliometrycznej publikacji naukowych dotyczących kruszyw mineralnych, które zostały zarejestrowane w bazie publikacji Web of Science. Analizę przeprowadzono dwuetapowo: najpierw przeanalizowano wszystkie publikacje naukowe zarejestrowane w bazie i spełniające kryteria wyszukiwania a następnie oceniono tylko publikacje krajowe z bazy.

2. OGÓLNA ANALIZA PUBLIKACJI

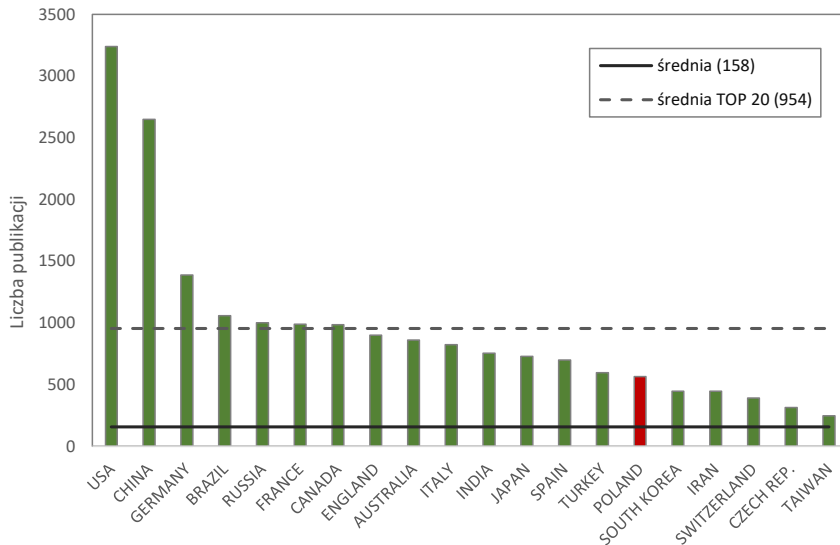
Wykorzystując metodę analizy bibliometrycznej, dokonano filtracji artykułów naukowych zarejestrowanych w bazie Web of Science (WoS), jednej z najważniejszych baz naukowych na świecie [7]. Jako kryterium wyszukiwania przyjęto słowa kluczowe „aggregates” oraz „mineral”. W wyniku otrzymano 17 639 rekordy (stan na dzień 1.03.2023). Na rysunku 1 przedstawiono liczbę publikacji dotyczących kruszyw mineralnych opublikowanych w latach 1994–2023.



Rys. 1. Liczba publikacji w poszczególnych latach

Fig. 1. Number of publications in individual years

Analizując dane zawarte na wykresie, można zauważyć, że bardziej intensywny przyrost liczby publikacji nastąpił począwszy od około 2005–2006 roku. Łącznie w okresie 1994–2023 zarejestrowano w bazie 17 178 publikacji, co stanowi ponad 97% wszystkich artykułów. Warto zaznaczyć, że w latach 1920–1990 opublikowano tylko 101 artykułów, że średnią liczbą 3,4 publikacji na rok. Skokowy wzrost nastąpił w roku 1991, w którym liczba publikacji przekroczyła 100.



Rys. 2. Liczba publikacji w poszczególnych krajach

Fig. 2. Number of publications in individual countries

Krajem z najwyższą liczbą publikacji są Stany Zjednoczone z łączną liczbą 3241 publikacji, na kolejnym miejscu są Chiny, a artykuły z obu tych krajów łącznie stanowią 33,4% wszystkich światowych publikacji. W bazie zarejestrowano publikacje ze 156. krajów, a średnia liczba publikacji na jeden kraj wynosi 158 artykułów i została zaznaczona linią ciągłą. Dodatkowo linią przerywaną zaznaczono średnią liczbę publikacji dla dwudziestu najliczniej publikujących krajów. Polska z łączną liczbą publikacji wynoszącą 565 zajmuje na liście 15 miejsce.

Tematyka związana z kruszywami mineralnymi pojawia się w wielu obszarach i dziedzinach badań (*research area*). W tabeli 1 zostały przedstawione najczęściej występujące obszary badawcze wraz z przypisanymi im udziałami procentowymi. Suma udziałów jest większa niż 100, gdyż dany artykuł może dotyczyć więcej niż jednego obszaru badawczego. Z danych zamieszczonych w tab. 1 wynika, że najczęściej artykuły związane z kruszywami dotyczą inżynierii materiałowej oraz inżynierii ogólnie. Na kolejnym miejscu znajduje się stomatologia i chirurgia jamy ustnej z udziałem przekraczającym 16%, a na kolejnych miejscach inne, też pozornie nie związane z kruszywami dziedziny, jak fizyka, medycyna ogólna czy botanika. Niemniej wielość obszarów badawczych potwierdza tylko, że istnieje szerokie grono interesariuszy z róż-

Tabela 1. Obszary badawcze związane z kruszywami
Table 1. Research areas related to aggregates

Obszar badawczy	Udział procentowy
Materials Science	19,02
Engineering	18,70
Dentistry Oral Surgery Medicine	16,55
Mineralogy	13,84
Geology	10,88
Geochemistry Geophysics	9,97
Environmental Sciences Ecology	9,13
Construction Building Technology	9,03
Agriculture	8,55
Chemistry	8,53
Mining Mineral Processing	4,69
Science Technology Other Topics	4,30
Physics	3,28
Metallurgy Metallurgical Engineering	2,60
Water Resources	1,63
Energy Fuels	1,50
General Internal Medicine	1,31
Plant Sciences	1,01
Transportation	0,84
Polymer Science	0,63

nych branż, związanych z tematyką kruszyw, a same produkty kruszywowe znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłowych i mają wpływ na wiele aspektów życia społeczeństwa.

Powszechność zastosowania i praktycznego wykorzystania kruszyw w wielu branżach znajduje potwierdzenie także w innej kategorii, a mianowicie w zbiorze kategorii badawczych przyporządkowanych do bazy Web of Science. Jest to systematyka w pewnym stopniu pokrywająca się z „research area”; w tym przypadku podział jest tworzony na podstawie wszystkich publikacji naukowych ze wszystkich dziedzin i dyscyplin, rejestrowanych nieustannie w bazie (tab. 2).

Analizując dane zawarte w tabeli, można zauważyć, że stomatologia i chirurgia jamy ustnej, oraz inżynieria materiałowa znajdują się na czele listy, co w dużej mierze pokrywa się z najpopularniejszymi obszarami badawczymi (tab. 1). Dominują także kategorie związane z geologią, chemią, przeróbką surowców i ochroną środowiska.

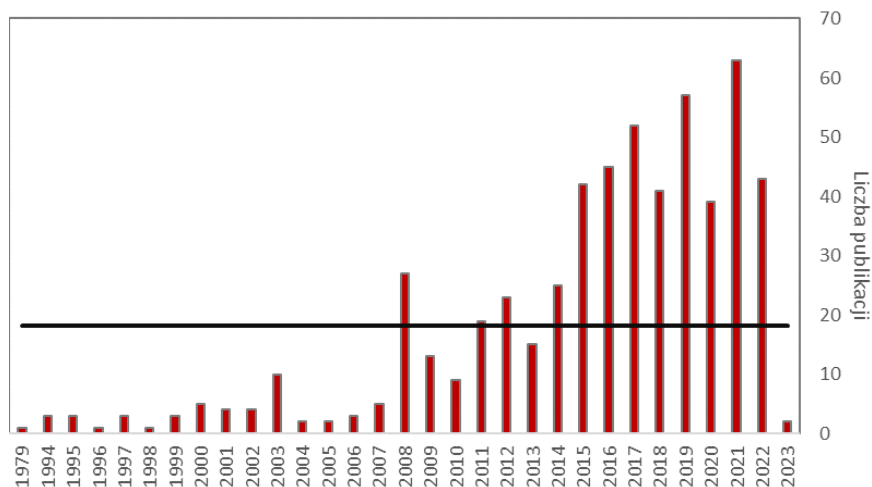
Tabela 2. Kategorie według WoS związane z kruszywami
Table 2. WoS categories related to aggregates

Kategoria według WoS	Udział procentowy
Dentistry Oral Surgery Medicine	16,55
Materials Science Multidisciplinary	14,26
Mineralogy	13,84
Geochemistry Geophysics	9,97
Construction Building Technology	9,03
Engineering Civil	8,83
Environmental Sciences	8,15
Geosciences Multidisciplinary	7,58
Soil Science	7,05
Chemistry Physical	5,13
Mining Mineral Processing	4,69
Geology	3,42
Engineering Environmental	3,28
Engineering Chemical	2,96
Chemistry Multidisciplinary	2,74
Physics Applied	2,67
Metallurgy Metallurgical Engineering	2,60
Materials Science Biomaterials	2,18
Multidisciplinary Sciences	1,84
Physics Condensed Matter	1,75

3. OCENA Z PERSPEKTYWY KRAJOWEJ

Osobna analiza wyników została dokonana z perspektywy krajowej, to znaczy w analizie wzięte zostały pod uwagę tylko publikacje autorów afiliowanych w Polskich instytu-

cjach. Łączna liczba publikacji z Polski wynosi 565 pozycji, co stanowi około 3,2% wszystkich publikacji kruszywowych zarejestrowanych w bazie WoS. Na rysunku 3 przedstawiono liczbę wszystkich publikacji krajowych w poszczególnych latach. Pierwsza publikacja zaindeksowana w bazie pochodzi z 1979 r. jednakże potem, aż do 1993 r. nie pojawiły się w bazie żadne nowe artykuły. Trend widoczny na rysunku pokrywa się zasadniczo z liczbą światowych publikacji w poszczególnych latach, z kilkuletnim przesunięciem czasowym, tzn. bardziej widoczny wzrost publikacyjności w Polsce nastąpił od około 2010 r., czyli kilka lat później od zauważalnego wzrostu publikacyjności na świecie.



Rys. 3. Liczba publikacji krajowych w poszczególnych latach
Fig. 3. Number of domestic publications in individual years

W tabeli 3 zostały przedstawione krajowe jednostki naukowe, najczęściej publikujące w badanej tematyce. Wśród wszystkich wyszczególnionych jednostek dominują uczelnie wyższe (18). Instytuty badawcze i jednostki naukowe PAN obejmują 7 jednostek. Dwie dominujące jednostki w liczbie publikacji w Polsce to AGH w Krakowie oraz PAN, łącznie odpowiadające za ponad 37% publikacji.

W tabeli 4 przedstawiono czasopisma zarejestrowane w bazie WoS, w których polscy autorzy najczęściej publikują artykuły dotyczące kruszyw. Na zielono zaznaczono polskie czasopisma naukowe. Najpopularniejszym czasopismem jest *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* z udziałem 10,77% wszystkich artykułów. Na liście dwudziestu najpopularniejszych czasopism naukowych, w których znajduje się około 51% artykułów, jest w sumie siedem czasopism z Polski. Łącznie na liście znajdują się 243 czasopisma i materiały konferencyjne, w których ukazały się artykuły autorstwa polskich naukowców.

Tabela 3. Krajowe jednostki naukowe z największą liczbą publikacji z WoS dotyczącą kruszyw
 Table 3. Domestic scientific entitles top-publishing in WoS within the topic of aggregates

Afiliacja	Udział procentowy
AGH University of Science and Technology	20,53
Polish Academy of Sciences	17,17
Kielce University of Technology	6,02
University of Silesia in Katowice	5,13
Wroclaw University of Science and Technology	4,96
Mineral Energy Economy Research Institute of the Polish Acad. Sci.	4,60
Silesian University of Technology	4,43
University of Warsaw	4,25
Lublin University of Technology	3,89
Warsaw University of Technology	3,36
Maria Curie Skłodowska University	3,19
Fahrenheit Universities	3,01
University of Wroclaw	3,01
Institute of Fundamental Technological Research of the Polish Acad. Sci.	2,65
Pomeranian Medical University	2,65
Warsaw University of Life Sciences	2,65
Adam Mickiewicz University	2,48
Gdansk University of Technology	2,48
Bydgoszcz University of Science Technology	2,30
Bohdan Dobrzanski Institute of Agrophysics of the Polish Acad. Sci.	2,12
Institute of Mechanized Construction Rock Mining	2,12
Jagiellonian University	2,12
Bialystok University of Technology	1,95
Institute of Geological Sciences of the Polish Acad. Sci.	1,95
National Academy of Sciences Ukraine	1,77

Tabela 4. Czasopisma z największą liczbą publikacji w tematyce kruszyw
 Table 4. Journals with the highest number of articles connected to aggregates

Czasopismo	Udział procentowy
1	2
Gospodarka Surowcami Mineralnymi Mineral Resources Management	10,44
Materials	7,08
IOP Conference Series Materials Science And Engineering	4,07
Inżynieria Mineralna Journal Of The Polish Mineral Engineering Society	3,36
Minerals	3,36
Construction And Building Materials	2,65
Roads And Bridges Drogi i Mosty	2,65
Rocznik Ochrona Srodowiska	2,30
Dental And Medical Problems	1,77

1	2
Mining Science	1,77
World Multidisciplinary Civil Engineering Architecture Urban Planning Symposium WMCAUS	1,42
American Mineralogist	1,24
E3S Web Of Conferences	1,24
MATEC Web Of Conferences	1,24
Procedia Engineering	1,24
4th World Multidisciplinary Civil Engineering Architecture Urban Planning Symposium WMCAUS	1,06
Mineralogical Magazine	1,06
3rd World Multidisciplinary Civil Engineering Architecture Urban Planning Symposium WMCAUS 2018	0,88
Applied Sciences Basel	0,88
Archives of Mining Sciences	0,88
Cement Wapno Beton	0,88

Tabela 5. Obszary badawcze związane z kruszywami w krajowych artykułach

Table 5. Research areas related to aggregates in domestic articles

Obszar badawczy	Udział procentowy
Mining Mineral Processing	23,89
Mineralogy	22,83
Materials Science	21,77
Engineering	20,71
Chemistry	15,75
Construction Building Technology	11,86
Environmental Sciences Ecology	10,97
Physics	9,38
Geochemistry Geophysics	7,79
Metallurgy Metallurgical Engineering	7,79
Geology	7,08
Agriculture	4,78
Dentistry Oral Surgery Medicine	4,60
Architecture	3,36
General Internal Medicine	2,48
Science Technology Other Topics	2,47
Urban Studies	2,30
Energy Fuels	2,12
Water Resources	1,95
Biochemistry Molecular Biology	1,59

Obszary badawcze dominujące wśród polskich publikacji zostały przedstawione w tabeli 5. Analizując dane w tabeli można zauważyć, że wśród obszarów badawczych dominuje przeróbka surowców, mineralogia i inżynieria materiałowa. W przypadku publikacji krajowych, podobnie jak w publikacjach zagranicznych, również występują obszary na pierwszy rzut oka nie związane z branżą kruszywową, jak medycyna, fizyka, badania dotyczące środowiska miejskiego czy biologia. Jednak udział tych dziedzin w publikacjach krajowych z tematyki kruszywowej jest o wiele niższy.

Publikacje krajowe dotyczące tematyki kruszyw powstawały także w ramach międzynarodowej współpracy. Wśród 10-ciu najczęściej afiliowanych w tym względzie krajów znajdują się Niemcy (22 publikacje), USA (18), Francja (17), Słowacja (15), Rosja i Ukraina (po 13), Czechy i Szwajcaria (po 12), Anglia (11) i Włochy (10 publikacji). W bazie WoS łącznie wykazano 49 krajów, we współpracy z którymi powstała przynajmniej jedna publikacja krajowa, a łączna liczba publikacji we współpracy międzynarodowej to 238.

4. PODSUMOWANIE

Problem przedstawiony w niniejszym artykule dotyczył charakterystyki branży kruszywowej z punktu widzenia publikacji naukowych z zakresu kruszyw mineralnych. Wyniki analizy wskazują, że temat tej jest popularny, ponieważ w samej bazie Web of Science widnieje ponad 17 tysięcy publikacji naukowych związanych z tematyką kruszywową. Merytoryczna analiza treści tych publikacji wskazuje, że kruszywa mineralne są związane z wieloma obszarami badań, które na pierwszy rzut oka wydają się być nie tak ściśle kojarzone z tematyką. Jednak może być to wrażenie pozorne, gdyż obszar praktycznego wykorzystania produktów kruszywowych obejmuje wiele dziedzin przemysłu, a rozwój gospodarczy, nowe potrzeby społeczne i obecna sytuacja ekonomiczna są bodźcem do opracowywania nowych pomysłów i idei możliwych do wdrożenia w wielu dziedzinach gospodarki.

W artykule skupiono się tylko na analizie artykułów naukowych, przeanalizowano także tylko wybrane aspekty publikacyjności. Nie badano tematyki z punktu widzenia projektów badawczych realizowanych w ramach krajowych i międzynarodowych programów wsparcia. Celem artykułu nie była też analiza działalności wynalazczej i wdrożeniowej, które w branży kruszywowej odgrywają znaczące role. Jednakże mimo tego, zdaniem autorów branża kruszywowa i perspektywy rozwoju technologii w tym zakresie zostały charakteryzowane dosyć szczegółowo i pozwalają na zaobserwowanie istniejących trendów i tendencji zarówno w skali międzynarodowej, jak i krajowej.

LITERATURA

- [1] GLAPA W., STEFANICKA M., 2017: *Innowacyjne rozwiązania eksploatacji kopalni skalnych*, Przegląd Górniczy, 2017, nr 10, 73–83.
- [2] KOZIOŁ W., CIEPLIŃSKI A., MACHNIAK Ł., BORCZ A., *Kruszywa Naturalne*, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, Lipiec–Sierpień 2015, 98–100.
- [3] KOZIOŁ W., MACHNIAK Ł., BORCZ A. BAIC I., 2016: *Górnictwo Kruszyw w Polsce – Szanse i Zagrożenia*, Inżynieria Mineralna, 2016, nr 2, Lipiec–Sierpień, 175–182.
- [4] ŁAGOWSKI J., LUBIENIECKI T., SARAMAK D., *Ocena przebiegu procesu płukania kruszyw w zależności od ciśnienia roboczego w płuczce wysokociśnieniowej*, Inżynieria Mineralna, 2013, nr 1, 49–54.
- [5] NAZIEMIEC Z.; GAWENDA T., *Produkcja kruszyw budowlanych z odpadów przerobczycch przemysłu wapienniczego*, [w:] W. Glapa (red.), *Kruszywa mineralne*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 109, Oficyna Wydawnicza PWr, Wrocław 2005, 147–158.
- [6] SZRUBA M., *Kruszywa w Budownictwie*, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 2018, Maj–Czerwiec, 89–93.
- [7] Web of Science Database, www.webofscience.com

ASSESSMENT OF THE AGGREGATE INDUSTRY BASED ON PUBLICATIONS
FROM THE WEB OF SCIENCE DATABASE

The article analyzes scientific publications indexed in the Web of Science database, related to mineral aggregates. The characteristics of worldwide publications in individual years, countries and also in terms of research topics were carried out. Domestic publications in this field were also assessed according to the year of publication, scientific entity, journal, research area and international cooperation.

Paweł STRZAŁKOWSKI^{1, 2}
Katarzyna GUZIK²
Krzysztof GALOS²

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

² Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

GOSPODAROWANIE KAMIENIAMI ŁAMANymi I BLOCZNYMI – ROZWÓJ BAZY ZASOBOWEJ I WYDOBYCIA W OSTATNICH 25 LATACH

Polska jest znaczącym producentem kamienia łamanego i blocznego w Unii Europejskiej. Corocznie ewidencjonowana wielkość krajowego wydobycia tych kopalni w 2021 r. wyniosła ponad 79 mln ton. Publikowane dane nie klasyfikują osobno kamienia z przeznaczeniem na kruszywa i kamień bloczny. Przeprowadzone badania miały na celu usystematyzowanie gospodarowania zasobami złóż kamieni łamanych i blocznych w ostatnich latach. Dostępne dane wskazują, że wielkość wydobycia kamienia łamanego jest ponad 40 razy większa niż wydobycia kamieni blocznych. Wynika to ze zróżnicowania budowy geologicznej złóż, stosowanych technologii górniczych oraz zapotrzebowania rynku.

1. WPROWADZENIE

Jednym z najważniejszych filarów branży wydobywczej jest górnictwo skalne [1–3]. Powszechnie występujące odmiany skał dostarczają niezbędnych surowców dla wielu branż, m.in. budownictwa, przemysłu materiałów budowlanych czy rolnictwa. Surowce skalne można podzielić na: okruszowe, ilaste i zwięzłe. Szczególną grupę surowców skalnych zwięzłych stanowią kamienie łamane i bloczne. Górnictwo tych kopalni różni się od większości innych rodzajów działalności górniczej, ponieważ pozyskiwane z nich głównie kruszywa naturalne łamane są towarami o dużej masie i niskiej wartości jednostkowej [3]. Rosnący popyt na te surowce skalne jest przesłanką rozwoju tej dziedziny górnictwa, przy czym dominującym obszarem działalności górniczej jest tu produkcja kruszyw naturalnych łamanych [4–5]. Potwierdzeniem tego są cyklicznie publikowane dane [6, 7].

Kamienie łamane i bloczne, po piaskach i żwirach, należą do grupy surowców skalnych o największej skali wydobycia. Poziom ich wydobycia stanowi istotny wskaźnik rozwoju społeczno-gospodarczego kraju, ponieważ zużycie kopalni zaliczanych do tej grupy surowców skalnych związane jest bezpośrednio z rozwojem budownictwa [2, 8].

Złoża kamieni łamanych i kamieni blocznych w Polsce klasyfikowane są wspólnie. Nie pozwala to na precyzyjne zobrazowanie skali wykorzystania tych ważnych surowców [9]. Problem ten występuje nie tylko w Polsce. Jak zaznaczają Příkryl [10] i Miatto et al. [11], brak dostępności i wiarygodności danych w skali światowej dotyczących kruszyw sprawia trudności w szacowaniu wielkości wydobycia i zapotrzebowania na te surowce. Podobnie trudno jest precyzyjnie określić gospodarowanie kamieniami blocznymi. Przeprowadzone badania miały na celu usystematyzowanie danych na temat gospodarowania zasobami złóż kamieni łamanych i blocznych w ostatnich latach.

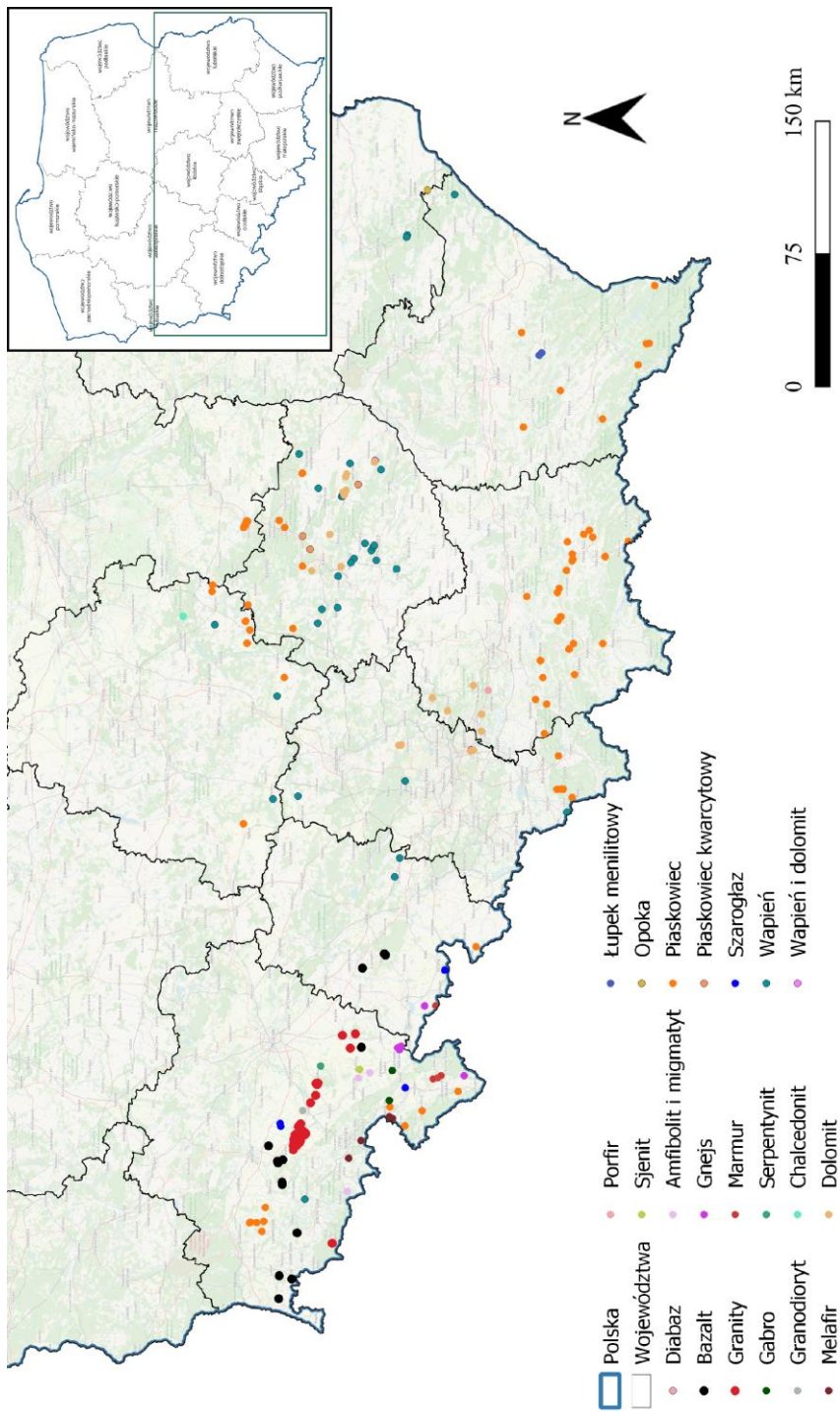
2. KIERUNKI EKSPLOATACJI ZŁÓŻ

Grupa kamieni łamanych i blocznych obejmuje ponad 30 odmian litologicznych skał magmowych, osadowych i metamorficznych, wyróżniających się różnymi właściwościami, decydującymi o kierunkach ich gospodarczego wykorzystania. Są to przede wszystkim parametry fizyczne i mechaniczne skał determinujące ich odporność na działanie czynników atmosferycznych, walory dekoracyjne oraz podzielność skał w złożu uzależniona od intensywności i orientacji występujących spękań. Kierunek wykorzystania kamieni łamanych i blocznych powinien wynikać z właściwości tych skał, pozostających w ścisłym związku z budową geologiczną złoża, a jednocześnie uwzględniać aspekty ekonomiczne i techniczne oraz wielkość i strukturę zapotrzebowania na te surowce.

Złoża bloczne należą do szczególnej grupy złóż kamieni łamanych i blocznych, wykazujących odpowiednią tzw. bloczność geologiczną oraz górniczą. Błędne eksploatawanie tych złóż, np. z wykorzystaniem techniki strzelniczej, prowadzić może do pogorszenia parametrów jakościowych kopaliny; powstawanie wtórnych spękań w strukturze skały i tym samym utratę właściwości blocznych. Wówczas pozyskana kopalina może służyć już tylko do produkcji naturalnych kruszyw łamanych oraz ewentualnie wielkogabarytowego kamienia łamanego (np. hydrotechnicznego).

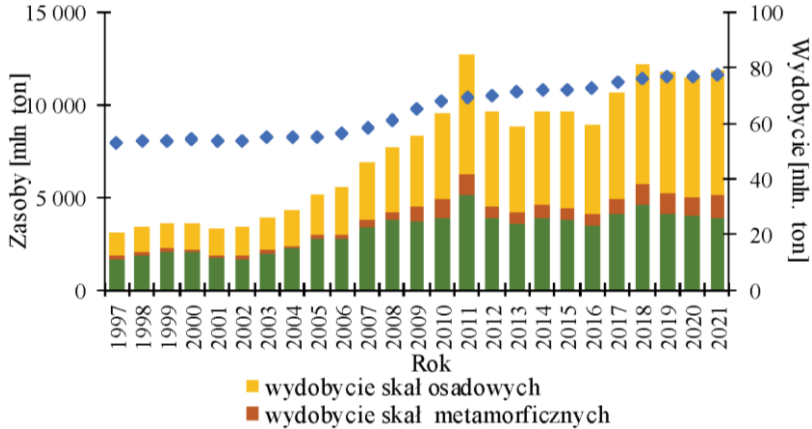
Złoża kamieni łamanych i blocznych występują w południowej części Polski, z koncentracją złóż skał magmowych i metamorficznych w południowo-zachodniej części kraju (rys. 1). Występowanie zwięzłych skał osadowych jest powszechniejsze i bardziej rozprzestrzenione w całej południowej Polsce. W okresie ostatnich 25 lat w kraju obserwowany jest systematyczny wzrost wielkości udokumentowanych zasobów złóż kamieni łamanych i blocznych (rys. 2), przy czym w ostatnich 15 latach wzrost ten jest bardziej dynamiczny niż w poprzedniej dekadzie.

Tendencja wzrostowa obserwowana jest również w przypadku wielkości wydobycia tych kopalin. W 2011 r. zaobserwowano wyraźny skok tego wydobycia, wynikający z intensyfikacji przygotowań niezbędnej infrastruktury do mistrzostw Europy w piłce nożnej EURO 2012 (tab. 1). Po kilku latach pewnego regresu, od 2016 r. zaobserwowano ponowny wzrost wydobycia, który spowodowany był dostępnymi środkami unijnymi na finansowanie rozwoju infrastruktury drogowej, jak i w mniejszym



Rys. 1. Eksploatowane złoża kamieni łamanych i blocznych w Polsce – stan na 31.12.2021
 Fig. 1. Exploited dimension and crushed stones deposits in Poland - state as at 31.12.2021

stopniu kolejowej, za czym podążał wzrost produkcji kruszyw łamanych. Wzrost ten został zachwiany pandemią COVID-19, przy wyraźnej odbudowie w 2021 r. do poziomu niemal 80 mln ton. W strukturze tego wydobycia skały osadowe stanowią obecnie około 55%, skały magmowe 35%, a skały metamorficzne 10% [6].



Rys. 2. Zasoby i wydobycie kamieni łamanych i blocznych w Polsce w latach 1997–2021 (opracowanie własne na podstawie [6])

Fig. 2. Resources and output of dimension and crushed stones in Poland in the years 1997–2021 (own work based [6])

Tabela 1. Struktura wydobycia w zależności od przeznaczenia kamieni łamanych i blocznych (opracowanie własne na podstawie [6–7, 12–13])

Table 1. Structure of output according to the use of dimension and crushed stones (own work based on [6–7, 12–13])

Lata	Wydobycie [tys. ton]		
	Kamień bloczny	Kamień łamany	Razem
2008	1 300	49 615	50 915
2009	1 260	54 017	55 277
2010	1 290	61 935	63 225
2011	1 520	83 057	84 577
2012	1 430	62 578	64 008
2013	1 180	57 184	58 364
2014	1 510	62 573	64 083
2015	1 470	62 708	64 178
2016	1 470	58 077	59 547
2017	1 400	69 393	70 793
2018	1 440	79 813	81 253
2019	1 370	77 339	78 709
2020	1 720	74 844	76 564
2021	1 780	77 349	79 119

W Polsce w 2021 r. eksploatowano łącznie 244 złoża zaliczane do grupy złóż kamieni łamanych i blocznych, z czego 175 złóż eksploatowano z przeznaczeniem na kamień łamany (produkcja kruszyw łamanych), a 84 złoża na kamień bloczny (w tym nieregularne bryły i cienkie elementy do różnych wyrobów kamiennych).

Najwięcej eksploatowanych złóż kamieni łamanych i blocznych stanowią złoża skał osadowych. Należy podkreślić, że część złóż była eksploatowana zarówno z przeznaczeniem na kamień łamany, jak i częściowo na kamień bloczny. Wielkość wydobywania skał do produkcji kamienia łamanego stanowiła aż około 98% całkowitego wydobywania wszystkich skał udokumentowanych w grupie kamieni łamanych i blocznych, zarówno w 2021 r., jak i w latach poprzednich (tab. 1).

Poza aspektami geologicznymi wynika to z uwarunkowań techniczno-organizacyjnych i rynkowych. Pozyskiwanie skał wykorzystywanych jako kamień łamany, z którego produkowane są głównie kruszywa łamane pozwala w krótkim czasie wyprodukować duże ilości produktów gotowych (kruszyw), choć o niezbyt wysokiej wartości jednostkowej. Natomiast produkcja wyrobów z kamienia blocznego wymaga dłuższego czasu oraz większych nakładów finansowych. Dodatkowo zapotrzebowanie na krajowy kamień bloczny jest około 40-krotnie mniejsze, ponieważ użytkownikami tych materiałów są odbiorcy indywidualni lub przedsiębiorstwa realizujące mniejsze inwestycje (np. kubaturowe) w porównaniu do inwestycji liniowych (drogowych i kolejowych), w których wykorzystuje się bardzo duże ilości kruszyw łamanych. Innym czynnikiem wpływającym na znacznie mniejsze pozyskiwanie i wykorzystanie krajowego kamienia blocznego jest rosnąca dostępność konkurencyjnych pod względem ceny i estetyki odmian importowanych kamieni blocznych, zwłaszcza w sytuacji, gdy przedmiotem krajowej oferty w tym zakresie są niemal wyłącznie różne odmiany granitów i piaskowców (tab. 2).

Tabela 2. Szacunkowa wielkość wydobywania skał przydatnych jako kamień bloczny w Polsce w latach 2011–2021 [13]

Table 2. Estimated volume of mining output of the rocks suitable for dimension stone production in Poland in the years 2011–2021 [13]

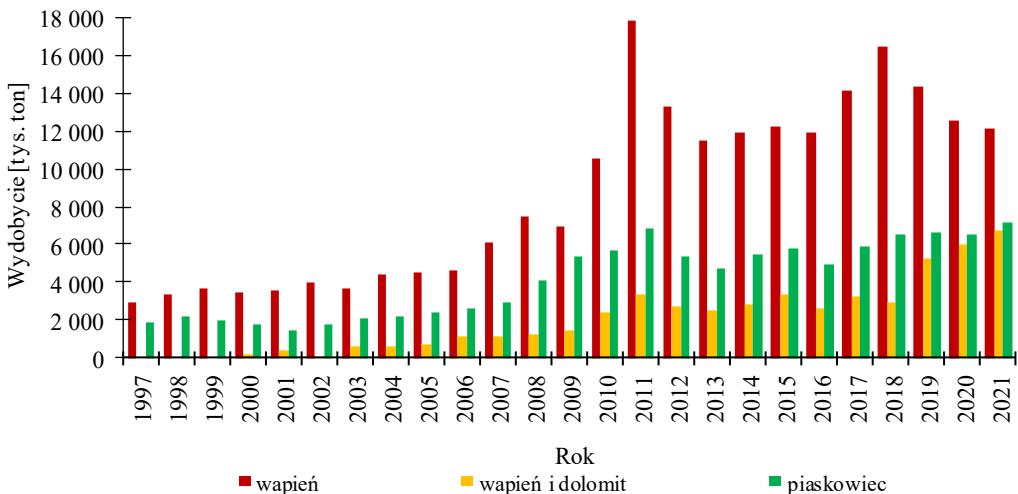
Lata	Wydobycie [tys. ton]			
	Granity	Piaskowce	Inne skały	Razem
2011	1240	260	20	1520
2012	1190	220	20	1430
2013	930	220	30	1180
2014	1230	260	20	1510
2015	1270	180	20	1470
2016	1260	190	20	1470
2017	1160	220	20	1400
2018	1240	170	30	1440
2019	1190	150	30	1370
2020	1490	220	10	1720
2021	1640	120	20	1780

2.1. SKAŁY OSADOWE

Obecnie największą grupę eksploatowanych kamieni łamanych i blocznych w Polsce stanowią skały osadowe, a do najważniejszych wykorzystywanych odmian litologicznych należy zaliczyć: wapień, wapień i dolomity oraz piaskowce (rys. 3). Wapień, eksploatowane głównie z przeznaczeniem na kamień łamany (w 2021 r. bloki i bryły kamienne wydobywano, głównie ubocznie, z 5 złóż) zlokalizowane są przede wszystkim w woj. świętokrzyskim, a pojedyncze złoża w śląskim, we wschodniej części woj. opolskiego, w południowej części woj. łódzkiego oraz na pograniczu woj. lubelskiego i podkarpackiego.

Liczba udokumentowanych złóż wapieni w grupie złóż kamieni łamanych i blocznych w 2021 r. wynosiła 141 (z czego eksploatowano 34 złoża) i była prawie dwukrotnie wyższa niż w 1997 r. Wielkość ich wydobycia w 2021 r. wyniosła z kolei 12,18 mln ton i była 4-krotnie wyższa niż w 1997 r. Należy też zauważyć, że w analizowanym okresie można było zaobserwować okresowe znacznie wyższe wielkości ich wydobycia (17,84 mln ton w 2011 r., 16,43 mln ton w 2018 r.). Wydobycie wapieni łamanych w 2021 r. wyniosło około 12,16 mln ton, a wapieni blocznych nie przekraczało 20 tys. ton.

Największe wydobycie wapieni łamanych odnotowały przedsiębiorstwa eksploatujące złoża: Szymiszów, Celiny I, Jaźwica, Łągów V i Morawica III-1, a wapienne bloki i bryły kamienne pozyskiwano głównie ze złóż: Gołuchów 1, Włochy I, Józefów I oraz Morawica III-1.



Rys. 3. Wydobycie najważniejszych skał osadowych w Polsce w latach 1997–2021 (opracowanie własne na podstawie [6])

Fig. 3. Output of the most important sedimentary rocks in Poland in the years 1997–2021 (own work based on [6])

Piaskowce stanowią drugą grupę skał osadowych pod względem wielkości wydobywania. Są to też jednocześnie najważniejsze skały osadowe wykorzystywane jako kamień bloczny. Krajowe piaskowce w bardzo wielu odmianach, których złoża występują w obrębie zróżnicowanych poziomów stratygraficznych (od kambru po neogen), wykazują dużą zmienność pod względem barwy, uławiczenia, uziarnienia, a także właściwości fizyczno-mechanicznych [14]. Rozprzestrzenione są w południowej Polsce: w Karpatach (woj. śląskie, małopolskie i podkarpackie), Sudetach (woj. dolnośląskie) i obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich (woj. łódzkie, mazowieckie i świętokrzyskie).

W 2021 r. udokumentowane były w tej grupie 302 złoża piaskowców (dla porównania w 1997 r. – 163 złoża), z czego eksploatowano 89 złóż. W ostatnim dziesięcioleciu roczne wydobywanie piaskowców kształtowało się w przedziale 5,3–7,2 mln ton. Eksploatacja piaskowcowych bloków i brył kamiennych w 2021 r. była szacowana na ok. 130 tys. ton (w poprzedniej dekadzie w przedziale 150–260 tys. ton [13]).

W ostatnim roku największy poziom wydobywania piaskowców blocznych (kilka, kilkanaście tys. ton) zanotowały przedsiębiorstwa eksploatujące złoża: Długopole, Wartowice V i Żeliszów w Sudetach oraz Barcice I, Męcina i Górka-Mucharz w Karpatach. Wielkość wydobywania kamienia łamanego z poszczególnych złóż piaskowców była w 2021 r. bardzo zróżnicowana; od kilku tys. ton do nawet 2,0 mln ton, przy łącznym wydobywaniu szacowanym na ok. 7,1 mln ton. Najwyższy poziom wydobywania piaskowców dla celów produkcji kamieni łamanych notowano w przypadku złóż: Lipowica II-1, Obłaziec-Gahura, Klęczany, Osielec, Barwałd i Męcina.

Osobną grupę, wyodrębnioną w Bilansach... [6], stanowią złoża w których udokumentowano zarówno wapienie jak też dolomity. Eksploatację złóż zaliczanych do tej grupy notuje się od 2000 r. W 2021 r. spośród udokumentowanych 8 złóż wapieni i dolomitów eksploatowano 3 złoża w woj. dolnośląskim (złożo Połom), śląskim (Imielin-Rek) i świętokrzyskim (Budy). Są one eksploatowane wyłącznie z przeznaczeniem na kamień łamany. Łączna wielkość eksploatacji tej grupy złóż corocznie rośnie i osiągnęła w 2021 r. – 6,76 mln ton.

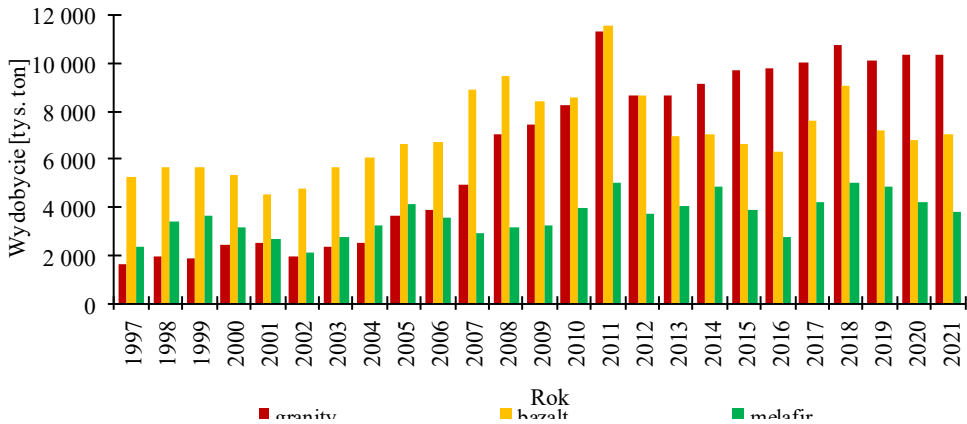
2.2. SKAŁY MAGMOWE

Łączny udział skał magmowych w wydobywaniu kamieni łamanych i blocznych wyniósł w 2021 r. 33%. Do najważniejszych eksploatowanych odmian należy zaliczyć: granity, bazalty i melafiry (rys. 4). Spośród tych trzech rodzajów skał, największe wydobywanie notowane jest ostatnio w przypadku granitów, których występowanie i eksploatacja koncentruje się w rejonie Strzegomia i Sobótki (masyw Strzegom–Sobótka).

W ostatnim 25-leciu nastąpił wzrost ilości udokumentowanych złóż granitów – na koniec 1997 r. udokumentowanych było 59 złóż, a z końcem 2021 r. – 78 (w tym 43 eksploatowanych). Dynamicznie wzrosło w tym okresie łączne wydobywanie granitów z 1,68 mln ton w 1997 r. do aż 10,39 mln ton w 2021 r. Wielkość wydobywania granitów eksploatowanych z przeznaczeniem do produkcji kamienia łamanego w 2021 r. sza-

cowana była na poziomie ok. 8,75 mln ton. Największe wydobywanie odnotowały przedsiębiorstwa eksploatujące złoża: Gniewków, Graniczna, Rogoźnica-Północ, Siedlimowice I, Strzeblów I oraz Górka i Strzelin.

Z drugiej strony wielkość wydobywania granitowych bloków i brył kamiennych w 2021 r. oszacowano na poziomie ok. 1,65 mln ton; wzrost z 1,2–1,4 mln ton/rok w kilku latach poprzednich (tab. 2). Największy poziom wydobywania granitów blocznych odnotowano w przedsiębiorstwach eksploatujących złoża w rejonie Strzegomia, w tym złoża Borów, Borów 17, Grabina Śląska kam. 15/27, Strzegom kam. 25/26, Kostrza-Piekiełko, Żółkiewka IV.



Rys. 4. Wydobywanie najważniejszych skał magmowych w Polsce w latach 1997–2021 (opracowanie własne na podstawie [6])

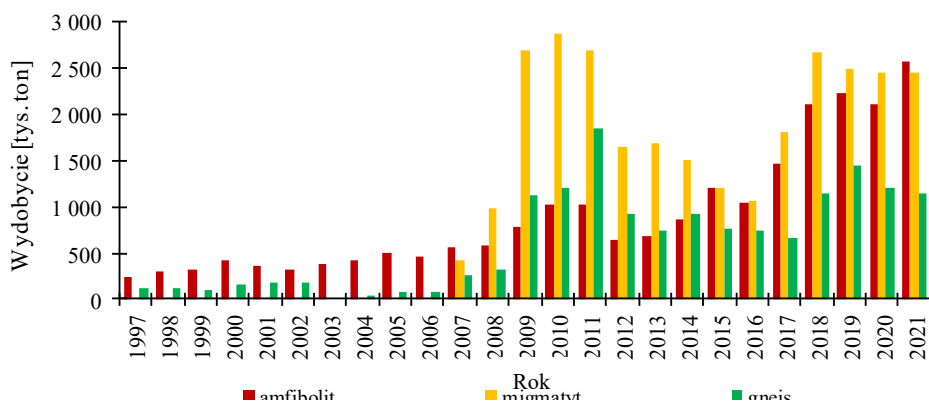
Fig. 4. Output of the most important igneous rocks in Poland in the years 1997–2021 (own work based on [6])

Złoża bazaltów, które eksploatowane są tylko z przeznaczeniem na kamień łamany, stanowią drugą najważniejszą grupę eksploatowanych w Polsce skał magmowych. Są one położone głównie w woj. dolnośląskim, choć 3 złoża znajdują się w woj. opolskim. W okresie 1997–2021 udokumentowanych było od 41 do 52 złóż bazaltów [6]. W tym samym okresie wielkość wydobywania bazaltów była zmienna: od 5,27 mln ton w 1997 r. do 11,56 mln ton w 2011 r. W 2021 r. wielkość wydobywania bazaltów wyniosła 7,04 mln z eksploatacji 14 złóż. Największe wydobywanie bazaltów w 2021 r. odnotowały przedsiębiorstwa eksploatujące złoża: Bukowa Góra, Jawor-Męcinka, Krzeniów, Lubień, Sulików i Winna Góra (woj. dolnośląskie).

Obecnie eksploatowane złoża melafirów z przeznaczeniem na kamień łamany położone są w woj. dolnośląskim w gminach Czarny Bór, Mioszów i Radków. Liczba udokumentowanych złóż nie przekracza 20, z wydobywaniem od 2,4 mln ton w 1997 r. do 5,0 mln ton w 2011 r. W 2021 r. łączne wydobywanie melafiru wyniosło 3,82 mln, przy eksploatacji 4 złóż: Tłumaczów-Gardzień, Tłumaczów Wschód, Grzędy i Rybnica Leśna.

2.3. SKAŁY METAMORFICZNE

Eksploatacja skał metamorficznych wyróżnia się najmniejszym udziałem wydobywania spośród wszystkich kamieni łamanych i blocznych (9,6% w 2021 r.). Najważniejsze skały spośród tej grupy stanowią: amfibolity, migmatyty i gnejsy, których eksploatacja prowadzona jest z przeznaczeniem wyłącznie na kamień łamany (rys. 5). Złoża amfibolitów w Polsce zlokalizowane są na Dolnym Śląsku, w rejonie Żąbkowic Śląskich, Piławy Górnej, Kamiennej Góry i Sobótki. Ilość udokumentowanych złóż amfibolitów wzrosła z 7 w 1997 r. do 11 w 2021 r., a ich wydobywanie – odpowiednio z 0,23 mln ton do 2,57 mln ton. W 2021 r. prowadzono eksploatację 4 złóż amfibolitu: Kluczowa, Ogorzelec I, Pagórki Wschodnie i Piława Górna.



Rys. 5. Wydobywanie najważniejszych skał metamorficznych w Polsce w latach 1997–2021 (opracowanie własne na podstawie [6])

Fig. 5. Output of the most important metamorphic rocks in Poland in the years 1997–2021 (own work based on [6])

Eksploatację migmatytów w Polsce rozpoczęto w 2007 r. (złoże Piława Górna – 0,42 mln ton), w 2021 r. prowadzono eksploatację 2 złóż: Kluczowa i Piława Górna (obydwa złoża są równocześnie złożami migmatytów i amfibolitów), a wielkość wydobywania wyniosła 2,46 mln ton.

Złoża gnejsów zlokalizowane są niemal wyłącznie w woj. dolnośląskim. Liczba złóż udokumentowanych wzrosła z 9 w 1997 r. do 16 w 2021 r., natomiast wielkość wydobywania zwiększyła się do znaczących ilości dopiero od 2009 r., wynosząc w latach 2009–2021 w przedziale 0,66–1,86 mln ton/rok. Eksploatacja gnejsów w 2021 roku prowadzona była z 6 złóż, w szczególności ze złóż: Doboszowice, Doboszowice I i Kamienna Góra.

Wśród innych rodzajów skał zaliczanych do kamieni łamanych i blocznych, warto zwrócić uwagę na trzy odmiany, a to ze względu na to, że pozyskiwane są z nich częściowo kamienie bloczne. Są to złoża: sjenitu Kośmin, marmuru Sławniowice oraz

dolomitu Libiąż. Ocenia się, że łączne ich wykorzystanie do produkcji wyrobów budowlanych i architektonicznych nie przekraczało jednak w 2021 r. 10 tys. ton.

3. GŁÓWNE KIERUNKI WYKORZYSTANIA KAMIENI ŁAMANYCH I BLOCZNYCH

Wydobycie z krajowych złóż kamieni łamanych i blocznych ma kluczowe znaczenie dla rozwoju budownictwa liniowego i kubaturowego. Pozyskiwane w wyniku eksploatacji i przeróbki tych skał kruszywa naturalne łamane są jedną z kluczowych grup materiałów budowlanych powszechnie wykorzystywanych do budowy i modernizacji wielu obiektów budowlanych, zarówno bezpośrednio, jak i w formie produktów z ich udziałem; betony, mieszanki mineralno-asfaltowe.

Intensywny rozwój budownictwa drogowego, kolejowego, ale także i kubaturowego (mieszkaniowego) w okresie ostatnich 25 lat spowodował czterokrotny wzrost ich zużycia w latach 2004–2011, przy stabilizacji z pewnymi zmianami w przedziale 60–80 mln ton/rok w kolejnej dekadzie. Szacuje się, że kruszywo łamane w Polsce używane jest w ponad 70% w budownictwie drogowym, w 10–15% w budownictwie kolejowym, a w 15–20% w mieszkaniowym i przemysłowym (głównie produkcja wyższej klasy betonów). Z drugiej strony, szacunkowe zużycie krajowego kamienia blocznego w budownictwie drogowym wynosi 10–25%, a w branży budowlanej i nagrobkowej 75–90% [7].

Podstawowymi parametrami, wpływającymi na przydatność materiału skalnego do budowy obiektów budowlanych, są właściwości fizyczno-mechaniczne, a na jakość wytwarzanych z tych materiałów produktów (najczęściej kruszywa mineralne, kamień do robót hydrotechnicznych, elementy kamienne budowlane i architektoniczne) – rodzaj, skład i struktura skały, a także technologia ich produkcji [15, 16]. Należy tu zaznaczyć, że kopaliny skalne cechują się istotną zmiennością parametrów jakościowych, nawet w obrębie jednego złoża, pozostając w ścisłym związku z warunkowaniami geologicznymi [17, 18].

Surowce skalne, wykorzystywane w budownictwie, powinny wyróżniać się wysoką odpornością na oddziaływanie czynników mechanicznych (wytrzymałość na ściskanie i zginanie, odporność na ścieranie i rozdrabnianie) i środowiskowych (mrozoodporność). W związku z tym, ze względu na skład mineralny i właściwości fizyczno-mechaniczne poszczególnych odmian litologicznych kamieni łamanych i blocznych, znajdują one szerokie, aczkolwiek zróżnicowane zastosowanie w wielu obszarach gospodarki (tab. 3).

Z kopalni, których eksploatację prowadzi się z przeznaczeniem na kamień łamany, w znaczącej przewadze produkowane są kruszywa łamane budowlane i drogowe oraz kamień do robót hydrotechnicznych. W zależności od właściwości kopaliny, możliwe jest również ich zastosowanie do produkcji mączek skaleniowo-kwarcowych czy nawozów. Z drugiej strony w przypadku złóż, których eksploatacja odbywa się z przeznacze-

niem na bloki, otrzymywane z nich rozmaite elementy kamienne są szeroko wykorzystywane w budownictwie drogowym w formie kostki, krawężników, płyt chodnikowych itp. Znajdują też zastosowanie jako kamień murowy, płyty nagrobkowe, płyty okładzinowe, stopnie schodowe czy parapety. Są one także przedmiotem zauważalnego eksportu wyrobów kamiennych, m.in. bloków i kamienia murowego (100–200 tys. ton/rok), kostki i krawężników drogowych (40–80 tys. ton/rok) oraz elementów kamiennych obrobionych (30–50 tys. ton/rok) [7].

Tabela 3. Najczęstsze kierunki wykorzystania kamieni łamanych i blocznych [5, 7, 12]
Table 3. The most common uses of dimension and crushed stones

Rodzaj kopaliny	Kamień łamany	Kamień bloczny
Bazalt	kruszywo łamane,	–
Diabaz	kamień do robót hydrotechnicznych	
Gabro	kruszywo budowlane i drogowe	
Granit	kruszywo łamane, kamień do robót hydrotechnicznych, mączki skaleniowo-kwarcowe	bloki i bryły kamienne, formaki, płyty posadzkowe i elewacyjne, stopnie schodowe, parapety, płyty chodnikowe, kostka i krawężniki, inne
Granodioryt	kruszywa łamane	–
Melafir	kruszywo łamane,	
Porfir	kamień do robót hydrotechnicznych	
Sjenit	kruszywo łamane	bloki i bryły kamienne, kostka brukowa, płyty, krawężniki, parapety
Amfibolit	kruszywo łamane, kamień do robót hydrotechnicznych	–
Gnejs	kruszywa łamane, kamień ozdobny	
Marmur	kruszywa łamane, mączki marmurowe	bryły skalne, płyty posadzkowe i elewacyjne, stopnie schodowe, parapety i inne elementy
Migmatyt	kruszywo łamane	–
Serpentyt	kruszywo łamane, kamień ozdobny	
Chalcedonit	kruszywa łamane, kamień ozdobny, materiał filtracyjny	
Dolomit	kruszywa łamane, kamień do robót hydrotechnicznych, kamień ozdobny nawozy	płyty posadzkowe i elewacyjne, stopnie schodowe, parapety, kamień murowy, inne
Piaskowiec	kruszywo łamane, kamień do robót hydrotechnicznych	bloki i bryły kamienne, płyty posadzkowe i elewacyjne, stopnie schodowe, parapety, kamień murowy, inne
Piaskowiec kwarcytowy		–
Szarogłaz		–
Wapień	kruszywa łamane, kamień do robót hydrotechnicznych, kamień ozdobny, nawozy	płyty posadzkowe i elewacyjne, stopnie schodowe, parapety, kamień murowy, inne
Wapień i dolomit		–

4. PODSUMOWANIE

Rozwój wydobycia kamieni łamanych i blocznych jest istotnym wyznacznikiem rozwoju gospodarczego kraju, gdyż zużycie tych kopalin, głównie do produkcji kruszyw łamanych, ma ścisły i bezpośredni związek z rozwojem branży budowlanej, w szczególności budownictwa liniowego (drogowego i kolejowego), jak i kubaturowego.

Skały magmowe, metamorficzne i osadowe powszechnie wykorzystywane są do produkcji kruszyw łamanych powszechnie wykorzystywanych w budownictwie bezpośrednio, jak i w formie produktów z ich udziałem (betony, mieszanki mineralno-asfaltowe), w mniejszym zakresie także jako kamień do robót hydrotechnicznych. Odmiany skał blocznych znajdują zastosowanie głównie do produkcji kostki i krawężników drogowych, a także płyt nagrobkowych, posadzkowych i okładzinyowych czy innych elementów kamiennych budowlanych i architektonicznych.

W oparciu o wykonane analizy wykazano, że złoża kamieni łamanych i blocznych są wykorzystywane w ponad 98% do pozyskiwania kamienia łamanego, z którego wytwarzane są głównie kruszywa łamane, a tylko w niespełna 2% do pozyskiwania kamienia blocznego. Pomimo zachowania zbliżonej proporcji wydobycia kamienia łamanego i blocznego, obserwować można w ostatnim 25-leciu ciągły – łącznie około czterokrotny wzrost wielkości wydobycia tej grupy kopalin.

Spośród wszystkich eksploatowanych złóż kamieni łamanych i blocznych dominującą grupą stały się w tym okresie skały osadowe, spośród których w najwyższym stopniu eksploatowane są wapienie, dolomity i piaskowce. Wciąż bardzo duże jest wydobycie skał magmowych (przede wszystkim granitów, bazaltów i melafirów), natomiast niewielkie, choć rosnące skał metamorficznych (głównie amfibolitów, migmatytów i gnejsów).

Łączne wydobycie kamienia blocznego odnotowało także wyraźny wzrost, szczególnie w ostatniej dekadzie, z poziomu 1,2–1,3 do 1,7–1,8 mln ton/rok. Struktura krajowej produkcji kamienia blocznego jest tradycyjnie zdominowana przez różne odmiany granitów (85–92% łącznej produkcji), a także różne odmiany piaskowców (7–13%). Udział innych odmian skał blocznych – sjenitu, marmuru, wapienia i dolomitu – łącznie nie przekracza 2%.

LITERATURA

- [1] SCHIAPPACASSE P., MÜLLER B., LINH L.T., WIRTH P., *Construction Aggregates and Environmental Policy Integration in a One-Party State: The Case of Hoa Binh, Vietnam*, Sustainability, 2020, Vol. 12, 6890.
- [2] BLACHOWSKI J., BUCZYŃSKA A., *Spatial and Multicriteria Analysis of Dimension Stones and Crushed Rocks Quarrying in the Context of Sustainable Regional Development: Case Study of Lower Silesia (Poland)*, Sustainability, 2020, Vol. 12, 3022.

- [3] MENEGAKI M., KALIAMPAKOS D.C., *European aggregates production: Drivers, correlations and trends*, Resources Policy, 2010, Vol. 35, 235–244.
- [4] GUZIK K., GALOS K., *Wystarczalność zasobów kamieni łamanych i błochnych w Polsce*, [w:] W. Glapa (red.), *Kruszywa mineralne*, t. 4, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2020, 55–68.
- [5] GALOS K., SMAKOWSKI T., *Rozwój rynku naturalnych kruszyw łamanych po 2000 roku*, [w:] W. Glapa (red.), *Kruszywa mineralne*, t. 3, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2019, 25–38.
- [6] *Bilanse zasobów kopalin w Polsce*, Wyd. PIG–PIB, Warszawa 1998–2022.
- [7] GALOS K., LEWICKA E. (red.), *Gospodarka surowcami mineralnymi w Polsce w latach 2012–2021*, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2022.
- [8] MONTEIRO N., NETO J., DA SILVA E., *Bibliometric study of the crushed stone mining sector*, Miner. Process. Extr. Metall. Rev., 2018, Vol. 39, 1–15.
- [9] GUZIK K., *Racjonalna gospodarka zasobami złóż kamieni błochnych w Polsce a aktualne uwarunkowania rynkowe*. XXVIII Konferencja „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”, Ryto 2018.
- [10] PŘIKRYL R., *Geomaterials as construction aggregates: a state-of-the-art*, Bull. Eng. Geol. Environ., 2021, Vol. 80, 8831–8845.
- [11] MIATTO A., SCHANDL H., FISHMAN T., TANIKAWA H., *Global patterns and trends for non-metallic minerals used for construction*, J. Ind. Ecol., 2017, 21(4), 924–937.
- [12] SMAKOWSKI T., NEY R., GALOS K. (red.), *Bilans gospodarki surowcami mineralnymi. Polska i świat. 2012*, PIG–PIB, Warszawa 2014.
- [13] GUZIK K., FIGARSKA-WARCHOŁ B., *Management of dimension stones in Poland in the years 2011–2021*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management, 2023, 1 (in press).
- [14] PESZAT C., *Właściwości techniczne piaskowców Gór Świętokrzyskich*, Zeszyty Naukowe AGH. Geologia, 1973, nr 378, z. 18.
- [15] STRZAŁKOWSKI P., DUCHNOWSKA M., KAŹMIERCZAK U., BAKALARZ A., WOLNY M., KARWOWSKI P., STĘPIEŃ T., *Evaluation of the Structure and Geometric Properties of Crushed Igneous Rock Aggregates*, Materials, 2021, Vol. 14, 7202.
- [16] ADOMAKO S., ENGELSEN C.J., THORSTENSEN R.T., BARBIERI D.A., *Review of the relationship between aggregates geology and Los Angeles and micro-Deval tests*, Bull. Eng. Geol. Environ., 2021, Vol. 80, 1963–1980.
- [17] STRZAŁKOWSKI P., KAŹMIERCZAK U., *Wear and Fragmentation Resistance of Mineral Aggregates – A Review of Micro-Deval and Los Angeles Tests*, Materials, 2021, Vol. 14, 5456.
- [18] GUZIK K., *Możliwości wykorzystania piaskowców jurajskich północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich jako kamieni architektonicznych w zależności od ich litologii*, Studia, Rozprawy, Monografie 2017, 205, Wydawnictwo IGSMiE PAN.

THE MANAGEMENT OF DIMENSION AND CRUSHED STONES – DEVELOPMENT OF THE RESOURCE BASE AND OUTPUT IN THE LAST 25 YEARS

Poland is a major producer of dimension and crushed stones in the European Union. The volume of domestic dimension and crushed stones extraction is annually reported and in 2021 it exceeded 79 million tonnes. Published data does not separately classify stone for the production of aggregates and dimension stones (including irregular and thin stone elements used in the production of various stone products), which causes significant problems in assessing the management of these raw materials. The conducted research was aimed at systematising and obtaining more detailed information on the management of dimension and crushed stones deposits over the last 25 years. Distinguishing the deposits depending on directions of raw material application is a basic criterion for assessing the scale of the different uses of

these rock materials. Available data show that the output of crushed stones is more than 40 times greater than the output of dimension stones. This is due to the variation in the geological structure of the deposits, used mining operations technologies and market demand for these raw materials. An overview of the different rock types used for the production of dimension and crushed stones in the analysed period illustrates the development of the domestic rock mining industry and the demand for this most important group of rock minerals.

Jarosław SZLUGAJ

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie

MOŻLIWOŚCI PRODUKCJI KRUSZYW Z ODPADÓW WYDOBYWCZYCH Z WYBRANYCH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO

Odpadami wydobywczymi, które mogą stanowić mineralne surowce odpadowe, są odpady powstające w wyniku wydobywania kopalni (w tym węgla kamiennego), a także ich wzbogacania i przetwarzania [1, 2]. W krajowych kopalniach węgla kamiennego w ostatnich kilkunastu latach wytwarzano rocznie 25–37 mln ton odpadów wydobywczymi (określanych także mianem odpadów powęglowych). Przedmiotem badań w niniejszym artykule są odpady, które z jednej strony są wytwarzane w dużych ilościach, a z drugiej strony potencjalnie mogą być materiałem do produkcji kruszyw dla potrzeb budownictwa.

1. WSTĘP

Przedmiotem badań były odpady powęglowe przeróbcze z dwóch kopalni wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, do tej pory pod tym kątem nie badanych: KWK Wesoła oraz KWK Ziemowit. Ponadto odpady z obydwu kopalni nie były wykorzystywane do produkcji kruszyw mineralnych. Kopalnie te znajdują się we wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Położone są w obrębie Niecki Głównej; złoża Wesoła w jej północnym skrzydle, a Ziemowit w centralnej części [4, 5].

Obydwie kopalnie są zakładami podziemnymi, stosującymi ten sam system eksploatacji – ścianowy z zawałem stropu (tab. 1). W obu kopalniach występuje cały szereg zagrożeń naturalnych utrudniających eksploatację [6, 4]. Dużym zagrożeniem dla prowadzonych robót eksploatacyjnych są podziemne zbiorniki wodne, zlokalizowane w zrobach dawnych wyrobisk. Ponadto węgle eksploatowane generalnie mają dużą, a nawet bardzo dużą skłonność do samozapalenia; w kopalni Wesoła występują zagrożenia tapaniami oraz zagrożenia metanowe [4, 10].

Pod względem zasobów bilansowych i przemysłowych dysponują podobnymi wielkościami. Wydobyte w kopalni Ziemowit w 2021 r. wyniosło 2,5 mln ton i przekroczyło o niemal 0,6 mln ton wydobyte w KWK Wesoła (tab. 2).

Tabela 1. Podstawowe informacje dotyczące złóż Wesoła i złoża Ziemowit [3–8]
 Table 1. Basic information on the Wesoła and Ziemowit deposits [3–8]

Wyszczególnienie	Kopalnia Wesoła	Kopalnia Ziemowit
Nazwa złoża	Wesoła	Ziemowit
Obszar górniczy (OG)	Wesoła II	Lędziny I
Powierzchnia złoża [km ²]	45,78	64,26
Kopalina główna	węgiel kamienny	
Występujące podtypy kopaliny	węgiel typu 31 + 32, 33, 34	
Kopalina towarzysząca	metan	
Ważność koncesji	31.08.2043	31.08.2044
System eksploatacji	ścianowy z zawalem stropu	
Forma złoża	złożo pokładowe	
Grupa złoża	II	
Mięszość złoża	700–1230 m (średnio 950 m)	540–1000 m (średnia 880 m)
Grubość nadkładu	0–256 m (średnia 80 m)	0–274 m (średnia 120 m)
Eksplloatowane pokłady węgla	308, 318, 405/2, 501 i 510	206/1, 207, 209, 308 i 318
Liczba szybów	5	8

Tabela 2. Wykaz zasobów w eksploataowanych złożach kopalni Wesoła i Ziemowit, stan na 31 XII 2021 r. [7–9]
 Table 2. Hard coal resources in the exploited deposits of the Wesoła and Ziemowit mines, as of December 31, 2021 [7–9]

Nazwa złoża	Zasoby geologiczne				Zasoby przemysłowe	Wydobycie	
	Bilansowe				Razem		
	Razem	A+B	C ₁	C ₂			D
	tys. ton						
Wesoła	1 621 205	247 282	971 224	402 699	–	296 523	1 941
Ziemowit	1 782 734	134 799	1 137 545	502 407	7 983	283 111	2 528

2. CHARAKTERYSTYKA ODPADÓW WYDOBYWCZYCH

Eksploatacja złóż węgla kamiennego w Polsce związana jest z powstawaniem odpadów wydobywczych [3]:

- górniczych; pochodzących z robót przygotowawczych i wydobywczych o zróżnicowanych parametrach jakościowych, zależne od warunków geologicznych eksploataowanych złóż; ich uziarnienie jest niejednorodne, dochodzi do 500 mm, przy czym ponad 90% fragmentów skał ma wymiary >200 mm;
- przerobczych; powstających w wyniku procesów wzbogacania węgla, w zależności od stosowanych urządzeń i technologii wzbogacania dzielą się one z kolei na odpady:

- a) gruboziarniste z ziarnami o wymiarach 20–200 mm, zawartością węgla w granicach 5–15%, siarki całkowitej poniżej 1% i wilgotnością rzędu 4–6%,
- b) drobnoziarniste z ziarnami do 20 mm, wyższym udziałem węgla i siarki całkowitej oraz wyższą wilgotnością,
- c) flotacyjne; bardzo drobnoziarniste, z wysoką zawartością siarki całkowitej, węgla i wilgoci, oraz skażone odczynnikami flotacyjnymi i flokulantami.

Zdecydowaną większość; ok. 90% spośród wszystkich wytworzonych odpadów powęglowych stanowią odpady przerobcze ze wzbogacania węgla w osadzarkach, cieczach ciężkich i z obiegów wodno-mułowych. Na odpady z flotacji węgla przypada niespełna 5%, a na górnicze pozostałe ok. 5% [11]. Szczegółowej analizie poddane zostały wytwarzane gruboziarniste odpady przerobcze z płuczek ziarnowych o uziarnieniu 20–200 mm.

Obydwie kopalnie prowadzą przeróbkę węgla kamiennego w zakładach przerobczych, składających się ze stacji: przygotowania węgla (przesiewanie wstępne, kruszenie), stacji klasyfikacji wstępnej (przesiewanie) i płuczki zawieszinowej (wzbogacalnik DISA, odwadnianie). Dotychczas wszystkie odpady powstające w tych kopalniach kierowane są na składowisko CTL „Maczki-Bór”. Każda z kopalń wytwarza po ok. 1 mln ton/rok odpadów [3].

2.1. KWK WESOŁA

Pobrano próbę odpadów przerobczych w ilości 302 kg. W składzie litologicznym dominowały skały ilaste; łupki ilaste oraz mułowce (fot. 1), generalnie o barwie ciemnoszarej, niekiedy brązowawej z licznymi wprysnięciami i smugami węgla kamiennego, a ich udział w całej próbie wynosił 65%. Drugim pod względem liczebności typem skał są łupki węglowe, czyli przerosty niemal czarnych łupków ilastych i warstewek węgla kamiennego, ich udział wynosił 20%. Piaskowce z udziałem nie przekraczającym 15%, charakteryzowały się barwą jasnoszarą do szarej, rzadko z odcieniem zielonkawym, najczęstiej bez śladów obecności węgla.



Fot. 1. Odpady wydobywcze z KWK Wesola [3]
Photo 1. Mining and processing waste from Wesola mine [3]

2.2. KWK ZIEMOWIT

Pobrano próbę odpadów przeróbczych w ilości 569 kg. W składzie litologicznym odpadów dominowały łupki ilaste, stanowiące około 60% masy próby (fot. 2), o barwie ciemnoszarej i czarnej, bezładne. Ich uwarstwienie, jak również ślady odcisków roślin występowały rzadko. Udział piaskowców wynosił 40%. Charakteryzowały się one barwą jasnoszarą do szarej. Były zwykle bezładne, ale też w znaczących ilościach występował cały szereg odmian uwarstwionych, laminowanych równolegle, jak i przekątnie, a rzadko piaskowce z domieszką otoczków.



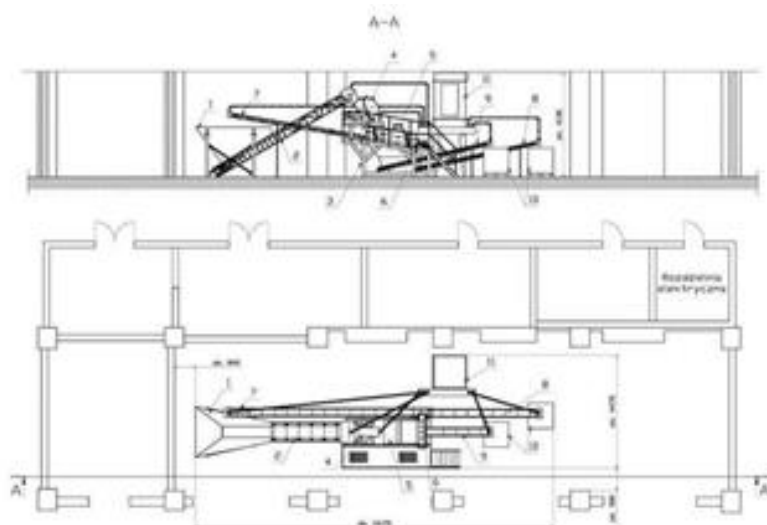
Fot. 2. Odpady wydobywcze z KWK Ziemowit [3]
Photo 2. Mining and processing waste from Ziemowit mine [3]

3. KRUSZYWA MINERALNE WYTWORZONE Z BADANYCH ODPADÓW

Kruszywa mineralne zostały wytworzone w Centralnym Laboratorium Techniki Strzelniczej i Materiałów Wybuchowych AGH w Regulicach. W laboratorium tym znajduje się instalacja demonstracyjna do produkcji kruszyw z odpadów powęglowych o wydajności min. 0,6 t/h. Instalacja do produkcji kruszyw powstała w 2013 r. w ramach realizacji projektu „Min–Novation” [12]. Instalacja składa się z kruszarki udarowej listwowej, przesiewacza wibracyjnego dwupokładowego 0,9 × 2,0 m oraz niezbędnych elementów instalacji (przenośniki, podajnik, kosz zasypowy, zbiorniki) zapewniających uzyskanie produktów; mieszanek 4–31,5 oraz 0–4 mm. W skład instalacji wchodzi również instalacja odpylająca (rys. 1).

Kruszywa mineralne łamane o uziarnieniu 4–31,5 mm zostały zbadane pod kątem przydatności do stosowania w budownictwie drogowym i inżynieryjnym. W tym celu określono ich uziarnienie oraz właściwości fizyko-mechaniczne: odporność na ścieranie (współczynnik mikro-Deval), odporność na rozdrabnianie (współczynnik Los Angeles), gęstość objętościowa, nasiąkliwość wagowa i mrozoodporność. Badania wykonano według norm [13–17]. Produkty drobnoziarniste o uziarnieniu 0–4 mm zbadano pod kątem ich przydatności jako materiały niskoenergetyczne, określając wartość opałową,

zawartości węgla całkowitego, siarki całkowitej, popiołu i wilgoci. Badania wykonano według norm [18–22].



Rys. 1. Schemat instalacji demonstracyjnej do produkcji kruszyw z odpadów powęglowych (wg projektu ZPUHiT ORSTAL) [3]: 1 – kosz zasypowy, 2 – przenośnik taśmowy kruszarki, 3 – konstrukcja wsporcza, 4 – kruszarka udarowa M5, 5 – przesiewacz wibracyjny, 6, 7, 8, 9 – przenośniki taśmowe produktów; 10 – pojemniki produktów; 11 – instalacja odpylająca
Fig. 1. Diagram of a demonstration installation for the production of aggregates from coal waste (according to the design of ZPUHiT ORSTAL) [3]

4. PARAMETRY KRUSZYW – OCENA PRZYDATNOŚCI

Z pobranej próby odpadów z KWK Wesoła otrzymano 123 kg kruszywa o uziarnieniu 4–31,5 mm, natomiast z odpadów z KWK Ziemowit 202 kg kruszywa (do produkcji kruszywa wykorzystano 381 kg odpadów) [3].

Uziarnienie kruszyw mineralnych pozyskanych z badanych odpadów oceniano według norm [23–25] oraz dokumentu [26]. Pozwoliło to określić ich przydatność do produkcji betonów i prefabrykatów, w budownictwie ogólnym, drogowym i hydrotechnicznym.

Należy nadmienić, że wszystkie te akty normatywne opisują kruszywa o uziarnieniu ciągłym o wymiarze $d = 0$ oraz $D > 6,3$ mm, czyli stanowiące mieszankę kruszyw drobnych i grubych o najmniejszych ziarnach przechodzących przez sito 0,063 mm. Badane kruszywa, posiadają uziarnienie 4–31,5 mm, ponieważ w toku przeprowadzonych testów stosowano dwa sита o wymiarach oczek 4 mm i 31,5 mm. Kruszywo

o uziarnieniu 0–4 mm zostało potraktowane jako osobny produkt, w którym miało nastąpić wzbogacenie w węgiel kamienny i w związku z tym ocenę jego możliwości wykorzystania przeprowadzono według innych kryteriów, a nie jako materiału budowlanego. Natomiast kruszywo 4–31,5 mm posiada inne uziarnienie niż to, które jest opisywane w normach i w związku z tym nie wszystkie jego właściwości fizykomechaniczne mogą być porównywane wprost z obowiązującymi normami i Wymaganiami Technicznymi.

Wykorzystanie kruszyw, np. do sporządzania betonu jest możliwe pod warunkiem spełnienia przez nie określonych wymagań jakościowych. Natomiast przy wykonywaniu konstrukcji drogowych, ulepszonego podłoża, jak również konstrukcji innych nawierzchni wykonanych z mieszanek niezwiązanych i przeznaczonych do ruchu drogowego ważne są także m.in.: ciągłe uziarnienie, właściwe przygotowanie podłoża i odpowiednie zagęszczenie przy optymalnej wilgotności [26].

Z materiałowego punktu widzenia, kluczowe znaczenie mają fizyczno-mechaniczne właściwości kopaliny oraz skład ziarnowy otrzymanego kruszywa, decydujące o wartości jego poszczególnych parametrów, a w konsekwencji o właściwościach warstwy podłoża lub nawierzchni wykonanych z jego użyciem [27].

Badane kruszywa posiadają wymiar 4–31,5 mm. Ich skład granulometryczny jest korzystny, charakteryzują się niską zawartością podziarna i nadziarna, przy czym udział tych frakcji w kruszywie z KWK Wesoła jest zdecydowanie mniejszy niż w kruszywie z KWK Ziemowit. Tym niemniej kruszywa otrzymane z obu kopalń, spełniają wymagania wszystkich trzech norm dotyczących uziarnienia kruszyw grubych oraz kruszyw o uziarnieniu ciągłym. Kruszywa te według normy [23] zostały zaliczone do kategorii $G_A 90$ (odnośnie kruszyw o uziarnieniu ciągłym) oraz $G_C 90/15$ – jako kruszywo grube (tab. 3).

Zgodnie z normą [24] kruszywa te zaliczono do kategorii $G_A 85$ (odnośnie kruszyw o uziarnieniu ciągłym) oraz do kategorii $G_C 85-15$ jako kruszywo grube (tab. 3). Z kolei według normy [25] kategoria uziarnienia została ustalona jako $G_A 90$ (odnośnie kruszyw o uziarnieniu ciągłym) oraz $G_C 90/10$ – jako kruszywo grube (tab. 3).

Oznacza to, że badane kruszywa należą do najwyższych kategorii. Biorąc pod uwagę tylko parametr uziarnienia, można wskazać, że mogłyby być one stosowane w budownictwie ogólnym, drogowym i hydrotechnicznym, a także w produkcji betonu.

W toku dalszych badań określono wartości kolejnych parametrów, jak nasiąkliwość wagowa, mrozoodporność, odporność na rozdrabnianie czy odporność na ścieranie. Są one zależne od składu mineralnego i rodzaju kruszywa (łamane czy naturalne). Stosowanie kruszyw charakteryzujących się wysoką odpornością na rozdrabnianie jest niezbędne w warstwach narażonych na duże obciążenia mechaniczne i agresywne oddziaływanie środowiska – w konstrukcjach drogowych, mostowych i nawierzchniach lotniskowych. Odporność na rozdrabnianie jest także konieczna w przypadku produkcji betonów o wysokich klasach wytrzymałości [28].

Tabela 3. Ocena właściwości kruszywa 4–31,5 mm z odpadów przerobczych z kopalń Wesoła i Ziemowit w odniesieniu do wymogów norm [3] uzupełnione
 Table 3. Assessment of the properties of aggregate 4–31.5 mm from mining and processing waste from Wesoła and Ziemowit mines in relation to the requirements of applicable standards [3] supplemented

Badana cecha	Wynik badania	Ocena–kategorie		
		PN-EN 12620 [23]	PN-EN 13242 [24]	PN-EN 13043 [25]
KWK WESOŁA				
Wymiar kruszywa d/D	Oznaczenie	4/31,5	4/31,5	4/31,5
Uziarnienie, % przechodzącej masy przez:				
2 D	100	G _A 90	G _A 85	G _A 90
1,4 D	100	G _C 90/15	G _C 85–15	G _C 90/10
D	100			
d	0,3			
d/2	0,2			
Nasiąkliwość ¹ wagowa WA ₂₄	1,9 [%]	WA ₂₄ 1,9 (wartość deklarowana)		
Mrozoodporność ¹ : F [%]				
Fracja 4–8 mm	17,2	F _{17,2} (wartość deklarowana)		
Fracja 8–16 mm	22,2	F _{22,2} (wartość deklarowana)		
Odporność na ścieranie w bębnie micro-Deval1 (frakcja 10–14 mm) M _{DE} [%]	78,0	M _{DE} 78 (wartość deklarowana)		
Odporność na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles1 (frakcja 10–14 mm) LA [%]	34,0	LA ₃₅		
KWK ZIEMOWIT				
Uziarnienie, % przechodzącej masy przez:				
2 D	100	G _A 90	G _A 85	G _A 90
1,4 D	100	G _C 90/15	G _C 85–15	G _C 90/10
D	97,0			
d	1,0			
d/2	1,0			
Nasiąkliwość ¹ wagowa WA ₂₄	6,6 [%]	WA ₂₄ 6,6 (wartość deklarowana)		
Mrozoodporność ¹ : F [%]				
Fracja 4–8 mm	80,0	F _{80,0} (wartość deklarowana)		
Odporność na ścieranie w bębnie micro-Deval1 (frakcja 10–14 mm) M _{DE} [%]	97,0	M _{DE} 97 (wartość deklarowana)		
Odporność na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles1 (frakcja 10–14 mm) LA [%]	42,0	LA ₅₀		

¹ Ocenę wartości parametru określono wg normy PN-EN 12620 [23].

Kruszywo mineralne o uziarnieniu 4–31,5 mm z odpadów wydobywczych z KWK Wesola wykazuje niskie parametry jakościowe. Szczególnie niekorzystne są wartości tych parametrów, dla których wg norm podawane są wartości deklaratywne, tzn.: nasiąkliwości wagowej, mrozoodporności i odporności na ścieranie w bębnie micro-Deval (tab. 3), wpływając na ograniczone możliwości stosowania otrzymanych kruszyw. Jedyne odporność na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles spełnia wymogi norm, a kruszywo to należy do kategorii LA₃₅ (tab. 3).

Kruszywo otrzymane z odpadów z KWK Ziemowit posiada znacznie gorsze właściwości fizyczno-mechaniczne w porównaniu do kruszywa z kopalni Wesola, zwłaszcza w przypadku nasiąkliwości wagowej i mrozoodporności, których wartości są 3–4-krotnie wyższe. Podobnie jak w przypadku kruszywa z KWK Wesola, jedynie odporność na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles spełnia wymogi norm, a kruszywo z KWK Ziemowit należy do kategorii LA₅₀ (tab. 3).

Wysoka nasiąkliwość i niska mrozoodporność decydują o braku możliwości zastosowania obydwu badanych mieszanek kruszyw w warunkach przemarzania i innego bezpośredniego oddziaływania czynników atmosferycznych. Tym bardziej nie mogą one znaleźć zastosowania w produkcji betonu towarowego i prefabrykatów betonowych. Ponadto niska odporność na ścieranie, wartość współczynnika micro-Deval M_{DE} rzędu 78–97% (tab. 3), dyskwalifikuje te kruszywa do stosowania do nawierzchni drogowych.

Istnieje natomiast możliwość zastosowania tych kruszyw poniżej zasięgu strefy przemarzania przy formowaniu nasypów i warstw konstrukcji drogowej, np. podbudowy lub ulepszonego podłoża z uwagi na dość korzystną kategorię odporności na rozdrabnianie – wg [26], jak również do budowy dróg o mniejszych wymaganiach, np. drogi lokalne, place magazynowe, parkingi, do niwelacji terenu stanowiącego podłoża budowlane (pod warunkiem dobrego zagęszczenia materiału), wymiany i wzmocnienia gruntów, a także do budowy szeregu obiektów inżynierskich, jak nasypy hydrotechniczne, obwałowania zbiorników wodnych i osadników, groble i zapory. O takich kierunkach ewentualnych zastosowań decydują: jednorodny skład granulometryczny, gruboziarniste ciągłe uziarnienie oraz podatność na rozkruszanie, co umożliwi uzyskanie wypełnienia wolnych przestrzeni między ziarnami kruszywa w procesie zagęszczenia, bez konieczności doziarniania, oraz ostry kształt ziaren, co pomaga w dobrym klinowaniu się materiału, mając istotny wpływ na stateczność takich budowli.

4.1. PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI BADANYCH KRUSZYW Z PODOBNYMI PRODUKTAMI DOSTĘPNYMI NA RYNKU

Właściwości fizyczno-mechaniczne kruszywo o uziarnieniu 4–31,5 mm otrzymanych z odpadów z kopalń Wesola i Ziemowit zostały porównane z podobnymi kruszywami oferowanymi na rynku i produkowanymi również z odpadów pochodzących z innych kopalń węgla kamiennego – produkowanych przez KWK Wujek oraz Haldex S.A. (tab. 4).

Tabela 4. Porównanie właściwości fizyczno-mechanicznych kruszyw z kopalń Wesoła i Ziemowit z kruszywami innych producentów [3, 29, 30]

Table 4. Comparison of physical and mechanical properties of aggregates from Wesoła and Ziemowit mines with aggregates offered by other producers [3, 29, 30]

Parametr	KWK Wesoła 4–31,5 mm	KWK Ziemowit 4–31,5 mm	Haldex S.A 0–31,5 mm	KWK Wujek 8–16 mm
Uziarnienie	G _A 85	G _A 85	G _A 85	G _C 90/10
Nasiąkliwość WA ₂₄	WA ₂₄ 1,9	WA ₂₄ 6,6	WA ₂₄ 4,6–5,4	WA ₂₄ 3,57
Mrozoodporność: F [%] Fracja 4–8 mm Fracja 8–16 mm	F _{17,2} F _{22,2}	F _{80,0} –	F _{18,4–28,2}	F _{22,8}
Odporność na ścieranie w bębnie micro-Deval (frakcja 10–14 mm) M _{DE} [%]	M _{DE} 78	M _{DE} 97	M _{DE} 72,2–74,8	M _{DE} 70
Odporność na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles (frakcja 10–14 mm) LA [%]	LA ₃₅	LA ₅₀	LA _{25–30}	LA ₄₀

Haldex S.A. oferuje kruszywa o szerokim zakresie uziarnienia, m.in. 0–31,5 mm, 0–63 mm, 31,5–63 mm, 31,5–125 mm, 31,5–200 mm, 40–63 mm oraz 40–90 mm. Natomiast KWK Wujek oferuje kruszywa o uziarnieniu 4–8 mm, 8–16 mm oraz 16–63 mm. Wymienieni producenci oferują kruszywa z odpowiednimi certyfikatami. Granulacja oferowanych kruszyw nie w pełni odpowiada kruszywom pozyskanym z kopalń Wesoła i Ziemowit. Pomimo to z oferowanych produktów do porównań wybrano kruszywa: 0–31,5 mm z Haldexu S.A. oraz 8–16 mm z KWK Wujek (tab. 4).

Wartości parametrów jakościowych kruszywa o uziarnieniu 4–31,5 mm otrzymanego z odpadów z KWK Wesoła nie odbiegają znacząco od tych, które oferowane są obecnie na rynku przez innych producentów (tab. 4). W przypadku nasiąkliwości jej wartość jest nawet znacznie niższa, wskazując na wyraźnie lepszą jakość. Natomiast mieszanka mineralna z KWK Ziemowit jest wyraźnie gorszej jakości w porównaniu z innymi oferowanymi mieszankami. Dotyczy to zwłaszcza wartości mrozoodporności, która jest ok. trzykrotnie wyższa, a w mniejszym stopniu nasiąkliwości czy odporności na rozdrabnianie (tab. 4). W przypadku kategorii uziarnienia, jego wartości nie odbiegają od średnich wartości porównywalnych kruszyw.

4.2. OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA PRODUKTÓW DROBNOZIARNISTYCH JAKO MATERIAŁÓW NISKOENERGETYCZNYCH

Założono, że w trakcie przeróbki mechanicznej odpadów wydobywczych okruszywa skał zawierające węgiel kamienny będą wykazywały niską odporność na rozdrabnianie. Dzięki temu powstający materiał drobnoziarnisty – o uziarnieniu 0–4 mm, będzie

wzbogacony w substancję węglową, a w związku z tym może być traktowany jako materiał niskoenergetyczny. Stąd też został on zbadany pod kątem przydatności jako potencjalne paliwo, z określeniem wartości opałowej oraz zawartości węgla całkowitego, siarki całkowitej, popiołu i wilgoci.

Odpady przerobcze z KWK Wesoła charakteryzują się wysoką zawartością węgla całkowitego – 18,6%, natomiast w odpadach z KWK Ziemowit stwierdzono znacznie niższą zawartość – około 1,9% (tab. 5).

W toku produkcji kruszyw z odpadów przerobczych z kopalni Wesoła zawartość węgla całkowitego zmniejszyła się z 18,6% w materiale wyjściowym (odpadzie) do 6,0% w otrzymanym kruszywie. W przypadku produktu drobnoziarnistego 0-4 mm zawartość węgla całkowitego wyniosła natomiast 29% i była ponad półtorakrotnie wyższa od zawartości w materiale wyjściowym (tab. 5).

W przypadku kruszyw z kopalni Ziemowit zawartość węgla całkowitego zmniejszyła się nieznacznie – z 1,9% w odpadzie do 1,5% w otrzymanym kruszywie. W przypadku produktu drobnoziarnistego 0–4 mm zawartość węgla całkowitego wyniosła również 1,5% (tab. 5). Świadczy to o innej formie występowania węgla całkowitego w badanych kruszywach, niż w przypadku kruszyw z kopalni Wesoła. Najczęściej jest to forma rozproszona, raczej „wprysnięcia” niż warstewki, co sprawia, że w trakcie kruszenia i przesiewania substancja węglista przechodzi w równych proporcjach do kruszywa grubego, jak i do produktu drobnoziarnistego.

Tabela 5. Porównanie zawartości wilgoci całkowitej i węgla całkowitego w odpadach przerobczych z KWK Wesoła i KWK Ziemowit i w otrzymanych z nich kruszywach [3]

Table 5. Comparison of total moisture and total carbon content in mining and processing waste from Wesoła and Ziemowit mines and in aggregates obtained from them [3]

Parametr	Symbol/Jedn.	Wynik oznaczenia		
		odpad przerobczy	kruszywo 4–31,5 mm	produkt 0–4 mm
KWK WESOŁA				
Zawartość wilgoci całk.	W_t [%]	1,9	1,6	2,7
Zawartość popiołu	A [%]	–	–	58,0
Zawartość siarki całk.	S_t [%]	–	–	0,7
Zawartość węgla całk.	C_t [%]	18,6	6,0	29,0
Wartość opałowa	Q_s [MJ/kg]	–	–	9,4
KWK ZIEMOWIT				
Zawartość wilgoci całk.	W_t [%]	2,6	2,3	2,9
Zawartość popiołu	A [%]	–	–	92,1
Zawartość siarki całk.	S_t [%]	–	–	0,15
Zawartość węgla całk.	C_t [%]	1,9	1,5	1,5
Wartość opałowa	Q_s [MJ/kg]	–	–	0,5

Zawartość węgla całkowitego jest decydującym czynnikiem wpływającym na wartość opałową. Stwierdzona w produkcie drobnoziarnistym 0–4 mm otrzymanym z odpadu z kopalni Wesola zawartość węgla całkowitego w ilości 29%, skutkuje wartością opałową rzędu 9,4 MJ/kg (tab. 5). Stosunkowo niska zawartość siarki – 0,7%, może wpłynąć na ewentualną przydatność tego produktu do komponowania mieszanek paliwowych, jako paliwo uzupełniające wraz z bardziej energetycznym miałem węglowym, do spalania w tradycyjnych elektrowniach i ciepłowniach.

W przypadku produktu drobnoziarnistego z odpadów z KWK Ziemowit zawartość węgla całkowitego 1,5% skutkuje bardzo niską wartością opałową – jedynie 0,5 MJ/kg (tab. 5). Tak niska wartość oraz zawartość popiołu ok. 92%, nawet przy bardzo niskiej zawartości siarki wynoszącej 0,15%, dyskwalifikuje ten produkt z zastosowań w energetyce.

Praktyka ostatnich lat wskazuje, że materiały niskoenergetyczne używane do celów energetycznych osiągają wartość opałową 5–10 MJ/kg, rzadziej 12 MJ/kg [31]. Zagospodarowywane są przede wszystkim granulaty z mułów powęglowych, które stosuje się jako niskoenergetyczne paliwa w elektrowniach i elektrociepłowniach.

Analizowane produkty drobnoziarniste 0–4 mm oprócz substancji węglowej zawierają również zazwyczaj dużo substancji mineralnej, określanej w energetyce jako popiół. Duża zawartość popiołu w węglu kamiennym stosowanym w energetyce zawodowej jest niepożądana. Jednak substancje szkodliwe w procesie spalania w kotłach energetycznych mogą być traktowane jako użyteczne w innych procesach technologicznych. Przykładem jest produkcja klinkieru portlandzkiego, gdzie odpady wydobywcze z powodzeniem są wykorzystywane jako surowiec niski, glinonośny i krzemonośny. Dodatkowa zawartość węgla całkowitego sprzyja obniżeniu zużycia paliwa w procesie wypału klinkieru w piecach obrotowych [31]. Prowadzone w ostatnich latach programy badawcze w Cementowni Warta S.A. potwierdziły przydatność tego rodzaju odpadów w procesie produkcji cementu [32, 33].

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań kruszyw o uziarnieniu 4–31,5 mm z odpadów powęglowych z obydwu kopalń można stwierdzić, że odpady te mogą być wykorzystane do produkcji kruszyw mineralnych, m.in. do:

- budowy nasypów komunikacyjnych,
- robót ziemnych, w tym niwelacyjnych (poniżej strefy przemarzania gruntu),
- wymiany i wzmacniania gruntu; dostateczna nośność umożliwia przeniesienie obciążeń od działania sił pionowych bez wystąpienia nadmiernych odkształceń,
- budownictwa kubaturowego; w ograniczonym stopniu jako zasypki, podsypki, wypełnienia inżynierskie poniżej strefy przemarzania,

- budownictwa hydrotechnicznego; budowa nasypów oraz obwałowań zbiorników wodnych i osadników,
- rekultywacji technologicznej i biologicznej; głównie terenów zdegradowanych działalnością górniczą (np. stref osiadań) oraz przemysłową, ale także pokopalniczych wyrobisk odkrywkowych oraz składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych.

Produkt droбноziarnisty 0–4 mm niskoenergetyczny otrzymany z odpadu z KWK Wesola wykazujący wartość opałową 9,4 MJ/kg przy niskiej zawartości siarki może okazać się przydatny do przygotowywania mieszanek paliwowych z miałem węglowym. Analogiczny produkt z odpadu z KWK Ziemowit jest pod tym względem mniej atrakcyjny.

Publikacja zrealizowana w ramach badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie

LITERATURA

- [1] ROSIK-DULEWSKA Cz., *Podstawy gospodarki odpadami. Wydanie szóste uaktualnione*, Wyd. PWN, Warszawa 2015, s. 389.
- [2] GALOS K., GAWLICKI M., HYCINAR E., LEWICKA E., NIEĆ M., RATAJCZAK T., SZLUGAJ J., WYSZOMIRSKI P., *Surowce Mineralne Polski. Mineralne surowce odpadowe*, Wyd. IGSMiE PAN, Warszawa 2009, s. 261.
- [3] SZLUGAJ J., *Charakterystyka mineralogiczno-petrograficzna odpadów wydobywczych z wybranych kopalń węgla kamiennego w aspekcie ich wykorzystania do produkcji kruszyw mineralnych*, Studia, Rozprawy, Monografie 214, Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków 2020, s. 215.
- [4] *Dodatek nr 5 do Projektu zagospodarowania złoża węgla kamiennego „Wesola” na lata 2014–2020*, Geo-Pro-Serwis Usługi Inżynieryjno-Techniczne, Jaworzno 2014 (niepubl.).
- [5] *Dokumentacja geologiczna w kategoriach A, B, C1 i C2 złoża węgla kamiennego kopalni „Ziemowit”*, PTHU „Carbo-Techmex” sp. z o.o. Katowice, część 1–4 (niepubl.).
- [6] *Dodatek nr 3 do Projektu zagospodarowania złoża węgla kamiennego „Ziemowit” na lata 2011–2020. SITG O/Mysłowice*, Mysłowice (niepubl.).
- [7] *Karta informacyjna złoża kopaliny stałej Wesola. Kod MIDAS WK 350*, Państwowy Instytut Geologiczny–Państwowy Instytut Badawczy, *System gospodarki i ochrony bogactw mineralnych „MIDAS”, stan zasobów na 31 XII 2021 r.*; <http://geoportal.pgi.gov.pl/midas-web> [dostęp on-line: 28-02-2023].
- [8] *Karta informacyjna złoża kopaliny stałej Ziemowit. Kod MIDAS WK 374*, Państwowy Instytut Geologiczny–Państwowy Instytut Badawczy, *System gospodarki i ochrony bogactw mineralnych „MIDAS”, stan zasobów na 31 XII 2021 r.*; <http://geoportal.pgi.gov.pl/midas-web> [dostęp on-line: 28-02-2023].
- [9] *Bilans zasobów złóż kopaliny w Polsce wg stanu na 31 XII 2021 r.*, Wyd. PIG-BIP, Warszawa 2022, s. 509.
- [10] *Dokumentacja geologiczna otworów badawczych Wesola PIG-1 i Wesola-PIG-2H intersekcyjnie połączonych*, PIG-BIP Oddz. Górnośląski, Sosnowiec 2015, s. 156.
- [11] GALOS K., SZLUGAJ J., *Management of hard coal mining and processing wastes in Poland*, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 2014, t. 30, z. 4, 51–61.

- [12] GALOS K., SZLUGAJ J., *Badania w instalacji pilotowej w Regulicach przydatności odpadów przerobczyczych z wybranych kopalń węgla kamiennego do produkcji kruszyw mineralnych*, Przegląd Górniczy 2014, vol. 70, 129–136.
- [13] PN-EN 933-1:2012. *Badania geometrycznych właściwości kruszyw*. Część 1: *Oznaczanie składu ziarnowego. Metoda przesiewania*.
- [14] PN-EN 1097-1:2011. *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw*. Część 1: *Oznaczanie odporności na ścieranie (mikro-Deval)*.
- [15] PN-EN 1097-2:2010. *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw*. Część 2: *Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie*.
- [16] PN-EN 1097-6:2013-11. *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw*. Część 6: *Oznaczanie gęstości ziarn i nasiąkliwości*.
- [17] PN-EN 1367-1:2007. *Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych*. Część 1: *Oznaczanie mrozoodporności*.
- [18] PN-EN 80/G-04511. *Paliwa stałe – Oznaczanie zawartości wilgoci*.
- [19] PN-G-04560:1988. *Paliwa stałe – Oznaczanie zawartości popiołu*.
- [20] PN-G-04584:2001. *Paliwa stałe – Oznaczanie zawartości siarki całkowitej i popiołowej automatycznymi analizatorami*.
- [21] PN-G-04571:1988. *Paliwa stałe – Oznaczanie zawartości węgla całkowitego*.
- [22] PB-04, wyd. III z dnia 25.11.2009 r., *Procedura badawcza Laboratorium Badań Paliw Stałych PAK S.A. w Koninie*.
- [23] PN-EN 12620:2004. *Kruszywa do betonu*.
- [24] PN-EN 13242+A1:2010. *Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym*.
- [25] PN-EN 13043:2004. *Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu*.
- [26] *Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych. Wymagania techniczne, WT-4*, zał. nr 3 do Zarządzenia nr 102 GDDKiA z dnia 19 listopada 2010, Warszawa 2010.
- [27] REMBIŚ M., *Wpływ zmienności litologicznej melafirów na zróżnicowanie fizycznych i mechanicznych właściwości produkowanego z nich kruszywa o uziarnieniu ciągłym*, *Górnictwo Odkrywkowe*, 2018, nr 3, 100–110.
- [28] WĘGLIŃSKI S., BABIAK M., RATAJCZAK A., *Porównanie wybranych cech kruszyw lamanych i recyklingowych stosowanych w budownictwie wg norm zharmonizowanych*. *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej Nr 24*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2017, 369–385.
- [29] www.haldex.com.pl, [dostęp on-line: 28-02-2023].
- [30] <https://www.pgg.pl/strefa-korporacyjna/pozostala-dzialalnosc/odpady-wydobywcze-i-kruszywa/sprzedaz-odpadow-wydobywczych-i-kruszyw>, on-line dostęp: 28-02-2023 r.
- [31] GALOS K., SZLUGAJ J., *Obecne i perspektywiczne kierunki wykorzystania skały płonnej z kopalń węgla kamiennego w Polsce*, [w:] J. Kicki, J. Sobczyk (red.), *Prawne, techniczne, ekonomiczne i środowiskowe aspekty gospodarki skalą płonną w kopalniach węgla kamiennego*, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2016, 79–92.
- [32] DUDA J., KOŁOSOWSKI M., MALINOWSKI P., TOMASIAK J., *Ekoinnowacyjne techniki utylizacji odpadów powęglowych*. *Konferencja Przemysł 4.0 a Zarządzanie i Inżynieria Produkcji*, Artykuły IZIP, 2017, t. 1, nr 035; http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2017/T1/t1_035.pdf [dostęp on-line: 28-02-2023].
- [33] ŻYMŁA B., *Wykorzystanie lupków powęglowych jako nośnika energii i pierwiastka glinu*. *Materiały XXI Konferencji Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, Zakopane 2018, t. 1, 367–375; http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2018/T1/2018_t1_367.pdf [dostęp on-line: 28-02-2023].

POSSIBILITIES OF PRODUCTION OF MINERAL AGGREGATES
FROM MINING WASTE FROM SELECTED HARD COAL MINES IN POLAND

Wastes from mining and hard coal processing (in other words: coal waste, coal shales) are generated as a result of coal mining and mechanical processing – together with hard coal – of sedimentary barren rocks of the Carboniferous age carried out in hard coal mines. These materials, usually treated as coal mining waste and used economically in small amounts, in recent years – as a result of a combination of economic, technical, market, environmental and legal factors – have gained quite serious economic importance as a source of several groups of mineral resources. One of these uses is the production of mineral aggregates.

The production of aggregates from mining and hard coal processing waste is an important alternative to natural aggregates, competing with them mainly in terms of price, while meeting the basic quality requirements. The article presents the results of tests on mineral aggregates with a grain size of 4–31.5 mm and 0–4 mm produced from coarse coal waste 20–200 mm from two coal mines Wesoła and Ziemowit. Mineral aggregates with a fraction of 4–31.5 mm were subjected to physical and mechanical tests, i.e., water absorption, frost resistance, abrasion resistance and crushing resistance were determined.

Mineral aggregates obtained from waste from the Wesoła mine showed better quality parameters than that from waste from the Ziemowit mine: crushing resistance in the Los Angeles drum 34% (Ziemowit – 42%), frost resistance 17.2% weight loss (Ziemowit – 80.0%). However, in the case of the coal content in the aggregate from the Wesoła mine, it reached the value of 6.0%, and the aggregate from the Ziemowit mine was much lower – 1.5%. On the basis of these features, the suitability of the tested aggregates for potential applications in road and hydrotechnical construction was determined.

A low-energy fine-grained product, 0–4 mm, obtained on the basis of waste from the Wesoła mine, showing a calorific value of 9.4 MJ/kg with a low sulfur content, may prove useful for the preparation of fuel mixtures with coal dust. A similar product based on waste from the Ziemowit mine is less attractive in this respect.

Dariusz WOŹNIAK
Monika HARDYGÓRA

Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

MODELOWANIE ODCINKA PRZEJŚCIOWEGO PRZENOŚNIKA TAŚMOWEGO

Opracowano uniwersalny model teoretyczny taśmy na odcinku przejściowym przenośnika nieckowego, gdzie w przypadku taśm z linkami stalowymi taśma podzielona jest na linki i warstwy gumy, a w przypadku taśmy z rdzeniem tekstylnym na wąskie pasma. Przedstawiono stan wymuszeń geometrycznych taśmy na odcinku przejściowym oraz przykładową analizę obciążeń taśmy. Analizowano wpływ rodzaju taśmy na nierównomierność obciążeń. Wymiana taśmy na taśmę o innych właściwościach sprężystych może nawet kilkukrotnie zwiększyć nierównomierność jej obciążeń na odcinku przejściowym. Analizowano wpływ długości odcinka przejściowego oraz wpływ wysokości wyniesienia płaszcza bębna ponad krążnik środkowy niecki na nierównomierność obciążeń taśmy.

1. WPROWADZENIE

Taśma przenośnikowa jest elementem, który decyduje o efektywnej i niezawodnej pracy przenośnika i istotnie wpływa na koszty transportu [1]. Podstawowym parametrem decydującym o doborze taśmy do realizacji konkretnego zadania transportowego z wykorzystaniem przenośnika taśmowego jest jej wytrzymałość na rozciąganie. Ma ona zapewnić, że panujący podczas pracy przenośnika poziom sił w taśmie nie doprowadzi do jej zerwania, czyli zdarzenia niebezpiecznego dla ludzi i poważnego w skutkach dla przenośnika.

Taśma pracuje na przenośniku w zamkniętej pętli. Najbardziej newralgicznym miejscem na trasie przenośnika jest odcinek przejściowy, gdzie taśma zmienia swoje ułożenie z kształtu niecki na kształt płaski na bębnie. Dochodzi wówczas do zróżnicowania stanu naprężeń po szerokości taśmy. Skrajne elementy nośne rdzenia przejmują dodatkowe obciążenia rozciągające przy jednoczesnym spadku obciążeń w strefie środkowej taśmy. Należy wówczas tak dobrać geometrię odcinka przejściowego, aby ograniczyć nierównomierność obciążeń i nie dopuścić do „kaskadowego” zrywania się poszczególnych nici osnowy rdzenia taśmy oraz nie dochodziło do utraty stateczności taśmy na wskutek zbyt niskich sił w jej części środkowej. Szczególnie istotny będzie odcinek przejściowy przenośnika, w którym występuje najwyższy poziom sił

w taśmie, najczęściej jest to odcinek przejścia z kształtu niecki do płaskiego w punkcie nabiegania taśmy na bęben napędowy.

Przy realizacji konkretnego zadania transportowego poziom sił w taśmie oraz moc napędu wyznacza się po obliczeniu oporów ruchu przenośnika i minimalnej siły napinającej, zapewniającej sprzężenie cierne między bębniem napędowym a taśmą.

Köken i in. dokonali przeglądu i porównania wiodących metod obliczeniowych przenośników taśmowych [2]. Według istniejących metod obliczeniowych należy tak dobrać długość odcinka przejściowego, aby ograniczyć nierównomierność obciążeń taśmy i nie dopuścić do przekroczenia dopuszczalnych sił jednostkowych w taśmie.

Metoda CEMA [3] określa minimalną długość odcinka przejściowego w zależności od parametrów geometrycznych tego odcinka z rozróżnieniem tylko dwóch grup taśm: z linkami stalowymi i taśm z rdzeniem tekstylnym. Należy jednak zauważyć, że taśmy z rdzeniem tekstylnym mogą istotnie różnić się pod względem właściwości sprężystych i dawać różne odpowiedzi na wymuszenia geometrii odcinka przejściowego. Podobne podejście do wyznaczania długości odcinka przejściowego proponuje metoda Fenner Dunlop [4]. Z kolei metoda DIN [5] oblicza długość odcinka przejściowego na podstawie uproszczonych zależności, ale z uwzględnieniem modułu sprężystości wzdłużnej taśmy.

Dokładne wyznaczenie stanu naprężeń w taśmie na odcinku przejściowym wymaga modelu uwzględniającego, poza modułem sprężystości wzdłużnej taśmy, również oddziaływanie między sąsiednimi linkami lub pasmami taśmy. Oehmen oraz Hager i Tappeiner [6, 7] zajmowali się wyznaczeniem stanu odkształceń taśmy na odcinku przejściowym. Schmandra w [8] przedstawił ogólny model teoretyczny taśmy z linkami stalowymi uwzględniający oddziaływanie sąsiednich linek. Znane są również zastosowania metody elementów skończonych do modelowania taśmy na odcinku przejściowym [9–11]. Fedorko i in. analizowali wpływ modułu sprężystości w kierunku wzdłużnym i w kierunku poprzecznym taśmy na nierównomierność obciążeń z wykorzystaniem metody elementów skończonych [11].

W niniejszej pracy opracowano uniwersalny model teoretyczny taśmy na odcinku przejściowym przenośnika taśmowego, gdzie w przypadku taśm z linkami stalowymi taśma podzielona jest na linki i warstwy gumy, a w przypadku taśmy z rdzeniem tekstylnym na wąskie pasma. Przeprowadzono analizę, jak zmieni się nierównomierność obciążeń taśmy na odcinku przejściowym przenośnika przy zastosowaniu taśm o różnych rdzeniach. Wykonano również analizy wpływu geometrii odcinka przejściowego na nierównomierność obciążeń taśmy.

2. MODEL TEORETYCZNY TAŚMY NA ODCINKU PRZEJŚCIOWYM

2.1. ZAŁOŻENIA WSTĘPNE MODELU

1. Taśma rozpatrywana jest jako wielopasmowe płaskie ciągnio, globalnie przenoszące jedynie obciążenia wzdłużne. W przypadku taśmy z linkami stalo-

- wymi pasmo stanowi linka stalowa z otaczającą ją gumą, w przypadku taśm z rdzeniem tekstylnym pasmem jest pewna liczba nici osnowy.
2. Pasma modelowane są jako elementy liniowo-sprężyste.
 3. Guma łącząca sąsiednie linki oraz nici wątka odpowiadają za wzajemne oddziaływanie sąsiednich pasm, które modelowane jest poprzez zastępczy moduł odkształcenia postaciowego.
 4. Sztywność rozciągania zastosowanych pasm oraz zastępczy moduł odkształcenia postaciowego między pasmami wyznacza się w oparciu o badania laboratoryjne.
 5. Rozpatrywany jest odcinek taśmy o długości $Le + K$, gdzie Le to długość odcinka przejściowego, a K długość odcinka wpływu na którym dochodzi do wyrównania naprężeń.
 6. Taśma rozciągana jest stałą siłą F_N .
 7. Na długości odcinka przejściowego Le nie ma żadnych oddziaływań zewnętrznych (tzn. brak oporów ruchu, pomijalny jest wpływ pola grawitacji ziemskiej), co oznacza, że w każdym przekroju poprzecznym suma sił w pasmach równa jest sile rozciągającej F_N . Pomija się również oddziaływanie bębna.
 8. Guma pomiędzy linkami nie odkształca się w kierunku poprzecznym, w związku z tym odległości pomiędzy osiami linek (podziałka) nie ulegają zmianie. Założenie to pozwala na rozwiązanie zadania jako układu płaskiego.
 9. Rozpatrywana jest połowa taśmy od brzegu do środkowej osi symetrii taśmy (założenie symetryczności układu).

2.2. WYMUSZENIA GEOMETRYCZNE NA ODCINKU PRZEJŚCIOWYM

Punktem wyjścia tak sformułowanego modelu jest wyznaczenie wydłużeń poszczególnych pasm. Wynikają one z drogi jaką musi pokonać każde pasmo przy przejściu taśmy z przekroju o kształcie niecki do przekroju płaskiego na bębnie. Rozpatrywane będą drogi linek stalowych lub drogi osi wzdłużnych analizowanych pasm. Do analitycznego opisu zagadnienia przyjęto układ współrzędnych jak na rys. 3.

Długość każdej linki Δl (osi wzdłużnej pasma) wyznacza się jako odległość euklidesową między położeniem linki na początku układu współrzędnych ($x = 0$) a położeniem linki na końcu odcinka przejściowego ($x = Le$).

$$\Delta l = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (1)$$

Wydłużenie linki Δu na odcinku przejściowym wynosi:

$$\Delta u = \Delta l - L_e \quad (2)$$

Na początku odcinka przejściowego przekrój taśmy ma kształt niecki, a współrzędna $x = 0$. Położenia poszczególnych linek można opisać zależnościami:

– dla $z \leq \frac{1}{2}l_m$

$$z_i = i \cdot t \quad (3)$$

$$y_i = 0 \quad (4)$$

– dla $z > \frac{1}{2}l_m$

$$z_i = \frac{1}{2}l_m + \left(i \cdot t - \frac{1}{2}l_m \right) \cos \alpha \quad (5)$$

$$y_i = \left(z_i - \frac{1}{2}l_m \right) \tan \alpha \quad (6)$$

gdzie:

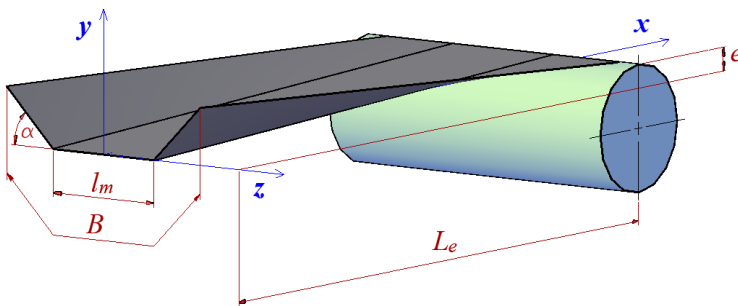
i – numer linki $i = 1 \div n$,

n – liczba linek na połowie szerokości taśmy,

l_m – długość środkowej części niecki taśmy,

t – podziałka linek (szerokość pasma),

α – kąt niecki.



Rys. 1. Odcinek przejściowy przenośnika taśmowego [12]

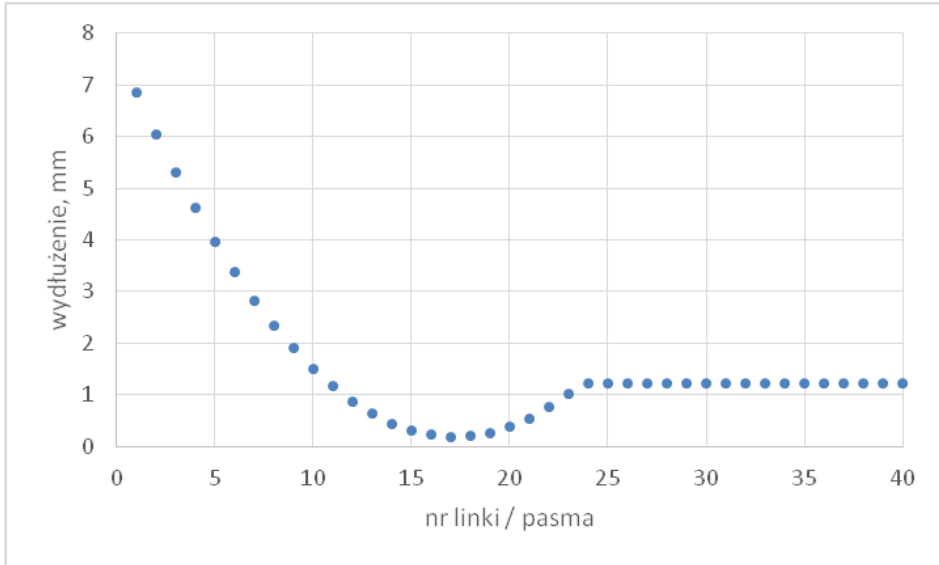
Fig. 1. Transition section of the belt conveyor [12]

Na końcu odcinka przejściowego przekrój taśmy ma kształt płaski, a współrzędna $x = L_e$. Położenia poszczególnych linek można opisać zależnościami:

$$z_i = i \cdot t \quad (7)$$

$$y_i = e \quad (8)$$

gdzie e – wysokość wyniesienia płaszcza bębna ponad krążnik środkowy niecki.



Rys. 2. Wydłużenia linek/pasm na odcinku przejściowym przenośnika taśmowego wyznaczone z modelu geometrycznego ($L_e = 2,6$ m, $B = 1,2$ m, $e = 80$ mm, $\alpha = 45^\circ$) [12]

Fig. 2. Cable/strip elongation in the transition section of the belt conveyor identified from the geometrical model ($L_e = 2.6$ m, $B = 1.2$ m, $e = 80$ mm, $\alpha = 45^\circ$) [12]

Pole przemieszczeń taśmy wyznaczone za pomocą modelu opierającego się jedynie na zależnościach geometrycznych (rys. 2) jest pewnym uproszczeniem stanu rzeczywistego, ale wystarczającym dla analizowania zachowania się różnych struktur rdzenia taśmy na odcinku przejściowym przenośnika.

2.3. PODSTAWY TEORETYCZNE MODELU TAŚMY NA ODCINKU PRZEJŚCIOWYM

Model rozpatruje połowę taśmy o długości równej sumie długości odcinka przejściowego L_e i długości odcinka wpływu K . Symetryczna połowa rdzenia taśmy składa się z n linek. Początkowy stan obciążeń rdzenia taśmy wywołany jest siłą w taśmie F_N . Linki tworzą strukturę równoległą, czyli każda linka rdzenia taśmy wydłuży się o taką samą wielkość początkową u_0 . Stąd siła początkowa w i -tej linkie F_{oi} wynosi:

$$F_{oi} = \frac{u_0}{l} (EA)_i \quad (9)$$

z warunku równowagi sił:

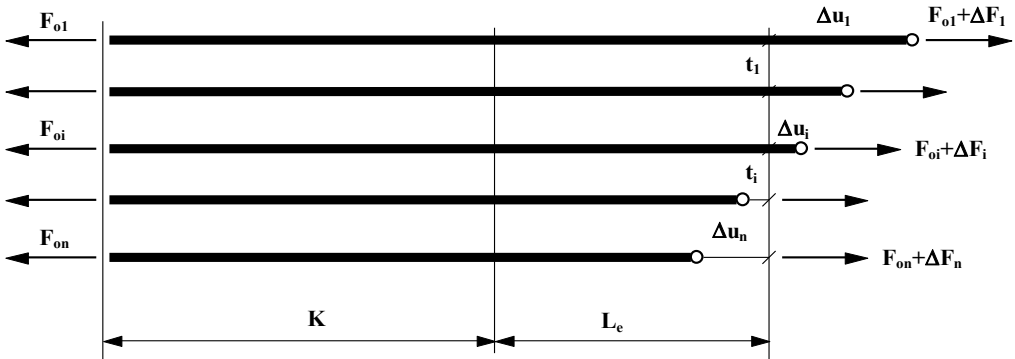
$$F_N = 2 \sum_{i=1}^n F_{oi} \quad (10)$$

gdzie:

$(EA)_i$ – sztywność rozciągania i -tej linki/pasma,

l – długość analizowanego odcinka taśmy.

Natomiast siły pochodzące od wymuszeń geometrycznych związanych z odcinkiem przejściowym przenośnika, gdzie występuje nierównomierny rozkład wydłużeń linek (rys. 3), wyznaczono wychodząc z energii sprężystej płaskiego układu równoległych linek i gumy [13, 14].



Rys. 3. Schemat obciążenia linek na odcinku przejściowym
Fig. 3. Schematic diagram of loads acting on cables in the transition section

Na przyrost energii sprężystej ΔE składa się przyrost energii sprężystej w lince ΔE_l oraz przyrost energii sprężystej w gumie ΔE_g .

$$\Delta E = \Delta E_l + \Delta E_g \quad (11)$$

Pochodna cząstkowa energii po sile daje wydłużenie

$$\frac{\partial \Delta E}{\partial \Delta F} = \Delta u \quad (12)$$

Analiza modeli taśm z linkami stalowymi [8] wykazuje, że rozwiązań równań różniczkowych opisujących przebieg sił w linkach należy szukać w postaci kombinacji funkcji hiperbolicznych, co wynika z charakteru równań. Rozwinięciem tych funkcji w szeregi Taylora są wielomiany o silnie malejących kolejnych wyrazach.

Z zadawalającą dokładnością, nieprzekraczającą kilku procent [15], można przyjąć tylko dwa pierwsze wyrazy, a zatem równanie opisujące przebieg siły w pojedynczej lince uprościć do funkcji kwadratowej. Potwierdzeniem tego założenia mogą być również wyniki badań obciążeń linek w rejonie odcinków przejściowych [7]. W wyniku oddziaływania sąsiednich linek poprzez warstwę gumy (w przypadku taśm tkani-

nowych poprzez gumę i nici wątka) siła w dowolnej lince zmienia się zgodnie z zależnością:

$$F(x) = F_o(1 + ax^2) \quad (13)$$

dla $x = L_e + K = L$

$$F_k = F_o(1 + aL^2) \quad (14)$$

gdzie:

F_o – siła początkowa,

F_k – siła końcowa.

Stąd

$$a = \frac{1}{L^2} \left(\frac{F_k}{F_o} - 1 \right) \quad (15)$$

wówczas

$$F(x) = F_o + F_k \frac{x^2}{L^2} - F_o \frac{x^2}{L^2} \quad (16)$$

Przyrost energii sprężystej w lince wyraża się wzorem

$$\Delta E_l = \frac{1}{2(EA)} \int_0^L F^2(x) dx = \frac{1}{2(EA)} F_o^2 \int_0^L (1 + ax^2)^2 dx \quad (17)$$

$$\Delta E_l = \frac{1}{2(EA)} F_o^2 \left(L + \frac{2}{3} aL^3 + \frac{1}{5} a^2 L^5 \right) \quad (18)$$

wówczas pochodna cząstkowa energii sprężystej w lince po sile wynosi:

$$\frac{\partial \Delta E_l}{\partial F_k} = \frac{\partial \Delta E_l}{\partial a} \cdot \frac{\partial a}{\partial F_k} \quad (19)$$

$$\frac{\partial \Delta E_l}{\partial K_k} = \frac{L}{(EA)} \left(\frac{3}{15} F_k + \frac{2}{15} F_o \right) \quad (20)$$

Następny etap to wyznaczenie energii sprężystej i jej pochodnej dla pasma gumy pomiędzy linkami.

$$dE_g = \frac{1}{2} \Delta u(x) \tau h_l \cdot dx \quad (21)$$

h_l – grubość taśmy.

Naprężenia styczne τ wynoszą:

$$\tau = \gamma G^* = \frac{\Delta u(x)}{t} G^* \quad (22)$$

gdzie:

G^* – zastępczy moduł odkształcenia postaciowego wyznaczony w badaniach laboratoryjnych,

t – podziałka linek.

Wówczas

$$\Delta E_g = \frac{1}{2} \cdot \frac{h_t G^*}{t} \int_0^x \Delta u(x)^2 dx \quad (23)$$

Pochodna cząstkowa energii w i -tym paśmie gumy po sile w i -tej linkce wyniesie

$$\frac{\partial \Delta E_{gi}}{\partial F_i} = \frac{\partial \Delta E_{li}}{\partial F_i} + \frac{\partial \Delta E_{gi}}{\partial F_i} + \frac{\partial \Delta E_{gi-1}}{\partial F_i} \quad (24)$$

Pochodna cząstkowa energii po sile dla i -tej linki wyniesie

$$\frac{\partial \Delta E_i}{\partial F_i} = \frac{\partial \Delta E_{li}}{\partial F_i} + \frac{\partial \Delta E_{gi}}{\partial F_i} + \frac{\partial \Delta E_{gi-1}}{\partial F_i} \quad (25)$$

Korzystając z zależności (20), (24), (12), otrzymujemy układ n równań typu:

$$A_{i-1} \cdot F_{i-1} + A_i \cdot F_i + A_{i+1} \cdot F_{i+1} + C_i = 0 \quad (26)$$

Stosując macierzową metodę Gaussa, otrzymujemy rozwiązanie układu równań w postaci wektora sił F_i w linkach.

3. ANALIZA OBCIĄŻEŃ TAŚMY NA ODCINKU PRZEJŚCIOWYM

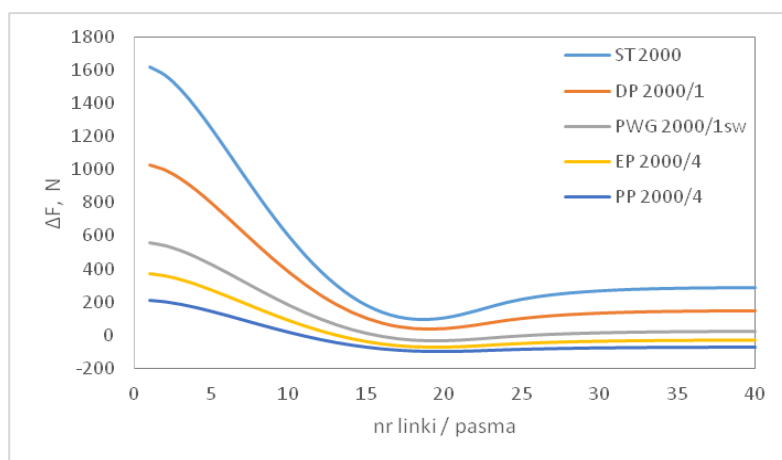
Analizie poddano pięć taśm przenośnikowych o wytrzymałości nominalnej 2000 kN/m, gdzie każda z nich miała inną konstrukcję rdzenia. Obliczenia wykonano dla taśm: z linkami stalowymi ST, z rdzeniem aramidowym DP, z rdzeniem typu „solid woven” PWG oraz wieloprzekładowej poliestrowo-poliamidowej EP i poliamidowej PP.

Zróznicowanie stanu naprężeń w przekroju taśmy na odcinku przejściowym zależy od geometrii układu oraz od modułu dynamicznego taśmy [6–11]. Dla długich przenośników i dla dwuparametrowego modelu taśmy przyjmuje się, że jest on równy modułowi sprężystości podłużnej. Producenci taśm rzadko podają w specyfikacji parametrów swojego wyrobu moduł sprężystości podłużnej. Moduł ten wy-

znaczący jest w badaniach laboratoryjnych zgodnie z metodą opisaną normą ISO 9856.

W Laboratorium Transportu Taśmowego Politechniki Wrocławskiej oznaczano właściwości sprężyste analizowanych taśm przenośnikowych, moduł sprężystości podłużnej E oraz zastępczy moduł odkształcenia postaciowego G^* . Taśmy w tym samym typie wytrzymałości, ale o różnej konstrukcji rdzenia, mają zdecydowanie różny moduł sprężystości, np. taśma wieloprzekładkowa poliamidowa z przekładkami o splocie płóciennym ma dwukrotnie mniejszy moduł (12×10^6 N/m) niż taśma z rdzeniem jednolicie tkanym (24×10^6 N/m) i pięciokrotnie mniejszy niż taśma aramidowa z rdzeniem typu "straight warp" (63×10^6 N/m). Najwyższy moduł sprężystości ma taśma z linkami stalowymi (112×10^6 N/m).

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano rozkład obciążeń linek/pasm po szerokości taśmy w rejonie bębna. Na rysunku 4 przedstawiono uzyskiwane przyrosty sił w linkach/pasmach taśmy, w przekroju nabiegania taśmy na bęben, wywołane odkształceniami na odcinku przejściowym. Wykres obejmuje połowę szerokości taśmy, od brzegu do jej środka.



Rys. 4. Przyrost obciążeń w taśmie na odcinku przejściowym przenośnika taśmowego ($L_e = 2,6$ m, $B = 1,2$ m, $e = 80$ mm, $\alpha = 45^\circ$)

Fig. 4. Load increment in the belt in the transition section of the belt conveyor ($L_e = 2.6$ m, $B = 1.2$ m, $e = 80$ mm, $\alpha = 45^\circ$)

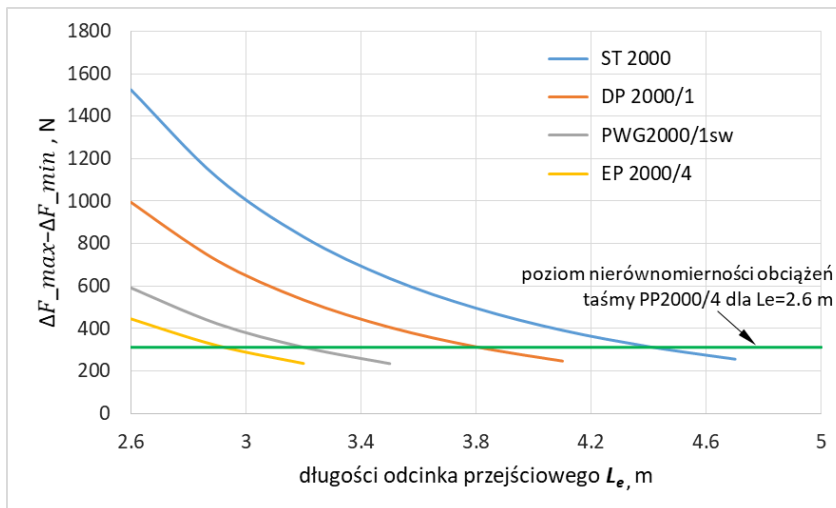
W analizowanych przypadkach nie jest istotny uzyskiwany przez poszczególne taśmy poziom sił co do wartości bezwzględnych, ponieważ wynika on z założonych w obliczeniach parametrów geometrycznych odcinka przejściowego i jego strefy wpływu oraz siły początkowej w taśmie. Miarodajną oceną zachowania się różnych taśm na odcinku przejściowym jest występująca nierównomierność obciążeń poszczególnych linek/pasm taśmy. Za miarę tej nierównomierności obciążeń można przyjąć

różnicę między maksymalnym i minimalnym przyrostem siły w taśmie $\Delta F_{\max} - \Delta F_{\min}$. I tak uzyskano wskaźniki nierównomierności obciążeń taśm przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Wskaźnik nierównomierności obciążeń taśmy na odcinku przejściowym
Table 1. Load non-uniformity indicators in the transition section

Rodzaj taśmy	$\Delta F_{\max} - \Delta F_{\min}$ [N]
ST 2000	1525
DP 2000/1	995
PWG 2000/1sw	592
EP 2000/4	446
PP 2000/4	312

Uzyskane wskaźniki nierównomierności obciążeń dla analizowanych taśm zdecydowanie różnią się między sobą. W porównaniu do taśmy wieloprzędkowej poliamidowej wskaźnik nierównomierności obciążeń dla taśmy poliestrowo-poliamidowej jest o połowę większy, a dla taśmy typu “solid woven”, aramidowej i z linkami stalowymi odpowiednio dwukrotnie, trzykrotnie i pięciokrotnie większy. W momencie wymiany zużytej taśmy, każda decyzja zmiany rodzaju taśmy powinna być poprzedzona ponowną analizą doboru parametrów geometrycznych odcinka przejściowego przenośnika. Zastosowanie taśmy o innych właściwościach sprężystych przy zachowaniu tych samych parametrów geometrycznych odcinka przejściowego, może do-



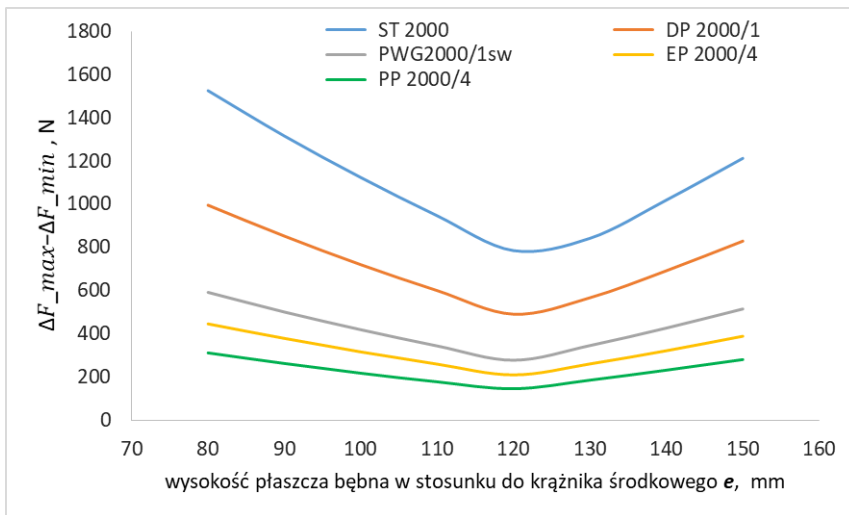
Rys. 5. Wpływ długości odcinka przejściowego na nierównomierność obciążeń taśmy
($B = 1,2$ m, $e = 80$ mm, $\alpha = 45^\circ$)

Fig. 5. The influence of length of the transition section on the non-uniform character of loads
($B = 1.2$ m, $e = 80$ mm, $\alpha = 45^\circ$)

prowadzić do przekroczenia poziomu sił granicznych w linkach/pasmach i zjawiska tzw. kaskadowego zerwania się taśmy.

Wykonano kolejne obliczenia dla analizowanych taśm przenośnikowych wydłużając stopniowo długość odcinka przejściowego i analizując zmiany nierównomierności obciążeń taśm. Wyniki tych obliczeń przedstawiono na rys. 5. Przyjmując poziom nierównomierności obciążeń taśmy poliamidowej (PP 2000/4) dla długości wyjściowej odcinka przejściowego $L_e = 2,6$ m, jako poziom docelowy, to dla taśmy poliesterowej należy wydłużyć odcinek przejściowy o 0,3 m, dla „solid woven” o 0,5 m, dla aramidowej o 1,2 m, a dla taśmy z linkami stalowymi o 1,9 m.

Przeanalizowano również wpływ wysokości wyniesienia płaszcz bębna ponad płaszcz krążnika środkowego niecki (rys.1; wymiar e na) na poziom nierównomierności obciążeń taśmy. Obliczenia wykonano dla wszystkich pięciu taśm, dla odcinka przejściowego o długości $L_e = 2,6$ m, szerokości taśmy $B = 1,2$ m i kącie niecki zestawów krążnikowych $\alpha = 45^\circ$. Zestawienie wyników przedstawiono na rys. 6. Dla wszystkich taśm najniższy poziom nierównomierności obciążeń występuje przy wysokości bębna e około 120 mm.



Rys. 6. Wpływ położenia bębna na nierównomierność obciążeń taśmy ($B = 1,2$ m, $L_e = 2,6$ m, $\alpha = 45^\circ$)

Fig. 6. The influence of the pulley position on the non-uniform character of loads ($B = 1.2$ m, $L_e = 2.6$ m, $\alpha = 45^\circ$)

4. PODSUMOWANIE

Na odcinku przejściowym przenośnika dochodzi do znacznego zróżnicowania sił w przekroju poprzecznym taśmy. Przeprowadzona analiza z zastosowaniem opracowanego modelu teoretycznego taśmy na odcinku przejściowym przenośnika niecko-

wego, uwzględniającego właściwości sprężyste taśm oraz oddziaływanie sąsiednich linek/pasm, potwierdziła nierównomierność obciążeń taśmy.

Porównując otrzymane wyniki z badaniami innych autorów metodę FEM [11] można zauważyć dużą zbieżność przebiegu zmian naprężeń po szerokości taśmy. Najmniejszą nierównomierność obciążeń wykazała taśma o rdzeniu wieloprzekładowym poliamidowym, a następnie w kolejności taśmy: o rdzeniu poliestrowo-poliamidowym, o rdzeniu typu solid woven, o rdzeniu aramidowym i taśma z linkami stalowymi.

W momencie wymiany zużytej taśmy, każda decyzja zmiany rodzaju taśmy powinna być poprzedzona ponowną analizą doboru parametrów geometrycznych odcinka przejściowego. Zastosowanie taśmy o innych właściwościach sprężystych przy zachowaniu tych samych parametrów geometrycznych tego odcinka może nawet kilkukrotnie zwiększyć nierównomierność obciążeń taśmy. Ma to szczególne znaczenie w przypadku odcinka przejściowego przed bębniem napędowym, gdzie zazwyczaj występuje najwyższy poziom sił w taśmie.

Długość odcinka przejściowego istotnie wpływa na nierównomierność obciążeń taśmy. Im większy moduł sprężystości podłużnej taśmy tym dłuższy powinien być odcinek przejściowy. Zatem w przypadku taśm poliamidowych będą najkrótsze odcinki przejściowe, a w przypadku taśm z linkami stalowymi najdłuższe.

Wysokość położenia bębna również ma wpływ na poziom nierównomierności obciążeń taśmy na odcinku przejściowym. Istnieje pewne optymalne położenie bębna, które zależy od szerokości taśmy i kąta niecki zestawów krążnikowych. Dla szerokości taśmy $B = 1,2$ m i kąta niecki $\alpha = 45^\circ$ najniższy poziom nierównomierności obciążeń taśmy występuje, gdy płaszcz bębna jest wyniesiony ponad płaszcz krążnika środkowego o około 120 mm.

LITERATURA

- [1] HARDYGÓRA M., WACHOWICZ J., CZAPLICKA-KOLARZ K., MARKUSIK S., *Taśmy przenośnikowe*, WNT, Warszawa 1999, ISBN 83-204-2402-X.
- [2] KÖKEN E., LAW A.I., ONIFADE M., ÖZARSLAN A., *A comparative study on power calculation methods for conveyor belts in mining industry*, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2021, Taylor & Francis Group, doi.org/10.1080/17480930.2021.1949859
- [3] CEMA5 *Conveyor Equipment Manufacturers Association Belt Conveyors for Bulk Materials*, 5th, 2002, ISBN 1-891171-18-6.
- [4] Dunlop fenner conveyor handbook: Conveyor belting, Australia, 2009, p. 103.
- [5] DIN 22 101:2011. *Continuous conveyors – Belt conveyors for loose bulk materials – Basis for calculation and dimensioning*.
- [6] OEHMEN K.H., *Berechnung der Dehnungsverteilung in Fördergurten infolge Muldungsübergang, Gurtwendung und Seilunterbrechung*, Braunkohle, 1979, H. 31, Nr. 12, S. 394–402.
- [7] HAGER M., TAPPEINER S., *Additional Strain in Conveyor Belts Caused by Curves and Transition Geometry*, Bulk Solids Handling, 1993, Vol. 13, No. 4, pp. 695–703.
- [8] SCHMANDRA A., *Allgemeines Modell für die Berechnung von Spannungsverläufen in Stahlseilfördergurten*, Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 1991, 31.

- [9] HARRISON A., *Modelling belt tension around a drive drum*, Bulk Solids Handling, 1998, Vol. 18(1), pp. 75–80.
- [10] FEDORKO G., IVANČO V., *Analysis of force ratios in conveyor belt of classic belt conveyor*, Procedia Engineering, 2012, Vol. 48, pp. 123–128, DOI: 10.1016/j.proeng.2012.09.494.
- [11] FEDORKO G., BELUŠKO M., HEGEDŮŠ M., *FEA utilization for study of the conveyor belts properties in the context of internal logistics systems*. Proceedings Carpathian Logistics Congress, CLC 2015, Nov. 4th–6th, 2015, Czech Republic, Tanger, Ltd., ISBN 978-80-87294-61-1, p. 293–299.
- [12] WOŹNIAK D., HARDYGÓRA M., *Aspects of selecting appropriate conveyor belt strength*, Energies, 2021, Vol. 14, No. 19, Art. 6018, pp. 1–13, DOI: 10.3390/en14196018.
- [13] WOŹNIAK D., *Wpływ konstrukcji taśmy oraz geometrii odcinka przejściowego na rozkład obciążeń w taśmie z linkami stalowymi*, Praca doktorska, PWt, Wydział Górniczy, Wrocław 1998.
- [14] GŁADYSIEWICZ L., WOŹNIAK D., *Theoretical model of steel cable belt in the transitory zone of a pipe conveyor*. Scientific Papers of the Institute of Mining of the WUT, No. 83, 1998, Conferences No. 22, pp. 64–74.
- [15] GŁADYSIEWICZ L., *Przenośniki taśmowe. Teoria i obliczenia*, Wrocław University of Science and Technology Publishing House, Wrocław 2003, ISBN 83-7085-737-X.

MODELING OF THE TRANSITION SECTION OF THE BELT

The research involved develops a universal theoretical model of the belt on a transition section of a troughed conveyor in which, in the case of steel-cord belts, the belt is composed of cords and layers of rubber, and in the case of a textile belt, of narrow strips. The article also describes geometrical forces in the transition section of the belt and an illustrative analysis of loads acting on the belt. Attention was also devoted to the influence of the belt type on the non-uniform character of loads in the transition section of the conveyor. The influence of length of the transition section and height difference between the contour of the pulley coat and the central part of the trough was also analyzed.

- Ireneusz BAIC, ireneusz.baic@imbigs.lukasiewicz.gov.pl
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny
al. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa
- Kamila BRODA, kamila.broda@pgi.gov.pl
Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa
- Michał DUDEK, michal.dudek@pwr.edu.pl
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,
Katedra Geodezji i Geoinformatyki
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Dariusz FOSZCZ, foszcz@agh.edu.pl
AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami,
Katedra Inżynierii Środowiska
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
- Krzysztof GALOS, kgalos@min-pan.krakow.pl
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk
ul. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków
- Tomasz GAWENDA, gawenda@agh.edu.pl
AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami,
Katedra Inżynierii Środowiska
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
- Stefan GÓRALCZYK, sgoralczyk84@gmail.com
Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych, Naczelna Organizacja Techniczna
ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa
- Grzegorz GROCH, grzegorz.groch@metraco.pl
KGHM Metraco S.A.
ul. św. M. Kolbe 9, 59-220 Legnica
- Katarzyna GUZIK, guzik@min-pan.krakow.pl
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN,
Zakład Gospodarki Zasobami Mineralnymi
ul. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków
- Monika HARDYGÓRA, monika.hardygora@pwr.edu.pl
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,
Katedra Górnictwa, Laboratorium Transportu Taśmowego
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Urszula KAŻMIERCZAK, urszula.kazmierczak@pwr.edu.pl
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,
Katedra Górnictwa
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Wiesław KOZIOŁ, wieslaw.koziol@agh.edu.pl
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny,
Oddział Zamiejscowy w Katowicach
al. W. Korfańskiego 193A, 40-157 Katowice
- Olimpia KOZŁOWSKA, olimpia.kozłowska@pgi.gov.pl
Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa
- Joanna KRASUSKA, jkar@pgi.gov.pl
Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa
- Aldona KRAWCZYKOWSKA, aldon.krawczykowska@agh.edu.pl
AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami,
Katedra Inżynierii Środowiska
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
- Damian KRAWCZYKOWSKI, dkrawcz@agh.edu.pl
AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami,
Katedra Inżynierii Środowiska
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

- Marek W. LORENC, marek.lorenc@upwr.edu.pl
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Architektury Krajobrazu
ul. Grunwaldzka 55, 50-357 Wrocław
- Lukasz MACHNIAK, machniak@agh.edu.pl
AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami,
Katedra Inżynierii Górniczej i Bezpieczeństwa Pracy
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
- Jerzy MALEWSKI, jerzy.malewski@pwr.edu.pl
Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,
Katedra Górnictwa
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Paweł MAREK, pawel.marek@colas.pl
COLAS Kruszywa Sp. z o.o.
ul. Nowa 49, 62-070 Pałędzie
- Artur MIROS, artur.miros@imbigs.lukasiewicz.gov.pl
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny,
Oddział Zamiejscowy w Katowicach
al. W. Korfańtego 193A, 40-157 Katowice
- Zdzisław NAZIEMIEC, zdzislaw.naziemiec@icimb.lukasiewicz.gov.pl
Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Krakowie
ul. Cementowa 8, 31-983 Kraków
- Dorota NIEDŹWIEDŹ, dorota.niedzwiedz@metraco.pl
KGHM Metraco S.A.
ul. św. M. Kolbe 9, 59-220 Legnica
- Marcin PABISEK, marcin.pabisek@metraco.pl
KGHM Metraco S.A.
ul. św. M. Kolbe 9, 59-220 Legnica
- Sławomir PATLA, slawomirpatla@o2.pl
Poltegor-Instytut – Instytut Górnictwa Odkrywkowego
ul. Parkowa 25, 50-616 Wrocław
- Paweł PIETKIEWICZ, ppietkiewicz@industri.pl
Polskie Stowarzyszenie Wyceny Żłóż Kopalni
ul. Mogilska 20, 31-515 Kraków
- Danuta RAJCAKOWSKA, danuta.rajczakowska@sksm.pl
Strzeblowskie Kopalnie Surowców Mineralnych Sp. z o.o.
ul. Torowa 1, 55-050 Sobótka
- Agnieszka SARAMAK, saramak@agh.edu.pl
AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami,
Katedra Inżynierii Środowiska
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
- Daniel SARAMAK, dsaramak@agh.edu.pl
AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami,
Katedra Inżynierii Środowiska
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
- Konrad SŁOWIŃSKI, konrad.slawinski@kruszpol.pl
Polski Związek Producentów Kruszyw
al. Solidarności 34/325, 25-323 Kielce
- Paweł STRZAŁKOWSKI, pawel.strzalkowski@pwr.edu.pl
Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,
Katedra Górnictwa
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Jarosław SZLUGAJ, szlugaj@min-pan.krakow.pl
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk,
Zakład Gospodarki Zasobami Mineralnymi
ul. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków
- Dariusz WOŹNIAK, dariusz.wozniak@pwr.edu.pl
Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,
Katedra Górnictwa, Laboratorium Transportu Taśmowego
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław



AB 905

LABORATORIUM BEZPIECZEŃSTWA PRACY

(akredytacja nr AB 905 - pełny zakres dostępny na www.pca.gov.pl)

oferuje:

a) akredytowane badania środowiska pracy i w środowisku zewnętrznym

- powietrze: pyły przemysłowe, substancje nieorganiczne, stężenie/zawartość krystalicznej krzemionki;
- hałas na stanowiskach pracy;
- hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy;
- drgania mechaniczne działające na organizm człowieka przez kończyny górne;
- drgania mechaniczne o ogólnym działaniu na organizm człowieka;
- hałas pochodzący od instalacji, urządzeń, zakładów przemysłowych;

b) nieakredytowane badania i ekspertyzy

- modelowanie komputerowe rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń pyłowych i gazowych (spalin) oraz hałasu w środowisku zewnętrznym na potrzeby kart informacyjnych przedsięwzięć oraz ocen oddziaływania na środowisko;
- ocena stanu fizjologicznego organizmu człowieka nieinwazyjną metodą pomiarową (wskaźnik BMI, ciśnienie i saturacja krwi, temperatura ciała, puls, wydatek energetyczny netto organizmu i aktywność metaboliczna, ogólna kondycja zdrowotna organizmu);
- ocena wydatku energetycznego metodą pomiarową lub tabelaryczną;
- szkolenia specjalistyczne w zakresie realizacji i walidacji metod pomiarowych;
- projektowanie działań poprawy warunków pracy/bytowania;
- ocena ryzyka zawodowego;
- dobór ochronników słuchu;
- porównania międzylaboratoryjne w zakresie akredytowanych metod badawczych;
- udział w projektach/grantach badawczych w charakterze koordynatora lub partycypana;

c) obsługa klientów w języku polskim, ukraińskim i angielskim

KONTAKT

mgr inż. Michał Stopa: 605 459 151, michal.stopa@pwr.edu.pl

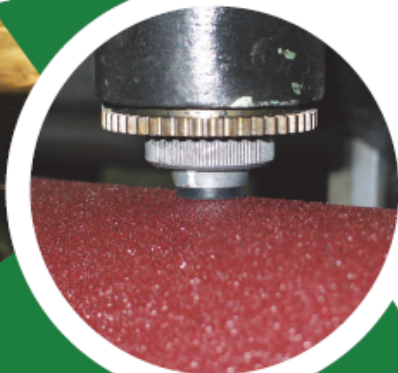
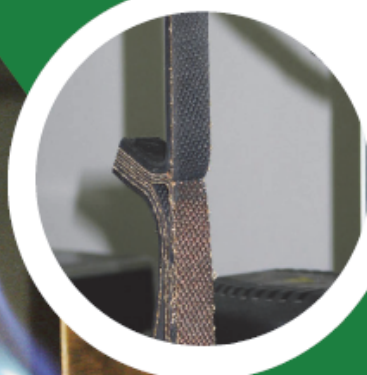
inż. Monika Maślakiewicz: 782 070 760, monika.maslakiewicz@pwr.edu.pl

dr Iryna Myshchenko: 731 250 345, iryna.myshchenko@pwr.edu.pl

dr inż. Danuta Szyszka: 662 080 102, danuta.szyszka@pwr.edu.pl

Badamy taśmy przenośnikowe i ich połączenia, gumę, mieszanki kauczukowe i tworzywa sztuczne

- Badania dotyczące bezpieczeństwa
pożarowego
 - Badania właściwości
fizyko-mechanicznych
 - Badania rozwojowe
 - Badania atestacyjne
- Konsultacje, opinie
i ekspertyzy



Notatki

Notatki



ISBN 978-83-7493-233-2