

KRUSZYWA MINERALNE

t. 7



Oficina Wydawnicza
Politechniki Wrocławskiej
Wrocław 2024

Kruszywa mineralne

t. 7



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
Wrocław 2024

Redaktor naukowy

Wojciech GLAPA

Recenzenci

Wiesław KOZIOŁ

Daniel SARAMAK

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 2024

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 978-83-7493-268-4

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

SPIS TREŚCI

| | |
|---|-----|
| Ireneusz R. BAIC, Wiesław KOZIÓŁ, Artur MIROS, Wydobywanie kruszyw w latach 1993–2022. Tendencje zmian i prognozy | 5 |
| Mirosław BAJDA, Ryszard BŁAŻEJ, Monika HARDYGÓRA, Dariusz WOŹNIAK, Nowe trendy związane z badaniami połączeń taśm przenośnikowych stosowanych w kopalniach kruszyw | 17 |
| Beata FIGARSKA-WARCHOŁ, Marek REMBIŚ, Analiza porównawcza wybranych cech wapieni w aspekcie ich stosowania do produkcji kruszyw | 27 |
| Tomasz GAWENDA, Daniel SARAMAK, Uwarunkowania skuteczności procesu przesiewania dla zmiennego udziału ziaren drobnych w nadawie i rodzaju sit | 43 |
| Stefan GÓRALCZYK, Problematyka uwalnianych alkaliów z kruszyw w betonie | 59 |
| Arkadiusz GRZEŚKOWIAK, Odczuwalność a szkodliwość drgań parasejsmicznych wywołanych robotami strzałowymi | 67 |
| Katarzyna GUZIK, Jarosław KAMYK, Alicja KOT-NIEWIADOMSKA, Potencjalnie strategiczne złoża piasków i żwirów do produkcji kruszyw oraz metodyka ich wyboru | 79 |
| Urszula KAŹMIERCZAK, Marek W. LORENC, Rewitalizacja terenów w górnictwie surowców skalnych | 95 |
| Paulina LAUDACKA, Żaklina KONOPACKA, Dagmara SOLATYCKA, Marcin PIERSIAK, Ocena obciążenia układu mięśniowo szkieletowego dla stanowisk pracy w zakładach górnictwa skalnego | 113 |
| Tomasz LIZOŃ, Analiza możliwości lokalizacji pływających instalacji fotowoltaicznych w akwenach poeksploatacyjnych | 127 |
| Łukasz MACHNIAK, Konrad SŁOWIŃSKI, Wpływ audytów krajobrazowych województw na prowadzenie działalności górniczej | 143 |
| Jerzy MALEWSKI, Struktura nakładów inwestycyjnych i kosztów operacyjnych maszyn podstawowych w projekcie instalacji przeróbki kruszyw | 149 |
| Kamila NIEMIEC, Paweł STRZAŁKOWSKI, Marcin BARANOWSKI, Czynniki stresogenne u pracowników w górnictwie skalnym na przykładzie KOSD S.A. w Niemodlinie | 159 |
| Paweł PIETKIEWICZ, Nabywanie gruntów rolnych położonych nad złożami kopalin w świetle przepisów ustawy o kształtowaniu ustroju rolnego | 167 |
| Agata STEMPKOWSKA, Tomasz GAWENDA, Magdalena STASZEWSKA, Lekkie kruszywo alternatywne. Specyfika, parametry, możliwości zastosowania | 175 |
| Paweł STRZAŁKOWSKI, Erwin WESOŁOWSKI, Maciej KUBICA, Kamila NIEMIEC, Zmodyfikowane badania odporności na rozdrabnianie kruszywo pochodzenia magmowego | 189 |
| Autorzy | 198 |

CONTENTS

| | |
|--|-----|
| Ireneusz R. BAIC, Wiesław KOZIOL, Artur MIROS, Aggregate extraction in the years 1993–2022. Trends of change and forecasts | 5 |
| Mirosław BAJDA, Ryszard BŁAŻEJ, Monika HARDYGÓRA, Dariusz WOŹNIAK, New trends related to tests of conveyor belts used in aggregate mines | 17 |
| Beata FIGARSKA-WARCHOŁ, Marek REMBIŚ, Comparative analysis of selected limestone features in terms of its use for the production of aggregates | 27 |
| Tomasz GAWENDA, Daniel SARAMAK, Conditions of the effectiveness of the screening process for the variable share of fine grains in the feeder and the type of screen | 43 |
| Stefan GÓRALCZYK, Problems of alkalis released from aggregates in concrete | 59 |
| Arkadiusz GRZEŚKOWIAK, Perceptibility and harmfulness of paraseismic vibrations caused by rock blasting | 67 |
| Katarzyna GUZIK, Jarosław KAMYK, Alicja KOT-NIEWIADOMSKA, Potentially strategic deposits of sand and gravel for aggregate production and methodology of their selection | 79 |
| Urszula KAŻMIERCZAK, Marek W. LORENC, Reclamation and development of post rock mining areas – good practices continued | 95 |
| Paulina LAUDACKA, Żaklina KONOPACKA, Dagmara SOLATYCKA, Marcin PIERSIAK, The assessment of musculoskeletal system burden application at work stations in rock mining companies | 113 |
| Tomasz LIZOŃ, Analysis of location possibilities for floating photovoltaic installations in post-mining water basins | 127 |
| Łukasz MACHNIAK, Konrad SŁOWIŃSKI, The impact of landscape audits of voivodeship on mining activities | 143 |
| Jerzy MALEWSKI, Structure of the capital expenditures and operating costs of basic machines in some project of aggregate processing plant | 149 |
| Kamila NIEMIEC, Paweł STRZAŁKOWSKI, Marcin BARANOWSKI, Stress factors in employees in rock mining on the example of The Kopalnie Odkrywkowe Surowców Drogowych S.A. in Niemodlin | 159 |
| Paweł PIETKIEWICZ, Acquisition of agricultural land located over proven mineral deposits in light of the provisions of the law on formation of the agricultural system | 167 |
| Agata STEMPKOWSKA, Tomasz GAWENDA, Magdalena STASZEWSKA, Lightweight alternative aggregate. Characteristics, parameters, application possibilities | 175 |
| Paweł STRZAŁKOWSKI, Erwin WESOŁOWSKI, Maciej KUBICA, Kamila NIEMIEC, Modified resistance to fragmentation tests on aggregates of igneous origin | 189 |
| Authors | 198 |

Ireneusz Ryszard BAIC
Wiesław KOZIOŁ
Artur MIROS

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny,
Centrum Nowych Technologii w Budownictwie, Warszawa

WYDOBYCIE KRUSZYW W LATACH 1993–2022. TENDENCJE ZMIAN I PROGNOZY

Prezentowano zmiany wydobycia zasobów kruszyw budowlanych (piasków i żwirów, kruszyw łamanych) w okresie 30 lat. Następnie podano aktualne zależności wydobycia kruszyw od trzech wskaźników ekonomicznych publikowanych przez GUS: PKB, produkcji i sprzedaży cementu, ogólnej koniunktury w budownictwie. Na tej podstawie opracowano prognozy wydobycia kruszyw budowlanych na najbliższe lata.

1. WPROWADZENIE

Rok 2023 był rokiem wielu jubileuszy, m.in.: jubileusz 30-lecia działalności obchodził Polski Związek Producentów Kruszyw – największa organizacja branżowa, produkująca w kraju ponad 50% kruszyw łamanych i ok. 20% piaskowo-żwirowych. Do tego związku należy także Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny (Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego do 2023 r.). Jubileusz 30-lecia obchodziła też uroczyste konferencja „Kruszywa Cement Wapno” organizowana przez spółkę BMP. Jubileusze te przyczyniły się do przygotowania niniejszej publikacji. W artykule przedstawiono tendencje zmian wydobycia zasobów naturalnych kruszyw w okresie 30 lat, a następnie analizę zależności ich wydobycia od niektórych wskaźników rozwoju gospodarczego kraju i opracowane na tej podstawie prognozy wydobycia.

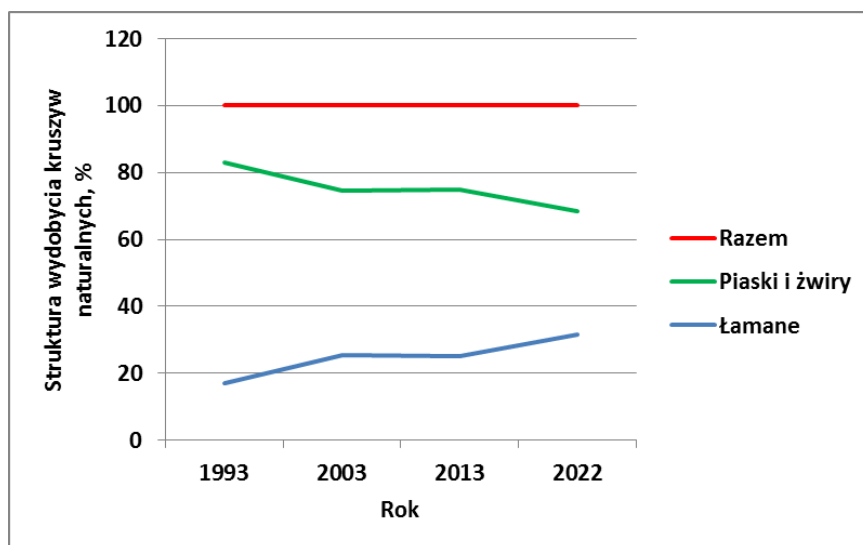
2. WYDOBYCIE KRUSZYW NATURALNYCH W LATACH 1993–2022

W okresie 30 lat (1993–2022) wydobycie kruszyw wykorzystywanych głównie w budownictwie i drogownictwie wzrosło trzykrotnie; z 84,8 do 250,7 mln Mg (tab. 1),

w tym wydobycie zasobów kruszyw łamanych wzrosło 5,6-krotnie, a piasków i żwirów ok. 2,4-krotnie. Duży wzrost wydobycia i produkcji kruszyw łamanych spowodował, że zwiększył się ich udział w łącznym wydobyciu kruszyw z ok. 17 do prawie 32% (rys. 1). Zestawione wielkości dotyczą wydobycia podawanego przez PIG-PIB w corocznych bilansach [2] w dwóch grupach zasobów kamienie łamane i bloczne oraz piaski i żwiry. W rzeczywistości wydobycie kruszyw budowlanych było większe, gdyż w niektórych innych grupach złóż, np. wapień dla przemysłu cementowego i wapienniczego, dolomity itd. eksploatowane są zasoby i produkowane kruszywa budowlane. Wielkość wydobycia zasobów tych kruszyw w ostatnich latach szacunkowo wynosi 10–15 mln Mg.

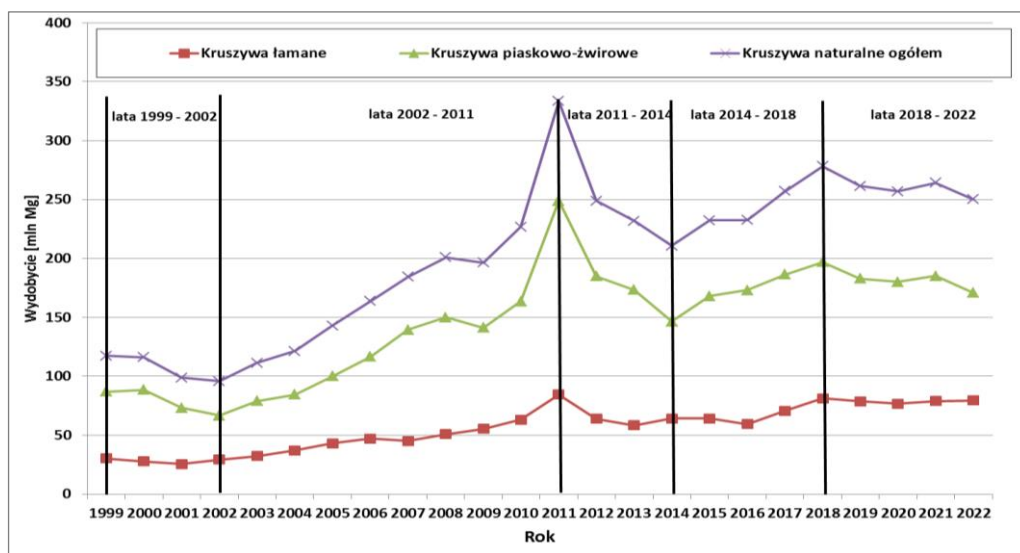
Tabela 1. Wydobycie kruszyw w Polsce w latach 1993–2022
Table 1. Aggregate extraction in Poland in the years 1993–2022

| Kruszywa | Rok | | | | | | | |
|----------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | 1993 | | 2003 | | 2013 | | 2022 | |
| | mln Mg | % | mln Mg | % | mln Mg | % | mln Mg | % |
| Łamane | 14,3 | 16,9 | 25,7 | 25,3 | 58,4 | 25,2 | 79,4 | 31,9 |
| Piaski i żwiry | 70,5 | 83,1 | 74,7 | 74,7 | 173,3 | 74,8 | 170,8 | 68,1 |
| Razem | 84,8 | 100,0 | 101,3 | 100,0 | 231,7 | 100,0 | 250,2 | 100,0 |



Rys. 1. Struktura wydobycia kruszyw w latach 1993–2022
Fig. 1. Structure of aggregate extraction in the years 1993–2022

W okresie transformacji ustrojowej w latach 90 XX w. wydobywanie i produkcja kruszyw kształtowały się na bardzo niskim poziomie 80–100 mln Mg/rok, a dynamiczny wzrost nastąpił od 2003 r. i wówczas w 2011 r. wydobywanie osiągnęło maksymalną dotychczas wielkość – ponad 330 mln Mg/rok [2, 3]. Impulsem szybkiego wzrostu zapotrzebowania na kruszywa był rozwój budownictwa kubaturowego i infrastrukturalnego (w tym szczególnie budowa dróg i autostrad) i akces Polski do Unii Europejskiej. Kształtowanie się wydobywania kruszyw w okresie XXI w. przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wydobywanie kruszyw w latach 1999–2022
Fig 2. Extraction of aggregates in the years 1999–2022

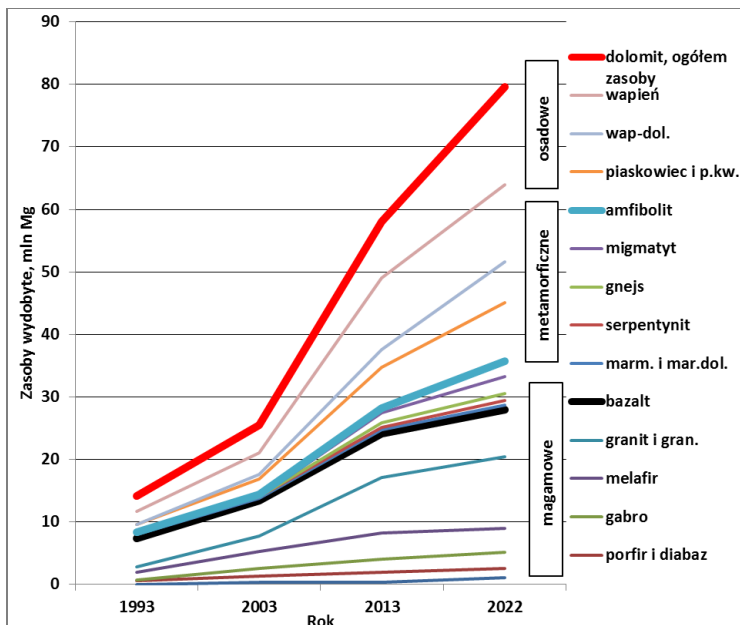
Wynika z niego, że po 2011 r. zapotrzebowanie, czego skutkiem było wydobywanie kruszyw, ulegało początkowo znacznym wahaniom (najpierw spadki, później wzrosty) po czym ustabilizowało się na wielkości nieco powyżej 250 mln Mg/rok [5, 6]. Tego typu stabilizacja wydobywania i produkcji kruszyw budowlanych jest charakterystyczna również dla większości krajów w UE [1]. W tab., 2 i rys. 3 przedstawiono zmiany w strukturze litologicznej wydobywanych zasobów kruszyw łamanych. W okresie 30 lat znacznie zmniejszył się udział kruszyw ze skał magmowych z 51,7 do 34,9%, a wzrósł udział kruszyw ze skał osadowych (z 41,3 do 55,4%) i skał metamorficznych. Największe spadki udziału w wydobywaniu dotyczą: bazaltów (z 32,1 do 9,4%), melafirów (z 9,1 do 4,8%) oraz diabazu i porfirów. Natomiast wzrósł udział wydobywania kruszyw granitowych i granodiorytowych. W kruszywach osadowych nastąpił wzrost

udziału praktycznie wszystkich typów skał (dolomitowych, wapiennych, piaskowcowych itp.), a w skałach metamorficznych szczególny wzrost dotyczył wydobycia i udziału dla kruszywo z amfibolitu, migmatytu oraz gnejsu.

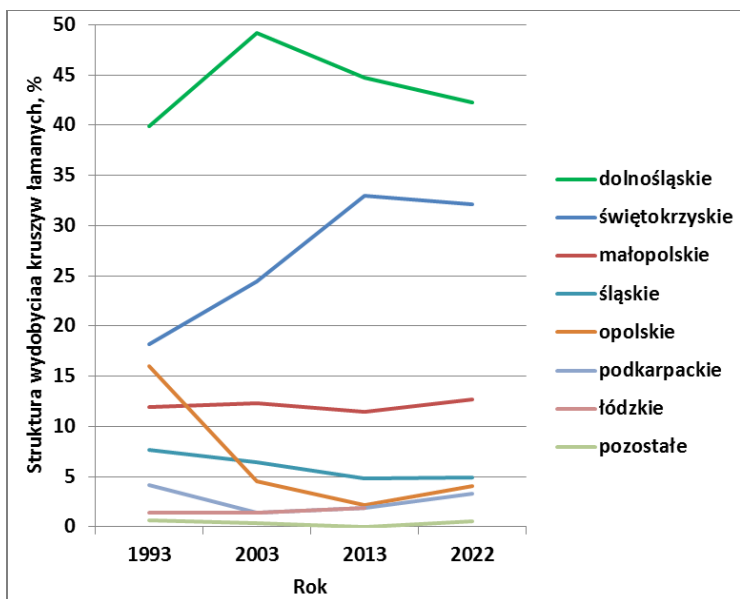
Tabela 2. Struktura litologiczna wydobytych zasobów kamieni łamanych i blocznych
Table 2. Lithological structure of the excavated resources of broken stones and block stones

| Zasoby wydobyte | Zasoby wydobyte w roku, mln Mg, % | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1993 | | 2003 | | 2013 | | 2022 | |
| Ogółem, w tym: | 14,3 | 100 | 25,7 | 100 | 58,4 | 100 | 79,9 | 100 |
| 1. Magmowe | 7,4 | 51,7 | 13,4 | 52,1 | 24,1 | 41,3 | 27,9 | 34,9 |
| bazalt | 4,6 | 32,1 | 5,7 | 22,2 | 7,0 | 12,0 | 7,5 | 9,4 |
| granit i granodioryt | 0,8 | 5,6 | 2,4 | 9,3 | 8,9 | 15,2 | 11,4 | 13,9 |
| melafir | 1,3 | 9,1 | 2,8 | 10,9 | 4,1 | 7,0 | 3,8 | 4,8 |
| gabro | 0,1 | 0,7 | 1,2 | 4,7 | 2,1 | 3,6 | 2,6 | 3,3 |
| porfir i diabaz | 0,6 | 4,2 | 0,9 | 3,5 | 1,6 | 2,7 | 1,5 | 1,9 |
| sjenit | – | – | 0,4 | 1,5 | 0,4 | 0,8 | 1,1 | 1,4 |
| 2. Osadowe | 5,9 | 41,3 | 11,3 | 44 | 30,1 | 51,5 | 44,3 | 55,4 |
| dolomit | 2,4 | 16,8 | 4,4 | 17,1 | 9,0 | 15,4 | 15,6 | 19,5 |
| wapień | 2,1 | 14,7 | 3,5 | 13,6 | 11,4 | 19,5 | 12,4 | 15,5 |
| Wapień i dolomit | – | – | 0,8 | 3,1 | 2,9 | 5,0 | 6,5 | 8,1 |
| piaskowiec i piasek kwarcowy | 1,2 | 8,4 | 2,4 | 9,3 | 6,5 | 11,1 | 9,4 | 11,8 |
| 3. Metamorficzne | 1,0 | 7,0 | 1,0 | 3,9 | 4,2 | 7,2 | 7,7 | 9,6 |
| amfibolit | 0,1 | 0,7 | 0,4 | 1,5 | 0,7 | 1,2 | 2,4 | 3,0 |
| migmatyt | – | – | – | – | 1,7 | 2,9 | 2,8 | 3,5 |
| gnejs | 0,1 | 0,7 | – | – | 0,7 | 1,2 | 1,1 | 1,4 |
| serpentyt | 0,2 | 1,4 | 0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,7 | 0,7 | 0,9 |
| marmur | 0,6 | 4,2 | 0,4 | 1,6 | 0,6 | 1,0 | 0,8 | 1,0 |

W strukturze regionalnej (rys. 4) największy udział w wydobyciu skał i produkcji kruszywo łamanych ma woj. dolnośląskie (42,3%), poziom 40–49% utrzymuje się w tym regionie przez cały analizowany okres (choć ostatnio z tendencją malejącą). Znaczący wzrost udziału nastąpił natomiast w wydobyciu w woj. świętokrzyskim (z 18 do 32%). Udział wydobycia w woj. małopolskim przez cały okres utrzymuje się na zbliżonym poziomie ok. 12%, ostatnio z tendencją do niewielkiego wzrostu (w 2022 r. – 12,7%). Duże spadki udziału w wydobyciu odnotowały natomiast pozostałe województwa w tym szczególnie woj. opolskie (z ok. 16 do 4%) i śląskie (z 7,7 do 4,9%).



Rys. 3. Wydobycie poszczególnych rodzajów kruszyw w latach 1993–2022
 Fig. 3. Extraction of individual types of aggregates in the years 1993–2022



Rys. 4. Zmiana struktury regionalnej wydobycia kruszyw łamanych w latach 1993–2022
 Fig. 4. Change in the regional structure of crushed aggregates extraction in the years 1993–2022

Piaski i żwiry wydobywane są we wszystkich województwach oraz w obszarze Bałtyku [2]. W wielkości wydobycia zachodzą duże zmiany (tab. 3). W 2022 r. najwięcej piasków i żwirów wydobyto w woj.: podlaskim, pomorskim i warmińsko-mazurskim, czyli w północno-wschodnim regionie kraju, zmniejszył się zaś udział w wydobyciu woj. wielkopolskiego i mazowieckiego.

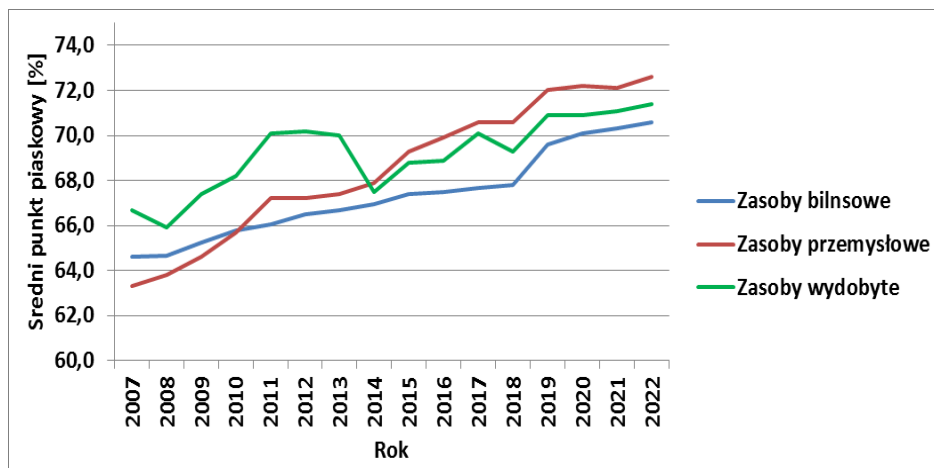
Tabela 3. Regionalne wydobycie piasków i żwirów
Table 3. Regional extraction of sands and gravels

| Województwo | 2003 | | 2022 | |
|---------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | Wydobycie, mln Mg | Udział % | Wydobycie, mln Mg | Udział % |
| podlaskie | 5,87 | 7,5 | 24,98 | 14,6 |
| pomorskie | 4,63 | 5,9 | 19,95 | 11,7 |
| warmińsko-mazurskie | 7,73 | 9,8 | 15,04 | 8,8 |
| dolnośląskie | 5,76 | 7,3 | 14,44 | 8,4 |
| mazowieckie | 8,07 | 10,3 | 13,16 | 7,7 |
| zachodniopomorskie | 6,12 | 7,8 | 12,52 | 7,3 |
| małopolskie | 5,97 | 7,6 | 11,91 | 7,0 |
| wielkopolskie | 11,75 | 15,0 | 10,69 | 6,3 |
| podkarpackie | 3,71 | 4,7 | 8,39 | 4,9 |
| łódzkie | 4,94 | 6,3 | 8,30 | 4,9 |
| opolskie | 2,56 | 3,3 | 6,67 | 3,9 |
| kujawsko-pomorskie | 2,31 | 2,9 | 6,25 | 3,7 |
| lubuskie | 1,85 | 2,3 | 5,57 | 3,3 |
| śląskie | 3,85 | 4,9 | 5,03 | 2,9 |
| lubelskie | 2,58 | 3,3 | 4,90 | 2,9 |
| świętokrzyskie | 0,88 | 1,1 | 2,14 | 1,2 |
| Bałtyk | – | – | 0,84 | 0,5 |
| Polska | 78,58 | 100,0 | 170,78 | 100,0 |

W zastosowaniu w budownictwie piasków i żwirów ważne jest ich uziarnienie. Do produkcji betonu najbardziej poszukiwane są frakcje powyżej 2 mm, gdy tymczasem udział tych frakcji w zasobach i wydobyciu systematycznie maleje [3, 6]. Przyjmując przeciętne zawartości frakcji drobnych (PP) w trzech grupach złóż (piaski, piaski ze żwirem, żwiry [2]), obliczono w latach 2007–2022 średnie hipotetyczne punkty piaskowe zasobów złóż bilansowych, przemysłowych i wydobytych, co przedstawiono na rys. 5.

Z obliczeń wynika systematyczny wzrost punktów piaskowych, oznaczający wzrost udziału frakcji drobnych kruszyw piaskowo-żwirowych. W okresie 2007–2022 dla kruszyw wydobytych udział ten wzrósł z 66,7 do 71,4%, a w zasobach przemysłowych eksploatowanych i planowanych do eksploatacji (posiadane koncesje na wydobycie) wzrost ten jest większy i wynosi prawie 10% (z 63,3 do 72,6%) co wskazuje, że rów-

niez w przyszłości utrzyma się tendencja do wzrostu frakcji drobnych w wydobywanych zasobach piasków i żwirów.



Rys. 5. Średnie hipotetyczne punkty piaskowe w zasobach piasków i żwirów [2, 3 uzup.]

Fig. 5. Average hypothetical sand points in sand and gravel resources [2, 3 suppl.]

3. PROGNOZY PRODUKCJI KRUSZYW NA LATA 2023–2025

Jednym z problemów branży kruszyw jest brak bieżących informacji o ich wydobyciu, produkcji i zużyciu [5]. Przyczyną tego jest głównie skala produkcji, w tym duża liczba kopalń w większości małych, co utrudnia gromadzenie odpowiednich informacji. Dotyczy to większości krajów. W celu oszacowania w miarę aktualnej wielkości wydobycia i opracowania prognoz produkcji i zużycia kruszyw wykorzystuje się pomocniczo inne dostępne wskaźniki rozwoju gospodarczego, od których uzależnione jest krajowe zapotrzebowanie i wydobycie (produkcja) kruszyw [1, 3–5, 7]. Zależności takie od trzech makroekonomicznych wskaźników publikowanych przez GUS [8], a to: dynamiki zmian PKB, wielkości krajowego zużycia cementu i wskaźnika ogólnego klimatu koniunktury w budownictwie i opracowane na ich podstawie prognozy przedstawiano już na konferencjach oraz w publikacjach.[3, 5, 6]. Obecnie przedstawimy tylko prognozy opracowane na podstawie zaktualizowanych danych za 2022 r. [2] i 2023 r. (wskaźniki makroekonomiczne) [7, 9, 10–12].

3.1. PORÓWNANIE PROGNOZ EX-POST

W pierwszym etapie, wykorzystując zależności ekonometryczne, przeprowadzono tzw. prognozę ex-post wydobycia kruszyw budowlanych na lata 2020–2022 i wyniki

tej prognozy porównano z wielkością uzyskanego wydobycia wg [2] – tab. 4. Z porównania tych wielkości wynika, że najmniejsze różnice (odpowiednio w kolejnych latach: $-2,5$, $-5,4$ i $-4,1\%$) uzyskano dla prognozy według wskaźnika ogólnego klimatu koniunktury w budownictwie, pomimo że współczynnik korelacji dla tej zależności jest najniższy ($R^2 = 0,2189$, $r = 0,467$) z pośród badanych zależności. Dla prognozy wydobycia według wielkości zużycia cementu błąd prognozy był większy, wynosząc: $+6,3$, $+7,2$ i $+8,3\%$. Największe błędy uzyskano dla prognozy wg PKB: $-16,2$; $-16,3$ i $+7,7\%$. Wynika stąd ciekawy wniosek, że nie zawsze należy się sugerować współczynnikami korelacji (determinacji) w prognozowaniu. Są to jednak wstępne porównania prognoz i osiągniętego wydobycia, interesujące będą porównania prognoz i wydobycia dla dłuższego okresu czasu.

Tabela 4. Porównanie ex-post prognoz wydobycia kruszyw budowlanych
Table 4. Ex-post comparison of construction aggregate extraction forecasts

| Prognoza według: | Wydobycie, mln Mg/rok | | | Prognoza wydobycia, mln Mg/rok (błąd prognozy +/-), % | | |
|----------------------------|-----------------------|-------|-------|---|------------------|-----------------|
| | 2020 | 2021 | 2022 | 2020 | 2021 | 2022 |
| PKB, % | 256,8 | 264,2 | 250,7 | 215,2 (-16,2) | 247,5 (-16,3) | 270,0 (+7,7) |
| Zużycie cementu mln Mg/rok | 256,8 | 264,2 | 250,7 | 272,9 (+6,3) | 283,2 (+7,2) | 271,6 (+8,3) |
| Koniunktura w budownictwie | 256,8 | 264,2 | 250,7 | 250,3 (-2,5) | 249,9 (-5,4) | 240,4 (-4,1) |

3.2. PROGNOZY EX-ANTE

Interesuje nas jednak głównie nie porównanie prognoz z wydobyciem już uzyskanym, a określenie prognoz na przyszłość, np. prognoz wydobycia kruszyw na obecny 2023 rok (rzeczywiste wielkości będą znane dopiero w drugiej połowie przyszłego roku) i lata 2024–2025 i następne. Podstawowy problem polega jednak jakie wartości zmiennych niezależnych: PKB, zużycia cementu i ogólnej koniunktury w budownictwie należy przyjąć w obliczeniach. W zależności od wielkości tych wskaźników uzyskane będą różne wielkości prognoz.

Dla 2023 r. wskaźniki te są w zasadzie już znane (wstępne szacunki), przyjęto je w następujących wielkości

- PKB: $0,3\%$,
- zużycie cementu: $16,9$ mln Mg (spadek w stosunku do roku poprzedniego o ponad 10%),
- koniunktura w budownictwie: $-12,6$ [12].

Po analizie różnych danych prognostycznych dla lat 2024 i 2025 przyjęto wartości:

- PKB: 3,4 i 3,0%,
- zużycie cementu: 17,5 i 18,5 mln Mg (przyjęto wzrost),
- ogólna koniunktura w budownictwie: –5,0 i +4,0.

Ogólnie dla wszystkich trzech parametrów (zmiennych niezależnych) założono w miarę bezpieczne (uśrednione z różnych prognoz) wielkości wskaźników. W tabeli 5 zestawiono uzyskane wartości na lata 2023–2025. Jeżeli chodzi o 2023 r., dla którego jeszcze nie znamy wielkości wydobycia kruszyw (publikacja PIG-PIB ukaże się w połowie roku), to według PKB i zużycia cementu prognozy są zgodne określające wydobycie na poziomie ok. 227,5 mln Mg, tzn. mniejsze w porównaniu do 2022 r. o ponad 9%.

Według wskaźnika koniunktury w budownictwie prognoza jest zbliżona do wydobycia z 2022 r. (248,5 mln Mg). Natomiast prognozy dla obecnego i 2025 r. wg PKB oscylują na wielkości nieco powyżej 230 mln Mg, tzn. na poziomie nieznacznie wyższym (2–3%) od wydobycia prognozowanego w 2023 r. Prognozy wg zużycia cementu i wskaźników koniunktury są jednak bardziej optymistyczne i wskazują na wzrost wydobycia zarówno w bieżącym, jak i następnym roku w sumie o ok. 15%, a więc jest to raczej umiarkowany wzrost.

Tabela 5. Prognozy wydobycia kruszyw budowlanych na lata 2023–2026
Table 5. Construction aggregates extraction forecasts for 2023–2025

| Wskaźnik (zmienna niezależna) | Wydobycie w 2022 r. mln Mg | Prognoza wydobycia, mln Mg/rok, (+/- do roku poprzedniego, %) | | |
|----------------------------------|----------------------------------|---|-----------------|-----------------|
| | | 2023 | 2024 | 2025 |
| PKB, % | 250,7 | 227,6 (–9,2) | 232,3 (+2,1) | 233,8 (+0,7) |
| Zużycie cementu, mln Mg/rok | 250,7 | 227,5 (–9,3) | 241,4 (+6,1) | 264,6 (+9,6) |
| Koniunktura w budownictwie | 250,7 | 248,5 (–0,9) | 256,5 (+2,3) | 277,3 (+8,1) |

4. WNIOSKI

1. Rozwój budownictwa spowodował, że w okresie 30 lat zapotrzebowanie i wydobycie kruszyw budowlanych wzrosło około trzykrotnie. Największy wzrost wydobycia kruszyw nastąpił w pierwszej dekadzie XXI w., po czym po kilkuletnich wahaniach wydobycia (spadki i wzrosty) nastąpiła stabilizacja na wielkości nieco ponad 250 mln Mg, w tym kruszyw łamanych ok. 80 mln Mg, a piasków

- i żwirów 170–180 mln Mg. Duże zmiany nastąpiły także w strukturze litologicznej i geograficznej wydobywania.
2. W pracy przedstawiono aktualne zależności wydobywania kruszyw od trzech makroekonomicznych wskaźników publikowanych przez GUS, a to: dynamiki zmian PKB, wielkości krajowego zużycia cementu i wskaźnika ogólnego klimatu koniunktury w budownictwie.
 3. Uzyskane dla badanych zależności współczynniki determinacji R^2 są najkorzystniejsze dla zależności wydobywania (produkcji) kruszyw od zużycia (produkcji) cementu. Z porównania wielkości prognozowanych z uzyskanym wydobywaniem kruszyw w 2020–2022 r (prognozy ex-post) wynika, że najmniejsze różnice (–2,50; –5,40 i –4,15%) uzyskano dla prognozy według wskaźnika ogólnego klimatu koniunktury w budownictwie, pomimo że współczynnik korelacji dla tej zależności był najmniejszy ($r = 0,467$) z pośród badanych zależności. Dla prognoz wydobywania według wielkości zużycia cementu i PKB błędy prognozy są znacznie większe (6,3–8,3). Największe jednak błędy uzyskano dla prognoz według PKB od +7,7 do –16,3%.
 4. Podsumowując prognozy na lata 2024–2025 można stwierdzić, że prognozy te są umiarkowanie korzystne dla wydobywania kruszyw. Jest duże prawdopodobieństwo, że zapotrzebowanie i wydobywanie na kruszywa budowlane będzie kształtować się na poziomie 250 do 280 mln ton/rok. Odblokowane duże środki finansowe z UE, które przy określaniu prognozowanych wskaźników nie były uwzględniane powinny się przyczynić do dalszego wzrostu zapotrzebowania na kruszywa budowlane, jeżeli jeszcze nie w obecnym 2024 r., to w latach następnych.

LITERATURA

- [1] *Annual Review*, UEPG. Brussels, 2009–2023.
- [2] *Bilans zasobów kopalni w Polsce*, Wydawnictwo PIG–PIB, Warszawa 1993–2023.
- [3] BAIC I.R., KOZIÓŁ W., MIROS A., *Dependence of construction aggregates extraction and production on selected indicators of economic development in Poland*, Archives of Civil Engineering, 2021, 67, 437–453, [https://DOI: 10.24425/ace.2021.138064](https://doi.org/10.24425/ace.2021.138064)
- [4] KAWALEC P., *Analiza produkcji i zużycia kruszyw w zależności od wybranych wskaźników wzrostu gospodarczego w Polsce i innych krajach UE*, Praca doktorska AGH, Kraków 2007.
- [5] KOZIÓŁ W., BAIC I., MIROS A., *Zależność wydobywania kruszyw mineralnych od wybranych wskaźników rozwoju gospodarczego*, [w:] W. Glapa (red.), *Kruszywa mineralne*, t. 6, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2023, s. 5–14.
- [6] KOZIÓŁ W., BAIC I., STANKIEWICZ J., *Wydobywanie i produkcja drobnych frakcji kruszyw naturalnych oraz technologie ich zagospodarowania*, Monografia IMBiGS, Warszawa 2018, s. 212.
- [7] Branża cementowa chce wyjść z dołka, ale ma problem z Ukrainą, https://www.wnp.pl/budownictwo/branza-cementowa-chce-wyjsc-z-dolka-ale-ma-problem-z-ukraina,788166.html?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=wnp27-12-2023
- [8] Główny Urząd Statystyczny, *Wskaźniki makroekonomiczne*, <https://stat.gov.pl/wskazniki-makroekonomiczne/>
- [9] *Koniunktura w przemyśle, budownictwie, handlu i usługach 2000–2023*, GUS, Warszawa 2023.

- [10] *Cement na świecie*, Budownictwo Technologie Architektura, 2019, nr 8, s. 76–77.
- [11] *Produkcja cementu spadnie w 2022 do 19 mln ton. Spadnie też sprzedaż*, <https://www.muratorplus.pl/biznes/raporty-i-prognozy/produkcja-cementu-w-polsce-spadnie-do-19-mln-ton-aa-XpCa-eZ4R-Y7vW.html>
- [12] *Wskaźniki koniunktury w budownictwie-General business climate indicator*, GUS. 2023, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/koniunktura/>

AGGREGATE EXTRACTION IN THE YEARS 1993–2022.
TRENDS OF CHANGE AND FORECASTS

The development of the construction industry in Poland has resulted in the demand and extraction of construction aggregates increasing about threefold over a period of 30 years, including the extraction of crushed aggregates by almost six times and the extraction of sand and gravel by about 2.5 times. Major changes have also taken place in the lithological and geographical structure of extraction. The article presents the current econometric dependencies of aggregate extraction on three economic indicators published by the Central Statistical Office: GDP, cement sales, and economic situation in the construction industry. On this basis, forecasts of the extraction of construction aggregates for the coming years were developed.

Mirosław BAJDA, Ryszard BŁAŻEJ,
Monika HARDYGÓRA, Dariusz WOŹNIAK

Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

NOWE TRENDY ZWIĄZANE Z BADANIAMI POŁĄCZEŃ TAŚM PRZENOŚNIKOWYCH STOSOWANYCH W KOPALNIACH KRUSZYW

Połączenie taśm przenośnikowych jest najsłabszym ogniwem w zamkniętej pętli taśmy na przenośniku, dlatego od wytrzymałości pojedynczego połączenia zależy niezawodność przenośników taśmowych. W celu zapewnienia wysokiej niezawodności transportu przenośnikowego połączenia powinny być badane pod kątem oceny ich wytrzymałości. W artykule opisano metody badań połączeń taśm najczęściej stosowanych do transportu kruszyw. Przedstawiono nowe stanowiska badawcze, na których w Laboratorium Transportu Taśmowego Politechniki Wrocławskiej wykonuje się badania statycznej próby wytrzymałości na zerwanie oraz dynamicznej wytrzymałości na rozciąganie połączeń.

1. WSTĘP

Najczęściej wykorzystywanymi w kopalniach kruszyw taśmami są taśmy przenośnikowe tkaninowo-gumowe trzy lub czteroprzekładkowe z rdzeniem poliestrowo-poliamidowym (EP), rzadziej z rdzeniem poliamidowym (P) i okładkami gumowymi o grubości okładki nośnej 4÷6 mm i okładki bieżnej 2÷4 mm. Zazwyczaj stosuje się taśmy o wytrzymałości nominalnej 400, 630, 800 i 1000 kN/m i szerokościach od 500 do 1200 mm [1, 2].

Połączenia taśm przenośnikowych wykonywane są w momencie instalowania na przenośniku nowej taśmy, wydłużania lub skracania ciągu przenośników oraz wymiany taśmy z powodu jej zużycia. Zużycie taśmy może wystąpić z powodów: naturalnego procesu jej zużywania się oraz z powodu nagłych i niepożądanych zjawisk do których może dojść w trakcie jej eksploatacji, np. przebić, przecięć wzdłużnych lub rozdarć [3–5].

Zużycie jest naturalnym procesem, któremu podlegają taśmy podczas pracy. Jest to związane z warunkami eksploatacji, ponieważ na trasie przenośnika taśma jest cyklicznie obciążana. Podczas przewijania się przez bębny oraz na odcinkach przejścio-

wych poddawana jest nierównomiernemu obciążeniu. W taśmę uderza podawany na przenośnik urobek. Okładki ścierają się od transportowanego materiału, płaszczy krążników i urządzeń czyszczących. Na proces starzenia się gumy i taśmy wpływ mają warunki klimatyczne. Parametry użytkowe taśmy mogą się pogarszać i obniżyć swoje wartości. Dalsza praca takiej taśmy zagraża bezpieczeństwu, dlatego konieczne jest jej zdjęcie z przenośnika i zastąpienie nową [1, 6].

Eksploatacja taśm przenośnikowych w kopalniach surowców skalnych odbywa się w trudnych zimowych i letnich warunkach. Transportowane nosiwo to ostrokrawędziste i abrazyjne bryły o znacznych rozmiarach, a większość zainstalowanych przenośników to przenośniki krótkie, zatem taśmy poddawane są uderzeniom od spadających brył w nadawie z dużo większą częstością niż w przypadku przenośników długich pracujących, np. w kopalniach rud miedzi, węgla kamiennego czy brunatnego. W wyniku tych uderzeń taśma jest narażona na liczne uszkodzenia, jak miejscowe wyrwanie gumowej okładki, przebicie, wyrwanie zamka złącza, zerwanie złącza, przecięcie, wyrwanie obrzeża, przetarcie czy zerwanie. Mniejsze uszkodzenia można naprawić, natomiast większe uszkodzenia warunkują wymianę całej taśmy lub uszkodzonego odcinka, co wymaga wykonania połączenia [1, 7].

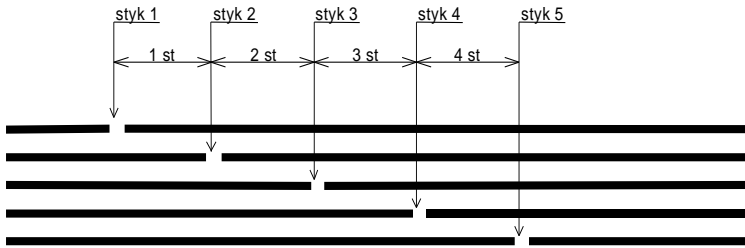
2. BADANIA I OCENA WYTRZYMAŁOŚCI POŁĄCZEŃ

2.1. SCHEMATY KONSTRUKCYJNE

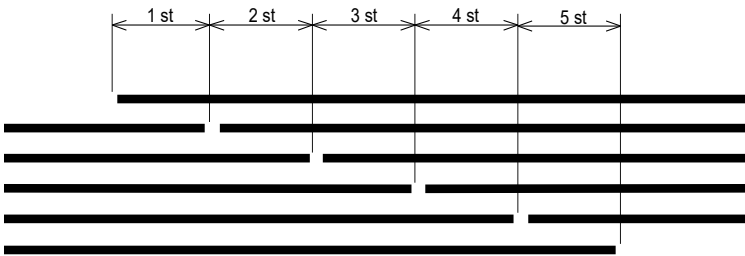
Połączenia taśm wieloprzekładkowych wykonywane są jako połączenia stopniowe. Długość połączenia zależy od ilości stopni w złączu oraz od ich długości. Długości stopni zależą od wytrzymałości pojedynczej przekładki w rdzeniu taśmy i są znormalizowane [8]. Według normy długości poszczególnych stopni powinny być jednakowe. Najnowsze badania pokazują, że długości stopni mogą być zróżnicowane oraz skrócone. Stopnie zewnętrzne można skrócić o 20%, a stopnie środkowe nawet o 30% bez utraty ich parametrów wytrzymałościowych. Możliwe jest to jednak dopiero po zbadaniu parametrów fizykomechanicznych łączonych taśm i materiałów do wulkanizacji. Należy również uwzględnić konstrukcję przenośnika oraz miejsce jego pracy. Dostępny jest na rynku program komputerowy, który po uwzględnieniu powyższych parametrów jest w stanie przedstawić prognozę bezawaryjnego czasu pracy połączenia [9–13].

Schematy konstrukcyjne połączeń taśm wieloprzekładkowych przedstawiono na rys. 1–3. Na rysunku 1 pokazano połączenie zakładkowe na przykładzie taśmy 5-przekładkowej. W połączeniach tego typu liczba stopni w złączu jest o jeden mniejsza od liczby przekładek w rdzeniu łączonej taśmy. Jest to połączenie czterostopniowe. Na rysunku 2 przedstawiono połączenie nakładkowe taśmy 5-przekładkowej. W tego typu konstrukcji liczba stopni w złączu jest równa liczbie przekładek w rdzeniu taśmy.

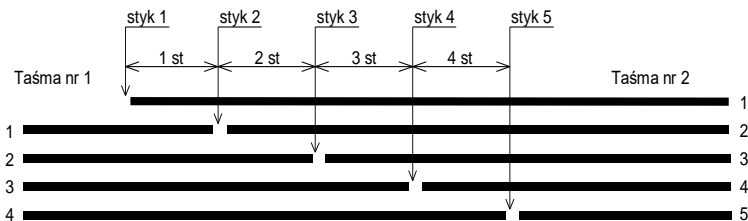
Porównując ze sobą te dwa schematy należy zwrócić uwagę na grubość połączenia. W połączeniach zakładkowych grubość złącza powinna być równa grubości łączonej taśmy, natomiast w połączeniach nakładkowych grubość zmierzona na obszarze złącza jest większa od grubości łączonych taśm. Czasami może to być czynnik, który niekorzystnie wpływa na trwałość takiego połączenia chociażby ze względu na stosowanie urządzeń czyszczących.



Rys. 1. Połączenie zakładkowe taśmy 5-przekładkowej
Fig. 1. Lap splice of a 5-ply belt



Rys. 2. Połączenie nakładkowe taśmy 5-przekładkowej
Fig. 2. Overlay splice of a 5-ply belt



Rys. 3. Połączenie zakładkowo-nakładkowe taśm 4- i 5-przekładkowych
Fig. 3. Lap-overlay splice of 4- and 5-ply belts

Na rysunku 3 przedstawiono schemat konstrukcyjny połączenia zakładkowo-nakładkowego. Jest ono wykonywane podczas łączenia taśm o różnej ilości przekładek

w rdzeniu. Tego typu złącza oceniane ze względu na swoją wytrzymałość nie są efektywne. Taśmy są bardzo drogie i ich użytkownik ze względów finansowych woli połączyć ze sobą taśmy o różnej konstrukcji i wytrzymałości, którymi dysponuje i w ten sposób przesunąć w czasie decyzję o zakupie nowych taśm.

2.2. STATYCZNA PRÓBA ROZCIĄGANIA

Wytrzymałość połączenia oznaczana metodą statyczną polega na jego rozciągnięciu ze stałą prędkością aż do momentu zerwania. Badania wykonuje się przy pomocy próbek złącza o szerokości 200 mm i długości równej całkowitej długości złącza powiększonej o długość taśmy potrzebnej do umieszczenia próbki w uchwytach maszyny wytrzymałościowej zgodnie z wymaganiami normy PN-C-94147:1997 [8]. Badania wykonywane są w Laboratorium Transportu Taśmowego Politechniki Wrocławskiej (LTT) na specjalnie do tego celu przeznaczonej zrywarce poziomej „ZP-100” (rys. 4). Jest to urządzenie uruchomione w 2019 roku i umożliwia badania połączeń taśm o wytrzymałości do 7800 kN/m. Dzięki możliwości zastosowania siły rozciągającej o wartości 1000 kN, w taśmach o niższych wartościach wytrzymałości możliwe stało się zwiększenie szerokości próbki badanego połączenia do 500 mm. ZP-100 jest obecnie jedynym i największym urządzeniem tego typu w Polsce do badania połączeń, na którym można zbadać wytrzymałość połączenia o pełnej długości 8,0 m. Do końca 2018 r. w LTT wykonywano badania połączeń na zrywarce ZP-40 (rys. 4, żółty kolor). Ze względu na swoje ograniczenia konstrukcyjne możliwe było badanie próbek połączeń o wytrzymałości do 4000 kN/m i całkowitej długości 4,0 m.

We wszystkich rodzajach połączeń taśm wieloprzekładowych występuje zjawisko spiętrzania naprężeń w miejscach nieciągłości przekładek. Tak więc niezależnie od straty jednej przekładki w przekroju styku łączonych przekładek, występuje strata wytrzymałości spowodowana spiętrzeniem naprężeń na stykach przekładek, którą w normie [8] określono współczynnikiem wynoszącym 0,85.

Wyniki badań wytrzymałości połączeń weryfikowane są w odniesieniu do wymaganej wytrzymałości określonej zależnością (1):

$$R_p = 0,85 \cdot R_r \cdot \frac{n_z - 1}{n_t}, \quad \text{kN/m}, \quad (1)$$

gdzie:

- R_p – wytrzymałość na rozciąganie złącza w kN/m,
- R_r – wytrzymałość na rozciąganie taśmy w kN/m,
- n_z – liczba przekładek w złączu,
- n_t – liczba przekładek w taśmie.

W przypadku, gdy łączone są ze sobą taśmy o różnych wytrzymałościach lub różnej liczbie przekładek, do określenia wymaganej wytrzymałości połączenia przyjmuje się wytrzymałość taśmy, która ma mniejszą wartość.



Rys. 4. Zrywarka ZP-100 (po lewej) i ZP-40 (po prawej)
Fig. 4. ZP-100 (left) and ZP-40 (right) ripper

Z zależności (1) wynika, że wytrzymałość połączenia zależy od jego konstrukcji. Dla taśm 3-przekładowych maksymalna wytrzymałość połączenia zakładkowego w odniesieniu do wytrzymałości rzeczywistej taśmy wynosi 56,7%. Dla taśm 4-przekładowych jest to wartość 63,7%, a dla 5-przekładowych 68%. W celu zwiększenia wytrzymałości połączenia można wykonać je jako nakładkowe. Wówczas maksymalna wytrzymałość połączenia w porównaniu do wytrzymałości rzeczywistej taśmy może osiągnąć wartość 85%. Podane powyżej wartości wytrzymałości połączenia odniesiono do rzeczywistej wytrzymałości taśmy. Jednak odnosząc je do nominalnej wytrzymałości taśmy, wytrzymałość połączenia może osiągnąć wyższe wartości. Związane jest to z faktem, że wartość nominalna jest to minimalna wytrzymałość taśmy. Dlatego producenci taśm wytwarzają je z wytrzymałościami wyższymi od nominalnych.

2.3. DYNAMICZNA PRÓBA ROZCIĄGANIA

Określenie wytrzymałości zmęczeniowej połączenia w warunkach rzeczywistych wymaga wykonania bardzo dużej liczby cykli obciążeniowych. W praktyce jest to trudne do wykonania, gdyż takie badania mogą trwać latami. Dlatego aby skrócić czas tych badań w ramach realizowanego na Politechnice Wrocławskiej centrum badawczego GEO 3EM [14] zbudowano stanowisko badawcze do określania dynamicznej wytrzymałości zmęczeniowej połączeń taśm zgodnie z normą DIN 22110-3 [15]. Stanowisko pokazano na rys. 5.



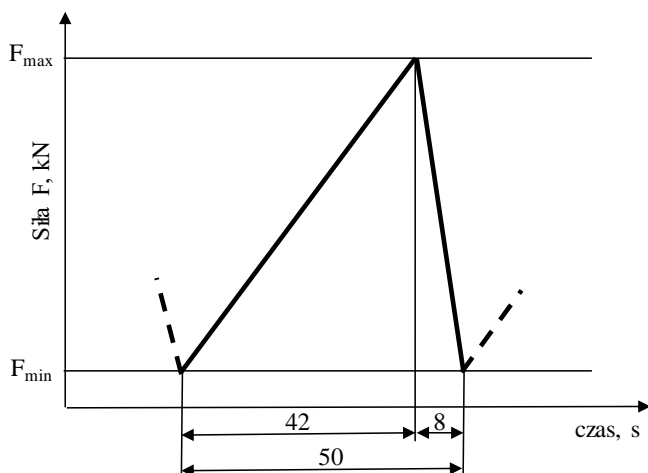
Rys. 5. Stanowisko do badań dynamicznych połączeń

Fig. 5. Dynamic test stand

Zastosowanie siły rozciągającej o wartości 1000 kN umożliwia urządzeniu testowanie połączeń taśm przenośnikowych różnego typu, o nominalnej wytrzymałości do 5400 kN/mm. Urządzenie badawcze posiada dwie pary bębnow, jeden bęben napędza taśmę do określonej prędkości (z płynną regulacją do 12 m/s), a drugi bęben realizuje cykl obciążeniowy (do 1000 kN). Urządzenie jest wyposażone w trzy zestawy bębnow o średnicach: 1000 mm, 1250 mm i 1500 mm. Dobór odpowiednich bębnow jest uzależniony od wytrzymałości taśmy i jest określony w normie: do badań zmęczeniowych połączeń taśm o wytrzymałości nominalnej powyżej 1250 kN/m do 2000 kN/m stosuje się bębny o średnicy 1000 mm, dla taśm o wytrzymałości powyżej 2000 kN/m do 3500 kN/m bębny o średnicy 1250 mm, a dla taśm o wytrzymałości powyżej 3500 kN/m do 5400 kN/m bębny o średnicy 1500 mm. W 2020 r. na stanowisku badawczym LTT rozpoczęto badania pierwszych połączeń [16].

W badaniach laboratoryjnych wytrzymałości zmęczeniowej przyjęto jednakową liczbę cykli obciążeniowych dla wszystkich próbek taśm przenośnikowych i ich połą-

czeń niezależnie do przyjętej wytrzymałości referencyjnej połączenia. Liczba ta została określona w normie [15] na 10 000 cykli, co oznacza, że wytrzymałość zmęczeniowa połączenia w badaniach dynamicznych definiowana jest jako 10 000 pomyślnie wykonanych cykli obciążenia. Przebieg siły w czasie podczas wykonywanego badania przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Przebieg siły w czasie w trakcie badań dynamicznych połączeń
Fig. 6. Force over time during dynamic splice testing

Siła rozciągająca ma przebieg piłokształtny, a stosunek siły obciążającej do siły odciążającej wynosi 5:1, gdzie jeden cykl obciążeniowy trwa 50 sekund. Stosunek długości cyklu obciążeniowego do czasu jednego pełnego obiegu taśmy wynosi 18, co oznacza, że podczas jednego pełnego cyklu obciążania, który trwa 50 s, taśma powinna wykonać 18 obiegów. Właśnie z tego powodu prędkość taśmy dobierana jest z uwzględnieniem długości taśmy w zamkniętej pętli. Wartości stosowanych sił są zależne od przyjętej wytrzymałości referencyjnej połączenia np. 40–60 % wytrzymałości taśmy. Uwzględnienie szerokości próbki jest niezwykle istotne przy ich wyznaczeniu. Sposób przygotowania próbek do badań i obliczanie wartości sił F_{max} i F_{min} są dokładnie opisane w normie [15].

3. PODSUMOWANIE

Wytrzymałość połączeń taśm przenośnikowych determinuje wytrzymałość pętli taśmy na przenośniku. Strata wytrzymałości na obszarze prawidłowo wykonanego złącza nie powinna być wysoka. Jeżeli złącze będzie wykonane wadliwie lub połą-

czy się z sobą taśmy o różnych właściwościach wytrzymałościowych wtedy dodatkowe osłabienie złącza może obniżyć jego wytrzymałość i może być przyczyną awaryjnego zerwania taśmy.

W przemyśle wydobywczym istnieje duże zapotrzebowanie na rozwój i unowocześnianie laboratoriów oraz metod badawczych, w których można szybko oraz precyzyjnie ocenić jakość i przewidywalną trwałość połączeń w określonych warunkach pracy. Przedstawione w artykule stanowiska badawcze do badania wytrzymałości połączeń taśm metodami statyczną i dynamiczną pozwalają na otrzymanie wyniku w stosunkowo krótkim czasie. Uzyskane wyniki badań powinny pomóc producentom taśm w wytwarzaniu coraz lepszych taśm a firmy wykonujące połączenia tych taśm mogą zagwarantować bezawaryjną i bezpieczną ich pracę.

LITERATURA

- [1] HARDYGÓRA M., WOŹNIAK D., *Gospodarka taśmami przENOŚNIKOWYMI w krajowych zakładach górniczych kruszyw naturalnych lamanych*, *Górnictwo Odkrywkowe*, 2012, nr 5/6, 41–47.
- [2] HARDYGÓRA M., WOŹNIAK D., *Transport taśmowy w górnictwie surowców skalnych – eksploatacja taśm przENOŚNIKOWYCH*, *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały* Nr 39, 2011, s. 111–121.
- [3] BAJDA M., HARDYGÓRA M., *Examination and assessment of the impact of working conditions on operating parameters of selected conveyor belts*, *Mining Science*, 2022, Vol. 29, 165–178.
- [4] JURDZIAK L., BŁAŻEJ R., BAJDA M., *Monitorowanie stanu taśm i połączeń szansą na zwiększenie niezawodności pracy transportu ciągłego w kopalniach*, *Międzynarodowy Kongres Węgla Brunatnego*, 2018, s. 161–170.
- [5] KIRJANÓW-BŁAŻEJ A., JURDZIAK L., BŁAŻEJ R., RZESZOWSKA A., *Calibration procedure for ultrasonic sensors for precise thickness measurement*, *Measurement*, 2023, Vol. 214.
- [6] BAJDA M., BŁAŻEJ R., JURDZIAK L., HARDYGÓRA M., *Wpływ różnic trwałości połączeń wulkanizowanych i klejonych na koszty eksploatacji taśm przENOŚNIKOWYCH kopalni podziemnej*, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 2017, nr 99, s. 71–88.
- [7] BINDYK E., BAJDA M., JURDZIAK L., *Badania odporności taśmy przENOŚNIKOWEJ na ścieranie*, *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze*, 2019, 2 (44), s. 2–8.
- [8] PN-C-94147:1997. *Połączenia taśm przENOŚNIKOWYCH metodą wulkanizacji*.
- [9] HARDYGÓRA M., BAJDA M., BŁAŻEJ R., WOŹNIAK D., JURDZIAK L., PASZKOWSKA G., *Złącza wieloprzekładowych taśm przENOŚNIKOWYCH o zwiększonej trwałości eksploatacyjnej*. Projekt NCBiR, 2018. Umowa nr PBS3/A2/17/2015 (niepublikowany).
- [10] BAJDA M., BŁAŻEJ R., HARDYGÓRA M., *Impact of selected parameters on the fatigue strength of splices on multiply textile conveyor belts*. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2016)*, Prague 2016, IOP Publishing, art. 052021, pp. 1–6.
- [11] BAJDA M., HARDYGÓRA M., *Analysis of Reasons for Reduced Strength of Multiply Conveyor Belt Splices*, *Energies*, 2021, 14 (19), 1512.
- [12] POLNIAK A. i in., *Optymalizacja geometrii połączeń taśm wieloprzekładowych wykonywanych metodą klejenia na zimno*, *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze*, 2018, 3 (41), 24–25.
- [13] HARDYGÓRA M., BAJDA M., BŁAŻEJ R., *Laboratory testing of conveyor textile belt joints used in underground mines*, *Mining Science*, 2015, Vol. 22, pp. 161–169.
- [14] <https://pwr.edu.pl/badania/geo-3em>

- [15] DIN 22110-3. *Testing methods for conveyor belt joints – Part 3: Determination of time strength for conveyor belt joints (dynamical testing method)*, Beuth Verlag, Berlin, November 2007.
- [16] HARDYGÓRA M., BAJDA M., BŁAŻEJ R., *Nowe trendy i doświadczenia związane z badaniami wytrzymałości połączeń taśm przenośnikowych*, [w:] D. Łochańska, M. Sierpień (red.), *Transformacja węgla brunatnego*, Agencja Wydawniczo-Poligraficzna ART-TEKST, Kraków 2023. s. 91–99.

NEW TRENDS RELATED TO TESTS OF CONVEYOR BELTS USED IN AGGREGATE MINES

The splice of conveyor belts is the weakest link in the closed belt loop on the conveyor, therefore the reliability of belt conveyors depends on the strength of a single splice. In order to ensure high reliability of conveyor transport, splices should be tested to assess their strength. The article describes the methods of testing belt splices most often used for transporting aggregates. New test stands were presented, where the Belt Transport Laboratory of the Wrocław University of Science and Technology performs tests of the static breaking strength and dynamic tensile strength of splices.

Beata FIGARSKA-WARCHOŁ¹

Marek REMBIŚ²

¹ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

² AGH w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

ANALIZA PORÓWNAWCZA WYBRANYCH CECH WAPIENI W ASPEKTCIE ICH STOSOWANIA DO PRODUKCJI KRUSZYW

W pracy zestawiono wyniki badań parametrów technicznych oznaczonych według norm krajowych dla wapieni pochodzących z 258 złóż z terenu Polski. Dokonano porównawczej analizy tych danych, wskazując na związki korelacyjne między parametrami, a zarazem wykazując odmienność wapieni reprezentujących poszczególne, różnowiekowe formacje geologiczne, pod względem wartości tych parametrów. Analiza danych wykazała, że niektóre z właściwości silnie zależą od składu mineralnego wapieni, podczas gdy inne są raczej związane z ich strukturą bądź teksturą. Wykonano także własne badania według norm europejskich dla wapieni o znacznym zróżnicowaniu litologicznym w obrębie jednego złoża. Ich wyniki są zgodne z ogólną dla wszystkich wapieni tendencją do pogarszania się jakości kopaliny i produkowanego z niej kruszywa wraz ze zmniejszaniem się strukturalnej zwięzłości skały.

1. WSTĘP

Kruszywa mineralne są jednym z podstawowych surowców mających zastosowanie w wielu gałęziach gospodarki; głównie w budownictwie, drogownictwie, kolejnictwie, górnictwie, przemyśle szklarskim, odlewnictwie i wielu innych. Ziarna kruszywa genetycznie związane są ze skałami macierzystymi, które następnie zostały rozdrobnione wskutek naturalnych procesów wietrzenia i ścierania bądź w warunkach przemysłowych – przez kruszenie. Właściwości kruszyw, np. skład chemiczny i mineralogiczny, gęstość, twardość, trwałość fizyczna i chemiczna, warunkujące możliwości ich zastosowania, w dużej mierze zależą więc od zróżnicowania litologicznego skał, z których pochodzą. Jednak z drugiej strony kruszywo wykazuje cechy, których nie określa się w przypadku skały macierzystej, jak np. właściwości geometryczne, gęstość nasypowa, jamistość, względnie odporność na rozdrabnianie, uderzanie lub ścieranie. Wszystkie te cechy wynikające z procesów przeróbki mogą mieć wpływ na jakość końcowego wyrobu.

W branży kruszywowej, wśród różnorodnych litologicznie skał znaczącą rolę odgrywają wapienie. Związane są one z różnymi formacjami geologicznymi występującymi w kilku regionach Polski. Do ważnych, z uwagi na rozprzestrzenienie i wielkość zasobów należą: Góry Świętokrzyskie, region Śląsko-krakowski i Dolny Śląsk. Znaczące zróżnicowanie litologii wapieni, występujących w krajowych złożach oraz związana z tym zmienność ich fizyczno-mechanicznych i chemicznych właściwości, zostały wielokrotnie opisane w licznych opracowaniach [1, 2] wraz z obszerną bibliografią). Stanowią one zasób wiedzy dotyczącej złóż zarówno obecnie eksploatowanych, jak też tych, w których eksploatacja została już zaniechana. Spośród licznych właściwości, jakimi cechują się skały; powszechnie oznaczane były: gęstość objętościowa i właściwa, porowatość, nasiąkliwość, mrozoodporność, wytrzymałość na ściskanie i ścieralność.

Analiza danych zawartych w istniejących opracowaniach pokazuje, że właściwości te wykazują wzajemne związki korelacyjne, wynikające ze składu mineralnego wapieni oraz ich cech strukturalnych i teksturalnych. Wielokrotnie podkreślany był także związek zmienności cech kopaliny z właściwościami produkowanych z nich kruszyw, np. odpornością na zamrażanie, rozdrabnianie lub ścieranie. Pomimo zmienności jakości kopaliny, jaka istnieje w poszczególnych złożach, dają się zauważyć wspólne cechy, charakteryzujące poszczególne grupy wapieni, przynależne do jednostek geologicznych wyodrębnianych przestrzennie i stratygraficznie. Omawiane zależności, opracowane na podstawie danych reprezentujących 258 złóż wapieni z obszaru Polski, stanowią treść niniejszej publikacji.

2. PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Założony w cel opracowania zrealizowano poprzez analizę podstawowych właściwości wapieni; oznaczonych według norm krajowych, dotyczących materiałów kamiennych, obowiązujących w latach 60. XX w. Wykorzystano wyniki oznaczeń właściwości zawarte w monografiach [3–5]. Badaniem objęto wapienie występujące w różnych regionach Polski: Dolny Śląsk, Opolszczyzna, Wyżyna Krakowsko-Częstochowska, Karpaty, Góry Świętokrzyskie wraz z obrzeżeniem, Lubelszczyzna, Wał Kujawsko-Pomorski. Łącznie zebrano dane dotyczące 8 parametrów technicznych oznaczonych dla 339 prób, pochodzących z 258 złóż. Wśród analizowanych właściwości znalazły się: gęstość właściwa, gęstość objętościowa, porowatość [6], nasiąkliwość wodą [7], ścieralność w bębnie Devala [8], wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym oraz po nasyceniu wodą [9].

Ponadto dla przykładowego złoża wapieni jurajskich z towarzyszącymi im w nadkładzie wapieniami trzeciorzędowymi, przeprowadzono badania według aktualnie obowiązujących norm europejskich. Dla 46 prób wapieni wykonano oznaczenia gęstości

objętościowej [10], nasiąkliwości wagowej [11], wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym oraz po nasyceniu wodą [12], a także wartości współczynnika Los Angeles [13] i wskaźnika rozkruszenia [14], zaś dla wybranych 12 prób, także współczynnika mikro-Devala [15]. Zarówno dla wcześniejszych, jak i nowych danych wykonano analizy poszczególnych parametrów, wskazując przyczyny ich zmienności oraz opisując charakter zależności między nimi.

3. WYSTĘPOWANIE I CHARAKTERYSTYKA LITOLOGICZNA KRAJOWYCH WAPIENI

Wapienie występują na obszarze Polski: na Dolnym Śląsku, w rejonach: śląsko-krakowskim, częstochowskim, świętokrzyskim, a także na Kujawach, w Karpatach i na Roztoczu, w jednostkach litologicznych wieku kambryjskiego, dewońskiego, karbońskiego, triasowego, jurajskiego, kredowego i trzeciorzędowego.

Wapienie kambru występują w na Dolnym Śląsku w Górach Kaczawskich. Powszechnie określane są jako tzw. wapienie wojcieszowskie, które pod względem petrograficznym są wapieniami krystalicznymi, częściowo zdolomityzowanymi lub zsylikowanymi oraz dolomitami wapnistymi i dolomitami [16]. Występują w formie soczew i gniazd o miąższości od kilkunastu do kilkuset metrów otoczonych utworami metamorficznymi o charakterze łupków i fyllitów serii radzimowickiej i serii zieleńcowej.

Wychodnie wapieni dewońskich znajdują się w rejonie świętokrzyskim, głównie w obrębie antyklinorium chęcińsko-klimontowskiego, synklinorium kielecko-łagowskiego i w synklinie gałęzicko-bolechowicko-borkowskiej, a także w obszarze śląsko-krakowskim. Wapienie Gór Świętokrzyskich wykształcone są jako wapienie organogeniczne, drobno-, średnio- i grubokrystaliczne oraz brekcje, a także wapienie dolomityczne i margliste [17]. W rejonie śląsko-krakowskim wychodnie wapieni znajdują się w okolicach Krzeszowic (bitumiczne wapienie i wapienie margliste) oraz w okolicach Olkusza i Sievierza, gdzie występują częściowo zdolomityzowane wapienie rafowe tworzące wystąpienia w obrębie dolomitów triasu [1].

Wapienie karbońskie występują w rejonie śląsko-krakowskim i dolnośląskim (Kotlina Kłodzka). Są zróżnicowane litologicznie i reprezentują wapienie dolomityczne, laminowane wapienie mikrokrystaliczne z fauną, wapienie zsylikowane z rogowcami oraz wapienie biomikrosparytowe i wapienie biosparytowe [18, 19].

Wapienie i wapienie dolomityczne permu o zróżnicowanej strukturze, teksturze i barwie odsłaniają się na terenie Dolnego Śląska koło Nowej Rudy i Lwówka Śląskiego. Ich znaczenie surowcowe wiąże się głównie z okruszcowaniem miedzią, cynkiem i ołowiem w obrębie marglistych przewarstwień obecnych wśród tych warstw [5].

W przeszłości wykorzystywane były lokalnie do produkcji cementu i wypalania dolomitu wapiennego [17].

Wychodnie wapieni triasu zlokalizowane są w rejonie śląsko-krakowskim i na terenie Śląska Opolskiego w obrzeżeniu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego [2], na obszarze niecki śródsudeckiej i w obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich. Wśród nich znaczenie surowcowe mają głównie wapień obszaru śląskiego i krakowskiego warstw gogolińskich, górażdżańskich, terebratulowych, karchowickich i diploporowych. Pierwsze z nich to wapień krynoidowe, wapień komórkowe składające się z wapieni dolomityczno-marglistych i krystalicznych oraz wapień gruzłowe. Wapień warstw górażdżańskich reprezentowane są przez wapień krystaliczne, czasem zawierające krzemienie oraz wapień faliste. Wapień terebratulowe składają się z wapieni falistych z terebratulami i drobnokrystalicznych wapieni trochitowych. Wapień karchowickie to wapień krystaliczne, miejscami zdolomityzowane, wapień pelityczne i krynoidowe [17, 20, 21]. Wapień triasowe osłony mezozoicznej Gór Świętokrzyskich wykorzystywane były lokalnie jako kruszywo i do produkcji wapna. Również lokalne znaczenie mają utwory wapienia muszlowego w regionie dolnośląskim eksploatowane w przeszłości na potrzeby produkcji cementu [17].

Wapień jurajskie występują w rejonach: świętokrzyskim, śląsko-krakowskim, częstochowskim oraz w obrębie wału kujawsko-pomorskiego. W pierwszym z tych obszarów zajmują północno-wschodnią oraz południowo-zachodnią część obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Są to gruzłowe wapień gąbkowe z krzemieniami, częściowo zdolomityzowane [22]. Ponadto występują wapień płytowe przewarstwione wapieniami marglistymi i wapień organogeniczne z krzemieniami [23–25], a także wapień mikrytowe, silnie zlifyfikowane, pelityczne, kredowate, oolitowo-detrytyczne i detrytyczne [25, 26]. W rejonie śląsko-krakowskim i rejonie częstochowskim, występują wapień detrytyczne, margliste, kredowate oraz przekrytalizowane wapień kawerniste – tzw. trawertyny) [17]. W północnej Polsce, w obszarze Piechcin–Bielawy–Wapienno zalegają wapień pelityczne, detrytyczne, margliste, częściowo zsylikowane oraz wapień dolomityczne. Ponadto w obszarze Czarnogłowy–Kłęby obecne są wapień margliste i piaszczyste, a w rejonie Kutna wapień pelityczne, oolitowe, detrytyczne, a także zlepy muszlowe i wapień margliste [1, 17, 25].

Kredowe utwory węglanowe reprezentują głównie opoki występujące na Wyżynie Lubelskiej, w okolicach Radomia i Łodzi oraz w niecce nidziańskiej. Charakteryzują się obecnością krzemionki skrytokrystalicznej w zmiennym udziale 5–75%. W przeszłości stanowiły popularny lokalny materiał budowlany oraz surowiec do produkcji cementu, a w mniejszym stopniu także lekkiego kruszywa do betonu [17]. Wapień kredowe wykształcone są także jako tzw. wapień cieszyńskie odsłaniające się w płaszczowinie śląskiej polskich Karpat fliszowych na obszarze Pogórza Cieszyńskiego. Są to wapień, oolitowe, ziarniste, pelityczne z przewarstwieniami łupków marglistych,

a także wapienie detrytyczne zawierające lokalnie znaczny udział ziaren kwarcu i skałeni [27, 28].

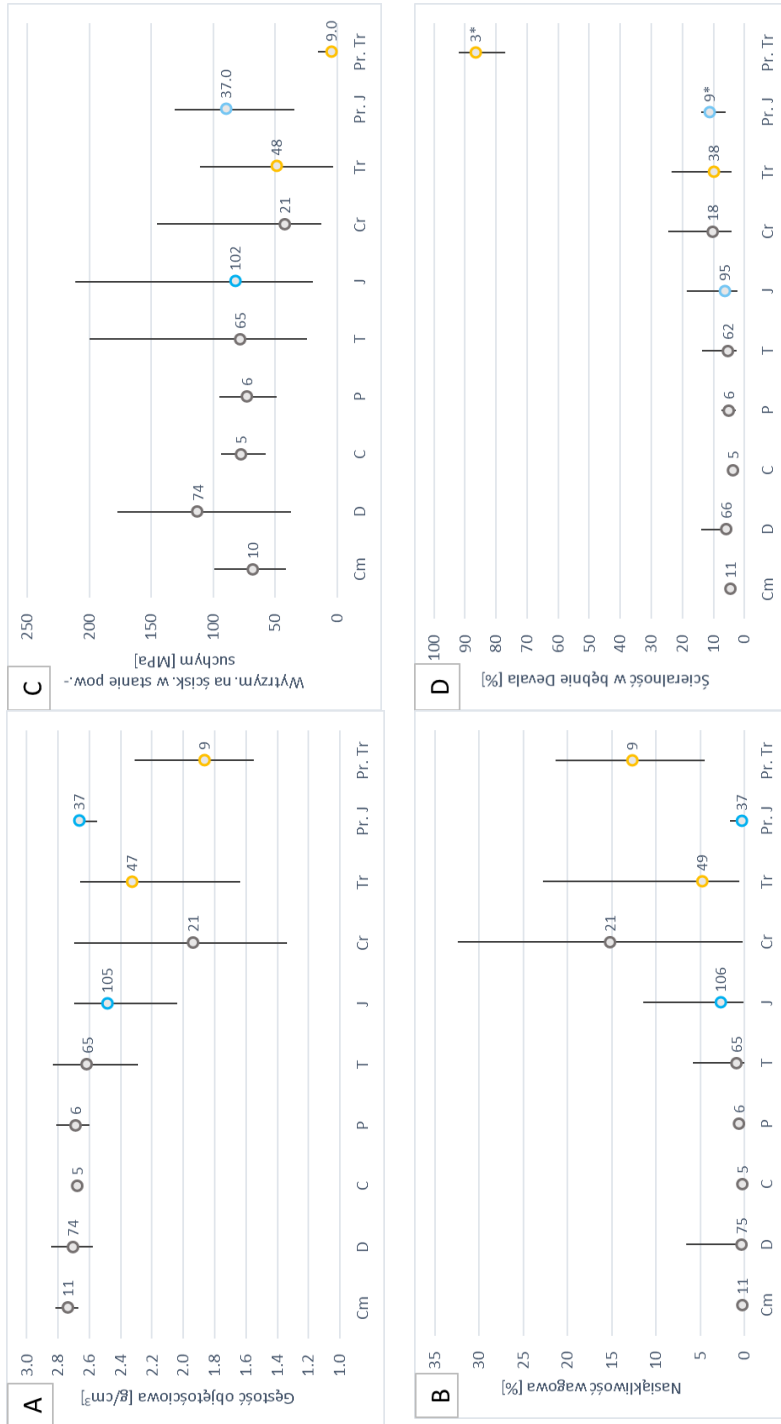
Wapienie trzeciorzędowe występują na terenie Roztocza jako wapienie litotamniowe, serpulowo-mikrobiałitowe, organodetrytyczne i organodetrytyczno-terygeniczne [29]. Ponadto w Paśmie wójczańsko-pińczowskim oraz w rejonie Chmielnika na obszarze południowego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich występują wapienie o tradycyjnej nazwie „pińczowskie” reprezentowane przez wapienie litotamniowe, organodetrytyczne o spoiwie nieprzekryształizowanym bądź częściowo przekryształizowanym [30, 31].

4. WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-MECHANICZNE WAPIENI

Różnowiekowe wapienie, których właściwości w monografiach [3–5], reprezentowane są w różnym stopniu. Najliczniejszą grupą, liczącą ponad 100 prób, są wapienie jurajskie. Ponadto, również wapienie dewonu, triasu i trzeciorzędu obecne są w dość dużym udziale (oznaczenia parametrów z kilkudziesięciu miejsc), a wapienie kredowe występują w zestawieniu w liczbie około 20 prób. Zmienność właściwości wapieni kambru, karbonu i permu jest najslabiej udokumentowana w tych opracowaniach wynikami, pochodzącymi w każdym przypadku, z kilku miejsc eksploatacji.

Uzyskany obraz zmienności wskazuje na stopniowy wzrost gęstości objętościowej wapieni wraz z ich wiekiem (rys. 1A). Paleozoiczne, zbite wapienie charakteryzują się gęstością objętościową 2,60–2,85 g/cm³, podczas gdy wapienie triasu i jury reprezentują próby o gęstości 2,04–2,84 g/cm³, zaś kredowe i trzeciorzędowe odznaczają bardzo szeroki zakres tej wielkości 1,34–2,70 g/cm³.

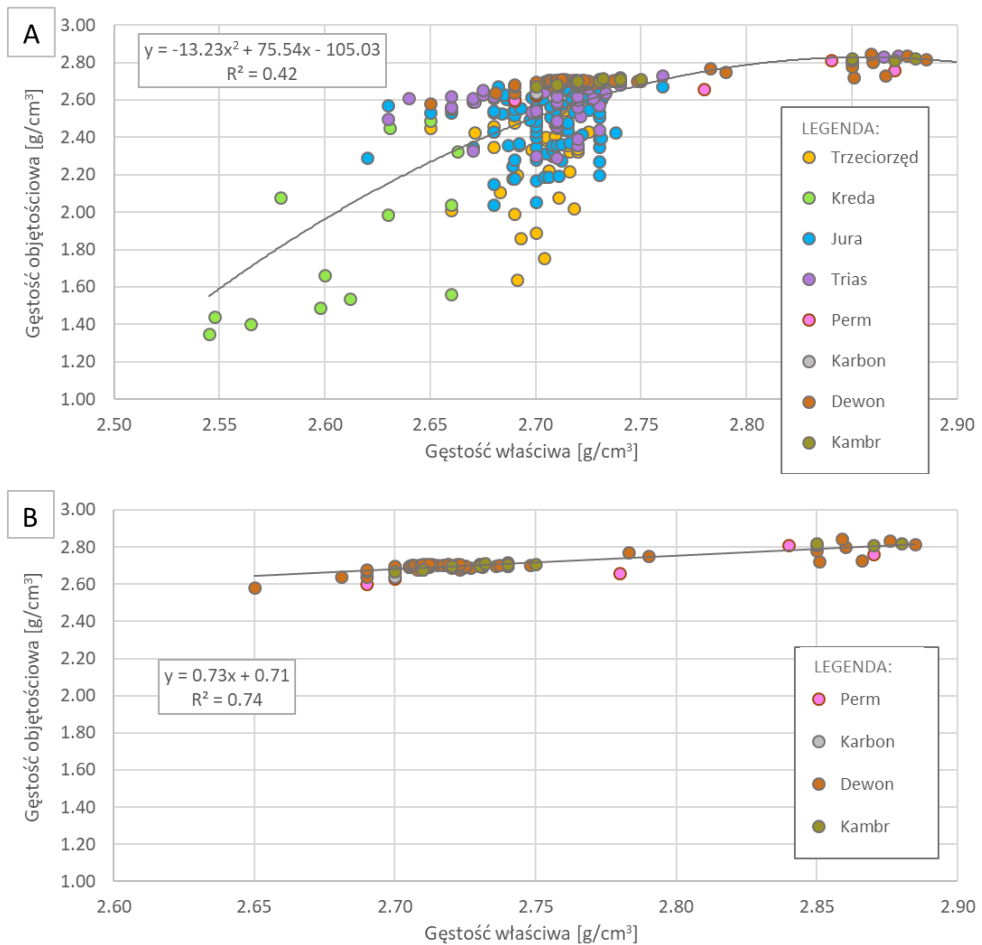
Gęstość objętościowa, choć w mniejszym stopniu niż właściwa, uzależniona jest od gęstości poszczególnych składników skały (rys. 2A). Ma to znaczenie zwłaszcza w przypadku wapieni zbitych, reprezentowanych zasadniczo przez wapienie paleozoiczne, w których różnice w składzie mineralnym znacznie bardziej niż struktura, która zwykle jest zbita, wpływają na ciężar objętościowy (rys. 2B). W związku z tym zależność pomiędzy tymi dwoma parametrami dla wapieni zbitych o niskiej porowatości ma charakter liniowy, choć w pełnym zakresie zmienia się zgodnie z funkcją wielomianu 2 stopnia. Na wyższą gęstość wapieni paleozoicznych duży wpływ ma zwiększona obecność związków żelaza, a także dolomitu, które jednocześnie nadają tym skałom ciemniejszych odcieni barwnych. Z kolei niska gęstość właściwa wapieni kredowych wynika ze znacznych domieszek krzemionki i nagromadzeń substancji ilastych, wpływających na ich odmienne parametry techniczne.



Rys. 1. Zmienność fizyczno-mechanicznych właściwości różnowiekowych wapieni: A – gęstość objętościowa, B – nasiąkliwość wagowa, C – wytrzymałość na ścisł. w stanie powietrzno-suchym, D – ścieralność w bębnie Devala lub mikro-Devala
Pr. J/Pr. Tr – próby wapieni jurajskich/trzecieorzędowych.

Fig. 1. Variability of the physical and mechanical properties of limestones of different ages: A – apparent density, B – water absorption, C – air-dry compressive strength, D – Deval or micro-Deval abrasion.

Pr. J/Pr. Tr – samples of Jurassic/Tertiary limestones



Rys. 2. Zależność pomiędzy gęstością właściwą a gęstością objętościową:
 A – dla wapieni wieku kambr–trzeciorzęd, B – dla wapieni paleozoicznych
 Fig. 2. The relationship between real density and apparent density:
 A – fom Cambrian–Tertiary limestones, B – for Paleozoic limestones

Gęstość objętościowa uzależniona od obecności pustek wewnątrz struktury skały, związana jest bez względu na wiek skały silną zależnością liniową ($R^2 = 0,98$) z porowatością (rys. 3), a w związku z obecnością systemu połączonych porów również silną zależnością wielomianową ($R^2 = 0,98$) z nasiąkliwością wagową. Efektem tego, także te dwie wielkości, tj. nasiąkliwość i porowatość, wiąże ze sobą zależność krzywoliniowa o wysokim współczynniku determinacji ($R^2 = 0,98$) – rys. 4.

Skomplikowana wewnętrzna struktura w połączeniu ze zróżnicowaną wielkością składników i urozmaiconym spoiwem słabo zdiagenezowanych najmłodszych for-

macji wapiennych sprzyja ich wysokiej nasiąkliwości. W przypadku utworów trzeciorzędowych są to wartości w zakresie 0,6–22,8% ze średnią 4,8%, a dla kredowych to wartości 0,3–32,4% z bardzo wysoką średnią – 15,2% (rys. 1B). Nasiąkliwość starszych wapieni nie przekracza zwykle kilku procent, przy średnich poniżej 1%, z wyjątkiem wapieni jury, których średnia wynosi 2,7%.

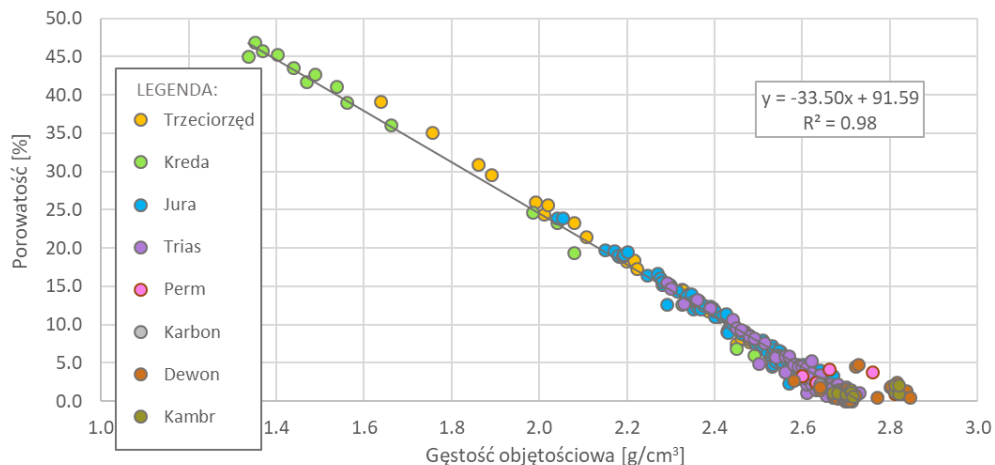
Właściwości fizyczne skał, tj. gęstość, porowatość czy nasiąkliwość, to czynniki bezpośrednio wpływające na strukturę skały i jej wytrzymałość. Widać to na przykładzie zależności pomiędzy gęstością objętościową a wytrzymałością na ściskanie w stanie nasycenia wodą (rys. 5A). Charakter przestrzeni porowej (jej całkowita objętość, wielkość i kształt pustek, możliwość komunikacji między porami) wpływa na sztywność szkieletu skały. Tym samym, wytrzymałość na ściskanie wapieni o gęstości objętościowej powyżej $2,6 \text{ g/cm}^3$ i niewielkiej nasiąkliwości przekracza w stanie nasycenym wodą zawsze wartość 40 MPa. Wśród nich znajdują się wszystkie wapienie kambru, dewonu, karbonu i permu. Drobne, równomiernie rozsiiane pory w strukturze wapieni triasu i jury obniżają wytrzymałość na ściskanie w warunkach zawodnionych do ~ 20 MPa, podczas gdy rozbudowana, skomplikowana przestrzeń porowa wapieni kredy i trzeciorzędu jest czynnikiem, który ogranicza możliwości ich wykorzystania jedynie do celów dekoracyjnych. Istotnym czynnikiem obniżającym stopień wytrzymałości jest w przypadku omawianych skał obecność wody w porach. Warunki takie obniżają wytrzymałość wapieni od kilku do ~ 30 MPa (rys. 5B).

Długość procesów diagenety sprzyja wzmocnieniu struktury skały, co przekłada się na wyższe średnie wytrzymałości na ściskanie wapieni paleozoicznych, a także triasu i jury (~ 80 MPa, a wyjątkowo nawet 113 MPa w przypadku wapieni dewońskich), podczas gdy wapienie kredy i trzeciorzędu charakteryzuje średnia wartość tego parametru ~ 45 MPa (rys. 1C). Również przeciętna ścieralność w bębnie Devala jest niższa w przypadku starszych wapieni – do 6,5%, a próby z formacji kredy i trzeciorzędu charakteryzują się najczęściej wartością $\sim 10\%$ (rys. 1D).

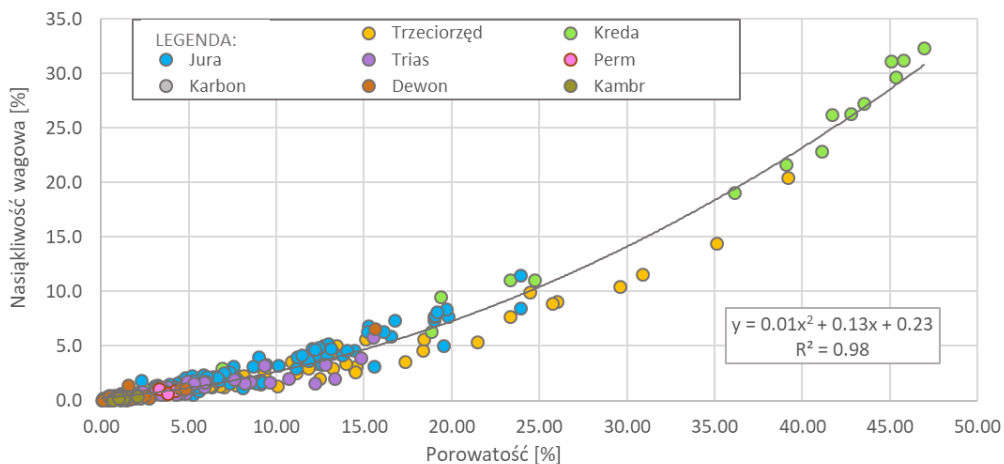
Ścieralność w bębnie Devala jest właściwością związaną z wieloma czynnikami, w tym głównie twardością składników skały. Nie bez znaczenia jest jednak także np. porowatość, obecność mikrospękań czy szorstkość powierzchni. Tak złożone uwarunkowania nie dają prostej zależności pomiędzy tą wielkością a wybranym innym parametrem. Umiarkowana korelacja ($R^2 = 0,42$) między ścieralnością a gęstością objętościową pozwala zauważyć, że większość wapieni (od kambru po jurę) charakteryzuje się ścieralnością w granicach 2–10%, podczas gdy margliste wapienie kredy (wpływ składnika) i organodetrytyczne wapienie trzeciorzędu (wpływ słabego spoiwa i szorstkiej powierzchni) poddają się procesowi ścierania w ilości 5–25% (rys. 5C).

Stwierdzono także wyraźną, choć niezbyt silną zależność pomiędzy ścieralnością a wytrzymałością na ściskanie – parametrami, których wielkość zależy w dużej mierze od działania czynników mechanicznych (rys. 5D). Zwraca uwagę, że

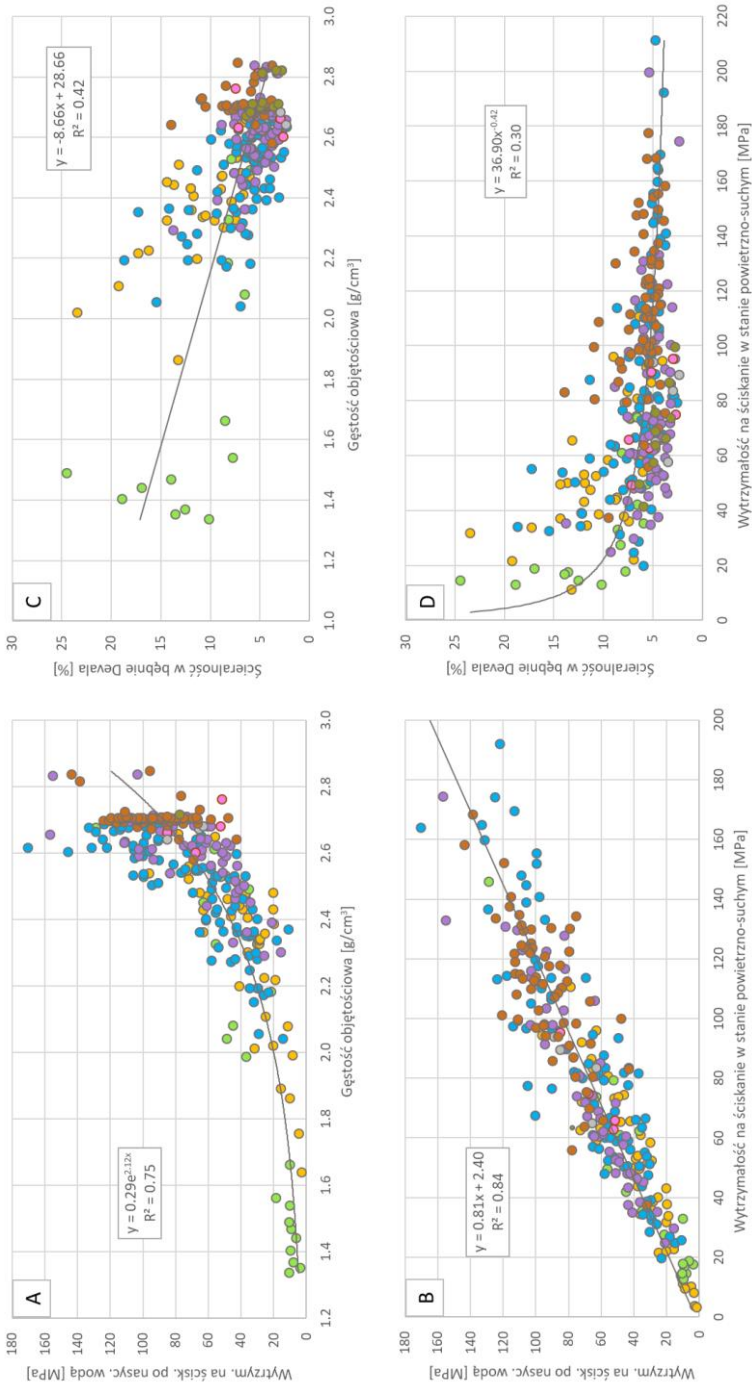
próby wapieni tego samego wieku nie tworzą wyraźnych klastrów, wykazując szeroki zakres zarówno wytrzymałości na ściskanie, jak i ścieralności.



Rys. 3. Zależność pomiędzy gęstością objętościową a porowatością wapieni
 Fig. 3. The relationship between apparent density and porosity of limestones



Rys. 4. Zależność pomiędzy porowatością a nasiąkliwością wagową wapieni
 Fig. 4. The relationship between porosity and water absorption of limestones



Rys. 5. Zależności dla wapieni pomiędzy: A – gęstością objętościową a wytrzymałością na ścisł. po nasyceniu wodą,

B – wytrzymałością na ścisł. w stanie powietrzno-suchym a wytrzymałością na ścisł. po nasyceniu wodą,

C – gęstością objętościową a ścieralnością w bębnie Devala,

D – wytrzymałością na ścisł. po nasyceniu wodą a ścieralnością w bębnie Devala Barwy punktów jak na Rys. 4

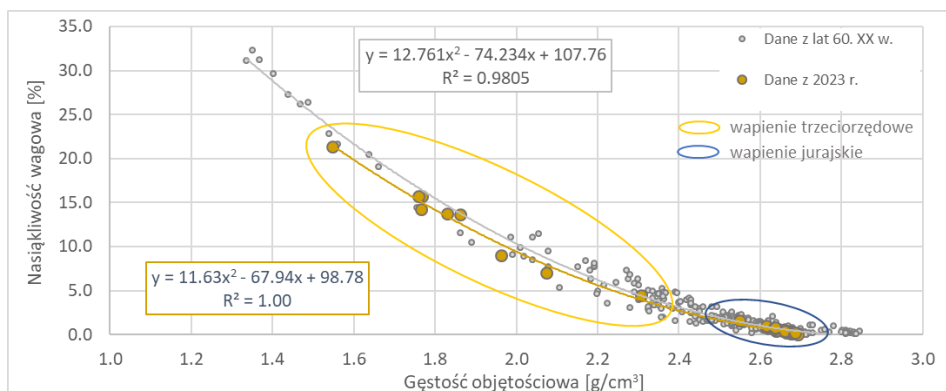
Fig. 5. Relations for limestones between: A – apparent density and compressive strength after water saturation,

B – air-dry compressive strength and compressive strength after water saturation, C – apparent density and Deval abrasion,

D – compressive strength after water saturation and Deval abrasion. Point colors as in Fig. 4

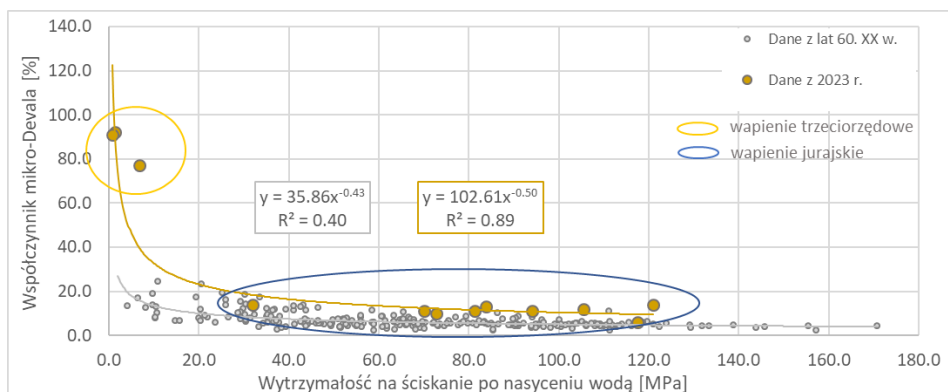
5. ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI WAPIENI Z WYBRANEGO ZŁOŻA

Charakter i stopień zmienności parametrów stwierdzony dla złóż różnowiekowych wapieni z Polski zaznacza się też w przypadku skał jury i trzeciorzędu, pochodzących z przykładowego złoża (rys. 6, 7). Zróżnicowanie to wynika m.in. ze składu mineralnego, zmiennych warunków depozycji osadu, a także intensywności oraz rodzaju procesów diagenetycznych, jakim on uległ, głównie kompaktacji i rekrytalizacji, w mniejszym stopniu rozpuszczania i sylifikacji.



Rys. 6. Zależność pomiędzy gęstością objętościową a nasiąkliwością wagową wapieni z przykładowego złoża na tle zmienności tych parametrów z danych z lat 60. XX w.

Fig. 6. The relationship between apparent density and water absorption of limestone from an example deposit against the variability of these parameters from data collection from the 1960s.



Rys. 7. Zależność pomiędzy wytrzymałością na ściskanie a współczynnikiem mikro-Devala dla wapieni z przykładowego złoża na tle zmienności tych parametrów z danych z lat 60. XX w.

Fig. 7. Compressive strength after water saturation and micro-Deval coefficient relationship from an example limestone deposit against the variability of these parameters from data collection from the 1960s.

Krzywa zależności między gęstością objętościową a nasiąkliwością wagową dla wapieni z przykładowego złoża niewiele odbiega od krzywej wykreślonej dla danych ze złóż z całej Polski (rys. 6). Punkty odpowiadające wapieniom jurajskim grupują się ściśle w wąskiej przestrzeni, zajmowanej na ogólnym wykresie przez próbki wapieni tego wieku o najkorzystniejszych właściwościach. Z kolei próby wapieni trzeciorzędowych z badanego złoża zajmują obszar całego klastra tych skał.

W przypadku zależności między współczynnikiem mikro-Devala a wytrzymałością na ściskanie po nasyceniu wodą wyraźne jest odchylenie przebiegu krzywej wyznaczonej dla przykładowego złoża w stosunku do krzywej dla ogólnych danych (rys. 7). W trakcie badań testowych uzyskano znacznie wyższy stopień rozkruszenia materiału, zwłaszcza w przypadku wapieni trzeciorzędowych niż we wcześniejszych badaniach. Zjawisko to wynika ze zmienionej metodyki tego badania, która przewiduje obecnie dokonywanie ścierania kruszywa w środowisku wodnym, co sprzyja procesom jego mięknięcia i w konsekwencji łatwiejszego rozpadu.

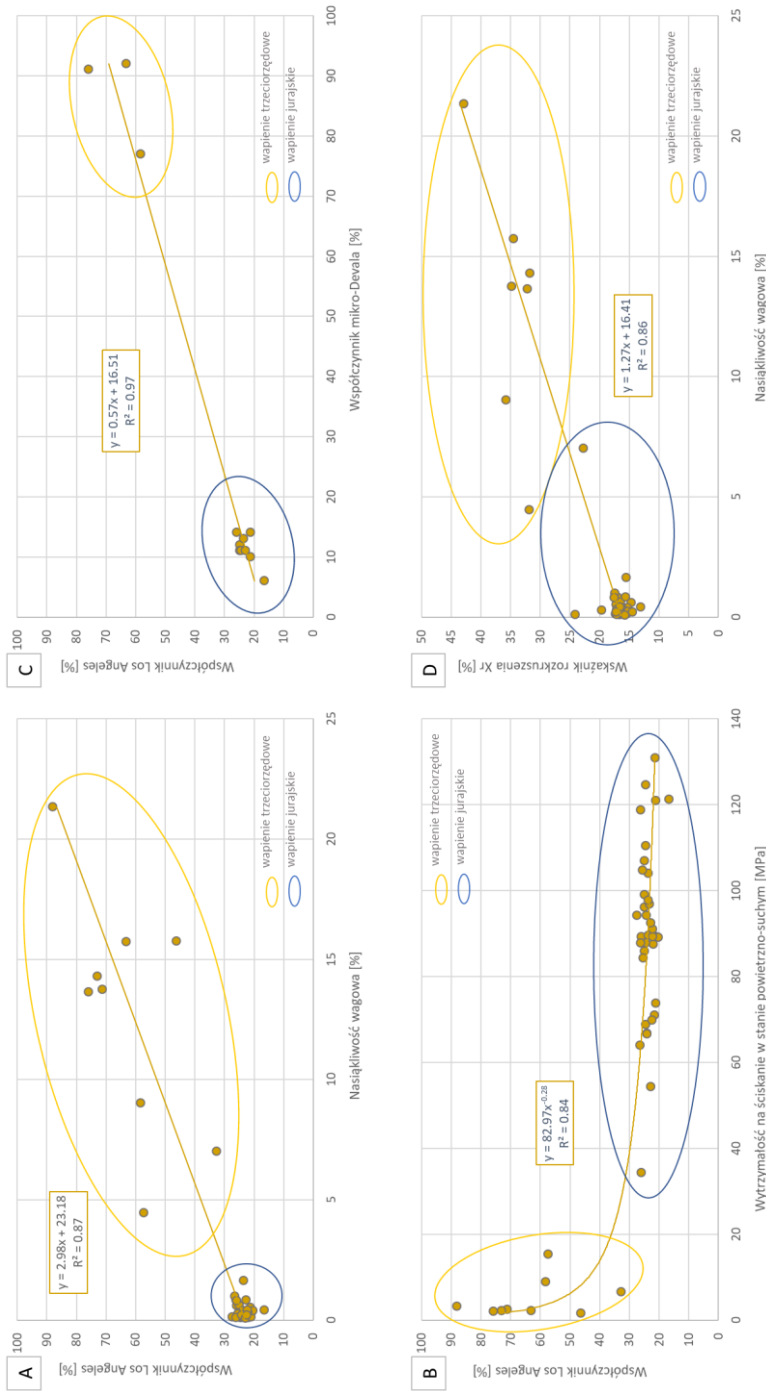
Wśród nowych badań, którego nie wykonywano w czasie tworzenia monograficznego opracowania, dotyczącego właściwości skał [3–5], jest także oznaczenie współczynnika Los Angeles wyrażającego skłonność skały do rozdrabniania pod wpływem uderzeń. Wartości tego parametru uzyskane dla prób z testowego złoża odniesiono do trzech innych wielkości: nasiąkliwości wagowej (rys. 8A), wytrzymałości na ściskanie (rys. 8B) oraz współczynnika mikro-Devala (rys. 8C).

Zależność współczynnika Los Angeles od nasiąkliwości wagowej przyjęła przebieg prostoliniowy, choć poszczególne punkty, reprezentujące wyniki dla wapieni trzeciorzędowych odbiegały dość znacznie od przebiegu prostej (rys. 8A). Warto zauważyć, że część z tych prób, o nasiąkliwości wagowej ok. 15% i wyższej, osiągała przekruszenie na poziomie 70–90%.

Bardziej ścisłą zależność stwierdzono dla współczynnika Los Angeles i wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym ($R^2 = 0,84$) – rys. 8B. Próby wapieni jurajskich charakteryzowała w zasadzie liniowa zależność między tymi parametrami (dla R_{cs} w zakresie ~40–140 MPa). Krzywoliniowy charakter nadały tej zależności próby wapieni trzeciorzędowych, które przy malejącej wytrzymałości na ściskanie w zakresie od 20 MPa do kilku MPa ulegały coraz silniejszemu rozdrobnieniu w bębnie Los Angeles (ubytek masy od 30 do 90%).

Dla 12 wspólnych oznaczeń ścieralności w bębnie mikro-Devala i w bębnie Los Angeles udało się uzyskać prostoliniową zależność (rys. 8C), która jednak ze względu na powstanie niewielkiego skupienia punktów, odpowiadających wapieniom jurajskim, nie może być wykorzystywana praktycznie.

Ostatnią wspólną relację uzyskano dla nasiąkliwości wagowej i wskaźnika rozkruszenia X_r (rys. 8D). Uzyskany obraz zależności jest podobny do tego uzyskanego dla nasiąkliwości i ścieralności w bębnie Los Angeles, z tą różnicą, że maksymalne wartości wskaźnika rozkruszenia wynoszą dla wapieni trzeciorzędowych niespełna 45%, podczas gdy współczynnik Los Angeles sięgał prawie 90%.



Rys. 8. Zależności dla przykładowego złoża wapieni pomiędzy: A – nasiąkliwością wagową a współczynnikiem Los Angeles, B – wytrzymałością na ściskanie a współczynnikiem Los Angeles, C – współczynnikiem mikro-Devala a współczynnikiem Los Angeles, D – nasiąkliwością wagową a wskaźnikiem rozkruszenia

Fig. 8. Relations from an example limestone deposit between: A – water absorption and Los Angeles coefficient, B – compressive strength and Los Angeles coefficient, C – micro-Deval coefficient and Los Angeles coefficient, D – water absorption and aggregate crushing index

6. WNIOSKI

1. Wapienie z obszaru Polski różnią się znacznie między sobą wykształceniem litologicznym, które wpływa na ich wartość surowcową. Właściwości fizyczne wapieni, jak gęstość, porowatość czy nasiąkliwość są ściśle związane ze strukturą skały i jej mechaniczną wytrzymałością.
2. Wapienie paleozoiczne, a także triasowe i jurajskie mają zwykle wyższą wytrzymałość na ściskanie oraz niższą ścieralność w bębnie Devala niż wapienie kredowe i trzeciorzędowe, co wynika z odmiennej długości i intensywności działania procesów diagenetyzacji jakim były poddane. Wartość obu tych parametrów jest ściśle uzależniona od zawartości wody w porach skały. Jest to szczególnie widoczne przy porównaniu wyników badania wytrzymałości na próbkach o różnym stanie nasycenia wodą oraz wyników badań ścieralności metodami Devala i mikro-Devala.
3. Zróżnicowane warunki sedymentacji i diagenetyzacji oraz procesy postdiagenetyczne powodują, że nawet w obrębie jednego złoża mogą występować skały węglanowe o szerokim zakresie wartości właściwości fizycznomechanicznych, porównywalnym ze znaczną zmiennością, jaką wykazują różnowiekowe wapienie z różnych regionów Polski.
4. Zmienna jakość wapieni stwarza możliwość racjonalnego wyboru kopaliny o właściwościach spełniających wymagania jakościowe określone w normach i wytycznych, co zapewnia sprostanie oczekiwaniami dla potrzeb planowanych inwestycji.

LITERATURA

- [1] NEY R. (red.), *Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce węglanowe*, Wydawnictwo Instytutu GSMiE PAN, Kraków 2000.
- [2] NEY R. (red.), *Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Kruszywa mineralne*, Wydawnictwo Instytutu GSMiE PAN, Kraków 2007.
- [3] DĘBSKI W. (red.), *Monografia złóż materiałów kamiennych w Polsce. Okręg Południowy Polski*, Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Drogowej, Warszawa 1963.
- [4] DĘBSKI W. (red.), *Monografia złóż materiałów kamiennych w Polsce i ich przydatność do celów drogowych. Okręg Południowo-Centralny Polski*, Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Drogowej, Warszawa 1966.
- [5] DĘBSKI W. (red.), *Monografia złóż materiałów kamiennych w Polsce. Okręg Południowo-Zachodni i Północno-Centralny Polski*, Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki, Warszawa 1968.
- [6] PN-54/B-04100. *Badania materiałów kamiennych. Ciężar właściwy, ciężar objętościowy, szczelność i porowatość.*
- [7] PN-54/B-04101. *Badania materiałów kamiennych. Nasiąkliwość wodą.*
- [8] PN-53/B-04112. *Badania materiałów kamiennych. Ścieralność (zużycie) tuczni kamiennego w bębnie Devala.*
- [9] PN-54/B-04110. *Badanie materiałów kamiennych. Wytrzymałość na ściskanie.*

- [10] PN-EN 1936. *Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości.*
- [11] PN-EN 13755. *Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym.*
- [12] PN-EN 1926. *Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie.*
- [13] PN-EN 1097-2. *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie.*
- [14] PN-78/B-06714-40. *Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie wytrzymałości na miazdzenie.*
- [15] PN-EN 1097-1. *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Oznaczanie odporności na ścieranie (mikro-Deval).*
- [16] LORENC S., *Petrogeneza wapieni wojcieszowskich*, Geologia Sudetica, 1983, 18 (1), 61–119.
- [17] KOZŁOWSKI S., *Surowce skalne Polski*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1986.
- [18] BOGACZ K., *Budowa geologiczna paleozoiku dębnickiego*, Annales Societatis Geologorum Poloniae, 1980, 50 (2), 183–208.
- [19] KOTOWSKI C., RATAJCZAK T., *Karbońskie wapienie z Czatkowic – ich charakter surowcowy a możliwości wykorzystania*, Górnictwo i Geoinżynieria, 2010, 34 (4), 339–348.
- [20] NIEDŹWIEDZKI R., *Litostratygrafia formacji górażdżańskiej i formacji dziewkowickiej na Śląsku Opolskim*, Acta Universitatis Wratislaviensis, Prace Geologiczno-Mineralogiczne, 2000, 71.
- [21] STANIENDA K., *Diagenеза triasowych wapieni Śląska Opolskiego w aspekcie obecności kalcytu magnezowego*, Wydawnictwo PŚ, Gliwice 2013.
- [22] MALINOWSKA L., *Biostratygrafia osadów dolnego i środkowego oksfordu obrzeżenia Gór Świętokrzyskich*, Biuletyn Instytutu Geologicznego, 1967, 209, 53–112.
- [23] POŻARYSKI W., *Jura i kreda między Radomiem, Zawichostem i Kraśnikiem*, Biuletyn Instytutu Geologicznego, 1948, 46.
- [24] DEMBOWSKA J., *Górna jura między Radomiem i Jastrzębiem*, Biuletyn Instytutu Geologicznego, 1953, 218, 31–50.
- [25] WYRWICKA K., *Surowce węglanowe malmu Gór Świętokrzyskich – ich zastosowanie i perspektywy*, Kwartalnik Geologiczny, 1969, 13 (2), 357–369.
- [26] PESZAT C., *Litologia jurajskich skał węglanowych między Tokarnią a Chmielnikiem*, Acta Geologica Polonica, 1964, 14 (1).
- [27] PESZAT C., *Rozwój litologiczny i warunki sedymentacji wapieni cieszyńskich*, Prace Geologiczne PAN, 1967, 44.
- [28] PESZAT C., *O pelityczno-detrytycznej odmianie wapieni cieszyńskich*, Spraw. Pos. Komis. Nauk. Oddz. PAN, Kraków 1967, 11 (1), 370–373.
- [29] MUSIAŁ T., *Miocen Roztocza (Polska południowo-wschodnia)*, Biuletyn Geologiczny Wydziału Geologicznego UW, Warszawa 1987, 31, 5–149.
- [30] BUGAJSKA-PAJĄK A., *Charakterystyka surowcowa wapieni lekkich miocenu południowego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich*, Przegląd Geologiczny, 1974, 22, 9, 416–421.
- [31] WYSOCKA A., JASIONOWSKI M., PERYT T. M., *Miocen Roztocza*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 2007, 422, 79–96.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SELECTED LIMESTONE FEATURES IN TERMS OF ITS USE FOR THE PRODUCTION OF AGGREGATES

The study summarizes the results of testing the technical parameters of limestone from 258 deposits in Poland, determined according to national standards. A comparative analysis of these data was performed, showing correlations between the parameters and, at the same time, the differences between

limestones representing different age geological formations. Data analysis showed that some of the properties strongly depend on the mineral composition of the limestones, while others are rather related to their structure or texture. Tests were also carried out according to European standards for limestones with significant lithological diversity within one deposit. Their results are consistent with the general tendency for all limestones to decrease the quality of the rock and the aggregate produced from it as the structural compactness of the rock decreases.

Tomasz GAWENDA
Daniel SARMAK

AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami

UWARUNKOWANIA SKUTECZNOŚCI PROCESU PRZESIEWANIA DLA ZMIENNEGO UDZIAŁU ZIAREN DROBNYCH W NADAWIE I RODZAJU SIT

W artykule omówiono czynniki wpływające na proces przesiewania oraz najważniejsze wskaźniki wykorzystywane do oceny efektywności tego procesu. Na podstawie przeprowadzonych testów przesiewania nadawy w warunkach przemysłowych, które były prowadzone przy różnych wydajnościach oraz dla zmiennego uziarnienia nadaw przedstawiono efekty procesu przesiewania. Zwrócono uwagę na wykorzystywane wskaźniki ziarna podziałowego oraz wielkości sita niosące pewne problemy w obliczeniach skuteczności. Do tego celu posłużono się przykładem procesu przesiewania przeprowadzonym w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem przesiewacza z sitami o różnej budowie otworów sitowych.

1. WSTĘP – ISTOTA KLASYFIKACJI SITOWEJ

Procesy kruszenia oraz mielenia surowców mineralnych są ściśle związane z procesami klasyfikacji. Nowoczesne technologie rozdrabniania, na przykład wykorzystujące prasy walcowe wysokociśnieniowe charakteryzują się bardzo wysokim udziałem ziaren drobnych w produktach. Należy wtedy w możliwie efektywny sposób odseparować ziarna drobne w myśl zasady „nic zbytecznie nie kruszyć”, ale też z uwagi na oszczędności energetyczne młynów, których efektywność spada przy wzroście udziału drobnych frakcji w nadawie. Również zbyt duży udział ziaren drobnych w produkcji górnym (podziarno) źle pracującego przesiewacza może mieć bardzo negatywny wpływ na prawidłową pracę urządzenia w kolejnym stadium rozdrabniania.

W przypadku rozdrabniania rud miedzi istotą klasyfikacji jest także selektywne wydzielanie drobnych frakcji do kolejnych etapów wzbogacania, bądź ich przygotowania do dalszego rozdrabniania i klasyfikacji oraz ponownego wzbogacania, tak aby nie rozdrobnić zbyt wielu składników użytecznych. Chodzi tu więc o uzyskanie z nadawy pewnej klasy (frakcji) o założonych granicach rozmiarów ziaren spełniających warunki procesu wzbogacania (flotacji).

Podstawą realizacji przesiewania jest doprowadzenie wszystkich ziaren przesiewanego materiału do kontaktu z powierzchnią sita z otworami o określonym kształcie i wielkościach. Powierzchnia sitowa w wykonaniu technicznym nosi nazwę sita lub rusztu. Ziarna drobniejsze od otworów sita przesiewają się przez nie, tworząc dolny (drobny) produkt, a ziarna większe od otworu sita tworzą górny (gruby) produkt. Ponieważ przesiewanie jest procesem stochastycznym, uzależnionym także od stanu technicznego przesiewacza oraz zainstalowanych sit, a w warunkach przemysłowych nigdy nie zachodzi idealnie, to dlatego w produktach przesiewania pojawia się nadziarno i podziarno. Nadziarno to udział grubych ziaren występujących w produkcie dolnym (podsitowym), a podziarno to udział ziaren drobnych (niedosianych) występujących w produkcie górnym (nadsitowym). Jest to nomenklatura często mylona z produktami nadsitowymi i podsitowymi przesiewacza.

Zadania szczegółowe procesu klasyfikacji sitowej w konkretnych układach technologicznych przeróbki mogą być bardzo różnorodne. Proces ten może występować jako [1, 6]:

- operacja przygotowawcza, w wyniku której nie otrzymuje się jeszcze efektu końcowego założonego dla całego układu technologicznych procesów, jakim poddaje się dany materiał, ale która warunkuje bądź ułatwia przeprowadzenie kolejnych operacji technologicznych, np. wydzielenie klas ziarnowych do wzbogacania grawitacyjnego, oddzielenie na mokro ziaren najdrobniejszych na sitach w procesie odmulania materiału, wydzielenie w procesie rozdrabniania z produktu miążkiego (drobnego) ziarn grubych i ponowne skierowanie go do mielenia,
- operacja główna, której wynik decyduje bezpośrednio o osiągnięciu końcowego celu realizacji układu procesów przerobczych, np. produkcja kruszyw mineralnych (także sorbentów) o określonych klasach ziarnowych; również produkcja rozmaitych piasków dla konkretnych zastosowań; to także uszlachetnianie kruszyw przez wydzielenie zanieczyszczeń gliniastych i ilastych.
- operacja uzupełniająca, której celem jest nadanie dodatkowych i szczególnych właściwości produktom operacji głównej przed przekazaniem ich odbiorcom, np. odsiewanie ziaren nienormowych kruszyw mineralnych, czy przesiewanie odwadniające lub oczyszczające [2, 6].

Spośród różnych rodzajów przesiewaczy najbardziej rozpowszechnione są przesiewacze wibracyjne.

2. CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA PROCES PRZESIEWANIA

Przesiewanie materiałów uziarnionych na sitach stwarza w warunkach przemysłowych dosyć sporo problemów. Proces technologiczny klasyfikacji mechanicznej

w przesiewaczach uzależniony jest od trzech podstawowych charakterystycznych czynników, tj. od:

- parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych przesiewacza,
- właściwości fizycznomechanicznych przesiewanych surowców,
- sposobu prowadzenia procesu przesiewania.

Do pierwszej grupy można zaliczyć między innymi wielkość pokładu sita, kąt nachylenia sita, rodzaj, kształt i wielkość otworów sitowych, parametry dynamiczne przesiewacza, stan techniczny przesiewacza oraz sit. Do drugiej grupy należą wilgotność nadawy, wielkość uziarnienia i udział ziaren drobnych, zawartość zanieczyszczeń (domieszek ilastych), wilgotność. Do trzeciej należą procesy przesiewania na sucho i mokro, czas przesiewania, grubość warstwy materiału, wydajność, układy nadsobne, posobne lub mieszane sit itp.

Wymienione czynniki wpływają na siebie wzajemnie decydując o jakości oraz wydajności procesu przesiewania, a także o prawidłowej współpracy pozostałych maszyn (zwłaszcza kruszarek i młynów), stąd istotne jest, aby przy projektowaniu lub modernizacji układu przesiewania, a także właściwym sterowaniu procesem poznać i uwzględnić wszystkie czynniki mające związek z przesiewaniem [1, 4–7].

W tabeli 1 scharakteryzowano najistotniejsze wielkości determinujące proces przesiewania.

Tabela 1. Charakterystyka wielkości determinujących proces klasyfikacji sitowej
Table 1. Characteristics of parameters determining the screen classification process

| Wielkości | | |
|---|---|--|
| wejściowe regulujące | zakłócające | wyjściowe |
| – grubość warstwy materiału na sicie (obciążenie przesiewacza) – rozmiar i kształt oczek sita – wielkość klasyfikatora – natężenie przepływu wody natryskowej – kąt nachylenia sita – amplituda i częstość drgań – wskaźnik podrzutu sita | – skład ziarnowy nadawy – zawartość domieszek ilastych – wilgotność nadawy – kształt ziaren – twardość surowca – stan techniczny przesiewacza i sita – współczynnik prześwietu sita – rodzaj powierzchni sitowej | – zawartość nadziarna i podziarna – wydajność przesiewania – wychód produktu górnego i dolnego – skuteczność przesiewania – sprawność przesiewacza – ziarno podziałowe – ostrość rozdziału |

3. WYBRANE WSKAŹNIKI OCENY EFEKTYWNOŚCI PROCESU KLASYFIKACJI

Oceną skuteczności technologicznej procesu klasyfikacji mechanicznej (przesiewania) jest obliczenie i analiza wskaźników technologicznych wyników procesu, jak

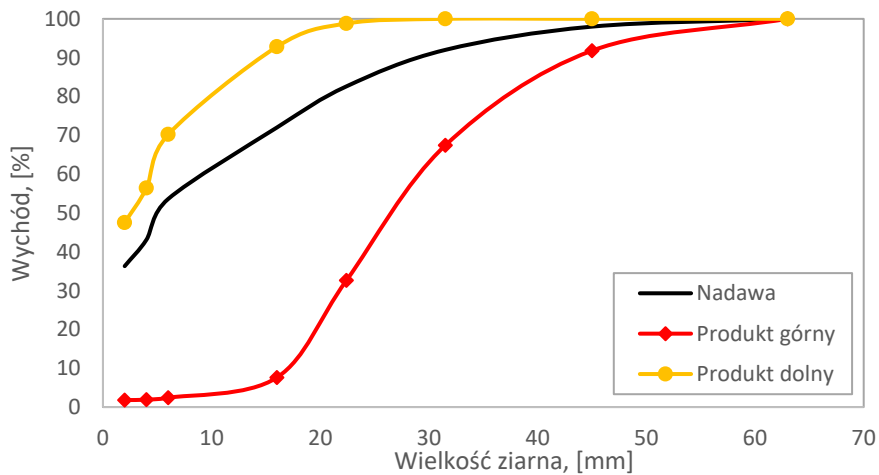
jakość i wychody produktów. Wskaźnikami jakości produktów są zawartości w nich określonych klas ziarnowych, a więc w szczególności klasy drobnej ($d < d_T$ lub d_{50}) w produkcji dolnym a_{dd} i klasy grubej ($d > d_T$ lub d_{50}) w produkcji górnym a_{gg} oraz jako ich dopełnienia, zawartości podziarna w produkcji górnym a_{gd} i nadziarna w produkcji dolnym a_{dg} (objaśnienia pod tab. 3).

Do oceny technologicznych kryteriów skuteczności procesu przesiewania bierze się pod uwagę skuteczności: jakościową, ilościową i ogólną, przy czym liczba wzorów określających skuteczność wg K. Sztaby [6] przekracza sto, zaś w praktyce przyjęto używać kilka podstawowych wzorów. W tym celu przeprowadza się opróbowanie procesu przesiewania nadawy oraz produktów, a następnie wykonuje się analizy granulometryczne.

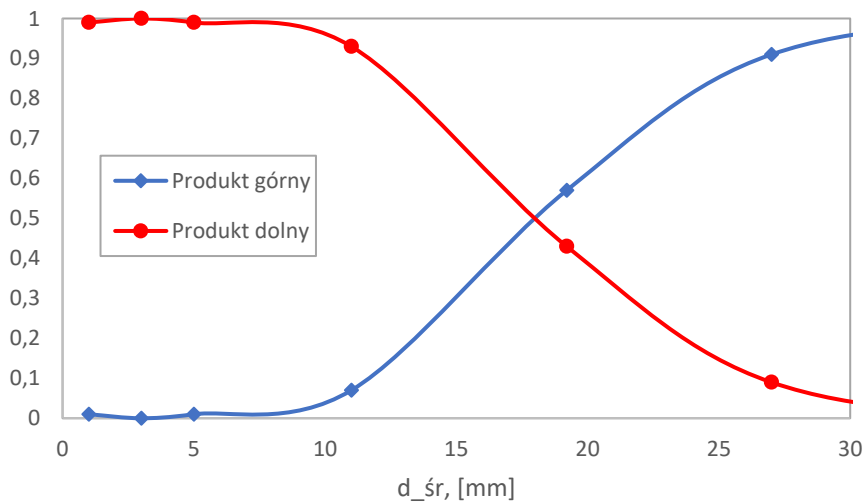
W celu określenia skuteczności przesiewania oblicza się współrzędne i tworzy krzywe składu ziarnowego (tab. 2) oraz liczby i krzywe rozdziału w celu określenia ostrości (dokładności) rozdziału i ziarna podziałowego d_{50} (rys. 1, 2). Zamieszczone dane w tabeli 2 oraz rysunki 1 i 2 pochodzą z przeprowadzonych testów opróbowania rudy miedzi w układzie technologicznym rozdrabniania w kruszarkach młotkowej i stożkowej oraz przesiewania w przesiewaczu wibracyjnym jedno pokładowym przy wielkości sit $d_T = 16$ mm przygotowującego nadawę do mielenia (rys. 3). Opróbowywany przesiewacz pracował przy różnych wydajnościach podanych w tab. 3.

Tabela 2. Przykładowe analizy składu ziarnowego nadawy oraz produktów przesiewania
Table 2. Exemplary analyses of particle size distribution for feed and screening products

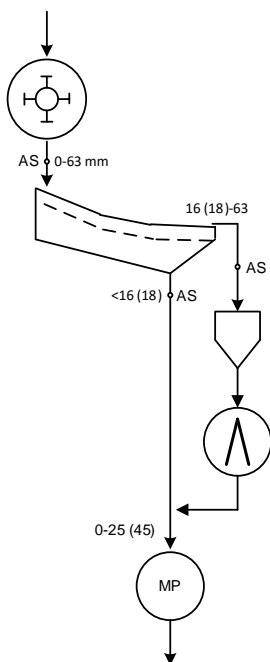
| Sito, [mm] | Nadawa | | | Produkt górny | | | Produkt dolny | | | Krzywe rozdziału | | |
|---------------|-------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|------------------|-----------------|--------------------------|
| | masa [g] | wychód [%] | dyst. [%] | masa [g] | wychód [%] | dyst. [%] | masa [g] | wychód [%] | dyst. [%] | prod. górnym | prod. dolnym | d_{sr} sita [mm] |
| 2 | 2689 | 36,3 | 36,3 | 309 | 1,8 | 1,8 | 2380 | 47,5 | 47,5 | 0,01 | 0,99 | 1,0 |
| 4 | 471 | 6,8 | 43,1 | 22 | 0,1 | 1,9 | 449 | 9,0 | 56,4 | 0,00 | 1,00 | 3,0 |
| 6 | 770 | 10,5 | 53,6 | 80 | 0,5 | 2,4 | 690 | 13,8 | 70,2 | 0,01 | 0,99 | 5,0 |
| 16 | 2036 | 18,4 | 72,0 | 901 | 5,2 | 7,6 | 1135 | 22,6 | 92,8 | 0,07 | 0,93 | 11,0 |
| 22,4 | 4596 | 10,6 | 82,6 | 4295 | 24,9 | 32,6 | 301 | 6,0 | 98,8 | 0,57 | 0,43 | 19,2 |
| 31,5 | 6059 | 9,4 | 92,0 | 6001 | 34,8 | 67,4 | 58 | 1,2 | 100,0 | 0,91 | 0,09 | 27,0 |
| 45 | 4202 | 6,0 | 98,0 | 4202 | 24,4 | 91,8 | 0 | 0,0 | 100,0 | 1,00 | 0,00 | 38,3 |
| 63 | 1411 | 2,0 | 100,0 | 1411 | 8,2 | 100,0 | 0 | 0,0 | 100,0 | 1,00 | 0,00 | 54,0 |
| Suma | 22234 | 100 | | 17221 | 100 | | 5013 | 100 | | | | |
| Wychód | 100 | | | | 24,5 | | | 75,5 | | | | $d_{50} = 18,0$ mm |



Rys. 1. Krzywe składu ziarnowego nadawy i produktów przesiewania na podstawie tab. 2
 Fig. 1. Particle size distribution curves for the feed and screening products, based on Table 2



Rys. 2. Krzywe rozdziału podstawie danych z tab. 2, $d_{50} = 18$ mm
 Fig. 2. Partition curves based on Table 2, $d_{50} = 18$ mm



Rys. 3. Schemat układu rozdrabniania i przesiewania przygotowującego nadawę rudy miedzi do mielenia (AS – miejsce poboru próbek i przeprowadzenia analizy sitowej)

Fig. 3. Scheme of crushing and screening circuit preparing the copper ore for grinding operations (AS – sampling point)

3.1. SKUTECZNOŚĆ PRZESIEWANIA W ZALEŻNOŚCI OD UZIARNIENIA NADAWY I WYDAJNOŚCI PROCESU

Skuteczność jakościowa oparta jest bezpośrednio na ocenie jakości produktów procesu. Najprostszą ocenę jakościową produktu dolnego daje nam zawartość w nim klasy drobnej a_{dd} , wg wzoru (oznaczenia wzorów zamieszczono pod tab. 3) [6]:

$$Sj_1 = a_{dd} [\%] \quad (1)$$

i analogicznie dla produktu górnego, zawartość klasy grubej

$$Sj_2 = 100 - a_{gd} [\%]. \quad (2)$$

W tabeli 2 zamieszczono wyniki obliczeń skuteczności jakościowej, która zgodnie ze wzorem (1) jest wysoka, wynosi 97–98%. Skuteczność wg wzoru (2) dla najwyższego przerobu 984 Mg/h jest bardzo niska – 58%, co oznacza, że 42% podziarna zostało niedosiane. Pozostałe skuteczności dla badanych prób nie są wysokie (ok. 84%), co oznacza, ok. 16% podziarna.

Skuteczność ilościową szacuje się na podstawie ilości materiału poszczególnych klas ziarnowych przechodzących do produktów, zwykle w odniesieniu do sytuacji teoretycznej (optymalnej). Jej ocena jest bardziej jednoznaczna niż ocena skuteczności jakościowej. Określenie skuteczności ilościowej sprowadza się zwykle do pojęcia uzysku ε , tj. stosunku ilości pewnego składnika (klasy ziarnowej) zawartego w produkcie właściwym dla tego składnika do całkowitej ilości tego składnika w nadawie. Przy ocenie skuteczności procesu bierze się pod uwagę z reguły uzysk klasy drobnej ε_d w produkcie dolnym, określając skuteczność ilościową [6]:

$$Si_1 = \gamma_d \frac{a_{dd}}{a_{nd}} = \varepsilon_d \quad [\%]. \quad (3)$$

Wyniki obliczonych skuteczności dla równania (3) zestawiono w tabeli 3. Ponieważ uzysk klasy drobnej ε_d w produkcie dolnym nie dotyczy w zasadzie ziarn, które pozostały niedosiane, stąd wysokie wartości skuteczności na poziomie ok. 97%.

Skuteczność technologiczna ogólna uwzględnia zarówno jakość produktów, jak i efekty rozdziału ilościowego składników nadawy pomiędzy te produkty. Jej określenie sprowadza się do wzoru Hancocka definiującego również sprawność przesiewacza [6]:

$$S_H = 10^4 \frac{(a_{nd} - a_{gd})(a_{dd} - a_{nd})}{a_{nd}(a_{dd} - a_{gd})(100 - a_{nd})} \quad [\%]. \quad (4)$$

Jak można zauważyć, skuteczność technologiczna obliczona wg Hancocka jest niezadowalająca i w każdym przypadku opróbowania nie przekroczyła 90%. Dla najwyższej wydajności przesiewacza (984 Mg/h) wyniosła zaledwie 72% (tab. 3).

Tabela 3. Wyniki obliczonych skuteczności procesu przesiewania na podstawie opróbowania w warunkach przemysłowych

Table 3. Results of the calculated screening efficiencies based on plant scale sampling

| Wydajność [Mg/h] | γ_d [%] | a_{dd} [%] | a_{dg} [%] | a_{nd} [%] | a_{gd} [%] | a_{gg} [%] | d_{50} [mm] | S_{j1} [%] | S_{j2} [%] | Si_1 [%] | S_H [%] |
|---------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| 378 | 73,4 | 98 | 2 | 78 | 15 | 85 | 21,5 | 98 | 85 | 92 | 89 |
| 432 | 84,4 | 98 | 2 | 86 | 17 | 83 | 21,8 | 98 | 83 | 98 | 85 |
| 443 | 78,0 | 98 | 2 | 80 | 15 | 85 | 20,3 | 98 | 85 | 98 | 88 |
| 704 | 75,5 | 97 | 3 | 77 | 16 | 84 | 18,0 | 97 | 84 | 97 | 85 |
| 984 | 62,9 | 97 | 3 | 77 | 42 | 58 | 18,5 | 97 | 58 | 97 | 72 |

γ_d – wychód produktu dolnego, %,

a_{dd} – zawartość ziaren drobnych w produkcie dolnym, %,

a_{dg} – zawartość ziaren grubych w produkcie dolnym (nadziarno w produkcie dolnym), %,

a_{nd} – zawartość ziaren drobnych w nadawie, %,

a_{gd} – zawartość ziaren drobnych w produkcie górnym (podziarno w produkcie górnym), %,

a_{gg} – zawartość ziaren grubych w produkcie górnym, %,

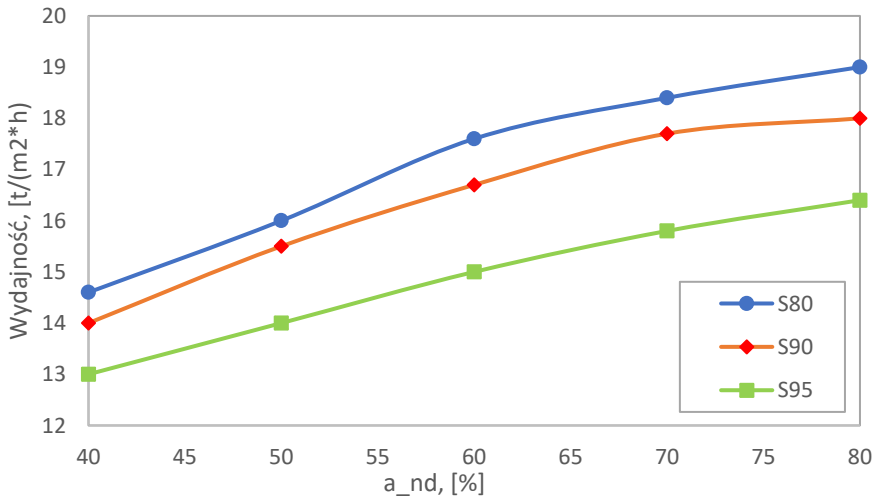
d_{50} – ziarno podziałowe, mm,

d_T – wielkość oczka sita, mm,

d – wielkość ziarna, mm,

$S_{j1}, S_{j2}, S_{i1}, S_H$ – skuteczności według wzorów (1)–(4).

Na rysunku 4 zilustrowano zależność wydajności jednostkowej od różnej zawartości klasy drobnej w nadawie, dla różnych wartości osiągniętej skuteczności. Można stwierdzić, że im większa jest w nadawie zawartość klasy drobnej, tym większa jest wydajność, ale im wyższa wydajność tym skuteczność procesu przesiewania mniejsza.

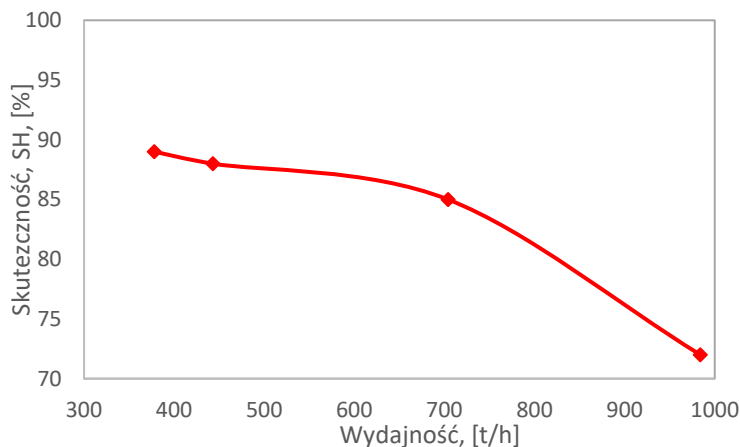


Rys. 4. Wpływ zawartości klasy drobnej (a_{nd}) w nadawie na wydajność jednostkową przesiewania przy ustalonej skuteczności procesu przesiewania $S = 80\%$, 90% i 95%

Fig. 4. Impact of a yield of fine particles in the feed (a_{nd}) on the specific screening productivity at given process efficiency $S = 80\%$, 90% , and 95%

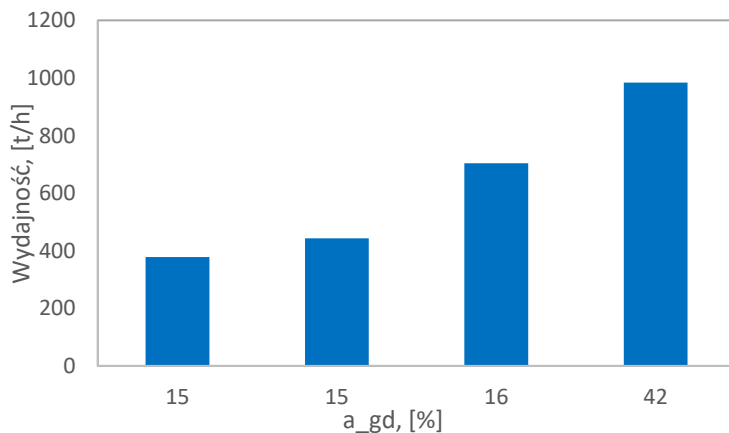
Podobną zależność dla przesiewanej rudy miedzi obrazuje wykres przedstawiony na rys. 5. Wraz ze wzrostem wydajności maleje skuteczność przesiewania oraz wzrasta procentowy udział ziaren drobnych w produkcie górnym przesiewania, czyli podziarna a_{gd} . W przypadku przekroczenia dopuszczalnego obciążenia przesiewacza, przy zbyt dużej wydajności zawartość podziarna może być bardzo wysoka. Takie efekty zauważono podczas testów prowadzonych na przesiewaczu wibracyjnym przy przerobie 984 t/h, podczas gdy jego maksymalna zdolność przerobowa wynosiła 700 t/h (rys. 6). Zawartość podziarna w produkcie górnym dochodząca do 42% jest bardzo niekorzystna, ponieważ negatywnie oddziałuje na pozostałą część układu

technologicznego, zwłaszcza na znajdujące się w nim kruszarkę (granulator stożkowy) [5].



Rys. 5. Zależność skuteczności wg Hancocka od wydajności przesiewania

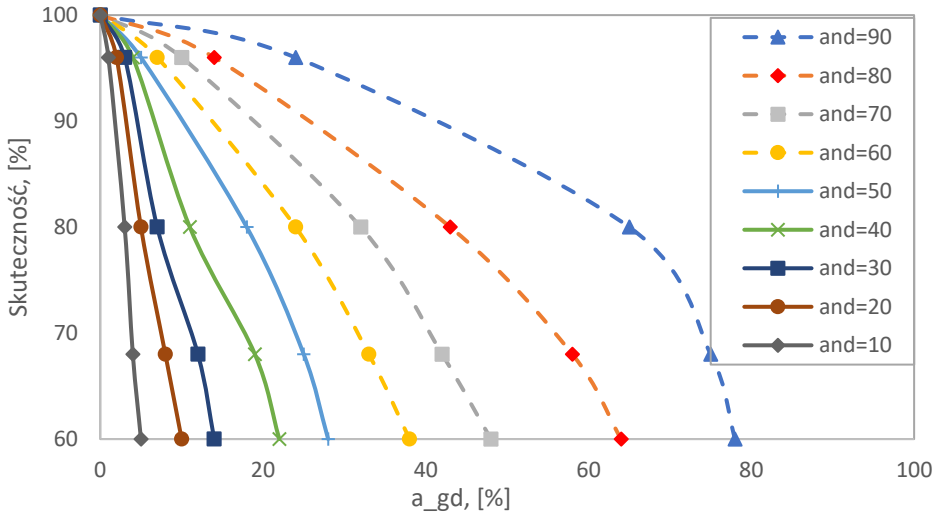
Fig. 5. Impact of screening efficiency according to Hancock on the screening productivity



Rys. 6. Zależność zawartości podziarna (a_{gd}) na wydajność przesiewania

Fig. 6. Impact of the undersize yield (a_{gd}) on the screening productivity

Na rysunku 7 przedstawiono zespół krzywych dla różnych zawartości klasy drobnej w nadawie (a_{nd}), w układzie współrzędnych wiążących skuteczność przesiewania i zawartość podziarna (a_{gd}). Uzyskanie skuteczności stu procentowej w warunkach przemysłowych praktycznie jest niemożliwe. Żeby ten warunek został spełniony, zawartości podziarna w produktach musiałyby być bliskie zeru.



Rys. 7. Zależność pomiędzy skutecznością przesiewania a zawartością klasy drobnej w nadawie (a_{nd}) i podziarna (a_{gd}) w produkcie górnym

Fig. 7. Relationship between the screening efficiency and the content of fine particles in the feed (a_{nd}) and undersize content (a_{gd}) in the oversize product

3.2. KRZYWE ROZDZIAŁU, ZIARNO PODZIAŁOWE, DOKŁADNOŚĆ ROZDZIAŁU

Przy idealnym rozdziale materiału na sitach ziarna charakteryzujące się wielkością, czyli wartością parametru rozdziału mniejszą od zadanej, znajdują się w jednym produkcie, a pozostałe w drugim. W warunkach rzeczywistych rozdział nigdy nie jest idealny i część ziaren trafia do produktu dla siebie niewłaściwego.

Dla analizy wyników procesu klasyfikacji w oparciu o przeprowadzone opróbowanie stosuje się liczby rozdziału i krzywe rozdziału (rys. 2), które służą określeniu ziarna podziałowego d_{50} oraz wskaźników imperfekcji I i ostrości rozdziału E_p lub współczynnika dokładności rozdziału k_r ($k_r = d_{25}/d_{75}$).

Liczby rozdziału dla klas ziarnowych (frakcji) oblicza się wg formuły:

$$\text{liczba rozdziału} = \frac{\text{masa danej klasy ziarnowej w produkcie}}{\text{masa danej klasy ziarnowej w nadawie}}$$

Liczbę rozdziału oznaczamy jako $T(d_{sr})$ lub $\tau(d_{sr})$

$$T(d_{sr}) = \frac{b}{a}, \quad (5)$$

$$\tau(d_{sr}) = \frac{c}{a}, \quad (6)$$

gdzie:

a, b, c – odpowiednio masy klas w nawie, produkcie I i produkcie II,

d_{sr} – wartość średnia w klasie.

Jeżeli przez a_i, b_i, c_i oznaczymy udziały i -tych klas w odpowiednich produktach, a przez d_{sri} odpowiadającą im wartość średnią cechy rozdziału i przyjmiemy, że A, B, C są odpowiednio masami nadawy i produktów, to otrzymamy:

$$T(d_{sri}) = \frac{B \cdot b_i}{A \cdot a_i} = \gamma_I \frac{b_i}{a_i}, \quad (7)$$

$$\tau(d_{sri}) = \frac{C \cdot c_i}{A \cdot a_i} = \gamma_{II} \frac{c_i}{a_i}, \quad (8)$$

$$T(d_{sri}) + \tau(d_{sri}) = 1. \quad (9)$$

Ziarno podziałowe d_{50} jest to wielkość tych ziaren, które rozdzielają się do produktów rozdziału w równych ilościach, a więc ich prawdopodobieństwa przechożenia do obu produktów są równe i wynoszą 50%. Mimo, iż w przypadku przesiewania wielkość otworu sita d_T wyznacza teoretyczną i przybliżoną granicę między uziarnieniem obu produktów, ograniczone prawdopodobieństwa odsiania (zwłaszcza ziaren o wielkościach zbliżonych do d_T) powodują, że granica ta w rzeczywistych procesach prowadzonych na sitach nie bywa nigdy osiągnięta. Rzeczywistą wartość granicy rozdziału d_{50} wyznacza się z krzywej rozdziału, jako odcięta punktu krzywej o rzędnej 0,5 (rys. 2).

Drugim ważnym wskaźnikiem otrzymywanym z krzywej rozdziału jest charakterystyka rozproszenia, określająca dokładność rozdziału. Umownie można ją interpretować jako miarę rozproszenia pewnej klasy ziarnowej (np. wąskiej klasy, w której zawiera się wartość d_{50}) wśród sąsiednich klas ziarnowych, co można rozumieć w taki sposób, że ziarna rozpatrywanej klasy zachowują się w procesie przesiewania tak, jakby należały do tych innych, sąsiednich klas. Spośród znanych w statystyce miar rozproszenia najczęściej stosuje się w omawianym przypadku rozproszenie ćwiartkowe (prawdopodobne) E_p :

$$E_p = \frac{d_{75} - d_{25}}{2} [\text{mm}]. \quad (10)$$

Rozproszenie prawdopodobne określa szerokość takiego przedziału, zawierającego wartość przeciętną rozkładu d_{50} , że wewnątrz niego znajduje się połowa wszystkich elementów danego zbioru (w tym przypadku ziaren o określonym zachowaniu w trakcie procesu).

Również dla oceny pracy urządzenia stosuje się wskaźnik imperfekcji wyrażany wzorem:

$$I = \frac{E_p}{d_{50}}. \quad (11)$$

Im mniejsze są wartości tych wskaźników (bliższe zero), tym rozdział jest dokładniejszy. Kształt krzywej rozdziału (T), w przypadku przesiewania może być funkcją rodzaju otworów sita, wielkości powierzchni użytecznej sita, wskaźnika przesiewu, częstości drgań, amplitudy drgań rzeszota oraz składu ziarnowego.

Na podstawie uzyskanych wyników z próbowań przemysłowych przedstawionych w tab. 4 można zauważyć, że na ostrość rozdziału ma wpływ wielkość przerobu nadawy kierowanej do przesiewania. Im większa wydajność tym mniej dokładnie zachodzi rozdział. Zwykle w warunkach technicznych współczynnik k_r nie przekracza 0,72, dlatego proces przesiewania przy wydajności 378 i 432 Mg/h można uznać za bardzo dokładny, najgorzej zachodził przy największym przerobie 984 Mg/h.

Tabela 4. Zestawienie wskaźników imperfekcji I i ostrości rozdziału E_p i współczynnika dokładności rozdziału k_r

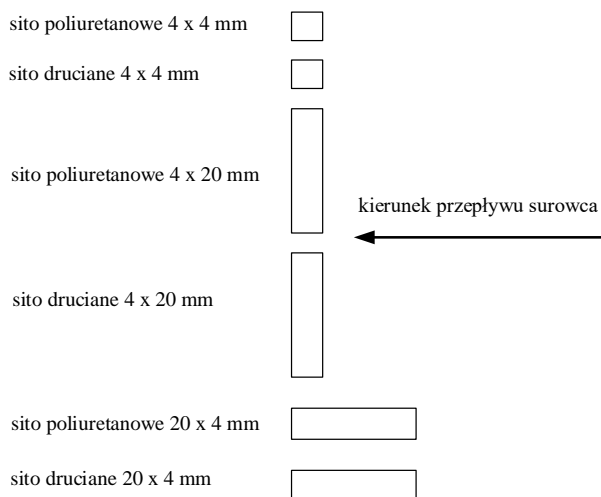
Table 4. Indices of the imperfection, I , separation sharpness E_p and separation accuracy k_r

| Przerób [Mg/h] | E_p [mm] | I | k_r | a_{nd} [%] | a_{gd} [%] |
|-------------------|---------------|------|-------|-----------------|-----------------|
| 378 | 3,0 | 0,14 | 0,75 | 78 | 15 |
| 432 | 3,3 | 0,15 | 0,73 | 86 | 17 |
| 443 | 3,4 | 0,17 | 0,71 | 80 | 15 |
| 704 | 4,2 | 0,23 | 0,63 | 77 | 16 |
| 984 | 5,1 | 0,28 | 0,54 | 77 | 42 |

3.3. SKUTECZNOŚĆ PRZESIEWANIA WZGLĘDEM WIELKOŚCI OTWORU SITA D_T A ZIARNA PODZIAŁOWEGO D_{50}

Jeżeli w pewnych warunkach procesów przemysłowych lub laboratoryjnych wykorzystuje się przesiewacz z sitem usytuowanym poziomo o oczkach kwadratowych, to bardzo często dla uproszczenia za ziarno podziałowe d_{50} przyjmuje się wartość oczka sita d_T , ponieważ wartości tych wskaźników są podobne. Problem ten nabiera dużego znaczenia, jeżeli chcemy obliczyć skuteczność, gdy pokład sitowy przesiewacza jest nachylony pod odpowiednim kątem, lub pokład jest łamany pod różnymi kątami, a zamiast oczek kwadratowych są inne, np. prostokątne czy kropłowe lub sita posiadają różne rozmiary. Wówczas należy dla każdej analizy opróbowania wyznaczyć faktyczne ziarno podziałowe z krzywej rozdziału, które może być zmienne w zależności od obciążenia przesiewacza i właściwości nadawy (tab. 3). Dla sita o rozmiarze oczka $d_T = 16$ mm osiągnięto ziarno podziałowe d_{50} w zakresie 18–21,8 mm.

W celu zobrazowania różnicy w ocenie skuteczności procesu klasyfikacji w oparciu o wielkość otworu sita d_T a ziarno podziałowe d_{50} przeprowadzono eksperyment procesu przesiewania [3]. Do tych badań użyto sześć rodzajów sit o tej samej wielkości d_T w zamierzeniu, żeby rozdział surowca następował przy wielkości granicznej 4 mm. Użyto sit druczianych i poliuretanowych o oczkach kwadratowych i prostokątnych, zgodnie z rys. 8. Wyniki z przeprowadzonych testów zaprezentowano w tab. 5.



Rys. 8. Rodzaje sit i różne ukształtowanie oczek w stosunku do kierunku przepływu surowca
 Fig 8. Types of sieves and different shapes of holes to the direction of raw material flow

Tabela 5. Skuteczność przesiewania w zależności od rodzaju sita i ziarna podziałowego [3]
 Table 5. Screening efficiency in relation to the type of sieve and the cut-screen [3]

| Rodzaj sita | d_{50} | Skuteczność | | d_T | Skuteczność | |
|-------------------------|----------|-------------|------------|-------|-------------|------------|
| | | $S_i(3)^*$ | $S_H(4)^*$ | | $S_i(3)^*$ | $S_H(4)^*$ |
| Poliuretanowe 4 × 4 mm | 3,2 | 95,95 | 91,90 | 4,0 | 90,10 | 88,98 |
| Drucziane 4 × 4 mm | 4,0 | 98,09 | 96,33 | 4,0 | 98,09 | 96,33 |
| Poliuretanowe 4 × 20 mm | 4,4 | 95,75 | 83,02 | 4,0 | 97,56 | 79,78 |
| Drucziane 4 × 20 mm | 5,4 | 97,26 | 82,48 | 4,0 | 98,96 | 61,19 |
| Poliuretanowe 20 × 4 mm | 5,0 | 97,05 | 84,75 | 4,0 | 98,68 | 69,78 |
| Drucziane 20 × 4 mm | 5,2 | 97,46 | 82,68 | 4,0 | 99,85 | 66,74 |

* W nawiasie numer zastosowanego wzoru.

Na podstawie otrzymanych wyników (tab. 5) można stwierdzić, że proces przesiewania przebiegł najkorzystniej na sicie metalowym druczianym o oczku kwadra-

towym 4×4 mm. Skuteczność ilościowa na tym sicie wyniosła 98%, a technologiczna wg Hancocka około 96%. Wartości tych skuteczności liczone dla ziarna podziałowego oraz wielkości oczka d_T były jednakowe, ponieważ wartości tych wskaźników były równe sobie i wynosiły 4 mm. Ale z eksperymentów okazało się, że w pozostałych przypadkach ziarna podziałowe i wielkości otworów nie są sobie równe, co wpływa na prawidłowe odczytywanie wskaźników z krzywych składu ziarnowego, a to z kolei rzutuje na poprawnie obliczoną skuteczność procesu klasyfikacji.

Najmniejszą skuteczność pod względem ilościowym (96%) przesiewania wykazało sito poliuretanowe o oczku kwadratowym 4×4 mm, przyczyną tego była najmniejsza ze wszystkich średnica ziarna podziałowego (3,2 mm) oraz mała powierzchnia czynna sita. Na podstawie skuteczności wyliczonych wg wzoru Hancocka, który oprócz ilości otrzymanych produktów bierze pod uwagę również ich jakość, najmniejszą skutecznością odznaczały się sita metalowe druciane (4×20 mm, 20×4 mm). Porównując sam kształt otworów w pokładzie sitowym gorzej sprawdzają się sita o oczkach 4×20 mm, czyli ukształtowane otwory poprzecznie do kierunku przepływu materiału. Jeśli zaś chodzi o rodzaj z jakiego wykonane są pokłady to korzystniejsze są sita poliuretanowe (przy odpowiednio dużych oczkach), ponieważ nie mają one tendencji do zablokowania się ziarnami trudnymi.

4. PODSUMOWANIE

W procesie klasyfikacji sitowej najistotniejszym czynnikiem determinującym rozdział ziaren na frakcje ziarnowe (produkt górny i produkt dolny) jest właściwy dobór sita o odpowiedniej wielkości oczka d_T . Przy czym należy pamiętać, że oczekiwana granica rozdziału podczas przesiewania, jaką jest ziarno podziałowe d_{50} może różnić się od wielkości oczka sita d_T , ponieważ na ziarno podziałowe wpływa szereg czynników determinujących proces rozdziału, np. kształt oczka sita, rodzaj sita, kąt nachylenia sita, parametry dynamiczne przesiewacza, obciążenie sita, grubość warstwy materiału na sicie, stan techniczny sit itp.

Z tych względów bardzo rzadko $d_T = d_{50}$ i obliczanie skuteczności procesu przesiewania względem przyjętego oczka sita będzie obarczone błędem i wynik nie będzie poprawny. Dlatego istotne jest prawidłowe wykreślenie krzywych rozdziału, odczytanie ziarna podziałowego d_{50} , którego wartość następnie nanosimy na układ współrzędnych z krzywymi składu ziarnowego i odczytujemy istotne wskaźniki ze wzorów na obliczanie skuteczności procesu przesiewania.

LITERATURA

- [1] BANASZEWSKI T., *Przesiewacze*, Wydawnictwo Śląsk, 1990.
- [2] BLASCHKE Z., BROŻEK M., MOKRZYCKI E., OCIEPA Z., TUMIDAJSKI T., *Zarys technologii procesów przerobczych. Górnictwo*, cz. V, Wydawnictwa AGH. Skrypt uczelniany nr 768, Kraków 1981.
- [3] DUNIEC D., *Ocena skuteczności procesu przesiewania w zależności od wybranych parametrów pracy przesiewacza wibracyjnego*, Praca magisterska, Biblioteka AGH w Krakowie, Kraków 2015.
- [4] GAWENDA T., SARAMAK D., *Influence of selected work parameters of the rolling screen operation on screening effects*, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 2014, Vol. 50 (1), 337–347.
- [5] GAWENDA T., *Analiza efektów rozdrabniania w granulatorze stożkowym w zależności od wielkości uziarnienia nadawy i jego obciążenia*, Górnictwo i Geologia XVII, Prace Naukowe Inst. Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 134, Oficyna Wydawnicza PWr, Wrocław 2012, 71–83.
- [6] SZTABA K., *Przesiewanie*, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1993.
- [7] WODZIŃSKI P., *Przesiewanie i przesiewacze*, Monografie, Wydawnictwo Pol. Łódzkiej, Łódź 1997.

CONDITIONS OF THE EFFECTIVENESS OF THE SCREENING PROCESS FOR THE VARIABLE SHARE OF FINE GRAINS IN THE FEEDER AND THE TYPE OF SCREEN

The article discusses the factors influencing the screening process operation and the most important indicators that can be used for the determination of the effectiveness of the screening process. Based on the feed screening tests carried out in industrial conditions, which were carried out at various capacities and for variable particle size compositions of the feed, the effects of the screening process were presented. Particular attention was paid to the particle size indicators used and the sieve size, which may constitute certain problems in efficiency calculations. For this purpose, an exemplary screening process was carried out in laboratory conditions, and the screen with sieves of different structures of sieve holes was used in these investigations.

Stefan GÓRALCZYK

Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych Naczelna Organizacja Techniczna, Warszawa

PROBLEMATYKA UWALNIANYCH ALKALIÓW Z KRUSZYW W BETONIE

Jednym z podstawowych składników koniecznych do wystąpienia w betonie reakcji AAR są alkalia. Pochodzą one w przeważającej ilości z cementu. Okazuje się jednak, że niektóre kruszywa zawierające alkalia i zastosowane w betonie, mogą je uwalniać co może być niespodziewanym powodem wystąpienia reakcji AAR. W artykule opisano zasady oceny ilościowej alkaliów potencjalnie uwalnianych z kruszyw zastosowanych w betonie.

1. WSTĘP

Metoda badawcza AAR-8 [6] jest przeznaczona do oceny potencjalnej ilości zasad uwalnianych przez kruszywa w warunkach polowych w perspektywie długoterminowej. Odbywa się to poprzez pomiar ilości jonów sodu i potasu uwolnionych z drobno sortowanego (<4 mm) kruszywa zanurzonego odpowiednio w (0,7 M) roztworach KOH i NaOH w podwyższonej temperaturze w kontakcie z nadmiarem wodorotlenku wapnia. Bardzo ważne jest, aby zdać sobie sprawę, że tę przyspieszoną metodę badawczą należy traktować jedynie jako wskazanie potencjalnego (maksymalnego) uwolnienia alkaliów przez kruszywa, a nie jako kwantyfikację stosowaną do obliczeń klasyfikacyjnych alkaliów [3, 4].

2. ZNACZENIE I ZASTOSOWANIE

Alkalia sodu (Na) i/lub potasu (K), głównie pochodzą z cementu, ale w niewielkich ilościach również z kruszywa, soli do odladzania i wody morskiej. Ich zawartość, zwykle wyrażana jest jako równoważnik tlenku sodu: $\text{Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$.

Wiele badań terenowych i laboratoryjnych próbek betonu, zaprawy lub kruszywa wykazało lub zasugerowało, że niektóre kruszywa lub fazy mineralne obecne w częściach kruszywa mogą dostarczać znaczne ilości zasad do roztworu porowego przez

cały okres użytkowania betonu. Staje się to źródłem obaw, gdy beton jest narażony na działanie wilgotności względnej przekraczającej 80% i zawiera potencjalnie reaktywne kruszywa, a także gdy łagodzenie szkodliwych reakcji alkalicznych jest możliwe poprzez ograniczenie alkaliów z cementu lub zastosowanie określonych ilości dodatkowych materiałów cementujących [5, 7].

W przeszłości stosowano szereg procedur oceny udziału alkaliów pochodzących z kruszyw w roztworze porowym betonu [8]. Większość z tych procedur polegała na zanurzeniu kruszyw w roztworze nasyconym wapnem, z wapnem stałym lub bez niego w nadmiarze lub w roztworach alkalicznych (NaOH, KOH). Nadal jednak nie ma zgody co do bezwzględnych ilości, które mogą być uwalniane przez kruszywa oraz procedury, którą należy zastosować do oszacowania tych ilości, oraz sposobu uwzględnienia tego udziału alkaliów w normach lub wytycznych. W ostatnim czasie omówiono strategię ilościowego oznaczania uwalniania metali alkalicznych z kruszyw do betonu w terenie. AAR-8 zapewnia średnią oceny ilości potencjalnych alkaliów uwalnianych przez kruszywa w długotrwałym użytkowaniu w poprzez pomiar ilości jonów alkalicznych uwalnianych w roztworach NaOH (uwalnianie K^+) i KOH (uwalnianie Na^+) w podwyższonej temperaturze. Stosowane roztwory powinny stykać się z nadmiarem (stałego) wodorotlenku wapnia, ponieważ taka sytuacja ma miejsce w praktyce. Wartości uzyskane za pomocą tej metody badawczej są najprawdopodobniej znacznie zawyżone w porównaniu z uwolnieniem w polowym. To przeszacowanie wynika głównie z wielkości cząstek użytych do przyspieszenia metody badawczej. Kruszywo drobne jest bardziej podatne na uwalnianie alkaliów niż kruszywo gruboziarniste. Na tym etapie możliwe jest jedynie skategoryzowanie kruszywa według ilości uwalnianych alkaliów. Czynniki o niskim poziomie uwalniania to kruszywa, które uwalniają mniej niż 0,1% Na_2O_{eq} po 26 tygodniach, podczas gdy czynniki o wysokim uwalnianiu to kruszywa, które uwalniają więcej niż 0,25% Na_2O_{eq} w okresie 26 tygodni. W przypadku kruszyw o wysokim stopniu uwalniania należy zachować szczególną ostrożność przy wyborze środków łagodzących przebieg lub przeciwdziałających występowaniu reakcji alkalia–kruszywa [1].

3. OPIS METODY

Odważone próbki kruszywa gruboziarnistego (5/20 mm – do potwierdzenia) lub drobnego (<5 mm – do potwierdzenia) zanurza się w odpowiedniej objętości 0,7 M roztworu NaOH i KOH utrzymywanych w temperaturze 80°C, przy stosunku roztworu do kruszyw równym 4. Dwa razy w tygodniu pojemniki testowe są łagodnie przetaczane do tyłu i do przodu na blacie przez około 10 sekund. W określonych odstępach czasu próbki roztworu do badań zanurzeniowych są usuwane przez pipetowanie i analizowane chemicznie pod kątem potasu (roztwór testowy NaOH) lub sodu (roztwór testowy KOH). Ilość uwolnionych alkaliów wyraża się w gramach Na_2O , K_2O i Na_2O_{eq} na kilogram kruszyw.

3.1. PRZYGOTOWANIE PRÓBK ZBIORCZEJ

Ilość próbki dostarczonej do laboratorium powinna być zgodna z procedurami pobierania próbek zalecanymi w AAR-1 (Wykrywanie potencjalnej reaktywności kruszyw na zasadzie alkaliów: metoda petrograficzna) (tab. 1) lub przedstawiać skład kruszywa proponowany do wykorzystania. Badany materiał składa się z cząstek o wielkości ≤ 4 mm, przygotowanych zgodnie z pkt. 3.1.1 i 3.1.2. Z wyjątkiem frakcji $< 125 \mu\text{m}$, frakcje muszą zostać przemyte przez odpowiednie sito w celu usunięcia przywierającego pyłu, a następnie wysuszone w temperaturze 105°C przed badaniem (pkt 3.1.3).

Tabela 1. Minimalne wielkości próbek
Table 1. Minimum sample sizes

| Maksymalne uziarnienie kruszywa, mm | Maksymalna wielkość próbki, kg |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| 50 | 200 |
| 40 | 100 |
| 20 | 15 |
| 10 | 5 |

3.1.1. KRUSZYWO DROBNE

Drobne kruszywo bada się w uziarnieniu proponowanym do zastosowania, z wyjątkiem cząstek zatrzymanych na sicie o oczkach 4 mm lub równoważnych.

3.1.2. KRUSZYWO GRUBOZIARNISTE

Najpierw próbkę kruszywa przesiewa się przez sito o oczkach 4 mm, frakcję tę odrzuca się. Następnie pozostały materiał jest miażdżony. Po rozdrobnieniu w odpowiedni sposób próbka musi zostać sklasyfikowana zgodnie z procedurą opisaną w RILEM AAR-2.

3.1.3. SUSZENIE

Kruszywo jest testowane po wysuszeniu do stałej masy w piecu. Wilgotne kruszywo suszy się w temperaturze $105 \pm 2^\circ\text{C}$ aż do osiągnięcia stałej masy (mierzonej w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$) przed badaniem.

3.2. PRZECHOWYWANIE I POMIARY

3.2.1. WARUNKI PRZECHOWYWANIA

Aby rozpocząć badanie, szczelnie zamknięte pojemniki umieszcza się w pozycji pionowej w piecu konwekcyjnym lub w łaźni wodnej utrzymywanej w temperaturze $38 \pm 2^\circ\text{C}$, unikając utraty wilgoci przez ścianki pojemników. Każdy pojemnik musi być wyraźnie oznakowany badanym kruszywem i użytym roztworem badawczym.

Dwa razy w tygodniu podczas całego programu testowego pojemniki są wyjmowane, jeden po drugim, z pieca konwekcyjnego lub łaźni wodnej, a następnie sprawdzane, czy są szczelnie zamknięte i mieszane przez około 30 sekund, przetaczając pojemniki około 20 razy przez długość 80 cm [2]. Pojemniki są następnie zawracane do pieca konwekcyjnego lub łaźni wodnej w temperaturze 38°C. Walcowanie nie jest konieczne w przypadku próbek ślepych.

3.3. PRZYGOTOWANIE MIESZANIN TESTOWYCH I POMIARY WSTĘPNE

3.3.1. PRZYGOTOWANIE PRÓBKII

Dwie reprezentatywne próbki o masie $100 \pm 0,5$ g badanego kruszywa (M_0) umieszcza się w dwóch pojemnikach badawczych (pkt 5.5). Następnie $400 \pm 0,1$ ml 0,7 M roztworu NaOH w ilości przekraczającej $\text{Ca(OH)}_2 - 2,0$ g/l dodaje się do pierwszego pojemnika, podczas gdy $400 \pm 0,1$ ml 0,7 M roztworu KOH w ilości przekraczającej $\text{Ca(OH)}_2 - 2,0$ g/l dodaje się do drugiego pojemnika.

3.3.2. ŚLEPE PRÓBKII

Przygotować dwie próbki ślepe, napełniając jeden pojemnik $400 \pm 0,1$ ml 0,7 M roztworu NaOH z nadmiarem $\text{Ca(OH)}_2 - 2,0$ g/l i napełnienie drugiego pojemnika $400 \pm 0,1$ ml 0,7 M roztworu KOH nadmiarem $\text{Ca(OH)}_2 - 2,0$ g/l. Próbki ślepe będą przechowywane i okresowo pobierane wraz z próbkami zbiorczymi.

3.4. POBIERANIE PRÓBEK

Przed każdym pobraniem próbki, po 2, 6, 13 i 26 tygodniach, pojemniki wyjmuje się pojedynczo z pieca konwekcyjnego lub łaźni wodnej, miesza przez 10 sekund i umieszcza pionowo (pokrywką skierowaną do góry) na płaskiej powierzchni na 24 ± 2 godziny w pomieszczeniu o temperaturze 20°C, przed pobraniem próbki roztworu do analizy.

Podczas badania możliwe jest, że na dnie pojemnika występuje pewna aglomeracja kruszywa. Jeżeli walcowanie nie jest wystarczające do deaglomeracji cząstek kruszywa, możliwe jest użycie mieszadła laboratoryjnego lub wytrząsarki w celu oddzielenia ziaren.

Po tej procedurze pojemnik otwiera się i usuwa 10 ml roztworu z każdego roztworu alkalicznego (0,7 M roztworów NaOH i KOH) powyżej cząstek kruszywa za pomocą pipetowania lub strzykawki [1, 4]. Z obu ślepych próbek, bez agregatów, pobiera się również 10 ml do analizy. Roztwory są następnie filtrowane i zakwaszane 0,25 ml HNO_3 zagęszczone i umieszczone w odpowiednim zamkniętym pojemniku do analizy chemicznej [1, 6]. Jeżeli nie zostaną one natychmiast poddane analizie, można je przechowywać w lodówce (w temperaturze od 4 do 10°C) maksymalnie przez 2 dni do czasu przeprowadzenia analiz chemicznych.

Po każdym pobraniu próbek pojemniki są ponownie umieszczane w piecu konwekcyjnym lub łaźni wodnej w temperaturze 38°C.

3.5. ANALIZA CHEMICZNA

Próbki zanurzeniowych roztworów kruszywa i odpowiadających im roztworów próby ślepej pobrane w każdym określonym okresie badań po 2, 6, 13 i 26 tygodniach, są poddawane analizie chemicznej na zawartość sodu i potasu przy użyciu odpowiedniej metody. Zawartość Na^+ należy oznaczyć w roztworze KOH, a zawartość K^+ zmierzyć w roztworze NaOH. Dodatkowo w każdym roztworze można oznaczyć K^+ lub Na^+ i Ca^{2+} , aby uzyskać więcej informacji. Ponieważ alkalia są mierzone w silnie stężonych roztworach zawierających 0,7 M NaOH lub 0,7 M KOH, matryca ma duży wpływ na mierzone stężenia. Szczególną uwagę należy zwrócić na działanie matrycy. Aby przeciwdziałać efektowi matrycy, sugeruje się przygotowanie wzorców analitycznych z matrycą reprezentującą próbki, które mają być poddane analizie. Oznacza to, że wzorce muszą być przygotowane z roztworów podstawowych 0,7 NaOH i 0,7 KOH przy użyciu tych samych współczynników rozcieńczenia, które są stosowane w próbkach do analizy. Na przykład wzorec 0 ppm Na^+ przypisuje się do 0,7 M roztworu podstawowego KOH rozcieńczonego i zakwaszonego tym samym współczynnikiem rozcieńczenia co analizowane próbki. W przypadku stosowania tej techniki nie jest konieczne odejmowanie ilości Na^+ obecnego w roztworze KOH lub ilości K^+ w NaOH, ponieważ wielkości te są automatycznie uwzględniane przy pomiarze. Otrzymany wynik powinien być średnią z co najmniej trzech analiz.

4. OBLICZANIE I RAPORTOWANIE WYNIKÓW

4.1. STĘŻENIA ALKALICZNE

Wyniki analiz chemicznych wyraża się w miligramach sodu lub potasu na litr ($\text{mg K}^+/\text{l}$ lub $\text{mg Na}^+/\text{l}$).

4.2. ILOŚCI ZASAD UWALNIANYCH W ROZTWORACH BADANYCH

4.2.1. Na^+ UWALNIANY W ROZTWORZE KOH

W danym czasie pobierania próbek skumulowana ilość sodu uwolniona w roztworze KOH, w miligramach Na^+ , jest ilością obecną w objętości roztworu badanego w czasie pobierania próbek, powiększoną o ilość obecną we wszystkich 10 ml próbek roztworu badanego pobranych wcześniej, pomniejszoną o ilość Na^+ początkowo obecną w roz-

tworze badanym przed kontaktem z kruszywem (ślepy roztwór KOH). W związku z tym skumulowaną ilość Na^+ uwolnioną w roztworze testowym KOH w czasie n -tego pobierania próbek, w miligramach Na^+ , otrzymuje się przy użyciu zależności:

$$M\text{Na}_{\text{released}} = [V_0 \text{ KOH} - 0,01 \times (n-1)] \times (C_n\text{Na} - C_{0,n}\text{Na}) + 0,01 \times \sum_{i=1}^{n-1} (C_i\text{Na} - C_{0,i}\text{Na}), \quad (1)$$

gdzie:

- $M\text{Na}_{\text{released}}$ – całkowita masa stała Na^+ uwolniona z kruszywa (mg),
- $V_0 \text{ KOH}$ – początkowa objętość roztworu testowego KOH w litrze, tj. $0,400 \pm 0,002 \text{ l}$,
- 0,01 – odpipetowana objętość każdego roztworu, z którego pobrano próbkę w czasie t w litrze, tj. 10 ml,
- N – całkowita liczba pobranych próbek ($n = 1, 2, 3, \dots$),
- $C_n\text{Na}$ – Na^+ stężenie roztworu badanego KOH z kruszywem przy n -tej próbce (mg/l),
- $C_{0,n}\text{Na}$ – stężenie Na^+ w próbce ślepej KOH przy n -tej próbce (mg/l),
- $C_i\text{Na}$ – Na^+ – stężenie roztworu badanego KOH z kruszywem w czasie t_i , odpowiada i -tej próbce (mg/l),
- $C\text{Na}_{0,i} \text{Na}^+$ – stężenie w próbce ślepej KOH przy i -tej próbce (mg/l) i po pobraniu próbek z pobranych próbek $n - 1$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n - 1$).

4.3. POTENCJALNE ILOŚCI ZASAD UWALNIANYCH PRZEZ KRUSZYWO

Jak podano w pkt. 2, wartości uzyskane za pomocą tej metody badawczej są najprawdopodobniej znacznie zawyżone w porównaniu z ilościami uwalnianych alkaliów w warunkach rzeczywistych (polowych). Na tym etapie możliwe jest jedynie skategoryzowanie kruszywa według ilości uwalnianych alkaliów.

Substancje o niskim uwalnianiu to kruszywa, w przypadku których jest bardzo mało prawdopodobne, aby uwolniły mniej niż 0,1% $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ po 26 tygodniach (co odpowiada $1,75 \text{ kg Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$), podczas gdy o wysokim uwalnianiu to kruszywa, które z dużym prawdopodobieństwem uwalniają więcej niż 0,25% $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ po 26 tygodniach (co odpowiada $4,38 \text{ kg Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$). W przypadku kruszyw o wysokim stopniu uwalniania należy zachować szczególną ostrożność przy wyborze środków łagodzących przebieg reakcji alkalicznych.

4.4. ZASTOSOWANIA W TERENIE

Potencjalna ilość zasad uwalnianych przez badane kruszywo w, w $\text{kg Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ na metr sześcienny betonu, uzyskuje się przy użyciu następującej zależności:

$$M_{\text{releasedNa}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3} = M_{\text{releasedNa}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{kg}} \times M_e/10^6, \quad (2)$$

gdzie:

- M_e – dozowanie kruszywa w kg/m^3 ,
 10^6 – współczynnik przeliczeniowy między kg i mg.

4.5. OGÓLNE ZASTOSOWANIE

Potencjalna ilość zasad uwalnianych przez kruszywo, w $\text{kg Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$ betonu, uzyskuje się przy użyciu zależności wskazanych w pkt. 4.4, gdzie:

- M_e – średnie dozowanie kruszywa w $\text{kg/m}^3 = 1050 \text{ kg/m}^3$ dla kruszywa grubego, 700 kg/m^3 dla kruszywa drobnego,
 10^6 – współczynnik przeliczeniowy między kg i mg.

5. SPRAWOZDANIE Z BADAŃ

W sprawozdaniu podaje się informacje:

- próbka zbiorcza (identyfikacja, źródło, skład chemiczny (tlenki Na i K), opis petrograficzny (jeżeli jest dostępny), data i stan w momencie dostarczenia do laboratorium, klasyfikacja w takiej postaci, w jakiej została otrzymana itp.),
- przetwarzanie próbki zbiorczej w laboratorium (mycie, suszenie, przesiewanie itp.),
- klasyfikacja kruszywa użytego w badaniu,
- charakterystyka zastosowanych urządzeń do badań (marka, model, skład, pojemność, wymiary, rodzaj pokrywy itp.),
- warunki przechowywania kruszyw (piec konwekcyjny lub łaźnia wodna i charakterystyka),
- masa badanych kruszyw,
- metoda analityczna stosowana do analiz chemicznych,
- stężenie Na^+ w ślepej próbie 0,7 M roztworu KOH i stężenie K^+ w ślepej próbie 0,7 M roztworu NaOH w mg/l.
- tabela podająca dla każdej próbki, ponumerowanej od 1 do n :
- potencjalne ilości zasad uwalnianych przez kruszywo w $\text{kg Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$ w oparciu o zawartość kruszywa 1050 kg/m^3 dla kruszywa gruboziarnistego i 700 kg/m^3 dla drobnego.
- połączony wykres skumulowanych mas Na_2O , K_2O i $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ uwolnione w mg/kg agregatu i w % w funkcji czasu, przy czym wszystkie wartości wynoszą „0” na początku badania.

6. WNIOSKI

W naszym kraju w badaniach atestacyjnych reakcji AAR kruszyw i betonów nie uwzględnia się jeszcze zawartości alkaliów pochodzących z procesów ich uwalniania

z kruszyw. Wprowadzenie do krajowej metodologii metody badania zawartości uwalnianych alkaliów uważam za konieczne, gdyż brak tej wiedzy w znacznym stopniu może wpływać na ocenę przebiegu AAR w betonie. Przedstawiona w artykule metoda jest obecnie jedyną stosowaną w atestacji kruszyw. Należy podkreślić, że wyniki ilości uwalnianych alkaliów uzyskiwane tą metodą mogą być zawyżone w stosunku do wartości rzeczywistych w trakcie pracy betonu. Pozwalają one jednak ocenić i sklasyfikować podatność kruszyw przed ich zastosowaniem w betonie.

LITERATURA

- [1] BERUBE MA., DUCHESNE J., DORION JF., RIVEST M., *Laboratory assessment of alkali contribution by aggregates to concrete and application to concrete structures affected by ASR*, Cement and Concrete Research, 32 (8), 2002, 1215–1227.
- [2] BERUBE MA., DUCHESNE J., RIVEST M., *Alkali Contribution by Aggregates to Concrete*, Proc. 10th ICAAR, Melbourne 1996, 899–906.
- [3] BERUBE MA., FOURNIER B., *Alkalis releasable by aggregates in concrete – significance and methods*, Report RILEM/TC-ARP/02/12, Reykjavik 2002.
- [4] BERUBE MA., FOURNIER B., *Alkalis releasable by aggregates in concrete – significance and tests methods*, Proc. 12th ICAAR, Beijing 2004.
- [5] LCPC *Méthode d'essai 37*, Essai de granulats, Détermination des alcalins solubles dans l'eau de chaux, Paris 1993.
- [6] MENENDEZ E., SILVA AS., DUCHESNE J., *RILEM TC 258-AAR: RILEM AAR-8: Determination of potential releasable alkalis by aggregates in concrete*, Material and Structure, Vol. 54, 205, 2021.
- [7] STARK D., MORGAN B., OKAMOTO P., DIAMOND S., *Eliminating or Minimizing Alkali-Silica Reactivity*, Report SHRP-C-343, US National Research Council, Washington 1993.
- [8] XP P18-544, *Granulats*, Déterminer des alcalins actifs solubles dans l'eau de chaux, 2015.

PROBLEMS OF ALKALIS RELEASED FROM AGGREGATES IN CONCRETE

One of the basic ingredients necessary for the AAR reaction to occur in concrete is alkali. They come mainly from cement. However, it turns out that some aggregates containing alkalis and used in concrete may release them, which may be an unexpected reason for the AAR reaction. The article describes the principles of quantitative assessment of alkalis potentially released from aggregates used in concrete.

Arkadiusz GRZEŚKOWIAK

Laboratorium Techniki Strzałowej

ODCZUWALNOŚĆ A SZKODLIWOŚĆ DRGAŃ PARASEJSMICZNYCH WYWOŁYWANYCH ROBOTAMI STRZAŁOWYMI

Artykuł przedstawia podstawowe zależności i różnice w ocenie odczuwalności i szkodliwości drgań powodowanych robotami strzałowymi na ludzi w budynkach oraz na budynki. Zagadnienia te, nierzadko łączone ze sobą, wymagają wyjaśnienia i wskazania podstawowych opisów, pomiarów i analiz. Na podstawie przeprowadzonych badań, przedstawiono przykładowe wyniki obrazujące przyczyny dotyczące podnoszonych skarg i zgłoszeń związanych z oddziaływaniami robotami strzałowymi.

1. WPROWADZENIE

Stosowanie materiałów wybuchowych do urabiania skał, powoduje powstawanie zagrożeń i oddziaływań związanych z rozrzutem odłamków skalnych, powietrzną falą uderzeniową i propagacją drgań parasejsmicznych. Oddziaływania te najczęściej są efektem nadwyżki energetycznej stosowanych środków lub wynikiem nieprawidłowego projektu robót strzałowych, bądź niepełnego rozpoznania warunków wykonywania odstrzału. Emitowane drgania rozchodzą się promieniowo wokół miejsca strzelania w postaci fali parasejsmicznej i w zależności od ich intensywności, mogą oddziaływać na ludzi oraz obiekty budowlane. Strefa potencjalnych szkodliwych drgań wyznaczana jest na mapie, stanowiąc obwiednię stref wyznaczanych dla różnych kierunków propagacji, różnych mas odpalanych ładunków i właściwości MW. Promień tej strefy nierzadko zmienia się w zależności od kierunku. Granice dopuszczalnych oddziaływań stanowią wielokrotnie element dyskusji i sporów, nawet w odniesieniu do obowiązujących przepisów czy norm. Wyjaśnianie i ustalanie stosowanych odniesień, rozwiązań, przysparza często bardzo wiele trudności. Ocenę wpływu i szkodliwości drgań przekazywanych na budynki w górnictwie odkrywkowym, najczęściej wykonuje się w oparciu o uproszczone metody oceny, tj. wg skał SWD na podstawie normy PN-B-02170:2016 [1], a wpływ drgań na ludzi w budynkach określa norma PN-B-02171:2017 [2]. Prowadzenie robót strzałowych stanowi najczęściej kompromis pomiędzy oczekiwanymi efektami użycia MW, a utrzymaniem niebezpiecznych lub niekorzystnych oddziały-

wań w ustalonych granicach bezpieczeństwa oraz zachowaniem poprawnych relacji z lokalną społecznością.

2. EMISJA DRGAŃ PARASEJSMICZNYCH

Określenie warunków geologiczno-górnicznych pod kątem oceny propagacji drgań, wiąże się z opisem falowodu od miejsca (źródła) powstawania drgań, do badanego obiektu lub miejsca, w którym te drgania są odbierane. W warunkach prowadzenia strzelań w kopalniach odkrywkowych, czynnikami wpływającymi na intensywność transmisji drgań parasejsmicznych jest:

- rodzaj budowy geologiczno-tektonicznej złoża, w miejscu prowadzenia strzelań,
- budowa geologiczna i morfologiczna górotworu na kierunku rozprzestrzeniania się fal parasejsmicznych,
- budowa i rodzaj podłoża w miejscu pomiaru i lokalizacji obiektu chronionego,
- właściwości energetyczne stosowanych MW i parametry strzelania.

Warunki budowy górotworu określają przestrzeń rozchodzenia się drgań, a wraz z wieloma innymi parametrami strzelania: odległością, właściwościami MW oraz metodą strzelania, tworzą warunki powstawania i tłumienia fal parasejsmicznych [6]. Liczba tych czynników jest znacząca i może powodować określone trudności w prawidłowym wyznaczaniu, np. zmian intensywności oddziaływań parasejsmicznych w funkcji odległości na poszczególnych kierunkach prowadzenia eksploatacji. Warunki i prognoza oddziaływania drgań, przekłada się na wyznaczenie zasięgu oddziaływania. Zasięg szkodliwych drgań parasejsmicznych można określić teoretycznie według wymagań rozporządzenia [3].

Wyznaczona strefa zasięgu jest jedynie umowną, graficznie odwzorowaną granicą szkodliwego oddziaływania. Na podstawie pomiarów terenowych i obliczeń, ustalany jest rzeczywisty promień zasięgu szkodliwych drgań parasejsmicznych, a na jej granicy ustalana jest dopuszczalna prędkość drgań górotworu. Cyklicznie powtarzane badania kontrolne w trakcie reprezentatywnych odstrzałów, pozwalają na weryfikację i doprecyzowanie przyjętych zależności korelacyjnych oraz bezpiecznych mas ładunków MW.

Równie istotnym okazuje się badanie wpływu drgań na ludzi w budynkach lub poziomie ich odczuwalności. Zagadnienie to, mimo stabelaryzowanych poziomów i wartości, stanowi najczęściej temat dyskusji lub sporów w trakcie wykonywanych badań.

2.1. WYMUSZENIE KINEMATYCZNE

Rozchodzące się w podłożu gruntowym drgania, powodują wymuszenie kinematyczne, wprawiając w ruch fundament i posadowiony na nim budynek. W przypadku występowania drgań harmonicznym możliwy jest uproszczony opis charakteru tych oddziaływań poprzez określenie amplitudy prędkości lub przyspieszenia drgań oraz odpowiadających im częstotliwości [4]. Także w przypadku, gdy charakter drgań jest

złożony i nieregularny, możliwe jest opisanie tego oddziaływania za pomocą prędkościowego lub przyspieszeniowego spektrum odpowiedzi. Zgodnie z zapisami normy, jeśli źródło drgań jest projektowane, jak ma to często miejsce w przypadku robót strzałowych, wymuszenie kinematyczne należy wyznaczać z prognozy opracowanej na podstawie wcześniejszych pomiarów odnoszących się do podobnych przypadków. Zadanie to zwykle sprowadza się do wstępnego przyjęcia zależności korelacyjnej propagacji drgań na analizowanym kierunku, jak w wyrobisku o analogicznym profilu wydobywania i weryfikacji tych założeń z chwilą wykonywania odstrzałów.

2.2. SPRAWDZANIE WPŁYWU DRGAŃ PRZEKAZYWANYCH NA BUDYNEK

W ocenie wpływu robót strzałowych na budynki powszechnie stosowane jest korzystanie ze skal SWD. W zależności od rodzaju i konstrukcji budynku możliwa jest przybliżona metoda oceny, lecz odnosi się ona do typów budynków o określonych parametrach. Skale te mają zastosowanie do budynków wykonanych z elementów murowych, tzn. z elementów drobnowymiarowych, a także do budynków z wielkowymiarowych elementów prefabrykowanych (wielki blok, płyta). W ocenie, z zastosowaniem skal SWD należy stosować wibrogramy (sejsmogramy) składowych poziomych drgań, tj. w kierunkach X i Y , zarejestrowane w punkcie pomiarowym umieszczonym w sztywnym węźle konstrukcyjnym budynku, na przecięciu ścian nośnych w dwóch kierunkach, znajdującym się na fundamencie budynku, albo na węźle kondygnacji podziemnej w poziomie otaczającego terenu [5].

Uzyskane w trakcie minimum 3 cykli obciążenia (odstrzałów) sejsmogramy, w dalszej kolejności dodawane są analizie w pasmach 1/3 oktaowych. Uzyskuje się w ten sposób w każdym paśmie częstotliwości maksymalną prędkość drgań, która wskazuje na skali SWD strefę szkodliwości i potencjalną możliwość wystąpienia uszkodzeń w budynku. Wykonywanie robót strzałowych, powoduje powstawanie drgań zaliczanych do krótkotrwałych – wskaźnik tłumienia drgań $\delta \geq 0,20$. W najczęściej badanych strzelaniach łączny czas trwania inicjacji serii strzałowej i detonacji MW, nie przekracza 2–3 s. Zwykle jednak zawiera się w przedziale 1,2–2 s przy seriach złożonych z ponad 60 otworów bądź ładunków.

Potencjalne uszkodzenia mogące występować przy robotach strzałowych dzieli się na niekonstrukcyjne i uszkodzenia elementów nośnych. Do uszkodzeń niekonstrukcyjnych zalicza się rysy i spękania wypraw malarskich i tynków, rozluźnienie mocowań drzwi i okien w ścianach, pękanie i odpadanie płytek ceramicznych ściennych i okładzin, rysy i spękania ścianek działowych itp. Natomiast do uszkodzeń elementów nośnych zalicza się uszkodzenia, które prowadzą do zmniejszenia wytrzymałości elementów konstrukcyjnych budynku, do których należą: rysy i spękania fundamentów, ścian nośnych, połączeń między ścianami nadproży, filarów itp.

Zgodnie z normą [1] wielkość wpływu drgań na budynki zakwalifikowane do I i II strefy szkodliwości wg skal SWD, można przedstawić za pomocą wskaźnika od-

czuwalności drgań przez budynek – WODB. Wskaźnik ten stanowi iloraz maksymalnej wartości prędkości (lub przyspieszenia) drgań, wyznaczonych w wyniku analizy tercylowej do wartości prędkości (lub przyspieszenia) odpowiadającej dolnej granicy wpływów dynamicznych na budynki w jednakowym paśmie częstotliwości.

Wartość wskaźnika jest podawana wraz częstotliwością środkową pasma 1/3 oktawowego, w który został wyznaczony. Należy w tym miejscu nadmienić, że przyczyn powstawania różnego rodzaju rys czy spękań może być bardzo wiele i nie zawsze wiążą się one z prowadzoną w pobliżu eksploatacją skał, natomiast zawsze zachodzi próba wskazania kopalni i robót strzałowych, jako przyczynę ich powstania. Wyjaśnienie tego, wymaga już nie tylko pomiarów oddziaływań, ale także eksperckiej oceny budowlanej czy geotechnicznej.

2.3. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA LUDZI W BUDYNKU

Wpływ drgań na ludzi w budynku sprawdzany jest z wykorzystaniem normy [2], określającej poziom oddziaływania drgań na człowieka. Norma ta podaje granice komfortu wibracyjnego w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi w zależności od ich przeznaczenia użytkowego i pory.

Ocenę wpływu drgań na ludzi, przeprowadza się na podstawie analizy sejsmogramów zarejestrowanych podczas pomiarów, w miejscu przekazywania drgań na organizm człowieka na trzech kierunkach wektorów składowych X , Y i Z . Poziom oddziaływania drgań na człowieka może być ustalany na podstawie skorygowanej wartości skutecznej prędkości (przyspieszenia) lub wartości skutecznej prędkości (przyspieszenia) drgań w pasmach 1/3 oktawowych [7, 8]. W przypadku stosowania do oceny np. skorygowanej wartości skutecznej prędkości drgań, gdzie po korekcji otrzymywana jest jedna wartość w całym paśmie częstotliwości od 1–80 Hz, uzyskiwana jest informacja, czy i w jakim stopniu został naruszony komfort wibracyjny. W przypadku posługiwania się prędkością drgań, stosowany jest wzór:

$$v_k \leq v_{k \text{ dop}}, \quad (1)$$

w którym:

$$v_{k \text{ dop}} = v_{k1} \cdot n, \quad (2)$$

gdzie:

- v_k – skorygowana wartość skuteczna prędkości drgań obliczona na podstawie wyników pomiarów,
- v_{k1} – skorygowana wartość skuteczna prędkości drgań odpowiadająca progowi odczuwalności drgań przez człowieka odczytana z tab. 1 normy [2].
- n – współczynnik uwzględniający wpływ na wymagany komfort wibracyjny w zależności od powtarzalności, przeznaczenia oraz pory występowania (tab. 2).

W przypadku pomiarów i oceny wpływu na podstawie składowych prędkości drgań w trakcie wykonywania robót strzałowych, należy uwzględnić dodatkowe uwarunkowania związane z przyjmowaniem wartości współczynnika n . W przypadku robót strzałowych, są one wykonywane zawsze w ciągu dnia, a odstrzał jest sygnalizowany sygnałami dźwiękowymi. W praktyce górniczej także, nie wykonuje się w ciągu dnia więcej niż 3 do 4 odstrzałów dziennie, a zwykle 1 do 2. Przedsiębiorca górniczy jest zobowiązany poinformować lokalną społeczność o godzinach prowadzenia robót strzałowych i znaczeniu sygnałów dźwiękowych.

Tabela 1. Skorygowane wartości skuteczne odpowiadające progowi odczuwalności drgań
Table 1. Corrected RMS values corresponding to the vibration threshold

| Opis wielkości | Kierunek odbioru drgań przez człowieka | |
|--|--|-----------|
| | z | x i y |
| Skorygowana wartość skuteczna prędkości v_{k1} [m/s] | 0,0001 | 0,00028 |

Tabela 2. Wartości współczynnika n
Table 2. Values of the n coefficient

| Przeznaczenie pomieszczenia w budynku | Pora występowania drgań | Wartość n w zależności od charakteru drgań i ich powtarzalności | |
|--|-------------------------|---|---|
| | | Drgania występujące stale oraz drgania krótkotrwałe o powtarzalności większej niż 10 w ciągu doby | Drgania o powtarzalności zdarzeń nieprzekraczającej 10 w ciągu doby |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Sale operacyjne w szpitalach, precyzyjne laboratoria i pomieszczenia podobnego przeznaczenia ¹⁾ | dzień i noc | 1 | 1 |
| Szpitale, sale chorych w normalnych warunkach i pomieszczenia podobnego przeznaczenia | dzień | 2 | 8 |
| | noc | 1 | 4 |
| Mieszkania, internaty i pomieszczenia podobnego przeznaczenia | dzień | 4 | 32 ²⁾ |
| | noc | 1,4 | 4 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|-------------|-----------------|------------------|
| Biura, urzędy, szkoły i pomieszczenia podobnego przeznaczenia | dzień i noc | 4 | 64 ²⁾ |
| Warsztaty pracy i pomieszczenia podobnego przeznaczenia | | 8 ³⁾ | 128 |

¹⁾ Wartość współczynnika n dotyczy czasu, w którym w salach operacyjnych odbywają się operacje albo w laboratoriach wykonywane są bardzo precyzyjne czynności.

²⁾ Współczynnik n należy podwoić ($n = 64$ i $n = 128$), jeżeli dotyczy drgań krótkotrwałych uprzednio zapowiedzianych, np. sygnałami ostrzegawczymi, komunikatami.

³⁾ Współczynnik n należy podwoić ($n = 16$) w warsztatach pracy przemysłu ciężkiego, np. mechanicznych, odlewniczych.

W normie [2] wprowadzono także wskaźnik odczuwalności drgań przez ludzi – WODL, który można wyznaczyć ze wzoru:

$$WODL = \max \left(\frac{v_{RMS}}{v_z} \right), \quad (3)$$

gdzie:

v_{RMS} – wartość średniokwadratowa prędkości drgań otrzymana w wyniku analizy,

v_z – wartość średniokwadratowa prędkości drgań równa progowi odczuwalności drgań przez ludzi w kierunku z w tym samym paśmie częstotliwości, w którym wyznaczono maksymalną v_{RMS} .

Odczuwalność drgań przez ludzi wciąż pozostaje tematem dyskusyjnym i nierozpoznanym, głównie ze względu na subiektywny charakter odbieranych drgań przez poszczególne osoby [9].

3. POMIARY DRGAŃ

W zależności od wybranej metody oceny drgań, konieczne jest przeprowadzenia pomiarów, z wykorzystaniem odpowiedniej do tego aparatury. Z uwagi na metodę pomiarów, analizy oraz kryteria szkodliwości aparatura pomiarowa musi spełniać niezbędne zakresy i dokładności mierzonych parametrów:

- częstotliwości w zakresie od 0,5 Hz do 100 Hz ($\pm 5\%$),
- prędkości w zakresie od 10^{-4} m/s do 1 m/s,
- przyspieszenia w zakresie od 10^{-3} m/s² do 10 m/s².

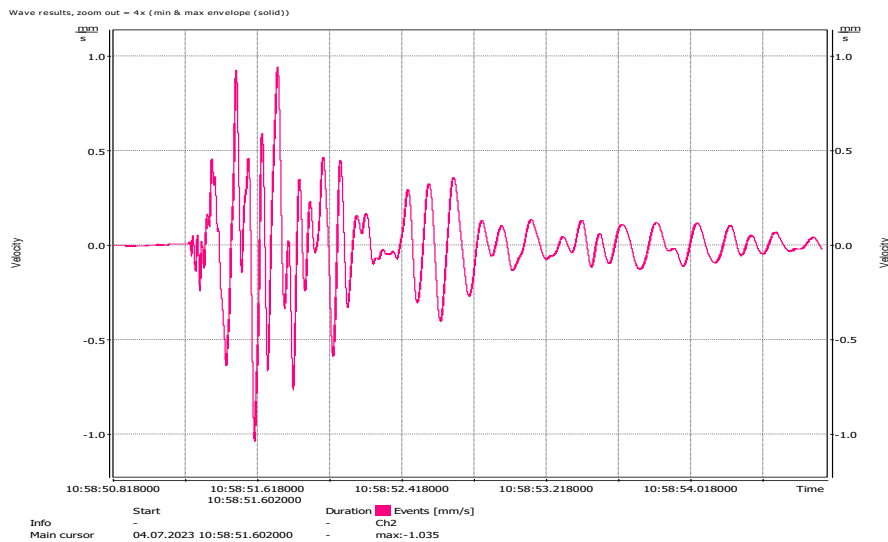
Przewidziane do stosowania czujniki muszą mieć odpowiednią czułość, dla geofonów powyżej 15 V/ms. Połączone z rejestratorem lub analizatorem zapewniają: rejestrację oddziaływań w postaci sejsmogramów, identyfikację czasu trwania drgań

oraz analizy wartości szczytowych mierzonych parametrów. Przykładem aparatury spełniającej te wymagania jest rejestrator firmy SVANTEK SV258 PRO wraz ze specjalistycznym oprogramowaniem analizy wyników Svan PC.

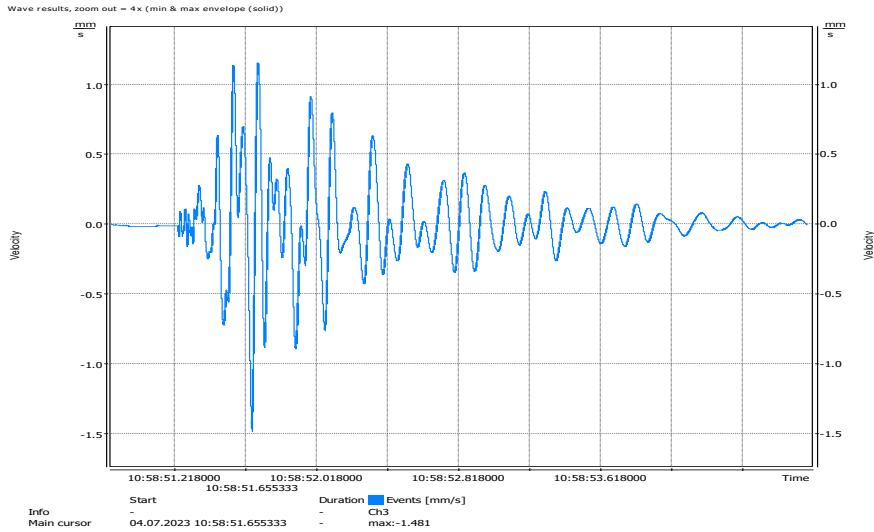


Rys. 1. Zestaw pomiarowy Svantek SV258 Pro
 Fig. 1. Measuring set SV258 Pro

Efektom pomiarów są sejsmogramy prędkości drgań dla poszczególnych wektorów składowych wraz z oznaczeniem osi czasu oraz skalą wielkości. Zapis oddziaływań w postaci fali (wave), pozwala na śledzenie wartości szczytowych, a zapisy z wynikami powyżej wartości wzbudzenia są poddawane analizie tercjowej. Poniżej przedstawiono przykładowy widok sejsmogramów ze składowych X i Y.

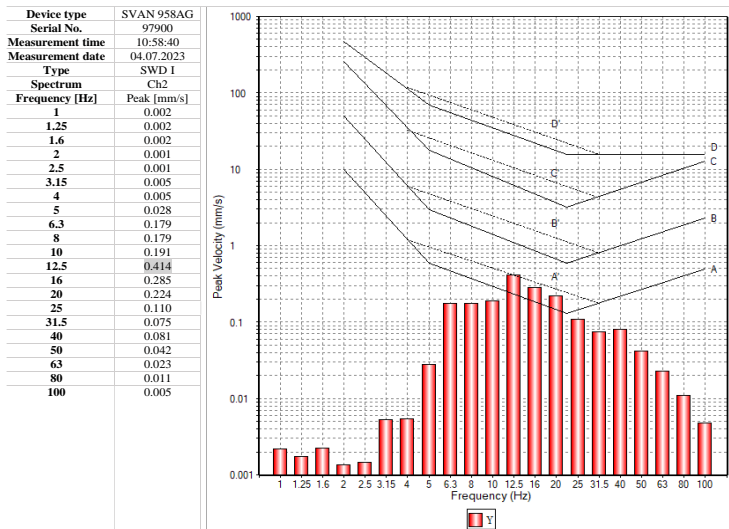


Rys. 2. Sejsmogram prędkości drgań dla wektora Y
 Fig. 2. Vibrational velocity seismogram for vector Y

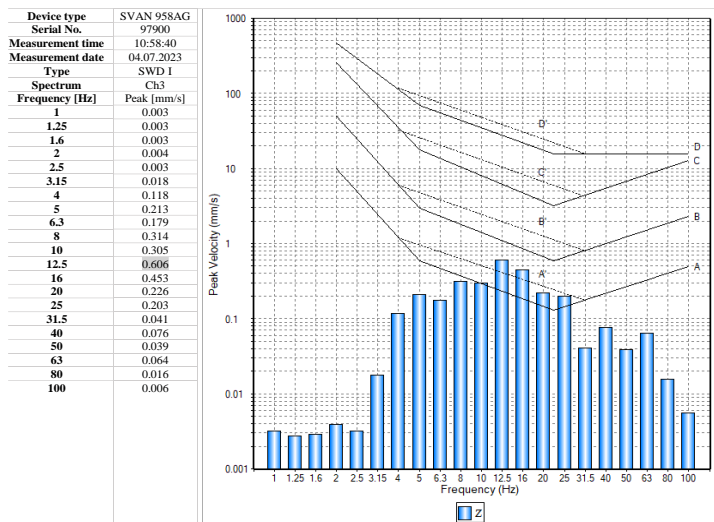


Rys. 3. Sejsmogram prędkości drgań dla wektora X
 Fig. 3. Vibrational velocity seismogram for vector X

Wyniki pomiarów poddane analizie tercjowej są w dalszym etapie przedstawiane na skali SWD. W zależności od konstrukcji budynku stosowana jest skala SWD I lub SWD II. Poniżej graficznie, przedstawiono wyniki z maksymalnymi wartościami prędkości drgań w przedziałach 1/3 oktawowych.



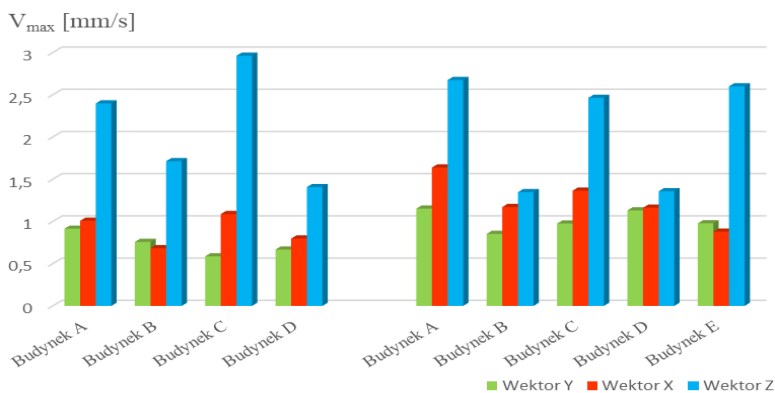
Rys. 4. Wyniki analizy tercjowej na skali SWD I dla wektora X
 Fig. 4. Results of tertian analysis on SWD I scale for vector X



Rys. 5. Wyniki analizy tercjowej na skali SWD I dla wektora Y

Fig. 5. Results of tertian analysis on SWD I scale for vector Y

Na rysunku 6 zestawiono maksymalne (szczytowe) prędkości drgań na trzech wektorach składowych z pomiarów na wytypowanych budynkach.



Rys. 6. Wykres zarejestrowanych maksymalnych prędkości drgań na wektorach składowych

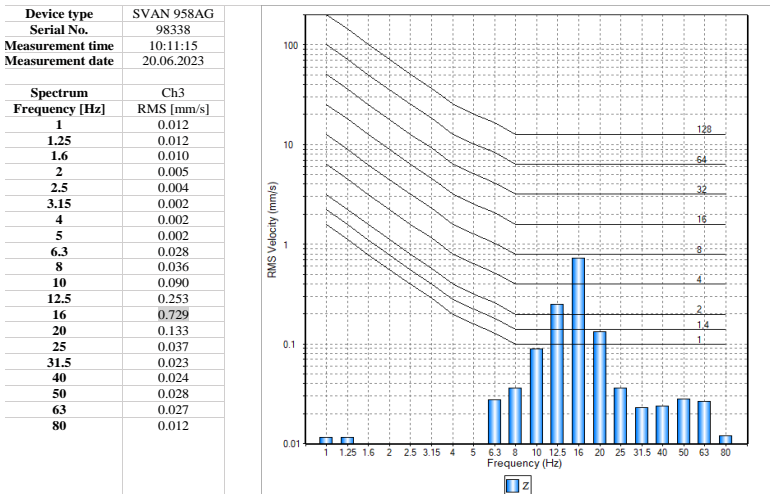
Fig. 6. Graph of recorded maximum vibration velocities on component vectors

Wyniki przeprowadzonych pomiarów i analizy tercjowej, wykazały spełnienie warunków bezpieczeństwa sejsmicznego badanych budynków, choć w pojedynczych przypadkach osiągały II strefę szkodliwości. Na zaprezentowanych przykładach, widać jednakże istotną różnicę w prędkości drgań na składowej pionowej. Mimo, że w uproszczonej ocenie wpływu drgań na budynki, pionowe składowe drgań nie są uwzględniane,

to jednak zwracają uwagę dwu- lub trzykrotnie wyższe wartości szczytowe. Przykład ten obrazuje częsty problem związany z odczuwalnością drgań przez ludzi w budynkach i zgłaszanymi skargami w związku z robotami strzałowymi prowadzonymi w odkrywkowych zakładach górnictwa. Sytuacja taka ma miejsce przy lokalizacji budynku w brzeżnych partiach złoża na gruntach z udziałem zwietrzliny skalnej, osadów lub utworów gliniastych z zawartością składników organicznych.

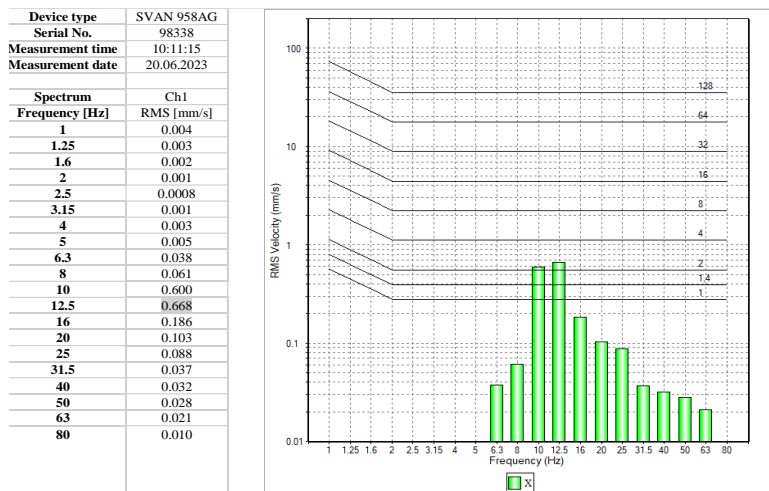
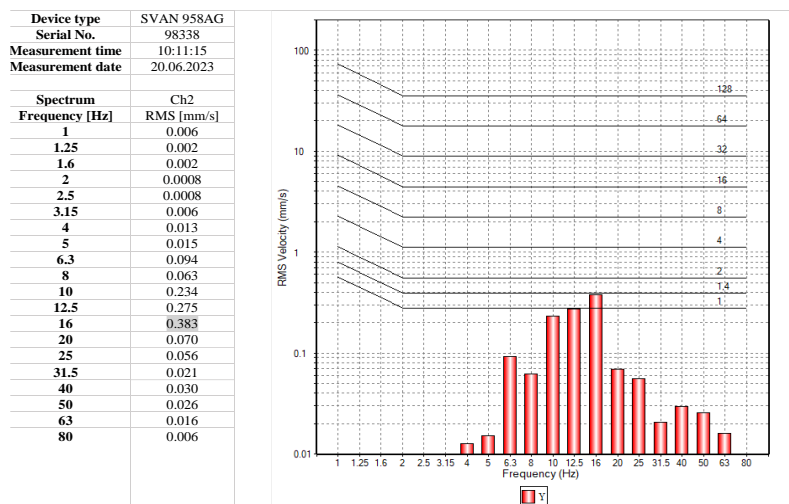
Z uwagi na uzyskiwane wyniki pomiarów oraz frustracje lokalnej ludności związane z prowadzoną działalnością górnictwa, pożądanym jest wykonanie pomiarów i określenie wpływu drgań na ludzi w budynkach zgodnie z normą [2]. Pozwala to w szerszym zakresie ocenić niekorzystne oddziaływanie robót strzałowych, a wielu przypadkach stonować emocje lub oddalić ewentualne roszczenia czy skargi. Wyniki przykładowej oceny wpływu drgań na ludzi, przedstawiono na poniższych rysunkach.

Rezultaty tych badań i analiz wskazują na brak naruszalności komfortu wibracyjnego i szkodliwości. Zawsze jednak można stwierdzić występowanie subiektywnego niezadowolenia. Należy w tym miejscu także zauważyć, że mimo przyjmowanych wskaźników „n” podwyższających dopuszczalny poziom oddziaływania, mogą zachodzić dodatkowe okoliczności. Wiąże się one np. z brakiem słyszalności syren przed strzelaniem albo odpoczynkiem (snem) ludzi w ciągu dnia po pracy na nocnej zmianie. W przypadku prowadzenia eksploatacji na bloki i stosowania lontu detonującego, dochodzi dodatkowo efekt dźwiękowy – huk odstrzału lub możliwe oddziaływanie powietrznej fali uderzeniowej. Nierzadko, wywołuje to krótkie drżenie pojedynczych przedmiotów szklanych lub ceramicznych, co w łącznym odczuciu stwarza przekonanie o szkodliwym i niszczącym wpływie odbieranych drgań.



Rys. 7. Wykres szkodliwości drgań na ludzi dla wektora pionowego

Fig. 7. Diagram of the harmfulness of vibrations on people for the vertical vector

Rys. 8. Wykres szkodliwości drgań na ludzi dla wektora X Fig. 8. Diagram of the harmfulness of vibrations on people for vector X Rys. 9. Wykres szkodliwości drgań na ludzi dla wektora Y Fig. 10. Vibration damage graph on humans for vector Y

4. PODSUMOWANIE

Ocena szkodliwości drgań w odniesieniu zarówno do ludzi, jak i budynków jest zagadnieniem złożonym i wymagającym krytycznego podejścia do wielu elementów

całego procesu. Poczynając od identyfikacji warunków geologiczno-górnich prowadzenia robót strzałowych, poprzez stosowane parametry odstrzałów aż do oceny stanu technicznego badanych obiektów i wymagań stosowanej aparatury pomiarowej. Analiza wyników i ich interpretacja, połączona z doświadczeniem zespołu badawczego pozwala na wysuwanie prawidłowych wniosków. Zagadnienie oceny niekorzystnych oddziaływań, łączy w sobie zarówno działania techniczne jak i psychologiczne. Przekłada się na działania oraz wytyczne zmierzające z jednej strony do zmian parametrów technologicznych stosowania MW, jak i merytorycznego, popartego wynikami badań, wyjaśnienia uzyskanych efektów zainteresowanym stronom. Eksploatacja górnicza prowadzona z zastosowaniem materiałów wybuchowych zawsze wywołuje interakcje mieszkających w pobliżu ludzi, a utrzymanie poprawnych relacji lokalnej społeczności jest trudnym zadaniem dla kierownictwa i właścicieli kopalni, nierzadko wybiegającym poza techniczno-prawne ramy działalności.

LITERATURA

- [1] PN-B-02170:2016-12. *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.*
- [2] PN-B-02171:2017. *Ocena szkodliwości drgań na ludzi w budynkach.*
- [3] Rozporządzenie ME z dnia 9 listopada 2016 r. ws. szczegółowych wymagań dotyczących przechowywania i używania środków strzałowych i sprzętu strzałowego w ruchu zakładu górniczego (Dz.U. 2017, 321).
- [4] STYPUŁA K., *Wpływ drgań na budynki i ludzi w budynkach – normy i sporządzanie opinii*, Małopolska Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa, Kraków 2018, 135–156.
- [5] KAWECKI J., STYPUŁA K., *Błędy w prognozowaniu i diagnostyce wpływów dynamicznych na budynki*. Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo PK, Kraków 2008, z. 1-M, s. 127–136.
- [6] MODRZEJEWSKI Sz., *Prognozowanie wpływów robót strzałowych prowadzonych w górnictwie odkrywkowym na środowisko*, Górnictwo Odkrywkowe, 2004, nr 5–6, s. 35–42.
- [7] MUTKE G., *Oddziaływanie górniczych wstrząsów sejsmicznych na powierzchnię*, GIG, Katowice 2019.
- [8] TATARA T., KUBOŃ P., *Wpływ robót strzałowych na stan obiektów budowlanych będących w ich zasięgu*. Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo PK, Kraków 2011, z. 3-B, s. 323–338.
- [9] KOCZWARA-KOWALSKA A., *Wpływ drgań transportowych na ludzi przebywających w budynkach w aspekcie wybranych kryteriów ewaluacyjnych*, Wydawnictwo PK, Kraków 2019.

PERCEPTIBILITY AND HARMFULNESS OF PARASEISMIC VIBRATIONS CAUSED BY ROCK BLASTING

The article presents the dependencies and differences in the assessment of the perceptibility and harmfulness of vibrations caused by blasting operations on people in buildings and on buildings. It presents the requirements for basic descriptions, measurements and analyses. Assessment of the harmfulness of vibrations to both people and buildings is a complex issue that requires a critical approach to many elements of the entire process. Starting from the identification of geological and mining conditions of the blasting operations, through the shooting parameters used, to the assessment of the technical condition of the tested objects and the measuring equipment used. On the basis of the conducted research and the experience gained, sample results are presented, illustrating the reasons for the raised complaints and reports related to impacts caused by blasting operations.

Katarzyna GUZIK
Jarosław KAMYK
Alicja KOT-NIEWIADOMSKA

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

POTENCJALNIE STRATEGICZNE ZŁOŻA PIASKÓW I ŻWIRÓW DO PRODUKCJI KRUSZYW ORAZ METODYKA ICH WYBORU

W pracy przedstawiono wyniki wielokryterialnych waloryzacji złóż piasków i żwirów do produkcji kruszyw naturalnych w Polsce. Celem opracowania jest identyfikacja najcenniejszych złóż o potencjalnie strategicznym znaczeniu, wymagających ochrony w celu możliwości podjęcia przyszłej ich eksploatacji. Do analizy wybrano niezagospodarowane złoża żwiru (punkt piaskowy p.p. <30%), o zasobach przekraczających 10 mln t oraz piasków i żwirów (p.p. 30–75%) o zasobach powyżej 20 mln t. Przeprowadzone analizy wskazały na wysoce ograniczoną dostępność złóż posiadających zasoby o najlepszych parametrach. Takich złóż, które nie wykazują konfliktowości środowiskowo-przestrzennej wskazano w kraju zaledwie kilka. Prowadzone prace uwypukliły również pewne niedoskonałości dotychczas stosowanych metod waloryzacyjnych i konieczność ich dostosowania do specyfiki złóż piaskowo-żwirowych.

1. WPROWADZENIE

Kruszywa naturalne piaskowo-żwirowo mają kluczowe znaczenie dla krajowej branży budowlanej i drogowej [10]. Zapewnienie stabilnych dostaw surowców w perspektywie długoterminowej jest niezbędne dla rozwoju tych sektorów gospodarki oraz możliwości realizacji inwestycji infrastrukturalnych. Wielkość zużycia kruszyw naturalnych piaskowo-żwirowych w Polsce osiągnęła maksimum w 2011 r. (112 mln t), a w ostatnim dziesięcioleciu wynosi 74–105 mln t/r. [4]. Stanowi to znaczący wzrost w porównaniu z początkiem lat 2000, gdy krajowe zapotrzebowanie na kruszywa nie przekraczało 40–50 mln t/r.

Niemal całość krajowych potrzeb pokrywana jest z własnych źródeł, uzupełnianych w niewielkim zakresie importem (od 12 tys. t/r. do 3 mln t/r. w latach 2000–2022). Polska posiada znaczącą bazę zasobową piasków i żwirów do produkcji kruszyw, która według stanu na 31.12.2022 r. obejmowała 10 999 złóż o łącznych zasobach 20 664 mln

(721,8 mln t) i śląskie (893,8 mln t). Dodatkowo pięć złóż udokumentowanych jest w Polskiej Wyłącznej Strefie Ekonomicznej na Morzu Bałtyckim – rys. 1 [1].

Przeciętna wielkość zasobów bilansowych w udokumentowanym złożu wynosi ~1878,7 tys. t. Województwami o największej średniej wielkości zasobów są: opolskie (7150,2 tys. t), małopolskie (4617,5 tys. t), dolnośląskie (4578,6 tys. t) oraz lubuskie (4016,2 tys. t). Największe rozproszenie zasobów notowane jest natomiast w województwach: kujawsko-pomorskim, łódzkim i wielkopolskim, gdzie przeciętne zasoby w udokumentowanych złożach wynoszą od 641,6 do 886,3 tys. t.

W strukturze jakościowej zasobów bilansowych kruszyw piaskowo-żwirowych wyraźnie dominuje piasek, którego udział zwiększył się w latach 2015–2022 z 42,6 do 49,1%. Zasoby piasku ze żwirem stanowią obecnie ok. 46,0%, a ich udział zmniejszył się w porównaniu do 2015 r. o ~7%. Zawartość najcenniejszego składnika – żwiru jest niewielka; stanowiąc ~5% łącznych zasobów (tab. 1).

Tabela 1. Struktura jakościowa zasobów w złożach kruszyw piaskowo-żwirowych w Polsce [1]

Table 1. Structure of sand and gravel resources in Poland [1] and previous editions

| Rodzaj kopaliny | Zasoby w 2015 r. [mln t] | Udział w zasobach 2015 r. [%] | Zasoby w 2022 r. [mln t] | Udział w zasobach 2022 r. [%] |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Piasek | 7938 | 42,6 | 10 136 | 49,1 |
| Piasek ze żwirem | 9813 | 52,6 | 9512 | 46,0 |
| Żwir | 860 | 4,6 | 978 | 4,7 |
| Piasek pylasty, gliniasty | 29 | 0,2 | 38 | 0,2 |
| Ogółem | 18 639 | 100 | 20 664 | 100 |

Warto podkreślić, że złoża charakteryzujące się większym udziałem żwiru występują w Polsce południowej, zachodniej i północnej. Deficyt tego rodzaju kruszyw występuje natomiast w centralnej części kraju, poczynając od Wielkopolski, aż po Lubelszczyznę [2, 5, 7, 10, 12].

Zasoby przemysłowe kruszyw piaskowo-żwirowych wg stanu na 31.12.2022 r. wyniosły 4337,3 mln t [1], co stanowiło ok. 30% łącznych zasobów bilansowych. Wskaźnik wykorzystania zasobów bilansowych, obliczony jako iloraz zasobów przemysłowych i bilansowych wyrażony w procentach, jest najwyższy w województwach: podlaskim, łódzkim, kujawsko-pomorskim, wielkopolskim, zachodniopomorskim oraz warmińsko-mazurskim (powyżej 30%). W najmniejszym stopniu zagospodarowane są natomiast zasoby kruszyw piaskowo-żwirowych województw świętokrzyskiego, opolskiego i małopolskiego, gdzie wskaźnik wykorzystania zasobów przemysłowych wynosi poniżej 10%.

2.1. ZŁOŻA NIEZAGOSPODAROWANE

Według stanu na koniec 2022 r. w Polsce było 4110 złóż niezagospodarowanych o łącznych zasobach 12 545,18 mln t. Statystyki te obejmują wyłącznie złoża o zasobach rozpoznanych wstępnie i szczegółowo, nie uwzględniono w nich natomiast złóż o wydobywaniu zaniechanym. Największymi zasobami bilansowymi w złożach niezagospodarowanych dysponują województwa: dolnośląskie, małopolskie, opolskie i podkarpackie (powyżej 1000 mln t), najmniejszymi natomiast województwo kujawsko-pomorskie i łódzkie (poniżej 500 mln t) – [1].

Wśród niezagospodarowanych złóż dominują złoża małe, o zasobach kilkadziesiąt–kilkaset tys. t. Wśród 4110 niezagospodarowanych złóż 2748 stanowiły złoża o zasobach poniżej 1 mln t (tab. 2). Przypadało na nie jednak zaledwie 6,8% łącznych zasobów złóż nieeksploatowanych. Złóż o zasobach z przedziału 1–10 mln t było 1123 (28,5% łącznych zasobów), a z przedziału 10–20 mln t – 132 (14,8%). Połowa zasobów złóż niezagospodarowanych przypadała na złoża o zasobach powyżej 20 mln t. Łącznie takich złóż było 107, w tym 22 o wielkości zasobów między 50 a 100 mln t oraz 10 o wielkości zasobów przekraczającej 100 mln t (tab. 2).

Biorąc po uwagę dystrybucję zasobów oraz różnicowanie parametrów jakościowych (wyrażone zmienną zawartością żwiru) w dalszych analizach skupiono się wyłącznie na niezagospodarowanych złożach kruszyw o zasobach:

- powyżej 20 mln t i p.p. 30–75%,
- powyżej 10 mln t i p.p. <30%.

Tabela 2. Dystrybucja zasobów w złożach kruszyw piaskowo-żwirowych w Polsce w 2022 r. (w mln ton); obliczenia własne na podstawie [1]

Table 2. Distribution of sand and gravel deposits' resources in Poland in 2022 (in million tonnes); own calculations based on [1]

| Przedział zasobów [mln t] | Liczba złóż | Zasoby bilansowe [mln t] | Udział w łącznych zasobach [%] |
|---------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------------|
| >100 | 10 | 2 421 | 19,3 |
| 50–100 | 22 | 1 618 | 12,9 |
| 20–50 | 75 | 2 225 | 17,7 |
| 10–20 | 132 | 1 862 | 14,8 |
| 1–10 | 1 123 | 3 569 | 28,5 |
| 0,1–1 | 2 167 | 818 | 6,5 |
| Do 0,1 i pozabilansowe | 581 | 32 | 0,3 |
| Razem | 4 110 | 12 545 | 100 |

3. DOSTĘPNOŚĆ NIEZAGOSPODAROWANYCH ZŁÓŻ PIASKOWO-ŻWIROWYCH W ŚWIETLE WYKONANYCH WALORYZACJI

3.1. WYNIKI WALORYZACJI ZŁÓŻ WEDŁUG KRYTERÓW [11] WRAZ Z AKTUALIZACJĄ

W przeprowadzonej w 2013 r. waloryzacji niezagospodarowanych złóż surowców skalnych w Polsce [11], analizie poddano 237 złóż piasków i żwirów. Wśród nich było 86 złóż kruszyw żwirowo-piaskowych i piaskowo-żwirowych o p.p. 30–75% (podział wg aktualnego bilansu [1]), w których wielkość zasobów przekraczała 20 mln t. Z kolei złóż kruszyw żwirowych o p.p. <30% i zasobach powyżej 10 mln t było zaledwie 8. Złoża te zostały poddane wielokryterialnej ocenie pozwalającej na stworzenie ich rankingu w czterech kategoriach: atrakcyjności surowcowej, atrakcyjności górniczej, dostępności środowiskowej oraz dostępności planistycznej.

Tabela 3. Waloryzowane złożach kruszyw piaskowo-żwirowych w Polsce, spełniające minimalny próg wielkości zasobów (w tys. ton); obliczenia własne na podstawie [1]
Table 3. Distribution of sand and gravel deposits' resources in Poland in 2022 (in thousands tonnes); own calculations based on [1]

| Województwo | Liczba złóż | Wielkość zasobów [tys. t] |
|---|-------------|---------------------------|
| Kruszywa o p.p. <30% i zasobach > 10 mln t | | |
| małopolskie | 2 | 391 401 |
| dolnośląskie | 2 | 58 515 |
| opolskie | 1 | 57 220 |
| śląskie | 2 | 25 235 |
| podkarpackie | 1 | 13 264 |
| ogółem | 8 | 545 635 |
| Kruszywa piaskowo-żwirowe i żwirowo-piaskowe o p.p. 30–75% i zasobach >20 mln t | | |
| dolnośląskie | 12 | 844 731 |
| opolskie | 10 | 657 918 |
| małopolskie | 8 | 496 352 |
| podlaskie | 11 | 482 908 |
| lubuskie | 2 | 384 808 |
| warmińsko-mazurskie | 4 | 219 203 |
| podkarpackie | 4 | 208 928 |
| śląskie | 4 | 150 065 |
| zachodniopomorskie | 3 | 79 741 |
| pomorskie | 2 | 54 957 |
| świętokrzyskie | 1 | 39 058 |
| mazowieckie | 1 | 31 925 |
| wielkopolskie | 1 | 31 342 |
| łódzkie | 1 | 23 230 |
| ogółem | 64 | 3 705 166 |

Ostatnio przeprowadzona analiza wykazała, że liczba niezagospodarowanych złóż kruszyw o p.p. 30–75% wg stanu na 31.12.2022 r. wynosi 64, a wielkość ich zasobów 3705,2 mln t (tab. 3). Od czasu poprzedniej waloryzacji (w 2013 r.) wielkość tych zasobów uległa zatem uszczupleniu o ok. 20%. Mniejszy spadek (o ok. 2%) notowany był w przypadku kruszyw o p.p. <30% (tab. 3) [8].

Waloryzowane złoża kruszyw żwirowych o zasobach >10 mln t udokumentowane są w pięciu województwach. Pod względem malejącej wielkości zasobów są to: województwo małopolskie, dolnośląskie, opolskie, śląskie i podkarpackie (tab. 3). Większość niezagospodarowanych zasobów znajduje się w województwie małopolskim, gdzie w jednym tylko złożu Czarny Dunajec udokumentowano 380,9 mln t zasobów bilansowych.

Duże złoża kruszyw piaskowo-żwirowych i żwirowo-piaskowych – z zasobami >20 mln t, są zdecydowanie powszechniejsze od złóż żwirów, a ich zasoby występują na obszarze 14 województw (tab. 3); najwięcej w południowo-zachodniej i południowej części kraju, w województwach: dolnośląskim (12 złóż), opolskim (10 złóż) oraz małopolskim (8 złóż). Znacznymi zasobami (>100 mln t) dysponują również województwa: podlaskie, lubuskie, warmińsko-mazurskie, podkarpackie oraz śląskie.

Wśród analizowanych niezagospodarowanych złóż kruszyw są złoża o ogromnych zasobach. Największe z nich to złoża: Nowogród Bobrzański-Zbiornik (364,1 mln t) w województwie lubuskim; Bielice-Zbiornik (322,7 mln t) i Otmuchów-Zbiornik (110,4 mln t) w opolskim, Czarny Dunajec-Zbiornik (294,4 mln t) w małopolskim oraz Legnica-Pole Wschód w dolnośląskim (282, 3 mln t). Tylko w tych pięciu złożach udokumentowanych jest łącznie 1372,8 mln t kruszyw.

Wyniki waloryzacji analizowanych niezagospodarowanych złóż kruszyw piaskowo-żwirowych wykazały, że pod względem atrakcyjności surowcowej wszystkie te złoża w trójstopniowej skali ocen (gdzie: N oznacza kategorię najwyższą, W – wysoką i Z – zwykłą, zadowalającą lub niską) zaliczyć można do kategorii W (tab. 4). Pod względem atrakcyjności górniczej i warunków eksploatacji większość złóż uzyskała ocenę N – najwyższą, dobre warunki (34 złoża, w tym 4 złoża żwirów) lub W – wysoka, warunki utrudnione (33 złoża, w tym 4 złoża żwirów). Do niższej kategorii Z – zadowalająca, warunków trudnych, zaliczonych zostało tylko 5 złóż.

Zdecydowanie mniej korzystnie przedstawiają się wyniki analizy dostępności złóż z uwagi na uwarunkowania środowiskowe i planistyczne. W przypadku oceny uwarunkowań środowiskowych tylko 15 złóż (w tym 3 złoża żwirów) zaliczono do najwyższej kategorii N, co oznacza brak ograniczeń środowiskowych do podjęcia eksploatacji. Pozostałe to złoża o różnym stopniu konfliktowości, których dostępność – zgodnie z zaproponowanym podziałem, oznaczono jako W – warunkowa, utrudniona (33 złoża, w tym 3 złoża żwirów), bądź Z – zastrzeżona, ograniczona (24 złoża, w tym 2 złoża żwirów).

W kategorii ograniczeń planistycznych najwyższą w czterostopniowej skali ocenę N, dostało 49 złóż (w tym 2 żwirowe), a kolejnych 19 złóż (w tym 3 żwirowe) dostało ocenę W (wysoką). Największe ograniczenia planistyczne stwierdzono w przypadku złóż zaliczonych do kategorii Z – zabraniająca (2 złoża, w tym jedno żwirów) oraz kategorii X – wykluczająca (1 złożo żwirów; tab. 4).

Tabela 4. Wyniki waloryzacji złóż według metodyki Niecia, Radwanek-Bąk [8] oraz projektu MINATURA 2020 [3]

Table 4. Results of deposits valorisation according to criteria developed by Nieć, Radwanek-Bąk [8] and within MINATURA 2020 project [3]

| Złoże | Województwo | Zasoby [tys. t] | Waloryzacja wg [8] | Waloryzacja wg [3] |
|---|---------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Kruszywa o p.p. <30% i zasobach >10 mln t | | | | |
| Czarny Dunajec | małopolskie | 380 859 | WNWN | MDoPI-RL |
| Raclawice Śl.-Głogówek | opolskie | 57 220 | WWZW | MDoPI-RL |
| Rzymówka-Zbiornik | dolnośląskie | 45 690 | WNZW | MDoPI-RL |
| Babice | podkarpackie | 13 264 | WWNZ | MDoPI-RL |
| Kobiernice | śląskie | 13 185 | WNNN | MDoPI-RL |
| Słup (zbiornik) | dolnośląskie | 12 825 | WWNX | Non-MDoPI |
| Wieprz | śląskie | 12 050 | WWWZ | MDoPI-RL |
| Bielany-Nowa Wieś pole A | małopolskie | 10 542 | WNWW | MDoPI-RL |
| Kruszywa piaskowo-żwirowe i żwirowo-piaskowe o p.p. 30–75% i zasobach >20 mln t | | | | |
| Nowogród Bobrzański-Zbiornik | lubuskie | 364 054 | WNWN | MDoPI-RL |
| Bielice-Zbiornik | opolskie | 322 679 | WNZW | Non-MDoPI |
| Czarny Dunajec-Zbior. | małopolskie | 294 438 | WNWW | MDoPI-RL |
| Legnica-Pole Wschód | dolnośląskie | 281 293 | WNWW | MDoPI-RL |
| Otmuchów-Zbiornik | opolskie | 110 361 | WWWN | MDoPI-RL |
| Wyszatyce | podkarpackie | 99 059 | WWWN | MDoPI-RL |
| Wincenta-Kumielsk | warmińsko-mazurskie | 93 375 | WWZN | MDoPI-RL |
| Potasznia | podlaskie | 93 345 | WWWN | MDoPI-RL |
| Trzebień-Zbiornik | dolnośląskie | 86 346 | WWZN | Non-MDoPI |
| Siedlce | | 80 866 | WNZN | Non-MDoPI |
| Lenartowice | | 68 262 | WNWW | MDoPI-RL |
| Bród Nowy VII ¹ | podlaskie | 66 678 | WNNN | MDoPI-RL |
| Kuleje | śląskie | 64 134 | WWZN | Non-MDoPI |
| Starosty | warmińsko-mazurskie | 57 567 | WWNN | MDoPI-RL |
| Potasznia II-1 | podlaskie | 55 950 | WWWN | MDoPI-RL |
| Bielanka (p. E) | dolnośląskie | 55 919 | WNWN | MDoPI-RL |
| Drogoszów | opolskie | 54 914 | WWZN | Non-MDoPI |
| Potasznia II | podlaskie | 54 417 | WWWN | MDoPI-RL |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------|---------------------|--------|------|-----------|
| Ubieszyn | podkarpackie | 52 110 | WNNW | Non-MDoPI |
| Nowa | dolnośląskie | 50 554 | WWWW | MDoPI-RL |
| Mokry Dwór | | 46 317 | WNWN | MDoPI-RL |
| Lipowskie | warmińsko-mazurskie | 46 004 | WWWN | MDoPI-RL |
| Włodzice Wielkie | dolnośląskie | 42 764 | WWNN | MDoPI-RL |
| Otok | | 41 364 | WWWN | MDoPI-RL |
| Bielawa Dolna | | 41 220 | WNWN | MDoPI-RL |
| Zofiówka | świętokrzyskie | 39 058 | WWWW | MDoPI-RL |
| Rębielice Królewskie | śląskie | 38 422 | WNNN | MDoPI-RL |
| Bolestraszyce | podkarpackie | 37 260 | WNZN | Non-MDoPI |
| Bohoniki III | podlaskie | 37 257 | WWNN | MDoPI-RL |
| Kamionka-Drahle | | 36 996 | WZNN | Non-MDoPI |
| Rozkochów | małopolskie | 35 397 | WWZW | Non-MDoPI |
| Jabłonka | | 35 068 | WWWN | MDoPI-RL |
| Wał Ruda-Zabawa | | 33 782 | WNWW | MDoPI-RL |
| Starowlany | podlaskie | 33 342 | WZNN | MDoPI-RL |
| Rostki-Borowce p. S | mazowieckie | 31 925 | WWZN | Non-MDoPI |
| Zaborowo | wielkopolskie | 31 342 | WZWW | MDoPI-RL |
| Namyślin | zachodniopomorskie | 31 028 | WNZN | MDoPI-RL |
| Kuków XII | podlaskie | 30 852 | WNNN | MDoPI-RL |
| Kierpień | opolskie | 30 379 | WWZN | MDoPI-RL |
| Zdarzec | małopolskie | 29 751 | WNWW | Non-MDoPI |
| Bielanka (p. W) | dolnośląskie | 28 752 | WNWN | MDoPI-RL |
| Kozin | pomorskie | 27 988 | WWZN | Non-MDoPI |
| Częstkowo Pole A i Pole B | | 26 969 | WNNZ | MDoPI-RL |
| Kamionka-Drahle 3 | podlaskie | 26 363 | WNWN | Non-MDoPI |
| Białe Ługi | małopolskie | 25 810 | WNWW | MDoPI-RL |
| Dobropole I | zachodniopomorskie | 25 781 | WNWN | Non-MDoPI |
| Otmuchów-Zbiornik I | opolskie | 25 251 | WNWN | MDoPI-RL |
| Bielice-Zbiornik I | | 25 086 | WNZN | MDoPI-RL |
| Szymany | podlaskie | 24 882 | WZZW | MDoPI-RL |
| Turze | śląskie | 24 417 | WWZN | MDoPI-RL |
| Poborszów | opolskie | 24 278 | WNZN | MDoPI-RL |
| Węże | łódzkie | 23 230 | WNZN | Non-MDoPI |
| Bojszowy II | śląskie | 23 092 | WNZN | MDoPI-RL |
| Bielinek IV pole A | zachodniopomorskie | 22 932 | WWZN | Non-MDoPI |
| Woźna Wieś | podlaskie | 22 824 | WZWW | Non-MDoPI |
| Gąsiorowo | warmińsko-mazurskie | 22 257 | WWZN | MDoPI-RL |
| Krępna | opolskie | 21 230 | WWZW | Non-MDoPI |
| Gracze | | 22 212 | WWNN | MDoPI-RL |
| Bobrowniki-Skałka | małopolskie | 22 058 | WNWW | MDoPI-RL |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------|--------------|--------|------|----------|
| Kobylice IV | opolskie | 21 528 | WNWN | MDoPI-RL |
| Topola-Śrem | dolnośląskie | 20 964 | WNWN | MDoPI-RL |
| Sanice | lubuskie | 20 754 | WWZN | MDoPI-RL |
| Wólka Ogryzkowa | podkarpackie | 20 499 | WWNN | MDoPI-RL |
| Brzeźnica II | małopolskie | 20 048 | WWWN | MDoPI-RL |

¹ Złoże posiada koncesję na eksploatację.

3.2. WYNIKI WALORYZACJI ZŁÓŻ WEDŁUG KRYTERÓW [3]

Metodyka waloryzacji złóż opracowana w ramach projektu *MINATURA 2020* [3] miała na celu wyznaczenie tzw. złóż o znaczeniu publicznym (MDoPI – Mineral Deposits of Public Importance); scharakteryzowanych w pracach [6, 9]. Zgodnie z założeniami tej metodyki najbardziej cenne złoża wyznaczane są na poziomie Unii Europejskiej, kraju lub regionu. Pozostałe złoża, które nie przekraczają założonego progu, nie zostają zaliczone do złóż o znaczeniu publicznym. Wspomniany próg to suma punktów w trzech ocenianych wymiarach: 1) wiedzy geologicznej, 2) technicznym i ekonomicznym oraz 3) środowiskowo-planistycznym).

Złoża kruszyw żwirowo-piaskowych ocenione zostały zgodnie z tą metodyką po raz pierwszy w 2023 r. [8]. W ramach projektu *MINATURA 2020* [3] tego rodzaju analiza przeprowadzona była tylko dla wybranych grup kopalin (nie obejmujących piasków i żwirów) i ograniczona wyłącznie do województwa dolnośląskiego.

W wyniku przeprowadzonej waloryzacji wyznaczonych zostało 7 złóż żwirów oraz 46 złóż kruszyw piaskowo-żwirowych i żwirowo-piaskowych o znaczeniu regionalnym (MDoPI-RL). Pozostałe złoża trafiły do grupy złóż nie posiadających statusu złóż o znaczeniu publicznym. W ocenianej grupie surowców nie wyznaczono złóż o znaczeniu krajowym.

3.2. PROBLEMY WYZNACZANIA ZŁÓŻ KRUSZYW ŻWIROWO-PIASKOWYCH O POTENCJALNIE STRATEGICZNYM ZNACZENIU

Termin złoża strategiczne wprowadzono do znowelizowanej ustawy *Prawa geologicznego i górniczego* [13]. Jest to takie złożo kopaliny, które ze względu na jego znaczenie dla gospodarki lub bezpieczeństwa kraju podlega szczególnej ochronie prawnej. Strategiczne złożo kopaliny powinno być dostępne do eksploatacji, biorąc pod uwagę uwarunkowania zagospodarowania terenu, oraz spełniać kryteria:

- posiadać podstawowe znaczenie dla gospodarki kraju lub dla interesu surowcowego państwa,
- charakteryzować się ponadprzeciętną dla danej kopaliny wielkością zasobów, lub
- udokumentowana w nim kopalina odznacza się unikatowymi parametrami.

Problematycznym zagadnieniem jest, czy złoża kruszyw piaskowo-żwirowych powinny posiadać status złóż strategicznych. Niewątpliwie jednak są to złoża o kluczowym znaczeniu dla rozwoju budownictwa i drogownictwa. Dyskusyjna ekonomika ich transportu na znaczne odległości, powoduje, że są to również złoża o bardzo dużym znaczeniu na poziomie lokalnym i regionalnym. Z tych też powodów bardzo istotną kwestią staje zapewnienie do nich dostępu. W szczególności dotyczy to najbardziej deficytowych w skali kraju złóż o wysokiej zawartości żwiru. Jak wykazały analizy – niezagospodarowanych złóż kruszyw żwirowych o zasobach powyżej 10 mln t jest w Polsce zaledwie 8.

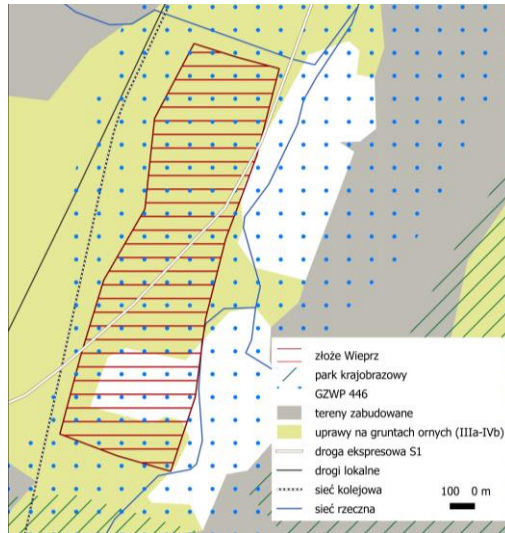
W wyniku waloryzacji analizowanych złóż przy użyciu dwóch metod stwierdzono, że korzystne uwarunkowania środowiskowe oraz przestrzenne posiada tylko 8 złóż, które w waloryzacji według kryteriów projektu [3] zaliczone zostały do złóż o znaczeniu publicznym na poziomie regionalnym (MDoPI-RL), a w szczególności:

- złoża kruszyw żwirowych Kobiernice,
- 7 złóż kruszyw żwirowo-piaskowych oraz piaskowo-żwirowych: Bród Nowy VII, Rębielice Królewskie, Kuków XII, Starosty, Bohoniki III, Gracze I i Wólka Ogryzkowa, w tym jedno z wydaną koncesją na eksploatację (Bród Nowy VII).

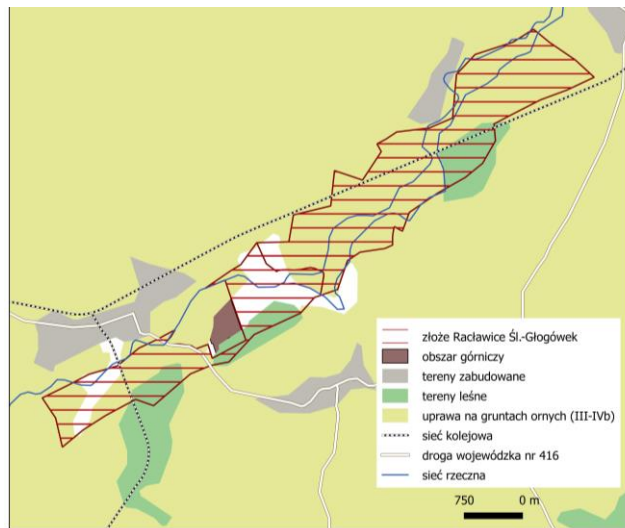
W przypadku pozostałych analizowanych złóż stwierdzono, że większość z nich posiada ograniczoną dostępność ze względów środowiskowych i/lub planistycznych. Częstą przyczyną konfliktowości złóż jest ich występowanie w granicach obszarów prawnie chronionych, w tym parków krajobrazowych i ich otulin, obszarów NATURA 2000 oraz obszarów chronionego krajobrazu. Nie jest to oczywiście jednoznaczne z brakiem możliwości eksploatacji złoża, ale znacząco utrudnia możliwości uzyskania decyzji koncesyjnej, najczęściej wiążąc się również z koniecznością przeprowadzenia oceny oddziaływania na środowisko oraz szeregiem działań kompensacyjnych.

Niekiedy w granicach jednego złoża występuje więcej niż jeden obszar chroniony. Mogą one pokrywać się zasięgiem lub występować w różnych częściach złoża (zwłaszcza w przypadku złóż o dużej powierzchni). Dodatkowymi ograniczeniami są lasy i/lub gleby chronione oraz ochrona wód podziemnych. Przykłady ograniczeń środowiskowo-przestrzennych występujących lub współwystępujących w granicach waloryzowanych złóż przedstawione zostały na rys. 2–6.

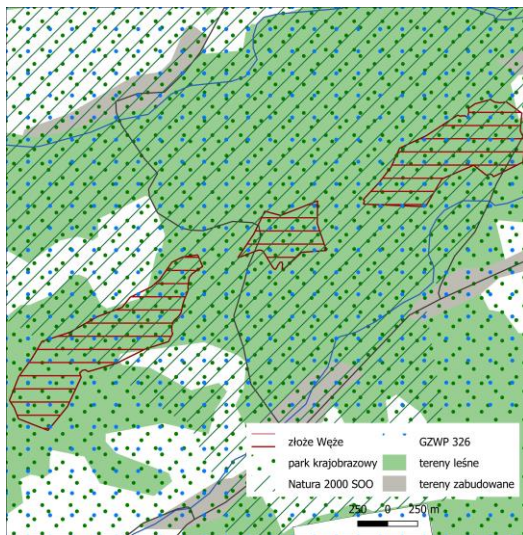
Kolejną często spotykaną sytuacją jest lokalizacja infrastruktury kolejowej oraz drogowej, w tym głównie dróg lokalnych, ale również wojewódzkich i ekspresowych na obszarze złoża (rys. 2, 3). W kryteriach waloryzacji uwzględniane są wprawdzie ograniczenia planistyczne dostępności złoża, ale są one zależne od stopnia zabudowy i udziału procentowego zajmowanej powierzchni. Warto byłoby dodatkowo uwzględnić takie czynniki, jak status drogi oraz jej przebieg, a także konieczność pozostawienia filarów ochronnych, gdyż wszystkie te czynniki mogą wpływać na znaczące ograniczenie wielkości dostępnych zasobów.



Rys. 2. Infrastruktura drogowa i kolejowa w rejonie złoża Wieprz
Fig. 2. Road and railway infrastructure on the surface and in the neighbourhood of Wieprz deposit



Rys. 3. Infrastruktura drogowa i kolejowa wokół złoża Raclawice Śl.-Głogówek
Fig. 3. Road and railway infrastructure in the neighbourhood of Raclawice Śl.-Głogówek deposit



Rys. 4. Środowiskowe ograniczenia dostępności złoża kruszyw piaskowo-żwirowych Węże
 Fig. 4. Environmental constraints of accessibility of sand and gravel Węże deposit

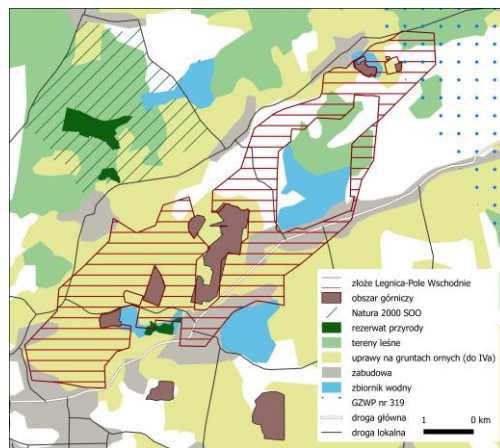
Przeprowadzona analiza wykazała potrzebę modyfikacji dotychczasowych kryteriów i dostosowania ich do specyfiki złóż kruszyw żwirowo-piaskowych. Obszar tych złóż często nie stanowi zwartej całości, ale kilka oddzielnych pól (rys. 2). Sytuację komplikować może fakt zmienności parametrów geologiczno-górnictwowych w poszczególnych polach i różne uwarunkowania środowiskowo-przestrzenne. Powoduje to, że takie złoże nie powinno być rozpatrywane jako jedno o bardzo dużych zasobach; każda z części wymagać będzie odrębnego udostępnienia, gdyż odległość między nimi osiąga nawet kilkaset metrów.

Częstą praktyką w przypadku złóż kruszyw żwirowo-piaskowych jest również wydzielenie z większego złoża kilku mniejszych złóż, które niejednokrotnie są już obecnie przedmiotem eksploatacji (rys. 5, 6). W tej sytuacji wielkość zasobów tego złoża powinna zostać pomniejszona, a dodatkowo należałoby wziąć pod uwagę, że pozostawione fragmenty prawdopodobnie nie będą mogły w przyszłości podlegać udostępnieniu jako samodzielne złoże (ewentualnie jako kontynuacja już prowadzonej eksploatacji).

Wieloraki charakter możliwej konfliktowości złoża powoduje, że każde powinno być analizowane indywidualnie, biorąc pod uwagę charakter ograniczeń czy wręcz istniejące zapisy lokalnych dokumentów planistycznych. Istnienie lasów nie przesądza o braku możliwości eksploatacji, gdyż znaczna ich część ma charakter gospodarczy. Również występowanie głównego zbiornika wód podziemnych nie musi stanowić ograniczenia, szczególnie gdy znajduje się on w obrębie warstw, które nie będą podlegały eksploatacji.



Rys. 5. Złoże Potasznia, w którego pierwotnych granicach udokumentowano kilka innych złóż
Fig. 5. Potasznia deposit within which originally borders several other deposits have been documented



Rys. 6. Uwarunkowania środowiskowe i planistyczne występowania złoża Legnica- Pole Wschodnie, w którego pierwotnych granicach udokumentowano kilka innych złóż
Fig. 6. Environmental and spacial conditions of Legnica-Pole Wschodnie deposit location, within which originally borders several other deposits have been documented

Odrębną kwestią jest występowanie wielu spośród analizowanych złóż w obrębie planowanych bądź projektowanych zbiorników retencyjnych. W takiej sytuacji z uwa-

gi na racjonalną gospodarkę zasobami i uniknięcie bezpowrotnej utraty zasobów, złoża powinno zostać wyeksploatowane przed budową tego rodzaju zbiorników.

4. PODSUMOWANIE

Kruszywa naturalne (zarówno łamane, jak i żwirowo-piaskowe) zostały w Polityce Surowcowej Państwa [14] uznane za surowce strategiczne dla krajowej gospodarki. Ten sam dokument w obrębie celu szczegółowego „Ochrona złóż kopalin”, działanie 2 wskazuje na konieczność wytypowania złóż o znaczeniu strategicznym dla gospodarki krajowej i regionalnej na podstawie wypracowanych metod ich waloryzacji. I dalej działanie 3 mówi o wypracowaniu metodyki kwalifikowania kopalin do grupy kopalin o znaczeniu strategicznym dla gospodarki krajowej i regionalnej w celu objęcia ich złóż szczególną ochroną. Biorąc pod uwagę tylko te zapisy PSP można zaryzykować stwierdzenie, że konieczność wskazania złóż kruszyw piaskowo-żwirowych wymagających ochrony jest wręcz konieczna.

Nadal dyskusyjne pozostaje czy ich „strategiczność” powinna mieć charakter krajowy (stawiając ten surowiec obok takich jak węgiel kamienny czy miedź) czy regionalny. Powszechność występowania złóż kruszyw piaskowo-żwirowych może być tym czynnikiem, który zdefiniuje je jako surowce strategiczne dla gospodarki regionalnej. Jednak jak wskazały przedstawione analizy, powszechność tego surowca jest w dużym stopniu pozorna. Z niemal 11 tys. złóż zdołano wytypować zaledwie 8, które charakteryzują się ponadprzeciętną wielkością zasobów, jakością kopaliny i korzystnymi uwarunkowaniami środowiskowo-przestrzennymi.

Oczywiście wskazanie danego złoża jako strategicznego będzie niosło za sobą wiele konsekwencji, w tym konieczność wprowadzenia do dokumentów planistycznych z odpowiednimi zapisami gwarantującymi dostęp do złoża. To z pewnością nie pozostanie bez echa wśród lokalnej społeczności, która z dużym prawdopodobieństwem będzie upatrywać w tych działaniach ograniczeń w korzystaniu ze swoich nieruchomości. Z tego też powodu kluczowe jest opracowanie odpowiedniej metodyki, która w sposób jak najbardziej kompleksowy uwzględni lokalne uwarunkowania.

Być może należy przyjąć założenie, że nie wszystkie grupy kopalin można waloryzować jedną metodyką i dalej, że niektóre z nich wymagają szczególnego podejścia. W tej drugiej grupie powinny się też znaleźć złoża kruszyw żwirowo-piaskowych. Tym działaniom powinna towarzyszyć świadomość znaczenia tej grupy kopalin dla gospodarki krajowej. Z pewnością podlegają one okresom zmiennego zapotrzebowania wynikającym z sytuacji w sektorze budownictwa drogowego i kubaturowego. Bez względu jednak na tę zmienność są one w tej branży surowcem podstawowym, gwarantującym realizację inwestycji w skali krajowej.

LITERATURA

- [1] *Bilanse Zasobów Złóż Kopalin w Polsce*, Wydawnictwo PIG-PIB, Warszawa 2023 i wcześniejsze.
- [2] GALOS K. (red.), GUZIK K., SZLUGAJ J., KOT-NIEWIADOMSKA A., KAMYK J., *Scenariusze zagospodarowania i wykorzystania surowców skalnych w województwie warmińsko-mazurskim*, Wydawnictwo Poltegor-Instytut, Wrocław 2013.
- [3] GALOS K., KOT-NIEWIADOMSKA A., NIEĆ M., *MINATURA2020 Project. MINATURA Deliverable 2.2. Set of qualifying conditions for a harmonised mapping framework (HMF) for each type of mineral* (manuscript), 2016.
- [4] GALOS K., LEWICKA E. (red.), *Rocznik Gospodarka surowcami mineralnymi w Polsce w latach 2012–2021*, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2022 i wcześniejsze, p. 384.
- [5] GALOS K., SMAKOWSKI T., *Regionalne relacje podaży do popytu w Polsce dla kruszyw żwirowo-piaskowych*, *Górnictwo Odkrywkowe*, 2013, 56, pp. 194–202.
- [6] GALOS K., TIESS G., KOT-NIEWIADOMSKA A., MURGUIA D., WERTICHOVA B., *Mineral Deposits of Public Importance (MDoPI) in relation to the Project of the National Mineral Policy of Poland*. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Mineral Resources Management*, 2018, 34 (8), pp. 5–24.
- [7] GUZIK K. (red.), GALOS K., SZLUGAJ J., KOT-NIEWIADOMSKA A., KAMYK J., *Scenariusze zagospodarowania i wykorzystania surowców skalnych w województwie podlaskim*, Wydawnictwo Poltegor-Instytut, Wrocław 2013.
- [8] GUZIK K., KAMYK J., KOT-NIEWIADOMSKA A., *Undeveloped deposits of sand and gravel aggregates with potential strategic importance in Poland*. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Mineral Resources Management*, 2024 (w druku).
- [9] KOT-NIEWIADOMSKA A., GALOS K., LEWICKA E., BURKOWICZ A., KAMYK J., SZLUGAJ J., *Methodology of assignment of Mineral Deposits of Public Importance proposed by MINATURA2020 Project and results of its pilot testing in the Dolnośląskie Province (SW Poland)*, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Mineral Resources Management*, 2017, Vol. 33, Issue 3, pp. 71–94.
- [10] KOZIOŁ W., GALOS K. (red.), *Scenariusze zapotrzebowania na kruszywo naturalne w Polsce i w poszczególnych jej regionach*, Wydawnictwo Poltegor-Instytut, Wrocław 2013.
- [11] NIEĆ M., RADWANEK-BAK B., *Zasady waloryzacji i hierarchizacji złóż kopalin skalnych*, [w:] M. Nieć (red.), *Waloryzacja niezagospodarowanych złóż kopalin skalnych w Polsce*, Wydawnictwo Poltegor-Instytut, Wrocław 2013, p. 201.
- [12] SZLUGAJ J. (red.), GALOS K., GUZIK K., KOT-NIEWIADOMSKA A., KAMYK J., *Scenariusze zagospodarowania i wykorzystania surowców skalnych w województwie mazowieckim*, Wydawnictwo Poltegor-Instytut, Wrocław 2013.
- [13] Ustawa z dnia 16 czerwca 2023 r. o zmianie ustawy *Prawo geologiczne i górnicze* oraz niektórych innych ustaw (DzU 2023.2029).
- [14] *Polityka surowcowa państwa*, Warszawa 2022.

POTENTIALLY STRATEGIC DEPOSITS OF SAND AND GRAVEL FOR AGGREGATE PRODUCTION AND METHODOLOGY OF THEIR SELECTION

The paper presents the results of multi-criteria valorisation of sand and gravel deposits for the production of natural aggregates in Poland. The aim of the study is to identify the most valuable deposits of potentially strategic importance that require protection in order to enable their future exploitation. Undeveloped deposits of gravel (p.p. <30%) with resources exceeding 10 million tons and sands and gravels

(p.p. 30–75%) with resources exceeding 20 million tons were selected for analysis. The analyses indicated a highly limited availability of deposits containing mineral resources of the highest value of analysed parameters. Only eight such deposits in the country have no environmental-spatial conflicts. The analyses highlighted certain imperfections of the valorisation methods used in the past and the need to adapt them to the specificity of sand and gravel deposits.

Urszula KAŻMIERCZAK¹

Marek W. LORENC²

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

² Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

REWITALIZACJA TERENÓW W GÓRNICTWIE SUROWCÓW SKALNYCH

Publikacja zwraca uwagę na przywracanie użyteczności terenom pogórnictwem, które powracają w nowej formie związanej z możliwością wykorzystania przez społeczeństwo. Przedstawione przykłady rekultywacji i zagospodarowania terenów pogórnictwem wskazują, że propozycje są przyjazne dla środowiska i pozytywnie odbierane przez społeczeństwo. Ponadto scharakteryzowane obiekty posiadają walory naukowe (geologiczne), historyczne (dziedzictwa kulturowego), a także turystyki przemysłowej. Wszystko to pokazuje, że górnictwo może być ostatecznie przyjazne zarówno środowisku, jak i społeczeństwu, jeśli rekultywacja terenów pogórnictwem zostanie odpowiednio zaprojektowana i wykonana. Może to się również przyczynić do wzrostu walorów przyrodniczych i użytkowych, a bilans całościowy bardzo często jest oceniany przez społeczeństwo jako dodatni.

1. WPROWADZENIE

Obszary pozostałe po zakończeniu eksploatacji odkrywkowej są terenami, na których naturalne środowisko bywa w różnym stopniu zdegradowane. Zamiany zachodzące w wyniku działalności górniczej powodują powstawanie sytuacji konfliktowych, w których trudno jest ustanowić kompromis między przemysłem górniczym a lokalnym społeczeństwem. Warto jednak zauważyć, że negatywna ingerencja w środowisko na etapie eksploatacji, po jej zaprzestaniu pozostawia obszar, który po wykonaniu odpowiednich działań może wnieść wiele pozytywnych walorów przyrodniczych i krajobrazowych, a nawet gospodarczych i rekreacyjnych.

W tym celu wykonuje się odpowiednie prace rekultywacyjne, a następnie – w miarę lokalnych możliwości lub oczekiwań – odpowiednie zagospodarowanie, uprzednio uzgodnione na etapie planowania przestrzennego. Takie działania rewitalizacyjne nadają terenom zupełnie nową, wcześniej nieoczekiwaną wartość. Powinny one koncentrować się na wprowadzaniu takich wartości, które sprawią, że objęte nimi miejsca będą mogły służyć zarówno ludziom, jak i naturze. Obiekty dawnych kopalń zasługują na szczegól-

ną uwagę także ze względu na ich wysoką wartość poznawczą i dydaktyczną. Prowadzenie rewitalizacji takich obiektów ma na celu zachowanie górniczego dziedzictwa kulturowego, co w rezultacie będzie zwiększać atrakcyjność i zainteresowanie regionem. Zagadnienie to jest przedmiotem niniejszej publikacji, w której przedstawiono różne przykłady rewitalizacji takich obiektów w Polsce, Anglii i w Austrii, które można rozpatrywać jako przykłady dobrych praktyk będących efektem przeprowadzonych działań na poeksploatacyjnych terenach górnictwa skalnego.

2. PRZYKŁADY DOBRZYCH PRAKTYK W REKULTYWACJI TERENÓW POEKSPLOATACYJNYCH GÓRNICTWA SKALNEGO

2.1. JURAPARK KRASIEJÓW

Eksploracja iłów i glin ze złoża „Krasiejów” odsłoniła prehistoryczne pokłady geologiczne, w których zachowały się szczątki lądowych i słodkowodnych kręgowców ery mezozoicznej – ery dinozaurów. Odkrycie to, spowodowało olbrzymią szansę na rozwój tego regionu, a zagospodarowanie poeksploatacyjnego terenu nie mogło odbyć się bez uwzględnienia aspektów wykopalisk.

Eksploracja złoża iłów i glin „Krasiejów” przekształciła teren o powierzchni 50 ha na głębokości 20 m. Powstanie wyrobiska umożliwiło dotarcie do szczątków zwierząt, które istniały miliony lat temu. z Jako pierwszy tego odkrycia dokonał Krzysztof Spałek w latach 80. XX w. Następnie badania prowadził prof. Jerzy Dzik, który dowiedział się o istnieniu skamieniałości od Roberta Niedźwieckiego (z Uniwersytetu Wrocławskiego). Poszukiwania przyniosły efekt i po kilku latach pracy mającej na celu wydobywanie szczątków, badania ich i rekonstruowania szkieletów oszacowano, że znaleziska należały do osobników zamieszkujących Ziemię 230 mln lat temu [3].



Rys. 1. Zrekonstruowany szkielet *Solesaurus opolenis* [5]
Fig. 1. Reconstructed skeleton of *Solesaurus opolenis* [5]

Najistotniejszym efektem prowadzonych badań było odkrycie najstarszej na świecie formy dinozaura *Solesaurus opolensis* – „śląski jaszczur spod Opola” (rys. 1). Jest to gatunek do tej pory znany jedynie z Krasiejowa. Inne odkryte gatunki, to m.in. metopozaur (*Metoposaurus diagnosticus krasiejowensis*) – płaz wodny o długości około 2 m (rys. 2), fitozaur (*Paleorhinus arenaceus*) – podobny do dzisiejszych krokodyli indyjskich 3,5 m gad wodny, cyklotozaur (*Cyclotosaurus*) – płaz wodny o długości 3 m (rys. 3), aetozaur (*Stagonolepis*) – 3,5 m gad lądowy, oraz teratozaur (*Teratosaurus*) – najpokaźniejszy, bo mający około 4 m długości drapieжник lądowy [5].

Rys. 2. *Metoposaurus* [5]Fig. 2. *Metoposaurus* [5]Rys. 3. *Cylotosaurus* [5]Fig. 3. *Cylotosaurus* [5]

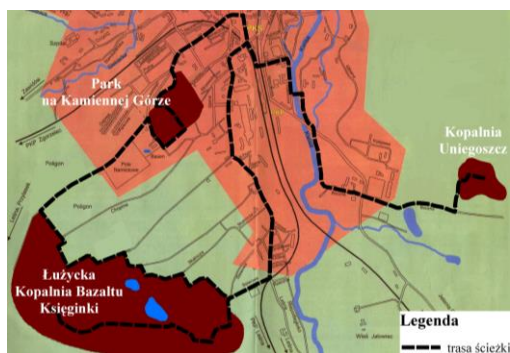
Okrycia te spowodowały utworzenie dwóch muzeów, jedno w dawnej szkole a drugie na złożu (2006 r.). To drugie muzeum-znalezisko znajduje się w Pawilonie Paleontolo-

gicznym, gdzie został przygotowany odsłonięty i nienaruszony przez badaczy fragment pokładu ilitu z zachowanymi kośćmi i fragmentami szkieletów gadów i płazów. Budynek tego muzeum został oparty o skarpe wyrobiska, a pod jej szklaną podłogą umieszczono największe w Europie nagromadzenie szczątków mezozoicznych gadów i płazów. Jest to jedyna w Polsce ekspozycja o charakterze „in situ”.

Obecnie obszar byłej kopalni jest częścią Juraparku, w którym znajduje się ścieżka edukacyjna z dinozaurami o długości 1500 m. Ścieżka prowadzi przez teren wyrobiska, a wzdłuż niej rozmieszczone są naturalnej wielkości rekonstrukcje gadów i płazów. Park Jurajski w Krasiejowie to ok. 200 modeli prawie 70 gatunków gadów i płazów. Można także odnaleźć zdjęcia z miejsc odkryć szczątków dinozaurów, a także liczne plansze z fotografiami środowisk roślinnych, w których żyły.

2.2. SZLAKIEM WYGASŁYCH WULKANÓW OKOLIC LUBANIA

Ścieżka dydaktyczna pieszo-rowerowa „Szlakiem Wygasłych Wulkanów” składa się z 15 stanowisk, a jej całkowita długość wynosi ok. 15 km (rys. 4), prowadzi ona z centrum Lubania do parku miejskiego na Kamiennej Górze, gdzie w starym kamieniołomie bazaltu zlokalizowano stanowiska obserwacyjne, i dalej nad wyrobisko czynnego kamieniołomu bazaltu „Księginki”. Tu część stanowisk znajduje się wewnątrz kopalni, do której wstęp jest możliwy jedynie za zgodą kierownika zakładu.



Rys. 4. Trasa ścieżki dydaktycznej „Szlakiem Wygasłych Wulkanów” [9]
Fig. 4. Route of the didactic path “Trail of Extinct Volcanoes”



Rys. 5. Tablica informacyjna
Fig. 5. Information board

Z „Księginek” ścieżka prowadzi wzdłuż rzeki Kwisy do znajdującego się poza obszarem Lubania byłego kamieniołomu bazaltu na Ostróżku – „Kopalnia Uniegoszcz”, z kolejnymi stanowiskami obserwacyjnymi. Każde stanowisko na ścieżce opisane jest na odpowiednich tablicach (rys. 5).

Pierwszym elementem ścieżki jest Park na „Kamiennej Górze” w Lubaniu. Zlokalizowano tu 7 punktów obserwacyjnych, z których 3 dotyczą samego kamieniołomu. Długość ścieżki wynosi ok. 4 km – po parku około 1,3 km. Park ten służy całej lokalnej społeczności, został założony na początku XIX w. Z Kamiennej Góry już od wczesnego średniowiecza pozyskiwano materiał budowlany – skałę bazaltową, z której powstało miasto: mury miejskie, wieże, baszty, drogi, domy itp. Po tym okresie pozostał w sercu góry kamieniołom nefelinitu, wkomponowany w założenia parkowe. Z uwagi na niezwykle wartości dydaktyczne, naukowe i widokowe – był kamieniołom został w 1983 r. uznany przez Wojewodę Jeleniogórskiego za pomnik przyrody nieożywionej i wpisany do rejestru zabytków.



Rys. 6. Tablica informacyjna parku
Fig. 6. Park information board

Rys. 7. Wejście do parku
Fig.7. Entrance to the park

Wejście do parku wyposażone jest w tablicę informacyjną, z zaznaczeniem lokalizacji stanowisk dydaktycznych, punktów obserwacyjnych i pomników przyrody ożywionej (rys. 6, 7). Ścieżka prowadzi bezpośrednio do kamieniołomu na stanowisko obserwacyjne nr 2a, ukazujące słupową budowę bazaltowej ściany. Wysokość słupów w odsłonięciu wynosi 13–18 m o zróżnicowanym przekroju od 0,5 do 1,5 m (rys. 8). W dolnej części usypane jest rumowisko skalne ze słupami o średnicy do 1 m (rys. 9).

Kolejnym stanowiskiem jest zbiornik wodny eliptycznego kształtu o wymiarach ok. 20 × 6 m, wypełniony wodą opadową i gruntową spływającą po powierzchni skał, jak i ze szczelin. Wysokość lustra wody w zbiorniku jest zmienna, co jest związane jest z porami roku (rys. 10). Ostatnim stanowiskiem jest odsłonięcie tufów bazaltowych i scementowanych pyłów wulkanicznych, w których tkwią kuliste konkracje – bryłki

bazaltowe 5–50 cm (rys. 11). Odsłonięcie to widoczne jest w północno-zachodniej części wyrobiska po obu stronach drogi przy wyjściu z kamieniołomu [2, 8].

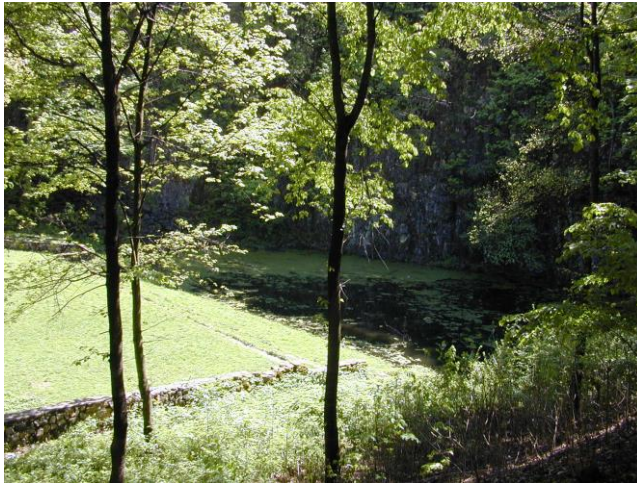


Rys. 8. Słupy bazaltowe
Fig. 8. Basalt pillars



Rys. 9. Słupy bazaltowe z rumowiskiem skalnym
Fig. 9. Basalt pillars with rock debris

Z Parku na „Kamiennej Górze” trasa ścieżki prowadzi na teren największej w Polsce odkrywkowej Łużyckiej Kopalni Bazaltu „Księginki”, z 3 stanowiskami dydaktycznymi, na trasie „Szlaku Wygasłych Wulkanów” i opisane w dwóch punktach obserwacyjnych. Całkowita długość ścieżki wynosi ok. 7 km. Podczas wędrowki po terenie kopalni można napotkać okazałe pomniki przyrody ożywionej i nieożywionej.



Rys. 10. Zbiornik wodny w parku „Na Kamiennej Górze”
Fig. 10. Water reservoir in the „Park on Kamienna Góra”



Rys. 11. Odślonięcie tufów bazaltowych
Fig. 11. Outcrop of basalt tuffs

Eksploatowane od 1905 r. złożę bazaltu „Bukowa Góra” w Księginkach powstało w okresie trzeciorzędu podczas wylewu lawy bazaltowej przez kilkuset metrowej długości szczelinę. Lava ta zastygając utworzyła pokrywę lawową nazywaną trapez bazaltowym. Brzeźna ściana trapezu bazaltowego występująca w nieczynnej części Kopalni „Księginki” – stanowisko obserwacyjne nr 10 ścieżki, jest przykładem pomnika przyrody nieożywionej, na którym można zaobserwować szczeliny ciosowe tworzące kolumny i spękania poprzeczne tworzące razem ścianę skalną wyglądem przypominającą poukładane jeden na drugim stopy kamiennych talerzy. W nieczynnej części kopalni można również zobaczyć jezioro, które szmaragdową barwę wody zawdzięcza bazaltom i oliwinom [8]. Na obrzeżach zachodniej czynnej części Kopalni zlokalizowano kolejne stanowisko obserwacyjne ścieżki – nr 8, dokumentujące postępującą rekultywację zwałowiska zewnętrznego oraz skutki współczesnych procesów geomorfologicznych w formie żłobin i rowów powstałych wskutek erozyjnej działalności wód opadowych (rys. 12).



Rys. 12. Widok na zwałowisko zewnątrz Łużyckiej Kopalni Bazaltu „Księginki”
Fig. 12. View of the external dump of the Lusatian Basalt Mine „Księginki”

Z Księgieńek następuje powrót do Lubania; ścieżka prowadzi wzdłuż Kwisy do jej ostatniego elementu –Wzgórza Ostrózek, gdzie zlokalizowano 5 stanowisk obserwacyjnych, w tym 3 z nieczynnej Kopalni Bazaltu „Uniegoszcz”. Złoże zostało wyeksploatowane w górnej i stokowej części w 1999 r. Wydobywano tutaj bazalt nefelinowy barwy szarostalowej. Wody opadowe spływają do bezimiennego potoku, który zasila dwa zbiorniki poniżej kopalni. Część wód gromadzi się na dnie wyrobiska w 3 zbiornikach o głębokości do 6 m (rys. 13).



Rys. 13. Widok na zbiorniki wodne na Wzgórzu Ostrózek [8]
Fig. 13. View of the water resevoirs on „Wzgórze Ostrózek” [8]

Odnajdziemy tu także formy wulkanizmu punktowego. Na ścianach wzniesienia można zaobserwować: niezniszczone pokrywy tufowe, zgorzel słoneczną, słupy bazaltowe oraz zwietrzały tuf bazaltowy z grubym materiałem piroklastycznym (rys. 14).



Rys. 14. Tufy bazaltowe
na ścianie wschodniej wzgórza
Fig. 14. Basalt tuffs
on the eastern wall of the hill

Rys. 15. Ściana bazaltu – cios kolumnowy
pod kątem 20–30 stopni
Fig. 15. Basalt wall – columnar low
at angle of 20–30 degrees

Ponadto na szczególną uwagę zasługuje ściana bazaltu, która posiada cios kolumnowy niespotykany do tej pory w żadnym kamieniołomie. Kolumny (szczególnie w centralnej części ściany) nie są prostopadłe do podłoża, lecz zapadają w kierunku południowo-zachodnim pod kątem 20–30°, o średniej grubości 1–1,5 m, dając efekt estetyczny, podobny do plastra miodu (rys. 15).

Teren byłej Kopalni Bazaltu „Uniegoszcz” posiada unikatowe walory: przyrodnicze, dydaktyczne i poznawcze. Został zagospodarowany w kierunku rekreacyjno-dydaktycznym i oddany w użytkowanie odpowiednim władzom. Niestety, pomimo swojej atrakcyjności teren ten jest obecnie bardzo zaniedbany; znalazł się w rękach właścicieli prywatnych i obecnie wstęp do kamieniołomu nie jest niestety możliwy. Warto w tym miejscu jednak wspomnieć, że przy odpowiedniej renowacji mógłby stać się jednym z ważniejszych atrakcji turystycznych okolic Lubania.



Rys. 16. Widok na panoramę okolic Lubania ze Wzgórza Ostrózek
Fig.16. View of the panorama of the Lubań area from Ostrózek Hill

Ze Wzgórza Ostrózek bardzo dobrze widać panoramę Lubania wraz z otaczającymi go wzgórzami bazaltowymi w formie stożków i pokryw lawowych. Widok ten jest idealnym miejscem kończącym trasę ścieżki dydaktycznej „Szlakiem Wygasłych Wulkanów” (rys. 16).

2.3. EDEN PROJECT (ANGLIA)

Na początku XIX w. w okolicach miejscowości St. Austell (środkowa Kornwalia) istniało wiele małych wyrobisk odkrywkowych, z których wydobywano kaolin. Po stopniowym łączeniu wyrobisk w okolicy wioski Bodelva powstała jedna duża kopalnia. Pochodzący stąd kaolin wykorzystywano głównie w przemyśle papierniczym zwłaszcza do produkcji surowca dla kolorowych magazynów (Mueller et al. 1999).

W połowie lat 90. XX w. po zakończeniu eksploatacji i zamknięciu kopalni pozostało zagłębienie przypominające krater o powierzchni 15 ha i głębokości ok. 60 m. W 1996 r. zrodził się pomysł stworzenia tu jedyne w swoim rodzaju ogrodu botanicznego. Budowę rozpoczęto w 1998 r. i już w marcu 2001 r. „Eden Project” został udostępniony dla publiczności, nieprzerwanie pełniąc trzy główne funkcje: przyrodniczą, edukacyjną i turystyczną.

Projekt „Eden” charakteryzuje niezwykle ciekawa i oryginalna architektura (rys. 17). Składają na nią przepuszczające światło półkuliste kopuły stalowych szkieletów pokrytych plastikowym poszyciem w kształcie sześciu- i pięciokątnych paneli, pod którymi znajdują się odmienne względem siebie i środowiska zewnętrznego – ekosystemy zwane biomami. Całość projektu to biom: śródziemnomorski, lasu deszczowego, a pomiędzy nimi budynek centrum dla odwiedzających [1].

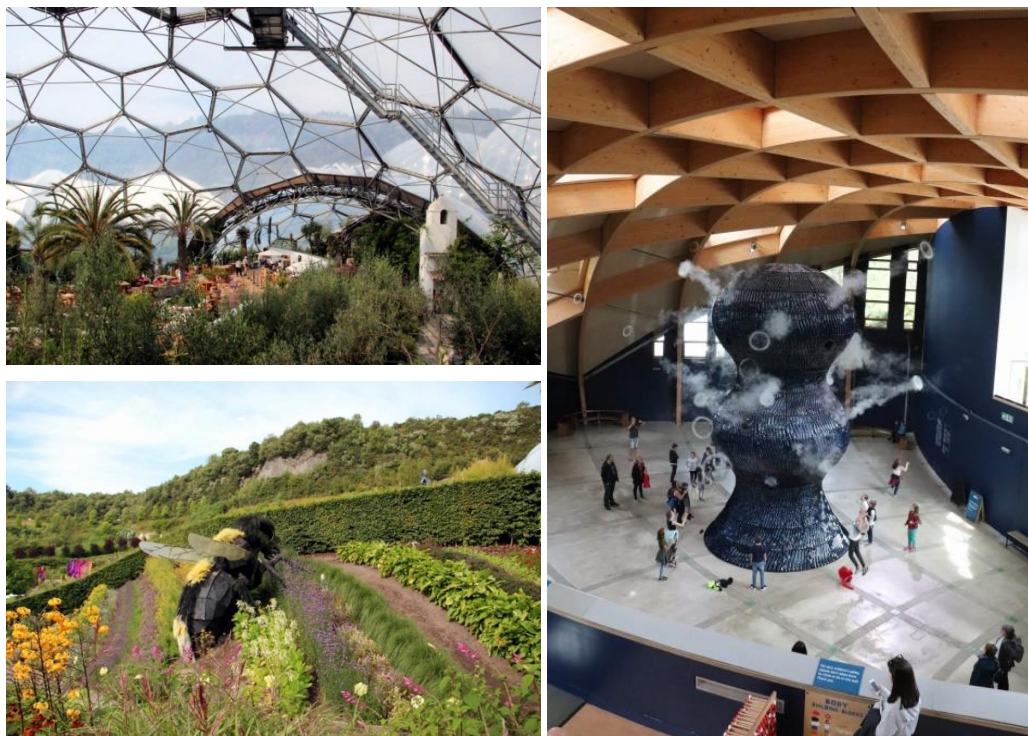


Rys. 17. Projekt Eden
Fig. 17. Eden Project

Biom lasu deszczowego odzwierciedla wilgotny klimat tropikalny, a przy wymiarach 240 m długości, 55 m wysokości i powierzchni 1,3 ha stanowi jednocześnie największą szklarnię świata. Tutaj znajdują się egzotyczne rośliny Afryki i Ameryki Południowej. Panujące tropikalne warunki zostały bardzo wiernie odtworzone. Biom śródziemnomorski, znajduje się pod mniejszą kopułą o długości 135 m, i powierzchni 0,6 ha. Rośliny są tu przystosowane do życia w trudniejszych warunkach wodno-glebowych strefy suchej klimatu śródziemnomorskiego o gorących latach i deszczowych, ciepłych zimach (rys. 18). Temperatura jest utrzymywana na poziomie +25°C w okresie letnim i +9°C w okresie zimowym, natomiast wilgotność powietrza w granicach 40–60% (w zależności od pory dnia i roku może niekiedy wzrosnąć nawet do 99%). Między biomami lasu deszczowego i śródziemnomorskim jest specjalny

łącznik, mający za zadanie złagodzenie różnicy temperatury i umożliwiający zwiedzającym zatrzymanie się w strefie gastronomicznej.

Trzeci biom, tzw. zewnętrzny, obejmuje cały obszar poza kopułami. Tutaj zaprezentowana jest bogata kolekcja roślin popularnych i uprawianych zarówno w przydomowych ogródkach, jak też na skalę przemysłową. Swoistą ozdobą jednego z ogrodów jest siedząca wśród kwiatów olbrzymia pszczoła (rys. 19). Warto nadmienić, że w tej części Kornwalii panuje specyficzny mikroklimat umożliwiający uprawę i hodowlę roślin strefy śródziemnomorskiej również na wolnym powietrzu [1].



Rys. 18. Śródziemnomorski biom; Rys. 19. Biom zewnętrzny; Rys. 20. Jeden z modeli „The Core”
 Fig. 18. Mediterranean biome; Fig. 19. Outer biome; Fig. 20. One of the models in “The Core”

Projekt Eden nie jest tylko ogrodem botanicznym posiadającym pokaźny zbiór ponad 18 tys. gatunków roślin. Jest to przede wszystkim olbrzymia instytucja edukacyjna, odzwierciedlająca relacje zachodzące w naturze. W 2007 r. wzniesiono tu jeszcze jeden obiekt o nazwie „Jądro”. Jest to centrum edukacyjne, w którym prezentowane są najnowsze osiągnięcia naukowe z zakresu biologii i ekologii. Odpowiednią wiedzę można tu osiąść z tematycznych ekspozycji, ale też dzięki różnym ruchomym modelom, nawet dość znacznych rozmiarów (rys. 20), wyjaśniającym m.in. różne aspekty praw fizyki, problemy środowiskowe, zagadnienia dotyczące globalnego ocieplenia,

różnorodność roślin, mechanizm procesu ich wzrostu, wędrówki wody w organizmie, funkcjonowanie systemów żywych itd.

2.4. THE CITY OF SALZBURG (AUSTRIA)

Na terenie miasta Salzburg jest pięć wzgórz; jedno z nich szczególnie zapisało się w historii miasta. Jest to Mönchsberg (508 m n.p.m.), nazwa pochodzi od leżącego u jej podnóża benedyktyńskiego klasztoru św. Piotra założonego przez św. Ruperta w VII w. Obecny budynek pochodzi z lat 1030–1143.

Północno-wschodnie zbocze Mönchsberg było eksploatowane od czasów rzymskich, pozyskiwano tu dość charakterystyczną skałę – plejstocenijski zlepianiec zbudowany z różnej wielkości otoczków rozmaitych skał, zawartych w piaszczystym tle o spoiwie węglanowym. Skład ten sprawia, że jest to swoisty, naturalny beton; na świeżym przełamie wielobarwny, ale z czasem pokrywa się ciemnoszarą patyną, tym bardziej upodabniającą tę skałę do betonu (rys. 21). Większość obiektów: świeckich, sakralnych, zabytkowych i budowanych do końca lat 40. XX w. powstała z tego zlepianca [9].



Rys. 21. Zlepianiec z Mönchsberg, Rys. 22. Tunel komunikacyjny, Rys. 23. Tunel dla pieszych
 Fig. 21. Mönchsberg conglomerate, Fig. 22. Sigmundstor Tunnel, Fig. 23. Pedestrian tunnel

Wielowiekowa eksploatacja sprawiła, że po wielkim, rozciągającym się wzdłuż zbocza kamieniołomie, pozostała pionowa ściana o wysokości sięgającej nawet 60 m. Tutaj z czasem zaczęło rozwijać się miasto. Nie trzeba więc daleko wyjeżdżać z Salzburga aby odwiedzić stary, historyczny kamieniołom, ponieważ wschodnia część tego miasta zlokalizowana jest właśnie w nim. Jego zachodnia część mieści się po drugiej stronie Mönchsberg, a obie łączy okazały tunel komunikacyjny, którym przejeżdżają zarówno samochody osobowe, jak i środki komunikacji miejskiej (rys. 22). Tunel o długość 131 m i wysokość 10 m, został wydrążony w latach 1764–1766 na rozkaz księcia arcybiskupa Zygmunta von Schrattenbach. Od strony starego miasta wschodnią bramę tunelu zdobi płaskorzeźba zleceńodawcy budowy tunelu ze słowami: „Kamienie będą mówić o tobie”, a bramę zachodnią figura św. Zygmunta. Stąd oficjalna nazwa tunelu Sigmundstor, popularnie Neutor. Równoległe do niego wydrążony jest znacznie mniejszy tunel przeznaczony dla pieszych (rys. 23).

W pobliżu klasztoru benedyktynów, bezpośrednio pod stromą ścianą dawnego kamieniołomu, znajduje się niewielki stary cmentarz, najstarsze miejsce pochówku w Salzburgu, a zarazem jedna z najpiękniejszych nekropolii na świecie. Szczególnym miejscem są katakumby wydrążone w skalnej ścianie bezpośrednio nad cmentarzem (rys. 24). Najniższa ich część została niegdyś odsłonięta na skutek obrywu ściany. Wewnątrz znajdują się korytarze i strome schody prowadzące do licznych wydrążonych pomieszczeń. Dwa z nich to dość przestronne kaplice – Gertrudy i Maksyma, obie datowane na początek XII w. (rys. 25).



Rys. 25. Kaplica św. Maksyma
Fig. 25. Chapel of St. Maxim

Rys. 24. Stary cmentarz i katakumby
Fig. 24. Old cemetery and catacombs

Skalna ściana dawnego wyrobiska w wielu przypadkach stanowi naturalną ścianę wzniesionych bezpośrednio pod nią budynków, co stanowi dla nich potencjalne zagrożenie wynikające z naturalnych procesów wietrzeniowych i grawitacji. Woda dostająca się w skalne szczeliny może spowodować niestabilność ściany. Do katastrofy doszło wczesnym rankiem 16 lipca 1669 r., kiedy ściana obsunęła się niszcząc kilkanaście domów i zabijając we śnie ok. 230 osób. Po tym tragicznym wydarzeniu stworzono w Salzburgu urząd inspektora górskiego, którego pracownicy corocznie zwisając na linach kontrolują stabilność ścian, usuwają ich luźne fragmenty i dokonują odpowiednich zabezpieczeń [4].

Ściany dawnego kamieniołomu, stanowiące swoisty zabytek dziedzictwa górnictwa skalnego są obecnie integralną częścią miasta w kilku jego miejscach, które można bezpośrednio pokonać na trzy sposoby: kolejką zębatą, dość nietypową windą oraz trasą wspinaczkową.

2.5. MARMUROWY SZLAK ADNET (AUSTRIA)

Mała miejscowość Adnet leży w Austrii około 20 km na południe od Salzburga na wysokości 484 m n.p.m. Światową sławę temu miejscu przyniosły ceglasto-brunatne „Marmury Adnet”, faktycznie nie są to marmury, lecz mezozoiczne wapienie. Charakterystyczne zabarwienie oraz struktura bardzo upodabnia je do włoskich wapieni Rosso Verona i węgierskich Tardos, powstałych w takich samych warunkach (dolna jura).

Eksplorację prowadzono tu od czasów rzymskich, a szczególnie intensywnie w średniowieczu. W najlepszym okresie funkcjonowało tu ok. 20 kamieniołomów, po II wojnie światowej większość została porzucona; do dziś kamień wydobywa się tylko w pięciu, jako surowiec do produkcji płyt podłogowych, dekoracji wnętrz i prac konserwatorskich [9]. Dawniej wykonywano z nich ozdobne detale architektoniczne, a nawet całe grobowce w wielu kościołach i pałacach nie tylko w Austrii, ale też daleko poza jej granicami.



Rys. 26. Panel informacyjny
Fig. 26. Information panel



Rys. 27. Kamieniołom Rotgrauschnöllbruch
Fig. 27. Rotgrauschnöllbruch Quarry

Niektóre spośród historycznych kamieniołomów ujęte są w edukacyjną trasę geoturystyczną, tzw. Marmurowy Szlak. Trasa ta wiedzie przez 13 stanowisk, bardzo trafnie i praktycznie oznakowanych w lesie odpowiednimi panelami (rys. 26, 27).

Jedno z starszych i wcześniej opuszczonych wyrobisk (Langmoosbruch), niegdyś okresowo było wykorzystywane jako kino na wolnym powietrzu (rys. 28). Ciekawym miejscem jest też niewielka stara kuźnia, w której wyeksponowano warsztat i narzędzia pracy ówczesnych kowali pracujących w pobliżu kamieniołomu Schmiedenbruch (rys. 29).



Rys. 28. Kamieniołom Langmoosbruch
Fig. 28. Langmoosbruch Quarry



Rys. 29. Kamieniołom Langmoosbruch
Fig. 29. Langmoosbruch Quarry

Nieodłącznym etapem dydaktycznej trasy jest wizyta w Muzeum „Marmuru w Adnet”. Odpowiednie plansze towarzyszące eksponatom przybliżają wykorzystanie „marmuru Adnet” od czasów rzymskich aż po współczesność. W ciekawie zaprojektowanym muzealnym ogrodzie przedstawione są rzeźby współczesnych artystów wykonane w różnych odmianach tutejszego wapienia.

3. WNIOSKI

Jakkolwiek krajobraz pozostały po zakończeniu odkrywkowej eksploatacji kopalni skalnej najczęściej kojarzy się z nieodwracalną degradacją terenu, to jednak odpowiednio zrewitalizowany teren może być znacznie ciekawszy i bardziej zróżnicowany od pierwotnego.

Rewitalizacja jako przedsięwzięcie łączące rekultywację i zagospodarowanie terenów pogórnich jest ważnym procesem o charakterze kompleksowym i wielowarstwowym, mającym na celu ożywienie gospodarcze i społeczne, a w rezultacie zapoczątkowanie pozytywnej zmiany na danym obszarze. Obiekty, na których zachowane są relikty działalności górniczej posiadają wysoki potencjał kulturowy, a po prawidłowo-

wym zaprojektowaniu i wykonywaniu prac rewitalizacyjnych mogą być doskonałym świadectwem górniczego dziedzictwa kulturowego, które jednocześnie znacznie podnosi atrakcyjność miejsca.

W krajach europejskich prowadzenie działań rewitalizacyjnych opiera się o uwarunkowania formalno-prawne. W polskim systemie prawnym obowiązuje prawo geologiczne i górnicze, prawo o ochronie środowiska, ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych, wskazujące obowiązki przedsiębiorcy górniczego w zakresie prowadzenia działań rekultywacyjnych, które są początkowym elementem procesu rewitalizacji.

Innym zagadnieniem jest prowadzenie rewitalizacji na obiektach historycznych, gdzie trudno wskazać podmiot odpowiedzialny za prowadzenie tych zadań. W takich przypadkach poszczególne etapy i sposoby prowadzenia odpowiednich działań określa ustawa o rewitalizacji. Podstawową jednostką zobowiązaną do prowadzenia tych prac jest samorząd terytorialny.

Nowa rola nadana dawnemu wyrobisku górniczemu może być bardzo różnorodna, zależnie od uwarunkowań morfologicznych i krajobrazowych. Zawsze jednak zgodnie z założonym wcześniej planem zagospodarowania będzie to rola użytkowa dla społeczeństwa, zarówno jako obiekt turystyczny czy rekreacyjny, ale również jako miejsce o wartości historycznej, kulturowej, naukowej itp.

W artykule przedstawiono przykłady dobrych praktyk dotyczących rekultywacji i zagospodarowania terenów poeksploatacyjnych. Zarówno te krajowe jak i zagraniczne zyskały akceptację nie tylko lokalnych społeczności, ale też wielu turystów. Równocześnie są to też dobre przykłady przeobrażenia dawnych obiektów przemysłowych w miejsca o charakterze kulturowym o cennych walorach edukacyjnych. Elementem łączącym wszystkie te miejsca jest popularyzacja wiedzy o ich historii geologicznej i górniczej, ewentualnie nawet o metodach stosowanych w górnictwie skalnym.

LITERATURA

- [1] BACZYŃSKA E., LORENC M.W., *Eden Project – the Cornwall Peninsula peculiarity*, Geoturism/Geoturystyka, 2012, No. 1–2 (28–29), pp. 23–26.
- [2] BERNACKI T., *Park na Kamiennej Górze*. Biuro Reklamy „Maja”, Lubiąż.
- [3] DZIK J., SULEJ T., KAIM A., NIEDŹWIEDZKI R., *Późnotriasowe cmentarzysko kręgowców lądowych w Krasiejowie na Śląsku opolskim*, Przegląd Geologiczny, 2000, nr 48, 226–235.
- [4] <https://salzburg.orf.at/v2/news/stories/2865428/index.html>
- [5] KAŹMIERCZAK U., ANIOŁ M., *Od kopalni do muzeum – zagospodarowanie terenów po eksploatacji złożeń ilów i glin „Krasiejów”*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr, Studia i Materiały, 2011, Nr 133 (40), 75–83.
- [6] MARKOWSKI M., *Innowacyjne metody rekultywacji terenów poeksploatacyjnych na przykładzie projektu Eden*, Górnictwo Odkrywkowe, 2020, nr 3, 26–30.
- [7] MOSHAMMER B., UHLIR C., Rohatsch A., UNTERWURZACHER M. *Adnet “Marble”, Unterschlag “Marble” and Leitha Limestone – best examples expressing Austria’s physical cultural heritage*, [in:] G. Lollino, A. Manconi, F. Guzzetti, M. Culshaw, P. Bobrowsky, F. Luino (Eds.), *Engineering Geology for Society and Territory*, 2015, Vol. 5. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-09048-1_49

- [8] MYŚLIWIEC B., WOJCIECHOWSKI K., *Szlakiem wygasłych wulkanów – przewodnik dydaktyczno-turystyczny*, Biuro reklamy „Maja”, Lubań.
- [9] UHLIR C.F., KRYZA R., HÖCK V., *Salzburg building and ornamental stones – tradition and the present*, Przegląd Geologiczny, 2010, vol. 58, nr 6, 472–479.

RECLAMATION AND DEVELOPMENT OF POST ROCK MINING AREAS
– GOOD PRACTICES CONTINUED

The publication draws attention to restoring the usefulness of post-mining areas, which return in a new form related to the possibility of their use by society. The presented examples of reclamation and development of post-mining areas indicate that the proposals may be environmentally friendly and positively received by the society. Moreover, these objects have scientific (geological), historical (cultural heritage) and industrial tourism values. All this shows that mining can ultimately be friendly to both the environment and society; if the reclamation and development of post-mining areas are properly designed and implemented. It may also contribute to the increase in natural and utilitarian values, and the overall balance is very often assessed by society as positive.

Paulina LAUDACKA¹
Żaklina KONOPACKA¹
Dagmara SOLATYCKA²
Marcin PIERSIAK³

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

² Okręgowy Urząd Górniczy we Wrocławiu

³ Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

OCENA OBCIĄŻENIA UKŁADU MIĘŚNIOWO-SZKIELETOWEGO DLA STANOWISK PRACY W ZAKŁADACH GÓRNICTWA SKALNEGO

Obciążenie układu mięśniowo szkieletowego na stanowiskach pracy w zakładach górnictwa skalnego stanowi istotny problem wielu pracowników na całym świecie. Powoduje ono dolegliwości, które skutkują absencją chorobową w pracy, a nawet trwałą niezdolnością do pracy. W artykule przedstawiono przykład zastosowania metody OWAS do oceny ryzyka zawodowego, z uwagi na obciążenie układu mięśniowo szkieletowego, dla kilku typowych stanowisk pracy w zakładach górnictwa skalnego. Wykorzystana metoda uwzględnia pozycję ciała pracownika, wywierane siły, czas utrzymywania obciążenie oraz typ pozycji ciała, tj. wymuszona lub niewymuszona. Dla wszystkich badanych stanowisk zaproponowano działania profilaktyczne i korygujące w celu zmniejszenia negatywnego wpływu obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego na pracowników.

1. WSTĘP

Obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego to istotny problem zdrowotny, który dotyczy wielu pracowników. Przedmiotowy układ składa się z mięśni, kości, stawów, ścięgien i innych struktur, które umożliwiają ludziom poruszanie się i utrzymywanie prawidłowej postawy ciała. Problemy związane z obciążeniem układu mięśniowo-szkieletowego nie ograniczają się tylko do doraźnego bólu mięśniowo-szkieletowego, stanów zapalnych, zwyrodnienia stawów czy urazów/kontuzji mięśniowo-szkieletowych, ale stanowią także problem związany z m.in. monotypią pracy, pracą w pozycji siedzącej czy otyłością pracowników.

Z raportów ZUS wynika, że nieobecności pracowników w pracy z tytułu choroby układu mięśniowo-szkieletowego i tkanki łącznej wyniosła 39,1 mln dni, co stanowiło aż 16,4% absencji chorobowych pracowników w 2022 r. I choć wartość ta spadła o 0,4 mln dni względem 2021 roku, to i tak stanowi ogromny problem dla pracodawców [1].

W 2021 r. GUS wraz z Urzędem Statystycznym w Gdańsku przygotowali dokument na temat wypadków przy pracy i problemach zdrowotnych związanych z pracą, gdzie zebrano informacje na temat zgłaszanych przez pracowników dolegliwości związanych z pracą odczuwanych przez nich w czasie 12 miesięcy przed przeprowadzeniem badania. Okazało się, że najczęściej zgłaszaną dolegliwością przez pracowników były problemy w obrębie pleców – takie dolegliwości sygnalizowało aż 5781 tys. osób. Kolejne zgłoszenia dotyczyły problemów w obrębie szyi, barku lub ręki – problem ten zakomunikowało 3795 tys. osób [2].

W tym miejscu należy zwrócić uwagę, że nadmierne obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego nie stanowi problemu tylko w Polsce ale także w innych krajach. Przykładowo według danych Eurostatu w 2020 r. średnio 10,3% pracowników w Unii Europejskiej zgłosiło, że w poprzednim roku miało problemy zdrowotne związane z pracą, z czego 6% osób cierpiało na problemy z kośćmi, stawami lub mięśniami, spowodowane lub pogłębione przez pracę i był to najczęstszy rodzaj zgłaszanych problemów. W przypadku schorzeń układu mięśniowo-szkieletowego problemy zgłaszali pracownicy: 3,1% w grupie wiekowej 15–34 lata, 6,3% w grupie 35–54 lata i 8,9% w grupie wiekowej 55–64 lata. Dane Eurostatu wskazują ponadto, iż Polska wyróżnia się na tle innych państw stosunkowo bardzo wysokim wskaźnikiem występowania problemów zdrowotnych związanych z pracą wynoszącym aż 36,6%, z czego 25,2% osób w wieku 15–65 lat zgłaszało problemy związane z obciążeniem układu mięśniowo-szkieletowego [3].

Wiele osób utożsamia nadmierne obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego tylko z pracą pod dużym obciążeniem zewnętrznym, tj. przy przenoszeniu ciężarów. Jest to błąd, gdyż również „łżejsza” praca może prowadzić do nadmiernego obciążenia tego układu. Przykładem są tu długotrwała praca siedząca czy praca polegająca na wykonywaniu stale powtarzalnych ruchów roboczych powodująca obciążenia statyczne i dynamiczne.

Również sektor przemysłowy, w którym zatrudniony jest dany pracownik ma znaczenie. I tak górnictwo jest branżą, która niesie za sobą znaczne ryzyko obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego pracowników. Praca w kopalni jest ciężką pracą fizyczną, realizowaną niejednokrotnie w niesprzyjających warunkach klimatycznych, atmosferycznych oraz ergonomicznych. Pracownicy często wykonują czynności przy użyciu ciężkich narzędzi, ręcznie transportując materiały, jak również utrzymując określoną, niewygodną i męczącą pozycję ciała przez dłuższy czas. Charakter pracy górniczej stanowi, iż jest to jedna z branż najbardziej narażonych na dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego. Największy odsetek pracowników cierpi na bóle kręgosłupa i pleców, bóle mięśni w ramionach, szyi oraz zaburzenia w obrębie kończyn górnych

i dolnych. Rozpiętość ciężkości raportowanych problemów jest znaczna, od drobnych bólów skończywszy na poważnych schorzeniach wymagających długotrwałego leczenia lub powodujących wręcz niepełnosprawność [4]. Stąd podstawowym elementem profilaktyki obciążeń układu mięśniowo-szkieletowego jest identyfikacja tego zagrożenia, a następnie dobór rozwiązań eliminujących lub ograniczających ryzyko w tym zakresie.

W celu oceny ryzyka związanego z nadmiernym obciążeniem układu mięśniowo-szkieletowego powstało wiele metod badawczych, różniących się między sobą sposobami postępowania oraz typowaniem obszarów ciała poddanych badaniu. Wyróżnić tu można metody:

- OWAS (Ovako Working Posture Analysis System), polegająca na obserwacji i rejestracji podczas pracy pozycji pleców, ramion i kończyn dolnych w przyjętych interwałach czasowych, a następnie klasyfikacji tych pozycji według określonych kryteriów [5, 6];
- KIM (Key Item Method) opracowana dla oceny ryzyka na poziomie klasyfikacji dla ręcznego przemieszczania ciężarów, opierająca się na określeniu punktów klasyfikacji czasu, określeniu punktów klasyfikacji wskaźników kluczowych obciążenia, postawy i warunków pracy, a następnie ich ocenie [7, 8];
- RULA (Rapid Upper Limb Assessment) uwzględniająca obciążenie całego układu mięśniowo-szkieletowego, sprawdzająca się najlepiej podczas oceny pracy w pozycji siedzącej, gdyż uwzględnia zarówno wysiłek fizyczny podczas pracy, jak i pozycję ciała (wymuszoną np. konstrukcją stanowiska) [9];
- REBA (Rapid Entire Body Assessment) wykorzystywana do oceny ryzyka obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego pracowników w trakcie wykonywania zadań związanych z całą ich postawą ciała, polegająca na obserwacji pracownika i rejestracji jego pozycji ciała oraz ruchów, przydzieleniu ocen w skali punktowej różnym elementom pracy (pozycji ciała, sile potrzebnej do wykonania zadania oraz kierunkowi i częstotliwości ruchów), a następnie klasyfikacji ryzyka obciążenia w skali pięciostopniowej od „niewielkiego” – akceptowalnego, przez „małe”, „średnie” i „wysokie” – akceptowalne z modyfikacją”, po „bardzo wysokie” – nieakceptowalne [9, 10].

W tym miejscu warto zwrócić uwagę, że metoda KIM czy metoda ankietowa były już wykorzystywane do oceny obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego w górnictwie podziemnym rud miedzi oraz zakładach górnictwa skalnego, gdzie wykazano, że nadmierne obciążenie kręgosłupa i kończyn górnych, wynikające w warunków pracy, powtarzalności czynności oraz oddziaływania drgań ogólnych i miejscowych, powodują największą absencję chorobową pracowników, spadek wydajności pracy oraz kłopoty zdrowotne [4, 11].

W niniejszym artykule przedstawiono ocenę obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego wykonaną za pomocą metody OWAS dla wytypowanych stanowisk pracy w jednym z odkrywkowych zakładów górniczych wydobywających granit.

2. METODA OWAS

Metoda OWAS w opinii autorów artykułu jest najlepszą metodą jakościową służącą do oceny obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego. Została opracowana przez Fiński Instytut Ochrony Pracy w latach 70. XX w. Metoda opiera się na obserwacji i rejestracji takich czynników jak: postawa ciała w trakcie wykonywania czynności, stopień wymuszenia pozycji i pochylenia ciała, możliwość zmiany pozycji ciała, położenie kończyn i ich ruchliwość oraz chronometraż czasu pracy pracownika [8].

Pierwszym krokiem w celu wykonania oceny obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego metodą OWAS jest wykonanie chronometrażu dnia pracy pracownika oraz obserwacja jego pozycji podczas pracy. Na tej podstawie dla każdej czynności przypisuje się kod uwzględniając położenie trzech części ciała oraz wartość sił granicznych w grupach pracowników [12]:

- położenie tułowia w zakresie 4 pozycji (tab. 1),
- położenie ramion w zakresie 3 pozycji (tab. 2),
- położenie nóg w zakresie 7 pozycji (tab. 3),
- obciążenie zewnętrzne uwzględniając płeć i pełnoletność pracowników (tab. 4).

Tabela 1. Dobór kodu położenia tułowia metodą OWAS [13]

Table 1. Selection of torso posture code applying OWAS method [13]





| Kod | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|---|---|---|--|
| Rysunek |  |  |  |  |
| Opis | plecy wyprostowane | pochylenie w przód | tułów skręcony w bok | pochylenie w przód z tułowiem skręconym w bok |

Tabela 2. Dobór kodu położenia ramion metodą OWAS [13]

Table 2. Selection of arms posture code applying OWAS method [13]

| Kod | 1 | 2 | 3 |
|---------|---|---|--|
| Rysunek |  |  |  |
| Opis | obydwa ramiona poniżej stawu ramiennego | jedno ramię powyżej stawu ramiennego | obydwa ramiona powyżej stawu ramiennego |

Tabela 3. Dobór kodu położenia nóg metodą OWAS [13]
 Table 3. Selection of legs posture code applying OWAS method [13]








| Kod | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Rysunek |  |  |  |  |  |  |  |
| Opis pozycji | siedząca | stojąca, obydwie nogi wyprostowane | stojąca, jedna noga wyprostowana | stojąca, dwie nogi zgięte | stojąca, jedna noga zgięta | klęczenie na jednym lub dwóch kolanach | chodzenie |

Tabela 4. Dobór kodu obciążenia zewnętrznego metodą OWAS [13]
 Table 4. Selection of external load code applying OWAS method [13]

| Kod siły zewnętrznej | Wartości sił granicznych w grupach pracowników | | |
|----------------------|--|------------------------------|-----------------------|
| | mężczyźni | kobiety i młodociani chłopcy | młodociane dziewczęta |
| 1 | poniżej 10 kg | poniżej 5 kg | poniżej 2 kg |
| 2 | od 10 do 20 kg | od 5 do 10 kg | od 2 do 6 kg |
| 3 | powyżej 20 kg | powyżej 10 kg | powyżej 6 kg |

W wyniku obserwacji i wyznaczonych zakodowanych cech pozycji pracownika podczas wykonywania pracy wyznacza się kategorię obciążenia według tabeli 5. Odczytanie kategorii obciążenia polega w kolejności na wybraniu wiersza przy pomocy kodu położenia pleców/tułowia oraz położenia ramion, a następnie wyboru odpowiedniej kolumny poprzez kod położenia nóg i siły zewnętrznej. Na przecięciu wybranych wcześniej kolumny i wiersza otrzymuje się kategorie obciążenia w zakresie od 1 do 4. W zależności od wyznaczonej kategorii obciążenia można wyznaczyć wpływ przyjmowania danej pozycji na obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego człowieka, wielkość obciążenia oraz potrzebę wprowadzenia zmian przy wykonywaniu danej (badanej) czynności.

– **Kategoria 1:** pozycja(e) przyjmowana(e) podczas pracy są naturalne. Obciążenie jest optymalne lub akceptowalne. Nie ma potrzeby dokonywania zmian na stanowisku;

– **Kategoria 2:** pozycja(e) przyjmowana(e) podczas pracy mogą mieć negatywny wpływ na układ mięśniowo-szkieletowy. Obciążenie jest prawie akceptowalne, nie ma potrzeby dokonywania zmian na stanowisku, ale należy wziąć pod uwagę konieczność przeprowadzenia takich zmian w najbliższej przyszłości;

Tabela 5. Wyznaczenie kategorii obciążenia metodą OWAS [13]
 Table 5. Load category determination applying OWAS method [13]

| Nogi → | | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | | 7 | | | | | | | | |
|----------------------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Siła zewnętrzna → | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tułów | Ramiona | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | |
| | 3 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 4 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | |
| | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | |
| | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | |

Tabela 6. Wyznaczenie ryzyka zawodowego metodą OWAS [13]
 Table 6. Occupational risk determination applying OWAS method [13]

| Ryzyko zawodowe | Kategoria obciążenia wyznaczona metodą OWAS | Czas utrzymywania jednej pozycji (% zmiany roboczej) |
|-----------------|--|--|
| Małe | pozycja niewymuszona kategorii 1 | do 70 |
| | pozycja wymuszona kategorii 1 lub niewymuszona kategorii 2 | do 50 |
| | pozycja wymuszona kategorii 2 | do 30 |
| Średnie | pozycja niewymuszona kategorii 1 | powyżej 70 |
| | pozycja wymuszona kategorii 1 lub niewymuszona kategorii 2 | od 50 do 70 |
| | pozycja wymuszona kategorii 2 | od 30 do 50 |
| | pozycja wymuszona kategorii 3 lub 4 | do 30 |
| Duże | pozycja wymuszona kategorii 1 lub niewymuszona kategorii 2 | powyżej 70 |
| | pozycja wymuszona kategorii 2 | powyżej 50 |
| | pozycja wymuszona kategorii 3 lub 4 | powyżej 30 |

– **Kategoria 3:** pozycja(e) przyjmowana(e) podczas pracy mają negatywny wpływ na układ mięśniowo-szkieletowy. Obciążenie jest duże. Zmiany na stanowisku pracy muszą być przeprowadzone tak szybko, jak to jest możliwe;

– **Kategoria 4:** pozycja(e) przyjmowana(e) podczas pracy mają bardzo negatywny wpływ na układ mięśniowo-szkieletowy. Obciążenie jest bardzo duże. Zmiany na stanowisku pracy muszą być przeprowadzone natychmiast.

Uwzględniając kategorię obciążenia, wymuszenie pozycji zajmowanej podczas wykonywania czynności, a także czas wykonywania czynności w danej pozycji, wyznacza się kategorię ryzyka związanego z obciążeniem układu mięśniowo-szkieletowego na podstawie tabeli 6. Dla czynności o identycznym kodzie położenia tułowia, ramion, nóg i obciążenia zewnętrznego, czas utrzymywania pozycji należy zsumować i potraktować jako jedną pozycję.

3. OCENA RYZYKA OBICIAŻENIA UKŁADU MIĘŚNIOWO-SZKIELETOWEGO

Badania zostały przeprowadzone na 5 wybranych stanowiskach pracy w odkrywkowym zakładzie górniczym wydobywającym granit na bloki w rejonie strzegomskim. Wytypowano stanowiska pracy, na których występują największe obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego: operator łupiaraki, górnik skalnik, operator wiertnicy, operator ładowarki oraz operator napędu liny diamentowej. Dla każdego ze stanowisk opracowano chronometraż czasu pracy oraz oceniono ryzyko związane z obciążeniem układu mięśniowo-szkieletowego [14].

Stanowisko operatora łupiaraki stanowiło szczególny problem badawczy, gdyż praca na nim różni się w zależności od używanej przez pracownika maszyny. Osoby wykonującej czynności na tym stanowisku pracują przez 7 godzin podczas zmiany roboczej. Pracownicy są wyposażeni i używają środki ochrony indywidualnej: okulary ochronne, półmaski przeciwpyłowe, czy ochronniki słuchu.

Operatorzy łupiaraki pracują w wiacie łupiaraki, w dwuosobowych zespołach, tj. pierwszy pracownik przy łupiarce GESTRA HSM 500×500/150t, zaś drugi przy łupiarce GESTRA HSM 200×280/43t.

Praca pierwszego operatora łupiaraki z zespołu nr 1 polega na przetransportowaniu bryły granitowej o masie ok. 500 kg przy użyciu przenośnika taśmowego na pole robocze. Następnie operator ten dzieli mechanicznie bryłę na formaki o masie ok. 40 kg używając przy tym mechanicznej łapy przedstawiającej bryłę – sama łupiaraka obsługiwana jest z panelu sterowniczego. Kolejno formaki umieszczane są na drugim przenośniku taśmowym, podającym je na stanowisko drugiego operatora. Pracownik część powstałych formaków o odpowiednich wymiarach przenosi na paletę znajdującą się za nim.

Praca ta wykonywana jest w pozycji stojącej lub przemieszczając się, tj. chodząc. Ze względu na położenia pola roboczego, poniżej poziomu wzroku pracownika, praca

na tym stanowisku wykonywana jest w pochyleniu, co szczególnie obciąża kręgosłup. Dodatkowe obciążenie stanowi potrzeba podniesienia gotowego formaka i położenia go na palecie znajdującej się na ziemi za stanowiskiem pracy operatora. Pracownik obsługując łupiarke jest obciążony dzięki użyciu mechanicznych łap przesuujących bryły skalne z przenośnika na pole robocze i dalej z pola roboczego na przenośnik podający na kolejne stanowisko pracy.

Pracownikowi przysługuje półgodzinna przerwa w pracy, ponadto specyfikacja pracy wymusza dodatkową godzinną przerwę technologiczną. W tabeli 7 dla każdej czynności przedstawiono obciążenie zewnętrzne wynikające z wykonywania pracy, położenie pleców, ramion i nóg, a także zaznaczono czy przyjmowana pozycja jest wymuszona (lub nie wymuszona).

Tabela 7. Dane dotyczące postawy i obciążenia zewnętrznego operatora łupiarke GESTRA HSM 500×500/150t

Table 7. Posture and external load data of a GESTRA HSM 500×500/150t splitting machine operator

| Czynność | Czas [min] | Obciążenie [kg] | Pozycja wymuszona (tak/nie) | Kod położenia | | |
|------------------------------------|------------|-----------------|-----------------------------|---------------|--------|-----|
| | | | | pleców | ramion | nóg |
| Prace przygotowawczo-zakończeniowe | 30 | 4 | nie | 1 | 2 | 7 |
| Przesuwanie formaków | 60 | 10 | tak | 4 | 1 | 3 |
| Obsługa łupiarke | 210 | 5 | tak | 4 | 1 | 3 |
| Przekładanie formaków | 30 | 40 | tak | 4 | 1 | 4 |
| Przerwy technologiczne | 60 | 4 | nie | 1 | 1 | 7 |
| Przerwy w pracy | 30 | 0 | nie | 1 | 1 | 1 |

Zebrane dane w postaci chronometrażu dnia pracy, przyjmowanych pozycji czy obciążenia zewnętrznego zostały przeanalizowane programem STER, w wyniku czego otrzymano kategorie pozycji dla każdej z wykonywanych przez pracownika czynności. Wyniki przedstawiono w tabeli 8. Czynności takie jak przesuwanie formaków, czy obsługa łupiarke, które stanowiły większość wykonywanych czynności, zostały zakwalifikowane do drugiej kategorii pozycji wymuszonej.

Z kolei przekładanie formaków na paletę przyporządkowano do czwartej kategorii pozycji wymuszonej z obciążeniem zewnętrznym kategorii trzeciej. Resztę czynności zakwalifikowano do pierwszej kategorii pozycji niewymuszonej. Obsługa łupiarke zajmowała największą część zmiany roboczej operatora łupiarke i stanowiła podstawę do wyznaczenia oceny obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego na tym stanowisku pracy. W przypadku operatora łupiarke GESTRA HSM 500×500/150t obciążenie statyczne zostało wyznaczone na poziomie średnim.

Tabela 8. Wyznaczenie kategorii obciążenia dla każdej z wykonywanych czynności wraz z jej procentowym udziałem w czasie zmiany roboczej dla operatora łuparki GESTRA HSM 500×500/150t

Table 8. Determining of load category for each of the activities performed along with its percentage share during the work shift of a GESTRA HSM 500×500/150t splitting machine operator

| Czynność | Czas trwania czynności w % czasu zmiany roboczej | | | | | | Kategoria obciążenia zewn. | Interpretacja obciążenia statycznego |
|----------|--|--------|--------|--------|----------------------|--------|----------------------------|--------------------------------------|
| | Pozycja wymuszona | | | | Pozycja niewymuszona | | | |
| | Kat. 1 | Kat. 2 | Kat. 3 | Kat. 4 | Kat. 1 | Kat. 2 | | |
| 1 | | | | | 7,14 | | 1 | małe |
| 2 | | 14,29 | | | | | 2 | małe |
| 3 | | 50,00 | | | | | 1 | średnie |
| 4 | | | | 7,14 | | | 3 | średnie |
| 5 | | | | | 14,29 | | 1 | małe |
| 6 | | | | | 7,14 | | 1 | małe |

Obciążenie statyczne na poziomie średnim jest akceptowalne i praca na tym stanowisku może być dalej prowadzona, jednak zaleca się w przyszłości zaplanowanie działań korygujących to obciążenie. Obsługa łuparki GESTRA HSM 500×500/150t jest czynnością statyczną, pracownik podczas jej wykonywania nie musi wykorzystywać dużej siły mięśniowej, jednak wymaga przyjmowania wymuszonej pochylonej i skręconej pozycji ze względu na położenie pola roboczego poniżej poziomu wzroku pracownika oraz obsługi panelu sterowniczego znajdującego się po jego prawej stronie. Aby zredukować obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego związane z wykonywaniem tej czynności można wprowadzić dwuminutowe przerwy podczas obsługi łuparki, aby rozciągnąć i zrelaksować układ mięśniowo-szkieletowy. Podczas przerwy pracownik mógłby wykonywać ćwiczenia takie jak: skłony w przód oraz w bok, krążenia ramion czy szyi. Dzięki tym ćwiczeniom zmniejszyłoby się obciążenie kręgosłupa spowodowane przyjmowaniem nieergonomicznej, wymuszonej pozycji ciała.

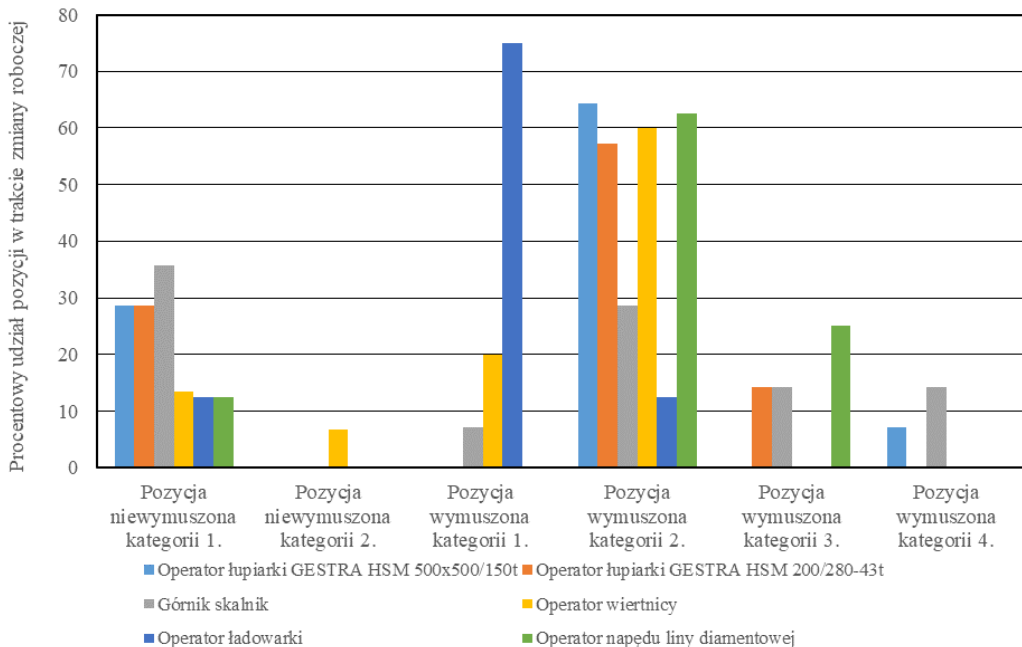
Dodatkowo w celu odciążenia pracownika można zastosować cykl rotacyjny pomiędzy operatorami tych łuparek. Dzięki wprowadzeniu takiego cyklu rotacji pracownicy mieliby większą różnorodność przyjmowanych pozycji: operatorzy pierwszej łuparki pracują w pozycji stojącej lub chodząc, natomiast operatorzy drugiej przyjmują podczas pracy pozycję siedzącą. Szczególną czynnością obciążającą w znacznym sposób układ mięśniowo-szkieletowy jest przenoszenie 40 kg formaków z pola roboczego na paletę znajdującą się na podłożu. Czynność ta mogłaby zostać zmodyfikowana przez zastosowanie dodatkowego przenośnika, odbierającego formak i transportującego go na paletę, wówczas pracownik musiałby jedynie przesunąć formak w celu odpowiedniego ułożenia. Innym sposobem na odciążenie pracownika przy tej czynności mogłoby być zastosowanie pneumatycznego stołu, na którym znajdowałaby się paleta.

Dzięki zastosowaniu takiego stołu paletę można by ustawić na poziomie pola roboczego łupiarki. Obydwa rozwiązania odciążąłyby pracownika od podnoszenia, przenoszenia i odkładania formaków, na rzecz ich przesuwania lub przenoszenia na odległość maksymalnie kilkudziesięciu centymetrów na jednym poziomie.

Oprócz rozwiązań czysto technologicznych można pracownika pracującego na tym stanowisku wyposażyć w egzozkielec, który odciążyłyby go przy przenoszeniu ciężaru, a także odciążyły odcinek lędźwiowy kręgosłupa podczas pracy w pochyleniu.

Niezmiernie ważne w profilaktyce schorzeń układu mięśniowo-szkieletowego jest stała opieka lekarska nakierowana na wczesne wykrywanie schorzeń układu mięśniowo-szkieletowego, a także edukacja pracowników w zakresie ergonomii oraz bezpiecznego i higienicznego wykonywania pracy. W przypadku pracowników pracujących na tym stanowisku należałoby skupić się na przyjmowaniu prawidłowych pozycji przy podnoszeniu formaków, czy podczas obsługi łupiarki.

Dla wszystkich wytypowanych stanowisk pracy postępowano analogicznie jak w przypadku operatora łupiarki GESTRA HSM 500×500/150t. Każde ze stanowisk różniło się specyfiką pracy, wykorzystywanymi narzędziami czy maszynami. Zestawienie procentowego udziału danej kategorii pozycji w trakcie zmiany roboczej dla każdego z analizowanych stanowisk przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Rozkład procentowego udziału kategorii pozycji dla wszystkich analizowanych stanowisk
Fig. 1. Percentage share distribution of posture category for all the analyzed workstations

W przypadku operatora łuparki GESTRA HSM 200×280/43t pracownik podczas obsługi łuparki przyjmuje pozycję wymuszoną siedzącą, pochyloną. Pole robocze znajduje się poniżej pozycji wzroku pracownika. Czynności związane z obsługą łuparki stanowią największą część zmiany roboczej. Praca ta wykonywana jest w pozycji wymuszonej kategorii drugiej przy obciążeniu zewnętrznym kategorii drugiej, natomiast ryzyko związane z obciążeniem układu mięśniowo-szkieletowego zostało wyznaczone na poziomie średnim.

Kolejne stanowiska pracy wiązały się z pracą w wyrobisku. Górnik skalnik zajmuje się m.in. wierceniem otworów wiertarką WUP-22, którego waga bez wiertła wynosi ok. 22 kg. Czynność ta wykonywana jest w pozycji wymuszonej, pochylonej, ze zgiętymi nogami, a pracownik musi utrzymywać wiertarkę w pionie w celu wywiercenia otworu. Praca ta została zakwalifikowana do kategorii trzeciej z obciążeniem zewnętrznym kategorii drugiej.

Operator wiertnicy w głównej mierze zajmuje się obsługą wiertnicy Sandvik Commando DC130Ri z panelem sterującym oraz wymianą ok. 12 kilogramowych żerdzi. Wiercenie otworów stanowi 46,66% zmiany roboczej pracownika, który wykonując swoją pracę chodzi w pozycji pochylonej nadzorując pracę maszyny. Pozycja ta została zakwalifikowana do kategorii drugiej przy obciążeniu zewnętrznym kategorii pierwszej, natomiast ryzyko związane z wykonywaniem tej czynności wyznaczono na poziomie średnim.

Pracownicy na stanowisku operatora ładowarki zajmują się głównie jej obsługą. Maszyna wyposażona jest w joysticki służące do jej sterowania oraz amortyzowane siedzenie. Sterowanie ładowarką wykonywane jest w pozycji wymuszonej siedzącej, wyprostowanej, zakwalifikowanej do kategorii pozycji pierwszej przy obciążeniu zewnętrznym kategorii pierwszej. Ryzyko zawodowe przy wykonywaniu tej czynności wyznaczono na poziomie średnim.

Zarówno w przypadku operatora wiertnicy jak i operatora ładowarki żadna z wykonywanych prac nie została zakwalifikowana do trzeciej bądź czwartej kategorii obciążenia.

Ostatnim badanym stanowiskiem pracy było stanowisko operatora napędu liny diamentowej. Pracownik na tym stanowisku zajmuje się montażem i ustawianiem napędu liny diamentowej EPIROC SPEEDCUT 100, montażem liny diamentowej, a także obsługą ww. napędu. Nadzór nad pracą napędu stanowi główne zadanie pracownika na tym stanowisku i dla tej czynności ryzyko zostało wyznaczone na poziomie średnim. Żadna z pozycji przyjmowanych podczas pracy operatora napędu liny diamentowej nie została zakwalifikowana do kategorii 4, natomiast czynności związane z ustawianiem napędu wykonywane w pozycji pochylonej, z nogami zgiętymi, zostały zakwalifikowane do trzeciej kategorii pozycji z obciążeniem zewnętrznym pierwszej kategorii.

4. PODSUMOWANIE

Dla wszystkich analizowanych stanowisk pracy w odkrywkowym zakładzie górnym wydobywającym granit, ryzyko dla czynności stanowiących największy procent zmiany roboczej zostało wyznaczone na poziomie średnim, akceptowalnym. W związku z czym nie wymaga ono natychmiastowych działań korygujących, lecz warto zaplanować takie działania na przyszłość.

Wśród zaproponowanych działań zmniejszających ryzyko związane z obciążeniem układu mięśniowo-szkieletowego wyróżnić można:

- wprowadzenie rotacji pracowników pomiędzy stanowiskami,
- dodatkowe kilkuminutowe przerwy na ćwiczenia rozluźniające na stanowiskach z czynnościami monotonnymi,
- zastosowanie dodatkowego przenośnika taśmowego do odbioru formaków lub zastosowanie pneumatycznego stołu pod paletę,
- w przypadku operatora łupiarce GESTRA HSM 500×500/150t, zastosowanie mechanicznej łapy przy łupiarce GESTRA HSM 200×280/43t,
- zastosowanie egzoszkieleatów dla pracowników na stanowiskach, gdzie praca prowadzona jest w pochyleniu, np. w przypadku górnika skalnika, a także dla pracowników, którzy muszą przenosić ciężkie przedmioty, np. operatorów łupiarce.

Zaproponowano także działania: prowadzenie szkoleń z zasad ergonomicznej postawy pracy pracowników, jak również stałą opiekę lekarską ze szczególnym uwzględnieniem badań układu mięśniowo-szkieletowego, które mają zastosowanie dla wszystkich badanych stanowisk pracy.

Warto zauważyć, że dla stanowisk pracy operatora ładowarki oraz operatora wiertnicy nie wykazano żadnej czynności w trzeciej i czwartej kategorii obciążenia, co pokazuje, że mimo wymuszonych pozycji pracownicy nie są narażeni na duże obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego. W przypadku pozostałych stanowisk pracy pojawiały się czynności trzeciej lub czwartej kategorii obciążenia, jednak stanowiły one niewielki procent czasu zmiany roboczej. Zastosowanie zaproponowanych działań profilaktycznych mogłoby realnie wpłynąć na zmniejszenie obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego podczas wykonywania pracy przez pracowników.

Obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego to istotny problem zdrowotny, który dotyczy wielu pracowników na całym świecie. Przedmiotowy układ składa się z mięśni, kości, stawów, ścięgien i innych struktur, które umożliwiają ludziom poruszanie się i utrzymywanie prawidłowej postawy ciała. Problemy związane z obciążeniem układu mięśniowo-szkieletowego nie ograniczają się tylko do doraźnego bólu mięśniowo-szkieletowego, stanów zapalnych, zwyrodnienia stawów czy urazów/kontuzji mięśniowo-szkieletowych, ale stanowią głębszy problem związany m.in. z monotypią pracy, pracą w pozycji siedzącej czy otyłością pracowników.

LITERATURA

- [1] SIKORA A., KARCZEWICZ E., *Raport Absencja Chorobowa w 2022 r.*, Departament Statystyki i Prognoz Aktuariatycznych ZUS, 2023.
- [2] GUS, *Wypadki przy pracy i problemy zdrowotne związane z pracą*, Warszawa, Gdańsk 2021.
- [3] European Commission, *Eurostat: Population and social conditions, Self-reported work-related health problems and risk factors - key statistics*, <https://ec.europa.eu/> [dostęp: 3.10.2023].
- [4] KONOPACKA Ż., STOPA M., *Ocena ryzyka zawodowego z zastosowaniem metody KIM dla stanowisk pracy w zakładach górnictwa skalnego*, [w:] W. Głapa (red.), *Kruszywa mineralne*, t. 1, Oficyna Wydawnicza PWr, Wrocław 2017, 43–56.
- [5] KARHU O., KANSI P., KUORINKA I., *Correcting working postures in industry: a practical method for analysis*, *Applied Ergonomics* 8/1977
- [6] KORADECKA D. (red.), *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia*, Wydawnictwo CIOP, Warszawa 1997, t. 2.
- [7] GŁÓWCZYŃSKA-WOELKE K., *Ryzyko związane z ręcznymi pracami transportowymi – Przewodnik po wybranych metodach oceny ryzyka: MAC i KIM*, Inspektor Pracy, Warszawa 2008.
- [8] ZAMIJAS K., *Metody oceny obciążeń dynamicznych i statycznych przy wykonywaniu ręcznych prac transportowych*, Konferencja Nowoczesna Służba BHP w zarządzaniu bezpieczeństwem i higieną pracy w firmie, Wolters Kluwer, Warszawa 2016.
- [9] MCATAMNEY L., CORLETT N., *RULA: a survey Method for the Investigation of Work-Related Upper Limb Disorders*, *Applied Ergonomics*, 24, 1993, 91–99.
- [10] HIGNETT S., MCATAMNEY L., *Rapid Entire Body Assessment (REBA)*, *Applied Ergonomics*, 2000, Vol. 31.
- [11] KONOPACKA Ż., CHMIELOWIEC S., *Ocena obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego na wytypowanych stanowiskach pracy w kopalniach rud miedzi*, *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, 2019, nr 3, 22–25.
- [12] GÓRSKA E., *Ergonomia: projektowanie, diagnoza, eksperyment*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2015.
- [13] ROMAN-LIU D., TOKARSKI T., *Ocena obciążenia statycznego z zastosowaniem metody OWAS*, *Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka*, 2010, nr 7/8, 28–31.
- [14] LAUDACKA P., *Ocena obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego dla wytypowanych stanowisk pracy w branży górniczej*, praca dyplomowa, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii PWr, 2023.

THE ASSESSMENT OF MUSCULOSKELETAL SYSTEM BURDEN
APPLICATION AT WORK STATIONS IN ROCK MINING COMPANIES

The burden of musculoskeletal system at work stations in rock mining companies is an essential problem for a lot of employees all around the world. It causes conditions resulting in sickness absence or even permanent inability to work. An example of OWAS method application for the assessment of occupational hazard was shown in the article due to the burden of musculoskeletal system at a few typical work stations in rock mining companies. The applied method involves employee's body posture, exerted forces, time of the strain and the type of body posture, e.g., forced or unforced position. For all the examined work stations preventive and corrective action has been suggested in the aim of decreasing the negative impact of the burden of musculoskeletal system on employees.

Tomasz LIZOŃ

Góraźdże Kruszywa Sp. z o.o.

ANALIZA MOŻLIWOŚCI LOKALIZACJI PŁYWAJĄCYCH INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH W AKWENACH POEKSPLOATACYJNYCH

W artykule poddano analizie warunki występujące w akwenach powstających po eksploatacji złóż kruszyw naturalnych (piasku i żwiru) pod kątem możliwości posadawiania w nich pływających farm fotowoltaicznych. Przedstawiono perspektywę wykorzystania elektrowni fotowoltaicznych (PV) analizując różne aspekty tej innowacyjnej technologii.

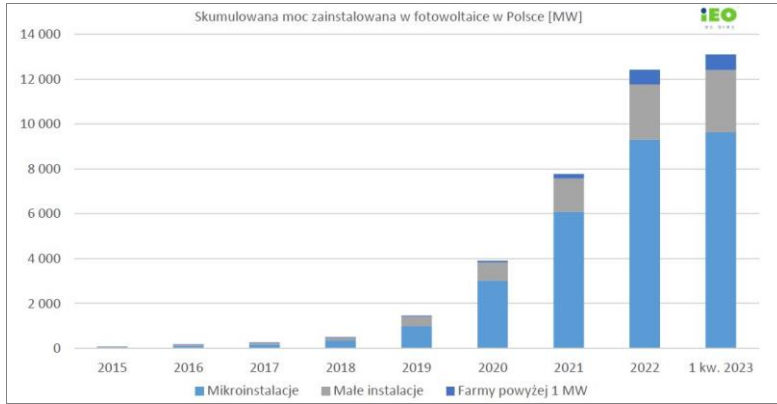
1. WSTĘP

Działalność związana z odkrywkową eksploatacją złóż piasków i żwirów prowadzi do przekształcania terenu. Jeżeli spąg złoża zalega poniżej lustra wody, to w wyniku wydobywania kopaliny powstaje wyrobisko wypełnione wodą – akwen poeksploatacyjny. Jego rekultywacja polega na uformowaniu ostatecznych skarp stałych i obrzeży, najczęściej dla zagospodarowania na cele rekreacyjne.

Zakłady górnicze prowadzące pozyskiwanie kruszyw naturalnych zlokalizowane są poza terenami zurbanizowanymi, stąd obszary objęte eksploatacją obejmują grunty rolne, rzadziej leśne. W skali kraju przekształcane powierzchnie powodują ubytek gruntów rolnych. Czynnikiem powodującym w ostatnich latach kolejną redukcję części gruntów rolnych z dotychczasowego użytkowania są powstające na coraz większą skalę instalacje fotowoltaiczne (PV). Są to efekty trwającej transformacji energetycznej, w wyniku zwiększenia produkcji energii elektrycznej z „czystych” źródeł, jakim niewątpliwie jest energia promieniowania słonecznego. Potwierdzają to dane o ilości zainstalowanych w Polsce mocy elektrowni wykorzystujących do produkcji prądu energię promieniowania słonecznego. Aktualny stan zainstalowanych w Polsce mocy fotowoltaicznych przedstawiono na rys. 1.

Uwarunkowania wynikające z działalności wydobywczej oraz potrzeb związanych z zagospodarowaniem terenów pod instalacje fotowoltaiczne, można połączyć poprzez lokalizowanie tych instalacji na akwenach poeksploatacyjnych. Podejście do wykorzy-

stania energii słonecznej, umieszczając panele fotowoltaiczne na powierzchni zbiorników wodnych, otwiera nowe możliwości dla odnawialnych źródeł energii.



Rys. 1. Moc zainstalowana w PV w Polsce [1]

Fig. 1. PV power installed in Poland [1]

Ta forma produkcji energii nie maksymalizuje korzyści z promieniowania słonecznego, ale kieruje rozwiązania do obszarów, gdzie tradycyjne instalacje fotowoltaiczne napotykać na ograniczenia przestrzeni. Pływające farmy fotowoltaiczne mogą zatem stać się kluczowym elementem transformacji energetycznej, w wyniku nowoczesnego i zrównoważonego wykorzystania naturalnych zasobów.

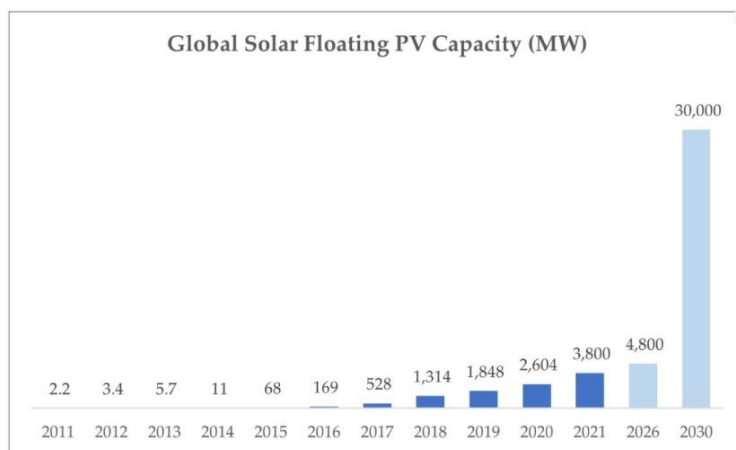
2. PŁYWAJĄCE INSTALACJE FOTOWOLTAICZNE

Pływająca instalacja fotowoltaiczna jest systemem produkcji energii elektrycznej, w którym panele fotowoltaiczne umieszczane są na pływających platformach na powierzchni zbiornika wodnego. Panele są identyczne z używanymi w tradycyjnych instalacjach stacjonarnych. Zbierają energię ze światła słonecznego i przekształcają ją na prąd stały. Konstrukcje, na których umieszczone są panele dostosowane są do lokalizowania na powierzchni wody. Pływające farmy mogą być umieszczane na różnych akwenach: jeziorach, rzekach, stawach, czy szczególnie licznych wyrobiskach poeksploatacyjnych. Takie umiejscowienie generuje dodatkowe korzyści, jak efektywność schładzania paneli, oszczędność miejsca na lądzie oraz potencjalną ochronę przed nadmiernym parowaniem wody z akwenów.

Jednak jako niedogodności tych rozwiązań wymienić można: konieczność odpowiedniego zabezpieczenia przed ekstremalnymi warunkami atmosferycznymi, niestabilnymi warunkami panującymi na akwie, utrzymania i konserwację struktur pływających oraz monitorowanie wpływu na ekosystemy wodne.

2.1. PŁYWAJĄCE INSTALACJE W KRAJU I NA ŚWIECIE

Jak do tej pory nie udokumentowano w Polsce powstania pływającej instalacji fotowoltaicznej na dużą skalę. Niemniej jednak rozwiązania te stosowane są na świecie, przybierające różne formy. Stan pływających instalacji fotowoltaicznych oraz prognozę wzrostu ich mocy przedstawia rys. 2 [2–4].



Rys. 2. Moc zainstalowana pływającej PV na świecie
Fig. 2. Floating PV installed worldwide

Jeśli chodzi o prognozy przyrostu nowych pływających farm fotowoltaicznych wśród rozpoczętych projektów, to wymienić należy Chiny – 73%, a najprężniej rozwijającym się w tym sektorze regionem jest Azja południowo-wschodnia [5].

W zależności od warunków panujących w akwenie pływające farmy fotowoltaiczne mogą być montowane na platformach powiązanych z dnem wyrobiska – panele fotowoltaiczne nad wodą, lub jako elastyczne, samounoszące się połączenie powiązane z pozostałymi elementami całej instalacji (jak falowniki czy stacje transformatorowe) – panele fotowoltaiczne na powierzchni wody. W literaturze znaleźć możemy również propozycję posadawienia paneli fotowoltaicznych pod powierzchnią wody. Rozwiązanie takie generowałoby konieczność wyjaśnienia dodatkowych uwarunkowań, m.in. ograniczanie dopływu światła przez glony [2]. W niniejszym artykule, uwzględniając warunki panujące w akwenach poeksploatacyjnych, opisano systemy platform kotwionych do dna zbiornika.

2.2. BUDOWA PŁYWAJĄCEJ INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ

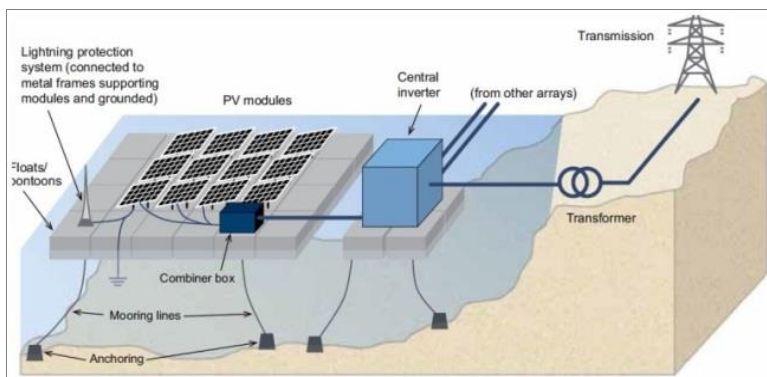
Ogólny układ pływającego systemu fotowoltaicznego podobny jest do układu stacjonarnego zainstalowanego na gruncie. Podstawowym elementem są tu generatory

energii elektrycznej – panele zmieniające energię promieniowania słonecznego na prąd stały. Panele, zwane modułami fotowoltaicznymi, łączone są w szeregi zwane stringami. Poprzez połączenie odpowiedniej ilości modułów w szeregu uzyskuje się optymalne napięcie prądu stałego właściwe dla zastosowanego inwertera fotowoltaicznego, tzw. falownika.

W celu uzyskania właściwego natężenia prądu produkowanego przez panele – stringi można łączyć ze sobą równolegle. Panele poprzez dedykowane do tego celu przewody fotowoltaiczne o odpowiedniej izolacji i wytrzymałości na warunki atmosferyczne, w tym w szczególności na promieniowanie UV, połączone są z inwerterami fotowoltaicznymi. Inwerter fotowoltaiczny jest urządzeniem do konwersji prądu stałego (DC), generowanego przez panele, na prąd zmienny (AC), przesyłany do sieci elektrycznej.

Główną funkcją inwertera jest dostosowanie prądu z paneli słonecznych do standardowego prądu zmiennego stosowanego w sieci elektroenergetycznej. Po konwersji prądu stałego na zmienny, jest on przesyłany poprzez połączenie kablowe do sieci energetycznej. W przypadku wielkoskalowych instalacji fotowoltaicznych wpięcia do istniejącej sieci publicznej dokonuje się zazwyczaj w miejscu przesyłu średniego, lub nawet wysokiego napięcia sieci. W takich przypadkach dodatkowym elementem całego układu są stacje transformatorowe. Ze względu na okresowość produkcji energii elektrycznej z promieniowania słonecznego, coraz częściej jako składowa systemu, są również wielkoskalowe magazyny energii z możliwością przechowywania nawet kilkunastu megawatogodzin [6].

W tradycyjnych systemach fotowoltaicznych wszystkie elementy posadowione są na konstrukcji umieszczonej na gruncie. Instalacje pływające charakteryzują się umiejscowieniem elementów wytwarzających, przetwarzających i przesyłających energię, na specjalnych konstrukcjach umiejscowionych w całości lub częściowo na wodzie. Schemat budowy pływającej instalacji fotowoltaicznej przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat budowy pływającej wielkoskalowej instalacji PV [2]

Fig. 3. Scheme of large-scale floating PV installation [2]

W pływających systemach fotowoltaicznych moduły montowane są na platformach wyposażonych w pontony, zapewniających unoszenie się całej konstrukcji na powierzchni wody. W zależności od warunków panujących na danym akwenu platformy łączone są ze sobą, tworząc tzw. wyspy. Platforma pływająca utrzymywana jest w miejscu systemem cumowniczym – zespołem lin zakotwionych do dna wyrobiska.

Na analogicznych konstrukcjach pływających mogą być montowane stanowiska inwerterów. Pomędzy platformami wykonywane są połączenia z przewodami ułożonymi na pływających trasach kablowych w taki sposób, aby umożliwić przemieszczanie się platform względem siebie wskutek falowania, zmian poziomu wody w zbiorniku czy też ruchów platform wywołanych wiatrem. Dodatkowym elementem jest zabezpieczenie instalacji przed przepięciami i wyładowaniami atmosferycznymi poprzez uziemienie całego układu.

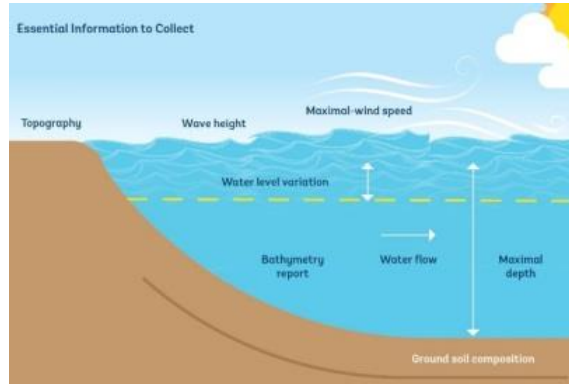


Rys. 4. Pływająca instalacja fotowoltaiczna
Fig. 4. Floating solar power plant

2.3. UWARUNKOWANIA WPLYWAJĄCE NA PRACĘ INSTALACJI PLYWAJĄCYCH

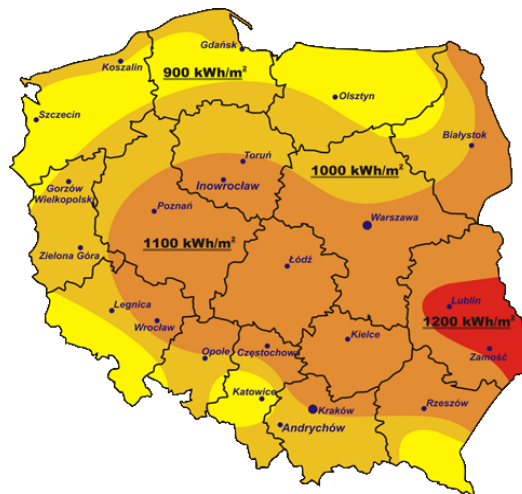
Analizując efektywność pracy pływającej instalacji fotowoltaicznej należy rozpatrzyć czynniki mające wpływ zarówno na działalność systemu i związaną z tym produkcję energii elektrycznej, jak również na uwarunkowania mające wpływ na posadowienie elementów a powierzchni wody, a w szczególności:

- nasłonecznienie i lokalne warunki klimatyczne,
- dostępna powierzchnia wody i kształt akwenu,
- batymetria, amplituda fal i prędkość wiatru,
- budowa geologiczna dna wyrobiska,
- zacienienie oraz potencjalne zabrudzenie modułów w miejscu instalacji,
- prawo do gruntu na terenie akwenu oraz w sąsiedztwie,
- aspekty środowiskowe, w tym wodne pod panelami,
- dostęp do istniejącej sieci elektrycznej i możliwość wprowadzenia dodatkowych mocy do sieci,
- pozwolenia i lokalne regulacje prawne.



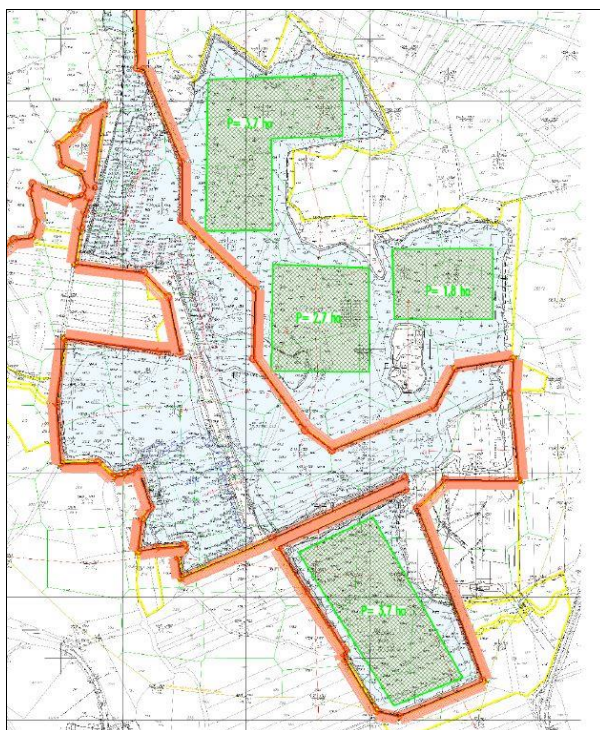
Rys. 5. Czynniki wpływające na lokalizację pływającej instalacji PV
 Fig. 5. Factors influencing the lokation floating PV instalallation

Nasłonecznienie oraz lokalne warunki klimatyczne są głównymi czynnikami warunkującymi efektywność każdego rodzaju tych instalacji. Planując budowę farmy fotowoltaicznej w zależności od miejsca, w którym będzie ona zlokalizowana należy uwzględnić: ilość dni bez opadów w ciągu roku i średnie roczne nasłonecznienie. Średnie roczne nasłonecznienie w Polsce wyrażone w ilości kilowatogodzin na metr kwadratowy przedstawia rys. 5. Należy zaznaczyć, że średnie roczne nasłonecznienie nie jest równe średniej rocznej produkcji energii elektrycznej przez moduły fotowoltaiczne. Zgodnie z raportem [1], w 2022 r. moduły montowane w instalacjach fotowoltaicznych miały sprawność na poziomie 24%.



Rys. 6. Średnie roczne nasłonecznienie [7]
 Fig. 6. Average annual insolation [7]

Najistotniejszą rolę w analizie lokalizacji pływającej instalacji mają uwarunkowania terenowe akwenu. Możliwa do wybudowania wielkość instalacji zależy nie tylko od wielkości zbiornika, czy też jego powierzchni lustra wody, ale również od kształtu obrzeży. Wyspy tworzone z platform z panelami mają zazwyczaj kształt regularnych prostokątów, co w przypadku zbiorników o nieregularnej linii brzegów, może okazać się trudne dla efektywnej realizacji.



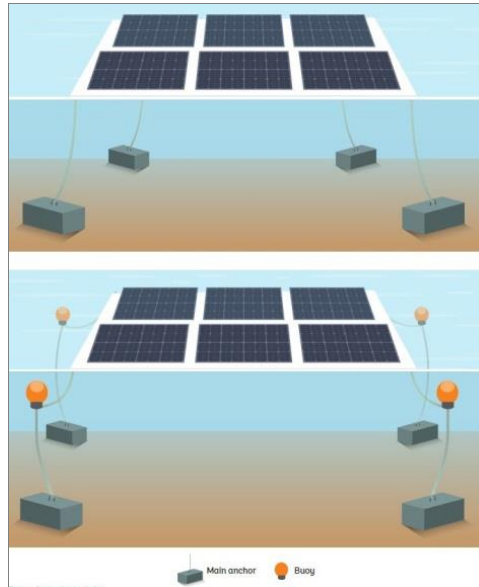
Rys. 7. Nieregularna linia brzegowa może stanowić przeciwwskazanie dla lokalizacji pływającej farmy fotowoltaicznej

Fig. 7. Irregular reservoir shore may be contraindication for floating PV

Poza kształtem akwenu, czynnikami, jakie należy rozpatrzyć są: głębokość zbiornika, falowanie wody oraz siła wiatru w rejonie. Istotne są również wahania poziomu wody. Optymalne warunki panują w zbiornikach o niewielkiej, stałej głębokości, kilku metrów oraz niewielkim poziomie wahań rzędnej lustra wody. Głębokość oraz wahania poziomu wody mają przede wszystkim wpływ na sposób kotwienia platform do podłoża. Brak korzystnych warunków związanych z głębokością i wahaniami wody nie wyklucza zbiornika z możliwości zabudowania w nim pływającej instalacji.

W takim przypadku instalacja może zostać przymocowana za pomocą bardziej skomplikowanego systemu, zawierającego poza kotwieniem i liniami dodatkowe ele-

menty, np. zwiększające elastyczność konstrukcji boje. System mocowania pływających platform do dna wyrobiska przedstawiono poglądowo na rys. 8.



Rys. 8. System z prostym kotwieniem oraz z wykorzystaniem dodatkowych boi
 Fig. 8. System with the simple anchoring and system utilizing the extra buoys

Poza widocznymi elementami, w zależności od warunków do zamocowania w wyrobisku, używa się różnego rodzaju sztywnych lub elastycznych połączeń linami cumowniczymi, połączeń wykonanych częściowo z łańcuchów, lub lin z tworzyw sztucznych oraz różnego rodzaju kotwic lub kotew łączących linie cumownicze z dnem zbiornika. Uzależnione jest to od utworów budujących dno wyrobiska.

Innym ważnym czynnikiem związanym m.in. z wytrzymałością systemu kotwiącego, wpływającym na wielkość falowania wody w zbiorniku jest wiatr. Jest to czynnik, który może doprowadzić do zniszczenia nieprawidłowo zaprojektowanej instalacji, w związku z czym powinien zostać poddany szczególnej analizie. Istotna jest nie tylko maksymalna siła wiatru wziętą w projekcie, ale przede wszystkim jego kierunek. Negatywny wpływ wiatru na platformy z panelami fotowoltaicznymi można redukować poprzez odpowiednie ułożenie modułów na platformach.

Optymalne wykorzystanie nasłonecznienia gwarantuje posadowienie paneli w kierunku południowym, pod kątem ok. 30° od poziomu, jednak przy występujących lokalnie północnych wiatrach tak ułożone panele stanowią swoisty żagiel. Układ taki spowodować może zbyt duże naprężenia w linach cumowniczych i grozić ich zerwaniem. W takich sytuacjach można minimalizować negatywny wpływ wiatru poprzez zabudowanie paneli fotowoltaicznych pod mniejszym kątem, np. w układzie wschód-

zachód. Innym rozwiązaniem może być również zabudowa osłon od północnej strony modułów fotowoltaicznych, wskutek czego unika się podwiewania paneli i negatywnego wpływu wiatru.



Rys. 9. Sposoby minimalizowania wpływu wiatru
Fig. 9. Ways of the wind impact minimization

Układ paneli w kierunku wschód-zachód poza minimalizowaniem wpływu wiatru ma też taką zaletę, że produkcja energii w trakcie dnia jest bardziej równomierna. Całkowity uzysk w skali roku jest mniejszy, niż przy południowym układzie paneli o około 10–15% [8], jednak prąd oddawany do sieci publicznej nie powoduje jej przeciążenia w godzinach szczytu. Z ekonomicznego punktu widzenia należy rozpatrzyć, które rozwiązanie będzie bardziej racjonalne. Rozłożenie produkcji w dłuższym czasie w ciągu dnia w przypadku naliczania stawek godzinowych za odprowadzaną energię może zaowocować większą ilością energii odprowadzonej do sieci w godzinach, kiedy prąd jest droższy, co finalnie okazać się może bardziej opłacalne. Jeszcze większą elastyczność w sterowaniu odprowadzaniem energii w godzinach, gdy jest to najbardziej opłacalne, mogą dać zainstalowane razem z elektrownią fotowoltaiczną magazyny energii – stacjonarne lub pływające.

Istotnym elementem ograniczającym produkcję energii z pływającej instalacji fotowoltaicznej może być zacienienie i zabrudzenie paneli. Zacienienie może pochodzić od rosnących drzew na brzegu zbiornika. Zabrudzenie natomiast mogą stanowić odchody żerującego na zbiornikach i w ich sąsiedztwie ptactwa wodnego.

W przypadku tych instalacji, zwłaszcza w okresach zwiększonej aktywności ptactwa, może stanowić poważny problem i wymagać działań czyszczących i konserwacyjnych. Ograniczenie promieniowania słonecznego padającego nawet na jeden z paneli fotowoltaicznych w danym stringu skutecznie obniża efektywność całego szeregu. Miejsce zabrudzone, np. odchodami, tworzy tzw. hot-spot: zacieniony obszar stanowiący opór dla swobodnego przepływu elektronów w ogniwach krzemowych panelu, wskutek czego dopływająca do zacienionego miejsca energia elektryczna powoduje rozgrzanie tego obszaru.



Rys. 10. Zabrudzenie paneli fotowoltaicznych
 Fig. 10. Contamination of photovoltaic modules

Ze wzrostem temperatury otoczenia oraz samych modułów fotowoltaicznych, spada ich sprawność. Pomijając opisane hot-spoty, w każdych warunkach moduły, na które padają promienie słoneczne nagrzewają się podczas pracy i ich wydajność spada. Posadowienie instalacji fotowoltaicznej na pływających platformach ogranicza nagrzewanie się paneli. Lokalizacja modułów w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika wodnego umożliwia bardziej stabilne warunki temperaturowe, a co za tym idzie optymalizowanie pracy całej instalacji.

Pomimo, że w przypadku pływających instalacji fotowoltaicznych elementy systemu znajdują się głównie na zbiorniku, istotne jest również dysponowanie przynajmniej częścią terenu na obrzeżu akwenu. Jest to niezbędne ze względu na konieczność połączenia instalacji z siecią dystrybucji energii elektrycznej do której odprowadzany jest prąd. Połączenie takie można uregulować ustanawiając ograniczone prawo rzeczowe dla pasa gruntu, pod którym mogą być prowadzone przewody elektryczne, jednak na czas budowy instalacji konieczne jest posiadanie części gruntów przy zbiorniku z łagodnym brzegiem. W miejscu tym montowane są wszystkie elementy instalacji oraz pływające platformy, które następnie są wodowane oraz łączone w pływające wyspy. Wyspy transportowane są sprzętem pływającym w miejsce docelowe i tam kotwione do dna wyrobiska.

Niezwykle istotnym aspektem, który należy rozważyć jest wpływ pływającej instalacji fotowoltaicznej na środowisko naturalne. Pływająca fotowoltaika może mieć zarówno pozytywny, jak i negatywny wpływ na środowisko, w zależności od konkretnego projektu, jego lokalizacji i zarządzania kwestiami środowiskowymi. Jako ważniejsze pozytywne aspekty wpływu pływającej fotowoltaiki na środowisko można wskazać:

1. Zrównoważoną produkcję energii: pływająca fotowoltaika umożliwia produkcję energii przy użyciu odnawialnego źródła (słońce), co przyczynia się do redukcji emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń powietrza.
2. Oszczędność miejsca na lądzie – umieszczenie paneli fotowoltaicznych na lustrze wody pozwala zaoszczędzić cenne obszary gruntu, które mogą być wykorzystane w inny sposób, bez konieczności konfliktu z użytkami rolnymi czy obszarami przyrodniczymi.
3. Redukcję parowania – pływające instalacje mogą pomóc w ograniczeniu parowania wody z zbiorników, co ma korzystny wpływ na bilans danego obszaru.
4. Ochronę ekosystemów wodnych: platformy pływające mogą pełnić funkcję bariery, pomagając w ochronie ekosystemów wodnych przed nadmiernym wzrostem glonów czy innymi negatywnymi skutkami.

Z drugiej jednak strony wskazać należy i negatywny wpływ takich instalacji:

1. Potencjalne zakłócenie ekosystemów wodnych: budowa i utrzymanie pływających instalacji fotowoltaicznych mogą wprowadzić pewne zakłócenia w lokalnym ekosystemie wodnym. Konieczne jest staranne monitorowanie celem zminimalizowania negatywnych skutków. Największym zakłóceniem naturalnych ekosystemów może być ograniczenie dopływu światła słonecznego. Jest to element o tyle istotny, że instalacje te montowane są na zbiornikach płytkich, w których światło słoneczne przenika na całą głębokości zbiornika. Z drugiej jednak strony moduły nie zatrzymują całości padającego na nie światła, a w przypadku zastosowania paneli produkowanych w technologii szkło-szkło, czyli takich, w których jedynym elementem zatrzymującym promieniowanie słoneczne są plastry krzemowe zanieczyszczenie powodowane przez panele jest minimalne.
2. Odpady i recykling: produkcja paneli fotowoltaicznych wiąże się z wykorzystaniem pewnych surowców, a ich utylizacja może stwarzać problemy ze względu na obecność substancji chemicznych. Konieczne jest skuteczne zarządzanie odpadami i promowanie recyklingu.
3. Konflikty z użytkowaniem wód: w przypadku nieprawidłowego planowania i zarządzania, pływające instalacje mogą kolidować z innymi użytkownikami wód, jak transport wodny czy rekreacja.
4. Potencjalne zanieczyszczenie wód zarówno na etapie budowania konstrukcji, jak i później z elementów pływających do wody mogą przedostać się zanieczyszczenia.

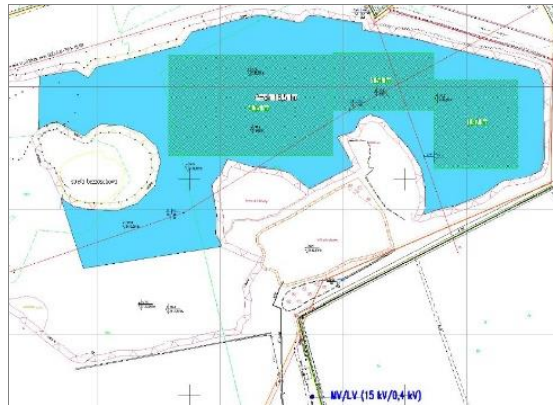
W celu zminimalizowania negatywnego wpływu pływającej fotowoltaiki na środowisko, istotne jest przeprowadzenie dokładnej oceny oddziaływania środowiskowego przed rozpoczęciem projektu oraz stosowanie odpowiednich praktyk zarządzania środowiskiem w trakcie realizacji projektu.

Ostatnim z aspektów, jaki należy poddać analizie w przypadku pływających instalacji fotowoltaicznych są uwarunkowania prawne, a w szczególności akty prawa miejscowego. Przed przystąpieniem do realizacji projektu pływającej instalacji fotowolta-

icznej na skalę przemysłową może okazać się konieczna zmiana dokumentów planistycznych obowiązujących w miejscu planowanej lokalizacji inwestycji. Innym poważnym problemem może okazać się również brak wolnych mocy przyłączeniowych i formalności jakich oczekuje odbiorca energii elektrycznej dysponujący publicznymi sieciami energetycznymi.

3. AKWENY POEKSPLOATACYJNE

Akweny poeksploatacyjne posiadają zazwyczaj regularną linię brzegową. Wyjątkiem są sytuacje, gdy z różnych względów przedsiębiorcy nie udało się nabyć wszystkich nieruchomości w granicach złoża, jednak nawet w takich przypadkach przy odpowiedniej powierzchni wyrobiska, może znaleźć zastosowanie modułowa budowa pływającej instalacji fotowoltaicznej.



Rys. 11. Koncepcja zagospodarowania zbiornika poeksploatacyjnego z wewnętrznym zwałowiskiem nadkładu

Fig. 11. The concept a post-mining reservoir development with internal dump overburden

Niewątpliwą zaletą wyrobisk poeksploatacyjnych jest niewielka zmienność głębokości na całej jego powierzchni. W przypadku złóż piasku i żwiru głębokość zalegania spągu tych utworów warunkuje zazwyczaj powstanie zbiorników o optymalnej batymetrii dla posadowienia i zakotwienia pływającej instalacji fotowoltaicznej. Problemem może być zwałowanie nadkładu wewnątrz wyrobiska, co powoduje powstawanie wysp i półwyspów, jednak podobnie jak w przypadku linii brzegowej, nie musi to wykluczać zbiornika z możliwości zabudowania pływającej fotowoltaiki.

W przypadku prowadzenia eksploatacji dostępne są dokładne dane na temat kształtowania się dna wyrobiska, oraz jego budowy geologicznej, co znacznie upraszcza analizę w fazie projektowania instalacji.

Jeżeli przedsiębiorca górniczy nabył przed przystąpieniem do eksploatacji prawo do dysponowania wszystkimi gruntami na których prowadzona była eksploatacja, oczywista jest też kwestia własności gruntów pod zbiornikiem wodnym. Do uregulowania, tak jak w przypadku innych instalacji fotowoltaicznych, pozostaje w takim przypadku sposób podłączenia całej instalacji do publicznej sieci energetycznej.

Dostosowania wymagały będą zazwyczaj akty planistyczne obowiązujące na terenie prowadzonej dotychczas eksploatacji. Zarówno działalność górnicza, jak i lokalizowanie instalacji fotowoltaicznych o dużej mocy wymaga zgodności z dokumentami planistycznymi gminy. Dla instalacji fotowoltaicznych o dużej mocy wymagane jest ustalenie odpowiedniego przeznaczenia gruntów w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego. Wbrew pozorom te dwa wydawałoby się różne przeznaczenia nie muszą się wzajemnie wykluczać. Jedną z możliwości może być zaplanowanie zagospodarowania gruntów urządzeniami wytwarzającymi energię elektryczną z promieniowania słonecznego o mocy zainstalowanej powyżej 1 MW w ramach rekultywacji terenów poeksploatacyjnych. Z różnych względów rozwiązanie to może jednak nie być optymalne i może spotkać się z dezaprobatą władz lokalnych.

Znane są również przypadki, w których akt prawa miejscowego, jakim jest miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, dopuszcza w ramach przeznaczenia tego samego terenu działalność górniczą, oraz lokalizowanie instalacji fotowoltaicznych dużej mocy [9]. Należy jednak zakładać, że są to przypadki pojedyncze i w skali kraju wyjątkowe. Mając na uwadze częstotliwość sporządzania nowych i aktualizowania istniejących planów zagospodarowania przestrzennego, należy się spodziewać, że dokument ten będzie wymagał aktualizacji. Może to być najbardziej czasochłonny etap procesu inwestycyjnego budową pływającej instalacji fotowoltaicznej.



Rys. 12. MPZP dopuszczający działalność górniczą i PV jednocześnie

Fig. 12. Local development plan allowing the mining and PV activities together

Przyspieszyć ten proces może zmiana przepisów o zagospodarowaniu przestrzennym i uchwalanie planów ogólnych zagospodarowania przestrzennego, jednak analiza zapisów nowej ustawy nie jest przedmiotem niniejszego opracowania, a sprawa powinna zostać rozpatrzona każdorazowo w przypadku planowania zagospodarowania konkretnej lokalizacji.

Zainstalowanie pływającej instalacji fotowoltaicznej może pokryć zapotrzebowanie zakładu na energię elektryczną. Na rynku dostępne są rozwiązania, w ramach których dostawca rozlicza pobór zakładu z energii wyprodukowanej przez instalację. Jest to dodatkowy czynnik przemawiający za lokalizowaniem pływających instalacji fotowoltaicznych w poeksploatacyjnych akwenach.

4. PODSUMOWANIE

Pływające instalacje fotowoltaiczne są rozwiązaniem coraz częściej wykorzystywanymi na świecie. Ma ono niewątpliwie wiele zalet oraz rozwiązuje wiele problemów stanowiących coraz poważniejsze bariery dla tradycyjnych instalacji stacjonarnych na gruncie. System ten wymaga jednak wielu specyficznych uwarunkowań, jakie muszą spełniać zbiorniki wodne. Akwenty powstałe po wydobywaniu piasków i żwirów spełniają warunki techniczne, a ze względu na wcześniejsze zajęcie terenów pod działalność przemysłową i wyłączenie ich już wcześniej z produkcji rolnej, pozwalają uniknąć konfliktów społecznych.

Rozwiązanie to jest jednak znacznie droższe niż klasyczne stacjonarne farmy. Koszty związane są z dodatkowymi elementami, które muszą zapewnić uniesienie się instalacji na powierzchni wody, ale również z dodatkowymi działaniami w trakcie eksploatacji instalacji w warunkach znacznie mniej stabilnych niż w przypadku instalacji na gruncie. W związku z tym do momentu społecznej zgody na przeznaczanie kolejnych gruntów rolnych pod instalacje fotowoltaiczne należy spodziewać się utrzymania trendu lokalizowania fotowoltaiki na gruncie. W przyszłości jednak pływająca fotowoltaiką może okazać się korzystniejsza od dotychczasowych rozwiązań, co już dziś obserwowane jest w niektórych częściach świata.

LITERATURA

- [1] RAPORT, *Rynek fotowoltaiki w Polsce*, Instytut Energetyki Odnawialnej, XI edycja, maj 2023.
- [2] *Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report*, Solar Energy Research Institute of Singapore, Singapore, 2019.
- [3] FLOATING PV, *On the Rise in Europe*, Intersolar Europe, <https://www.intersolar.de/market-trends/floating-pv-europe>
- [4] *Global Industry Analysts Predicts the World Floating Solar Panels Market to Reach 4.8 Thousand MW by 2026*, Global Industry Analysts, San Jose 2022.
- [5] World Bank Group, ESMAP, and SERIS, 2019.

- [6] SZYMAŃSKI B., *Instalacje fotowoltaiczne*, KENO, Gliwice 2021.
- [7] Podlaska Agencja Zarządzania Energią, <https://paze.pl/>
- [8] *Zielona energia dla Biznesu*, Selena ESG, <https://www.selenaesg.pl/poludnie-czy-wschod-zachod-ktory-kierunek-bedzie-najefektywniejszy-dla-instalacji-fotowoltaicznej/>
- [9] Uchwała nr XLVIII/484/23 Rady Gminy Warta Bolesławiecka z 6.06.2023, Dz.Urz. Woj. Doln. 2023.3827.

ANALYSIS OF LOCATION POSSIBILITIES
FOR FLOATING PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS
IN POST-MINING WATER BASINS

The article analyzes conditions in the post-mining reservoirs of natural aggregates (sands and gravels) in terms of the possible installation of floating photovoltaic farms. The perspectives of utilization of photovoltaic power plants (PV) analyzed from the scope of various aspects of this innovative technology were presented in the paper.

Łukasz MACHNIAK¹
Konrad SŁOWIŃSKI²

¹ AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami

² Polski Związek Producentów Kruszyw, Kielce

WPLYW AUDYTÓW KRAJOBRAZOWYCH WOJEWÓDZTW NA PROWADZENIE DZIAŁALNOŚCI GÓRNICZEJ

Zgodnie z ustawą z dnia 24 kwietnia 2015 r. o zmianie niektórych ustaw w związku z wzmocnieniem narzędzi ochrony krajobrazu do ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym wprowadzono obowiązek sporządzenia audytu krajobrazowego; sporządzanego nie rzadziej niż raz na 20 lat, identyfikującego m.in. obszary szczególnie cenne ze względu na walory przyrodnicze, kulturowe, historyczne, architektoniczne, urbanistyczne, wiejskie czy estetyczno-krajobrazowe. Choć dokument ten stanowi jedynie rekomendację dla organów planowania przestrzennego, to może znacząco przyczynić się do ograniczenia obszarów pozyskiwania kruszyw, co skutkować będzie redukcją bazy surowcowej. Podjęto próbę oceny wpływu audytu na działalność górnictw w zakresie wydobycia kruszyw. Analizy dokonano na podstawie kompletnych już dokumentacji oraz informacji uzyskanych od organów przygotowujących audyty.

1. WPROWADZENIE

Zgodnie z ustawą *o wzmocnienia narzędzi ochrony krajobrazu do ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym* [1], audyt krajobrazowy jest dokumentem sporządzanym obowiązkowo; nie rzadziej niż co 20 lat przez zarząd województwa, a następnie uchwalanym przez sejmik województwa. To narzędzie planistyczno-analityczne ma z założenia określać:

- krajobrazy występujące na terenie województwa oraz wskazywać tzw. krajobrazy priorytetowe,
- wartości krajobrazu w obrębie parków narodowych, rezerwatów przyrody, parków krajobrazowych, obszarów chronionego krajobrazu, parków kulturowych oraz istniejących i proponowanych: obiektów Światowego Dziedzictwa Ludzkości oraz rezerwatów biosfery,
- rekomendacje i wnioski w zakresie kształtowania i ochrony cech ww. krajobrazów priorytetowych i obszarów, oraz

- formułować postulaty utworzenia lub powiększenia parku krajobrazowego lub obszaru chronionego krajobrazu.

Audyty mają stanowić środek prawny służący zapewnieniu skutecznej ochrony krajobrazu. Dokument ma zostać uwzględniony w treści aktów planistycznych, przede wszystkim na poziomie gmin. Pomimo, iż według zapewnień ustawodawcy nie jest to dokument wiążący, to wprowadza on wiele nieprecyzyjnych i niespójnych określeń.

W dokumencie mowa jest zarówno o wnioskach, jak i rekomendacjach. Powiązanie audytu z innymi dokumentami planistycznymi nie zostało określone w jednoznaczny sposób, co powoduje konieczność dokonywania analizy charakteru prawnego i skutków dla każdego z aktów planistycznych osobno. Mimo, iż dokument nie jest aktem prawa miejscowego, gdyż nie zawiera przepisów prawa powszechnie obowiązujących, nie wiąże on również decyzji administracyjnych. Wpływa jednak na treść innych aktów planistycznych prawa miejscowego oraz na działania organów administracji publicznej.

Zgodnie z art. 16 ust. 4c ustawy *o ochronie przyrody* [2], rada gminy nie może odmówić uzgodnienia projektu uchwały o utworzeniu lub powiększeniu obszaru parku krajobrazowego, jeżeli jest ono konsekwencją rekomendacji zawartej w audycie krajobrazowym. Natomiast według art. 23 ust. 3c tej ustawy, to samo dotyczy utworzenia oraz powiększenia obszaru chronionego krajobrazu, a art. 20 ust. 1, pkt 6 stanowi wprost o uwzględnieniu wyników audytu krajobrazowego w opracowywaniu planu ochrony rezerwatów oraz parków narodowych [3, 5].

2. WPŁYW AUDYTU NA BAZĘ ZASOBÓW PIASKÓW I ŻWIRÓW

Jednym z celów audytów krajobrazowych jest rekomendowanie utworzenia nowego lub powiększenia aktualnej formy ochrony przyrody – parku krajobrazowego lub obszaru chronionego krajobrazu. Już dziś obszar Polski objęty jest w 40% przynajmniej jedną z powierzchniowych form ochrony przyrody.

Regionalnie jest to dość zróżnicowane. Największe pokrycie występuje w województwach: świętokrzyskim (65%), warmińsko-mazurskim (56%), podkarpackim (55%), małopolskim (54%), zachodnio-pomorskim (45%), lubuskim (44%), podlaskim (42%), pomorskim (40%), kujawsko-pomorskim (36%), mazowieckim (36%), wielkopolskim (36%), dolnośląskim (32%), lubelskim (31%), opolskim (30%), śląskim (22%), łódzkim (20%). Skutkuje to konfliktami lokalizacyjnymi ze złożami, głównie kopalin piaskowo-żwirowych (tab. 1, rys. 1).

Szacuje się, że na terenach chronionych w skali kraju znajduje się około 25% zagospodarowanych złóż piasków i żwirów. Zasoby przemysłowe tych złóż wynoszą ~11%, a wydobywanie stanowi około 10% z wszystkich krajowych złóż. Regionalnie jest to również bardzo zróżnicowane. Jako przykład można podać województwo

małopolskie, w którym 53% zagospodarowanych złóż z 66% zasobami przemysłowymi oraz 56% wydobycia znajduje się w granicach przynajmniej jednej formy ochrony przyrody. Mało zrównoważone podejście do rekomendowania nowych form ochrony przyrody, skutkować może dalszym pogorszeniem dostępności do złóż surowców skalnych.

Tabela 1. Konflikt zagospodarowanych złóż piaskowo-żwirowych z formami ochrony przyrody
Table 1. Conflict of developed sand and gravel deposits with forms of nature protection

| Województwo | Liczba złóż | Zasoby przemysłowe | Wydobycie |
|---------------------|-------------|--------------------|-----------|
| | % | % | % |
| dolnośląskie | 17 | 25 | 20 |
| kujawsko-pomorskie | 29 | 16 | 15 |
| lubelskie | 19 | 8 | 8 |
| lubuskie | 19 | 3 | 21 |
| łódzkie | 6 | 2 | 5 |
| małopolskie | 53 | 66 | 56 |
| mazowieckie | 25 | 6 | 6 |
| opolskie | 9 | 2 | 2 |
| podkarpackie | 32 | 34 | 27 |
| podlaskie | 12 | 4 | 4 |
| pomorskie | 26 | 19 | 15 |
| śląskie | 21 | 32 | 34 |
| świętokrzyskie | 73 | 51 | 67 |
| warmińsko-mazurskie | 15 | 8 | 7 |
| wielkopolskie | 37 | 36 | 27 |
| zachodniopomorskie | 19 | 35 | 38 |

O ile w przypadku form ochrony przyrody w ustanawiających je dokumentach istnieje zamknięty katalog zakazów; ale też i odstępstwa od nich, to w przypadku wielu rekomendacji możemy mówić o katalogu otwartym – nieskończonym. Należy zauważyć, że audyt krajobrazowy, wpływa na treść innych aktów – pośrednio, jako zasób wymaganych do uwzględnienia informacji. Częściowo jednak ma charakter normatywny, choć nie jest aktem prawa miejscowego powszechnie obowiązującym.

W jaki sposób rekomendacje będą przenoszone do gminnych dokumentów planistycznych oraz jakie będzie podejście w uzgadnianiu tych dokumentów w kontekście zapisów wynikających z audytu?

Zagadnienie to nie jest zweryfikowane w praktyce działania organów administracji i w orzecznictwie sądów administracyjnych z uwagi na fakt, że audyty krajobrazowe nadal znajdują się w fazie opracowania i nie jest możliwe przywołanie wyroków sądów administracyjnych. Istnieje bardzo duże ryzyko, że założenia oraz wnioski zawarte w au-

dycie mogą być przenoszone w sposób dosłowny do aktów prawa miejscowego. Rodzi to kolejne ryzyka dla prowadzenia działalności górniczej.

3. AKTUALNY STAN ZAAWANSOWANIA

Pierwotnym terminem opublikowania audytów miał być koniec 2023 r. Z uwagi na stopień zaawansowania dokumentu oraz fakt, że jest to pierwsza publikacja tego dokumentu – większość jednostek planistycznych napotkała spore trudności. Z tego też względu jedynie dwa województwa ukończyły audyt w wskazanym terminie. Stan zaawansowania oraz szacowane terminy przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2. Stan zaawansowania prac and wprowadzeniem audytu krajobrazowego województw
Table 2. The state of progress of work and the introduction of a landscape audit of voivodeships

| Województwo | Termin konsultacji społecznych | Planowana publikacja | Uwagi |
|---------------------|-------------------------------------|----------------------|--|
| dolnośląskie | 2 kwartał 2024 r. | koniec 2024 r. | |
| kujawsko-pomorskie | – | jest dokument | od 25 grudnia [strona] |
| lubelskie | początek 2024 r. | koniec 2024 r. | termin ulegnie przełożeniu |
| lubuskie | 1 kwartał 2024 r. | | termin koniec 1 kwartału |
| łódzkie | połowa 2024 r. | | |
| małopolskie | połowa 2024 r. | | „po informacji dzwonić w drugiej połowie stycznia” |
| mazowieckie | połowa grudnia 2023 r. | początek 2024 r. | |
| opolskie | wrzesień–październik 2024 r. | 4 kwartał 2024 r. | |
| podlaskie | brak terminu | koniec 2024 r. | przedłużenie, koniec 2025 r. |
| podkarpackie | 4 kwartał 2024 lub początek 2025 r. | 1 kwartał 2025 r. | |
| pomorskie | wiosna 2024 r. | druga połowa 2024 r. | |
| śląskie | 2 kwartał 2024 r. | wrzesień 2024 r. | |
| świętokrzyskie | początek 2024 r. | 30 marca 2024 r. | przedłużenie, koniec 2025 r. |
| warmińsko-mazurskie | luty–marzec 2024 r. | czerwiec 2024 r. | |
| wielkopolskie | – | gotowy dokument | |
| zachodniopomorskie | grudzień 2023 r. | styczeń 2024 r. | planowany jest termin etapu prekonsultacji |

Dokument ukończyły województwa, kujawsko-pomorskie oraz wielkopolskie. Bliższe ukończenia są organy planowania przestrzennego w województwach: zachodnio-

pomorskim oraz małopolskim, pozostałe są na etapie sporządzania dokumentu bądź planowania konsultacji społecznych.

Większość terminów podanych w tab. 2 jest orientacyjna i najprawdopodobniej ulegną one przełożeniu. W chwili pozyskiwania informacji z urzędów marszałkowskich na temat postępu prac pojawiały się bardzo często odpowiedzi dotyczące składania wniosku o przedłużenie terminu publikacji.

4. PODSUMOWANIE

Posiadanie własnej lokalnej bazy surowcowej w obecnej sytuacji geopolitycznej jest niezwykle ważne. Ustawodawcy starają się skupiać na surowcach krytycznych, a nie na kopalinach skalnych, tak ważnych z punktu widzenia rozwoju gospodarczego, stanowiącego swego rodzaju podstawę do tworzenia infrastruktury sprawnego państwa.

Pomimo, że audyt nie jest aktem prawa miejscowego oraz nie wiąże bezpośrednio decyzji administracyjnych, to wpływa on jednak na decyzje organów administracji publicznej, zwłaszcza przy sporządzaniu i uchwalaniu innych aktów, włącznie z prawem miejscowym [5]. Skutki audytu są jak na razie trudne do oceny, z racji na nieodległy termin w jakim dokumenty zaczęły się pojawiać.

Aktualny stan zaawansowania audytów krajobrazowych różni się znacząco w poszczególnych województwach. W momencie pozyskiwania danych ukończony audyt posiadały jedynie województwa: wielkopolskie i kujawsko-pomorskie. Bliskim ukończenia były pomorskie oraz małopolskie. Niewątpliwie dokument ten wymaga prowadzenia szczegółowej oceny oraz inwentaryzacji krajobrazów szczególnie cennych, co niewątpliwie wpływa na czas sporządzania dokumentacji.

W przypadku kruszyw piaskowo-żwirowych aktualna krajowa baza zasobowa wystarczy na około 19 lat, a kamieni łamanych i blocznych na 33 lata. W przypadku braku odtworzenia bazy zasobów wystąpić mogą poważne konsekwencje, negatywne z punktu widzenia rozwoju kraju. Audyt niewątpliwie wpłynie na powstanie nowych obszarów chronionych, na których prowadzenie eksploatacji będzie w znaczący sposób ograniczone, bądź wręcz niemożliwe. Będzie też wskazywał liczne krajobrazy priorytetowe, z wieloma rekomendacjami co do możliwego zagospodarowania i prowadzonych działań. Może to skutkować spotęgowaniem problemów jakie napotyka branża górnicza w obecnym czasie.

LITERATURA

- [1] Ustawa z dnia 24 kwietnia 2015 r. o zmianie niektórych ustaw w związku ze wzmocnieniem narzędzi ochrony krajobrazu, do ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. 2015.774.1688).
- [2] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (t.j., DzU 2023.1890).
- [3] *Ekspertyza w zakresie konsekwencji prawnych sporządzenia audytu krajobrazowego*, Kancelaria Rady Prawnego Anna Fogel, Warszawa 2021.

- [4] MACHNIAK Ł., *Wydobycie piasku i żwiru na terenach chronionych w ujęciu geoprzestrzennym*, Konferencja Nowoczesne Kopalnie Żwiru i Piasku, Rzeszów 2019.
- [5] FOGEL A., *Audyty krajobrazowe, a dokumenty planistyczne w planowaniu przestrzennym oraz ochronie przyrody*, V Konferencja Wdrażania Europejskiej Konwencji Krajobrazowej w Polsce, 2016.

THE IMPACT OF LANDSCAPE AUDITS OF VOIVODESHIP ON MINING ACTIITIES

In accordance with the Act of April 24, 2015, amending certain acts in connection with strengthening landscape protection tools, to the Act on spatial planning and development. the obligation to prepare a landscape audit was introduced. The document is to be prepared at least once every 20 years and to identify, among others, areas that are particularly valuable to society due to their natural, cultural, historical, architectural, urban, rural, or aesthetic and scenic values.

However, the guidelines for preparing a Landscape Audit were regulated only in 2019 with a subsequent change in 2022. Their original completion date was to be 2023. Due to the complexity of the document, most voivodeships did not complete their studies on time.

Depending on the voivodeship, the number of recommended areas considered particularly valuable may vary. Although the document is only a recommendation for spatial planning authorities, it may significantly contribute to reducing the areas of aggregate extraction. This will result in a reduction of the raw material base in the future. The article attempts to assess the impact of the audit on mining activities in the field of aggregate extraction. The analysis was made on the basis of already completed documents as well as information obtained from representatives of the bodies preparing the study.

Jerzy MALEWSKI

Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

STRUKTURA NAKŁADÓW INWESTYCYJNYCH I KOSZTÓW OPERACYJNYCH MASZYN PODSTAWOWYCH W PROJEKCIE INSTALACJI PRZERÓBKI KRUSZYW

W artykule podjęto próbę oszacowania struktury nakładów inwestycyjnych oraz kosztów eksploatacyjnych dla grupy maszyn podstawowych na przykładzie średniej wielkości zakładu przerobczego kruszyw. Dla zaprojektowanej technologii oraz wybranych do realizacji podstawowych maszyn: kruszarek, przesiewaczy i przenośników, wykonano obliczenia symulacyjne zdolności produkcyjnej całego układu oraz określono stopień jego obciążenia i wykorzystania mocy. Na tej podstawie obliczono nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacji tej grupy maszyn. Wyniki analizy przedstawiono w formie syntetycznej w postaci tabel i wykresów z komentarzem dotyczącym sposobu obliczeń.

1. WSTĘP

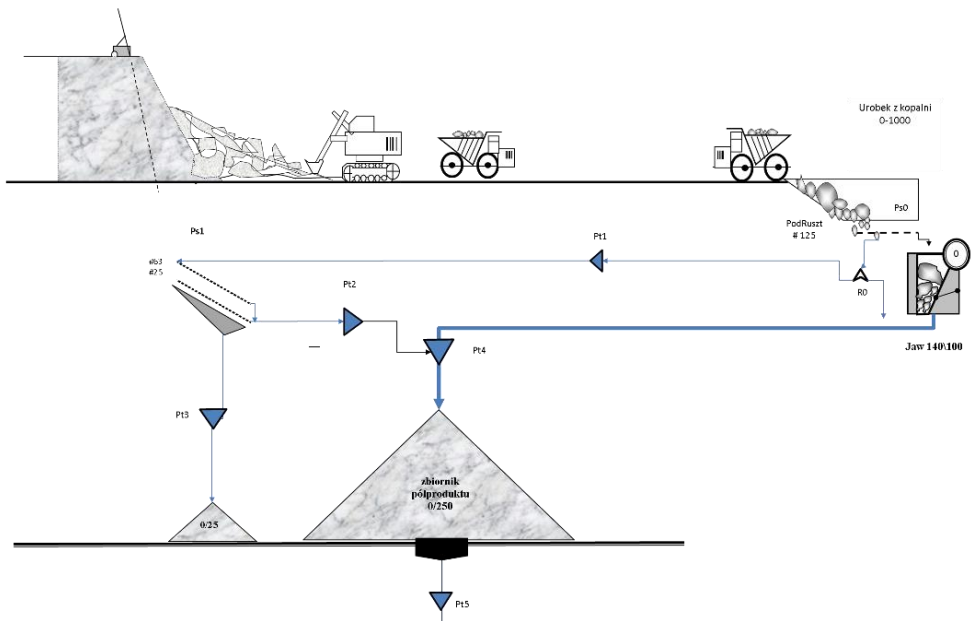
Znajomość kosztowych elementów zrealizowanych projektów inwestycyjnych nie jest powszechna nawet w społeczności danej branży, nie mówiąc o środowisku akademickim. Wiedzę tę posiadają projektanci instalacji, ale nie jest ona dostępna w szczegółach z powodów prawnych i rynkowych. Tymczasem jest to bardzo interesujący temat dla potencjalnych inwestorów oraz jednostek około-branżowych tego przemysłu. aby mogli one lepiej sprofilować swoją aktywność gospodarczą lub naukowo-badawczą.

Zakłady produkcji kruszyw to stosunkowo prosta technologia realizowana przez trzy podstawowe rodzaje maszyn: kruszarki, przesiewacze (operacje jakościowe) oraz przenośniki (operacja ilościowa). Pozostałe elementy instalacji i infrastruktury dopełniają całość, ale mają one niewielki udział w kosztach produkcji i będą w tym artykule pominięte. Nawiążemy przy tym do wcześniejszej autora publikacji o energochłonności maszyn, gdzie poddano analizie energetyczną efektywność konkretnej instalacji. Tym razem analizę rozszerzono na elementy kosztowe podstawowej grupy maszyn.



Rys. 1. Charakterystyczny widok na instalację zakładu przerobczego
Fig. 1. A view on the instalation of real processing plant

Analizie poddano hipotetyczny system o typowej technologii i strukturze przestrzennej, zakładu średniej wielkości o wydajności technicznej równej 800 tys. t/rok i efektywnej ok. 600 t/rok. Daje to wartość obciążenia zakładu przerobczego w granicach 320 ton (194 m³)/godzinę. Schemat takiego systemu przedstawiono na rys. 2 i 3.

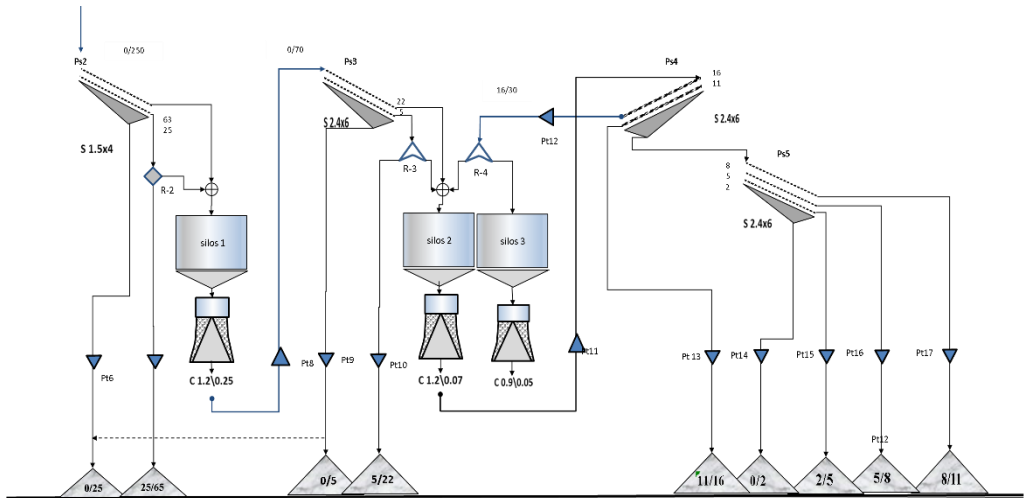


Rys. 2. Technologia i maszyny wydobywania i przeróbki wstępnej
Fig. 2. Technology and machinery of quarrying and primary crushing subsystem

Celem artykułu jest ustalenie struktury nakładów inwestycyjnych i kosztów operacyjnych głównych rodzajów maszyn w tego typu zakładach. Nowością tej analizy jest

bardziej szczegółowe potraktowanie znaczenia przenośników w strukturze kosztów produkcji – ich liczba jest znacząca (rys. 1, 6), a w przeciwieństwie do kruszarek i przesiewaczy – mocno zależy od konfiguracji przestrzennej instalacji produkcyjnej, która w praktyce jest bardzo zróżnicowana. Technologie są tu podobne, ale zabudowa zależy od warunków terenowych, dostępności do maszyn, wielkości zbiorników oraz miejsca ich lokalizacji, ale też od techniki ochrony środowiska (pylenie, hałas), oszczędności terenu zabudowy, i temu podobnych uwarunkowań technicznych i przestrzennych.

Obliczenia jakościowo-ilościowo systemu dla wybranych maszyn wykonano za pomocą własnych narzędzi analitycznych, pozwalających na kontrolowanie ważniejszych parametrów procesów operacji przerobczych z uwzględnieniem aktualnych parametrów maszyn realizujących te operacje.



Rys. 3. Technologia i maszyny przeróbki wtórnej i końcowej
Fig. 3. Technology and machinery of secondary and final processing

2. SPOSÓB OBLICZEŃ

2.1. STRUKTURA I FUNKCJE SYSTEMU

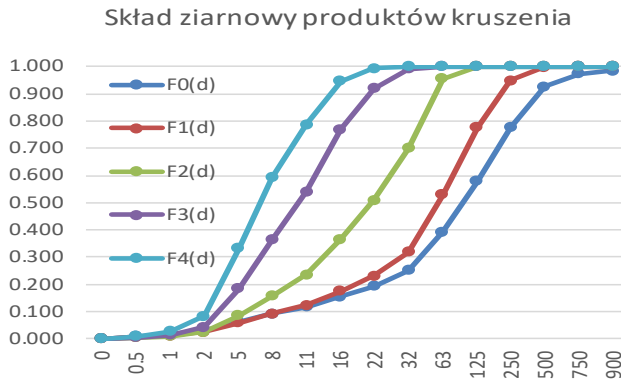
Struktura analizowanego systemu pokazana na rys. 2 i 3 zawiera elementy umożliwiające pracę maszyn w różnych konfiguracjach technologicznych, na co pozwalają zbiorniki wewnętrzne (silosy) i rozdzielnie strumieni nadawy. Schemat połączeń jest pomyślany w taki sposób, by taki system można było analizować na wiele sposobów: jako 3- lub 4-stadialny, albo pośredni między tymi sposobami. Podejście to znacznie

zwiększa niezawodność systemu oraz pozwala sterować natężeniem produktów przeróbki w celu optymalizacji efektu produkcyjnego.

Manipulując rozdzielnicami można uzyskać bardzo różne obciążenia maszyn, co wpływa na ich wydajność i końcową wartość produkcji, albo potrzebną liczbę maszyn, jeśli analizę prowadzi się na etapie projektowania systemu. Jednakże ta funkcja nie zostanie w pełni wykorzystana w tym opracowaniu z powodu ram artykułu, ograniczając studia do analizy układu z wyłączeniem produkcji frakcji grubych 22/63 i 5/22 oraz rozdziałem nadawy na 3. i 4. stopień kruszenia w równych proporcjach 50/50%.

2.2. DANE WEJŚCIOWE DO OBLICZEŃ

Jak podano wcześniej, analizie poddano projekt systemu średniej wielkości zasilany nadawą skał zwięzłych o gęstości nasypowej równej $1,65 \text{ t/m}^3$. Jeśli przyjąć roczny wolumen produkcji kruszyw na poziomie $Q_{ef} = 600 \text{ t/h}$, czas dyspozycyjny pracy na poziomie $T_d = 2500 \text{ h/rok}$, awaryjność systemu na poziomie 25% czasu dyspozycyjnego, to roczna wydajność techniczna zakładu przerobczego wyniesie $Q_{tech} = 600\,000 / (1 - 0,25) = 800\,000 \text{ t/h}$. Stąd, aby uzyskać taką wydajność, obciążenie nadawą zakładu przerobczego powinno wynosić $Q_o = 800\,000 / 2500 / 1,65 = 194 \text{ m}^3/\text{h}$.



Rys. 4. Skład ziarnowy kruszarek dla szerokości szczelin jak w tab. 1:

F_o – nadawa, F1–F4 – stadia od 1 do 4

Fig. 4. Size distributions of the crushing operation products of:

F_o – quarry, F1–F4 – secondary and following operations

Kolejnym założeniem jest rodzaj i typ maszyn wybranych do projektu. Są to: kruszarki szczękowe ST140/100, stożkowe grubego (HP), średniego i drobnego rozdrabniania (GP), przesiewacze wibracyjne CVB dwu- i trzypokładowe, oraz typowe w tym przemyśle przenośniki taśmowe. Dla nadawy, czyli produktu zakładu wydobywczego (rys. 2) i produktów kruszenia kruszarek ustalono charakterystyki uziarnienia jak na rys. 4.

2.3. KRUSZARKI

Zmiana proporcji rozdziału strumienia nadawy na silosy 2 i 3 (rys. 3) skutkuje zróżnicowaną liczbą maszyn kruszących potrzebnych w końcowych stadiach przeróbki. Powodem jest zmiana uziarnienia nadawy, a to wpływa na wydajność maszyn. Liczba potrzebnych jednostek obliczana jest jako liczba całkowita z ilorazu obciążenia do wydajności technicznej maszyny.

Tabela 1. Dobór i obliczenia kruszarek
Table 1. Selection and calculations of the crushers

| DOBOR I OBLICZENIA KRUSZAREK | | | | | |
|------------------------------|-----------|-------------|----------|----------|----------|
| Rodz. i typ maszyn | zKopalni | Szczęk | Stożk_gr | Stożk_śr | Stożk_dr |
| OblObciążenie, m3/h | 194 | 122 | 131 | 196 | 64 |
| Obl. D95 prodKr,mm | 625 | 250 | 62 | 26 | 17 |
| Symbol katalogowy | | C130 | HP200gr | GP220 | GP220 |
| Moc silnika, kW | Katalog | 160 | 132 | 130 | 160 |
| Ciezar, t | Katalog | 23.3 | 12.16 | 10.2 | 10.2 |
| L lub Dw, mm | Katalog | 1300 | 950 | 942 | 942 |
| B, mm | Katalog | 1000 | 250 | 70 | 50.0 |
| s, mm | Zadane | 30 | 30 | 25 | 25 |
| e, mm | Zadane | 125 | 25 | 12 | 8.0 |
| Qtechn, m3/h | Obliczono | 183 | 159.8 | 101.9 | 65.7 |
| (1.6 t/m3) | Obliczono | 302 | 264 | 168 | 108 |
| Potrzeba maszyn | Obliczono | 1 | 1 | 2 | 1 |
| zainstMoc, kW | Obliczono | 160 | 132 | 260 | 160 |
| ObcNadawą, % | Obliczono | 67% | 82% | 96% | 97% |
| Wykorzyst.Moc,kw | Obliczono | 128 | 118 | 254 | 157 |

W tym artykule ograniczymy się do wariantu układu, w którym preferowana jest produkcja frakcji drobnych (grynowych), kosztem frakcji grubych. W tym wypadku liczba maszyn i ich parametry oraz ich aktualna liczba i obciążenia są jak w tab. 2.

Tabela 2. Parametry i obliczenia przesiewaczy wibracyjnych
Table 2. Parameters and calculations of the screens

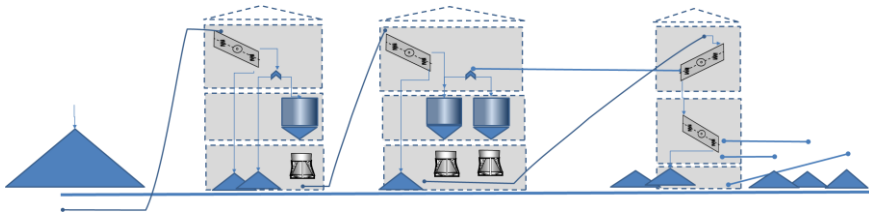
| DOBOR I OBLICZENIA PRZESIEWACZY | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Projekt | Zadane | Ruszt | WibrPlask | WibrPlask | WibrPlask | WibrPlask | WibrPlask |
| L. pokładów | Zadane | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| Oczka sit, mm | Zadane | 125 | 63/25 | 63/25 | 25/5 | 16/11 | 8/5/2 |
| PotrzPowSita, m2 | Obliczone | 3.6 | 3.6 | 6.8 | 12.2 | 26.5 | 16.3 |
| Model | | TK8-27-2V | CVB1240 | CVB1845 | CVB1845 | CVB1845 | CVB1845 |
| Moc siln., kW | katalog | 4.5 | 10 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Długość L, m | katalog | 1 | 4 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 |
| Szer. B, m | katalog | 4 | 1.2 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |
| Pow. BxL, m2 | katalog | 4 | 4.8 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 |
| LiczbaPrzes | Obliczone | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 3 |
| Przyjęta pow., m2 | Obliczone | 4 | 4.8 | 8.1 | 16.2 | 32.4 | 24.3 |
| Moc zainst. kW | Obliczone | 4.5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 45 |
| Wykorzyst. kW | Obliczone | 94% | 85% | 90% | 85% | 89% | 80% |

2.4. PRZESIEWACZE

Przesiewacze dobiera się wg ich wydajności technicznej najmniej wydajnego pokładu sitowego. Wydajność techniczną obliczono szacunkowo wg przyjętej z góry współczynnika dokładności przesiewania. Szczegóły tego sposobu są dostępne w publikacji autora. Rezultaty obliczeń przedstawiono w tab. 2.

2.5. PRZENOŚNIKI

Obliczenia i dobór przenośników to zadanie o wiele trudniejsze od poprzednich, ponieważ wpływa na to organizacja zabudowy przestrzeni produkcyjnej. Na rysunku 5 przedstawiono schemat tego rozmieszczenia jako układ następujących po sobie drugiego i kolejnych stadiów przeróbki kopaliny. Zbiorniki i konstrukcję budowlane nie są w naszym przypadku brane pod uwagę w oszacowaniu nakładów inwestycyjnych, czyli do obliczeń przyjęto oszczędną wersję na podobieństwo rozwiązań spotykanych w praktyce (rys. 6).



Rys. 5. Dwuwymiarowa koncepcja zabudowy instalacji przeróbki wtórnej i końcowej

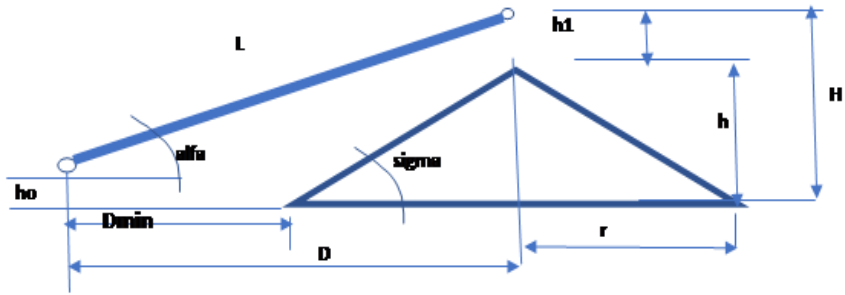
Fig. 5. 2-D-concept of the secondary subsystem flowsheet



Rys. 6. Często w praktyce widok na sposób zabudowy maszyn

Fig. 6. Frequently picture, in practice, on the arrangement of processing machinery

W tym wypadku przyjęto rozwiązanie struktury jak na rys. 5, przy założeniu wysokości jednej kondygnacji węzłów technologicznych równej 4 m. Ma to znaczenie dla drugiego i kolejnych stopni rozdrabniania, które organizowane są wg zasady minimalizacji kosztów transportowych między operacjami, ale też z powodu oszczędności terenu zabudowy.



Rys. 7. Schemat obliczenia położenia i długości przenośnika

Fig. 7. The diagram for conveyors calculations

Długość i kąt nachylenia tych przenośników zależą od miejsca zabudowy oraz wydajności poszczególnych produktów operacji przerobczych. Potrzebne tu były kolejne ustalenia: odległość zbiornika od węzła technologicznego i dopuszczalny kąt nachylenia przenośnika. Na rysunku 7 pokazano parametry, jakie były brane pod uwagę w modelu obliczeniowym. W tym wypadku przyjęto $\alpha_{\max} \leq 18^\circ$, $\sigma = 22^\circ$, odległość podstawy zbiornika od węzła D_{\min} nie mniejsza niż 10 m, odległość końca przenośnika od wierzchołka stożka 2 m. Poza tym, objętość i wysokość stożka uzależniono od wydajności tygodniowej strumienia w czasie dwóch tygodni, tj. $75 \text{ h} = (2 \times 7.5 \text{ h/zm} \times 5 \text{ dni/tydzień})$.

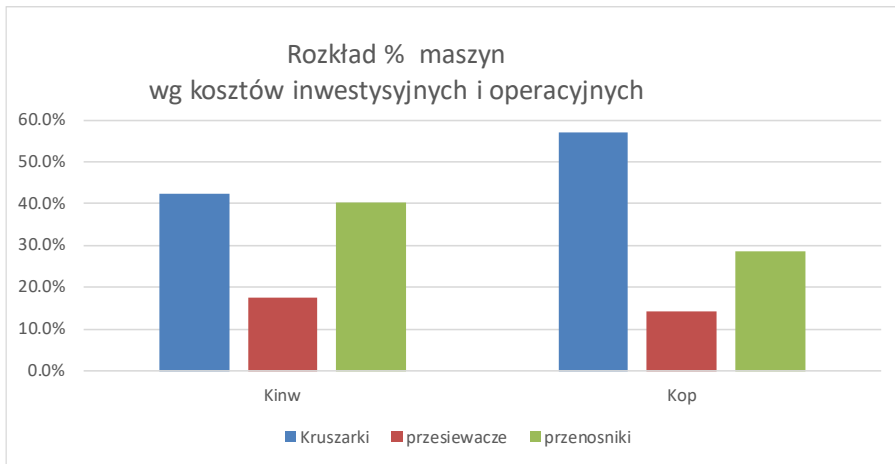
Tabela 3. Obliczenia przenośników; stosowane jednostki: stopnie, m, kW, m³/h, wg rys. 7Table 3. Calculations of conveyors; units of measurement: m, kW, m³/h, see Fig. 7

| Nr | Pt 3 | Pt 6 | Pt 7 | Pt 9 | Pt 10 | Pt 13 | Pt 14 | Pt 15 | Pt 16 | Pt 17 | Pt 1 | Pt 2 | Pt 4 | Pt 5 | Pt 8 | Pt 11 | Pt 12 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Produkt | 0/25 | 0/25 | 22/63 | 0/5 | 5/22 | 11/16 | 0/2 | 2/5 | 5/8 | 8/11 | 0/125 | 25/125 | 0/250 | 0/250 | 8/16 | 8/17 | 8/18 |
| | 28.14 | 31.8 | 0 | 6.93 | 0 | 44.73 | 5.52 | 21.82 | 26.1 | 33.33 | 69.47 | 41.33 | 162.95 | 162.95 | 131.14 | 336.58 | 206.32 |
| h_0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| h_1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 12 |
| D_{\min} | 20 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 30 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 37 | 28 | 11 | 21 | 11 | 30 | 20 | 26 | 27 | 28 | 35 | 25 | 46 | 16 | 16 | 18 | 17 |
| alfa | 14 | 18 | 13 | 17 | 13 | 17 | 14 | 16 | 16 | 16 | 7 | 9 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| L | 38 | 30 | 12 | 22 | 12 | 31 | 21 | 27 | 28 | 29 | 36 | 25 | 48 | 17 | 17 | 19 | 18 |
| Bobl | 0.357 | 0.379 | 0.067 | 0.177 | 0.067 | 0.45 | 0.158 | 0.314 | 0.344 | 0.388 | 0.561 | 0.432 | 0.858 | 0.858 | 0.77 | 1.234 | 0.966 |
| Bust | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.8 | 0.5 | 1 | 1 | 0.8 | 1.5 | 1 |
| H | 11 | 12 | | 8 | | 13 | 7 | 10 | 11 | 12 | | | 19 | | | | |
| Pstożka | 917 | 995 | | 360 | | 1249 | 310 | 774 | 872 | 1027 | | | 2958 | | | | |
| Mnom | 27 | 16 | | 6 | | 19 | 5 | 12 | 14 | 16 | 68 | 34 | 43 | 43 | 37 | 72 | 51 |
| Mef | 22 | 14 | | 4 | | 18 | 3 | 9 | 11 | 14 | 56 | 31 | 39 | 39 | 36 | 64 | 50 |

3. WYNIKI OBLICZEŃ

Analizowane są dwie podstawowe wielkości, które determinują koszt produkcji: nakłady inwestycyjne i koszty operacyjne. Koszt inwestycyjny wynika z odpisów amortyzacyjnych od nakładów na zakup maszyn. Koszty operacyjne to suma poniesionych kosztów na energię, materiały, naprawy, robociznę i koszty pochodne. Do obliczeń wielkości ekonomicznych wykorzystano cennik maszyn i innych składników kosztów jakie używane są na rynku amerykańskim [1]. Mogą one różnić się w wielu konkretnych realizacjach, dlatego najbardziej wiarygodną informacją będzie struktura kosztów wyrażona w postaci udziałów poszczególnych rodzajów maszyn w całości kosztów. Wielkości bezwzględne należy traktować jako orientacyjne.

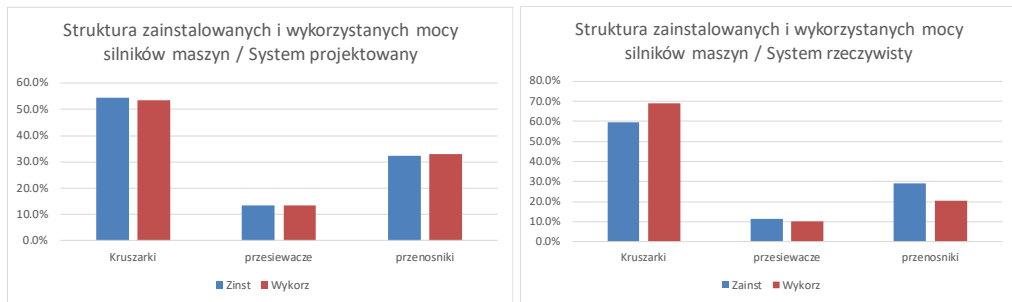
Główny wynik tej analizy to wykres na rysunku 8. Widzimy, że nakłady inwestycyjne na kruszenie i transport wewnętrzny są na podobnym poziomie ok. 40%. Pozostałe 20% należy do przesiewaczy. Gdyby przyjąć stopę amortyzacji wszystkich maszyn na 10% i cenę 1 US \$ = 4,1 zł, to udział maszyn w jednostkowym koszcie produkcji zakładu przerobczego wyniesie 9,5 zł/t kruszywa. W każdym razie po względem kosztowym udział transportu taśmowego w tego typu zakładach jest znaczący.



Rys. 8. Struktura kosztów inwestycyjnych i operacyjnych.

Fig. 8. Structure of the investment and operational costs

Porównaliśmy jeszcze – dla kontroli poprawności obliczeń, zainstalowane moce silników elektrycznych w maszynach tego projektu, z podobnym, rzeczywistym zakładem średniej wielkości. Wynik jest przedstawiony na rys. 9, gdzie pokazano, że nominalne moce są na podobnym poziomie, z tym, że udział maszyn kruszących zdecydowanie góruje nad pozostałymi składnikami mocy.



Rys. 9. Porównanie mocy silników maszyn nominalnej i wykorzystanej w systemie projektowanym i podobnym – rzeczywistym.
Fig. 9. A comparison of the conveyor's nominal or used power in the designed and comparative real system

4. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE

Przedsięwzięcia inwestycyjne w przemyśle mineralnym są bardzo kapitałochłonne, a zastosowana technika jest kosztowna w eksploatacji z powodu oporu materii (skały związane), energochłonności procesów produkcyjnych (rozdrabianie, transport) i kosztów środowiskowych. Główne składniki kosztów to amortyzacja maszyn i utrzymanie produkcji. Zatem każda inwestycja w tym przemyśle potrzebuje pogłębionej analizy ekonomicznej już na etapie przedinwestycyjnym. Taka analiza składa się z kilku elementów, wśród których jest projektowanie technologii i dobór maszyn do jej realizacji oraz oszacowanie nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji tych maszyn.

Wprawdzie projektowanie technologii produkcji kruszyw nie jest rzeczą skomplikowaną, ale już aranżacja przestrzenna i dobór maszyn nie jest rzeczą prostą, a błędy na tym etapie są trudne do naprawienia na etapie produkcji przemysłowej.

W tym artykule podjęto próbę oszacowania nakładów inwestycyjnych i kosztów operacyjnych produkcji kruszyw na przykładzie systemu przerobczego średniej wielkości. Szczególny nacisk położono na dobór przenośników, gdyż jak pokazuje praktyka, urządzenia te mają spory udział w zużyciu energii i kosztach produkcji. Udział ten wynosi 40% całości kosztów i jest porównywalny z maszynami kruszącymi. Jednak zainstalowana moc silników (a więc i ich udział w energochłonności procesów produkcyjnych) jest zdecydowanie większy w grupie maszyn kruszących. Składnik kosztowy i energetyczny w grupie maszyn przesiewających – wynosi ok. 20% całości kosztów, ale to nie oznacza, że są mniej ważne w projekcie. Decydują one w największym stopniu o składzie ziarnowym produktów, a więc pośrednio – również o liczbie i wielkości pozostałych maszyn.

LITERATURA

[1] *Mine and mill equipment costs*, Infomine, USA Publication, InfoMine.

STRUCTURE OF THE CAPITAL EXPENDITURES AND OPERATING COSTS
OF BASIC MACHINES IN SOME PROJECT OF AGGREGATE PROCESSING PLANT

The article attempts to estimate the structure of capital expenditures and the amount of operating costs in the group of basic machines on the example of a medium-sized rock processing plant. For the designed technology and the basic machines selected for its implementation: crushers, screens and conveyors, simulation calculations of the production capacity of the entire system were made, for which appropriate machines were selected and their degree of load and production capacity utilization were calculated. On this basis, the capital expenditure and operating costs in this group of machines were calculated. The results of the analysis are presented in a synthetic form in the form of tables and graphs with a commentary on the method of calculation.

Kamila NIEMIEC¹
Paweł STRZAŁKOWSKI¹
Marcin BARANOWSKI²

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

² Kopalnie Odkrywkowe Surowców Drogowych S.A., Niemodlin

CZynniki stresogenne u pracowników w górnictwie skalnym na przykładzie KOSD S.A. w Niemodlinie

Górnictwo należy do branż o wysokim wskaźniku wypadkowości, co w konsekwencji ma wpływ na odczuwany poziom stresu u zatrudnionych pracowników. Mając świadomość konsekwencji, jakie niesie ze sobą długotrwały stres, podjęto badania nad określeniem najbardziej stresogennych obszarów w górnictwie surowców skalnych. Analizę przeprowadzono w oparciu o badania ankietowe przeprowadzone wśród pracowników Kopalni Odkrywkowych Surowców Drogowych S.A. w Niemodlinie. Analiza odpowiedzi respondentów wskazuje, że najbardziej stresogennymi czynnikami są: zagrażające zdrowiu warunki pracy, wysoka odpowiedzialność za efekt pracy, występujące nieplanowane utrudnienia oraz wykonywanie poleceń przełożonego bez przekonania o ich słuszności. Przedstawione tu wyniki stanowią badania wstępne.

1. WPROWADZENIE

Miejsce pracy, w którym spędzamy średnio jedną trzecią doby, nieuchronnie należy do obszarów życia, w którym mogą pojawić się czynniki stresogenne. To w środowisku zawodowym napotykamy szereg sytuacji przyczyniających się do odczuwania stresu o różnym czasie oddziaływania oraz stopniu nasilenia. Według amerykańskiego Narodowego Instytutu Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy stres definiowany jest jako wynik rozbieżności między osobistymi możliwościami jednostki a wymaganiami środowiska pracy [1]. Może występować we wszystkich aspektach życia oraz jest zjawiskiem dotyczącym każdego, niezależnie od płci, wieku, stanowiska pracy czy zakresu obowiązków. Możliwość wystąpienia stresu u pracownika, w danej chwili, zależy od jego subiektywnej oceny sytuacji.

Pomimo negatywnych skojarzeń, stres jest pojęciem neutralnym. Można wyróżnić stres pozytywny, który dobrze zarządzany motywuje pracownika do skutecznego dzia-

łania oraz negatywny, który jest demotywuujący. Największe zagrożenie stwarza stres negatywny, ponieważ wyzwała on pewną sytuację alarmową, dzięki której organizm przygotowuje się do zwiększonej aktywności o charakterze obronnym. Istotne są czynności nastawione na przeciwdziałanie stresowi w środowisku pracy, które powinny mieć charakter ciągły. Zapobiega to eskalacji stresu i nawarstwianiu się nieodwracalnych, negatywnych skutków [2].

Liczne publikacje wskazują na zalety prewencji i działania naprawcze w dziedzinie stresu zawodowego zarówno dla pracownika jak i dla pracodawcy [2–6]. Stres występujący w środowisku pracy może wpłynąć na funkcjonowanie całego przedsiębiorstwa. Począwszy od zmniejszonej efektywności pracy pracowników, większej liczby popełnianych przez nich błędów, co może mieć przełożenie na większą ilość wypadków przy pracy, aż do zwiększonego ryzyka występowania chorób psychicznych oraz dolegliwości somatycznych. To z kolei może powodować dalszy szereg konsekwencji związanych z ponoszonymi przez pracodawcę kosztami. W sytuacji wystąpienia wypadku przy pracy z powodu występującego stresu mogą to być koszty absencji poszkodowanego czy konieczności zatrudnienia dodatkowego pracownika na czas nieobecności poszkodowanego

Celem pracy jest ocena źródeł stresu wśród pracowników zatrudnionych w górnictwie skalnym. Badania przeprowadzono w oparciu o badania ankietowe wśród zatrudnionych w Kopalniach Odkrywkowych Surowców Drogowych S.A. w Niemodlinie (dalej KOSD S.A.). Analiza czynników stresogennych stanowi kluczowy element przy definiowaniu działań zapobiegawczych.

2. METODOLOGIA

KOSD jest przedsiębiorstwem funkcjonującym od ponad 50 lat. Przedsiębiorstwo zajmuje się produkcją kruszyw z surowców skalnych (głównie kruszywo łamane). Eksploatacja surowców zwięzłych jest prowadzona metodą odkrywkową z wykorzystaniem materiałów wybuchowych. Roboty strzałowe realizowane są za pośrednictwem zewnętrznej firmy [7].

Badanie nad źródłami stresu w środowisku pracy przeprowadzono na grupie 70% pracowników zatrudnionych w KOSD SA, którzy obejmowali różne stanowiska pracy: robotnicze, kierownicze, inżynieryjno-techniczne i administracyjno-biurowe. Badania ankietowe w omawianej kopalni przeprowadzono metodą PAPI (ang. Paper & Pen Personal Interview) – bezpośrednie wywiady kwestionariuszowe. Ankieta była anonimowa, a badane osoby dobrowolnie wyraziły chęć wzięcia udziału w ankietyzacji.

Badania ankietowe przeprowadzono w kopalniach: bazaltu „Rutki Ligota”, piaskowca „Braciszów”, szarogłazu „Dębowiec” i żwirowni „Drogosów”. Kwestionariusz składał się z: metryczki, pytań o sposób radzenia sobie w trudnych stresowych sytuacjach, odczuwanych dolegliwości oraz listy obszarów stresogennych. Pytania w ankiecie doty-

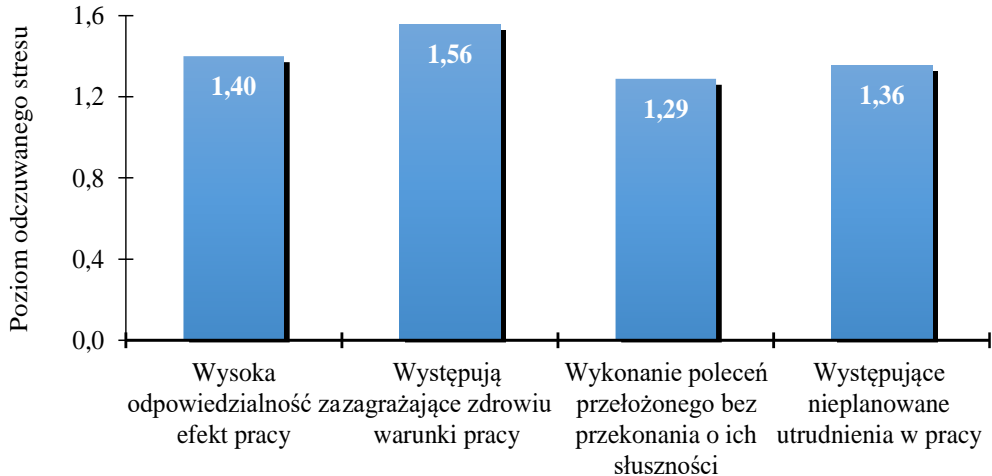
czyły obszarów bezpośrednio związanych ze środowiskiem pracy i uwzględniały czynniki z kategorii: czynniki stresogenne mające źródło w samej pracy, stosunki społeczne z przełożonymi i współpracownikami, struktura organizacyjna, miejsce w organizacji i kariera zawodowa. Dla zdefiniowanych czynników stresogennych, respondenci udzielali odpowiedzi oceniając poziom odczuwanego stresu z nimi związanych (*wysoki, średni, niski, nie odczuwam, nie dotyczy*). Dla każdej z odpowiedzi została przypisana odpowiednia liczba punktów: *wysoki* – 3 pkt., *średni* – 2 pkt., *niski* – 1 pkt., *nie odczuwam* – 0 pkt. Odpowiedzi *nie dotyczy* nie uwzględniano w analizie wyników. Następnie, na podstawie punktów z odpowiedzi, obliczono średnią dla każdego potencjalnego obszaru stresogenego. Na podstawie średniej, kwalifikowano poziom stresu zgodnie ze skalą: 0–0,75 – *nie odczuwa*, 0,75–1,25 – *niski*, 1,25–1,75 – *nisko-średni*, 1,75–2,25 – *średni*, 2,25–2,75 – *średnio-wysoki* oraz 2,75–3,0 – *wysoki*. Na podstawie uzyskanych średnich z punktów oraz powyższej klasyfikacji wyznaczono obszary, które są najbardziej stresogenne.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Kobiety stanowiły 13% badanej grupy pracowników i są zatrudnione na stanowiskach administracyjno-biurowych. Pozostałą grupę pracowników stanowią mężczyźni zatrudnieni na stanowiskach robotniczych, inżynieryjno-technicznych oraz kierowniczych. Wykształcenie podstawowe posiadało 11% ankietowanych, średnie bądź zawodowe 71%, a wyższe 18%. Ze względu na wiek, największą grupę stanowiły osoby w wieku 40–49 lat – 37% respondentów. Kolejną najliczniejszą grupą byli pracownicy w przedziale wiekowym 60–64 lata – 27%. Pozostałe grupy wiekowe: 30–39 lat – 18%, 55–59 lat – 9%, 50–54 lat – 7% oraz więcej niż 65 lat – 2%. Rozważając staż pracy respondentów, najliczniejszą grupę stanowili pracownicy posiadający staż pracy powyżej 31 lat – 28% respondentów. W przedziale 16–20 lat, 2–3 lata oraz 1 rok i mniej znalazło się po 15% badanych. Staż pracy z przedziału 4–5 lat posiadało 9% ankietowanych. Żaden ankietowany nie posiadał stażu pracy w przedziale 21–30 lat oraz 6–10 lat.

Na podstawie sumy zliczonych punktów, z odpowiedzi respondentów, wytypowano cztery obszary, które wydają się być najbardziej stresogennymi dla pracowników KOSD S.A. (rys. 1). Wszystkie te obszary, zgodnie z przyjętą klasyfikacją, oceniono na poziomie stresu nisko-średniego. Największą liczbę punktów otrzymało *Występujące zagrażające zdrowiu warunki pracy takie jak: hałas, zimno, ciepło, zapylenie, drgania, złe oświetlenie* ze średnią 1,56. Spośród wszystkich respondentów, 90% osób wskazujących na powyższy obszar pracowało na stanowiskach robotniczych a ich miejscem pracy było wyrobisko bądź zakład przeróbczy. Pozostałe 10% osób pracowało na stanowisku administracyjnym w biurze. W związku z koniecznością prowadzenia zakładu górniczego przez cały rok, niezależnie od pory roku, najwięcej osób wskazujących na

powyższy obszar ma styczność z pracą na świeżym powietrzu, będąc tym samym narażona na zmienne czynniki atmosferyczne. Dodatkowo, działalność górnicza powoduje narażenie na czynniki szkodliwe oraz uciążliwe.



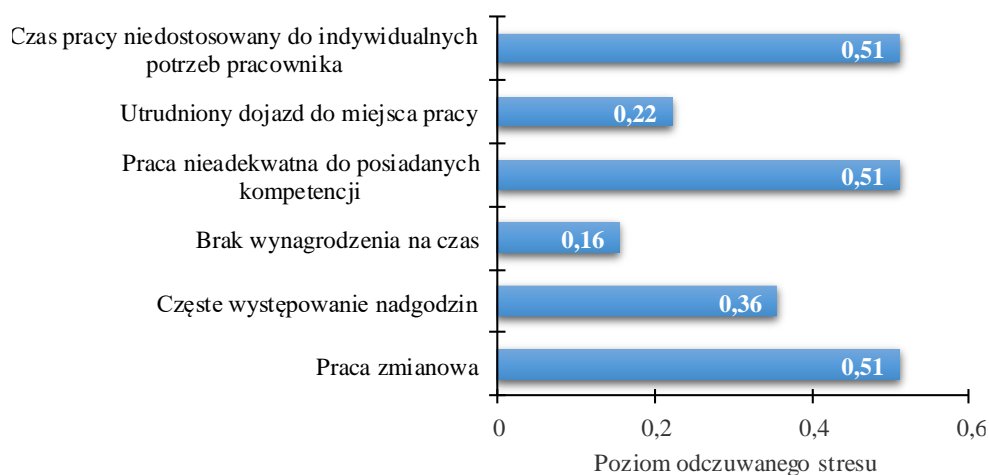
Rys. 1. Obszary wykazujące najwyższy poziom stresu wśród ankietowanych
Fig. 1. Areas showing the highest stress levels among respondents

Wysoka odpowiedzialność za efekt pracy jest drugim obszarem o najwyższym poziomie stresu wskazywanym przez ankietowanych. Pięćdziesiąt siedem procent osób wyznaczających ten obszar to osoby z przedziału 60–64 lata, o stażu pracy powyżej 31 lat pracy. Problem ten dotyczył ludzi z całego zakładu pracy. Osoby o tak dużym doświadczeniu zawodowym w branży górniczej, które prawdopodobnie czują przynależność do firmy mogą odczuwać odpowiedzialność za prawidłowe funkcjonowanie przedsiębiorstwa, co przekłada się na wymagania dotyczące odpowiedniej jakości i efektu pracy.

Występujące nieplanowane utrudnienia w pracy (niesprzyjająca pogoda, awarie sprzętu, zagrożenie naturalne z tytułu robót górniczych) ze średnią 1,36, mają bezpośrednie powiązanie z wyznaczonym przez ankietowanych najistotniejszym obszarem stresogennym i wiąże się z charakterem pracy w górnictwie odkrywkowym. Obszary które wymieniono, nie są zależne od pracowników, a ich wystąpienie często jest nieprzewidywalne przez co mogą zakłócić prawidłowe funkcjonowanie zakładu, spowodować postój prac oraz bezpośrednio mieć wpływ na zagrożenie życia i zdrowia.

Wykonywanie poleceń przełożonego bez przekonania o ich słuszności, było typowane przez osoby pracujące w biurze, wyrobisku oraz zakładzie przerobczym. Przeważały osoby o wysokim stażu pracy 16–20 lat oraz 31 lat i więcej. Głównie są to osoby na stanowiskach kierowniczych i robotniczych. Doświadczenie i dobra znajomość modelu biznesowego firmy może powodować niezgodę z przełożonym, wynikającą z innych wizji i pomysłów na dane zagadnienie.

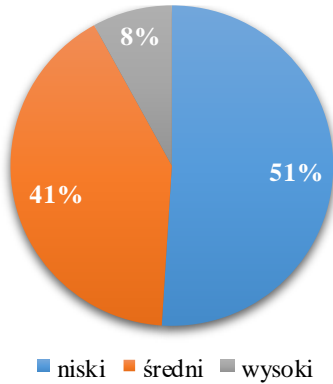
Do czynników o sumarycznie najniższej średniej z uzyskanych punktów zaliczono: *Brak wynagrodzenia na czas* (0,16), *Utrudniony dojazd do pracy* (0,22), *Częste występowanie nadgodzin* (0,36), *Praca zmianowa* (0,51), *Praca nieadekwatna do posiadanych umiejętności* (0,51), *Czas pracy niedostosowany do indywidualnych potrzeb pracownika* (0,51) (rys. 2). Osoby podejmujące pracę w kopalniach odkrywkowych prawdopodobnie są świadomi specyfikacji zawodu i idącym za tym systemem zmianowym. Zaledwie 4% ankietowanych zaznaczyło pracę nieadekwatną do posiadanych kompetencji oraz czas pracy niedopasowany do indywidualnych potrzeb jako obszar wysokiego poziomu stresu. W dobie motoryzacji, rozwijającej się komunikacji miejskiej oraz szeroko rozbudowanej infrastruktury, dotarcie do pracy nie stanowi problemu dla pracowników KOSD S.A., w czym również pomaga korzystna lokalizacja kopalń.



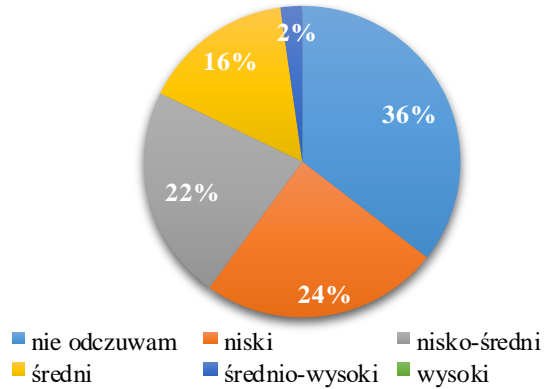
Rys. 2. Obszary wykazujące najniższy poziom stresu wśród ankietowanych
Fig. 2. Areas showing the lowest stress levels among respondents

Każdy z ankietowanych subiektywnie definiował jak silny stres odczuwa w miejscu pracy (rys. 3). Odpowiedzi te skonfrontowano ze średnią z udzielonych odpowiedzi na poszczególne czynniki stresogenne (rys. 4). Porównując uzyskane odpowiedzi, 31% respondentów udzieliło innej odpowiedzi niż wskazuje na to klasyfikacja. Według subiektywnych ocen: 18% respondentów zaznaczyło wyższy poziom stresu oraz 13% niższy niż wynika to z przyjętej klasyfikacji. Osoby subiektywnie wskazujące na brak odczuwalnego stresu w 8% kwalifikowały się na niski poziom odczuwalnego stresu oraz w 25% do średniego poziomu odczuwalnego stresu. 17% osób wskazujących na średni poziom stresu według przyjętej klasyfikacji, odczuwało subiektywnie wysoki poziom stresu. Dwadzieścia pięć procent osób typujących swój poziom stresu jako wysoki, według założonej punktacji, kwalifikowało się do średniego bądź nisko-średniego poziomu odczuwalnego stresu. Taki wynik może wskazywać, na nieuwzględnienie

w ankiecie wszystkich czynników wywołujących stres lub różne rozumienie poziomów stresu przez respondentów.

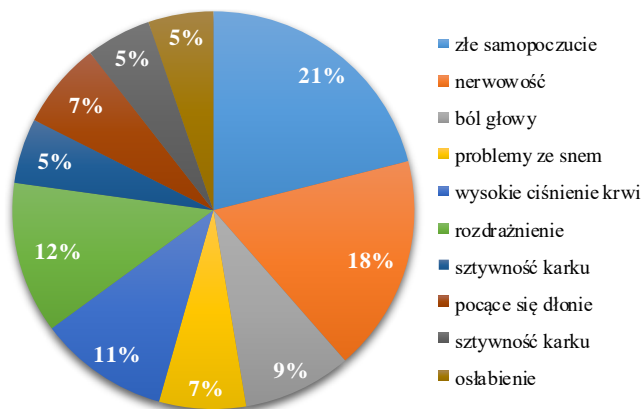


Rys. 3. Subiektywny poziom stresu
Fig. 3. Subjective level of stress



Rys. 4. Poziom stresu według klasyfikacji
Fig. 4. Stress level according to classification

Pracownicy KOSD, pomimo zaobserwowanych dolegliwości związanych ze stresem, nie korzystali często ze zwolnień lekarskich (rys. 5). Do najczęściej wskazywanych dolegliwości należą: złe samopoczucie – 21%, nerwowość – 18% oraz rozdrażnienie – 12%. Prawie połowa ankietowanych (43%) nie chodzi do lekarza, 36% osób wzięło jedno zwolnienie lekarskie w ciągu poprzedniego roku, a 21% chorowało raz na pół roku. Dane te wyróżniają się na tle krajowym, gdzie według raportu ZUS z 2023 r., główną przyczyną wystawiania zwolnień lekarskich w związku z zaburzeniami były reakcją na stres [8].



Rys. 5. Rozpoznane dolegliwości związane z występującym stresem
Fig. 5. Recognized ailments related to the occurrence of stress

Dla 29% pracowników stres okazał się mobilizujący. Jak zadeklarowali ankietowani, w momencie pojawienia się sytuacji stresowej zaczynali oni mobilizować się do efektywniejszego działania. Prawdopodobnie, stres jest dla nich czynnikiem pozytywnym i napędzającym do skutecznego wykonania zadania. Kolejne 31% osób reaguje przeciwnie – po pojawieniu się czynnika stresogenego najpierw, aby móc dalej wykonywać swoją pracę, muszą się uspokoić, a w tym pomagają im przyjemne myśli odcinające ich od czynnika stresogenego. Trzecia, 25% grupa, również odbiera stres jako czynnik negatywny. Ta grupa badanych pracowników nie mobilizuje się do efektywnego działania oraz nie poświęca czasu na uspokojenie emocji. Po pojawieniu się sytuacji stresowej, ankietowani zaczynają odliczać godziny do końca zmiany, aby uciec od źródła stresu. Pozostała część ankietowanych również odbierała stres negatywnie, przy czym wskazywała na inne sposoby reagowania na niego.

Przeciwdziałanie stresowi w środowisku pracy jest trudne, z uwagi na indywidualne potrzeby pracowników. Jednakże można to osiągnąć poprzez zmiany organizacyjne. Do podstawowych rozwiązań ograniczających poziom odczuwanego stresu lub jego częstotliwość należy wskazać: szkolenia pracowników na temat profilaktyki zdrowotnej i metod radzenia sobie ze stresem; szkolenia kadry kierowniczej uwzględniające aspekty związane z obciążeniem psychicznym pracowników; dopasowywanie zakresu obowiązków pracowników do ich wiedzy, umiejętności oraz możliwości fizycznych i intelektualnych; wprowadzanie programów prozdrowotnych oraz elastycznego czasu pracy umożliwiającego zachowanie równowagi między życiem zawodowym i prywatnym.

4. PODSUMOWANIE

Stres zawodowy może być skutkiem występujących czynników psychofizycznych i jest reakcją na wymagania oraz obowiązki stawiane pracownikom. Jego eliminacja jest trudnym zadaniem ze względu na różnorodne źródła jego występowania. Niemniej jednak zdefiniowanie ich stanowi podstawę do poprawy komfortu pracowników, a w konsekwencji bezpieczeństwa pracy.

W KOSD S.A. najważniejszymi czynnikami stresogennymi są: występujące zagrażające zdrowiu warunki pracy, jak: hałas, zimno, ciepło, zapylenie, drgania, złe oświetlenie, wysoka odpowiedzialność za efekt pracy, występujące nieplanowane utrudnienia w pracy (np. niesprzyjająca pogoda, awarie sprzętu, zagrożenia naturalne z tytułu robót górniczych) oraz wykonywanie poleceń przełożonego bez przekonania o ich słuszności. Natomiast na najmniej stresogenne obszary respondenci wskazywali: brak wynagrodzenia na czas, utrudniony dojazd do pracy, częste występowanie nadgodzin, praca zmianowa, praca nieadekwatna do posiadanych umiejętności oraz czas pracy niedostosowany do indywidualnych potrzeb pracownika.

Przeprowadzone analizy badań ankietowych wskazują na znaczące różnice między subiektywną oceną stresu a przyjętą klasyfikacją. Dla 18% osób subiektywny stres był wyższy niż wynikałoby to z klasyfikacji, natomiast 13% badanych wskazywało odpowiednio na niższy poziom stresu.

Ograniczenie stresu w zakładach pracy jest wymagające i silnie uzależnione od potrzeb i źródeł ich występowania. Jednakże zmiany organizacyjne mogą znacznie ograniczyć stres zawodowy i mogą opierać się o zmodyfikowane lub wprowadzone dodatkowe szkolenia, wdrożone rozwiązania zwiększające komfort i dobrobyt pracowników czy też dostosowane stanowiska pracy do potrzeb pracowników.

LITERATURA

- [1] ŁUCZAK A., ŻOŁNIERCZYK-ZREDA D., *Praca a stres*, Bezpieczeństwo Pracy, Centralny Instytut Ochrony Pracy, 2002, vol. 10, nr 10.
- [2] SAPOLSKY R.M., *Dlaczego zebry nie mają wrzodów?*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012, 13–28.
- [3] MORCINEK-SŁOTA A., *Stres zawodowy wśród górników, stracone dni robocze związane ze stresem*, Przegląd Górniczy, 2018, vol. 74, nr 9.
- [4] KONOPACKA Ż., SOLATYCKA D., DELIJEWSKA B., PIERSIAK M., *Analiza źródeł stresu w zakładach górnictwa skalnego na podstawie badań ankietowych*, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 2022, nr 12.
- [5] LI H., YONGBIN F., TIAN S., LIU F., LI H., *Study on the job stress of miners*, Procedia Engineering, 2014, Vol. 84, 239–246.
- [6] MORCINEK-SŁOTA A., *Stres zawodowy wśród pracowników górnictwa – propozycja badań ankietowych w kopalniach węgla kamiennego*, Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, 2017, vol. 6, nr 2, s. 205–213.
- [7] <https://wp.kosd-niemodlin.com.pl/> [Data dostępu: 20.02.2024].
- [8] <https://www.zus.pl/-/w-2022-roku-wystawiono-niemal-1-3-mln-zwolnie%C5%84-z-powodu-zaburze%C5%84-psyicznych> [Data dostępu: 20.02.2024].

STRESS FACTORS IN EMPLOYEES IN ROCK MINING ON THE EXAMPLE OF THE KOPALNIE ODKRYWKOWE SUROWCÓW DROGOWYCH S.A. IN NIEMODLIN

Mining is one of the industries with a high accident rate, which consequently has an impact on the perceived stress levels of workers employed in mining operations. Aware of the consequences of long-term stress, research was undertaken to identify the most stressful areas in rock mining industry. The analyses were based on questionnaire surveys conducted among employees of the Kopalnie Odkrywkowe Surowców Drogowych S.A. in Niemodlin. The analysis of the respondents' answers shows that the most stressful factors are health-endangering working conditions, high responsibility for the effects of work, unplanned difficulties at work and carrying out the supervisor's orders without being convinced of their validity. The results presented in this paper are preliminary research.

Paweł PIETKIEWICZ

Industri Kruszywa Spółka z o.o.

NABYWANIE GRUNTÓW ROLNYCH POŁOŻONYCH NAD ZŁOŻAMI KOPALIN W ŚWIECIE PRZEPISÓW USTAWY O KSZTAŁTOWANIU USTROJU ROLNEGO

Artykuł ma na celu przybliżenie zagadnień nabywania gruntów rolnych na podstawie przepisów ustawy o kształtowaniu ustroju rolnego. Poruszona tematyka dotyczy gruntów rolnych, w granicach których udokumentowano złoża kopaliny; grunty te nie są objęte miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego, a powierzchnie te stanowiłyby obszary lub tereny górnicze. Omówiono istniejące w tym zakresie przepisy prawa i zaproponowano sposób postępowania w sytuacji, gdy przedsiębiorca górniczy zmuszony jest nabyć takie grunty bez przeprowadzania zmian planistycznych w stosunkowo krótkim okresie 2–3 miesięcy.

1. WSTĘP

Wprowadzenie ustawy o *kształtowaniu ustroju rolnego* [1] miało na celu poprawę struktury obszarowej gospodarstw rolnych, przeciwdziałanie nadmiernej koncentracji nieruchomości rolnych i zapewnienie prowadzenia działalności rolniczej przez osoby o odpowiednich kwalifikacjach. Jak to jednak często bywa, ustawa ta nie uwzględnia sytuacji niestandardowych i nietypowych, w szczególności takich, gdy na gruntach rolnych udokumentowano nowe złoża kopaliny, które może być przedmiotem gospodarczego wykorzystania.

Pomimo dokonanych już 27 nowelizacji tej ustawy, w dalszym ciągu znacząco ogranicza możliwości sprzedaży terenów rolnych, na których udokumentowano złoża kopaliny na rzecz przedsiębiorców górniczych nie będących rolnikami, ani też nie prowadzących towarzyszącej działalności rolniczej. Sytuacja ta powoduje, że taki przedsiębiorca ma do wyboru:

- a) doprowadzenie do uchwalenia nowego Miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego (lub zmiany istniejącego), w którym to planie grunt byłby przeznaczony pod powierzchnią eksploatację kopaliny (tereny oznaczane PE/PG)

i dopiero po uchwaleniu/zmianie Mppz nabycie gruntu – już nierolnego, lecz o charakterze przemysłowym, albo

- b) przeprowadzenie procedury nabycia nieruchomości złożowej w trybie art. 2a ust. 4 ustawy [1], gdzie nabycie nieruchomości rolnej przez inne podmioty lub w innych przypadkach niż wymienione w art. 2a ust. 1 i 3 [1], może nastąpić za zgodą Dyrektora Generalnego Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa (dalej skrótowo DG KOWR), wyrażoną w drodze decyzji administracyjnej.

Przeprowadzenie wymienionej procedury zobowiązuje zatem przedsiębiorcę górniczego, działającego w imieniu zbywcy-rolnika do przeprowadzenia następujących działań:

- a) nieruchomości w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego lub o braku takiego planu,
- b) sporządzenie operatu szacunkowego wartości rynkowej nieruchomości, w którym cena sprzedaży nieruchomości będzie odpowiadała aktualnej wartości gruntu położonego nad złożem kopaliny, stanowiącej jej część składową, a tym samym będzie znacząco wyższa niż cena „zwykłego” gruntu rolnego,

W celu pozyskanie zaświadczenia wydanego szczególności do takich działań należy:

- a) zamieścić ogłoszenie na portalu [6] w imieniu zbywcy o sprzedaży nieruchomości za cenę określoną pomiędzy stronami,
- b) pozyskać aktualnego wypis z rejestru gruntów i wrys z mapy ewidencyjnej dla przedmiotowej nieruchomości,
- c) pozyskać zaświadczenie, że nieruchomości nie jest objęta uproszczonym planem urządzenia lasu oraz nie jest objęta decyzją właściwego starosty wydaną na podstawie inwentaryzacji stanu lasów niestanowiących własności Skarbu Państwa, opracowaną dla gminy zgodnie z art. 19 ust. 3 ustawy *o lasach* [4],
- d) pozyskać w imieniu zbywcy zaświadczenia o braku należnego podatku od spadków i darowizn w przypadku, gdy nabywana nieruchomości została nabyta przez zbywcę w drodze spadku,
- e) przedłożyć aktualny wypis z rejestru przedsiębiorców w trybie przepisów art. 4 ust. 4a *ustawy o Krajowym Rejestrze Sądowym* [5], w przypadku, gdy nabywcą jest spółka kapitałowa,
- f) w przypadku spółek kapitałowych przedłożyć stosowne uchwały organów spółki dotyczące zgody na nabycie nieruchomości złożowej za określoną cenę.

W dalszej części artykułu skoncentrowano się na zasadach nabywania nieruchomości złożowej w trybie art. 2a ust. 4 [1], gdyż procedura zmiany lub uchwalenia nowego mppz wykracza poza ramy niniejszego opracowania z uwagi na obszerność poruszanych zagadnień i stopień ich skomplikowania. Warto jedynie zaznaczyć, że w obecnych realiach, w zależności też od kalendarza wyborczego i innych szczególnych okoliczności, trwa ona kilka lat i nie zawsze kończy się pozytywnie dla przedsiębiorcy górniczego, z uwagi na potencjalnie znaczące oddziaływanie kopalni/zakładu górniczego na otoczenie i środowisko.

2. PROCEDURA NABYCIA NIERUCHOMOŚCI ROLNEJ W TRYBIE ART. 2A UST. 4 USTAWY [1]

Na wstępie należy wskazać, że rozpoczęcie omawianej procedury można poprzedzić zawarciem przedwstępnej umowy warunkowej w formie aktu notarialnego, w którym to warunkiem determinującym zawarcie umowy przyrzeczonej będzie uzyskanie zgody DG KOWR (w jego imieniu działa dyrektor ośrodka terenowego – OT KOWR) na nabycie nieruchomości rolnej przez przedsiębiorcę górniczego niebędącego rolnikiem.

Istotnym w takiej umowie jest zapis, że w przypadku odmownej decyzji dyrektora, co do wyrażenia zgody na nabycie przez przedsiębiorcę nieruchomości będącej przedmiotem takiego aktu sprzedający rolnik nie będzie występował do KOWR z żądaniem nabycia nieruchomości, na podstawie art. 2a ust. 6 [1].

Przepis ten bowiem stanowi, że *„w przypadku niewyrażenia zgody, o której mowa w ust. 4, Krajowy Ośrodek, na pisemne żądanie zbywcy nieruchomości rolnej złożone w terminie miesiąca od dnia, w którym decyzja o niewyrażeniu zgody stała się ostateczna, jest obowiązany do zakupu nieruchomości rolnej za zapłatą ustaloną przez Krajowy Ośrodek ceny odpowiadającej wartości rynkowej nieruchomości określonej zgodnie z przepisami o gospodarce nieruchomościami, z uwzględnieniem jej obciążeń”*.

Zapis ten jest dla przedsiębiorcy górniczego potencjalnie dość niebezpieczny, oznacza bowiem, że KOWR hipotetycznie może nabyć do swojego zasobu grunt formalnie rolny, a przedsiębiorca pomimo rozpoznania i udokumentowania kopaliny utraci możliwość jego zakupu, przy tym bez znaczenia będzie już przeprowadzenie późniejszych zmian planistycznych. Stąd tak istotna jest kwestia uwzględnienia tego zapisu w umowie przedwstępnej w formie cywilno-prawnej, czy też w postaci aktu notarialnego.

Należy bowiem zauważyć, że akt notarialny jest dokumentem „skuteczniejszym” prawnie niż umowa cywilno-prawna, gdyż zawierając umowę przedwstępną w formie aktu notarialnego każda ze stron ma większe możliwości dochodzenia swoich praw w razie, gdyby druga strona zrezygnowała z zawarcia umowy sprzedaży. W tym sensie z punktu widzenia przedsiębiorcy akt notarialny skuteczniej zabezpiecza nabycie gruntu rolnego, a dodatkowo istnieje możliwość wpisu do działu III księgi wieczystej roszczenia o zawarcie umowy przyrzeczonej przez przedsiębiorcę.

2.1. OGŁOSZENIE O SPRZEDAŻY NIERUCHOMOŚCI

Pierwszą czynnością w procedurze uzyskania pozytywnej dla przedsiębiorcy górniczego decyzji DG KOWR jest zamieszczenie ogłoszenia o sprzedaży nieruchomości za określoną cenę na portalu [6]. Ogłoszenie takie może zamieścić zarówno zbywca (rolnik) jaki i przedsiębiorca działający w jego imieniu.

Co jest istotne, cena w ogłoszeniu musi odpowiadać wartości rynkowej takiego gruntu, tj. rolnego położonego nad udokumentowanym złożem kopaliny, nie zaś zwykłego rolnego, gdyż w przeciwnym razie prawdopodobnie dość szybko znajdzie się nabywca nieruchomości, szczególnie tam, gdzie istnieje znaczny popyt na nieruchomości rolne (np. w woj. opolskim). Najbezpieczniej jest w takiej sytuacji sporządzić operat szacunkowy wartości rynkowej nieruchomości w trybie przepisów art. 2a ust. 4b ustawy [1], w którym rzeczoznawca majątkowy określi wartość takiego gruntu z uwzględnieniem wartości złoża.

Wiedzę o metodach wyceny wartości złóż kopalin posiadają m.in. taksatorzy skupieni w Polskim Stowarzyszeniu Wyceny Złóż Kopalin POLVAL [7] oraz nieliczni rzeczoznawcy majątkowi posiadający doświadczenie w wycenie tego rodzaju nieruchomości specjalnych. Należy bowiem pamiętać, że w decyzji DG KOWR cena, za jaką przedsiębiorca może nabyć procedowaną nieruchomość rolną nie może być niższa niż 5% wartości nieruchomości podanej w ogłoszeniu na portalu [6]. Stąd też istotne jest podanie takiej ceny w ogłoszeniu, aby finalnie cena transakcyjna, za jaką zostanie nabyty grunt nie była niższa niż wskazana w decyzji DG KOWR.

Zgodnie z ustawą [1] okres, na jaki takie ogłoszenie zostaje zamieszczone wynosi 30 dni. Dopiero po tym czasie możliwe jest złożenie formalnego wniosku o wyrażenie zgody na nabycie nieruchomości rolnej, składany przez zbywcę tej nieruchomości na podstawie art. 2a ust. 4 pkt. 1 [1].

2.2. ZŁOŻENIE WNIOSKU DO KOWR PRZEZ ZBYWCĘ

Zgodnie z treścią art. 2a ust. 4 pkt. 1 [1] nabycie nieruchomości rolnej przez osobę lub podmiot inny niż mówiąc w uproszczeniu „rolnik” może nastąpić na wniosek zbywcy takiej nieruchomości, jeżeli:

- a) zbywca wykaże, że nie było możliwości sprzedaży nieruchomości rolnej podmiotom, o których mowa w ust. 1, chyba że nabycie tej nieruchomości ma nastąpić na podstawie innej niż sprzedaż czynności prawnej,
- b) nabywca nieruchomości rolnej zobowiąże się do prowadzenia działalności rolniczej na nabywanej nieruchomości rolnej przez okres co najmniej 5 lat od daty nabycia nieruchomości rolnej,
- c) w wyniku nabycia nieruchomości rolnej nie dojdzie do nadmiernej koncentracji gruntów rolnych przez zbywcę
- d) cena sprzedaży nieruchomości rolnej nie jest niższa niż 95% ceny zawartej w ogłoszeniu o zamiarze sprzedaży nieruchomości rolnej, zwanym dalej „ogłoszeniem o nieruchomości rolnej”;

Ta sama procedura dotyczy nabycia nieruchomości rolnych położonych nad złożami kopalin przez przedsiębiorców górniczych, rozumianych jako osoby prawne. Na tę okoliczność zarówno zbywca, jak i nabywca są zobowiązani złożyć stosowne oświadczenia, i tak:

- zbywca – na okoliczność, że nie zaistniała możliwość sprzedaży nieruchomości okolicznemu rolnikowi z uwagi na wysoką cenę odbiegającą kilkukrotnie od przeciętnych cen gruntów rolnych, co wynika z faktu występowania w granicach przestrzennych nieruchomości udokumentowanego złoża kopaliny i zostało potwierdzone brakiem ofert zakupu nieruchomości poprzez portal [6]
- nabywca – na okoliczność zobowiązania się do prowadzenia gospodarki rolnej przez okres 5 lat od daty nabycia nieruchomości rolnej oraz wykazania, że nie posiada on areалу przekraczającego 300 ha, co naruszałoby przepisy art. 5 ust. 1 pkt. 2 [1].

Do składanego wniosku należy załączyć:

- wypis z ewidencji gruntów i budynków dla działek ewidencyjnych wchodzących w skład nieruchomości rolnej objętej wnioskiem,
- odpis księgi wieczystej lub zaświadczenie wydane na podstawie zbioru dokumentów prowadzonego dla zbywanej nieruchomości rolnej, lub informacja o numerze z księgi wieczystej dostępnej w centralnej bazie danych ksiąg wieczystych,
- zaświadczenie o przeznaczeniu zbywanej nieruchomości rolnej w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego,
- operat szacunkowy wartości nieruchomości sporządzony na potrzeby wypełnienia przepisów art. 2a, ust. 4b pkt. 2. [1],
- pełnomocnictwo wraz z potwierdzeniem uiszczenia stosownej opłaty skarbowej (17 zł) – jeżeli właściciel nieruchomości działa poprzez ustanowionego w sprawie pełnomocnika.

W sytuacji, gdy sprzedawana nieruchomość rolna położona nad złożem kopaliny nie jest objęta ustaleniami mpzp, a jedynie warunkami określonymi Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy, w którym to Studium nieruchomości taka stanowi tereny występowania udokumentowanych lub perspektywicznych złóż kopalin, opcjonalnie można taką informację zawrzeć w składanym oświadczeniu zbywcy. Podobnie można też dodać informację o fakcie udokumentowania złoża kopaliny znajdującej się w granicach przedmiotowej nieruchomości przez przedsiębiorcę górniczego, pozostającego stroną postępowania. Informacje te będą bowiem stanowiły istotny argument w procedurze wydawania decyzji przez DG KOWR.

2.3. KONSEKWENCJE WYDANEJ DECYZJI DG KOWR

Decyzja DG KOWR wydana w trybie przepisów art. 2a ust. 4 pkt. 1 [1] staje się prawomocna z upływem 14 dni od daty jej doręczenia. Aby przyspieszyć sprawę zbywca oraz przedsiębiorca górniczy mogą złożyć oświadczenie o rezygnacji z prawa do odwołania od tej decyzji.

Z dniem doręczenia OT KOWR oświadczenia o zrzeczeniu się prawa do wniesienia odwołania przez ostatnią ze stron postępowania, decyzja staje się ostateczna i prawomocna.

Po wydaniu prawomocnej decyzji DG KOWR, w której to uzyskano zgodę na sprzedaż nieruchomości rolnej położonej nad złożem kopaliny, zainteresowane strony mogą zawrzeć właściwą umowę przyrzeczoną. Niemniej samo przeniesienie prawa własności do nieruchomości na przedsiębiorcę górniczego nie kończy sprawy, gdyż ten jest w dalszym ciągu zobowiązany na mocy złożonego oświadczenia do prowadzenia gospodarstwa rolnego na nabytej nieruchomości co najmniej przez 5 lat od daty nabycia.

Należy przy tym wyraźnie zaznaczyć, że nie dopuszczalne jest w tym czasie – ani zbycie nieruchomości, ani też oddanie jej w posiadanie innym podmiotom. Zatem wykluczona jest dzierżawa/najem/użyczenie nieruchomości, np. okolicznemu rolnikowi przez przedsiębiorcę górniczego, gdyż zarówno umowa dzierżawy jak i użyczenia oznaczają, że rolnik wchodzi w posiadanie nieruchomości, a dodatkowo w przypadku umowy dzierżawy, o ile była zawarta na piśmie i podpisana – po upływie 3 lat rolnik uzyskuje prawo pierwokupu dzierżawionej przez siebie nieruchomości, co w przypadku interesu przedsiębiorcy górniczego wydaje się niepożądane.

Pojawia się zatem dość poważny problem, w jaki sposób przedsiębiorca górniczy, którego działalnością podstawową nie jest przecież prowadzenie gospodarki rolnej, miałby prowadzić gospodarstwo rolne? Nie może on po prostu wydzierżawić takiej nieruchomości okolicznemu rolnikowi, co wydawałoby się najprostsze i logiczne z punktu widzenia racjonalnej gospodarki rolnej. Na marginesie – do niedawna grunty takie były i nadal często są przedmiotem dzierżawy i mało który przedsiębiorca górniczy zdaje sobie sprawę ze zmian, jakimi wprowadziła ustawa [1].

Rozwiązanie tego problemu jest częściowo ukryte w treści art. 2b ust.3 tej ustawy [1], a mianowicie – DG KOWR może odstąpić od egzekwowania obowiązku 5 letniego prowadzenia gospodarstwa rolnego przez nabywcę nieruchomości rolnej (tu przedsiębiorcę górniczego) w przypadkach uzasadnionych ważnym interesem nabywcy nieruchomości rolnej lub interesem publicznym.

Co oznacza pojęcie „ważny interes nabywcy nieruchomości rolnej”. Nabywca – przedsiębiorca górniczy zasadniczo nie prowadzi, i raczej nie zamierza prowadzić, działalności rolniczej, głównym rodzajem jego działalności jest eksploatacja złóż, najrozsądniejszym rozwiązaniem pozwalającym na prowadzenie prawidłowej gospodarki rolnej i dotrzymanie niego zobowiązania prowadzenia przez okres 5 lat gospodarstwa rolniczego, byłoby wydzierżawienie nieruchomości wybranemu rolnikowi z rynku lokalnego, który posiada wystarczające doświadczenie, zasoby oraz maszyny rolnicze. Rozwiązanie takie pozwoli zagwarantować prowadzenie kompleksowej gospodarki rolnej zgodnie ze sztuką rolniczą.

Przedsiębiorca górniczy natomiast nie posiada ani maszyn i urządzeń rolniczych, ani też odpowiedniego doświadczenia i kadry, aby taką gospodarkę rolniczą rozpocząć i należycie prowadzić. Chcąc wypełnić nałożone obowiązki wynikające ze złożonych oświadczeń co do obowiązku prowadzenia przez 5 lat gospodarstwa rolnego, musiałby dokonać zakupu niezbędnych maszyn, zatrudnić dodatkowy personel o odpowiednim

rolniczym wykształceniu i doświadczeniu w rolnictwie oraz poczynić szereg innych zabiegów zmierzających do uzyskania statusu gospodarstwa rolnego. Działania takie byłyby jednak nieuzasadnione z gospodarczego punktu widzenia nabywcy i oznaczałyby dla niego rażąco wysokie koszty, co należy uznać za naruszenie ważnego interesu nabywcy.

W tym sensie wydanie przez DG KOWR zgody na dzierżawę nabytych nieruchomości wybranemu rolnikowi z rynku lokalnego należy uznać za działanie jak najbardziej racjonalne, zarówno z punktu widzenia interesu nabywcy, jak i celu, dla którego zostały uchwalone przepisy art. 2b ustawy [1].

Alternatywą dla przedsiębiorcy górniczego w przypadku decyzji odmownej DG KOWR jest zawarcie umowy cywilno-prawnej z wybranym rolnikiem, w której to umowie przedsiębiorca przenosi na niego ogół praw i obowiązków wynikających z prowadzenia gospodarki rolnej. To rozwiązanie jakkolwiek pozwalające na uniknięcie bezpośredniego zaangażowania przedsiębiorcy górniczego w działalność rolniczą oznacza, że rolnik będzie w imieniu swojego mocodawcy przeprowadzał niezbędne zabiegi agrotechniczne celem utrzymania pożądanego kultury rolnej nieruchomości przy zachowaniu dość rygorystycznych norm i wymogów wzajemnej zgodności (*cross-compliance*), których analiza wykracza poza zakres niniejszego artykułu.

Wspomnieć jedynie wypada, że zasady finansowania i realizowania wspólnej polityki rolnej zostały ujęte w niedawno przyjętej ustawie o *Planie Strategicznym dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027* [3]. Oznacza to, że rolnik musi prowadzić prace w imieniu i na rzecz przedsiębiorcy górniczego z uwzględnieniem zasad wynikających z przywołanej ustawy oraz innych powiązanych aktów prawnych, co znacząco komplikuje współpracę pomiędzy przedsiębiorcą górniczym a zainteresowanym rolnikiem.

Dodatkowym problemem pozostają też kwestie dopłat bezpośrednich UE czy systemu kontraktacji i sprzedaży pożytków. Z uwagi na powyższe to rozwiązanie należy traktować jako ostateczne.

Na zakończenie warto jeszcze zwrócić uwagę na treść art. 2b ust. 4 pkt. 4 [1], gdzie wskazano, że zgoda DG KOWR nie jest wymagana w przypadku nabycia gruntów stanowiących w dniu nabycia tereny lub obszary górnicze w rozumieniu ustawy *Praczo geologiczne i górnicze* [2].

3. PODSUMOWANIE

Wbrew obiegowej opinii, jakoby nabycie gruntów rolnych położonych na złożach kopalin nie było możliwe bez uchwalenia bądź zmiany istniejącego miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego, w którym to planie grunty te stanowią tereny lub obszary górnicze należy wskazać, że nabycie w krótkim stosunkowo czasie (2–3 miesiące) można przeprowadzić przy wykorzystaniu zaproponowanego sposobu postępowania i interpretacji zapisów ustawy [1].

Warto zatem spróbować tej metody, szczególnie tam, gdzie istnieje zagrożenie nabycia tego rodzaju gruntów przez konkurencję lub gdy gmina niechętna jest jakimkolwiek zmianom aktów prawa miejscowego.

LITERATURA

- [1] Ustawa z dnia 11 kwietnia 2003 r. *O kształtowaniu ustroju rolnego* (t.j., DzU 2023.1933).
- [2] Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. *Prawo geologiczne i górnicze* (t.j., DzU 2023.2029).
- [3] Ustawa z dnia 8 lutego 2023 r. *o Planie Strategicznym dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027* (t.j. DzU 2024.261).
- [4] Ustawa z dnia 28 września 1991 r. *o lasach* (t.j., DzU 2023.1356).
- [5] Ustawa z dnia 20 sierpnia 1997 r. *o Krajowym Rejestrze Sądowym* (t.j., DzU 2023.1705).
- [6] *Portal ogłoszeń na platformie eRolnik*, <https://erolnik.gov.pl/#/ogloszenia>
- [7] *Polski Stowarzyszenie Wyceny Złóż Kopalin POLVAL*, <http://polval.org.pl>

ACQUISITION OF AGRICULTURAL LAND LOCATED OVER PROVEN MINERAL DEPOSITS IN LIGHT OF THE PROVISIONS OF THE LAW ON FORMATION OF THE AGRICULTURAL SYSTEM

This study aims to introduce the issue of acquiring agricultural land on which a mineral deposit has been documented and to present the procedure to be followed by mining entrepreneurs in the absence of a local land use plan, in which the land would be designated for surface mining of minerals or as mining areas, based on the current provisions of the Act of April 11, 2003 on the formation of the agricultural system. Despite the introduction of rather restrictive provisions on the possibility of acquiring agricultural land by entities other than farmers, it is possible to acquire real estate located over mineral deposits by obtaining the approval of the Director General of the NEB (KOWR), on the basis of which the mining entrepreneur will run a farm for 5 years. It is also possible to obtain permission to lease such land to a selected farmer, which, however, requires proper justification and application to the Director General of the NEB (KOWR).

Agata STEMPKOWSKA
Tomasz GAWENDA
Magdalena STASZEWSKA

AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami

LEKKIE KRUSZYWO ALTERNATYWNE. SPECYFIKA, PARAMETRY, MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA

Coraz częściej kruszywa naturalne zastępowane są materiałami pochodzącymi z recyklingu i kruszywami sztucznymi. Kruszywa te mogą przynieść korzyści techniczne ze względu na niższą gęstość, zmniejszającą obciążenie własne elementów konstrukcyjnych. Produkcja sztucznego lekkiego kruszywa jest wciąż ograniczona. W niniejszym artykule zaproponowano metodę pozyskiwania kruszywa scalanego granulacją bębnową dynamiczną. Utwardzanie uzyskano metodą kombinowaną, z wykorzystaniem spiekania i hydratacji. Wykorzystano materiały uboczne i odpadowe, jak pyły z gruzu budowlanego, pozostałości po przeróbce butelek PET oraz glinę współtowarzyszącą złożom węgla. Kruszywa lekkie z materiałów odpadowych są przyjazne dla środowiska, ponieważ redukują uszczuplanie zasobów naturalnych.

1. WPROWADZENIE

Większość stosowanych kruszyw pozyskiwana jest z zasobów naturalnych. Przemysł budowlany ma wpływ na globalny problem środowiskowy ze względu na wykorzystanie dużych ilości zasobów naturalnych. Zasoby naturalne zmniejszają się w coraz szybszym tempie ze względu na wysokie zapotrzebowanie. Kwestie ekologiczne, takie jak ograniczenie zasobów naturalnych i ogromne ilości odpadów, coraz częściej prowadzą w rozwijającej się cywilizacji w kierunku zrównoważonego budownictwa. Dwa podstawowe problemy środowiskowe to wyczerpywanie się zasobów naturalnych i usuwanie odpadów powstałych podczas różnych procesów. Dlatego autorzy podjęli próbę wytworzenia nowego kruszywa lekkiego z materiałów ubocznych i odpadowych [2, 4, 9].

Naturalne kruszywa, takie jak piasek, żwir lub pokruszone skały, są wydobywane w światowej skali którą szacuje się na ponad 40 miliardów ton rocznie, przy czym beton stanowi od 64% do 75% zapotrzebowania wszystkich wydobywanych kruszyw [4].

Masowe wykorzystanie surowców na kruszywa ma osiągnąć 62,9 mld ton metrycznych rocznie do 2024 r. Globalne zużycie kruszyw budowlanych, może doprowadzić do wyczerpania zasobów naturalnych i stwarza bezpośrednie zagrożenie dla środowiska. Ze względu na rosnącą ekspansję budownictwa, zasoby kruszyw naturalnych gwałtownie maleją. Występuje lokalny niedobór zasobów, który wymaga właściwego wykorzystania dla zrównoważonego rozwoju [7, 8].

Zastąpienie kruszywa naturalnego kruszywem lekkim produkowanym z materiałów odpadowych będzie skuteczną metodą minimalizacji zużycia zasobów nieodnawialnych. Lekkie kruszywo jest istotne w tworzeniu betonu lekkiego poprzez obniżenie emisji gazów cieplarnianych w budynkach i zmniejszenie ciężaru własnego konstrukcji. Zastosowanie LWA w betonie poprawia właściwości termoizolacyjne, zmniejszy strukturalne obciążenie własne, umożliwiając budowę większych konstrukcji przy tym samym rozmiarze fundamentu. Badania bibliograficzne przeprowadzone przez autorów pokazują, że dominującym zagadnieniem w tematyce „waste i recycled materials” jest technologia materiałów budowlanych, a w szczególności technologia betonu. Można stwierdzić że zagadnienia te są obecne właściwie w każdej dziedzinie naukowej i gospodarczej. Połączony od zasobów mineralnych i biotycznych, poprzez szeroko pojęte nauki chemiczne i fizyczne po geotechnikę [14].

Ciekawym kierunkiem zastosowania materiałów odpadowych są materiały wypalane takie jak cegły, płytki, kruszywa lekkie [5, 12, 13]. Autorzy powyższych publikacji wskazują jednak na trudności w zastosowaniu materiałów odpadowych. Odpady mineralne pomimo procesów homogenizacji charakteryzują się małą stabilnością składu i obecnością związków rozpuszczalnych. Związki takie mogą powodować wykwyty na powierzchni czy podwyższoną wymywalność substancji szkodliwych co powoduje wady użytkowe. Niezależnie zastosowań kruszy sztucznych w produkcji betonu, LWA warto zbadać w szczególności w celu zminimalizowania problemów środowiskowych, wraz z utrzymaniem długoterminowego zrównoważonego rozwoju poprzez poprawę jakości wody (filtracja) [19] lub jako podłoże dla zielonych dachów w celu złagodzenia efektu miejskiej wyspy ciepła [6, 10].

Jako zrównoważony system ekosystemów, zielony dach jest znany ze swojej zdolności do zapewnienia odporności termicznej i buforowania splotu powierzchniowego wód opadowych na obszarach miejskich. Kształt i rodzaj materiałów stosowanych w drenażu zielonego dachu i warstwy substratu znacząco wpływają na efektywność energetyczną i odprowadzanie wody. Ze względu na większą ilość porów wewnętrznych w lekkim kruszywie, absorpcja wilgoci jest szybsza niż w przypadku zwykłego kruszywa [15, 16].

Kruszywo lekkie (LWA) według normy [3] to substancja stała o gęstości cząstek mniejszej niż $2,0 \text{ g/cm}^3$ i gęstości nasypowej mniejszej niż $1,2 \text{ g/cm}^3$. Lekkie kruszywo można podzielić na następujące kategorie [9]:

1. Materiały występujące naturalnie i wymagające dalszego przetwarzania, takie jak keramzyt, łupek i wermikulit;

2. Produkty uboczne odpadów przemysłowych, takie jak spiekany popiół lotny, spieniony lub spieniony żużel wielkopieczowy lub spieniony żużel wielkopieczowy i hematyt;
3. Materiały występujące naturalnie, takie jak pumeks, spieniona lawa, tuf wulkaniczny i porowaty wapień.

Kruszywa scalane można otrzymać kilkoma metodami, np.:

- scalanie na zimno $\sim 25^{\circ}\text{C}$ (kruszywo o wiązaniu zimnym, cementowanie, geopolimeryzacja,
- autoklawizowanie,
- spiekanie, w temperaturach powyżej 900°C .

Lekkie kruszywo produkowane w wysokich temperaturach na przykład w 1200°C zapewnia najlepsze właściwości mechaniczne, pogarszając jednak jego porowatość. Aby uzyskać najkorzystniejsze cechy kruszywa sztucznego, temperatura spiekania powinna być wyznaczana indywidualnie w zależności od zastosowanych surowców wykorzystując dostępne techniki na przykład mikroskopię wysokotemperaturową (HSM). Metodą spiekania jest również możliwa produkcja kruszywa w krótkim czasie. Niemniej jednak, spiekanie wymaga dużej ilości energii podczas produkcji, co wpływa na jej cenę. Ogólnie rzecz biorąc, metoda spiekania jest szeroko stosowana na całym świecie w niektórych popularnych produktach komercyjnych, takich jak LECA i Lytag. Są to jedne z najpopularniejszych sztucznych lekkich kruszyw, które zostały skomercjalizowane na rynku w celu zastąpienia naturalnego kruszywa. W związku z tym badane są nowe metody, takie jak spajanie na zimno czy autoklawizacja.

W metodzie autoklawowania utwardzanie i wytrzymałość granul są uzyskane przez ciśnienie i temperaturę. Istnieją prace badawcze opisujące proces autoklawizacji do produkcji kruszyw [18]. Autorzy w swoich badaniach suszyli kruszywo w temperaturze pokojowej przez 24 godziny, a następnie utwardzali je do 200°C przez kilka godzin. Badania wykazały że do scalenia kruszywa wymagana jest niewielka ilość materiału wiążącego. Niestety nie prowadzi się wystarczającej ilości badań dotyczących skuteczności tej metody. Wynika to z faktu, że metoda ta wymaga specjalistycznej maszyny o precyzyjnym sterowaniu temperatury i ciśnienia do utwardzenia kruszywa. Ponadto, autoklaw jest kosztowny z uwagi na zużycie energii i wymaga dużych zakładów produkcyjnych do ukończenia procesu.

Trzecią z popularnych metod scalania jest wiązanie na zimno. Jest to proces wzmacniania większych cząstek uzyskanych metodą aglomeracji ciśnieniowej lub bezciśnieniowej. W procesie wiązania na zimno, jako spoiwo stosuje się zazwyczaj cement lub aktywator alkaliczny [17, 20]. Autorzy wskazują że metoda wiązania na zimno została uznana za opłacalną, ponieważ scalanie odbywa się w temperaturze pokojowej. W porównaniu do innych procesów metoda wiązania na zimno minimalizuje zużycie energii. W przypadku klejenia na zimno granulki są suszone w temperaturze pokojowej przynajmniej przez 24 godziny. Następnie takie granule wymagają utwardzania, najlepiej w zamkniętej komorze z parą wodną aż do uzyskania wymaganej wytrzymałości [1, 11,

18]. Głównym wyzwaniem związanym z kruszywem wiązaniem na zimno jest wymóg dłuższego czasu produkcji, ponieważ zwykle wymagane jest utwardzanie przez 28 dni. Nie zawsze też zasadne i możliwe jest stosowanie cementów lub innych aktywatorów alkalicznych.

W przedstawionych pracach badawczych autorzy zastosowali metodę kombinowaną (hybrydową) – spiekanie i utwardzanie hydratacyjne.

2. SUROWCE ORAZ METODY ZASTOSOWANE W WYTWORZENIU KRUSZYWA

2.1. PYŁ BETONOWY

Odpady budowlane pochodzące z placów budowy zarówno nowych budynków, jak i rozbiórek, modernizacji tych istniejących czy z infrastruktury drogowej stanowią ok. 32% całkowitej masy odpadów na świecie. Wśród nich największy udział ma gruz budowlany – betonowy i ceglany.

Pył betonowy (0–2 mm), powstający przy produkcji kruszyw grubych również powstaje z recyklingu elementów pochodzących z bloków z wielkiej płyty. Są to prefabrykaty o różnych kształtach i wymiarach z elementów żelbetowych, pochodzących z konstrukcji ścian bloków. Były one licznie stosowane w czasach komunizmu w Polsce i w NRD, ponieważ cechowały się krótkim czasem wznoszenia budynków, jednak o niewielkiej ich trwałości. Stąd dziś jest spora ilość prefabrykatów pochodzących z rozbiórek czy wyburzeń.

Główne fazy krystaliczne to krzemionka SiO_2 w ilości 70,3%, węgiel wapnia CaCO_3 – 8,7% (kalcyt, wateryt) oraz glinokrzemiany sodu $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ (albit) – 11,2% i potasu $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ (mikroklin) – 9,7%.

2.2. GLINA TOWARZYSZĄCA Z KOPALNI BEŁCHATÓW

Glina przywęglowa z Bełchatowa, zastosowana została w celu uplastycznienia. Uplastycznienie jest to zdolność utworzenia masy przy użyciu co najmniej dwóch produktów (ulegającego działaniu wody, czyli surowca plastycznego, np. ilastego oraz wody), która może być kształtowana w wybrany sposób, gdy jest w postaci mokrej/wilgotnej, a po wysuszeniu zachowuje nadaną formę.

Suszenie powoduje utratę plastyczności, natomiast jest ona odzyskiwana przy ponownym kontakcie z wodą, by uzyskać trwałą utratę plastyczności stosuje się proces wypalania. Próbkę ilów wykorzystane w badaniach odznaczają się stosunkowo dużą jak na skały ilaste zawartością Al_2O_3 – 24,06% wag. Dość wyraźnie zaznacza się w nich obecność Fe_2O_3 – 3,87 % wag. Z kolei za niskie można uznać: ilości alkaliów Na_2O i K_2O , w sumie nie przekraczają 1% wag., zawartość CaO – 1,55% wag. oraz części organiczne – 0,5% wag. Śladowe są też zawartości siarki (podanej w formie

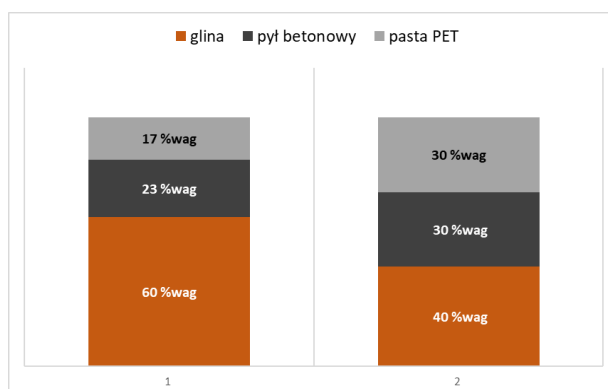
tlenkowej) – 0,1% wag. Całkowite straty prażenia oszacowano na – 4,46% wag., a średnią wilgotność – 8,92% wag.

2.3. POPROCESOWA PASTA PET

Wykorzystany w badaniach materiał to końcowy odpad po procesie recyklingu zawierający pyły politereftalanu etyleny, resztki etykiet (papier, folia) i inne pozostałości poprocesowe. Jako główne składniki mineralne zidentyfikowano tlenki krzemu – 32,92%, wapnia – 45,77% oraz żelaza – 6,61%. Nie stwierdzono tlenków pierwiastków szkodliwych i toksycznych, jak rtęć, kadm czy ołów. Określono średnią zawartość popiołu – 15,91 % wag. pozostałe związki ulegają wypaleniu. Wykonano również badania kaloryczności odpadu, co ma to na celu poprawienie efektywności spiekania. Ciepło spalania w stanie suchym Q_s wyniosło średnio 29590 kJ/kg, zaś emisja chloru do atmosfery – 0,80 % wag. Wartość opałowa odpadów, PET poprzez spalanie, generuje reakcję egzotermiczną, która obniża zużycie energii w procesie spiekania. Wilgotność całkowita odpadu wynosiła 15,6% wag. Analiza składu fazowego badanego odpadu była bardzo utrudniona. Udało się zidentyfikować zaledwie trzy fazy, które mogą wchodzić w skład badanego materiału. Są to kalcyt – 33,8%, krzemionka – 29,9% i dolomit – 7,3%.

2.4. EKSPERYMENTALNE SKŁADY KRUSZYWA

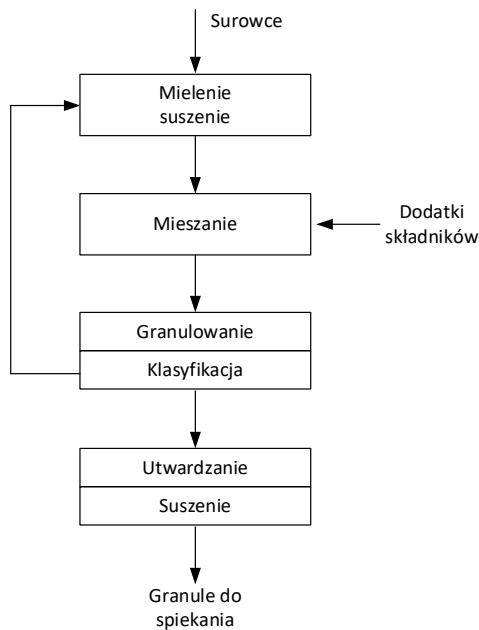
Próba początkowa zawierała 60%wag gliny przyłożowej, 23%wag. pyłu betonowego, 17%wag PET. Kolejnym etapem było zwiększenie udziału odpadu PET jako środka porotwórczego w tym celu zwiększono jego udział do 30%wag. Skład próby drugiej był następujący: 40% glina przy złożowa, 30% pyłu betonowego, 30% PET. Podobnie jak poprzednio materiał był homogenizowany młynem prętowym przez 1 godz. Proporcje mieszaniny przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Proporcje składników do wytwarzania kruszyw
Fig. 1. Proportions of ingredients for making aggregates

2.5. WYTWORZENIE KRUSZYWA METODĄ GRANULACJI DYNAMICZNEJ

Proces produkcji kruszywa sztucznego składa się z pięciu etapów, są to: mielenie surowców zazwyczaj połączone z suszeniem lub osobnym suszeniem wilgotnych surowców; ich mieszanie, granulowanie, klasyfikacja i utwardzanie. W pierwszym etapie surowce mogą być poddawane mieleniu, osobno lub razem w odpowiednich proporcjach, dzięki czemu proces mieszania zachodzi częściowo. W drugim etapie, odpowiednio dobrane składniki są mieszane, aż mieszanina osiągnie optymalną homogenizację. W trzecim etapie mieszanina surowców poddawana jest procesowi granulowania poprzez aglomerację drobnych cząstek z użyciem wody oraz odpowiedniego spoiwa jeśli proces tego wymaga. W zależności od odpowiednio dobranych parametrów pracy granulatora oraz zawartości wilgoci (dozowania wody) w urządzeniu powstaje odpowiedni rozmiar granulek. W czwartym etapie w zależności od rodzaju użytych maszyn może występować klasyfikacja granul względem wielkości uziarnienia, a produkty drobnoziarniste i wybrakowane granule zawracane są do obiegu procesu granulowania. Utwardzanie świeżych granul w piątym etapie osiąga się suszeniem. Schemat blokowy produkcji lekkich kruszyw przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Blokowy schemat wytwarzania kruszywa lekkiego
Fig. 2. Block diagram for the production of lightweight aggregates

Proces scalania (granulacji) ma na celu połączenie drobnych cząsteczek pyłów tak, by powstały większe agregaty – powyżej 1 mm, charakteryzujące się odpowiednimi

właściwościami. Proces ten stosuje się w celu uzyskania takiej formy produktu, który będzie właściwy do użytkowania przez odbiorców czy możliwy do dalszego stosowania w odpowiednich technologiach. W badaniach została wykorzystana metoda granulacji dynamicznej. Proces ten odbywa się w granulatorach dynamicznych przeciwbieżnych ze zmienną prędkością obrotową bębna i mieszalnika o przeciwnych kierunkach obrotów (rys. 3).



Rys. 3. Granulator dynamiczny przeciwbieżny produkcji Idea-Pro
(Katedra Inżynierii Środowiska AGH)

Fig. 3. Dynamic counter-rotating granulator by Idea-Pro

Granulator umożliwia przetwarzanie różnego rodzaju konsystencji na wybrane formy granulatów. Mieszanie i granulacja odbywa się w jednym urządzeniu i zapewnia spełnienie najwyższych standardów w zakresie jakości produktu, zużycia energii i wydajności z jednostki objętościowej urządzenia technologicznego. Surowce uzyskują spójność w bardzo krótkim czasie – kilkudziesięciu sekund, a ponieważ jest to układ z zamkniętą komorą, powstawanie pyłów jest ograniczone do minimum.

3. UTRWALENIE KSZTAŁTU ORAZ WYBRANE PARAMETRY UTWARDZONEGO KRUSZYWA

3.1. PROCES WYPALANIA

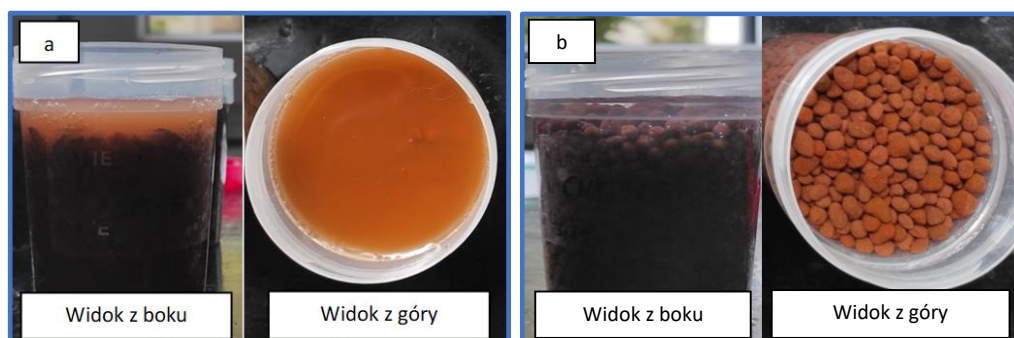
W prowadzonych badaniach proces wypalania surowca został przeprowadzony w piecu komorowym elektrycznym. Starano się nie dopuścić do pełnego zamknięcia porowatości materiału. W pierwszych warunkach wypału zastosowano temperaturę

1100°C, stosowaną zwykle przy wypale ceramiki czerwonej. Kruszywo przetrzymywano w piecu przez 2 godz. Uzyskano lity i gładki materiał, o nasiąkliwości 7,41%, który jest charakterystyczny dla ceramik o czerepie spieczonym, np. cegiel klinkierowych. Gęstość pozorna kruszywa wyniosła 2,12 g/cm³. Takie warunki wypiekania nie pozwalają na uzyskanie kruszywa lekkiego o wysokiej porowatości. Zdecydowano zatem o obniżeniu temperatury wypału do 1000°C, czas przetrzymywania kruszywa w piecu wynosił również 2 godz. Otrzymano materiał o nasiąkliwości 27,26% oraz gęstości 1,81 g/cm³ (rys. 4). Kruszywo o podwyższonej zawartości odpadu PET również wypalono w temperaturze 1000 °C i uzyskano materiał o nasiąkliwości 34,45% i gęstość 1,43 g/cm³. Podjęto również próbę spieczenia kruszywa w temperaturze 600°C, jednakże nie uzyskano trwałego spieku i kruszywo pod wpływem wody uległo rozpadowi (rys. 5). Parametry kruszywa zestawiono w tab. 1.



Rys. 4. Kruszywo wytworzone metodą granulacji dynamicznej, wypalone w temperaturze 1000°C

Fig. 4. Aggregate produced by dynamic granulation, fired at 1000°C



Rys. 5. Rozmywające się kruszywo wypalone w temp 600°C (a), spieczone kruszywo wypalone w temp 1000°C nie ulegające rozmyciu (b)

Fig. 5. Fuzzy aggregate sintered at 600°C (a), stable aggregate sintered at 1000°C (b)

Tabela 1. Parametry wytworzonych kruszyw
Table 1. Parameters of produced aggregates

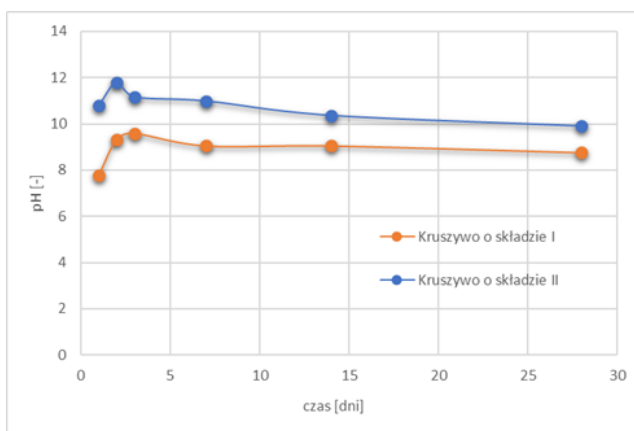
| Parametr | Kruszywo I | Kruszywo I | Kruszywo II | Kruszywo I |
|--|------------|------------|-------------|------------|
| Temp. wypalania [°C] | 1100 | 1000 | 1000 | 600 |
| Nasiąkliwość wodna [%] | 7,41 | 27,26 | 35,45 | 39,3 |
| Gęstość pozorna[g/cm ³] | 2,12 | 1,81 | 1,43 | 1,50 |
| Gęstość nasypowa [g/cm ³] | – | 0,80 | 0,76 | 0,84 |
| Zawartość proszku w przesączu [% wag.] | – | – | – | 30 |

3.2. HYDRATACJA ORAZ STĘŻENIE SUBSTANCJI ROZPUSZCZONYCH

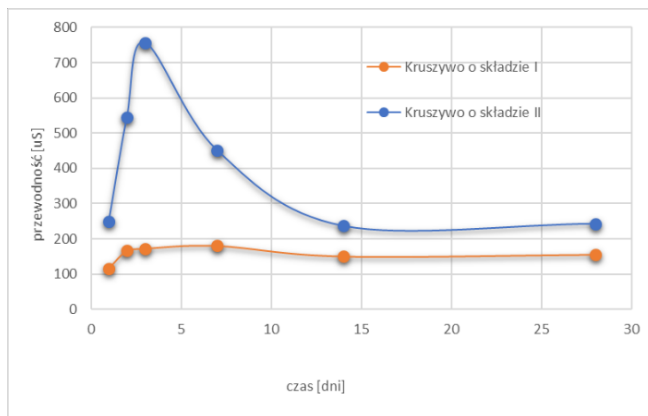
Próbki wypalonego kruszywa z pyłem cementowym poddano dodatkowemu procesowi hydratacji. Na mechanizm hydratacji glinianów wapnia składa się proces rozpuszczania, gdzie bezwodne fazy cementu glinowego rozpuszczają się, a następnie w postaci hydratów (związki chemiczne z układu $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) wytrącają z roztworu. Wyróżnić można więc trzy zasadnicze fazy procesu hydratacji:

- rozpuszczanie,
- nukleacja,
- wytrącanie.

Hydratacja jest procesem związanym z przejściem jonów do roztworu. Można to potwierdzić stosując pomiary konduktometryczne. W tym celu próbkę cementu umieszcza się w wodzie i poddaje badaniom na przewodność jonową. Jej wartość wzrasta w miarę zwiększania się ilości jonów w jednostce objętości. W tym celu przeprowadzono badania stężeń substancji rozpuszczalnych w wodzie wykonując badania przewodności elektrolitycznej. Ponadto monitorowano zmiany pH. W tym celu wypalone



Rys. 6. Zmiany wskaźnika pH w roztworze w zależności od czasu badania
Fig. 6. Variation of the pH indicator in solution according to the test time



Rys. 7. Zmiany przewodności elektrolitycznej w roztworze w zależności od czasu badania

Fig. 7. Changes in electrolytic conductivity in solution as a function of test time

kruszywo o odpowiedniej masie około 10 g zanurzono w 100 ml wody destylowanej. Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono wyniki pomiarów. Parametry wody destylowanej użytej do badań wynosiły: pH – 6,04 oraz przewodność 4,25 μS .

Proces uwadniania się jest inicjowany przez hydroksylację powierzchni cementu. W kolejnym etapie ma miejsce rozpuszczanie się cementu w wodzie i uwalnianie jonów wapnia i glinu do roztworu. W momencie, gdy koncentracja jonów przekroczy poziom rozpuszczalności hydratów tworzy się niewielka ilość żelu hydratów. Rozpuszczanie jest kontynuowane przy równoczesnym wzroście stężenia jonów wapnia oraz glinu w wodzie aż do momentu, gdy osiągnięty zostaje poziom nasycenia. Powstają wówczas w dużej ilości zarodki kryształów – faza nukleacji.

Masowo zaczynają wytrącać się hydraty, co prowadzi do spadku koncentracji jonów. Jest to proces dynamiczny, prowadzący do rozpuszczenia reszty bezwodnego cementu. W sensie fizycznym mamy do czynienia ze wzrostem uwodnionych kryształów, które zalegają się i wiążą ze sobą, co prowadzi w efekcie do powstania monolitu w skali makro. Siłą napędową jest niższa rozpuszczalność hydratów w wodzie niż bezwodnego glinianu wapniowego. Po zmieszaniu kruszywa z wodą faza ciekła gwałtownie nasycy się jonami wapnia, pH roztworu gwałtownie rośnie.

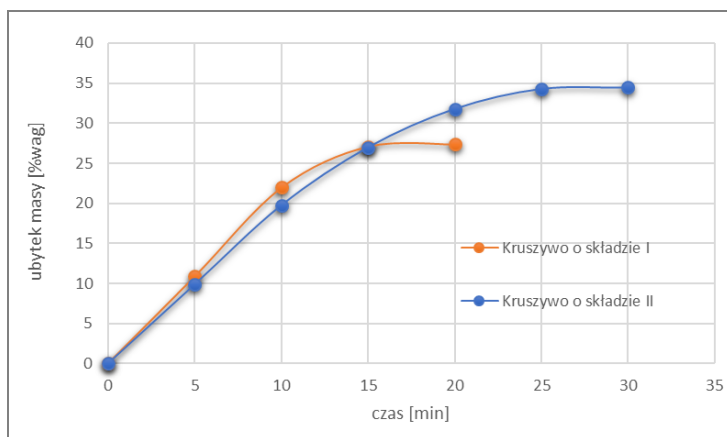
W pierwszym dniu pomiarowym najwyższe wartości pH obserwuje się w przypadku kruszywa II z wyższą ilością cementu 30%wag. powyżej 11. Wysokie pH utrzymuje się przez przynajmniej dwa tygodnie a w następnych dniach zaczyna ono powoli maleć, jednakże nie osiąga wartości neutralnych. Równocześnie ze zmianami pH obserwuje się zmiany przewodności roztworu. W fazie rozpuszczania jest ona najwyższa, dochodząca do wartości powyżej 750 μS również w przypadku próbek kruszywa II. Po około dwóch dniach od rozpoczęcia pomiarów przewodność zaczyna spadać, ponieważ

zaczynają się wytrącać krystalizujące fazy glinianowe, w roztworze natomiast pozostają jony K^- , Na^+ i OH^- , dlatego pH pozostaje alkaliczne.

3.3. PROCES ODDAWANIA WODY

Wytworzone kruszywa doskonale absorbują i powoli oddają wodę. Okazuje się, iż ich skład ma wpływ na szybkość oddawania wody; granule z większą zawartością oddają wodę zdecydowanie dłużej, różnica ta wynosi średnio 10 min (rys. 8). Ma na to wpływ rodzaj i wielkość porowatości.

Inaczej bowiem będą zachowywać się materiały z porowatością otwartą, a inaczej z częściowo zamkniętą. Im więcej porów otwartych tym większa możliwa retencja wodna. Co ciekawe próbki ze składem I zaabsorbowały najmniej wody – ok. 27%, jest to uzasadnione, ponieważ zawierały one największą ilość gliny, która podczas spiekania częściowo tworzy fazę szklista zamykając pory. Próbki kruszywa o składzie II absorbowały ok. 35% wody. Mikroretencja wodna w porach kruszywa pozwala na zastosowanie tych materiałów w rolnictwie i ogrodnictwie.

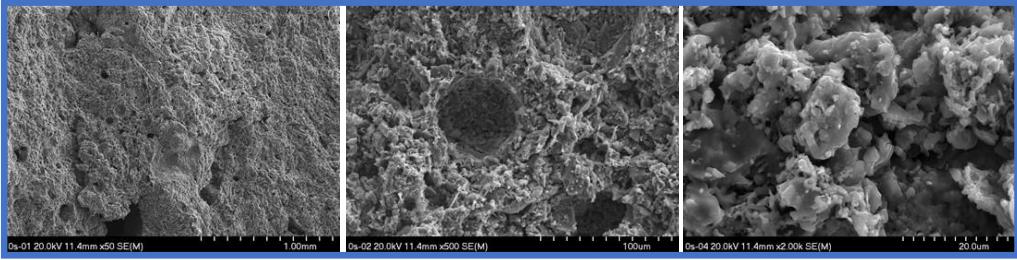


Rys. 8. Kinetyka oddawania wody przez kruszywa wysoko porowate

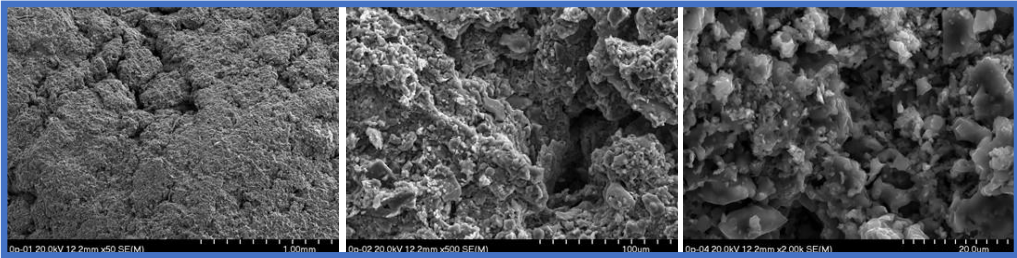
Fig. 8. Water release kinetics of highly porous aggregates

3.4. MIKROSTRUKTURA WYTWORZONYCH KRUSZYW LEKKICH

Przeprowadzono badania mikrostruktury kruszywa o składzie II, ponieważ charakteryzowało się ono wyższą porowatością. Badano powierzchnię i wnętrze próbek. Zdjęcia mikroskopowe przedstawiono na rys. 9 i 10. Na fotografiach uwidoczniło, że struktura kruszywa nie jest lita. Zadana temperatura spiekania miała na celu wypażenie (przemianę chemiczną) surowców węglanowych ulegających dysocjacji termicznej.



Rys. 9. Mikrofotografia SEM – powierzchni próbki kruszywa I.
Powiększenie odpowiednio 50×, 500× oraz 2000×
Fig. 9. SEM microphotography – surface of aggregate sample I.
Magnification 50×, 500× and 2000×, respectively



Rys. 10. Mikrofotografia SEM – przełamu próbki kruszywa I.
Powiększenie odpowiednio 50×, 500× oraz 2000×
Fig. 10. SEM microphotography of the broken aggregate sample I.
Magnification 50×, 500× and 2000×, respectively

W efekcie tej dysocjacji otrzymano zwiększenie porowatości kruszyw ze względu na ulatniające się gazy i wypalenie części organicznych, co przyczyniło się także do obniżenia gęstości pozornej i wzrostu nasiąkliwości kruszywa. Optymalnie dobrana temperatura zapewniła powstanie trwałego spieku, a trwałość uzyskuje się poprzez niewielką ilość powstającej fazy szklistej, która zlepia cząstki proszku.

4. WNIOSKI

Problem usuwania i zagospodarowania stałych materiałów odpadowych stał się jednym z głównych problemów środowiskowych, ekonomicznych i społecznych. Wykorzystanie odpadów stałych w produkcji materiałów budowlanych nie tylko rozwiązuje problem ich utylizacji, ale również pomaga w przekształceniu odpadów w użyteczne i opłacalne produkty.

Recykling odpadów PET do lekkich kruszyw wydaje się być rozwiązaniem wykonalnym, nie tylko dla problemu utylizacji tego typu odpadów, ale także ekonomiczną opcją do produkcji kruszyw lekkich.

Pył betonowy, pochodzący z rozbiórki o utrudnionym zagospodarowaniu, znajduje w tej technologii wykorzystanie jako materiał ograniczający plastyczność, ale także wspomagają utwardzanie poprzez wtórną hydratację

Celem badań było wytworzenie lekkiego kruszywa z materiałów ubocznych i odpadowych. Cel ten został osiągnięty, uzyskano lekkie i wysokoporowate kruszywo, które może znaleźć zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu w tym w zrównoważonej architekturze (miedzy innymi zielone dachy).

Projekt badawczy finansowany ze środków programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza w AGH”.

LITERATURA

- [1] ABBAS W., KHALIL W., NASSER I., *Production of lightweight Geopolymer concrete using artificial local lightweight aggregate*, MATEC Web Conf., 2018, 2024, 162.
- [2] ALQAHTANI F.K., ZAFAR I., *Characterization of processed lightweight aggregate and its effect on physical properties of concrete*, Constr. Build. Mater., 2019, 230, 116992.
- [3] EN 13055:2016. *Lightweight aggregates*, European Standard, 2016.
- [4] HAO D.L.C., RAZAK R.A., KHEIMI, M., YAHYA Z., ABDULLAH M.M.A.B., BURDUHOS NERGIS D.D., FANSURI H., EDIATI R., MOHAMED R., ABDULLAH A., *Artificial Lightweight Aggregates Made from Pozzolan Material: A Review on the Method, Physical and Mechanical Properties, Thermal and Microstructure*, Materials, 2022, 15, 3929, <https://doi.org/10.3390/ma15113929>
- [5] IZAK P., DELIKHOVSKIY Y., OLSZYNA A., *Use of Post-Flotation Solidified Tailings from Copper Production for Ceramic Tile Production*, Materials, 2023, 16, 132, <https://doi.org/10.3390/ma16010132>
- [6] KAZEMI M., COURARD L., ATTIA S., *Water permeability, water retention capacity, and thermal resistance of green roof layers made with recycled and artificial aggregates*, Building and Environment, 2023, 109776, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109776>
- [7] KHAN Z., HOSSAIN M.R., BADEEB R.A., ZHANG Ch., *Aggregate and disaggregate impact of natural resources on economic performance: Role of green growth and human capital*, Resources Policy, 2023, 80, 103103, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103103>
- [8] KOZIOŁ W., BAIC I., MACHNIAK Ł., *Production and Application of Aggregates Made of Waste Recyclables*, Annual Set The Environment Protection, 2016, 18, 831–849.
- [9] KUMAR P.S., BABU M.J.R.K., KUMAR K.S., *Experimental Study on Lightweight Aggregate*, Int. J. Civ. Eng. Res., 2010, 1, 65–74.
- [10] LIU M., WANG C., BAI Y., XU G., *Effects of sintering temperature on the characteristics of lightweight aggregate made from sewage sludge and river sediment*, J. Alloy Compd., 2018, 748, 522–527.
- [11] REHMAN M.U., RASHID K., HAQ E.U., HUSSAIN M., SHEZAD N., *Physico-mechanical performance and durability of artificial lightweight aggregates synthesized by cementing and geopolymerization*, Constr. Build. Mater., 2019, 232, 117290.
- [12] SIMAO F.V., CHAMBART H., VANDEMEULEBROEKE L., NIELSEN P., ADRIANTO L.R., PFISTER S., CAPPUYNS V., *Mine waste as a sustainable resource for facing bricks*, Journal of Cleaner Production, 2022, 368, 133118, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133118>

- [13] SINGH S., DALBEHERA M.M., MAITI S., SINGH BISHT R., BALAM N.B., PANIGHARI S.K., *Investigation of agro-forestry and construction demolition wastes in alkali-activated fly ash bricks as sustainable building materials*, Waste Management, 2023, 159, 114–124, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.01.031>
- [14] STEMPKOWSKA A., GAWENDA T., *Special Issue “Mineral Composite Materials Produced with Waste/Recycled Components” – Editorial Note and Critical Review of the Problems*, Materials, 2023, 16, 3911, <https://doi.org/10.3390/ma16113911>
- [15] STOVIN V., POE S., BERRETTA C., *A modelling study of long term green roof retention performance*, J. Environ. Manag., 2013, 131, 206–215, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.09.026>
- [16] SZOTA C., FLETCHER T.D., DESBOIS C., RAYNER J.P., WILLIAMS N.S.G., FARRELL C., *Laboratory tests of substrate physical properties may not represent the retention capacity of green roof in situ*, Water, 2017, 9, 920, <https://doi.org/10.3390/w9120920>
- [17] VALI K.S., MURUGAN B., *Effect of different binders on cold-bonded artificial lightweight aggregate properties*, Adv. Concr. Constr., 2020, 9, 183–193.
- [18] WANG S., YU L., YANG F., ZHANG W., XU L., WU K., TANG L., YANG Z., *Resourceful utilization of quarry tailings in the preparation of non-sintered high-strength lightweight aggregates*, Constr. Build. Mater., 2022, 334.
- [19] WHITE I., ALARCON A., *Planning policy, sustainable drainage and surface water management: a case study of greater manchester*, Built. Environ., 2009, 35, 516–530, <https://doi.org/10.2148/benv.35.4.516>
- [20] ZAFAR I., RASHID K., JU M., *Synthesis and characterization of lightweight aggregates through geopolymerization and microwave irradiation curing*, J. Build. Eng., 2021, 42, 102454.

LIGHTWEIGHT ALTERNATIVE AGGREGATE. CHARACTERISTICS, PARAMETERS, APPLICATION POSSIBILITIES

Aggregates are the most important material used in construction. Large quantities of aggregates are necessary for almost all construction projects. It is also impossible to produce the basic material concrete without them, and they are also necessary in the manufacture of mortar and the preparation of mineral and asphalt mixtures. Increasingly, natural aggregates are being replaced by recycled materials and artificial aggregates. Artificial lightweight aggregate can benefit the construction field due to its lower density, thus reducing the dead load of structural elements. However, the production of artificial lightweight aggregate is still limited. Therefore, this article proposes a method for obtaining artificial lightweight aggregate consolidated by dynamic drum granulation. Curing was achieved by a combined method – using sintering and hydration. Artificial lightweight aggregate using waste materials is environmentally friendly, as it reduces the depletion of natural resources. By-product and waste materials such as dust from construction debris and residues from PET bottle processing were used, as well as clay associated with coal deposits.

Paweł STRZAŁKOWSKI
Erwin WESOŁOWSKI
Maciej KUBICA
Kamila NIEMIEC

Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

ZMODYFIKOWANE BADANIA ODPORNOŚCI NA ROZDRABNIANIE KRUSZYW POCHODZENIA MAGMOWEGO

Kruszywa mineralne powinny cechować się wysokimi parametrami jakościowymi, które najczęściej definiowane są w oparciu o właściwości mechaniczne. Do podstawowych właściwości mechanicznych kruszyw należy zaliczyć odporność na rozdrabnianie. W pracy dokonano oceny odporności na rozdrabnianie kruszyw pochodzenia magmowego na podstawie zmodyfikowanej metody badawczej. Modyfikacja metody badawczej uwzględniła różne obciążenie niszczące oraz zachowanie materiału w badaniach długoterminowych. W wyniku przeprowadzonych testów laboratoryjnych zaobserwowano zmienność odporności na rozdrabnianie kruszyw.

1. WPROWADZENIE

Kruszywo mineralne, jako podstawowy materiał budowlany, powinno cechować się wysoką jakością. Ta jakość materiału skalnego definiowana przez właściwości fizyczne, mechaniczne i geometryczne dostarcza informacji o jego trwałości i odporności na oddziaływanie czynników mechanicznych i środowiskowych. Właściwości techniczne kruszyw mineralnych są silnie związane z budową i składem mineralnym, a także technologią ich produkcji [1–3]. Niemniej jednak obserwacja reagowania kruszywa pod wpływem czynników mechanicznych staje się kluczowa przy doborze materiału skalnego. W warunkach krajowych, kwalifikację materiału skalnego do zastosowania w budownictwie liniowym definiują wymagania ujęte w specyfikacjach technicznych podmiotów odpowiedzialnych za rozbudowę i modernizację infrastruktury transportowej, które wskazują krytyczne wartości parametrów technicznych kruszyw.

Ocena jakości kruszyw ze względu na analizę ich różnych właściwości jest złożonym zagadnieniem i zależy od parametrów technicznych materiału skalnego. Odpor-

ność na rozdrabnianie jest jedną z najważniejszych właściwości kruszywa i jednym z najbardziej efektywnych parametrów decydujących o użyteczności materiału skalnego. Obrazuje ona odporność kruszywa na zużycie w wyniku ścierania się między cząstkami skał, a także na uderzenie i kruszenie w wyniku oddziaływania mechanicznego materiału rozdrabniającego (kule stalowe) [3, 4].

Eksploatacja kruszyw powoduje jego niszczenie. Obserwacja procesu degradacji materiału skalnego jest istotna w przewidywaniu jego żywotności. Celem pracy jest określenie zużywalności kruszyw w wyniku badania odporności na rozdrabnianie. Wyniki przedstawione w pracy uwzględniają badania długoterminowe i są powiązane ze zmiennym obciążeniem niszczącym. Wszystkie badania zostały oparte o zmodyfikowaną metodę badawczą opisaną w normie PN-EN 1097-2:2020-09 [5]. Badania przeprowadzono dla kruszyw pochodzenia magmowego wyprodukowanych z 5 złóż (granit, bazalt i melafir) o uziarnieniu 11,2–16 mm.

2. METODA OZNACZANIA ODPORNOŚCI NA ROZDRABNIANIE

W warunkach krajowych oznaczanie odporności na rozdrabnianie kruszyw mineralnych prowadzi się w oparciu o wymagania normy [5]. Podstawową metodą badania jest metoda Los Angeles i polega na wyznaczeniu współczynnika LA, który określa procentową część masy próbki kruszywa, która po zakończeniu badania ma wymiar ziarna poniżej 1,6 mm.

Badania odporności na rozdrabnianie wykonuje się w bębnie, w którym umieszcza się 5000 ± 5 g wysuszonego do stałej masy kruszywo o określonych wymiarach (standardowa frakcja próbki kruszywa wynosi 10–14 mm lub alternatywnie określone w normie [5] oraz odpowiednio dobrane do frakcji badanego kruszywa stalowe kule. Załadowany bęben poddaje się 500 obrotom ze stałą prędkością od 31 do 33 obr/min. Po zakończeniu pracy bębna, materiał znajdujący się w bębnie wysypuje się na tacę i wyjmuje stalowe kule. Następnie rozdrobnione kruszywo należy przesiać na sicie 1,6 mm. Materiał pozostający na sicie 1,6 mm suszy się do stałej masy.

Na podstawie masy kruszywa przed i po badaniu oblicza się współczynnik LA:

$$LA = \frac{5000 - m}{50}, \quad (1)$$

gdzie m – masa frakcji kruszywa pozostająca na sicie 1,6 mm, w gramach.

Dodatkowo wyznaczono zawartość procentową materiału skalnego o wymiarze powyżej 11,2 mm, a także wyznaczono współczynniki LA co 500 obrotów bębna oraz przy zmiennej liczbie kul stalowych.

3. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Kruszywa mineralne podczas prowadzonych badań właściwości wytrzymałościowych poddawane są badaniom przez określoną liczbę obrotów bębna aparatu Los Angeles. Ocena właściwości długoterminowej trwałości wymaga dodatkowych badań wykraczających poza metody badawcze wskazywane w normach. Współczynnik LA wyznaczono co 500 obrotów bębna aparatu Los Angeles dla każdego analizowanego kruszywa łamanego. Na podstawie analiz makroskopowych zaobserwować można znaczne rozdrobnienie kruszywa (rys. 1).



Rys. 1. Obrazy kruszywa granitowego I (frakcja 11,2–16 mm) rozdrabnianego z wykorzystaniem 10 kul: a) przed badaniem, b) po 500 obrotach bębna, c) po 1000 obrotach bębna, d) po 1500 obrotach bębna

Fig. 1. Pictures of granite I aggregate (11.2–16 mm fraction) fragmented using 10 balls: a) before the test, b) after 500 drum rotations, c) after 1000 drum rotations, d) after 1500 drum rotations

W przeprowadzonych badaniach odporności na rozdrabnianie metodą Los Angeles wykazano zmienne współczynniki LA badanych kruszyw (tab. 1). Wyniki badań wskazują, że do całkowitego rozdrobnienia materiału skalnego dochodzi przy różnej liczbie obrotów bębna aparatu Los Angeles. Potwierdza to także Tunc i Alyamac [6]. Uzyskane wyniki odporności na rozdrabnianie dowodzą, że kruszywa granitowe są znacznie mniej odporne niż pozostałe analizowane kruszywa i ma to ścisły związek z budową i składem mineralnym granitów [7]. Ponadto, właściwości mechaniczne kruszyw granitowych mogą być obniżone przez niewłaściwe procesy eksploatacyjne. Przy niewłaściwym prowadzeniu robót strzałowych w tych skałach może dojść do powstania mikropęknięć, które mają wpływ na parametry wytrzymałościowe materiału skalnego [8].

W pierwszym cyklu obrotów bębna aparatu Los Angeles (500 obrotów) zaobserwowano, że współczynnik LA jest najwyższy w porównaniu do wskaźników uzyskanych jako różnica współczynnika pomiędzy kolejnymi 2 cyklami obrotów bębna. Porównując dynamikę wzrostu współczynnika LA można stwierdzić, że wraz ze wzrostem liczby cykli procentowy przyrost wartości współczynnika LA jest coraz mniejszy – takie trendy są widoczne dla każdej próbki kruszywa.

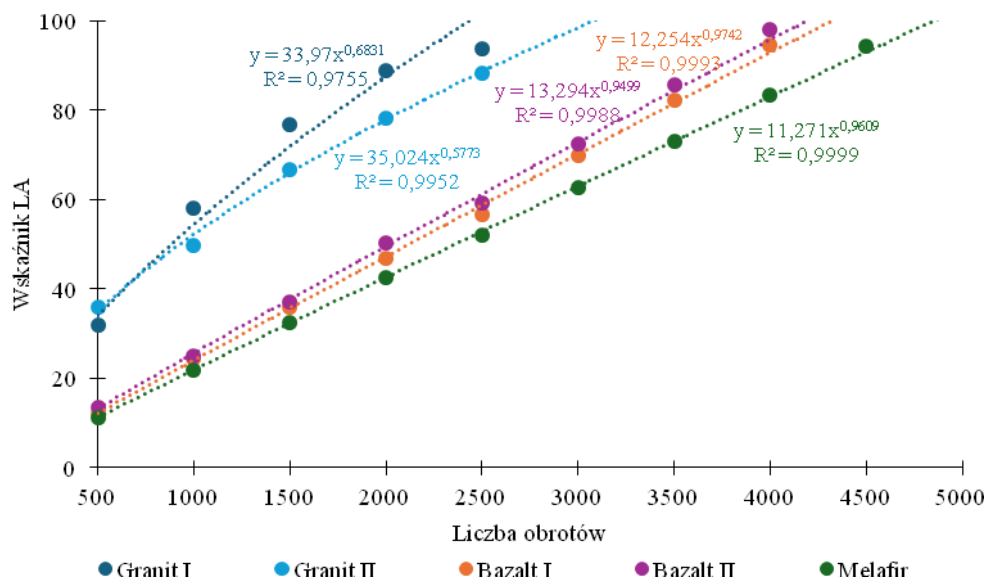
Tabela 1. Współczynnik LA w zależności od liczby obrotów bębna Los Angeles
Table 1. LA coefficient depending on the number of revolutions of the Los Angeles drum

| Liczba obrotów | Granit I | Granit II | Bazalt I | Bazalt II | Melafir |
|----------------|----------|-----------|----------|-----------|---------|
| 500 | 32,04 | 35,98 | 12,21 | 13,65 | 11,32 |
| 1000 | 58,07 | 49,71 | 24,50 | 25,12 | 21,95 |
| 1500 | 76,86 | 66,64 | 35,97 | 36,98 | 32,39 |
| 2000 | 88,77 | 78,21 | 46,90 | 50,42 | 42,71 |
| 2500 | 93,80 | 88,39 | 56,64 | 59,30 | 52,22 |
| 3000 | 100,00 | 100,00 | 69,84 | 72,62 | 62,70 |
| 3500 | – | – | 82,42 | 85,73 | 72,94 |
| 4000 | – | – | 94,74 | 97,98 | 83,46 |
| 4500 | – | – | 100,00 | 100,00 | 94,26 |
| 5000 | – | – | – | – | 100,00 |

W oparciu o uzyskane oznaczone współczynniki LA wyznaczono krzywe, które przyjmują funkcje potęgowe o wysokich współczynnikach determinacji (R^2) w granicach 0,9637–0,9997 (rys. 2). Uzyskane funkcje wskazują, że możliwe jest przewidywanie odporności na rozdrabnianie kruszywa w zależności od liczby obrotów bębna aparatu Los Angeles.

Jakość kruszywa i proces degradacji w wyniku rozdrabniania w bębnie Los Angeles oceniana na podstawie współczynnika LA możemy być niewystarczająca. Biorąc pod uwagę praktyczne zastosowanie kruszywa, rozsądniejsze wydaje się anali-

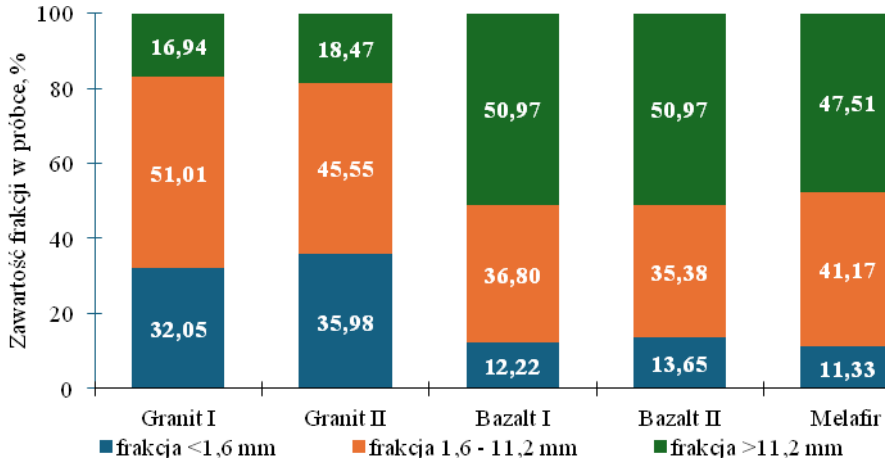
zowanie ilości materiału pozostającego w pierwotnym zakresie frakcji próbki kruszywa [9]. Wyznaczenie tej wartości lepiej obrazuje zachowanie kruszywa i jego podatność na rozdrobnienie [3]. Na podstawie przeprowadzonych badań, zaobserwować można znaczną degradację materiału skalnego (rys. 3). W szczególności dotyczy to kruszywa granitowego. Zauważono, że po 500 cyklach obrotów bębna aparatu Los Angeles, udział frakcji pierwotnej wynosi około 20%. Wraz z kolejnymi obrotami bębna aparatu Los Angeles udział frakcji pierwotnej kruszywa osiąga do kilku procent, a po 1000 obrotów wynosi poniżej 1%. Kruszywo bazaltowe i melafirowe ma lepszą odporność na rozdrabnianie w porównaniu do granitu, ponieważ całkowita degradacja frakcji pierwotnej następuje dopiero po 2500 obrotów bębna Los Angeles.



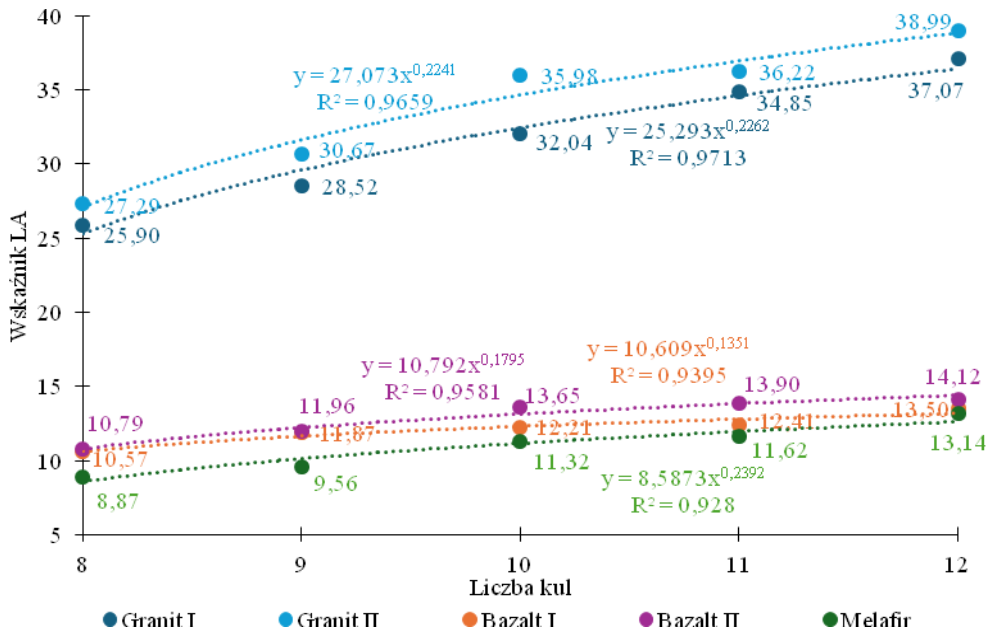
Rys. 2. Współczynnik LA w zależności od liczby obrotów bębna Los Angeles
Fig. 2. LA coefficient depending on the number of the Los Angeles drum rotations

Liczba kul stalowych stosowanych zgodnie z normą [5] w zależności od wielkości uziarnienia kruszywa nie ma większego wpływu na wielkość współczynnika LA [10, 11]. Natomiast zmienność liczby kul stalowych użytych w badaniu dla tej samej frakcji kruszywa znacząco zmienia wynik badania. Li i in. [12] wskazują, że badanie odporności na rozdrabnianie metodą Los Angeles nie symuluje rzeczywistego zagęszczenia kruszywa oraz warunków obciążenia. Wydaje się jednak, że wyniki współczynnika LA przy zmiennej liczbie kul stalowych mogą dostarczać wstępnej wiedzy i pozwalają przewidzieć proces rozdrobnienia przy różnych obciążeniach mechanicznych. Prze-

prorowadzone badania (rys. 4) wskazują, że wraz ze zwiększaniem liczby stalowych kul współczynnik LA wzrasta.



Rys. 3. Zawartość frakcji kruszywa po 500 obrotach w bębnie Los Angeles
Fig. 3. Aggregates fraction content after 500 rotations in the Los Angeles drum



Rys. 4. Zmienność współczynnika LA w zależności od liczby stalowych kul
Fig. 4. Variability of LA coefficient depending on the number of steel balls

4. PODSUMOWANIE

Odporność na rozdrabnianie jest podstawowym parametrem technicznym, który istotnie wpływa na ocenę jakościową kruszyw. W oparciu o przeprowadzone badania wyznaczono funkcje potęgowe, które obrazują proces niszczenia materiału skalnego przy wysokim współczynniku determinacji. Ponadto wykazano, że granit cechuje się najmniejszą odpornością na rozdrabnianie spośród wszystkich analizowanych kruszyw pochodzenia magmowego. Znaczące różnice w osiągniętej odporności na rozdrabnianie pomiędzy granitem a melafirem i bazaltem są spowodowane budową i składem mineralnym oraz procesem predykcyjnym kruszyw. W związku z indywidualnymi cechami każdego kruszywa, cechują się one różną odpornością na rozdrabnianie oraz przebiegiem tego procesu.

Zwiększenie liczby cykli obrotów bębna aparatu Los Angeles, czyli okresu eksploatacji kruszywa w badaniu, może spowodować całkowitą degradację kruszywa. W połączeniu z różnym obciążeniem (zmienna liczba kul stalowych), destrukcyjny proces jest istotnie nasilony do momentu całkowitego zniszczenia materiału skalnego.

LITERATURA

- [1] REMBIŚ M., *Mineralno-teksturalna zmienność wybranych skał bazaltowych Dolnego Śląska i jej rola w kształtowaniu fizyczno-mechanicznych właściwości produkowanych kruszyw*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 2011, 27, 4, 29–49.
- [2] STRZAŁKOWSKI P., *Analiza procesu ścierania kruszyw mineralnych przy użyciu aparatu mikro-Deval*, [w:] W. Glapa (red.) *Kruszywa mineralne*, t. 4, Oficyna Wydawnicza PWr, Wrocław 2020, 165–172.
- [3] STRZAŁKOWSKI P., KAŹMIERCZAK U., *Wear and Fragmentation Resistance of Mineral Aggregates – A Review of Micro-Deval and Los Angeles Tests*, Materials, 2021, 14, 5456.
- [4] PALASSI M., DANESH A., *Relationships Between Abrasion/Degradation of Aggregate Evaluated from Various Tests and the Effect of Saturation*, Rock Mechanics and Rock Engineering, 2016, 49, 2937–2943.
- [5] PN-EN 1097-2:2020-09. *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 2: Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie*.
- [6] TUNC E.T., ALYAMAC K.E., *Determination of the relationship between the Los Angeles abrasion values of aggregates and concrete strength using the Response Surface Methodology*, Construction and Building Materials, 2020, 260, 119850, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119850>
- [7] 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*, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2021, 80, 1963–1980.
- [8] MISOVSKY K., DUARTE M.T., KOU S.Q., LINDQVIST P.A., *Influence of the Mineralogical Composition and Textural Properties on the Quality of Coarse Aggregates*, Journal of Materials Engineering and Performance, 2004, 13, 144–150.
- [9] ERICHSEN E., *Plotting aggregate degradation results from the Los Angeles test on a triangular diagram: proposal of a new quality ranking for aggregates*, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2015, 74, 667–671.

- [10] KUBICA M., *Wpływ liczby stalowych kul rozdrabniających i uziarnienia wybranych kruszyw ze skal pochodzenia magmowego na odporność na rozdrabnianie*, Praca dyplomowa (niepubl.), Wydział Geoinżynierii Górnictwa i Geologii PWr, Wrocław 2022.
- [11] WESOŁOWSKI E., *Wpływ parametrów metody badawczej na odporność na rozdrabnianie wybranych kruszyw pochodzenia magmowego*, Praca dyplomowa (niepubl.), Wydział Geoinżynierii Górnictwa i Geologii PWr, Wrocław 2023.
- [12] LI C., ASHLOCK J.C., WHITE D.J., JAHREN C.T., CETIN B., *Gyratory abrasion with 2D image analysis test method for evaluation of mechanical degradation and changes in morphology and shear strength of compacted granular materials*, Construction and Building Materials, 2017, 152, 547–557.

MODIFIED RESISTANCE TO FRAGMENTATION TESTS ON AGGREGATES OF IGNEOUS ORIGIN

Mineral aggregates should be characterised by high quality parameters, which are most often defined by mechanical properties. The basic mechanical properties of aggregates include resistance to fragmentation. In this study, the resistance to fragmentation of aggregates of igneous origin was assessed on the basis of a modified test method. The modification of the test method included different crushing loads and the behaviour of the material in long-term tests. As a result of the laboratory tests, variability in the resistance to fragmentation of the aggregates was observed.

A u t o r z y

- Ireneusz BAIC, ireneusz.baic@imbigi.lukasiewicz.gov.pl
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny,
Centrum Nowych Technologii w Budownictwie,
ul. Duchnicka 3, 01-796 Warszawa
- Mirosław BAJDA, miroslaw.bajda@pwr.edu.pl
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Katedra Górnictwa,
Laboratorium Transportu Taśmowego,
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Marcin BARANOWSKI, marcin_baranowski@kosd-niemodlin.com.pl
Kopalnie Odkrywkowe Surowców Drogowych SA, Niemodlin,
ul. Bohaterów Powstań Śląskich 30, 49-100 Niemodlin
- Ryszard BŁĄŻEJ, Ryszard.blazej@pwr.edu.pl
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Katedra Górnictwa,
Laboratorium Transportu Taśmowego,
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Tomasz GAWENDA, gawenda@agh.edu.pl
AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Ładowej i Gospodarki Zasobami, Katedra Inżynierii Środowiska,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
- Beata FIGARSKA-WARCHOŁ, figarska@min-pan.krakow.pl
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Zakład Gospodarki Zasobami Mineralnymi,
ul. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków
- Stefan GÓRALCZYK, sgoralczyk84@gmail.com
Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych, Naczelna Organizacja Techniczna,
ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa
- Arkadiusz GRZEŠKOWIAK, arekg.lts@gmail.com
Laboratorium Robót Strzałowych,
ul. Warszawska 3, 58-307 Wałbrzych
- 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
- Jarosław KAMYK, kamyk@min-pan.krakow.pl
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Zakład Gospodarki Zasobami Mineralnymi,
ul. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków
- Urszula KAŻMIERCZAK, urszula.kazmierczak@pwr.edu.pl
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Katedra Górnictwa,
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Żaklina KONOPACKA, zaklina.konopacka@pwr.edu.pl
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Katedra Górnictwa,
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Alicja KOT-NIEWIADOMSKA, kot-niewiadomska@min-pan.krakow.pl
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Zakład Gospodarki Zasobami Mineralnymi,
ul. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków
- Wiesław KOZIOŁ, wieslaw.koziol@agh.edu.pl
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny,
Centrum Nowych Technologii w Budownictwie,
ul. Duchnicka 3, 01-796 Warszawa
- Maciej KUBICA, mkubica98@gmail.com
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Katedra Górnictwa,
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Paulina LAUDACKA, paulina.laudacka@pwr.edu.pl
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Katedra Górnictwa,
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław

- Tomasz LIZOŃ, tomasz.lizon@heidelbergmaterials.com
Góraźdże Kruszywa Sp. z o.o.,
ul. Cementowa 1, 47-316 Góraźdże
- Marek W. LORENC, marek.lorenc@upwr.edu.pl
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Architektury Krajobrazu,
ul. Grunwaldzka 55, 50-357 Wrocław
- Łukasz 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 Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Katedra Górnictwa,
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Artur MIROS, artur.miros@imbigs.lukasiewicz.gov.pl
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny.
Centrum Nowych Technologii w Budownictwie,
ul. Duchnicka 3, 01-796 Warszawa
- Kamila NIEMIEC, 242118@student.pwr.edu.pl
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Marcin PIERSIAK, marcin.piersiak@student.umw.edu.pl
Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu,
ul. J. Mikulicza-Radeckiego 5, 50-345 Wrocław
- Paweł PIETKIEWICZ, ppietkiewicz@industri.pl
Industri Kruszywa Spółka z o.o.,
ul. Wroclawska 2a, Rogów Sobócki, 55-050 Sobótka
- Marek REMBIŚ, rembis@agh.edu.pl
AGH w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony 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
- Dagmara SOLATYCKA, d.solatycka@wug.gov.pl
Okręgowy Urząd Górniczy we Wrocławiu,
ul. Kotlarska 41, 50-151 Wrocław
- Magdalena STASZEWSKA, mstaszew@agh.edu.pl
AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami, Katedra Inżynierii Środowiska,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
- Agata STEMPKOWSKA, stemp@agh.edu.pl
AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami, Katedra Inżynierii Środowiska,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
- Paweł STRZAŁKOWSKI, pawel.strzalkowski@pwr.edu.pl
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Katedra Górnictwa,
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Erwin WESOŁOWSKI, ewes@0107@gmail.com
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław
- Dariusz WOŹNIAK, dariusz.wozniak@pwr.edu.pl
Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Katedra Górnictwa,
Laboratorium Transportu Taśmowego, Katedra Górnictwa, Laboratorium Transportu Taśmowego,
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław

Rewolucja w zabezpieczeniach przeñośników taśmowych: steute ZS 92

ZS 92 S | wyłączniki linkowe bezpieczeństwa, dwustronnego działania
ZS 92 SR | czujniki zbiegania taśmy przeñośników

Kluczową rolę w wymagającym sektorze produkcji kruszyw pełnią systemy transportu bliskiego. Niemiecka firma steute jest liderem w tworzeniu rozwiązań służących do zabezpieczania i monitorowania przeñośników taśmowych, szczególnie tych pracujących w trudnych warunkach środowiskowych.

ZS 92, bestsellerowa seria wyłączników linkowych bezpieczeństwa i czujników zbiegania taśmy przeñośników, została zaprojektowana specjalnie z myślą o pracy w ekstremalnych warunkach, między innymi w kopalniach kruszyw.

Wyłączniki linkowe ZS 92 S mogą być instalowane w prawie każdej możliwej pozycji, także bezpośrednio na pionowych

powierzchniach konstrukcyjnych przeñośników taśmowych. Jest to unikatowe rozwiązanie, możliwe dzięki umieszczeniu otworów montażowych także na tylnej ścianie urządzenia. Dzięki swojej

uniwersalności ZS 92 S są z powodzeniem wykorzystywane zarówno do zabezpieczania nowych przeñośników, jak i do modernizacji starszych instalacji.

W przypadku czujników zbiegania serii ZS 92 SR bardzo prosta jest regulacja punktów przełączania dla dwóch pozycji: ostrzegania i awaryjnego zatrzymania przeñośnika. Odbywa się to w krokach co 5° (w zakresie od 5° do 35°, niezależnie dla każdego z dwóch modułów zestyków), co zwiększa uniwersalność urządzeń.

Dużym zainteresowaniem cieszą się wersje KST, z obudowami wykonanymi z duroplastu i częściami metalowymi ze stali nierdzewnej. Gwarantują one wieloletnią, bezawaryjną pracę w skrajnie niekorzystnych warunkach środowiskowych.

Po więcej szczegółów zapraszamy do kontaktu z naszym zespołem. Pomoczymy dobrać wersje urządzeń najlepiej spełniające wymagania projektowe, a także przedstawimy metodę, która pozwala radykalnie skrócić czas montażu wyłączników linkowych. ■

NIEZBĘDNYCH INFORMACJI I WSPARCIA UDZIELI PAŃSTWU
PIOTR LEŚKIEWICZ DYREKTOR DS. SPRZEDAŻY
+48 501 222 208 PL@STEUTE.PL



NIE ZNAJĄ KOROZJI



Nasze nowe wyłączniki linkowe bezpieczeństwa ZS 92 S KST są wykonane z odpornego na uszkodzenia mechaniczne tworzywa sztucznego. Gwarantują one bezpieczne zatrzymanie awaryjne przeñośników taśmowych nawet w przypadku transportu agresywnych materiałów sypkich.

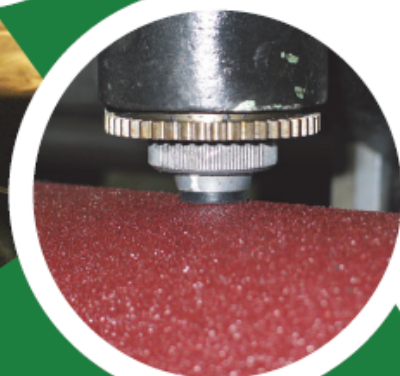
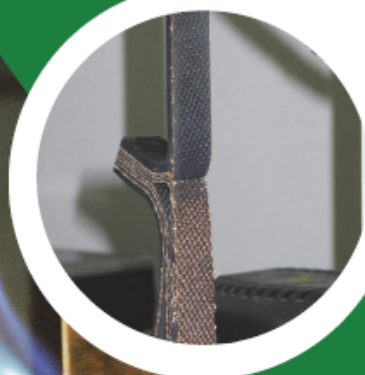
Więcej informacji:
www.steute-controltec.com/pl/



.steute

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





Politechnika
Wroclawska



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 partycypananta;

c) obsługa klientów w języku polskim, ukraińskim i angielskim

KONTAKT

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

Notatki



ISBN 978-83-7493-268-4