Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk
Pracownia Polityki Surowcowej

Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi

XXXV Konferencja

z cyklu

Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi

Zeszyt streszczeń



Krynica-Zdrój, 3–5 listopada 2026

Sponsorzy Strategiczni

KGHM POLSKA MIEDŹ

ORLEN

Sponsorzy

KNAUF

GREENRECOVERY ORGANIZACJA ODZYSKU

WASTES SERVICE GROUP

XXXV Konferencja

Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi

Zeszyt streszczeń

pod redakcją naukową dr inż. Ewy Lewickiej

Krynica-Zdrój, 3–5 listopada 2026

Wydawnictwo IGSMiE PAN
Kraków 2026

REDAKCJA NAUKOWA
dr inż. Ewa Lewicka – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN

KOMITET NAUKOWY
prof. dr hab. inż. Krzysztof Galos (Przewodniczący) – Instytut GSMiE PAN/MKiŚ
dr inż. Wojciech Glapa – Politechnika Wrocławska
dr inż. Katarzyna Guzik – Instytut GSMiE PAN
dr inż. Alicja Kot-Niewiadomska – Instytut GSMiE PAN
dr hab. inż. Mariusz Krzak, prof. uczelni – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
dr hab. inż. Arkadiusz Kustra, prof. uczelni – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
dr inż. Ewa Lewicka – Instytut GSMiE PAN
prof. dr hab. inż. Marek Nieć – Instytut GSMiE PAN
dr hab. Miranda Ptak – PGE GiEK SA
dr hab. inż. Barbara Radwanek-Bąk – Instytut GSMiE PAN
prof. dr hab. Krzysztof Szamałek – Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
dr inż Jarosław Szlugaj – Instytut GSMiE PAN
prof. dr hab. Stanisław Wołkowicz – Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
prof. dr hab. inż. Piotr Wyszomirski, prof. emeritus – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

ADRES REDAKCJI
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk
ul. J. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków
tel.: +48 12 632 33 00; fax: +48 12 632 35 24

Redaktor wydawnictwa: Małgorzata Olszewska
Redaktor techniczny: Barbara Sudoł
Projekt okładki: Beata Stankiewicz
Zdjęcie na okładce: Pracownia Polityki Surowcowej

© Copyright by Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN

Kraków 2026
Printed in Poland
ISBN 978-83-67606-84-4
eISBN 978-83-67606-85-1

IGSMiE PAN – Wydawnictwo

Nakład 180 egz.
Objętość ark. wyd. 16,0; ark. druk. 22,5 (×8)
Druk i oprawa: TRADIVERS Magdalena Orska, ul. Wł. Reymonta 86, 32-065 Krzeszowice

Spis treści

Słowo wstępne 7

WACŁAW ANDRUSIKIEWICZ
Perspektywy górnictwa solnego w Polsce 9
Prospects for salt mining in Poland

WIKTORIA BRZEZIŃSKA-PACIOREK, ALEKSANDRA CZUL, KRYSTIAN WÓJCIK
Rola Centralnego Archiwum Geologicznego w poszukiwaniach ropy naftowej, gazu ziemnego i wodoru naturalnego w Polsce 13
The role of the Central Geological Archive in the prospecting for oil, natural gas, and natural hydrogen in Poland

ANDRZEJ CHMIELEWSKI
Znaczenie modelu powstawania złóż Cu-Ag typu Kupferschiefer w prognozowaniu rozmieszczenia mineralizacji kruszcowej i wyznaczaniu obszarów perspektywicznych 17
The role of the Kupferschiefer Cu-Ag deposit genetic model in predicting mineralization distribution and identifying prospective areas

ANDRZEJ CHMIELEWSKI, HUBERT WIERZBOWSKI
Charakterystyka geochemiczna REE+Y konkrecji fosforanowych środkowej i górnej jury monokliny śląsko-krakowskiej 23
Geochemical characteristics of REE+Y in phosphate nodules from the middle and upper Jurassic of the Silesian–Cracow Homocline

JAROSŁAW CYBOROŃ, WOJCIECH PANNA, SEBASTIAN PREWENDOWSKI, KAMIL KORNAUS, AGNIESZKA WOJTECZKO, MAGDALENA SZUMERA
Wykorzystanie granulatów ilastych do formowania porowatych materiałów niewypalanych 29
The use of clay granules to form porous unfired materials

DOROTA CZARNA-JUSZKIEWICZ, PIOTR KUNECKI, RENATA KONECZNA, JUSTYNA CADER, ŁUKASZ LELEK, TOMASZ GŁOWIENKO, MAGDALENA WDOWIN
Ukryty potencjał odpadów energetycznych – odzysk pierwiastków ziem rzadkich w kontekście bezpieczeństwa surowcowego Europy 32
Hidden potential of energy-sector waste – recovery of Rare Earth Elements in the context of Europe's raw material security

HUBERT CZERW, MICHAŁ NOWOSIELSKI, KRZYSZTOF GALOS
Modele polityki surowcowej wybranych państw w kontekście uwarunkowań polskiej polityki surowcowej 37
Raw materials policy models of selected countries in the context of the conditions shaping Poland's raw materials policy

ALEKSANDRA CZUL, WIKTORIA BRZEZIŃSKA-PACIOREK, PIOTR KRZYWIEC, PAULINA KRAKOWSKA-MADEJSKA
O dostępności danych geofizycznych na potrzeby edukacji i prac badawczych 39
On the accessibility of geophysical data for education and research projects

KAROL DURKOWSKI, ANDRZEJ GŁUSZYŃSKI
Tektonika południowo-wschodniej części synklinorium północnosudeckiego – SW Polska, synklina bolesławiecka 42
Tectonics of the south-eastern part of the North-Sudectic Synclinorium – SW Poland, Bolesławiec syncline

JOANNA FAJFER, MICHAŁ ROLKA
Uczenie maszynowe nadzorowane w procesie ocen środowiskowych i surowcowych hałd odpadów wydobywczych 45
Supervised machine learning in the environmental and raw material assessment of mining waste heaps

GABRIELA FUKS, RADOSŁAW POMYKAŁA, DOROTA CZARNA-JUSZKIEWICZ
Wpływ warunków aktywacji i dojrzewania na właściwości mechaniczne geopolimerów na bazie popiołu lotnego 48
Effect of activation and curing conditions on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers

ANDRZEJ GAŁAŚ, METIN AKTAN
Zmiany w przepływie surowców między Polską a Turcją – trendy i przyczyny 50
Changes in the flow of raw materials between Poland and Türkiye, trends and causes

SLÁVKA GAŁAŚ, ANDRZEJ GAŁAŚ, ALICJA KOT-NIEWIADOMSKA
Tereny górnicze i pogórnicze jako krajobrazy priorytetowe: między ochroną dziedzictwa a racjonalną gospodarką złożami kopalin 52
Mining and post-mining areas as priority landscapes: between heritage conservation and rational mineral deposit management

MACIEJ GODYCKI-ĆWIRKO, EDYTA SERMET
Gospodarka złożami kamieni łamanych i blocznych na Roztoczu na przykładzie mioceńskich wapieni organodetrytycznych 55
Management of crushed and dimension stone deposits in the Roztocze region: a case study of Miocene organodetrital limestones

MACIEJ GODYCKI-ĆWIRKO, EDYTA SERMET
Ślady dawnego kamieniarstwa w Senderkach 58
Traces of historical stoneworking in Senderki

KATARZYNA GUZIK, ALICJA KOT-NIEWIADOMSKA, JAROSŁAW KAMYK, EWA LEWICKA, JAROSŁAW SZLUGAJ
Alternatywne źródła surowców mineralnych dla polskiej gospodarki 60
Alternative sources of mineral raw materials for the Polish economy

JERZY HADRO, JANUSZ JURECZKA, JAROSŁAW ZACHARSKI
Propozycja stopniowego wprowadzenia międzynarodowych standardów klasyfikowania zasobów (UNFC, CRIRSCO/JORC) do polskiego systemu dokumentowania złóż kopalin stałych 64
A proposal for the phased introduction of international resource classification standards (UNFC, CRIRSCO/JORC) into the Polish solid mineral resource reporting system

ANNA JANUSZEWSKA-KACPRZAK, KATARZYNA DERKOWSKA, MICHAŁ PILASZKIEWICZ
Kompleksowa ocena występowania surowców w odpadach wydobywczych: doświadczenia z dokumentowania hałd węglowych, pohutniczych i poprzeróbczych 67
A comprehensive assessment of the occurrence of raw materials in mining waste: experiences from the documentation of coal, steelworks and processing waste heaps

JANUSZ JURECZKA
Aktualny stan wdrożenia rozporządzenia metanowego UE w polskim górnictwie węgla kamiennego 70
Current implementation status of the EU methane regulation in the Polish coal mining sector

BEATA KLOJZY-KARCZMARCZYK, GABRIELA WOŹNIAK
Implementacja unijnego prawa o odbudowie przyrody a transformacja oceny oddziaływania na środowisko w sektorze surowcowym 73
The impact of the nature restoration law on the transformation of Environmental Impact Assessment in the raw materials sector

EWELINA ANNA KOSTKA
Zakres władztwa planistycznego gminy a ochrona złóż kopalin 77
Municipal spatial planning powers and the protection of mineral deposits

ALICJA KOT-NIEWIADOMSKA
Surowce mineralne z roztworów geotermalnych – podsumowanie projektu CRM-geothermal 80
Mineral raw materials from geothermal fluids – summary of the CRM-geothermal project

ALICJA KOT-NIEWIADOMSKA, SLÁVKA GAŁAŚ, JAROSŁAW KAMYK
Dziedzictwo górnicze jako przestrzeń aktywności społecznej – inwentaryzacja i ocena potencjału w Polsce... 83
Mining heritage as a space for social activity – inventory and assessment of its potential in Poland

PIOTR KRZEMIŃSKI
Perspektywy odkrycia nowych złóż surowców krytycznych w Kotlinie Kłodzkiej 86
Prospects for the discovery of deposits of new critical raw material in the Kłodzko Valley

KRZYSZTOF KUBACKI, ARKADIUSZ KUSTRA
Streaming jako alternatywna forma finansowania projektów geologiczno-górniczych 88
Streaming as an alternative form of financing of exploration and mining projects

WOJCIECH KUPKA
Główne elementy implementacji Critical Raw Materials Act zawarte w projekcie ustawy o zapewnieniu gospodarce krajowej dostępu do surowców, w tym surowców krytycznych (UC83) 91
Main elements of the implementation of the Critical Raw Materials Act in the draft act on ensuring access of the national economy to raw materials, including critical raw materials (UC83)

ARKADIUSZ KUSTRA, ANNA WIKTOR-SUŁKOWSKA, MARTA PODOBIŃSKA-STANIEC
Europejski plan osiągnięcia niezależności surowcowej 95
European plan for achieving raw materials independence

MONIKA KWIATKOWSKA
Analiza porównawcza krajowych złóż kamieni łamanych i blocznych na podstawie wybranych typów skał magmowych – zasoby, trendy w wydobyciu, wystarczalność 98
A comparative analysis of domestic crushed and dimension stone deposits based on selected igneous rock types – mineral resources, extraction trends, and resource sufficiency

ROBERT LESZCZYŃSKI, MAŁGORZATA SPIAK
Polihalit, krytyczny surowiec dla rolnictwa i szansa na nowe górnictwo w Polsce 101
Polyhalite: a critical raw material for agriculture and an opportunity for a new mining industry in Poland

RAFAŁ MAŁEK, RAFAŁ NASIŁOWSKI
Eoceńskie fosforyty Lubelszczyzny (wybrane lokalizacje) – analiza chemiczna pod kątem zawartości REE oraz P_2O_5 103
Eocene phosphorites of the Lublin region (selected locations) – chemical analysis for REE and P_2O_5 content

STANISŁAW Z. MIKULSKI
Poszukiwania surowców krytycznych (CRM) w obszarach transgranicznych w ramach wspólnego programu Stowarzyszenia Europejskich Służb Geologicznych (EGS) 109
Exploration for critical raw materials (CRM) in cross-border areas under the joint program of the Association of European Geological Surveys (EGS)

MACIEJ MŁYNARCZYK
Koncesje pod presją. Oczekiwania gospodarki, społeczeństwa i środowiska 114
Concessions under pressure. The expectations of the economy, society and the environment

JACEK MUCHA, MONIKA WASILEWSKA-BŁASZCZYK, JUSTYNA AUGUŚCIK-GÓRAJEK
Czy metoda naturalnego sąsiada może zastąpić klasyczne metody geometryczne szacowania zasobów? 116
Can natural neighbor interpolation replace classical geometric methods for mineral resource estimation?

MICHAŁ NOWOSIELSKI
Realizowane i planowane obszary współpracy międzynarodowej Polski w zakresie geologii i surowców 120
Current and planned areas of Poland's international cooperation in geology and raw materials

ANTHONY OLISE OKONKWO, MAGDALENA WORSA-KOZAK
Zobowiązania zrównoważeniowe projektu MINOTAUR przełożone na wskaźniki mierzalne: ocena na tle raportowanej kampanii wiertniczej 123
Translating the MINOTAUR project's sustainability commitments into measurable indicators: an assessment against a reported drilling campaign

ANNA POLAK, EWELINA ANNA KOSTKA
Strategiczny, ale czy wykonalny? Środowiskowe granice realizacji projektów strategicznych i możliwości krajowego uprzywilejowania 128
Strategic, but is it feasible? Environmental constraints on the implementation of strategic projects and the scope for preferential treatment at national level

SEBASTIAN PREWENDOWSKI, WOJCIECH PANNA, MAGDALENA SZUMERA, SEBASTIAN KOMAREK, JAROSŁAW CYBOROŃ
Ocena potencjału aplikacyjnego surowców ilastych w oparciu o analizę składu fazowego i pojemności wymiany kationowej 130
Assessment of the application potential of clay raw materials based on an analysis of phase composition and cation exchange capacity

JOANNA ROSZKOWSKA-REMIN, PAWEŁ URBAŃSKI
Australijski sektor poszukiwawczy. Uwarunkowania prawne, rola służb geologicznych i możliwe inspiracje dla Polski 133
Australia's mineral exploration sector: legal framework, the role of geological surveys, and potential lessons for Poland

KATARZYNA STALA-SZLUGAJ, ZBIGNIEW GRUDZIŃSKI
Gospodarka węglem energetycznym w 2026 roku 136
Steam coal management in 2026

JAN A. STEFANOWICZ
Formułowanie przedmiotu koncesji poszukiwawczo-rozpoznawczej w świetle CRMA 139
Defining the scope of an exploration and reconnaissance license in light of the CRMA

GRZEGORZ SUSZKA, JERZY HADRO
Monitoring emisji metanu z kopalń zamkniętych – etap I projektu MEMO, inwentaryzacja potencjalnych źródeł emisji 147
Methane emission monitoring from closed coal mines – stage I of the MEMO project: inventory of potential emission sources

MIROSŁAW SZOSTAK, ANNA JANUSZEWSKA-KACPRZAK
Rozpoznawanie hałd pogórniczych metodami wiertniczymi – możliwości i ograniczenia 150
Investigation of post-mining waste dumps using drilling methods – opportunities and limitations

MAGDALENA SZUMERA, PAWEŁ RUTKOWSKI, KAMIL KORNAUS, MICHAŁ PYRC, AGNIESZKA KIJO-KLECZKOWSKA, MARIUSZ CHWIST, MARCIN GAJEK, MAGDALENA LEŚNIAK, AGNIESZKA WOJTECZKO
Badania właściwości fizykochemicznych i termicznych węgla aktywnego stosowanego w instalacji oczyszczania biogazu wysypiskowego 154
Physicochemical and thermal properties of activated carbon used in a landfill gas purification system

ARTUR SZYMAŃSKI, KAROL DURKOWSKI
Rozpoznawanie warunków hydrogeologicznych w obszarach antropogenicznych i naturalnych deformacji terenu w obszarach pogórniczych dawnej kopalni węgla brunatnego „Babina" (rejon Łęknicy). Aktualizacja wyników i trendy zmian hydrodynamicznych dla wielolecia 2020–2026 158
Identification of hydrogeological conditions in areas of anthropogenic and natural terrain deformations in the post-mining areas of the former 'Babina' lignite mine (Łęknica region). Update of results and hydrodynamic change trends for multi-years period 2020–2026

ROBERT UBERMAN, WOJCIECH NAWORYTA
Zabezpieczenie likwidacji kopalń – lekcja dla innych sektorów 161
Securing the financing of mine decommissioning – lessons for other sectors

KACPER M. URBANIK
Ustalanie stawek opłat eksploatacyjnych dla kopalin – wyzwania prawne, metodologiczne i ekonomiczne 164
Determination of mineral exploitation fee rates – legal, methodological and economic challenges

SVITLANA VASYLENKO
Potencjał współpracy polsko-ukraińskiej w budowie europejskiego rynku pierwiastków ziem rzadkich 167
Potential for Polish-Ukrainian cooperation in building the European rare earth elements market

PRZEMYSŁAW WNĘK
Hydrogeochemiczne skutki zakończenia odwadniania kopalni rud Zn-Pb w rejonie Trzebini-Chrzanowa 169
Hydrogeochemical effects of the cessation of dewatering of a Zn-Pb ore mine in the Trzebinia–Chrzanów area

PIOTR WYSZOMIRSKI, MARCIN GAJEK
Czy zasadowe skały magmowe mogą być atrakcyjnym surowcem do wytwarzania szkliw ceramicznych? 172
Can basic igneous rocks be an attractive raw material for the production of ceramic glazes?

KRZYSZTOF ZIELIŃSKI, STANISŁAW SPECZIK, AGNIESZKA WRZOSEK, TOMASZ BIEŃKO
Złoża Północnego Pasa Miedziowego w Polsce a możliwości pozyskania pierwiastków krytycznych wynikające z ich selektywnej eksploatacji i flotacji 177
Deposits of the Northern Copper Belt in Poland and the ability to recover critical elements via their selective extraction and flotation

Słowo wstępne

Konferencje z cyklu „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi" mają już trzydziestopięcioletnią tradycję. Nazwa konferencji – nadana przez Tadeusza Smakowskiego – okazała się wyborem idealnym. W przypadku bowiem gospodarki surowcami mineralnymi zawsze bardzo ważne są aktualne problemy, ale niebagatelne znaczenie mają również jej perspektywy w świetle różnego rodzaju uwarunkowań: geologicznych, technicznych, formalno-prawnych, rynkowych, ekonomicznych, środowiskowych i społecznych.

Pierwsza konferencja z cyklu „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi" odbyła się w grudniu 1990 r. w Karniowicach pod Krakowem. Kolejne spotkania miały miejsce m.in. w Polanicy Zdroju, Juracie, Mąchocicach pod Kielcami, Szklarskiej Porębie czy Świeradowie. Najczęściej jednak zapraszaliśmy naszych uczestników w Karpaty, zwłaszcza do Zakopanego, Rytra czy Krynicy-Zdroju.

Organizatorzy konferencji zawsze pragnęli, by były one miejscem spotkań i nieskrępowanej wymiany poglądów przedstawicieli środowiska naukowego, administracji rządowej i samorządowej, służby geologicznej, a przede wszystkim przedstawicieli branży geologiczno-górniczej i surowcowej. Tematyka tych spotkań ewoluowała, tak jak ewoluuje zespół różnorakich czynników kształtujących krajową gospodarkę surowcową. Zawsze jednak staraliśmy się, by były to tematy bieżące, ale też wybiegające w odległą przyszłość, zgodnie z tytułem i ideą wydarzenia. Ufamy, że będzie tak zarówno podczas konferencji jubileuszowej, jak i w kolejnych latach. Pragniemy bowiem podtrzymać tradycję organizacji konferencji, nadążając za dynamicznymi zmianami i wyzwaniami, przed którymi staje również szeroko pojęta branża surowcowa.

Miło nam poinformować, że tegoroczna XXXV Jubileuszowa Konferencja została objęta honorowym patronatem trzech ważnych dla branży ministerstw: Ministerstwa Klimatu i Środowiska, Ministerstwa Energii i Ministerstwa Aktywów Państwowych, a także Komitetu Górniczego Polskiej Akademii Nauk i Wyższego Urzędu Górniczego. W decyzjach tych instytucji pojawiły się słowa doceniające wagę zagadnień poruszanych przez organizatorów konferencji, która jest postrzegana jako „prestiżowe wydarzenie, stwarzające dla środowiska nauki, administracji i przemysłu możliwość dzielenia się wiedzą i doświadczeniem w zakresie szeroko pojętego zarządzania zasobami".

Konferencja po 34 latach doczekała się również swojego logotypu. Mamy nadzieję, że „ósemka" nieskończoności z wykresem słupkowym i fragmentem siatki kartogra-

ficznej wewnątrz tego znaku choć po części oddaje ideę konferencji (analiza, czas i przestrzeń) i zostanie mile przyjęta przez uczestników jako element identyfikujący „Aktualia".

Wszystkim uczestnikom życzymy owocnych obrad i inspirujących dyskusji.

Organizatorzy XXXV Konferencji
„Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi"

Krynica-Zdrój, listopad 2026

WACŁAW ANDRUSIKIEWICZ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków

Perspektywy górnictwa solnego w Polsce

Od stuleci sól kamienna była i jest jednym z najważniejszych surowców wydobywanych na ziemiach polskich. Historyczna eksploatacja złóż w Wieliczce, Bochni, Inowrocławiu i Wapnie istotnie wpływała na gospodarkę regionalną i ogólnopaństwową (Bilans zasobów… 2026). Obecna eksploatacja soli podtrzymuje te wpływy, choć ostrą konkurencją jest pojawienie się soli z procesów ewaporacji, wymagających relatywnie niskich nakładów finansowych. Historycznie sól była wykorzystywana głównie w gospodarce żywnościowej. Z czasem wachlarz zastosowań soli powiększał się o przemysł chemiczny, energetykę, infrastrukturę transportową itp. W obecnych realiach gospodarczych perspektywy górnictwa solnego nie ograniczają się wyłącznie do wielkości wydobycia. Powstające pustki po wyeksploatowanej soli to przestrzenie o wielomilionowej kubaturze, które stają się atrakcyjne do wielu zastosowań, jak np. podziemne składowiska odpadów, magazyny paliw ciekłych, gazów, powietrza itd. (Kawerny solne… 2026; Magazyny kawernowe… 2026; Podziemne magazynowanie… 2026).

W pracy przedstawiono aktualny stan bazy zasobowej soli kamiennej, przeanalizowano współczesne wydobycie oraz wskazano najważniejsze czynniki mające wpływ na rozwój górnictwa solnego. W szczególności analizie poddano możliwość wielokierunkowego zagospodarowania kawern poługowniczych, które mogą pokazać kopalnie soli w innym świetle, nadając im nowe znaczenie gospodarcze, a nawet strategiczne (Czapowski 2019; Kawerny solne… 2026).

Według danych PIG-PIB udokumentowane bilansowe zasoby geologiczne soli kamiennej wynosiły w 2025 r. ponad 112,2 mld Mg, natomiast zasoby przemysłowe około 1,97 mld Mg. Oszacowano, że do głębokości 2000 m wielkość zasobów prognostycznych i perspektywicznych wynosi około 4 bln Mg (Bilans zasobów… 2026). Na terenie Polski występują dwie podstawowe formacje solonośne – mioceńska i cechsztyńska. Ta pierwsza występuje głównie w południowo-wschodniej Polsce (np. Wieliczka, Bochnia), współcześnie nie mając istotnego znaczenia gospodarczego. Z kolei formacja cechsztyńska pojawia się na obszarze Niżu Polskiego, gdzie miąższość osadów solnych przekracza 1000 m. Występujące tam złoża mają postać pokładową oraz wysadową (Bilans zasobów… 2026). Aktualnie zagospodarowane górniczo są wysady w rejonie Kłodawy, Mogilna i Góry (Czapowski 2019; Bilans zasobów… 2026), a perspektywicznie w rejonie Damasławka, Lubienia Kujawskiego i Łaniąt. Nie sposób pominąć zagospodarowanych pokładowych złóż soli w rejonie Sieroszowic (czynna eksploatacja) oraz Kossakowa (podziemny magazyn gazu). Wydobycie soli kamiennej w Polsce w 2025 r. wyniosło około 2,729 mln Mg. Na ten wynik składa się wydobycie z czterech kopalń:

Góra i Mogilno należących do IKS „Solino" – 2,036 mln Mg (74,6%), KS „Kłodawa" – 532 tys. Mg (19,5%) i KGHM „Polska Miedź" 161 tys. Mg (5,9%) (Bilans zasobów… 2026). W ostatnich latach obserwowany jest powolny, ale systematyczny spadek wydobycia, który nie wynika z wyczerpywania się zasobów, lecz ze zmiany struktury popytu, kosztów produkcji, sytuacji międzynarodowej, a przede wszystkim ze zmiany modelu biznesowego sektora.

KS „Kłodawa" jest kopalnią o w miarę stabilnym poziomie wydobycia. Posiadana koncesja pozwala na eksploatację do 2052 r., a roczne wahania wielkości wydobycia wynikają głównie z popytu na sól drogową, która stanowi znaczny udział w całym wolumenie wydobycia (Kawerny solne… 2026). KGHM „Polska Miedź" mimo posiadania ważnej koncesji ogranicza wydobycie soli, która jest jedynie kopaliną towarzyszącą wobec podstawowej – rudy miedzi. Tu należy spodziewać się dalszego spadku wydobycia soli, która nie jest w portfelu KGHM priorytetem. Trzeci, kluczowy gracz to IKS „Solino". Tu również obserwowany jest spadek produkcji solanki, ale za to obserwuje się rozwój bazy magazynowej. Jednak i to nie może trwać w nieskończoność, gdyż do pracy operacyjnej magazynów ropy i paliw potrzebna jest solanka manewrowa, a na potrzeby wytłoczeń interwencyjnych – możliwość bieżącego uzyskania w krótkim czasie solanki w określonej ilości. Na wysadach Góra i Mogilno należy się spodziewać w najbliższych 15–20 latach zakończenia działalności typowo górniczej, a obecne kopalnie przejdą w tryb pracy magazynowej. To z kolei wskazuje na konieczność podjęcia prac górniczych choćby na jednym ze wskazanych do dalszej eksploatacji wysadów (Damasławek, Lubień Kujawski, Łanięta). Do tego dochodzą kwestie związane z odbiorem solanki – należy liczyć się z możliwością pojawienia się poważnego problemu dotyczącego bieżącego jej odbioru, co bezpośrednio może wpłynąć na wielkość wydobycia.

Perspektywy polskiego górnictwa solnego należy zatem rozpatrywać nie tylko w kontekście wydobycia surowca, lecz także w kontekście transformacji energetycznej, bezpieczeństwa surowcowego oraz alternatywnego wykorzystania pustek podziemnych (Kawerny solne… 2026; Magazyny kawernowe… 2026; Podziemne magazynowanie…. 2026). W takim ujęciu sektor ma potencjał do zachowania istotnego znaczenia gospodarczego również w kolejnych dekadach.

Projekt badawczy finansowany ze środków programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" w AGH Akademii Górniczo-Hutniczej.

Prospects for salt mining in Poland

For centuries rock salt has been one of the most important mineral resources extracted in Poland. Historically, the exploitation of salt deposits in Wieliczka, Bochnia, Inowrocław and Wapno had a significant impact on both regional and national

economies (Bilans zasobów… 2026). At present salt mining continues to contribute to these economies, although it faces strong competition from salt produced by evaporation processes, which require relatively low capital expenditure. Historically, salt was used mainly for food-related purposes. Over time, its range of applications expanded to include the chemical industry, energy sector, transport infrastructure and other areas. Under current economic conditions, the prospects for salt mining cannot be considered solely in terms of production volumes. The voids created by salt extraction represent underground spaces with capacities of several million cubic metres and are becoming attractive for a wide range of applications, including underground waste disposal facilities, liquid fuel storage, gas storage and compressed-air storage (Kawerny solne… 2026; Magazyny kawernowe… 2026; Podziemne magazynowanie… 2026).

This study presents the current state of Poland's rock salt resource base, analyses present production, and identifies the principal factors affecting the development of the salt mining industry. Particular attention is given to the potential multipurpose use of solution-mined caverns, which may place salt mines in a new perspective by providing them with additional economic and even strategic significance (Czapowski 2019; Kawerny solne… 2026).

According to data from the Polish Geological Institute – National Research Institute (PGI-NRI), documented geological balance resources of rock salt exceeded 112.2 billion Mg in 2025, while industrial resources amounted to approximately 1.97 billion Mg. Prognostic and prospective resources occurring at depths of up to 2,000 m have been estimated at approximately 4 trillion Mg (Bilans zasobów… 2026). Two principal salt-bearing formations occur in Poland: the Miocene and the Zechstein ones. The former occurs mainly in south-eastern Poland, including the Wieliczka and Bochnia areas, and is currently of limited economic significance. The Zechstein formation, in contrast, occurs throughout the Polish Lowlands, where the thickness of salt deposits exceeds 1,000 m in places. The deposits occur both as bedded salt formations and salt domes (Bilans zasobów… 2026). At present, salt domes in the Kłodawa, Mogilno and Góra areas are commercially developed (Czapowski 2019; Bilans zasobów… 2026), while the Damasławek, Lubień Kujawski and Łanięta structures are considered prospective areas for future development. The developed bedded salt deposits in the Sieroszowice area, where mining operations are currently being conducted, and in the Kosakowo area, where an underground gas storage facility is located, should also be taken into account.

Rock salt production in Poland amounted to approximately 2.729 million Mg in 2025. This output was generated by four mining operations: Góra and Mogilno operated by IKS "Solino", which produced 2.036 million Mg (74.6%), the "Kłodawa" Salt Mine with production of 532 thousand Mg (19.5%), and KGHM "Polska Miedź" with 161 thousand Mg (5.9%) (Bilans zasobów… 2026). In recent years a gradual but systematic decline in salt production has been observed. This trend is not related to the depletion of geological resources, but rather to changes in the structure of demand, production costs, the international situation and, above all, changes in the sector's business model.

The “Kłodawa” Salt Mine maintains a relatively stable level of production. Its current mining licence permits extraction until 2052, while annual fluctuations in output are primarily driven by demand for road salt, which accounts for a substantial share of the mine’s total production volume (Kawerny solne… 2026). Although KGHM “Polska Miedź” holds a valid mining licence, the company is reducing salt production because rock salt is only an associated mineral accompanying its primary commodity, i.e. copper ore. A further decrease in salt production can therefore be expected, as salt is not among KGHM’s strategic priorities. The third key operator is IKS “Solino”. Here too a decline in brine production has been observed, accompanied, however, by the expansion of underground storage capacity. This process cannot continue indefinitely, since the operation of crude oil and fuel storage caverns requires displacement brine. Moreover, emergency withdrawal operations require the ability to produce specified quantities of brine within a short period of time. At the Góra and Mogilno salt domes, conventional mining operations can be expected to cease within the next 15–20 years, with the existing mines subsequently transitioning primarily to storage operations. This, in turn, indicates the need to initiate mining activities at least at one of the salt domes identified for future development, namely Damasławek, Lubień Kujawski or Łanięta. An additional issue concerns the utilisation and offtake of produced brine. A significant problem may arise if there is insufficient capacity for its continuous reception and utilisation, which could directly limit the scale of future salt extraction.

The prospects for the Polish salt mining industry should therefore be considered not only in terms of raw-material extraction but also in the broader context of the energy transition, raw-material security and the alternative use of underground voids (Kawerny solne… 2026; Magazyny kawernowe… 2026; Podziemne magazynowanie…. 2026). From this perspective the sector has the potential to retain considerable economic significance over the coming decades.

Research project funded by the “Excellence Initiative – Research University” programme at AGH University of Krakow.

Literatura/References

Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce według stanu na 31 grudnia 2025 r., Warszawa: PIG-PIB, 2026.

Czapowski G. 2029. Perspektywy lokowania kawern magazynowych wodoru w pokładowych wystąpieniach soli kamiennych górnego permu (cechsztyn) w Polsce – ocena geologiczna. Biuletyn PIG 477.

Kawerny solne a transformacja energetyczna. Warszawa: PIG-PI. [Online:] https://www.pgi.gov.pl/ [Dostęp: 30.09.2026].

Magazyny kawernowe w Polsce. Warszawa: PIG-PI. [Online:] https://www.pgi.gov.pl/ [Dostęp: 30.09.2026].

Podziemne magazynowanie wodoru. EcoEnergyH2 sp. z o.o. [Online:] https://www.ecoenergyh2.pl/ [Dostęp: 30.09.2026].

WIKTORIA BRZEZIŃSKA-PACIOREK, ALEKSANDRA CZUL, KRYSTIAN WÓJCIK

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Rola Centralnego Archiwum Geologicznego w poszukiwaniach ropy naftowej, gazu ziemnego i wodoru naturalnego w Polsce

Transformacja cyfrowa w sektorze geologicznym zmienia sposób gromadzenia, przetwarzania i wykorzystywania danych, co odgrywa kluczową rolę w procesie poszukiwania i eksploatacji węglowodorów oraz wodoru naturalnego. Efektywne zarządzanie danymi, obejmujące ich jakość, dostępność i bezpieczeństwo, stanowi jeden z najważniejszych mechanizmów wspierających inwestycje i pobudzających aktywność gospodarczą. W Polsce ustawowy obowiązek gromadzenia informacji geologicznej realizuje państwowa służba geologiczna, nadzorowana przez Ministra Klimatu i Środowiska. Głównym filarem gromadzenia krajowego systemu informacji jest Centralne Archiwum Geologiczne (CAG).

Poszukiwanie, rozpoznawanie oraz wydobywanie złóż ropy naftowej, gazu ziemnego i wodoru naturalnego wymaga uzyskania koncesji. W Polsce funkcjonują dwie ścieżki ich udzielania: międzynarodowy przetarg organizowany przez organ koncesyjny na wyznaczonych obszarach przetargowych oraz przetarg inwestorski (tzw. *open door*), w którym przedsiębiorca samodzielnie wskazuje przestrzeń objętą wnioskiem (Wójcik i in. 2022). Niezależnie od trybu udzielenia koncesji podstawą decyzji inwestycyjnej są dane geologiczne, pozwalające ocenić perspektywiczność naftową danego terenu, czym – jako niezależna i obiektywna instytucja – zajmuje się państwowa służba geologiczna.

Gromadzenie i digitalizacja danych stanowią fundament działalności CAG. Archiwum gromadzi informację geologiczną, w tym dokumentacje z ponad 15 tysięcy głębokich otworów wiertniczych, tysiące profili i zdjęć sejsmicznych 2D/3D oraz rdzenie wiertnicze i próbki geologiczne przechowywane w magazynach. Zgodnie z obowiązującymi przepisami przedsiębiorcy prowadzący prace poszukiwawcze i rozpoznawcze złóż ropy naftowej i gazu ziemnego, a w przyszłości wodoru, mają obowiązek przekazywania do CAG danych geologicznych, próbek (rdzeni, prób okruchowych) oraz wyników ich badań. Do CAG trafiają także raporty dotyczące parametrów wydobywania węglowodorów ze złóż oraz zatwierdzone dokumentacje geologiczne. W 2025 r. do CAG przekazano ponad 6000 prób okruchowych, prawie 350 metrów rdzeni wiertniczych oraz 33 dokumentacje geologiczne. Podczas przyjęcia materiałów do CAG następuje ich rejestracja w Centralnej Bazie Danych Geologicznych (CBDG) oraz weryfikacja kompletności. Uzupełniane metadane sprawiają, że dokument przestaje być jedynie archiwum, a staje się elementem powiązanej sieci danych. Digitalizacja obejmuje nadanie

identyfikatorów, skanowanie zgodnie ze standardami archiwalnymi oraz zabezpieczenie treści na serwerach sieciowych.

Udostępnianie informacji geologicznej odbywa się w różnych formach – od usług sieciowych i wglądu na miejscu w czytelniach po pełne udostępnienie materiałów z możliwością ich powielania po złożeniu wniosku. System łączy zasadę otwartości danych z ochroną interesów Skarbu Państwa i podmiotów finansujących. Istnieją jednak pewne bariery, m.in. ograniczenia dostępu do danych z lat 1989–2001 (wymagające zgody inwestora) czy konieczność zawierania odpłatnych umów na korzystanie z danych Skarbu Państwa, co dotyczy również jednostek naukowych (Krzywiec i in. 2025).

Dane zgromadzone w CAG umożliwiają państwowej służbie geologicznej prowadzenie ocen perspektywiczności naftowej i wodorowej. W ciągu ostatnich dekad zrealizowano zadania dotyczące szacowania zasobów złóż niekonwencjonalnych (*tight gas*, *shale gas*, *shale oil*) oraz oceny możliwości odkrycia nowych złóż konwencjonalnych. Efektem było wyznaczenie 79 obszarów perspektywicznych. Obecnie analizy obejmują także potencjał wodoru naturalnego (Wójcik 2024).

Mimo wysokiego poziomu standaryzacji i centralizacji danych w CBDG polski system napotyka wyzwania prawne, które mogą ograniczać elastyczność i dostępność danych dla podmiotów prywatnych czy naukowych w porównaniu z modelami zagranicznymi (Czul, Brzezińska-Paciorek 2024; Brzezińska-Paciorek i in. 2025). Wyłączny i pełny dostęp do CAG przez państwową służbę geologiczną sprawia, że odgrywa ona istotną rolę w procesie kształtowania polityki surowcowej kraju.

The role of the Central Geological Archive in the prospecting for oil, natural gas, and natural hydrogen in Poland

Digital transformation in the geological sector is changing the way data is collected, processed, and utilized, playing a key role in the prospecting and exploration of hydrocarbons and natural hydrogen. Providing streamlined access to geological information constitutes one of the most important mechanisms for supporting investment and stimulating economic activity. In Poland, the legal obligation to collect geological information is fulfilled by the State Geological Survey, supervised by the Minister of Climate and Environment. The main pillar of the national geological information system is the Central Geological Archive (CGA).

Prospection and exploration of oil, natural gas, and natural hydrogen deposits require a concession. Two concession-granting pathways operate in Poland: an international tender organized by the licensing authority in designated tender areas, and an investor tender (the so-called open door procedure), in which the entrepreneur independently indicates the area covered by the application (Wójcik et al. 2022). Regardless of the

concession-granting procedure the basis for any investment decision is geological data, which allows the petroleum prospectivity of a given area to be assessed. This assessment is carried out by the State Geological Survey as an independent and objective institution.

Data collection and digitization are the foundations of the CGA's activities. The Archive gathers geological information, including documentation from over 15,000 deep boreholes, thousands of 2D/3D seismic profiles and surveys datasets, as well as drill cores and geological samples stored in its repositories. In accordance with applicable regulations, enterprises conducting prospecting and exploration operations for oil and natural gas deposits – and in the future, hydrogen – are obliged to submit geological data, samples (cores, cuttings), and the results of their analyses to the CGA. The CGA also receives reports on the parameters of hydrocarbon extraction from deposits, as well as approved geological documentation. In 2025 over 6,000 cuttings samples, nearly 350 meters of drill cores, and 33 items of geological documentation were transferred to the CGA. Once the CGA has received the materials, they are registered in the Central Geological Database (CGD) and verified for completeness. The supplemented metadata transforms a document from an archival item into an element of an interconnected data network. Digitization involves assigning identifiers, scanning in accordance with archival standards, and securing the content on network servers.

Sharing geological information takes various forms – ranging from web services and on-site access in reading rooms to full access to geological materials with the possibility of reproducing them upon submitting an application. The system combines the principle of open data with the protection of the interests of the State Treasury and funding entities. However, there are certain barriers, including restrictions on access to data from the years 1989–2001 (which require investor consent) and the requirement to enter into a paid agreement for the use of State Treasury geological data, which also applies to scientific institutions (Krzywiec et al. 2025).

The data gathered in the CGA enables the State Geological Survey to conduct assessments of petroleum and hydrogen prospectivity. Over the past decades, projects have been carried out regarding the estimation of unconventional deposit resources (tight gas, shale gas, shale oil) and the evaluation of the potential for discovering new conventional deposits. This resulted in the identification of 79 prospective areas. Currently, the analyses also encompass the potential for natural hydrogen (Wójcik 2024).

Despite the high level of data standardization and centralization within the CGD, the Polish system faces legal challenges that may limit the flexibility and accessibility of data for private or scientific entities compared to foreign models (Czul, Brzezińska-Paciorek 2024; Brzezińska-Paciorek et al. 2025). Exclusive and full access to the CGA by the State Geological Survey gives it a significant role in shaping the country's raw materials policy.

Literatura/References

Brzezińska-Paciorek et al. 2025 – Brzezińska-Paciorek, W., Czul, A., Dąbrowska, A., Roszkowska-Remin, J., Fudała, A. 2025. Informacja geologiczna w Australii – wyzwania i perspektywy. Przegląd Geologiczny 73(10), pp. 937–941, http://dx.doi.org/10.7306/2025.103.

Czul, A., Brzezińska-Paciorek, W. 2024. Analiza dochodów budżetu państwa z tytułu rozporządzania prawem do informacji geologicznej za wynagrodzeniem. Przegląd Geologiczny 72(12/1), pp. 651–652, http://dx.doi.org/10.7306/2024.48.

Krzywiec et al. 2025 – Krzywiec, P., Krakowska-Madejska P., Czul, A., Brzezińska-Paciorek, W. 2025. O dostępności danych geofizycznych na potrzeby edukacji i prac badawczych– zaproszenie do dyskusji. Przegląd Geologiczny 73(11), pp. 1002–1007, http://dx.doi.org/10.7306/2025.109.

Wójcik, K. 2024. Wodór naturalny w Polsce. Przegląd Geologiczny 72, pp. 584–596, http://dx.doi.org/10.7306/2024.37.

Wójcik et al. 2022 – Wójcik, K., Zacharski, J., Łojek M., Wróblewska, S., Kiersnowski, H., Waśkiewicz, K., Wójcicki, A., Laskowicz, R., Sobień, K., Peryt, T., Chylińska-Macios, A., Sienkiewicz, J. 2022. New Opportunities for Oil and Gas Exploration in Poland – A Review. Energies 15(5), https://doi.org/10.3390/en15051739.

ANDRZEJ CHMIELEWSKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Znaczenie modelu powstawania złóż Cu-Ag typu Kupferschiefer w prognozowaniu rozmieszczenia mineralizacji kruszcowej i wyznaczaniu obszarów perspektywicznych

Złoża rud Cu-Ag typu Kupferschiefer należą do najważniejszych wystąpień metali podstawowych w Polsce i od wielu dekad są przedmiotem badań Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB). Ich odkrycie pod koniec lat 50. XX w. w rejonie Lubina, Polkowic i Sieroszowic zapoczątkowało intensywne badania nad rozmieszczeniem i genezą mineralizacji w obrębie monokliny przedsudeckiej.

Zestawienie wyników badań litologicznych, mineralogicznych, geochemicznych, tektonicznych i geofizycznych pozwoliło w kolejnych dekadach powiązać rozwój geologiczny regionu z mechanizmami odpowiedzialnymi za formowanie złóż. Doprowadziło to do rozpoznania czynników kształtujących charakter mineralizacji kruszcowej i jej przestrzenne zróżnicowanie. Wykorzystanie stwierdzonych prawidłowości w poszukiwaniach wymaga jednak przejścia od badania zależności między poszczególnymi elementami systemu mineralizacyjnego do modelu opisującego mechanizmy prowadzące do wzbogacenia tego systemu w metale oraz określającego wynikające z nich przesłanki poszukiwawcze. Kluczowe znaczenie ma w tym kontekście analiza wzajemnych zależności między sedymentacją, diagenezą, migracją fluidów, procesami redoks, aktywnością tektoniczną i zmianami mineralogicznymi, umożliwiająca identyfikację warunków sprzyjających rozwojowi i zachowaniu mineralizacji kruszcowej. W tym ujęciu szczególnie kluczowe jest rozpoznanie znaczenia frontu redoks (Rote Fäule) dla genezy oraz przestrzennego rozmieszczenia mineralizacji rudnej.

Występowanie rud Cu-Ag wzdłuż granicy redoks po jej redukcyjnej stronie stanowi zasadnicze założenie modelu genetycznego sformułowanego w PIG-PIB i przyjętego dla prowadzenia poszukiwań. Model ten zakłada, że koncentracja metali była wynikiem migracji metalonośnych fluidów i ich reakcji z osadami o odmiennych właściwościach geochemicznych. Do powstania mineralizacji przyczyniło się zetknięcie utleniających fluidów z redukcyjnym środowiskiem utworów najniższego cechsztynu, skutkujące zmianami potencjału redoks, pH i składu roztworów, a w konsekwencji destabilizacją kompleksów metali i ich wytrącaniem, głównie w postaci siarczków. W konsekwencji strefa kontaktu środowiska utleniającego i redukcyjnego stanowiła miejsce sprzyjające koncentracji mineralizacji. Proces ten prowadził do wykształcenia charakterystycznej strefowości mineralogicznej i geochemicznej, w której minerały bogate w miedź i srebro,

a dalej w ołów i cynk, tworzą sukcesywne strefy wraz ze zmianą warunków od utleniających do redukujących.

Strefy, w których współwystępowały okoliczności sprzyjające intensywnej koncentracji siarczków, można traktować jako obszary optymalnych uwarunkowań dla rozwoju mineralizacji (tzw. *sweet spots*). Ich identyfikacja pozwala określać prawdopodobne położenie ciał kruszcowych, a tym samym wskazywać lokalizacje otworów poszukiwawczych. Skuteczność takiego podejścia potwierdzają wyniki prac na obszarze monokliny przedsudeckiej i w rejonie perykliny Żar, gdzie zastosowanie modelu genetycznego opartego na wskaźnikach związanych z lokalizacją mineralizacji umożliwiło w ostatnich latach udokumentowanie nowych złóż rud Cu-Ag: Nowa Sól, Mozów, Sulmierzyce Północ i Żary. Przykłady te pokazują, że model pełni nie tylko funkcję interpretacyjną, lecz także praktyczną, ponieważ wiedzę zdobytą na znanych złożach można implementować na obszarach słabiej rozpoznanych i wykorzystywać przy planowaniu kolejnych etapów prac.

Charakter i szczegółowość modelu zależą od dostępności oraz jakości danych. W obszarach typu *brownfield*, gdzie zgromadzono liczne dane z badań rdzeni otworów wiertniczych (geochemicznych, mineralogiczno-petrograficznych i geofizycznych), możliwe jest zintegrowanie istniejących informacji, wskazanie luk w rozpoznaniu oraz prognozowanie przedłużeń znanych stref mineralizacji. Wraz ze wzrostem ilości i jakości danych model może być rozwijany od ujęcia koncepcyjnego do szczegółowego modelu przestrzennego, w tym modelu 3D. Na obszarach typu *greenfield*, charakteryzujących się mniejszym stopniem rozpoznania geologicznego, model ma bardziej koncepcyjny i probabilistyczny charakter. Na tej podstawie wskazywane są obszary o podwyższonym potencjale mineralizacyjnym, które następnie podlegają weryfikacji wraz z rozszerzaniem zakresu rozpoznania. Różnica między tymi typami rozpoznania nie dotyczy zatem obecności lub braku danych, lecz ich gęstości, jakości i szczegółowości, które determinują skalę i poziom szczegółowości prognozowania.

Przekładanie rozpoznanych mechanizmów mineralizacji na wiarygodne prognozy wymaga dalszego integrowania informacji o budowie i ewolucji obszaru zmineralizowanego. Kluczową rolę odgrywa w tym kontekście pogłębienie wiedzy o źródłach metali, właściwościach i ewolucji fluidów mineralizujących oraz o roli struktur warunkujących ich migrację i rozmieszczenie mineralizacji. Wiarygodność prognoz zależy w coraz większym stopniu od możliwości łączenia informacji pochodzących z różnych dziedzin badań i ich wzajemnej weryfikacji w ramach spójnego modelu geologicznego. Cechą charakterystyczną stref mineralizacji i ich potencjału złożowego jest także przestrzenny rozkład pierwiastków towarzyszących, takich jak: Se, Pb, Zn, Mo, Ni, Co, Sb, As, Au i platynowce. Analiza rozmieszczenia stref ich podwyższonych koncentracji pozwala na określenie przestrzennej strefowości mineralizacji, wskazującej na lokalizację centrów procesów mineralizacyjnych oraz zasięg ich oddziaływania.

Istotnym kierunkiem rozwoju modelu jest przejście od jakościowego rozpoznawania pojedynczych wskaźników mineralizacyjnych, takich jak położenie frontu Rote Fäule czy strefowość mineralna, do ich ilościowej integracji w predykcyjnym modelu per-

spektywiczności. Poszczególne czynniki powinny być oceniane nie tylko pod względem ich występowania, lecz także wzajemnych zależności, ciągłości przestrzennej i zgodności z procesami odpowiedzialnymi za transport i koncentrację metali. Umożliwić to może określenie, które kombinacje zmiennych mają największą wartość prognostyczną oraz w jakim stopniu rozpoznane zależności mogą być wykorzystane do prognozowania potencjału obszarów o ograniczonym stopniu rozpoznania. Model powinien wskazywać nie tylko obszary o podwyższonym potencjale mineralizacyjnym, lecz także miejsca o hipotetycznym znaczeniu, w których wyniki dalszych badań mogą zasadniczo zmienić jego ocenę. Zgodnie z tym podejściem każdy nowy otwór wiertniczy stanowi nie tylko test występowania mineralizacji, lecz także weryfikację i aktualizację modelu, a wybór kolejnych celów poszukiwawczych może wynikać zarówno z przewidywanego potencjału złożowego, jak i z wartości informacyjnej wyników prowadzonych prac badawczych. Podstawą proponowanego podejścia jest traktowanie modelu jako dynamicznego narzędzia prognostycznego, a nie jednorazowej interpretacji. Jego szczegółowość i wiarygodność wzrastają wraz z uwzględnianiem wyników kolejnych badań. W konsekwencji celem modelowania nie powinno być jedynie wyznaczenie obszarów, na których występują korzystne warunki geologiczne, lecz określenie ich łącznego wpływu na prawdopodobieństwo wystąpienia mineralizacji o potencjale złożowym.

Wieloletnie prace PIG-PIB umożliwiają coraz bardziej precyzyjne prognozowanie rozmieszczenia mineralizacji Cu-Ag i wskazywanie nowych obszarów perspektywicznych, a ich znaczenie wzrasta wraz z rozpoczęciem Krajowego Programu Poszukiwań Surowców Krytycznych (KPPSK). W jego ramach na najbliższe lata (2026–2033) przeznaczono około 50 mln zł na prace poszukiwawcze dotyczące rud Cu-Ag, przy czym znaczną część nakładów mają stanowić wiercenia i analizy laboratoryjne. Przyjęty model geologiczny pozwala lepiej ukierunkować te prace, ograniczać ryzyko geologiczne i inwestycyjne oraz efektywniej wykorzystywać środki finansowe przeznaczone na poszukiwania.

Podsumowując, model genetyczny powstawania złóż Cu-Ag typu Kupferschiefer ma podstawowe znaczenie dla prognozowania rozmieszczenia mineralizacji kruszcowej i wyznaczania obszarów perspektywicznych. Wskazywanie stref o najkorzystniejszych warunkach uwzględnia czynniki, takie jak przebieg procesów mineralizacyjnych oraz strefowość mineralogiczna i geochemiczna, decydujące o lokalizacji ciał kruszcowych. Rozpoznane zależności mogą w ten sposób zwiększać wiarygodność oceny potencjału obszarów o ograniczonym stopniu rozpoznania. Dalszy rozwój modelu aktualizowanego wraz z napływem danych będzie sprzyjał coraz dokładniejszemu prognozowaniu i wskazywaniu następnych prospektów. Model łączy w ten sposób rozpoznanie naukowe z decyzjami o kierunkach dalszych prac, co może bezpośrednio wpłynąć na racjonalne planowanie działań poszukiwawczych.

The role of the Kupferschiefer Cu-Ag deposit genetic model in predicting mineralization distribution and identifying prospective areas

Kupferschiefer-type Cu-Ag deposits constitute one of the most important occurrences of base metals in Poland and have been the subject of research at the Polish Geological Institute – National Research Institute (PGI-NRI) for several decades. Their discovery in the late 1950s in the Lubin, Polkowice and Sieroszowice area initiated intensive studies of the distribution and genesis of mineralization within the Fore-Sudetic Monocline.

The integration of lithological, mineralogical, geochemical, tectonic and geophysical data over subsequent decades made it possible to relate the geological evolution of the region to the mechanisms responsible for ore deposit formation. This led to the recognition of the factors controlling the characteristics of ore mineralization and its spatial variability. However, applying these identified relationships to mineral exploration requires a shift from examining interactions among individual components of the mineralizing system towards developing an integrated model of the processes governing metal enrichment. Such a model can then provide a basis for defining practical exploration criteria.

A key aspect of this approach is understanding the interplay between sedimentation, diagenesis, fluid migration, redox processes, tectonic activity, and mineralogical transformations. Examining these processes collectively allows for the identification of conditions favourable to the formation and preservation of ore mineralization. Particular importance is attributed to the redox front (Rote Fäule), which exerts a major control on the genesis and spatial distribution of ore mineralization.

The occurrence of Cu-Ag mineralization along the redox boundary, particularly on its reduced side, forms a key component of the genetic model developed at the PGI-NRI and subsequently adopted as a basis for mineral exploration. According to the model, metal enrichment resulted from the migration of metal-bearing fluids and their interaction with sediments characterised by distinct geochemical conditions. Mineralization is interpreted to have formed where oxidized fluids encountered the reduced environment of the lowermost Zechstein succession. This interaction induced changes in redox conditions, pH, and fluid chemistry, promoting the breakdown of metal complexes and the subsequent precipitation of metals, predominantly in the form of sulphides. As a result, the interface between oxidized and reduced environments provided favourable conditions for mineral concentration. This process resulted in characteristic mineralogical and geochemical zonation, in which Cu- and Ag-rich minerals, followed successively by Pb- and Zn-rich mineralization, form distinct zones reflecting the transition from oxidized to reduced conditions.

Areas characterised by the convergence of favourable conditions for sulphide accumulation may be considered particularly prospective for ore mineralization and are commonly described as “sweet spots.” Recognition of these zones allows the potential distribution of ore bodies to be assessed and the most prospective areas to

be targeted for exploration drilling. The effectiveness of this approach is demonstrated by the results of exploration conducted within the Fore-Sudetic Monocline and the Żary Pericline. In recent years, the application of the genetic model, supported by indicators reflecting the spatial distribution of mineralization, has contributed to the delineation and documentation of several new Cu-Ag deposits, including Nowa Sól, Mozów, Sulmierzyce North, and Żary. These examples demonstrate that the model has both interpretative and practical value, enabling knowledge gained from known deposits to be applied to less-explored areas and providing a basis for guiding the next stages of mineral exploration. The level of detail and reliability of the model are determined by the availability, quality, and coverage of the available data.

In *brownfield* areas, extensive datasets from drill core investigations are often available, including geochemical, mineralogical, petrographic, and geophysical data. Integrating these datasets allows the geological model to be refined, knowledge gaps to be identified, and potential extensions of known mineralized zones to be predicted. As the quantity and quality of data increase, the model can be developed from a conceptual framework into a detailed spatial model, including a 3D model. In *greenfield* areas, where geological knowledge is more limited, the model is necessarily more conceptual and relies to a greater extent on probabilistic assessment. This approach allows areas with elevated mineralization potential to be identified and subsequently assessed as additional exploration data become available, enabling the model to be progressively refined. The distinction between these two exploration settings therefore lies not in the presence or absence of data, but in their density, quality, and level of detail, which ultimately determine the scale and resolution at which predictions can be made.

The development of reliable exploration predictions based on recognized mineralization mechanisms requires their integration with information on the geological architecture and evolution of the mineralized area. A key aspect of this approach is a better understanding of metal sources, the properties and evolution of mineralizing fluids, and the structural controls governing fluid migration and the spatial distribution of mineralization. The reliability of predictions increasingly relies on the integration of information from multiple fields of investigation and on the cross-validation of these datasets within a coherent and internally consistent geological model. The spatial distribution of associated elements, including Se, Pb, Zn, Mo, Ni, Co, Sb, As, Au and PGE, is also a characteristic feature of mineralized zones and provides information relevant to assessing their economic potential. The distribution of zones with elevated concentrations of these elements can be used to delineate the spatial zonation of mineralization. Such patterns also provide valuable information on the location of mineralizing centers and the extent of their influence. The next stage in the development of the model should focus on quantifying individual mineralization indicators, such as the Rote Fäule front and mineralogical zonation. Their integration within a predictive perspectivity framework would allow their combined significance to be assessed more systematically. Relevant indicators should be assessed not only based on their occurrence, but also in relation to their spatial continuity, mutual

relationships, and consistency with the processes responsible for metal transport and concentration. This approach may facilitate the identification of the combinations of variables with the greatest predictive value and the assessment of how effectively the relationships identified can be applied to evaluating mineralization potential in areas with limited geological knowledge. The model should identify not only areas with elevated mineralization potential, but also locations of hypothetical significance, where the results of further investigations may substantially modify the assessment. Within this framework, each newly drilled borehole provides an opportunity not only to verify the presence of mineralization but also to assess the validity of the model and incorporate new information into its further development. The selection of next phases of exploration targets may therefore be based both on predicted deposit potential and on the information value of the results obtained from ongoing investigations. Rather than providing a fixed interpretation, the proposed model offers a basis for continued prediction and assessment, with its level of detail increasing as new geological and exploration data become available. As additional investigation results become available, the model can be progressively adjusted, increasing its level of detail and reliability. Consequently, the aim of the approach should extend beyond delineating areas with favourable geological conditions to assessing how their combined effects influence the likelihood of economically significant mineralization.

Decades of research conducted by the PGI-NRI have progressively strengthened the predictive capacity for delineating the distribution of Cu-Ag mineralization and identifying new prospective areas. The importance of this knowledge is further expanded by the launch of the National Exploration Program for Critical Raw Materials (NEP-CRM). Under this program, approximately PLN 50 million has been allocated for Cu–Ag ore exploration activities over the period 2026–2033, with drilling and laboratory analyses expected to account for a substantial proportion of the expenditure. The adopted geological model facilitates more effective targeting of exploration activities, reducing geological and investment risks while promoting more efficient use of financial resources dedicated to exploration.

In summary, the genetic model of Kupferschiefer-type Cu-Ag deposit formation supports the characterization and prediction of ore mineralization distribution and the delineation of prospective areas. Identification of zones with favourable conditions involves analysing the pathways of mineralizing processes together with mineralogical and geochemical zonation patterns that govern the distribution of ore bodies. Considering these relationships within the assessment framework can strengthen the reliability of mineralization potential assessments in areas where geological knowledge remains limited. As new geological and exploration data become available, their integration should gradually improve the model and enable more precise identification of prospective areas. In this context, the model provides a link between scientific interpretation and the planning of future exploration, helping to guide exploration activities towards the most prospective areas.

ANDRZEJ CHMIELEWSKI, HUBERT WIERZBOWSKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Charakterystyka geochemiczna REE+Y konkrecji fosforanowych środkowej i górnej jury monokliny śląsko-krakowskiej

Monoklina śląsko-krakowska stanowi istotny element geologiczno-strukturalny południowej Polski. Rozciąga się ona pomiędzy Górnośląskim Zagłębiem Węglowym a Niecką Nidy i obejmuje rozległy obszar Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej i Wyżyny Wieluńskiej, na którym utwory mezozoiczne zalegają na podłożu paleozoicznym. Sukcesja jurajska tego obszaru dokumentuje rozwój płytkiego basenu epikontynentalnego związanego z północnym obrzeżeniem Oceanu Tetydy. Jej sedymentacja przebiegała w warunkach zmiennego tempa akumulacji osadu, okresowych zmian poziomu morza oraz zróżnicowanej dynamiki środowiska depozycji. Na obszarze badań dobrze rozwinięte są utwory środkowej i górnej jury, w obrębie których występują liczne poziomy konkrecji, w tym konkrecji fosforanowych i fosforanowo-węglanowych.

Rozmieszczenie i charakter konkrecji są ściśle związane z litologią oraz warunkami sedymentacji poszczególnych poziomów stratygraficznych. Szczególne znaczenie mają konkrecje występujące w utworach górnego bajosu–batonu oraz w skondensowanych utworach keloweju–środkowego oksfordu. Ich powstawanie wiąże się z okresami spowolnionej sedymentacji i kondensacji osadu, sprzyjającymi rozwojowi procesów fosfogenezy, a także ze zmianami warunków oksydacyjno-redukcyjnych zachodzących w obrębie osadu i przy jego powierzchni. Fosforanowe składniki konkrecji mogą również rejestrować procesy zachodzące podczas wczesnej diagenezy, w tym rozkład materii organicznej oraz reakcje pomiędzy wodami porowymi a składnikami mineralogicznymi osadu.

Litologia, sedymentologia oraz biostratygrafia amonitowa utworów środkowej i górnej jury monokliny śląsko-krakowskiej są stosunkowo dobrze rozpoznane. Znacznie mniej wiadomo natomiast o geochemicznym zapisie procesów odpowiedzialnych za powstawanie i późniejsze przeobrażenia konkrecji fosforanowych. Szczególnie słabo poznane pozostaje zachowanie pierwiastków ziem rzadkich i itru (REE+Y), stanowiących czuły wskaźnik warunków panujących podczas fosfogenezy oraz procesów wczesnodiagenetycznych. Z tego względu analiza zawartości i wzorców frakcjonowania REE+Y dostarcza dodatkowych informacji o warunkach środowiskowych, tempie sedymentacji i charakterze procesów zachodzących podczas formowania konkrecji.

Celem badań było określenie genezy i wieku konkrecji oraz rozpoznanie warunków środowiskowych kontrolujących ich wzbogacenie w pierwiastki ziem rzadkich

i itr (REE+Y). Analizę przeprowadzono na podstawie obserwacji terenowych, badań biostratygraficznych i petrograficznych oraz wyników analiz całkowitego składu chemicznego. Materiał badawczy obejmuje konkrecje pobrane z kilku stanowisk z rejonu Częstochowy, z odkrywek formacji częstochowskich iłów rudonośnych górnego bajosu–batonu, a także ze skondensowanych marglisto-wapiennych utworów keloweju–środkowego oksfordu z rejonu Olkusza. Zespoły amonitów pozwalają precyzyjnie określić wiek poziomów zawierających konkrecje – od najwyższej części poziomu amonitowego *Parkinsoni* górnego bajosu, przez baton, aż po kelowej i niższy oksford. W iłach rudonośnych górnego bajosu–batonu skupienia fosforanu wapnia (frankolitu) występują najczęściej w obrębie wewnętrznych stref konkrecji syderytowych oraz w postaci mniej lub bardziej rozproszonej w konkrecjach fosforanowych. Taki sposób występowania wskazuje na wczesnodiagenetyczny charakter fosfatyzacji, która zachodziła w obrębie osadu, w trakcie jego konsolidacji. W skondensowanych marglach glaukonitowych, warstwie bulastej i iłach grojeckich keloweju–środkowego oksfordu występują głównie konkrecje fosforanowo-węglanowe. Ich obecność wiąże się z okresami maksimum transgresji morskiej, spowolnienia tempa sedymentacji oraz znacznego ograniczenia dopływu materiału terygenicznego.

Obserwacje petrograficzne, uzupełnione wynikami analiz rentgenograficznych (XRD) i skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), wskazują, że konkrecje są zbudowane przede wszystkim z węglanowego fluorapatytu (frankolit). Minerał ten zastępuje bioklasty oraz tworzy otaczającą je matriks, miejscami zachowując reliktowe struktury muszli. Podrzędnie w skład konkrecji wchodzą krzemionka, minerały ilaste oraz siarczki. W celu określenia stopnia wzbogacenia w pierwiastki śladowe wykonano analizy całkowitego składu chemicznego metodami ICP-ES/MS. Konkrecje wykazują wyraźne wzbogacenie w REE+Y w porównaniu z utworami otaczającymi. Zawartość P_2O_5 jest wysoka i wynosi około 20–28% wag. Szczególnie wysokimi zawartościami REE+Y charakteryzują się konkrecje batonu, w których wartości te wynoszą średnio 2700 ppm. W konkrecjach keloweju–środkowego oksfordu zawartości REE+Y są na ogół niższe, ale nadal znaczące i mieszczą się w zakresie około 750–2150 ppm (średnia 1400 ppm). W obu grupach konkrecji największy udział w całkowitej zawartości REE+Y mają Y, La, Ce i Nd. Wyższy stosunek fosforanu wapnia do węglanu wapnia w konkrecjach batonu wskazuje na intensywniejszy przebieg fosfatyzacji w porównaniu z konkrecjami z młodszych poziomów.

Wzorce zawartości REE+Y znormalizowane względem PASS charakteryzują się wzbogaceniem w średnie pierwiastki ziem rzadkich (MREE), wyraźnymi dodatnimi anomaliami Ce oraz dodatnimi anomaliami Y. Taki sposób rozkładu REE+Y jest zgodny z ich pobieraniem z morskich wód porowych i wskazuje na znaczenie procesów zachodzących w warunkach od tlenowych do słabo niedotlenionych wód przydennych. Szczególnie istotne są pozytywne anomalie Ce, które mogą odzwierciedlać pobieranie ceru w warunkach utleniających przez wodorotlenki żelaza i manganu, które były następnie rozpuszczane w warunkach redukcyjnych. Z kolei dodatnie anomalie Y są zgodne z preferencyjnym pobieraniem tego pierwiastka przez fazę fosforanową.

Brak anomalii Eu wskazuje natomiast, że udział procesów hydrotermalnych w kształtowaniu składu geochemicznego konkrecji był nieistotny.

Zestawienie danych petrograficznych, mineralogicznych i geochemicznych wskazuje na wyraźne zróżnicowanie przestrzenne i stratygraficzne zawartości REE+Y oraz stopnia ich frakcjonowania. Zmienność ta odzwierciedla różnice w tempie sedymentacji, stopniu kondensacji osadu oraz intensywności wczesnodiagenetycznych przemian zachodzących podczas faz transgresywnych. Znaczenie miały również warunki panujące w obrębie osadu i na granicy osad–woda, które kontrolowały mobilność fosforu oraz REE+Y i ich późniejsze wbudowywanie w fazę fosforanową. Powstawanie konkrecji było związane z procesami zachodzącymi w płytko pogrzebanym osadzie, w szczególności z mikrobiologicznym rozkładem materii organicznej, zmianami pH oraz okresowymi przejściami między warunkami tlenowymi i słabo niedotlenionymi. Procesy te zachodziły na powierzchni osadu lub bezpośrednio poniżej granicy osad–woda i sprzyjały uwalnianiu oraz ponownemu wiązaniu fosforu i pierwiastków śladowych. W konsekwencji skład REE+Y konkrecji stanowi zapis zarówno warunków panujących w środowisku depozycyjnym, jak i późniejszych procesów wczesnodiagenetycznych.

Jednocześnie podwyższone zawartości pierwiastków ziem rzadkich i itru wskazują, że badane konkrecje mogą stanowić istotny naturalny ich nośnik w obrębie środkowo- i górnojurajskiej sukcesji południowej Polski. Z punktu widzenia geochemicznego szczególne znaczenie ma ich występowanie w obrębie fazy fosforanowej, która jest zdolna do efektywnego wiązania i koncentracji REE+Y w trakcie procesów fosfatyzacji i wczesnej diagenezy. Oznacza to, że fosforanowe konkrecje mogą pełnić podwójną funkcję: z jednej strony stanowią zapis warunków i procesów zachodzących w środowisku sedymentacyjnym, a z drugiej są naturalnym rezerwuarem pierwiastków śladowych, w tym pierwiastków zaliczanych do surowców krytycznych. Szczególnie wysokie zawartości REE+Y stwierdzone w konkrecjach batonu, miejscami dochodzące do 4000 ppm, zwracają uwagę na ich potencjalne znaczenie jako obiektu dalszych badań nad możliwością odzysku tych pierwiastków z naturalnych koncentratów fosforanowych. Na obecnym etapie wyniki nie pozwalają jednak na jednoznaczną ocenę ich znaczenia surowcowego, ponieważ wymagałaby ona uwzględnienia nie tylko całkowitych zawartości REE+Y, lecz również ich przestrzennego i stratygraficznego rozkładu, mineralogicznego miejsca występowania, możliwości selektywnego uwalniania z fazy fosforanowej oraz potencjalnych metod ich odzysku. Z tego względu badane konkrecje należy przede wszystkim traktować jako interesujący naturalny układ do dalszych badań nad mechanizmami koncentracji REE+Y w osadach fosforanowych oraz nad zależnością pomiędzy procesami fosfogenezy, wczesnej diagenezy i akumulacją pierwiastków krytycznych.

Geochemical characteristics of REE+Y in phosphate nodules from the middle and upper Jurassic of the Silesian–Cracow Homocline

The Silesian-Cracow Homocline is one of the major structural geological units of southern Poland. It extends between the Upper Silesia Coal Basin and the Nida Trough and encompasses a large area of the Cracow-Częstochowa Upland and the Wieluń Upland, where Mesozoic strata overlie a Paleozoic basement. The Jurassic succession of this area records the development of a shallow epicontinental basin associated with the northern margin of the Tethys Ocean. Its sedimentation took place under conditions of variable accumulation rates, periodic sea-level fluctuations, and changing dynamics of the depositional environment. The Middle and Upper Jurassic strata of the study area are particularly well developed and contain numerous nodule horizons, including phosphate and phosphate-carbonate nodules.

Nodule occurrence and characteristics are closely related to the lithology and depositional conditions of individual stratigraphic levels. Particularly important are the nodules occurring within the Upper Bajocian–Bathonian strata and condensed Callovian–Middle Oxfordian deposits. Their formation was associated with periods of reduced sedimentation and sediment condensation, which favoured phosphogenesis, as well as with changes in redox conditions within the sediment and at or near the sediment–water interface. The phosphate components of the nodules may also record early diagenetic processes, including the decay of organic matter and reactions between pore waters and mineralogical components of the sediments.

Lithology, sedimentology, and ammonite biostratigraphy of the Middle and Upper Jurassic strata of the Silesian–Cracow Homocline have been relatively well documented. Much less is known, however, about the geochemical record of the processes responsible for the formation and subsequent alteration of the phosphate nodules. In particular, the behaviour of rare earth elements and yttrium (REE+Y) remains poorly constrained, despite their potential use as sensitive indicators of conditions prevailing during phosphogenesis and early diagenetic processes. Therefore, the concentrations and fractionation patterns of REE+Y provide additional information on depositional conditions, sedimentation rates, and the processes involved in nodule formation.

The aim of this study was to determine the origin and formation of the nodules to identify the environmental conditions controlling enrichments in rare earth elements and yttrium (REE+Y). The study integrates field observations, biostratigraphic and petrographic investigations, and whole-rock chemical analyses. The investigated material comprises nodules collected from several localities in the Częstochowa area, from clay pits exposing the Ore-bearing Częstochowa Clay Formation in the Upper Bajocian–Bathonian interval, as well as from condensed marly–calcareous and nodule-bearing deposits of the Callovian–Middle Oxfordian age in the Olkusz area. Ammonite assemblages allow precise determination of the age of the nodule-bearing starting from the uppermost part of the *Parkinsoni Zone* of the Upper Bajocian, through the

Bathonian, to the Callovian–Middle Oxfordian. In the ore-bearing Bathonian strata, phosphate mineral phases occur most commonly within the inner zones of siderite concretions; they also form the discrete phosphate nodules of variable size. Such mode of the phosphate occurrence indicates an early diagenetic origin of phosphatization, which took place within the sediment during its consolidation. In the condensed glauconitic marls, nodular layer and Grojec clays of the Callovian–Oxfordian age mainly occur phosphate-carbonate nodules. Their occurrence is associated with periods of maximum transgression, reduced sedimentation rate, and strongly diminished terrigenous input.

Petrographic observations, supplemented by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM), indicate that the nodules consist predominantly of carbonate fluorapatite (francolite). This mineral replaces bioclasts and the surrounding matrix, locally preserving relict shell structures. Silica, clay minerals, and sulphides occur as subordinate components. Whole-rock chemical analyses were performed by ICP-OES/MS method to determine the degree of trace-element enrichment. The nodules show pronounced enrichment in REE+Y relative to the surrounding sediments. P_2O_5 concentrations are high, ranging from approximately 20 to 28 wt.%. Bathonian nodules are particularly enriched in REE+Y, with their concentrations averaging 2700 ppm. In the Callovian–Oxfordian nodules, REE+Y concentrations are generally lower but remain significant, ranging from approximately 750 to 2150 ppm (mean 1400 ppm). In both groups of nodules, Y, La, Ce, and Nd account for the largest proportions of the total REE+Y content. The higher calcium phosphate-to-calcium carbonate ratio observed in the Bathonian nodules indicates more intense phosphatization compared with the nodules from the younger stratigraphic levels.

PAAS-normalized REE+Y patterns are characterized by enrichment in middle rare earth elements (MREE), distinct positive Ce anomalies, and positive Y anomalies. This distribution pattern is consistent with the uptake of REE+Y from marine pore waters and indicates the importance of processes operating under oxic to mildly suboxic conditions in bottom waters. The pronounced positive Ce anomalies are particularly significant, as they may reflect the Ce uptake by ferromanganese oxyhydroxides/oxides, which were subsequently dissolved under reducing conditions. Positive Y anomalies are, in turn, consistent with the preferential uptake of Y by the phosphate phase. A lack of Eu anomalies indicate that hydrothermal processes did not play significant role in controlling the geochemical composition of the nodules.

Integration of the petrographic, mineralogical, and geochemical data reveals pronounced spatial and stratigraphic variability in REE+Y concentrations and the degree of their fractionation. This variability reflects differences in sedimentation rates, the degree of sediment condensation, and the intensity of early diagenetic processes operating during transgressive phases. Conditions within the sediment and at the sediment–water interface also played an important role, controlling the mobility of phosphorus and REE+Y and their subsequent incorporation into the phosphate phase. Nodule formation was associated with processes operating in shallowly buried

sediment, particularly the microbial degradation of organic matter, changes in pH, and periodic shifts between oxic and mildly suboxic conditions. These processes occurred at the sediment surface or immediately below the sediment–water interface and promoted the release and subsequent re-incorporation of phosphorus and trace elements. Consequently, the REE+Y composition of the nodules records both the conditions prevailing in the depositional environment and subsequent early diagenetic processes.

At the same time, the elevated REE+Y concentrations indicate that the studied nodules may represent a significant natural carrier of REE+Y within the Middle–Upper Jurassic succession of southern Poland. From a geochemical perspective, their association with the phosphate phase is particularly important, as phosphate minerals are capable of efficiently binding and concentrating REE+Y during phosphatization and early diagenesis. Thus, phosphate-enriched nodules may play a dual role: on the one hand, they preserve a record of the environmental conditions and processes operating within the depositional system; on the other, they constitute a natural reservoir of trace elements, including elements classified as critical raw materials. The particularly high REE+Y concentrations recorded in the Bathonian nodules, locally ranging to 4000 ppm, highlight their potential significance as a subject of further research into the possibility of recovering these elements from natural phosphate concentrations. At the present stage, however, the obtained results do not allow their resource potential to be assessed unequivocally, as such an assessment would require consideration not only of total REE+Y concentrations, but also their spatial and stratigraphic distribution, mineralogical hosts, potential for selective release from the phosphate phase, and possible recovery methods. Therefore, the studied nodules should primarily be regarded as an important natural system for further research into the mechanisms governing REE+Y concentration in phosphate-bearing sediments and the relationship between phosphogenesis, early diagenesis, and the accumulation of critical elements.

JAROSŁAW CYBOROŃ[1], WOJCIECH PANNA[2], SEBASTIAN PREWENDOWSKI[1], KAMIL KORNAUS[1], AGNIESZKA WOJTECZKO[1], MAGDALENA SZUMERA[1]

[1] *AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków*

[2] *Akademia Tarnowska, Tarnów*

Wykorzystanie granulatów ilastych do formowania porowatych materiałów niewypalanych

Surowce ilaste są drobnoziarnistymi materiałami mineralnymi, których właściwości zależą od składu mineralnego, uziarnienia i oddziaływania z wodą. Stosuje się je przede wszystkim w ceramice budowlanej, a odmiany zasobne w smektyty także w barierach mineralnych, materiałach hydroizolacyjnych i jako sorbenty. W zależności od zastosowania ich właściwości modyfikuje się poprzez zmianę uziarnienia, zagęszczanie, stosowanie dodatków mineralnych lub organicznych, stabilizację spoiwami oraz aktywację chemiczną lub termiczną. Poszukiwanie metod wytwarzania niewypalanych wyrobów ilastych bez zewnętrznego spoiwa wpisuje się w dążenie do ograniczenia energochłonności technologii materiałowych.

Celem pracy była ocena możliwości formowania porowatych kształtek z wysuszonych granulatów, wpływu rodzaju i uziarnienia surowca na przebieg formowania i uzyskane właściwości materiału, a także ich przydatności jako nienośnych elementów wewnętrznych. Badano trzy krajowe surowce różniące się genezą i składem mineralnym: ił beidellitowy ze złoża węgla brunatnego Bełchatów, surowiec ilasto-krzemionkowy ze złoża Dylągówka-Zapady oraz ił krakowiecki z Woli Rzędzińskiej. Skład fazowy określono metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), skład granulometryczny surowców wyjściowych – metodą dyfrakcji laserowej, a morfologię cząstek – za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej ze spektroskopią dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego (SEM-EDS). Granulaty frakcji 1–2 i 2–4 mm otrzymywano poprzez wysuszenie uformowanej masy plastycznej, rozdrobnienie oraz rozdzielenie na sitach. Umieszczano je w formie z membraną przepuszczalną dla wody, krótkotrwale zanurzano, a następnie suszono. Materiałami odniesienia były lite kształtki wykonane z tych samych surowców. Oznaczono gęstość pozorną oraz wytrzymałość na ściskanie i zginanie. Na podstawie obniżenia gęstości w porównaniu z próbkami litymi oszacowano udział objętościowy porów międzyziarnowych.

Możliwość otrzymania spójnych kształtek zależała od rodzaju surowca i czasu kontaktu z wodą. Dla iłu z Bełchatowa stabilne próbki uzyskano po zwilżaniu przez 1 i 5 s, natomiast dla surowców z Dylągówki i Woli Rzędzińskiej jedynie po 1 s. Dłuższe zwilżanie prowadziło do nadmiernego pęcznienia, deformacji lub rozpadu kształtek podczas suszenia. Średnia gęstość pozorna poszczególnych wariantów materiałowych

mieściła się w zakresie 1,252–1,480 g/cm^3, przy oszacowanym udziale objętościowym porów międzyziarnowych wynoszącym 14,4–32,3%. Średnia wytrzymałość na ściskanie badanych kształtek wynosiła 0,724–2,037 MPa, a wytrzymałość na zginanie – 0,306–1,391 MPa. Najwyższe wartości wytrzymałości mechanicznej uzyskano dla iłu z Woli Rzędzińskiej.

Otrzymane wyniki potwierdzają możliwość formowania porowatych materiałów niewypalanych z wysuszonych granulatów ilastych poprzez ich krótkotrwałe zwilżanie i ponowne suszenie. Zróżnicowanie zachowania surowców wskazuje, że przebieg procesu jest związany z ich składem mineralnym, uziarnieniem oraz podatnością na oddziaływanie wody. Opracowana metoda może stanowić podstawę dalszych badań nad porowatymi materiałami niewypalanymi przeznaczonymi do zastosowań nienośnych, z uwzględnieniem oceny ich trwałości w warunkach oddziaływania wody.

Badania były współfinansowane w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" (IDUB) w AGH Akademii Górniczo-Hutniczej oraz z subwencji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

The use of clay granules to form porous unfired materials

Clay raw materials can be used to produce minimally processed products whose cohesion is achieved without firing or the addition of an external binder. This study aimed to assess the feasibility of producing porous unfired specimens from dried granules and to determine how the type of raw material affects their formation and properties. Three raw materials were investigated: beidellitic clay from the Bełchatów lignite deposit, a clayey-siliceous raw material from the Dylągówka-Zapady deposit, and Krakowiec clay from Wola Rzędzińska. Their phase composition was determined by X-ray diffraction (XRD), particle-size distribution of the starting raw materials by laser diffraction, and particle morphology by scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDS). Granule fractions of 1–2 and 2–4 mm were produced by drying plastic clay bodies, crushing, and separating the particles by sieving. Because of the excessive swelling of the 1–2 mm fractions from Bełchatów and Dylągówka, all three raw materials were compared using the 2–4 mm fraction, while the 1–2 mm fraction was additionally examined for the Wola Rzędzińska clay. The granules were placed in a mould fitted with a water-permeable membrane, briefly immersed, and then dried. Monolithic specimens prepared from the same raw materials served as references. Bulk density, compressive strength, and flexural strength were determined. The proportion of intergranular voids was estimated by comparing the bulk densities of the granulated and monolithic specimens. Specimens showing visible damage before mechanical testing were excluded from the analysis.

The ability to obtain cohesive specimens depended on the raw material and the time of its contact with water. Stable specimens of the Bełchatów clay were obtained after wetting for 1 and 5 s, whereas only 1 s was needed for the Dylągówka and Wola Rzędzińska materials. Longer wetting caused excessive swelling, deformation, or disintegration during drying. The bulk density of specimens made from granules ranged from 1.252 to 1.480 g/cm^3. The estimated intergranular void fraction for Bełchatów was 32.3 and 30.5% after wetting for 1 and 5 s, respectively, for Dylągówka it was 26.2%, and for Wola Rzędzińska it was 14.4 and 18.1% for the 1–2 and 2–4 mm fractions, respectively. The mean compressive strength of the individual granule-based variants ranged from 0.724 to 2.037 MPa, while their mean flexural strength ranged from 0.306 to 1.391 MPa.

The results confirm the feasibility of forming porous unfired materials from dried clay granules using brief wetting to initiate their rebonding. Process effectiveness depends on the raw material, its response to water, and granule size; therefore, the forming conditions must be selected individually. The proposed method provides a basis for further research on minimally processed porous materials intended for non-load-bearing applications protected from direct exposure to water.

The studies were partially financed by the "Excellence Initiative – Research University" program (IDUB) at AGH University of Kraków and by the subsidy of the Minister of Science and Higher Education for the AGH University of Kraków.

DOROTA CZARNA-JUSZKIEWICZ[1], PIOTR KUNECKI[1],
RENATA KONECZNA[1], JUSTYNA CADER[1], ŁUKASZ LELEK[1],
TOMASZ GŁOWIENKO[2], MAGDALENA WDOWIN[1]

[1] *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*
[2] *Geminus sp. z o.o., Warszawa*

Ukryty potencjał odpadów energetycznych – odzysk pierwiastków ziem rzadkich w kontekście bezpieczeństwa surowcowego Europy

Pierwiastki ziem rzadkich (REE – *Rare Earth Elements*) należą do grupy surowców o strategicznym znaczeniu dla współczesnej gospodarki, a ich dostępność ma bezpośrednie znaczenie dla bezpieczeństwa surowcowego Europy, rozwoju nowoczesnych technologii oraz transformacji energetycznej. Ich zastosowanie obejmuje m.in. produkcję magnesów trwałych, elektronikę, katalizatory, energetykę odnawialną oraz elektromobilność. Jednocześnie łańcuch dostaw REE pozostaje silnie skoncentrowany geograficznie, co zwiększa znaczenie dywersyfikacji źródeł ich pozyskiwania i ograniczania zależności od importu. Jednym z kierunków jest wykorzystanie odpadów przemysłowych i produktów ubocznych jako potencjalnych, antropogenicznych źródeł surowców krytycznych. W takim ujęciu odpad nie jest wyłącznie problemem środowiskowym, lecz może stanowić zasób, pod warunkiem potwierdzenia odpowiedniej zawartości REE, ich dostępności technologicznej oraz zasadności środowiskowej i ekonomicznej planowanego procesu.

Projekt REECovery pn. „Gospodarka o obiegu zamkniętym poprzez zrównoważoną technologię odzysku surowców krytycznych (REE) z wybranych materiałów odpadowych" jest realizowany w międzynarodowym konsorcjum naukowo-przemysłowym, którego koordynatorem jest Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Partnerami projektu są: Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, VSB – Technical University of Ostrava, Turkish Energy, Nuclear and Mineral Research Agency oraz Geminus sp. z o.o. Celem projektu jest opracowanie zrównoważonej ścieżki odzysku REE z wybranych materiałów odpadowych, obejmującej nie tylko etap ekstrakcji, lecz również właściwe przygotowanie materiału, wydzielenie pierwiastków z roztworu, bilanse masowo-energetyczne, ocenę oddziaływania na środowisko oraz analizę możliwości przyszłego wdrożenia.

W pierwszym etapie prac przeprowadzono wstępną selekcję materiałów różniących się pochodzeniem, składem chemicznym i mineralnym oraz przewidywaną zawartością REE. Badania objęły m.in. popioły lotne pochodzące ze spalania węgla kamiennego i brunatnego, fosfogipsy z hałd w Wizowie oraz odpady flotacyjne z KGHM. Do dalszych badań wytypowano popioły lotne z Opola i Bełchatowa, a także fosfogipsy z Wizowa

i odpady flotacyjne z KGHM, które stanowią materiały o wyraźnie odmiennej matrycy. Charakterystyka obejmowała analizy składu chemicznego i fazowego oraz morfologii materiałów z wykorzystaniem m.in. ICP-OES, XRD oraz SEM-EDS. Uzyskane wyniki potwierdzają, że materiały zaliczane ogólnie do jednej grupy odpadów mogą istotnie różnić się składem mineralnym, morfologią ziaren oraz formą związania pierwiastków, co bezpośrednio wpływa na możliwość ich późniejszego odzysku.

Szczególnie widoczne różnice stwierdzono w przypadku materiałów porównawczych. Suma oznaczonych REE w fosfogipsie z Wizowa wyniosła około 4,12 g/kg, podczas gdy w badanych odpadach flotacyjnych z KGHM wyniosła około 0,033 g/kg. W fosfogipsie najwyższe zawartości oznaczono dla Ce – około 1695 mg/kg, La – około 1219 mg/kg oraz Nd – około 737 mg/kg. Wyniki te nie przesądzają jeszcze o efektywności technologicznej ani opłacalności procesu, jednoznacznie pokazują jednak znaczenie etapu wstępnej selekcji materiałów. Sama wysoka zawartość REE nie jest bowiem wystarczającym kryterium. O przydatności odpadu do dalszych etapów decyduje również mineralna matryca materiału, obecność składników konkurujących w procesie ługowania, możliwość ich usunięcia oraz ilość i stabilność dostępnego strumienia odpadu.

Analizy SEM i XRD wykazały również istotne zróżnicowanie badanych popiołów, co potwierdza konieczność indywidualnego podejścia do projektowania procesu odzysku. W ramach prac nad przygotowaniem materiału zastosowano m.in. suchą separację magnetyczną jako bezreagentowy etap wstępny, którego celem jest częściowe usunięcie faz zawierających żelazo oraz ograniczenie wpływu matrycy na dalszą ekstrakcję. Takie podejście jest szczególnie ważne z punktu widzenia projektowania procesu możliwie przyjaznego dla środowiska, ponieważ pozwala ograniczyć stosowanie reagentów już na etapie przygotowania nadawy. Kolejne prace obejmują dobór warunków ługowania i wydzielania REE z roztworów, przy czym ze względu na różny charakter analizowanych materiałów nie zakłada się jednej uniwersalnej ścieżki technologicznej dla wszystkich odpadów.

W dalszym etapie projektu planowana jest optymalizacja całego ciągu technologicznego: od przygotowania materiału, poprzez ługowanie i rozdział REE, aż do otrzymania produktu wzbogaconego. Istotnym elementem będzie ograniczenie zużycia wody, energii i reagentów, możliwość ponownego wykorzystania części strumieni procesowych oraz zagospodarowanie pozostałości po ekstrakcji. Wyniki badań laboratoryjnych zostaną powiązane z bilansem masowym i energetycznym, oceną cyklu życia (LCA) oraz opracowaniem koncepcji technologicznej instalacji. Pozwoli to przejść od oceny samej skuteczności ekstrakcji do oceny całego procesu jako potencjalnego rozwiązania przemysłowego.

Ważnym elementem dalszych prac będzie również analiza ekonomiczna procesu. Jej celem nie będzie wyłącznie określenie maksymalnego uzysku REE, lecz wskazanie warunków, w których zwiększenie efektywności odzysku będzie uzasadnione także ekonomicznie. Analiza powinna uwzględniać m.in. koszty przygotowania i transportu materiału, zużycie reagentów, wody i energii, koszty oczyszczania i zagospodarowania strumieni ubocznych, nakłady inwestycyjne i koszty operacyjne (CAPEX/OPEX),

skalę dostępnego strumienia odpadu oraz potencjalną wartość otrzymywanego produktu. Połączenie wyników technologicznych z LCA i analizą kosztów i korzyści (CBA) pozwoli określić rzeczywisty potencjał wdrożeniowy proponowanego rozwiązania. Planowana analiza ekonomiczna pozwoli określić nie tylko opłacalność poszczególnych wariantów technologicznych, lecz także rzeczywisty potencjał wykorzystania badanych odpadów jako uzupełniającego, wtórnego źródła REE w europejskim łańcuchu dostaw surowców krytycznych. Założeniem projektu REECovery jest zatem nie tylko wykazanie, że REE można odzyskać z wybranych odpadów, ale również wskazanie, dla których materiałów i przy jakich warunkach proces ten może stanowić racjonalny element gospodarki o obiegu zamkniętym i wspierać bezpieczeństwo surowcowe Europy.

Projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach inicjatywy M-ERA.NET 3 Call 2024 nr umowy M-ERA.NET3/2024/66/REECovery/2025.

Hidden potential of energy-sector waste – recovery of Rare Earth Elements in the context of Europe's raw material security

Rare Earth Elements (REEs) are among the raw materials of strategic importance for the modern economy and their availability is directly relevant to Europe's raw material security, the development of advanced technologies, and the energy transition. Their applications include, among others, permanent magnets, electronics, catalysts, renewable energy technologies and electromobility. At the same time, the REE supply chain remains strongly geographically concentrated, increasing the importance of diversifying supply sources and reducing dependence on imports. One direction is the use of industrial wastes and by-products as potential anthropogenic sources of critical raw materials. In this approach, waste is not considered solely as an environmental problem, but may become a resource, provided that an appropriate REE content, technological accessibility, and the environmental and economic rationale of the planned process are confirmed.

The REECovery project entitled "Circular economy through a sustainable recovery technology of critical resources (REEs) from selected waste materials" is implemented by an international scientific-industrial consortium coordinated by the Mineral and Energy Economy Research Institute of Polish Academy of Sciences. The project partners are Maria Curie-Skłodowska University, VSB – Technical University of Ostrava, the Turkish Energy, Nuclear and Mineral Research Agency and Geminus Ltd. The objective is to develop a sustainable route for recovering REEs from selected waste materials, covering not only extraction, but also proper feed preparation, separation of elements from solution, mass and energy balances, environmental assessment and analysis of future implementation potential.

In the first stage a preliminary selection of materials differing in origin, chemical and mineralogical composition and expected REE content was carried out. The investigated materials included fly ashes from hard coal and lignite combustion, Wizów phosphogypsum and KGHM flotation tailings. Opole and Bełchatów fly ashes, together with Wizów phosphogypsum and KGHM flotation tailings, were selected for further investigations as materials representing clearly different matrices. Characterization includes the determination of chemical and phase composition and material morphology using, among others, ICP-OES, XRD and SEM-EDS. The results confirm that materials generally classified within the same waste group may differ significantly in mineral composition, particle morphology and the form in which elements are bound, directly affecting their potential recovery.

Particularly clear differences were observed for the comparative materials. The sum of the determined REEs in Wizów phosphogypsum was approximately 4.12 g/kg, whereas in the investigated KGHM flotation tailings it was approximately 0.033 g/kg. In phosphogypsum the highest concentrations were determined for Ce – approximately 1695 mg/kg, La – approximately 1219 mg/kg, and Nd – approximately 737 mg/kg. These results do not yet determine the technological efficiency or economic feasibility of the recovery process, but they clearly demonstrate the importance of preliminary material selection. A high REE content alone is not a sufficient criterion. The suitability of a waste stream for further processing also depends on the mineral matrix, the presence of components competing during leaching, the possibility of removing such components, and the quantity and stability of the available waste stream.

SEM and XRD analyses also revealed significant differences between the investigated fly ashes, confirming that recovery processes need to be designed individually for different materials. As part of feed preparation, dry magnetic separation was applied as a reagent-free pre-treatment step aimed at the partial removal of Fe-bearing phases and reduction of matrix interference during further extraction. This approach is particularly important from the perspective of designing an environmentally oriented process, because it allows reagent consumption to be reduced already at the feed preparation stage. Subsequent work includes the selection of leaching and REE separation conditions; due to the different nature of the investigated materials a single universal technological route is not assumed for all waste streams.

The next stage of the project will focus on optimizing the complete technological chain: from feed preparation, through leaching and REE separation, to obtaining an enriched product. Important aspects will include reducing water, energy and reagent consumption, possible reuse of selected process streams, and management of the residues remaining after extraction. Laboratory results will be integrated with mass and energy balances, Life Cycle Assessment (LCA) and the development of a technological concept for the installation. This will make it possible to move from evaluating extraction efficiency alone to assessing the entire process as a potential industrial solution.

An important component of the future work will also be the economic assessment of the process. Its purpose will not be limited to identifying the maximum REE recovery

yield, but to determining the conditions under which an increase in recovery efficiency is also economically justified. The assessment should therefore include the costs of feed preparation and transport, reagent, water and energy consumption, treatment and management of secondary streams, investment and operating costs (CAPEX/OPEX), the scale of the available waste stream, and the potential value of the recovered product. Combining technological results with LCA and Cost-Benefit Analysis (CBA) will allow the actual implementation potential of the proposed solution to be determined. The planned economic assessment will make it possible to evaluate not only the feasibility of individual technological variants, but also the actual potential of the investigated wastes as a complementary secondary source of REEs within the European critical raw materials supply chain. Thus, the objective of REECovery is not only to demonstrate that REEs can be recovered from selected wastes, but also to identify which materials and operating conditions may provide a rational contribution to the circular economy and support Europe's raw material security.

Project funded by the National Centre for Research and Development under the M-ERA.NET 3 Call 2024, contract no. M-ERA.NET3/2024/66/REECovery/2025.

HUBERT CZERW, MICHAŁ NOWOSIELSKI, KRZYSZTOF GALOS

Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa

Modele polityki surowcowej wybranych państw w kontekście uwarunkowań polskiej polityki surowcowej

Współczesna architektura geopolityczna podlega gwałtownym przekształceniom, w których tradycyjne wolnorynkowe mechanizmy ustępują miejsca interwencjonizmowi państwowemu. W ostatnim czasie zjawisko to dotyczy zwłaszcza zasobów surowców mineralnych, w tym surowców krytycznych. Dostępność surowców krytycznych coraz silniej wpływa na bezpieczeństwo gospodarcze, konkurencyjność przemysłu, transformację energetyczną oraz zdolności technologiczne i obronne państw. Aktualnie obserwujemy trend, w którym wiodące państwa demokratyczne rezygnują z doktryny wolnorynkowej na rzecz aktywnego modelowania rynków surowcowych. Proces ten uległ radykalnemu przyspieszeniu w latach 2025–2026 w następstwie nałożenia przez Chiny restrykcji eksportowych na pierwiastki ziem rzadkich.

W świetle aktualnych wyzwań i uwarunkowań niezbędna jest aktualizacja i modernizacja Polityki Surowcowej Państwa. Porównanie strategii surowcowych państw należących do grona uczestników globalnych łańcuchów dostaw surowców mineralnych stanowić może cenny materiał informacyjny, pomocny przy kształtowaniu tej polityki. W związku z tym przeprowadzono analizę strategii i polityk surowcowych 12 krajów o różnych uwarunkowaniach surowcowych, gospodarczych i politycznych. Pomimo różnic geologicznych, gospodarczych i politycznych współczesne polityki surowcowe charakteryzują się szeregiem wspólnych cech. Do najważniejszych należą: rosnące znaczenie surowców krytycznych, wysoki poziom interwencjonizmu państwowego, rozwijanie krajowych i międzynarodowych łańcuchów wartości oraz traktowanie bezpieczeństwa dostaw surowców jako elementu bezpieczeństwa gospodarczego, energetycznego i narodowego. Coraz większy nacisk kładziony jest również na rozwój krajowego przetwórstwa, recyklingu oraz budowę partnerstw międzynarodowych gwarantujących stabilny dostęp do niezbędnych surowców.

W oparciu o przeprowadzoną analizę zaproponowano typologię pięciu modeli polityki surowcowej. Wnioski z analizy zestawiono z polskimi uwarunkowaniami. Z perspektywy Polski, która z jednej strony dysponuje unikalnymi zasobami miedzi, węgla koksowego oraz helu, a z drugiej strony potrzebuje zapewnić dostęp do surowców kluczowych dla własnej gospodarki, nowa Polityka Surowcowa Państwa powinna obejmować zestaw spójnych i komplementarnych działań służących zabezpieczeniu dostępu do surowców. Polityka Surowcowa Państwa powinna być zatem systemem zarządzania zależnościami całej gospodarki, łączącym geologię, recykling, przemysł, handel, finanse, dyplomację gospodarczą, jak również monitoring danych i przygotowanie kryzysowe.

Raw materials policy models of selected countries in the context of the conditions shaping Poland's raw materials policy

The contemporary geopolitical landscape is undergoing rapid transformation, with traditional free-market mechanisms increasingly giving way to state interventionism. In recent years, this trend has become particularly evident in relation to most of mineral resources, including critical raw materials. The availability of critical raw materials is exerting a growing influence on economic security, industrial competitiveness, the energy transition, and the technological and defence capabilities of states. A clear trend can now be observed whereby leading democratic countries are moving away from purely market-based doctrines and toward the active shaping of raw materials markets. This process accelerated dramatically in 2025–2026 following the introduction of export restrictions on rare earth elements by China.

In light of these challenges and evolving conditions, the updating and modernization of Poland's Raw Materials Policy has become necessary. A comparison of the raw materials strategies pursued by countries participating in global mineral supply chains can provide valuable insights for the development of such a policy. Accordingly, an analysis was conducted of the raw materials strategies and policies of twelve countries representing diverse geological, economic, and political conditions. Despite significant geological, economic, and political differences, contemporary raw materials strategies and policies display a number of common characteristics. The most important of these include the growing significance of critical raw materials, a high degree of state intervention, the development of domestic and international value chains, and the recognition of raw material supply security as an essential component of economic, energy, and national security. Increasing emphasis is also being placed on expanding domestic processing capacities, recycling, and the establishment of international partnerships that ensure stable access to essential raw materials.

Based on the analysis, a typology of five mineral resource policy models was proposed. The findings were then assessed against Poland's specific circumstances. From Poland's perspective, a country that possesses unique resources of copper, coking coal, and helium while simultaneously needing to secure access to raw materials essential for its economy, a new Raw Materials State Policy should encompass a coherent and complementary set of measures aimed at safeguarding raw material supply. Consequently, mineral resources policy should be understood as a system for managing the dependencies of the entire economy, integrating geology, recycling, industry, trade, finance, economic diplomacy, as well as data monitoring and crisis preparedness.

ALEKSANDRA CZUL[1], WIKTORIA BRZEZIŃSKA-PACIOREK[1],
PIOTR KRZYWIEC[2], PAULINA KRAKOWSKA-MADEJSKA[3]

[1] *Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa*
[2] *Instytut Nauk Geologicznych, Polska Akademia Nauk, Warszawa*
[3] *AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków*

O dostępności danych geofizycznych na potrzeby edukacji i prac badawczych

We współczesnych naukach o Ziemi kluczową rolę odgrywa analiza cyfrowych danych geofizycznych, do której wykorzystuje się zaawansowane oprogramowanie komputerowe. Uczelnie oraz instytuty badawcze PAN dysponują nowoczesnym oprogramowaniem do interpretacji danych geofizycznych, jednak barierą nadal pozostaje pozyskanie samych danych, niezbędnych do procesu edukacyjnego, jak i do prac *stricte* badawczych.

Zgodnie z ustawą Prawo geologiczne i górnicze z 2011 r. dane te stanowią własność Skarbu Państwa, a korzystanie z nich wymaga zawarcia odpłatnej umowy. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 2011 r. przewiduje wprawdzie znaczące ulgi dla jednostek edukacyjnych i badawczych, w tym obniżenie opłaty o 2% za każdy rok upływający od wykonania prac oraz następnie zniżkę 99,9% dla projektów badawczych finansowanych ze środków budżetowych i prac dyplomowych, jednak system ten wciąż generuje szereg istotnych utrudnień. Główne problemy obejmują wysokie koszty bazowe, przez co nawet po uwzględnieniu zniżek koszt udostępnienia danych do niewielkiego projektu badawczego bądź pracy magisterskiej czy doktorskiej sięga kilku–kilkudziesięciu tysięcy złotych, co nierzadko przewyższa możliwości finansowe uniwersytetów i instytutów badawczych. Dodatkowo archiwa pobierają odrębne opłaty za wyszukanie, przetworzenie i przygotowanie plików, które mogą znacznie przekroczyć koszt udostępnienia samych danych. Co więcej, wspomniana zniżka 99,9% przysługuje wyłącznie przy całkowitym finansowaniu ze środków publicznych, co sprawia, że w przypadku projektów współfinansowanych, takich jak granty NCBiR, w których wymagany jest udział finansowy partnera gospodarczego, koszty pozyskania danych rosną do ekstremalnych kwot idących w setki tysięcy do milionów złotych. Analiza zawartych umów na udostępnianie danych geofizycznych w postaci sejsmiki 2D i 3D wskazuje na wyraźną dysproporcję pomiędzy sektorem naukowym a podmiotami prywatnymi. W latach 2013–2024 podmioty naukowe ze względu na ograniczone możliwości finansowe zawarły umowy o łącznej wartości 110 597,42 zł, podczas gdy podmioty prywatne przeznaczyły na ten cel 37 264 838,17 zł. Tak znacząca różnica wskazuje na istotne bariery finansowe w dostępie środowiska naukowego do danych geofizycznych i może ograniczać możliwości prowadzenia badań oraz wykorzystania tych danych w pro-

cesie kształcenia. Jednocześnie pokazuje ona, że dostęp do wysokiej jakości danych geofizycznych jest w praktyce znacznie łatwiejszy dla podmiotów dysponujących odpowiednimi zasobami finansowymi niż dla instytucji naukowych, co może pogłębiać nierówności w możliwościach prowadzenia badań i rozwoju kompetencji w tym obszarze. System charakteryzuje się również sztywnymi ograniczeniami, pozwalając na wykorzystanie opłaconych danych wyłącznie do pojedynczego, konkretnego projektu, co zmusza do ponownych opłat przy kolejnych badaniach realizowanych w tej samej jednostce w oparciu o te same materiały. Znaczącym problemem jest też rozbudowana biurokracja przy udostępnianiu starszych informacji wycenianych na zero złotych, która wymaga pełnej, obciążającej obie strony procedury administracyjnej. Tworzy to swoisty paradoks budżetowy, w którym opłaty pokrywane z państwowych dotacji na naukę po przejściu szeregu procedur trafiają z powrotem do budżetu państwa. W kontrze do tych uwarunkowań można wskazać dobre praktyki z innych państw, takich jak Dania, Holandia, Norwegia czy Wielka Brytania, gdzie krajowe instytucje geologiczne i repozytoria łatwo i bezpłatnie udostępniają dane geofizyczne na potrzeby edukacji i badań, widząc w tym inwestycję o strategicznym znaczeniu.

Podsumowując, chociaż polskie procedury udostępniania informacji geologicznej są jasno sformułowane, to stanowią one w obecnym kształcie znaczącą barierę finansową dla jednostek akademickich i badawczych. Wzorem nowoczesnych europejskich rozwiązań autorzy stanowczo postulują wprowadzenie systemowych zwolnień z opłat za udostępnianie danych geofizycznych dla krajowego szkolnictwa wyższego i dla instytutów badawczych, co bezpośrednio podniosłoby standardy edukacyjne i stymulowało rozwój innowacyjnych badań w Polsce.

On the accessibility of geophysical data for education and research projects

In modern Earth sciences, the analysis of digital geophysical data plays a pivotal role, supported by advanced computer software. Universities and research institutes of the Polish Academy of Sciences (PAN) are equipped with state-of-the-art software for geophysical data interpretation; however, access to the data – essential for both educational processes and research activities – remains a major barrier.

Pursuant to the Geological and Mining Law of 2011, these data are the property of the State Treasury, and their use requires entering into a fee-based agreement. Although the Regulation of the Minister of the Environment of 2011 provides for significant exemptions for educational and research entities – including a 2% fee reduction for each year elapsed since the completion of the work, followed by a 99.9% discount for budget-funded research projects and thesis works – this system still generates a number of substantial difficulties.

The primary problems include high base costs: even after applying discounts the cost of acquiring data for a small research project, a master's thesis or doctoral dissertation amounts to several or even tens of thousands of PLN, which frequently exceeds the financial capabilities of universities and research institutes. Additionally archives charge separate fees for searching, processing, and preparing files, which can significantly exceed the cost of accessing the data itself. Furthermore, the aforementioned 99.9% discount applies exclusively to projects fully funded by public sources. Consequently, for co-funded projects – such as National Centre for Research and Development (NCBiR) grants, which require financial contribution from an industrial partner – data acquisition costs may increase substantially, reaching hundreds of thousands or even millions of PLN.

An analysis of concluded agreements for the provision of geophysical data in the form of 2D and 3D seismic surveys reveals a marked disparity between the academic sector and private entities. Between 2013 and 2024, due to limited financial resources, scientific entities entered into agreements with a total value of PLN 110,597.42, whereas private entities entered into agreements with a total value of PLN 37,264,838.17 for this purpose. Such a significant difference indicates substantial financial barriers hindering the academic community's access to geophysical data, which may restrict research capabilities and the utilization of these data in the educational process. At the same time it demonstrates that access to high-quality geophysical data is considerably easier for entities with adequate financial resources than for scientific institutions, potentially exacerbating inequalities in research opportunities and capacity building in this field.

The system also features rigid restrictions, permitting the use of paid data exclusively for a single, specific project, which forces institutions to pay repeatedly for subsequent research conducted within the same unit based on the same materials. Another significant issue is the extensive bureaucracy involved in releasing older information valued at zero PLN, which requires a full administrative procedure burdensome to both parties. This creates a peculiar budgetary paradox where fees covered by state science subsidies, after undergoing a series of procedures are ultimately returned to the state budget.

In contrast to these conditions, good practices can be observed in other countries, such as Denmark, the Netherlands, Norway, and the United Kingdom, where national geological surveys and repositories provide easy and free access to geophysical data for education and research, recognizing it as a strategic investment.

In summary, although Polish procedures for making geological information available are clearly defined, in their current form they constitute a significant financial barrier for academic and research entities. Following modern European practices the authors strongly advocate for systemic fee exemptions for providing geophysical data to domestic higher education institutions and research institutes. Such a solution would improve educational standards and stimulate innovative research in Poland.

KAROL DURKOWSKI[1], ANDRZEJ GŁUSZYŃSKI[2]

[1] *KGHM CUPRUM sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław*

[2] *Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa*

Tektonika południowo-wschodniej części synklinorium północnosudeckiego – SW Polska, synklina bolesławiecka

Przedmiotem badań jest budowa tektoniczna południowo-wschodniej części synklinorium północnosudeckiego, ze szczególnym uwzględnieniem synkliny bolesławieckiej. Analizowany obszar stanowi część złożonej struktury synklinalnej, której współczesny kształt jest wynikiem wieloetapowych procesów deformacyjnych. Basen synklinorium był wypełniany osadami od późnego karbonu do kredy, z przerwą sedymentacyjną od środkowego triasu do wczesnej kredy. Procesy tektoniczne orogenezy alpejskiej doprowadziły do rozwoju licznych zrębów, rowów oraz struktur typu półzrębów i półrowów.

Podstawę interpretacji stanowiły dane z 22 otworów wiertniczych oraz 23 profili sejsmicznych 2D wykonanych na obszarze synkliny bolesławieckiej. W analizie wykorzystano również około 6000 m rdzeni z 18 otworów, wyniki badań geofizyki otworowej oraz obserwacje struktur deformacyjnych w odsłonięciach, w tym w kamieniołomie „Podgrodzie". Wybrane profile sejsmiczne poddano reinterpretacji, a do analizy strukturalnej i rekonstrukcji rozwoju deformacji wykorzystano oprogramowanie Petrel i Move.

Interpretacja danych sejsmicznych i otworowych wykazała obecność zarówno struktur ekstensyjnych, reprezentowanych głównie przez uskoki normalne, jak i struktur kompresyjnych – uskoków odwróconych, nasunięć i fałdów. W otworach oraz w odsłonięciach stwierdzono także drobne uskoki, fałdy, pasma deformacyjne i strefy kataklazy. Struktury deformacyjne wskazują na rozciąganie w kierunku NW-SE. Największe natężenie deformacji występuje przy granicy badanej struktury z blokiem przedsudeckim i maleje w kierunku południowo-zachodnim.

Istotnym wynikiem badań jest rozpoznanie tektonicznych powtórzeń poziomów stratygraficznych, szczególnie utworów cechsztynu i triasu. Powtórzenia te potwierdzono na podstawie anomalnych miąższości i powtarzania się wydzielonych poziomów litostratygraficznych w otworach oraz danych sejsmicznych. Największym deformacjom uległy osady permu i triasu, natomiast osady późnej kredy są zdeformowane w znacznie mniejszym stopniu. W badanym obszarze dominują uskoki odwrócone i nasunięcia; wyróżniono dwa główne nasunięcia: N1 w części północnej i N2 w części południowej.

Analiza relacji przestrzennych struktur wskazuje na co najmniej dwa etapy deformacji. Wcześniejszy etap, przypisywany okresowi od środkowego triasu do wczesnej kredy, doprowadził do powstania struktur ekstensyjnych. Następnie rozwinęły się

struktury kompresyjne, związane z głównym etapem deformacji i inwersją basenu niemiecko-polskiego w kredzie. Wyniki badań wskazują zatem na złożoną, wieloetapową ewolucję tektoniczną synkliny bolesławieckiej, w której deformacje ekstensyjne zostały częściowo zastąpione przez deformacje kompresyjne.

Tectonics of the south-eastern part of the North-Sudectic Synclinorium – SW Poland, Bolesławiec syncline

The subject of the study is the tectonic architecture of the south-eastern part of the North Sudetic Synclinorium, with particular emphasis on the Bolesławiec syncline. The investigated area forms part of a complex synclinal structure whose present-day geometry is the result of multi-stage deformation processes. The synclinorium basin was filled with sediments from the Late Carboniferous to the Cretaceous, with a sedimentary hiatus from the Middle Triassic to the Early Cretaceous. Tectonic processes related to the Alpine orogeny led to the development of numerous horsts, grabens, as well as half-horst and half-graben structures.

The interpretation was based on data from 22 boreholes and 23 2D seismic profiles acquired within the Bolesławiec syncline. The analysis also included approximately 6000 m of core from 18 boreholes, borehole geophysical data, and observations of deformation structures in outcrops, including the "Podgrodzie" quarry. Selected seismic profiles were reinterpreted, while Petrel and Move software were used for structural analysis and reconstruction of the deformation history.

Interpretation of the seismic and borehole data revealed both extensional structures, represented mainly by normal faults, and compressional structures, including reverse faults, thrusts, and folds. Minor faults, folds, deformation bands, and cataclysm zones were also identified in boreholes and outcrops. The deformation structures indicate NW-SE extension. The highest intensity of deformation occurs along the boundary between the investigated structure and the Fore-Sudetic Block and decreases towards the south-west.

An important result of the study is the identification of tectonic repetitions of stratigraphic horizons, particularly within the Zechstein and Triassic successions. These repetitions were confirmed by anomalous thicknesses and the repetition of distinguished lithostratigraphic intervals in boreholes and by seismic data. The Permian and Triassic sediments underwent the greatest deformation, whereas the Late Cretaceous sediments are considerably less deformed. Reverse faults and thrusts dominate in the study area; two major thrusts were distinguished: N1 in the northern part and N2 in the southern part.

Analysis of the spatial relationships between the structures indicates at least two stages of deformation. The earlier stage, assigned to the period from the Middle

Triassic to the Early Cretaceous, resulted in the development of extensional structures. Subsequently, compressional structures developed, associated with the main stage of deformation and inversion of the German-Polish basin during the Cretaceous. The results therefore indicate a complex, multi-stage tectonic evolution of the Bolesławiec syncline, in which extensional deformation was partly overprinted by compressional deformation.

JOANNA FAJFER[1], MICHAŁ ROLKA[2]

[1] *Państwowy Instytut Geologiczny − Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa*
[2] *Państwowy Instytut Geologiczny − Państwowy Instytut Badawczy, Sosnowiec*

Uczenie maszynowe nadzorowane w procesie ocen środowiskowych i surowcowych hałd odpadów wydobywczych

Działalność wydobywcza prowadzona od XII w. przyczyniła się do wytwarzania dużych ilości odpadów, które były deponowane na hałdach i zwałowiskach. Obiekty te obecnie mogą stanowić cenny zasób surowców wtórnych do ponownego wykorzystania (co znajduje odzwierciedlenie również we wdrażanym modelu gospodarki o obiegu zamkniętym), ale też mogą potencjalnie negatywnie oddziaływać na poszczególne elementy środowiska, tj. na wody podziemne i powierzchniowe, powietrze, gleby czy szatę roślinną (w przypadku, gdy były budowane np. bez wymaganych obecnym prawodawstwem zabezpieczeń).

Ocena środowiskowa oraz surowcowa hałd i zwałowisk z wykorzystaniem obecnych metod badawczych jest procesem złożonym, długotrwałym i wymagającym oprócz wysokich nakładów finansowych także dobrego rozpoznania zarówno składu chemicznego deponowanych odpadów, jak również warunków geologicznych, hydrogeologicznych i hydrologicznych w ich rejonie. Alternatywną metodą dla wykonania procesu oceny obiektów może być zastosowanie algorytmów uczenia maszynowego nadzorowanego. Narzędzie to znajduje coraz szersze zastosowanie w zarządzaniu środowiskiem i gospodarce odpadami, a jego zaletą jest przetwarzanie dużych ilości złożonych, nieliniowych, wielowymiarowych zbiorów danych.

Do oceny środowiskowej i surowcowej obiektów wykorzystano algorytmy dostępne dla języka Python z biblioteki scikit-learn. Badania przeprowadzono na grupie obiektów reprezentujących hałdy i obiekty unieszkodliwiania odpadów wydobywczych po eksploatacji węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym i historycznej eksploatacji rud żelaza w rejonie częstochowskim. Każdy obiekt został opisany cechami (kategorycznymi, numerycznymi i opisowymi) przedstawiającymi szczegółowo wpływ obiektu na środowisko oraz jego potencjał surowcowy.

W wyniku zastosowania procesu uczenia na danych szkoleniowych i jego weryfikacji na danych testowych uzyskano wyniki predykcji na poziomie co najmniej 80% dla wszystkich badanych algorytmów w przypadku ocen środowiskowych. Przeprowadzone badania wskazują, że najlepszym algorytmem do określania wpływu hałd na środowisko naturalne byłby algorytm BernoulliNb (86% predykcji), a następnie RidgeClassifier (87% predykcji) – przy aktualnie dostępnym zbiorze danych uczących. Jego ewentualne rozszerzenie mogłoby wpłynąć na lepsze wyniki algorytmów MLPClassi-

fier, SVM i LogisticRegression. Natomiast przy ocenie potencjału surowcowego obiektów najbardziej zbliżonych do siebie wyników dla analizowanych obiektów dostarcza algorytm GaussianProcessClassifier (z grupy algorytmów GaussianProcessClassifier). Analizując indywidualnie każdą z grup obiektów, zaobserwowano, że dla obiektów górnictwa węgla kamiennego najlepsze wyniki predykcji otrzymano przy zastosowaniu algorytmu GaussianNB (75% predykcji), natomiast dla obiektów górnictwa rud żelaza – stosując algorytm GaussianProcessClassifier z wykorzystaniem algorytmów skalowania danych wejściowych (85% predykcji). Istotna była również obserwacja, że wyniki ulegały generalnie poprawie przy redukcji liczby cech opisujących obiekt (do określonego poziomu).

Problematyka uczenia maszynowego jest stosunkowo nowym narzędziem w tego typu ocenach, czego potwierdzeniem jest brak konkretnych rozwiązań z tej dziedziny w literaturze przedmiotu. Rozwój tego obszaru badań może przynieść wymierne korzyści środowiskowe, ekonomiczne i gospodarcze.

Badania sfinansowano ze środków przeznaczonych na działalność statutową PIG-PIB (Projekty: 61.3794.2300.00.0 i 61.4416.2400.00.0).

Supervised machine learning in the environmental and raw material assessment of mining waste heaps

Mining activities conducted since the 12th century have resulted in the generation of large quantities of waste, which was deposited in heaps and dumps. These sites can currently serve as a valuable source of secondary raw materials for reuse – a concept reflected in the implementation of the circular economy model – but they also pose potential risks to environmental components such as groundwater, surface water, air, soil, and vegetation (particularly if constructed without the safeguards required by current legislation).

Assessing the environmental and raw material potential of these heaps and dumps using conventional methods is a complex and time-consuming process; beyond requiring significant financial investment, it demands a thorough understanding of the deposited waste's chemical composition as well as the local geological, hydrogeological, and hydrological conditions. Alternatively, supervised machine learning algorithms offer a viable method for conducting such assessments. This tool is increasingly used in environmental management and waste management, offering the advantage of processing large, complex, non-linear, and multidimensional datasets.

Algorithms from the Python libraries scikit-learn and pandas were employed to assess the environmental and raw material characteristics of these sites. The study

was conducted on a group of sites comprising spoil heaps and mining waste disposal facilities resulting from hard coal mining in Upper Silesia Coal Basin and historical iron ore extraction in the Częstochowa region. Each site was characterized by attributes and features (categorical, numerical, and descriptive) detailing its environmental impact and raw material potential.

Following a training and testing process, prediction accuracy reached at least 80% for all algorithms evaluated in terms of environmental assessment. The results indicate that the BernoulliNB algorithm (86% accuracy) was the most effective for determining the environmental impact of spoil heaps, followed by RidgeClassifier (87% accuracy), based on the currently available training dataset. Expanding this dataset could potentially improve the performance of the MLPClassifier, SVM, and LogisticRegression algorithms. Regarding the assessment of raw material potential, the GaussianProcessClassifier algorithm yielded the most consistent results across the analyzed sites. A separate analysis of each site group revealed that the GaussianNB algorithm (75% accuracy) performed best for hard coal mining sites, whereas the GaussianProcessClassifier combined with input data scaling yielded the best results (85% accuracy) for iron ore mining sites. It was also observed that performance generally improved when the number of features describing the site was reduced (down to a certain level).

Machine learning is a relatively new tool in this type of assessment, as evidenced by the lack of specific solutions from this field in the relevant literature. Advancing research in this area could yield tangible environmental and economic benefits.

The research was funded by statutory funds allocated to PIG-PIB (Projects: 61.3794.2300.00.0 and 61.4416.2400.00.0).

GABRIELA FUKS[1], RADOSŁAW POMYKAŁA[1], DOROTA CZARNA-JUSZKIEWICZ[2]

[1] *AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków*

[2] *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*

Wpływ warunków aktywacji i dojrzewania na właściwości mechaniczne geopolimerów na bazie popiołu lotnego

Geopolimery są materiałami wiążącymi, które mogą stanowić alternatywę dla tradycyjnych spoiw cementowych. Ich synteza z wykorzystaniem popiołów lotnych umożliwia zagospodarowanie ubocznych produktów przemysłowych i wpisuje się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym. Proces geopolimeryzacji obejmuje rozpuszczanie faz glinokrzemianowych w środowisku alkalicznym, transport jonów krzemu i glinu oraz ich polikondensację w trójwymiarową strukturę żelową typu N-A-S-H, stanowiącą główną fazę wiążącą w tych materiałach. Właściwości otrzymanych materiałów zależą wyraźnie od składu aktywatora alkalicznego, proporcji składników oraz warunków dojrzewania.

Celem badań była ocena wpływu składu aktywatora alkalicznego i temperatury dojrzewania na właściwości mechaniczne oraz mikrostrukturę geopolimerów otrzymanych z wykorzystaniem popiołu lotnego jako prekursora glinokrzemianowego.

Mieszanki przygotowano z użyciem 10-molowego roztworu NaOH oraz szkła wodnego sodowego. Analizowano wpływ stosunku masowego NaOH do szkła wodnego oraz proporcji aktywatora do popiołu. Próbki pozostawiano w formach przez 24 godziny, a następnie poddawano obróbce termicznej w temperaturze 40°C, 60°C lub 80°C przez kolejne 24 godziny. Wytrzymałość na ściskanie i zginanie oznaczano po 7, 14, 21 i 28 dniach dojrzewania. Dodatkowo przeprowadzono obserwacje mikrostruktury z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM).

Wyniki wykazały, że wytrzymałość mechaniczna wzrastała wraz z czasem dojrzewania. Na uzyskane właściwości wpływały również skład aktywatora oraz temperatura obróbki termicznej. Najwyższe wartości wytrzymałości uzyskano dla wybranych mieszanek poddanych obróbce w podwyższonej temperaturze. Obserwacje SEM potwierdziły stopniowe tworzenie zwartej struktury żelowej, przy czym próbki o lepszych właściwościach mechanicznych charakteryzowały się bardziej jednorodną i zagęszczoną mikrostrukturą.

Badania potwierdzają możliwość wykorzystania popiołu lotnego krzemionkowego do otrzymywania geopolimerów o obiecujących właściwościach mechanicznych. Dzięki tym właściwościom stanowią one obiecującą alternatywę dla materiałów cementowych, znajdując zastosowanie m.in. w budownictwie. Odpowiedni dobór składu aktywatora i warunków dojrzewania ma istotne znaczenie dla kształtowania właściwości

tych materiałów i zwiększania potencjału wykorzystania ubocznych produktów przemysłowych w budownictwie.

Badania współfinansowane w ramach projektu NCBiR nr NTE3/0002/2024.

Effect of activation and curing conditions on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers

Geopolymers are binding materials that may offer an alternative to conventional cement-based binders. Their production using fly ash provides an opportunity to valorise industrial by-products and supports circular economy principles. The geopolymerization process involves the dissolution of aluminosilicate phases in an alkaline environment, the transport of silicon and aluminium ions, and their polycondensation into a three-dimensional N-A-S-H type gel structure, which constitutes the primary binding phase in these materials. However, the properties of the resulting materials depend on the alkaline activator composition, mixture proportions and curing conditions.

This study aimed to evaluate the influence of alkaline activator composition and curing temperature on the mechanical properties and microstructure of geopolymers produced using fly ash as an aluminosilicate precursor.

The mixtures were prepared using a 10 M NaOH solution and sodium silicate solution (water glass). The investigated parameters included the mass ratio of NaOH to water glass and the activator-to-fly ash ratio. The specimens were kept in moulds for 24 hours and subsequently thermally cured at 40°C, 60°C or 80°C for an additional 24 hours. Compressive and flexural strengths were measured after 7, 14, 21 and 28 days of curing. Scanning electron microscopy (SEM) was also used to examine the microstructure.

The results showed that mechanical strength increased with curing time. The activator composition and thermal curing temperature also influenced the material properties. The highest strength values were obtained for selected mixtures subjected to elevated curing temperatures. SEM observations confirmed the progressive formation of a compact geopolymeric gel structure. Specimens with better mechanical performance exhibited a more homogeneous and denser microstructure.

Research confirms the feasibility of using silicone fly ash to produce geopolymers with promising mechanical properties. Thanks to these properties, they represent a promising alternative to cement-based materials, finding applications in areas such as construction sector. The proper selection of the activator composition and curing conditions is crucial for tailoring the properties of these materials and enhancing the potential for utilizing industrial by-products in construction.

Research co-financed under NCBR project No. NTE3/0002/2024.

ANDRZEJ GAŁAŚ[1], METIN AKTAN[2]

[1] *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*
[2] *Ege Trade A.Ş., Türkiye*

Zmiany w przepływie surowców między Polską a Turcją – trendy i przyczyny

Zmiany na międzynarodowym rynku surowców mineralnych w odmienny sposób wpływają na gospodarki Polski i Turcji. Pandemia, a następnie agresja Rosji na Ukrainę oraz sankcje nałożone przez Unię Europejską, znacząco ograniczyły dostęp do szerokiej gamy surowców pochodzących ze Wschodu. Celem niniejszego opracowania jest ocena zmian w przepływie surowców między krajami utrzymującymi wieloletnie więzi gospodarcze.

Wychodząc z tych założeń, punktem wyjścia była analiza importu około 140 rodzajów surowców do Polski w ciągu ostatniej dekady (od 2014 roku). Analizę przeprowadzono w oparciu o bazę danych „Gospodarka Surowcami Mineralnymi", prowadzoną przez Pracownię Polityki Surowcowej w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk; gromadzi ona m.in. dane Głównego Urzędu Statystycznego dotyczące importu do Polski i eksportu z Polski wszelkich surowców mineralnych. Jako kluczowe dla Polski i Turcji wybrano dwanaście surowców charakteryzujących się znaczącym poziomem importu lub eksportu.

Turcja jest istotnym lub głównym dostawcą na rynek polski surowców skaleniowych, bentonitów, boksytów, pumeksu oraz koncentratów cynkowo-ołowiowych (Zn-Pb). W ostatnich latach Turcja stała się również dominującym źródłem dostaw sody kalcynowanej. Do niedawna była także głównym źródłem barytu. Kryzys międzynarodowy, obejmujący pandemię i późniejszą wojnę, wpłynął na strukturę dostaw surowców skaleniowych, które w ostatnich latach sprowadzano do Polski także z Ukrainy.

Polska eksportuje do Turcji miedź elektrolityczną, półprodukty ze złota, sadzę techniczną oraz – w ostatnich latach – żelazostopy. Spadek eksportu węgla kamiennego do Turcji wynika z ograniczeń produkcyjnych oraz kosztów wydobycia w Polsce.

Turcja od wielu lat stanowi istotny kierunek importu surowców mineralnych niezbędnych do produkcji szkła, ceramiki i materiałów ogniotrwałych. Wydaje się, że wieloletnie dobre relacje dwustronne powinny zostać wykorzystane do poszerzenia wzajemnej oferty surowcowej obu krajów. Biorąc pod uwagę również wcześniejsze analizy dotyczące polskich dostaw do Turcji, najbardziej obiecujący model wymiany opiera się na eksporcie tureckich surowców skalnych i surowców chemicznych w zamian za polskie rafinowane metale nieżelazne oraz powiązane wyroby hutnicze.

Changes in the flow of raw materials between Poland and Türkiye, trends and causes

Changes in the international mineral resources market are impacting the economies of Poland and Türkiye in different ways. The pandemic, followed by Russia's aggression against Ukraine and the sanctions imposed by the European Union, have significantly restricted access to a wide range of raw materials from the East. The aim of this study was to assess changes in the flow of raw materials between countries with long-standing economic ties.

With these objectives in mind, the starting point was to analyze the imports of approximately 140 raw materials to Poland over the last decade (since 2014). This analysis was conducted using the Mineral Resources Management Database, continuously maintained by the Division of Mineral Policy at the Institute of Mineral Resources and Energy Management of the Polish Academy of Sciences, which collects, among other things, data from the Central Statistical Office on imports to and exports from Poland of all mineral raw materials. Twelve raw materials with significant import or export levels were selected as key raw materials for Poland and Türkiye.

Türkiye significantly or predominantly supplies the Polish market with feldspar raw materials, bentonites, bauxites, pumice, and Zn-Pb concentrates. In recent years, Türkiye has also become the dominant source of soda ash. Until recently, it was also the main source of barite. The international crisis, including the pandemic and subsequent war, has altered the supply of feldspar raw materials, which in recent years have been imported to Poland also from Ukraine.

Poland exports electrolytic copper, semi-finished gold products, carbon black and, in recent years, ferroalloys to Türkiye. The decline in hard coal exports to Türkiye is a consequence of production constraints and mining costs in Poland.

For many years, Türkiye has been a significant import destination for mineral resources essential for the production of glass, ceramics, and refractory materials. It seems that the long-standing good bilateral relations should be leveraged to expand the mutual raw material offerings of both countries. When considered together with the previously examined Polish supplies to Türkiye, the most promising reciprocal structure is Turkish industrial minerals and chemical raw materials exchanged for Polish refined non-ferrous metals and associated metallurgical products.

Literatura/References

Lewicka E., Szlugaj J. (red.), Burkowicz A., Figarska-Warchoł B., Galos K., Gałaś A., Guzik K., Kamyk J., Kot-Niewiadomska A. 2025. Gospodarka surowcami mineralnymi w Polsce w latach 2015–2024. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.

World Bank. 2026. World Integrated Trade Solution: UN Comtrade bilateral trade data [Data set]. [Online:] https://wits.worldbank.org/.

SLÁVKA GAŁAŚ[1], ANDRZEJ GAŁAŚ[2], ALICJA KOT-NIEWIADOMSKA[2]

[1] *AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków*
[2] *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*

Tereny górnicze i pogórnicze jako krajobrazy priorytetowe: między ochroną dziedzictwa a racjonalną gospodarką złożami kopalin

Audyt krajobrazowy jest regionalnym dokumentem diagnostyczno-kierunkowym, służącym identyfikacji, charakterystyce i ocenie krajobrazów oraz wskazaniu krajobrazów priorytetowych, szczególnie cennych dla społeczeństwa. Celem pracy jest ocena sposobu ujmowania terenów górniczych i pogórniczych w audytach krajobrazowych oraz znaczenia objęcia ich statusem krajobrazu priorytetowego dla ochrony i kształtowania krajobrazu, zagospodarowania terenów poeksploatacyjnych, planowania przestrzennego oraz racjonalnej gospodarki złożami kopalin.

Badania objęły analizę podstaw prawnych i metodyki audytu, klasyfikacji krajobrazów górniczych oraz wyników audytów województw: śląskiego, dolnośląskiego i podkarpackiego. Szczególną uwagę poświęcono rekomendacjom i wnioskom sformułowanym dla krajobrazów priorytetowych oraz ich relacji z aktami planowania przestrzennego. Jako studium przypadku przyjęto krajobraz priorytetowy Sadowa Góra, reprezentujący teren zakończonej wielkopowierzchniowej eksploatacji odkrywkowej.

Klasyfikacja audytowa wyróżnia cztery podtypy krajobrazów górniczych: tereny czynnej i zakończonej wielkopowierzchniowej eksploatacji odkrywkowej oraz tereny czynnej i zakończonej eksploatacji podziemnej. W województwie śląskim zidentyfikowano 59 krajobrazów górniczych, z których pięć uznano za priorytetowe. Wyniki potwierdzają, że krajobraz przekształcony przez działalność wydobywczą nie jest z definicji pozbawiony wartości. O jego szczególnym znaczeniu mogą decydować czytelne formy poeksploatacyjne, odsłonięcia geologiczne, niepowtarzalna rzeźba, relikty infrastruktury, świadectwa historii techniki i pracy, a także pełnione przez te obszary funkcje naukowe, edukacyjne, muzealne, rekreacyjne i geoturystyczne.

Status krajobrazu priorytetowego wiąże się z określeniem zasad jego ochrony i kształtowania, które są następnie uwzględniane w systemie planowania przestrzennego i zarządzaniu formami ochrony przyrody. Analiza ujawniła jednak możliwość powstania konfliktu między ochroną wartości krajobrazowych a zapewnieniem dostępu do udokumentowanych złóż, w tym złóż zagospodarowanych, zwłaszcza gdy rekomendacje odnoszą się do nowych przedsięwzięć wydobywczych. Uzasadnia to potrzebę uwzględniania zasad racjonalnej gospodarki złożami w procesach planistycznych i ochronnych.

W odniesieniu do terenów pogórniczych zasadne jest traktowanie form poeksploatacyjnych jako elementu dziedzictwa górniczego, zachowanie wybranych odsłonięć

i elementów rzeźby oraz rozwijanie funkcji społeczno-gospodarczych, w tym geoedukacyjnych i turystycznych. W przypadku czynnego górnictwa zasadne jest etapowanie przekształceń, ograniczanie oddziaływań, prowadzenie rekultywacji równolegle z eksploatacją oraz wcześniejsze określenie docelowego krajobrazu. Audyt krajobrazowy powinien wspierać nie tylko ochronę, lecz także świadomą transformację obszarów górniczych i pogórniczych, łącząc zachowanie dziedzictwa z bezpieczeństwem surowcowym i nowymi funkcjami społecznymi.

Publikacja finansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Nauka dla Rozwoju Społeczeństwa", nr projektu NdRS/SP/0149/2025/01.

Mining and post-mining areas as priority landscapes: between heritage conservation and rational mineral deposit management

A landscape audit is a regional diagnostic and policy-oriented document used to identify, characterise and assess landscapes, as well as to designate priority landscapes considered to be of particular value to society. This study aims to assess how mining and post-mining areas are addressed in landscape audits and to examine the implications of their designation as priority landscapes for landscape protection and management, post-mining land development, spatial planning, and the rational management of mineral deposits.

The research included an analysis of the legal framework and methodology of landscape audits, the classification of mining landscapes, and the audit results for the Śląskie, Dolnośląskie and Podkarpackie Voivodships. Particular attention was given to the recommendations and conclusions formulated for priority landscapes and their relationship with spatial planning acts. The Sadowa Góra priority landscape, representing an area of completed large-scale open-pit mining, was selected as a case study.

The landscape audit classification distinguishes four subtypes of mining landscapes: areas of active and completed large-scale open-pit mining, and areas of active and completed underground mining. In the Śląskie Voivodship, 59 mining landscapes were identified, five of which were designated as priority landscapes. The results confirm that landscapes transformed by mining activities are not inherently devoid of value. Their particular significance may derive from clearly visible post-mining landforms, geological exposures, distinctive relief, remnants of mining infrastructure, evidence of the history of technology and labour, as well as the scientific, educational, museum, recreational and geotourism functions performed by these areas.

Priority landscape status entails the establishment of principles for landscape protection and management, which are subsequently taken into account within the

spatial planning system and in the management of nature conservation areas. The analysis nevertheless revealed the potential for conflict between the protection of landscape values and safeguarding access to documented mineral deposits, including deposits already under development, particularly where recommendations concern new mining projects. This demonstrates the need to incorporate the principles of rational mineral deposit management into spatial planning and conservation processes.

With regard to post-mining areas, post-extraction landforms should be regarded as elements of mining heritage. Selected geological exposures and landform features should be preserved, while new socio-economic functions, including geoeducational and tourism purposes, should be developed. In the case of active mining, landscape transformation should be phased, environmental and landscape impacts should be minimised, reclamation should be undertaken concurrently with extraction, and the intended post-mining landscape should be defined at an early stage. Landscape audits should therefore support not only landscape protection, but also the deliberate transformation of mining and post-mining areas by combining heritage conservation, raw materials security and new social functions.

This publication was financed from the state budget under the programme of the Minister of Science and Higher Education entitled “Science for the Development of Society”, project no. NdRS/SP/0149/2025/01.

MACIEJ GODYCKI-ĆWIRKO[1], EDYTA SERMET[2]

[1] *GeoGod Maciej Godycki-Ćwirko, Lublin*

[2] *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*

Gospodarka złożami kamieni łamanych i blocznych na Roztoczu na przykładzie mioceńskich wapieni organodetrytycznych

W pracy przedstawiono uwarunkowania geologiczne, historyczne oraz gospodarcze eksploatacji mioceńskich wapieni organodetrytycznych w rejonie Józefowa na Roztoczu Środkowym. Uwzględniono ich wykorzystanie jako kamieni łamanych i blocznych. Zwrócono uwagę na rozwój miejscowego górnictwa skalnego oraz kamieniarstwa, których tradycja sięga co najmniej XVIII w. Wskazano na związek pozyskiwania surowca skalnego z lokalnym budownictwem, rzemieślnictwem i szeroko rozumianym krajobrazem kulturowym. Kamieniołomy józefowskie przedstawiono jako obiekty, w których współczesna działalność wydobywcza współistnieje ze świadectwami wielowiekowego użytkowania zasobów kamieni łamanych i blocznych.

Scharakteryzowano budowę geologiczną rejonu pozyskiwania kamienia oraz cechy litologiczne wapieni litotamniowych i organogenicznych, wapieni detrytycznych, które powstały w środowisku ciepłego i płytkiego morza Paratetydy. Zwrócono uwagę na znaczenie szczątków krasnorostów, małży, ślimaków, mszywiołów, jeżowców i otwornic jako świadectw powstawania tych osadów. Opis geologiczny powiązano z zagadnieniami użytkowania kopaliny, podkreślając znaczenie rozpoznania jego właściwości kluczowych dla sposobu wydobycia i kierunku wykorzystania pozyskiwanego surowca. Przedstawiono także współczesną działalność miejscowych przedsiębiorców górniczych, która obejmuje zarówno eksploatację na skalę przemysłową, jak również wydobycie prowadzone w mniejszych zakładach górniczych. Działalność ta jest ukierunkowana na pozyskiwanie kamienia łamanego i blocznego do wytwarzania elementów budowlanych oraz jako surowiec rzeźbiarski. Przedstawiono gospodarkę złożami jako zagadnienie łączące wiedzę geologiczną i górniczą z odniesieniem do wielowiekowej tradycji kamieniarskiej regionu.

Omówiono również pozagospodarcze znaczenie kamieniołomów, wynikające z ich wartości geologicznych, krajobrazowych, przyrodniczych, historycznych i kulturowych. Udokumentowane odsłonięcia wapieni umożliwiają obserwację zróżnicowanej budowy geologicznej skał i ich wykształcenia litologicznego. Wskazano potencjał wykorzystania wybranych obiektów jako stanowisk edukacyjnych i geoturystycznych, służących popularyzacji wiedzy o geologii oraz historii górnictwa kamiennego na Roztoczu.

W pracy podkreśla się potrzebę łączenia wiedzy geologicznej z techniczną wiedzą górniczą oraz z aspektami ochrony dziedzictwa historycznego i ochrony środowiska

w planowaniu racjonalnej gospodarki złożami. Przykład józefowskich kamieniołomów ukazuje interdyscyplinarny charakter obszarów eksploatacji wapieni organodetrytycznych, których znaczenie obejmuje zarówno dostarczanie surowca budowlanego, jak i utrwalanie wiedzy o historii geologicznej regionu oraz jego szczególnych tradycjach górniczych.

Management of crushed and dimension stone deposits in the Roztocze region: a case study of Miocene organodetrital limestones

This study examines the geological, historical and economic conditions of Miocene organodetrital limestone extraction in the Józefów area of Central Roztocze, including the use of these rocks as a crushed and dimension stone. It discusses the development of local stone quarrying and stonemasonry, whose traditions date back at least to the eighteenth century. The relationship between stone extraction, local construction, craftsmanship and the wider cultural landscape is highlighted. The Józefów quarries are presented as sites where contemporary extraction coexists with evidence of centuries of stone resource use.

The geology of the quarrying area and the lithological characteristics of lithothamnian, organogenic and detrital limestones are described. These rocks formed in the warm, shallow waters of the Paratethys Sea. Particular attention is paid to fossil remains of red algae, bivalves, gastropods, bryozoans, sea urchins and foraminifera as evidence of the processes that formed these deposits. The geological description is linked to the practical use of the mineral resource, emphasising the importance of identifying the properties that determine extraction methods and the intended uses of the stone. The study discusses the current activities of local quarry operators, encompassing both industrial-scale extraction and operations in smaller quarries. These activities focus on extracting building stone and stone blocks for the production of construction elements and for use in sculpture. Mineral deposit management is presented as a field that combines geological and mining expertise with the region's centuries-old stonemasonry tradition.

The study also explores the significance of the quarries beyond their economic role, considering their geological, landscape, ecological, historical and cultural value. Documented limestone exposures provide opportunities to examine the local geology and the lithological variability of the rocks. The potential of selected sites for education and geotourism is highlighted as a mean of promoting knowledge of the geology and history of stone quarrying in Roztocze.

The Authors emphasise the need to integrate geological knowledge and mining engineering expertise with historical heritage conservation and environmental protection

when planning the sound management of mineral deposits. The Józefów quarries illustrate the interdisciplinary nature of organodetrital limestone extraction sites, whose significance encompasses both the supply of construction materials and the preservation of knowledge about the region's geological history and distinctive quarrying traditions.

MACIEJ GODYCKI-ĆWIRKO[1], EDYTA SERMET[2]

[1] *GeoGod Maciej Godycki-Ćwirko, Lublin*

[2] *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*

Ślady dawnego kamieniarstwa w Senderkach

Przedstawiono geologiczne i historyczne uwarunkowania podziemnej eksploatacji piaskowca kwarcowego w Senderkach na Roztoczu Środkowym. Pozostałości dawnych wyrobisk górniczych ukazano jako świadectwo wykorzystania miejscowych zasobów geologicznych oraz rozwój tradycji górniczej. Poświęcono uwagę związkom między właściwościami eksploatowanych skał na potrzeby wytwarzania kamieni młyńskich i browarniczych a sposobami ich pozyskiwania.

Scharakteryzowano mioceńskie piaskowce kwarcowe występujące w obrębie Góry Hołdy, których znacząca zwięzłość i odporność na ścieranie przyczyniały się do ich wykorzystania do wyrobu kamieni młyńskich, browarniczych i żarnowych. Omówiono znaczenie wykształcenia skał dla wyboru sposobu i poziomu eksploatacji w celu pozyskania bloków skalnych o wymiarach umożliwiających ich docelowe wykorzystanie. Podziemna eksploatacja, umożliwiona poprzez udostępnienie sztolni kierunkowo wykonanymi upadowymi, przedstawiona jest jako przykład dostosowania techniki górniczej do warunków geologicznych występowania złoża. Liczne upadowe do sztolni ze szczątkowo zachowanymi wlotami do podziemnych wyrobisk eksploatacyjnych stanowią materialny zapis sztuki górniczej rozwijanej w tym regionie od stuleci.

Działalność wydobywcza w Senderkach została przedstawiona na tle tradycji użytkowania surowców skalnych Roztocza, gdzie górnictwo i związane z nim rzemiosło współtworzyły ważny aspekt rozwoju gospodarczego regionu. Pozostałości tej działalności są wyraźnym świadectwem zarówno dawnego zagospodarowania zasobów geologicznych, jak i historii górnictwa połączonej z życiem codziennym mieszkańców Roztocza. Podkreślono znaczenie „sztolni w Senderkach" jako elementu dziedzictwa górniczego, geologicznego i kulturowego. Wskazano ich wartość dla badań nad historią miejscowego górnictwa oraz potencjał edukacyjny, który może wskazać kierunki dla wyjaśnienia związków między budową geologiczną, rozwojem techniki górniczej i rozkwitem gospodarczym Roztocza.

Badania sfinansowane z subwencji przyznanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz częściowo wsparte w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" w AGH.

The study presents the geological and historical factors underlying the underground extraction of quartz sandstone in Senderki in the Central Roztocze region. The remains of former mine workings are discussed as evidence of the use of local geological resources and the development of mining traditions. Particular attention is paid to the relationship between the properties of the rocks used to manufacture millstones and brewing stones and the methods employed to extract them.

The Miocene quartz sandstones occurring within Hołda Hill are characterised by their considerable compactness and resistance to abrasion, which favoured their use in the manufacture of millstones, brewing stones and quern stones. The influence of rock characteristics on the choice of mining methods and extraction levels is discussed in relation to obtaining stone blocks of dimensions suitable for their intended use. Underground extraction, with access to the workings provided by inclined entrances driven in selected directions, is presented as an example of adapting mining techniques to the geological conditions of the deposit. Numerous inclined access workings, with partially preserved entrances to underground extraction chambers, constitute a tangible record of the mining practices developed in this region over centuries.

Mining activity in Senderki is considered against the broader tradition of using the stone resources of Roztocze, where mining and associated crafts contributed substantially to the region's economic development. The surviving remains bear clear witness both to the historical utilisation of geological resources and to the links between mining and the everyday lives of local inhabitants. The significance of the "Senderki adits" as part of the region's mining, geological and cultural heritage is emphasised. Their value for research into the history of local mining is highlighted, along with their educational potential for explaining the relationships between geological structure, the development of mining techniques, and the economic growth of Roztocze.

This research was funded by a grant awarded to the Stanisław Staszic AGH University of Science and Technology in Kraków by the Ministry of Science and Higher Education, and was partly supported under the 'Initiative of Excellence – Research University' programme at AGH.

KATARZYNA GUZIK, ALICJA KOT-NIEWIADOMSKA, JAROSŁAW KAMYK,
EWA LEWICKA, JAROSŁAW SZLUGAJ

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

Alternatywne źródła surowców mineralnych dla polskiej gospodarki

W zależności od stopnia przetworzenia, parametrów jakościowych i możliwości gospodarczego wykorzystania wyróżnić można co najmniej kilkadziesiąt różnych grup surowcowych wykorzystywanych w polskiej gospodarce. W praktyce daje to ponad 150 surowców mineralnych. Ważnym ich źródłem jest rodzima produkcja bazująca na wydobyciu ze złóż kopalin. Krajowa baza zasobowa nie jest jednak wystarczająco duża, aby zaspokoić w całości zapotrzebowanie na surowcowe mineralne i zapewnić bezpieczeństwo surowcowe Polski. W przypadku wielu surowców, w tym w szczególności metalicznych, udział importu w krajowym zużyciu sięga nawet 100%. Są wśród nich zarówno surowce kluczowe dla obronności (np. aluminium, beryl, gal, german, tytan, wolfram), jak też niezbędne dla przeprowadzenia transformacji energetycznej i rozwoju nowoczesnych technologii (np. krzem metaliczny, pierwiastki ziem rzadkich, kobalt, grafit, lit, platynowce, niob). Znaczny udział surowców importowanych notowany jest również dla niektórych surowców energetycznych oraz niemetalicznych. W przypadku tych ostatnich w całości sprowadzane są do Polski m.in.: baryt, bentonity surowe, fosforyty i apatyty, fosfor, grafit naturalny, magnezyty, magnezje prażone i topione, sole potasowe. Importujemy również wysokie gatunki surowców, których nie jesteśmy w stanie uzyskać w związku z relatywnie niższą jakością kopaliny pozyskiwanej z krajowych złóż. Należą do nich m.in. surowce skaleniowe, iły ceramiczne, diatomity, kwarcyty przemysłowe.

W grupie surowców niemetalicznych istotne znaczenie mają gips syntetyczny oraz siarka odzyskiwana w procesach przemysłowych. Gips syntetyczny powstaje w kilkunastu krajowych elektrowniach i elektrociepłowniach w procesie odsiarczania spalin metodą mokrą wapienną, stanowiąc ważne źródło zaopatrzenia przemysłu materiałów budowlanych. Z kolei siarka pozyskiwana jest przede wszystkim w procesach odsiarczania węglowodorów, uzupełniając krajową produkcję siarki rodzimej.

Wśród surowców metalicznych szczególną rolę odgrywają aluminium, cynk, ołów i miedź, w przypadku których surowce wtórne i odpadowe stanowią istotny składnik bazy surowcowej krajowego przemysłu. Produkcja aluminium, zwłaszcza stopowego, opiera się w znacznej mierze na recyklingu złomu i odpadów zawierających ten metal. W przypadku cynku metalicznego ważnym źródłem są koncentraty cynkowo-ołowiowe otrzymywane z odpadów poflotacyjnych, a także pyły stalownicze i szlamy metalurgiczne. Produkcja ołowiu rafinowanego bazuje natomiast w całości na surowcach wtórnych i odpadowych, przede wszystkim złomie akumulatorowym oraz odpadach

hutniczych. Odmienna sytuacja występuje w przypadku miedzi rafinowanej, której produkcja opiera się głównie na surowcach pierwotnych, uzupełnianych złomem miedzi, którego udział we wsadzie do produkcji miedzi sięgał w ostatnich latach około 20%. Znaczenie recyklingu miedzi może wzrosnąć w związku z planowaną realizacją projektu Zintegrowanej Huty Recyklingowej Legnica, zakwalifikowanego w 2026 r. przez Komisję Europejską jako projekt strategiczny.

Odrębną grupę stanowią odpady pochodzące z wydobycia i przeróbki kopalin, które mogą być wykorzystywane jako źródło surowców skalnych. Przykładem są odpady z górnictwa i przeróbki węgla kamiennego, których możliwości zagospodarowania, m.in. w budownictwie i robotach inżynieryjnych, zależą od ich właściwości fizycznych, mechanicznych i środowiskowych.

Przedstawione przykłady wskazują na zróżnicowane znaczenie alternatywnych źródeł surowców mineralnych w Polsce. Niektóre stanowią podstawę krajowej produkcji, podczas gdy inne są jedynie jej uzupełnieniem. Zwiększenie ich wykorzystania może przyczynić się do ograniczenia zapotrzebowania na surowce pierwotne i zmniejszenia zależności od importu, jednak nie eliminuje konieczności dalszego pozyskiwania surowców ze złóż kopalin.

Istotnym kierunkiem rozwoju wykorzystania wtórnych źródeł surowców mineralnych będzie odzysk surowców z produktów i instalacji wycofywanych z użytkowania, w szczególności akumulatorów litowo-jonowych, pojazdów elektrycznych, turbin wiatrowych oraz paneli fotowoltaicznych. Szczególne znaczenie ma recykling akumulatorów litowo-jonowych, umożliwiający odzysk m.in. litu, niklu, kobaltu, manganu i grafitu z tzw. czarnej masy. Pomimo opracowania technologii odzysku części tych surowców wyzwaniem pozostaje zwiększenie efektywności procesów, zwłaszcza w przypadku litu i grafitu, oraz zapewnienie ich opłacalności ekonomicznej. Z kolei panele fotowoltaiczne i turbiny wiatrowe stanowią potencjalne źródło m.in. srebra, krzemu, galu i pierwiastków ziem rzadkich. Znaczenie tych źródeł dla bezpieczeństwa surowcowego będzie zależało nie tylko od rozwoju technologii odzysku, ale również od dostępności strumieni odpadów, efektywności ich zbiórki oraz możliwości przemysłowego wykorzystania odzyskanych surowców.

Alternative sources of mineral raw materials for the Polish economy

Depending on the degree of processing, quality parameters, and possibilities of application, at least several dozen various groups of raw materials utilized in the Polish economy can be distinguished. In practice, this gives over 150 different mineral raw materials. Domestic production based on the extraction of mineral deposits constitutes a significant source of these mineral raw materials supplies. However, the national resource base is insufficient to meet the total demand for mineral raw materials and

ensure Poland's raw material security. For many raw materials – particularly metallic ones – imports account for up to 100% of domestic consumption. These include raw materials crucial for national defence (e.g., aluminium, beryllium, gallium, germanium, titanium, tungsten) as well as those essential for the energy transition and the development of modern technologies (e.g., silicon metal, rare earth elements, cobalt, graphite, lithium, platinum-group metals, niobium). A significant share of imports is also reported for certain energy and non-metallic raw materials. Regarding the latter, Poland relies entirely on deliveries of mineral commodities such as barite, raw bentonites, phosphorite and apatite, phosphorus, natural graphite, magnesites and calcined/fused magnesia, as well as potassium salts. Imported from abroad are also high-grade raw materials that cannot be obtained domestically due to the relatively lower quality of minerals extracted from local deposits. These include e.g. feldspar raw materials, ceramic clays, diatomite and industrial quartzites.

Synthetic gypsum and sulphur recovered during industrial processes are of significant importance among non-metallic raw materials. Synthetic gypsum is produced at over a dozen domestic power and heat-and-power plants, using the wet limestone flue-gas desulfurization method, constitute an important supply source for the construction materials industry. On the other hand, sulphur is obtained primarily through hydrocarbon desulfurization processes, supplementing domestic production of native sulphur.

Among metallic raw materials, aluminium, zinc, lead, and copper are of a particular importance. In case of these metals, secondary and waste raw materials constitute a significant component of the domestic industry's raw materials supply base. The production of aluminium production, particularly the alloys one, relies heavily on recycling scrap and waste containing the metal. In case of metallic zinc, important sources include zinc-lead concentrates derived from flotation tailings, as well as steelmaking dust and metallurgical sludges. In contrast, the production of refined lead relies entirely on secondary raw materials and waste, including primarily battery scrap and metallurgical waste. The situation differs for refined copper, the production of which is based mainly on mineral raw materials obtained from primary sources supplemented by copper scrap. In recent years, the latter has accounted for approximately 20% of the total raw material input for the refined copper production. The importance of copper recycling may increase due to planned implementation of the Integrated Recycling Smelter project in Legnica, which was designated as a strategic project by the European Commission in 2026.

Other group of waste raw materials constitute a waste material derived from mineral raw materials extraction and processing, which can be utilized as sources of rock raw materials. Examples include waste from hard coal mining and processing in case of which the potential for utilizing, for instance in construction and civil engineering, depends on the physical and mechanical properties as well as environmental features.

The examples presented in the text indicate varying significance of alternative mineral raw material sources in Poland. For some raw materials, they constitute

the basis of domestic production, whereas for others, they supplement it. Increasing their use can help reduce the demand for primary raw materials and lower import dependency. However, it does not eliminate the need to continue sourcing raw materials from mineral deposits.

A significant chance for secondary mineral resources development will be the recovery of raw materials from end-of-life products and installations, particularly lithium-ion batteries, electric vehicles, wind turbines, and photovoltaic panels. Recycling lithium-ion batteries is particularly important, enabling the recovery of lithium, nickel, cobalt, manganese, and graphite from the so-called black mass. Despite the development of technologies for the recovery of some of these raw materials, increasing process efficiency, especially in the case of lithium and graphite, and ensuring their economic viability remains a challenge. Photovoltaic panels and wind turbines, in turn, represent a potential source of e.g. silver, silicon, gallium, and rare earth elements. The importance of these sources for raw material security will depend not only on the development of recovery technologies but also on the availability of waste streams, the efficiency of their collection, and the potential for industrial use of recovered raw materials.

JERZY HADRO, JANUSZ JURECZKA, JAROSŁAW ZACHARSKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Sosnowiec

Propozycja stopniowego wprowadzenia międzynarodowych standardów klasyfikowania zasobów (UNFC, CRIRSCO/JORC) do polskiego systemu dokumentowania złóż kopalin stałych

Dyskusja nad dostosowaniem polskiej klasyfikacji zasobów złóż kopalin do standardów międzynarodowych trwa od lat 90. XX w. Dotychczasowe krajowe działania miały jednak głównie charakter teoretyczny. Jedyną dotąd próbą wdrożenia konkretnych zmian legislacyjnych były rekomendacje PIG-PIB dla złóż węglowodorów. Korzyści z wprowadzenia jednolitych standardów są bezsporne: ułatwiają inwestorom górniczym pozyskiwanie finansowania oraz godzą interesy administracji geologicznej, giełd, inwestorów i społeczeństwa. Jednak kluczowym impulsem prawnym stało się unijne rozporządzenie Critical Raw Materials Act (CRMA), które obliguje państwa członkowskie do wdrożenia klasyfikacji UNFC.

Odpowiedzią na te wyzwania jest realizowany obecnie przez PIG-PIB w ramach zadań PSG projekt pn. „Wytyczne stosowania międzynarodowych klasyfikacji zasobów – UNFC, CRIRSCO/JORC w dokumentacjach geologicznych i projektach zagospodarowania złóż". Głównym celem projektu jest propozycja stosownych zmian przepisów umożliwiających wprowadzenie standardów międzynarodowych w dokumentacjach geologicznych i projektach zagospodarowania złóż kopalin stałych.

Dotychczasowe próby integracji systemów wykazywania zasobów, skupione na bezpośredniej harmonizacji polskiej klasyfikacji z UNFC, JORC czy PRMS, okazywały się nieskuteczne z powodu istotnych różnic w architekturze tych systemów i filozofii ich funkcjonowania. Polska klasyfikacja urzędowo narzuca kategorie rozpoznania i kryteria bilansowości, podczas gdy standardy międzynarodowe kładą nacisk na rynkową wykonalność komercyjną oraz czynniki środowiskowe, społeczne i związane z ładem korporacyjnym (ESG – Environmental, Social, and Governance). Próba ich mechanicznego połączenia prowadzi do zatarcia unikalnych cech obu systemów i utraty ich pierwotnej funkcjonalności.

Doświadczenia państw, które historycznie opierały się na post-radzieckim systemie dokumentowania zasobów kopalin stałych, takich jak Kazachstan, Ukraina, Węgry, kraje bałtyckie i bałkańskie, pokazują, że sukces wdrożeniowy wymaga elastyczności oraz jasnego rozdzielenia roli państwa od rynku. W konsekwencji w realizowanym projekcie zrezygnowano z koncepcji harmonizacji na rzecz podejścia opartego na równoległym wykazywaniu zasobów. Najważniejszym celem zadania jest zatem stworzenie metodyki niezależnego dokumentowania i wykazywania według obu systemów jednocześnie.

Projekt jest pomyślany jako pierwszy etap długoterminowej strategii wprowadzania standardów międzynarodowych w Polsce. W wymiarze strategicznym zakłada się dwa alternatywne, docelowe warianty: pełną harmonizację ze stworzeniem obowiązujących dokumentów pomostowych lub całkowite zastąpienie istniejącego systemu krajowego przez klasyfikację UNFC. Kluczowym wyzwaniem wdrożeniowym pozostaje problem okresu przejściowego. Wymaga on zapewnienia ciągłości działania administracji państwowej i ochrony prawnej już udokumentowanych złóż, co także zostanie uwzględnione w realizowanym projekcie.

A proposal for the phased introduction of international resource classification standards (UNFC, CRIRSCO/JORC) into the Polish solid mineral resource reporting system

The debate on integrating the Polish mineral resource classification system with international standards has been ongoing since the 1990s. However, domestic efforts to date have been primarily theoretical in nature. The only attempt so far to implement concrete legislative changes involved recommendations made by the PIG-PIB regarding hydrocarbon deposits. The benefits of introducing uniform standards are indisputable: they facilitate securing finance for mining companies, while aligning the interests of geological administration, stock exchanges, investors, and local communities. However, the key legal driver has been the EU's Critical Raw Materials Act (CRMA), which mandates member states to implement the UNFC classification system.

In response to these challenges the PIG-PIB is currently implementing a project entitled "Guidelines for the application of international resource classifications – UNFC, CRIRSCO/JORC – in the deposit geological report and the deposit development plan," as part of its State Geological Survey (PSG) mandate. The project's primary objective is to propose regulatory amendments that would enable the adoption of international standards within the Deposit Geological Report and the Deposit Development Plan for solid mineral deposits.

Previous attempts to integrate these systems, focusing on the direct harmonization of the Polish classification with UNFC, JORC, or PRMS, have proven unsuccessful. This is due to fundamental differences in the architecture and operational philosophy of these systems. The Polish classification system mandates specific categories of geological assurance and criteria for economic viability, whereas international standards emphasize market-based commercial feasibility and environmental, social, and governance (ESG) factors. Attempting a mechanical merger of such divergent philosophies obscures the unique characteristics of both systems and diminishes their original functionality.

The experiences of countries that historically relied on the post-Soviet system for documenting solid mineral resources, such as Kazakhstan, Ukraine, Hungary, and the Baltic and Balkan states, demonstrate that success depends on system flexibility and a clear separation of state and market roles. Consequently, the project has abandoned the harmonization approach in favour of an approach based on the parallel reporting of resources. The primary objective of the task is, therefore, to develop a methodology for the independent evaluation and reporting of resources under both systems simultaneously.

The project is conceived as the first stage of a long-term strategy to introduce international standards in Poland. Strategically two target scenarios are envisaged: full harmonization involving the creation of mandatory bridging documents or the complete replacement of the existing national system with the UNFC classification. A key implementation challenge remains the transition period which has to be addressed within the project. The transition period is required to ensure operational continuity for the state administration and maintaining legal protection for already reported deposits.

ANNA JANUSZEWSKA-KACPRZAK, KATARZYNA DERKOWSKA,
MICHAŁ PILASZKIEWICZ

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Kompleksowa ocena występowania surowców w odpadach wydobywczych: doświadczenia z dokumentowania hałd węglowych, pohutniczych i poprzeróbczych

Antropogeniczne nagromadzenia odpadów wydobywczych, przeróbczych i hutniczych mogą stanowić istotne wtórne źródło surowców mineralnych. Ich dokumentowanie pozostaje jednak problematyczne ze względu na znaczną heterogeniczność, wynikającą m.in. z wieloetapowego formowania, zmian technologii wydobycia i przeróbki, przemieszczania materiału, rekultywacji oraz procesów zachodzących po depozycji. Doświadczenia PIG-PIB z lat 2024–2026, zdobyte w ramach zadań: „Bilans zasobów antropogenicznych Polski – etap I" oraz „Oszacowanie potencjału odzysku surowców krytycznych z odpadów wydobywczych, w tym wg regulacji Critical Raw Materials Act", wskazują, że wiarygodna ocena potencjału surowcowego wymaga integracji metod geologicznych, geofizycznych, wiertniczych, geochemicznych i mineralogicznych.

Podstawowym założeniem proponowanej metodyki jest traktowanie antropogenicznego nagromadzenia analogicznie do złoża naturalnego. Dokumentacja powinna określać jego genezę i historię, geometrię, objętość, budowę wewnętrzną, zmienność zdeponowanego materiału oraz potencjał surowcowy. Struktura wzorowana na dokumentacjach geologicznych złóż umożliwia ponadto porównywanie obiektów o różnej genezie. Rozpoznanie powierzchniowe nie jest wystarczająco reprezentatywne, ponieważ materiał na powierzchni, szczególnie w strefach brzeżnych, może znacząco różnić się od materiału wewnątrz obiektu. Konieczne jest zatem połączenie opróbowania powierzchniowego z wierceniami umożliwiającymi określenie pionowej zmienności litologicznej, granulometrycznej i geochemicznej. Lokalizację otworów powinny wspierać badania geofizyczne, zwłaszcza elektrooporowe i polaryzacji wzbudzonej, pozwalające rozpoznać niejednorodności budowy wewnętrznej. Ich wyniki powinny być jednak interpretowane łącznie z danymi wiertniczymi. Liczba, rozmieszczenie i technologia wierceń powinny być dostosowane do geometrii, objętości i heterogeniczności obiektu. Dla regularnych obiektów o objętości kilku mln m^3, jak hałda „Marta Waleska" KWK Bolesław Śmiały, wstępne rozpoznanie było możliwe przy 4–5 otworach, natomiast bardziej złożone obiekty, jak hałda Huty Pokój, wymagały większej liczby punktów oraz łączenia różnych metod wiercenia. Kluczowe znaczenie ma również sposób opróbowania i badania granulometryczne. Na hałdzie Huty Pokój najwyższe koncentracje metali stwierdzono w najdrobniejszych frakcjach, co wskazuje, że analiza wyłącznie próbek

zbiorczych może prowadzić do utraty informacji istotnych dla późniejszego odzysku surowców. Podstawowy zakres badań powinien obejmować skład chemiczny i mineralny, uziarnienie oraz właściwości fizyczne materiału, natomiast badania technologiczne należy dobierać po określeniu potencjalnego kierunku wykorzystania.

Nie istnieje uniwersalny program badań odpowiedni dla wszystkich hałd, osadników i składowisk, możliwe jest jednak stworzenie jednolitego standardu ich dokumentowania, integrującego dane archiwalne, geofizykę, wiercenia, reprezentatywne opróbowanie i badania laboratoryjne. Metodyka taka może stanowić podstawę systematycznej inwentaryzacji, dokumentowania i przyszłego bilansowania zasobów antropogenicznych w Polsce.

A comprehensive assessment of the occurrence of raw materials in mining waste: experiences from the documentation of coal, steelworks and processing waste heaps

Anthropogenic accumulations of mining, mineral-processing and metallurgical waste may represent significant secondary sources of mineral raw materials. Their characterization remains challenging due to their pronounced heterogeneity, resulting from multi-stage deposition, changes in mining and processing technologies, material relocation, reclamation and post-depositional processes. Experience gained by the Polish Geological Institute – National Research Institute (PGI-NRI) in 2024–2026 within the projects "Inventory of Poland's anthropogenic resources – stage I" and "Assessment of the recovery potential of critical raw materials from extractive waste, including under the Critical Raw Materials Act" demonstrates that reliable assessment of resource potential requires the integration of geological, geophysical, drilling, geochemical and mineralogical methods.

The proposed methodology is based on treating anthropogenic accumulations in a manner analogous to natural mineral deposits. Their documentation should define the origin and history, geometry, volume, internal structure, material variability and resource potential of each site. A framework modelled on geological mineral deposit documentation also enables systematic comparison between sites of different origins. Surface investigations alone are insufficiently representative, as surface material, particularly along the margins, may differ substantially from material within the deposit. Surface sampling should therefore be combined with drilling to determine vertical lithological, grain-size and geochemical variability. Borehole locations should be supported by geophysical surveys, particularly electrical resistivity and induced polarization methods, which help identify internal heterogeneity. Geophysical results should, however, always be interpreted in conjunction with drilling data. The number,

distribution and drilling methods should be adapted to site geometry, volume and heterogeneity. At relatively regular sites with volumes of several million m^3, such as the Marta Waleska waste dump, preliminary characterization was achieved with 4–5 boreholes. More complex sites, such as the Huta Pokój metallurgical waste dump, required a denser investigation network and the combination of different drilling techniques. Sampling strategy and grain-size analysis are also critical. At Huta Pokój, the highest metal concentrations were identified in the finest fractions, demonstrating that bulk-sample analysis alone may overlook information relevant to subsequent resource recovery. Baseline characterization should therefore include chemical and mineralogical composition, grain-size distribution and basic physical properties, while technological testing should be selected only after potential utilization pathways have been identified.

There is no universal investigation program suitable for all waste dumps, settling ponds and waste storage facilities. However, a consistent documentation standard can be established, integrating archival data, geophysical surveys, drilling, representative sampling and laboratory analyses while allowing the scope of investigation to be tailored to individual sites. Such a methodology could provide a basis for the systematic inventory, characterization and future resource assessment of anthropogenic deposits in Poland.

JANUSZ JURECZKA

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Sosnowiec

Aktualny stan wdrożenia rozporządzenia metanowego UE w polskim górnictwie węgla kamiennego

4 sierpnia 2024 r. weszło w życie Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1787 z dnia 13 czerwca 2024 r. w sprawie redukcji emisji metanu w sektorze energetycznym oraz zmieniające rozporządzenie (UE) 2019/942, powszechnie określane jako rozporządzenie metanowe. Rozporządzenie to po raz pierwszy ujmuje w jednolite ramy prawne monitorowanie, raportowanie i ograniczanie emisji metanu w energetyce krajów Unii Europejskiej, w tym w sektorze górnictwa węgla. Przewiduje również surowy pakiet sankcji za nieprzestrzeganie jego zapisów. Sankcje te mają być skuteczne i odstraszające, proporcjonalne do szkód wyrządzonych w środowisku naturalnym oraz pozbawiające korzyści gospodarczych z naruszenia przepisów.

Regulacje rozporządzenia metanowego mają bardzo istotne znaczenie dla górnictwa węgla kamiennego w Polsce. Przyjęte limity emisji metanu dla większości polskich kopalń są obecnie praktycznie nieosiągalne. W przypadku kopalń węgla energetycznego dopuszczalna wielkość emisji szybami wentylacyjnymi od 1 stycznia 2027 r. ma wynosić 5 ton metanu na kilotonę wydobytego węgla, a od 1 stycznia 2031 r. – 3 tony metanu na kilotonę wydobytego węgla. Odnośnie do kopalń węgla koksowego tego rodzaju nowe regulacje zostaną ogłoszone do 3 lat od wejścia w życie rozporządzenia. Istotny jest również całkowity zakaz emisji metanu ze stacji odmetanowania, obowiązujący od 1 stycznia 2025 r. dla wszystkich kopalń. Rozporządzenie nakłada również na operatorów kopalń węgla kamiennego obowiązki w zakresie monitorowania i raportowania emisji metanu podczas działalności powydobywczej, po wydobyciu i odtransportowaniu węgla na powierzchnię.

Zapisy rozporządzenia są wiążące we wszystkich państwach UE i muszą być stosowane bezpośrednio. W warunkach polskich wdrożenie znacznej części tych zapisów wymaga ustawowych rozwiązań na gruncie prawa krajowego. Prace nad taką ustawą trwają (Ministerstwo Przemysłu, obecnie Ministerstwo Energii), ale jej projekt nie został jeszcze przekazany do Rady Ministrów. Nieznany jest ostateczny kształt przygotowywanej ustawy, nie wiadomo też, kiedy – i czy w ogóle – wejdzie w życie. Ustanowiony został tylko organ odpowiedzialny za monitorowanie i egzekwowanie rozporządzenia, którym formalnie został od 29 lipca 2025 r. Prezes Wyższego Urzędu Górniczego. Operatorzy czynnych kopalń do tego organu są zobowiązani przedkładać raporty dotyczące rocznej emisji metanu, ocenione i poświadczone przez niezależnych, akredytowanych weryfikatorów. Raporty takie są składane, nie są one jednak poświadczone przez wery-

fikatorów ze względu na brak – do tej pory – regulacji formalnych uzyskania wymaganych akredytacji. 5 sierpnia 2025 r. upłynął termin powiadomienia Komisji Europejskiej o przepisach dotyczących kar za naruszanie rozporządzenia oraz dostarczenia wykazu wszystkich zamkniętych i zlikwidowanych od 1954 r. podziemnych kopalń węgla, wraz z pomiarami emisji metanu ze wszystkich potencjalnych punktowych źródeł. Takie powiadomienie oraz wykaz kopalń ze strony Polski nie zostały przekazane. Nie został też dotrzymany termin rozpoczęcia od 5 maja 2026 r. stałych pomiarów emisji metanu we wszystkich zamkniętych podziemnych kopalniach węgla, we wszystkich punktach, w których stwierdzono roczną emisję ponad 0,5 tony metanu. W większości kopalń nie jest również stosowany całkowity zakaz emisji metanu ze stacji odmetanowania, m.in. ze względu na bezpieczeństwo ruchu zakładu górniczego.

Reasumując, stan wdrożenia rozporządzenia metanowego w polskim górnictwie węgla kamiennego jest w znacznej mierze w początkowej fazie tego procesu, a zasadnicze znaczenie będą mieć zapisy przygotowywanej ustawy wdrożeniowej oraz wprowadzenie – przewidzianego w rozporządzeniu – finansowego systemu zachęt dla kopalń, w celu redukcji emisji metanu.

Current implementation status of the EU methane regulation in the Polish coal mining sector

Regulation (EU) 2024/1787 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on the reduction of methane emissions in the energy sector and amending Regulation (EU) 2019/942, commonly referred to as the methane regulation, entered into force on August 4, 2024. This regulation, for the first time, establishes a single legal framework for monitoring, reporting, and reducing methane emissions in the energy sector of the European Union countries, including the coal mining sector. It also provides for a stringent package of sanctions for non-compliance. These sanctions are intended to be effective and dissuasive, proportionate to the environmental damage caused, and to deprive economic benefits from violating the regulations.

The provisions of the methane regulation are of crucial importance to hard coal mining in Poland. The adopted methane emission limits for most Polish mines are currently practically unattainable. For steam coal mines, the permissible emission level from ventilation shafts from January 1, 2027, will be 5 tons of methane per thousand tons of extracted coal, and from January 1, 2031, 3 tons of methane per thousand tons of extracted coal. Regarding coking coal mines, such new regulations will be announced within three years of the regulation's entry into force. Also important is the complete ban on methane emissions from methane drainage stations, effective January 1, 2025, for all mines. The regulation also imposes obligations on hard coal mine operators to

monitor and report methane emissions during post-mining activities, after coal has been mined and transported to the surface.

The provisions of the regulation are binding in all EU countries and must be applied directly. In Poland the implementation of a significant portion of these provisions requires statutory solutions under national law. Work on such a law is ongoing (at the Ministry of Industry, currently the Ministry of Energy), but its draft has not yet been submitted to the Council of Ministers. The final form of the draft law is unknown, as is its date and eventual entry into force.

So far, only the competent authority responsible for monitoring and enforcing the regulation has been established, which formally became the President of the State Mining Authority on July 29, 2025. Operators of active mines are required to submit annual methane emission reports to this competent authority, assessed and certified by independent verifiers. While such reports are being submitted, they are not certified by verifiers due to the – as yet – absence of formal regulations governing the process for obtaining the required accreditations. August 5, 2025, was the deadline for notifying the European Commission of the provisions regarding penalties for violating the regulation and for providing a list of all underground coal mines closed and abandoned since 1954, along with methane emission measurements from all potential point sources. Poland has not submitted such a notification or list of mines.

Furthermore, the deadline for commencing continuous methane emission measurements – effective May 5, 2026 – has not been met in all closed underground coal mines, at all points where annual methane emissions exceeding 0.5 tons have been recorded. At most mines, a total ban on methane venting from drainage stations is also not being implemented, due in part to operational safety requirements at the mining facility.

In summary, the implementation of the methane regulation in the Polish coal mining sector is largely in its initial phase; the provisions of the implementing act currently under preparation, as well as the introduction of the financial incentive system for mines envisaged by the regulation to reduce methane emissions, will be of fundamental importance.

BEATA KLOJZY-KARCZMARCZYK[1], GABRIELA WOŹNIAK[2]

[1] *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*
[2] *Uniwersytet Śląski, Katowice*

Implementacja unijnego prawa o odbudowie przyrody a transformacja oceny oddziaływania na środowisko w sektorze surowcowym

Jedną z najważniejszych procedur administracyjnych, podlegających prawu ochrony środowiska, jest Ocena Oddziaływania na Środowisko (OOŚ), którą należy przeprowadzić jeszcze przed rozpoczęciem realizacji inwestycji. Głównym celem jest analiza, w jaki sposób inwestycja wpłynie na przyrodę oraz zdrowie i życie ludzi, a także wskazanie sposobów zminimalizowania negatywnych skutków. Procedura OOŚ opiera się na podstawowym dokumencie, jakim jest raport o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko. W sektorze surowcowym takie wymogi stawiane są wielkoskalowym projektom wydobycia i przetwórstwa surowców, a także w odniesieniu do gospodarki odpadami. Raport musi analizować wpływ inwestycji na przyrodę, jej elementy nieożywione i ożywione, w całym cyklu: na etapie budowy, eksploatacji oraz likwidacji i fazy poeksploatacyjnej. Określenie kierunku rekultywacji jest elementem obowiązkowym.

Wdrożenie zasad wynikających z rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1991 w sprawie odbudowy zasobów przyrodniczych (Nature Restoration Law – NRL) oznacza istotną zmianę w sposobie postrzegania terenów objętych inwestycją. Dotychczasowa praktyka ocen oddziaływania na środowisko koncentrowała się przede wszystkim na identyfikacji negatywnych oddziaływań planowanych przedsięwzięć oraz na ograniczaniu lub kompensowaniu ich skutków w fazie poeksploatacyjnej, czyli na etapie rekultywacji. NRL wprowadza perspektywę aktywnego zwiększania potencjału przyrodniczego, odporności i funkcjonowania ekosystemów typu *novel ecosystems*, co powinno znaleźć odzwierciedlenie w procedurach OOŚ. W efekcie sektor surowcowy powinien projektować swoje działania w taki sposób, aby realnie zwiększały one lokalną bioróżnorodność i wpisywały się w unijne cele wskaźnikowe. W tym kontekście szczególnego znaczenia nabierają najnowsze badania nad spontanicznymi procesami przyrodniczymi w ekosystemach typu *novel ecosystems* oraz nad spontaniczną sukcesją na mineralnych siedliskach terenów poeksploatacyjnych.

Obserwacje prowadzone na obszarach pogórniczych Górnego Śląska pokazują, że zwałowiska i inne mineralne siedliska pogórnicze nie powinny być automatycznie traktowane jako tereny wymagające pełnej rekultywacji technicznej i biologicznej. Obserwacje te wskazują na wysoką różnorodność taksonomiczną i funkcjonalną rozwijających się spontanicznie zbiorowisk organizmów kolonizujących mineralne siedliska pogórnicze oraz na występowanie mozaiki siedlisk o zróżnicowanych warunkach

troficznych, hydrologicznych i termicznych. Najnowszy przegląd literatury dotyczący mineralnych siedlisk pogórniczych wskazuje, że ubogie, oligotroficzne podłoża mineralne mogą stanowić centra różnorodności biologicznej w silnie zurbanizowanych i zeutrofizowanych siedliskach w krajobrazach miejsko-przemysłowych, co wpisuje się w globalny nurt badawczy (Hobbs i in. 2009, 2013; Hutniczak i in. 2025).

Kluczowe zmiany i nowe obowiązki analityczne powinny koncentrować się na trzech głównych etapach inwestycji w gospodarce surowcowej: przed udostępnieniem złoża, w fazie planowania rekultywacji obiektu oraz w długoterminowym monitoringu poeksploatacyjnym. Na pierwszym etapie istotna jest inwentaryzacja przyrodnicza i ochrona różnorodności biologicznej w fazie przygotowawczej. Tereny przeznaczone pod eksploatację – zwłaszcza w przypadku rozbudowy istniejących kopalń lub terenów sąsiadujących z dawnymi hałdami – często są już samodzielnie funkcjonującymi ekosystemami typu *novel ecosystems*, stanowiącymi wtórne refugia bioróżnorodności i potencjalne elementy europejskiej infrastruktury odbudowy przyrody (Murcia i in. 2014). Z kolei w fazie zamykania obiektu kluczowym elementem transformacji staje się nowe podejście do rekultywacji czy renaturalizacji wykorzystującej potencjał procesów przyrodniczych. Jej istotą jest planowanie wariantowe rozszerzone o scenariusze: całkowitego braku ingerencji lub interwencji minimalnej, wspierającej jedynie zidentyfikowany potencjał abiotycznych i biotycznych procesów przyrodniczych. Raport powinien dowieść, czy sztuczne nasadzenia lub naturalna sukcesja przyniosą stabilność ekosystemu i wyższy poziom różnorodności biologicznej w ujęciu długoterminowym. Na samym końcu NRL zmienia horyzont czasowy monitorowania zmian w fazie poeksploatacyjnej. Raport powinien projektować długoterminowy program monitoringu, specyficzny dla danej lokalizacji.

W określonych warunkach pozostawienie terenu działaniu procesów spontanicznych może być rozwiązaniem bardziej zgodnym z celami odbudowy przyrody niż intensywna rekultywacja techniczna. Najnowsze wyniki badań prowadzonych na terenach kopalnianych w Europie podkreślają konieczność dokonywania ocen specyficznych indywidualnie dla lokalizacji, długoterminowego monitoringu oraz wykorzystywania różnych scenariuszy zarządzania, w tym spontanicznej sukcesji. Konieczne jest rozpoznanie procesów abiotycznych i biotycznych zachodzących w *novel ecosystems* i wykorzystanie ich naturalnego potencjału. Właściwa identyfikacja procesów ekologicznych i ich uwzględnienie w pracach planistycznych oraz projektowych są warunkiem skutecznego stosowania prawa dotyczącego odbudowy przyrody.

The impact of the nature restoration law on the transformation of Environmental Impact Assessment in the raw materials sector

One of the most important administrative procedures governed by environmental law is the Environmental Impact Assessment (EIA), which must be conducted prior

to the commencement of an investment project. Its primary objective is to evaluate how a given investment will affect the natural environment as well as human health and life, and to identify ways to minimize any adverse effects. The EIA procedure is based on a key document: the environmental impact report. In the raw materials sector, such requirements apply to large-scale extraction and processing projects, as well as to waste management. The report must analyse the investment's environmental impact – including both its abiotic and biotic components – throughout its entire lifecycle – covering the construction, operational, and decommissioning phases, as well as the post-operational stage. Defining the direction of land reclamation is a mandatory element in this context.

Implementing the principles of Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council on nature restoration (Nature Restoration Law – NRL) marks a significant shift in how project sites are perceived. Until now, environmental impact assessment (EIA) practices have focused primarily on identifying the negative impacts of planned projects and on mitigating or compensating for their effects during the post-operational phase – specifically, the reclamation stage. The NRL introduces a perspective of actively enhancing the natural potential, resilience, and functioning of novel ecosystems, a shift that should be reflected in EIA procedures. Consequently, the raw materials sector should design its operations to tangibly increase local biodiversity and align with EU target indicators. In this context, recent research into spontaneous natural processes within novel ecosystems and spontaneous succession on mineral substrates at post-operational sites is becoming particularly significant.

Observations conducted in the post-mining areas of Upper Silesia demonstrate that spoil heaps and other mineral post-mining habitats should not automatically be regarded as sites requiring full technical and biological reclamation. They reveal the high taxonomic and functional diversity of spontaneously developing plant communities, as well as a mosaic of habitats characterized by varied trophic, hydrological, and thermal conditions. Recent literature reviews concerning mineral post-mining habitats indicate that nutrient-poor, oligotrophic mineral substrates can serve as biodiversity hotspots within the highly urbanized and eutrophied environments of urban-industrial landscapes – a finding that aligns with global research trends (Hobbs et al. 2009, 2013; Hutniczak et al. 2025).

The main changes and new analytical obligations should focus on three main stages of investment in the raw materials sector: prior to site development, during the reclamation planning phase, and throughout long-term post-extraction monitoring. In the initial stage, conducting a natural inventory and ensuring biodiversity protection during the preparatory phase are crucial. Areas designated for extraction – particularly where existing mines are being expanded or sites adjoin old spoil heaps – often function as novel ecosystems that serve as secondary biodiversity refugia and potential components of the European nature restoration infrastructure (Murcia et al. 2014). Subsequently, during the site closure phase, a new approach to reclamation or renaturalization becomes a pivotal element of the transformation. This approach

is based on scenario-based planning that incorporates options for either complete no intervention or minimal intervention, that merely supports the identified potential of abiotic and biotic natural processes. The report should determine whether artificial planting or natural succession will yield ecosystem stability and a higher level of biodiversity in the long term. Finally, the Nature Restoration Law alters the timeframe for monitoring changes during the post-extraction phase. The report should outline a long-term, site-specific monitoring program.

Under certain conditions, allowing an area to be shaped by spontaneous processes may align better with nature restoration goals than intensive technical reclamation. Recent studies of European post-mining sites emphasize the need for site-specific assessments, long-term monitoring, and the use of various management scenarios, including spontaneous succession. It is essential to understand the abiotic and biotic processes occurring in novel ecosystems and to harness their natural potential. Properly identifying ecological processes and incorporating them into planning and design is a prerequisite for the effective application of nature restoration legislation.

Literatura/References

Hobbs R.J., Higgs E., Harris J.A. 2009. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. Trends in Ecology & Evolution 24, pp. 599–605.

Hobbs R.J., Higgs E.S., Hall C.M. 2013. Defining Novel Ecosystems. [In:] Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order. Wiley.

Hutniczak A.K., Bryś W., Dychkovskyi R., Gaj R., Dyczko A., Błońska A., Bierza K., Bacler-Żbikowska B., Woźniak G. 2025. Identifying and understanding novel ecosystem functions: a scientific approach to nature restoration law. Journal of Water and Land Development 64, pp. 203–210.

Murcia C., Aronson J., Kattan G.H., Moreno-Mateos D., Dixon K., Zedler J. 2014. A critique of the 'novel ecosystem' concept. Trends in Ecology & Evolution 29, pp. 548–553.

Nature Restoration Law – Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869.

EWELINA ANNA KOSTKA

Kancelaria Juris sp. z o.o., Warszawa

Zakres władztwa planistycznego gminy a ochrona złóż kopalin

Sposób ukształtowania przez gminę przeznaczenia nieruchomości w aktach planowania przestrzennego (plan ogólny, miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego gminy) ma bezpośredni wpływ na możliwość uzyskania i wykonywania decyzji w zakresie poszukiwania lub rozpoznawania złóż kopalin oraz wydobywania kopalin ze złóż. W procesie uchwalania aktów planowania przestrzennego dochodzi do konfliktu różnych wartości i interesów o charakterze lokalnym (gminnym) i ogólnokrajowym.

Samodzielność gminy w sprawowaniu władztwa planistycznego jest jedną z istotnych dla państwa prawa wartości. Gmina może stanowić akty prawa miejscowego, jednak tylko w granicach upoważnienia ustawowego. Władztwo planistyczne może być zatem realizowane przez organy gminy tylko w zakresie wyznaczonym przez obowiązujące prawo, a więc nie w sposób dowolny. Na zakres władztwa planistycznego wpływają m.in. przepisy dotyczące ochrony złóż kopalin.

Ramowe zasady ochrony wszystkich złóż kopalin regulują przepisy Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawa ochrony środowiska (p.o.ś.). Szczegółowe zasady ochrony złóż kopalin zostały skonkretyzowane przepisami Ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (p.g.g.) i odnoszą się do udokumentowanych złóż kopalin. Udokumentowanie złoża kopaliny implikuje przymus uwzględnienia jego istnienia przy określaniu statusu planistycznego nieruchomości, w tym zabezpieczenia możliwości jego wydobycia. Już samo występowanie udokumentowanego złoża kopaliny na danym terenie powoduje powstanie po stronie organu administracji obowiązku prewencyjnej ochrony jego zasobów na potrzeby eksploatacji. Analiza przepisów dotyczących ochrony złóż kopalin wskazuje, iż pojęcie ochrony złóż kopalin nie ogranicza się wyłącznie do ochrony prewencyjnej, ale również obejmuje ochronę mającą na celu umożliwienie eksploatacji złóż, nie tylko w nieokreślonej przyszłości.

Dotychczasowe orzecznictwo sądów administracyjnych, bazujące na przepisach sprzed nowelizacji ustawy Prawo geologiczne i górnicze dokonanej w 2023 r., koncentruje się na aspekcie ochrony prewencyjnej, tj. realizacji nakazu ochrony złóż kopalin poprzez utrzymanie dostępności zasobów udokumentowanych poprzez ochronę terenów, w granicach których się znajdują, przed trwałą zabudową uniemożliwiającą ich przyszłe wydobycie. W tym rozumieniu gmina nie może w ramach swojego władztwa planistycznego przewidzieć przeznaczenia zarówno uniemożliwiającego wydobycie kopaliny, tj. nie może wprowadzić zakazu wydobycia kopaliny (poza zakresem władztwa planistycznego gminy), jak też zabudowy tej nieruchomości w sposób trwale uniemożliwiający dostęp do złoża.

Ta interpretacja pojęcia ochrony złóż kopalin, zawężająca ich ochronę do ochrony prewencyjnej, jest masowo wykorzystywana przez gminy przy uchwalaniu planów ogólnych (przy jednoczesnej akceptacji organów opiniujących) do ustanawiania w granicach udokumentowanych złóż kopalin tzw. stref otwartych (SO). Z jednej strony w takiej strefie obowiązuje zakaz zabudowy – zatem nie ma zagrożenia przeznaczenia uniemożliwiającego wydobycie w przyszłości, z drugiej strony strefa otwarta to strefa produkcji rolnej, która wobec ugruntowanej linii orzeczniczej jest traktowana jako uniemożliwiająca pozytywne uzgodnienie koncesji wydobywczej jako pozostająca z nią w kolizji. W konsekwencji to gmina, nadużywając swojego władztwa planistycznego, decyduje o możliwości prowadzenia działalności wydobywczej, a nie organ koncesyjny. Tymczasem art. 72 ust. 2 pkt 1 p.o.ś. nakazuje uwzględnienie w planach ogólnych obszarów występowania złóż kopalin oraz obecnych i przyszłych potrzeb eksploatacji tych złóż, a nie wyłącznie przyszłych potrzeb. Powyższe oznacza, iż w przypadku stosownych wniosków o ustanowienie strefy górniczej gmina nie może dowolnie i arbitralnie nie uwzględnić takich wniosków, szczególnie w sytuacji, gdy wnioskodawca jest właścicielem nieruchomości i zamierza czerpać z niej korzyści w granicach przysługującego mu prawa własności. Rolą organu planistycznego jest zatem wyważenie interesu publicznego i interesów prywatnych, tak aby w jak największym stopniu zabezpieczyć i rozważyć faktyczne interesy wspólnoty, a zarazem w jak najmniejszym stopniu naruszać prawa właścicieli nieruchomości objętych aktami planowania przestrzennego. Stanowisko to powinno zostać zawsze należycie przez organ planistyczny uzasadnione.

Municipal spatial planning powers and the protection of mineral deposits

How a local authority (municipality) designates land use in its spatial planning documents – such as the general plan or the local spatial development plan – directly affects whether one can obtain and implement decisions to prospect, explore, and extract mineral deposits. When these planning documents are being adopted, various local and national values and interests often come into conflict.

The independence of a local authority in exercising its planning powers is a key value of the rule of law. However, a municipality can only enact local laws within the limits of its statutory powers. Therefore, municipal bodies cannot exercise their planning authority arbitrarily, but only within the boundaries set by applicable law. These planning powers are shaped by various regulations, including those concerning the protection of mineral deposits.

The framework principles for protecting all mineral deposits are governed by the Environmental Protection Law Act of 27 April 2001. The specific rules for protecting these deposits are detailed in the Geological and Mining Law Act of 9 June 2011, which applies specifically to documented mineral deposits. Once a mineral deposit is

officially documented, its existence must be considered when determining the planning status of a property, which includes safeguarding the potential for its extraction. The mere presence of a documented mineral deposit in an area obliges the administrative authority to preventatively protect its resources for future use. However, an analysis of the regulations shows that "protecting mineral deposits" means more than just preventative safeguarding; it also includes actively enabling their extraction, and not just at some undefined point in the future.

Previous administrative court case law, based on the regulations before the 2023 amendment to the Geological and Mining Law, focuses mostly on this preventative aspect. This means fulfilling the duty to protect mineral deposits by keeping documented resources accessible – specifically, by protecting the land where they are located against permanent built development that would make future extraction impossible.

Under this interpretation, a local authority cannot use its planning powers to designate land in a way that prevents mineral extraction. In other words, it cannot introduce a ban on extraction (as this is outside its planning authority), nor can it plan for development on that property in a way that permanently blocks access to the deposit. However, local authorities are widely using this narrow interpretation – reducing protection to mere preventative safeguarding – to establish so called "open zones" (SO) within the boundaries of documented mineral deposits, often with the approval of consulting bodies. On the one hand, built development is banned in such a zone, meaning there is no risk of land use that would prevent future extraction. On the other hand, an "open zone" is designated for agricultural production. According to established case law, this agricultural designation is seen as conflicting with mining activities, making it impossible to successfully approve a mining licence. As a result, it is the local authority, by abusing its planning powers, that ultimately decides whether extraction activities can go ahead, rather than the relevant licensing authority. Meanwhile, Article 72, paragraph 2, point 1 of the Environmental Protection Law requires general plans to consider the areas where mineral deposits are located, as well as both the current and future needs for their extraction – not just the future needs. This means that when appropriate applications are made to establish a mining zone (SG), a local authority cannot arbitrarily refuse to consider them. This is especially true when the applicant owns the property and intends to benefit from it within the limits of their property rights. Therefore, the role of the planning authority is to strike a balance between public and private interests. It should seek to protect and consider the genuine interests of the community as much as possible, while minimising any infringement on the rights of property owners affected by the spatial planning documents. This position should always be properly justified.

ALICJA KOT-NIEWIADOMSKA

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;
Polskie Stowarzyszenie Wyceny Złóż Kopalin, Kraków

Surowce mineralne z roztworów geotermalnych – podsumowanie projektu CRM-geothermal

Rosnące zapotrzebowanie na surowce mineralne niezbędne do transformacji energetycznej zwiększa znaczenie poszukiwania alternatywnych europejskich źródeł ich pozyskiwania. Potrzeba ta nabiera szczególnej wagi, w kontekście wdrażania Critical Raw Materials Act (CRMA), którego jednym z kluczowych założeń jest zwiększenie zdolności Unii Europejskiej w zakresie pozyskiwania, przetwarzania i recyklingu surowców strategicznych oraz ograniczanie nadmiernej zależności od pojedynczych państw trzecich. Jednym z potencjalnych, dotychczas w niewielkim stopniu wykorzystywanych źródeł surowców mineralnych mogą być roztwory geotermalne. W określonych warunkach geologicznych mogą one zawierać podwyższone koncentracje pierwiastków o znaczeniu gospodarczym. Możliwość skojarzonego pozyskiwania energii i surowców stwarza perspektywę bardziej kompleksowego wykorzystania zasobów geotermalnych, wymaga jednak rozpoznania ich potencjału surowcowego, określenia procesów odpowiedzialnych za mobilizację i koncentrację pierwiastków oraz opracowania efektywnych i selektywnych technologii ich odzysku.

Projekt CRM-geothermal „Raw materials from geothermal fluids: occurrence, enrichment, extraction" (https://crm-geothermal.eu/), realizowany w ramach programu Horizon Europe, objął kompleksowe badania możliwości pozyskiwania surowców krytycznych i innych surowców mineralnych z roztworów geotermalnych. Badania prowadzone w zróżnicowanych systemach geotermalnych Europy i Afryki Wschodniej pozwoliły na ocenę geologicznych i geochemicznych uwarunkowań występowania oraz koncentracji pierwiastków o znaczeniu surowcowym. Analizowano również procesy zachodzące podczas eksploatacji systemów geotermalnych, w tym interakcje roztwór–skała, odgazowanie i wytrącanie faz mineralnych, istotne z punktu widzenia trwałości pozyskiwania surowców oraz funkcjonowania instalacji. Wyniki badań oraz zgromadzone dane wykorzystano do opracowania bazy danych i internetowego atlasu roztworów geotermalnych, a także narzędzi wspomagających ocenę ich potencjału surowcowego, w tym rozwiązania wykorzystującego metody sztucznej inteligencji do szacowania zawartości litu.

Równolegle rozwijano technologie selektywnego odzysku składników z roztworów geotermalnych. Szczególną uwagę poświęcono litowi, dla którego badano m.in. materiały sorpcyjne na bazie tlenków manganu, w tym sita jonowe umożliwiające

selektywną ekstrakcję Li ze złożonych roztworów geotermalnych. Badania technologiczne objęły również metody odzysku innych składników, w tym strontu oraz gazów. Opracowane rozwiązania dotyczące odzysku litu i helu zostały następnie zweryfikowane w warunkach terenowych podczas demonstracji technologii z wykorzystaniem rzeczywistego roztworu geotermalnego w Kornwalii. Uzyskane wyniki potwierdziły możliwość integracji procesów odzysku wybranych surowców z eksploatacją systemów geotermalnych.

Wyniki projektu wskazują jednocześnie, że ocena roztworów geotermalnych jako potencjalnego źródła surowców nie może opierać się wyłącznie na koncentracji poszczególnych pierwiastków. Istotne znaczenie mają warunki geologiczne i geochemiczne systemu, wielkość i trwałość strumienia roztworu, zachowanie pierwiastków podczas eksploatacji, a także selektywność i efektywność technologii odzysku. Analizy możliwości współpozyskiwania ciepła geotermalnego i surowców pokazują potencjał zintegrowanego wykorzystania systemów geotermalnych jako źródła zarówno energii, jak i wybranych surowców mineralnych. Takie podejście może zwiększać stopień wykorzystania zasobów geotermalnych, tworzyć dodatkową wartość w istniejących i projektowanych instalacjach oraz wspierać dywersyfikację źródeł zaopatrzenia Europy w wybrane surowce krytyczne.

Niniejsza publikacja została sfinansowana w ramach programu Unii Europejskiej w zakresie badań naukowych i innowacji „Horyzont 2020" na podstawie umowy nr 101058163.

Mineral raw materials from geothermal fluids – summary of the CRM-geothermal project

The growing demand for mineral raw materials essential for the energy transition increases the importance of identifying alternative European sources of supply. This need is particularly relevant in the context of the implementation of the Critical Raw Materials Act (CRMA), one of the key objectives of which is to strengthen the European Union's capacities for the extraction, processing and recycling of strategic raw materials and to reduce excessive dependence on individual third countries. Geothermal fluids represent one of the potential source of mineral raw materials that has so far been exploited only to a limited extent. Under specific geological conditions they may contain elevated concentrations of elements of economic importance. The possibility of co-producing energy and raw materials offers the prospect of a more comprehensive use of geothermal resources. However, this requires assessing their raw material potential, identifying the processes responsible for the mobilization and concentration of elements, and developing efficient and selective recovery technologies.

The CRM-geothermal project “Raw materials from geothermal fluids: occurrence, enrichment, extraction” implemented under the Horizon Europe programme involved comprehensive research into the potential for recovering critical raw materials and other mineral raw materials from geothermal fluids. Studies conducted in diverse geothermal systems across Europe and East Africa enabled an assessment of the geological and geochemical conditions controlling the occurrence and concentration of elements of raw material significance. Processes occurring during the exploitation of geothermal systems were also analysed, including fluid–rock interactions, degassing and the precipitation of mineral phases, which are important for the sustainability of raw material recovery and the operation of geothermal installations. The research results and collected data were used to develop a database and an online atlas of geothermal fluids, as well as tools supporting the assessment of their raw material potential, including an artificial intelligence-based solution for estimating lithium concentrations.

In parallel, technologies for the selective recovery of components from geothermal fluids were developed. Particular attention was given to lithium, for which manganese oxide-based sorbent materials were investigated, including ion sieves enabling the selective extraction of Li from complex geothermal fluids. The technological research also covered methods for recovering other components, including strontium and gases. The solutions developed for lithium and helium recovery were subsequently tested under field conditions during technology demonstrations using actual geothermal fluid in Cornwall. The results confirmed the feasibility of integrating the recovery of selected raw materials with the exploitation of geothermal systems.

At the same time the project results indicate that the assessment of geothermal fluids as a potential source of raw materials cannot be based solely on the concentrations of individual elements. Important factors include the geological and geochemical conditions of the system, the volume and sustainability of the fluid flow, the behaviour of elements during exploitation, as well as the selectivity and efficiency of recovery technologies. Analyses of the potential for the co-production of geothermal heat and raw materials demonstrate the potential for the integrated use of geothermal systems as a source of both energy and selected mineral raw materials. Such an approach may increase the degree of utilisation of geothermal resources, create additional value in existing and planned installations, and support the diversification of Europe’s supply sources for selected critical raw materials.

This paper has been funded under the European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement nº101058163.

ALICJA KOT-NIEWIADOMSKA[1], SLÁVKA GAŁAŚ[2], JAROSŁAW KAMYK[1]

[1] *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*
[2] *AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków*

Dziedzictwo górnicze jako przestrzeń aktywności społecznej – inwentaryzacja i ocena potencjału w Polsce

Działalność górnicza niejednokrotnie prowadzi do trwałych przekształceń przestrzeni. Nie oznacza to jednak, że wraz z zakończeniem eksploatacji tereny te tracą możliwość pełnienia nowych funkcji. Wyrobiska, obiekty infrastruktury pogórniczej oraz inne elementy związane z działalnością wydobywczą mogą zostać odpowiednio zagospodarowane i udostępnione społeczeństwu. W Polsce istnieje wiele takich przykładów. Wśród nich znajdują się podziemne trasy turystyczne, muzea, obiekty edukacyjne, parki, ścieżki geoturystyczne, kąpieliska i łowiska, a także tereny objęte ochroną przyrody. Pomimo dużej liczby takich miejsc dotychczas nie przeprowadzono ich kompleksowej inwentaryzacji w skali całego kraju. Brakuje również jednolitego sposobu opisu i oceny, a informacje dotyczące zagospodarowania terenów i obiektów pogórniczych, sposobów ich wykorzystania oraz dobrych praktyk są rozproszone pomiędzy różnymi bazami danych, opracowaniami i instytucjami, które je sporządzają. Niedostatecznie rozpoznane pozostają także potrzeby społeczne związane z użytkowaniem tych miejsc.

Odpowiedzią na te problemy jest projekt „Dziedzictwo górnicze jako przestrzeń aktywności społecznej – inwentaryzacja i ocena potencjału w Polsce", którego celem jest rozpoznanie, zinwentaryzowanie i ocena zagospodarowanych terenów i obiektów pogórniczych w Polsce oraz określenie ich potencjału do pełnienia funkcji społecznych. W projekcie przyjęto, że teren pogórniczy oznacza obszar przekształcony w wyniku działalności górniczej, który po zakończeniu eksploatacji został zagospodarowany i bezpiecznie udostępniony do użytkowania, z kolei obiekt pogórniczy rozumiany jest jako zachowany pojedynczy element lub zespół elementów dziedzictwa górniczego przystosowanych do pełnienia określonych funkcji. Analizowane są przede wszystkim funkcje rekreacyjne, turystyczne, sportowe, edukacyjne, kulturowe i związane z ochroną przyrody.

Wstępne rozpoznanie przeprowadzone w 2026 r. pozwoliło zidentyfikować ponad 220 zagospodarowanych terenów i obiektów pogórniczych w Polsce. Około 200 z nich związanych jest z górnictwem odkrywkowym, 19 z górnictwem podziemnym, a 3 z górnictwem otworowym. Zróżnicowane są również współczesne sposoby wykorzystania takich miejsc. Przykładem są dawne wyrobiska odkrywkowe przekształcone w zbiorniki wodne, które obecnie pełnią różne funkcje rekreacyjne. Dotychczas rozpoznano

około 90 kąpielisk oraz ponad 30 łowisk komercyjnych. W analizowanym zbiorze znajdują się ponadto miejsca położone na obszarze trzech geoparków UNESCO oraz cztery obiekty wpisane na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO. Osobną grupę stanowią tereny pogórnicze objęte ochroną przyrody – wstępnie zidentyfikowano co najmniej 30 rezerwatów przyrody utworzonych na takich terenach.

Prowadzoną aktualnie inwentaryzację uzupełnią badania terenowe oraz opracowanie metodyki waloryzacji, pozwalającej na ocenę potencjału społecznego analizowanych miejsc. Równolegle prowadzone są badania społeczne, obejmujące badanie ankietowe i konsultacje z interesariuszami, służące rozpoznaniu sposobów użytkowania terenów pogórniczych oraz potrzeb i oczekiwań społecznych. Wyniki badań zostaną udostępnione w ogólnopolskiej bazie danych i na ogólnodostępnej platformie cyfrowej, prezentującej zagospodarowane tereny i obiekty pogórnicze oraz dobre praktyki w zakresie ich wykorzystania.

Wstępne wyniki pokazują, że społeczny wymiar dziedzictwa pogórniczego w Polsce ma znacznie większą skalę i różnorodność, niż wynika to z dostępnych obecnie źródeł informacji. Zebranie i uporządkowanie tej wiedzy pozwoli lepiej określić znaczenie miejsc związanych z dawnym górnictwem dla współczesnych użytkowników oraz lokalnych społeczności. Szczególne znaczenie może mieć w tym kontekście rozwój turystyki industrialnej i geoturystyki, dla których dawne miejsca wydobycia stanowią nie tylko świadectwo historii górnictwa, lecz także podstawę tworzenia współczesnej oferty turystycznej i edukacyjnej regionów.

Publikacja została sfinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Nauka dla Rozwoju Społeczeństwa", nr projektu NdRS/SP/0149/2025/01.

Mining heritage as a space for social activity – inventory and assessment of its potential in Poland

Mining activity often leads to permanent transformations of space. However, this does not mean that once extraction has ceased, these areas lose the potential to serve new functions. Excavations, post-mining infrastructure and other elements associated with extractive activity can be appropriately redeveloped and made accessible to the public. There are many such examples in Poland. They include underground tourist routes, museums, educational facilities, parks, geotourism trails, bathing areas and fishing sites, as well as areas under nature protection. Despite the large number of such sites, no comprehensive nationwide inventory has yet been carried out. There is also no uniform approach to their description and assessment, while information on the redevelopment of post-mining areas and facilities, their uses and good practices is

dispersed across various databases, studies and the institutions responsible for them. Social needs related to the use of these sites also remain insufficiently understood.

The project "Mining heritage as a space for social activity – inventory and assessment of its potential in Poland" addresses these issues. Its aim is to identify, inventory and assess redeveloped post-mining areas and facilities in Poland and to determine their potential to serve social functions. For the purposes of the project, a post-mining area is defined as an area transformed by mining activity which, after the cessation of extraction, has been redeveloped and made safely accessible for use, whereas a post-mining facility is understood as a preserved individual element or group of elements of mining heritage adapted to serve specific functions. The analysis focuses primarily on recreational, tourism, sports, educational and cultural functions, as well as functions related to nature conservation.

A preliminary survey conducted in 2026 identified more than 220 redeveloped post-mining areas and facilities in Poland. Approximately 200 are associated with open-pit mining, 19 with underground mining and 3 with borehole mining. The present-day uses of such sites are also diverse. One example is former open-pit excavations transformed into water bodies, which now serve various recreational functions. To date, approximately 90 bathing areas and more than 30 commercial fishing sites have been identified. The analysed set also includes sites located within three UNESCO Global Geoparks and four properties inscribed on the UNESCO World Heritage List. A separate group consists of post-mining areas under nature protection: preliminary work has identified at least 30 nature reserves established in such areas.

The ongoing inventory will be supplemented by field surveys and the development of a valuation methodology for assessing the social potential of the analysed sites. In parallel, social research is being conducted, including a questionnaire survey and stakeholder consultations, to identify patterns of use of post-mining areas as well as social needs and expectations. The results will be made available through a nationwide database and a publicly accessible digital platform presenting redeveloped post-mining areas and facilities together with good practices in their use.

Preliminary results show that the social dimension of post-mining heritage in Poland is considerably broader in scale and more diverse than is apparent from the currently available sources of information. Collecting and organising this knowledge will make it possible to better determine the significance of sites associated with former mining for contemporary users and local communities. In this context, the development of industrial tourism and geotourism may be particularly important, as former extraction sites represent not only evidence of mining history but also a basis for developing contemporary tourism and educational offerings in the regions.

This publication was financed from the state budget under the programme of the Minister of Science and Higher Education entitled "Science for the Development of Society", project no. NdRS/SP/0149/2025/01.

PIOTR KRZEMIŃSKI

Ordovia 1 sp. z o.o., Warszawa

Perspektywy odkrycia nowych złóż surowców krytycznych w Kotlinie Kłodzkiej

Kotlina Kłodzka i jej obrzeżenie należą do obszarów o znaczącym potencjale poszukiwawczym dla surowców krytycznych i strategicznych. Zróżnicowana budowa geologiczna, liczne przejawy mineralizacji oraz ślady historycznego górnictwa wskazują na możliwość wyznaczenia obszarów wymagających ponownej weryfikacji z wykorzystaniem współczesnych metod poszukiwawczych.

Obok charakterystyki najbardziej perspektywicznych obszarów i typów mineralizacji zostaną przedstawione praktyczne bariery prowadzenia prac geologicznych. Należą do nich ograniczenia wynikające z występowania parków krajobrazowych, obszarów Natura 2000 i kompleksów leśnych, a także konieczność uzyskania zgody na dostęp do nieruchomości od właścicieli gruntów lub Lasów Państwowych. Należy również zwrócić uwagę na występującą w praktyce barierę interpretacyjną i proceduralną dotyczącą pozyskiwania danych o właścicielach nieruchomości.

Podkreślić także należy znaczenie budowania świadomości społecznej dotyczącej potrzeby zwiększania krajowej bazy zasobowej. Przykład Kotliny Kłodzkiej pokazuje, że sukces poszukiwań nowych złóż zależy obecnie nie tylko od potencjału geologicznego, lecz również od uwarunkowań prawnych, środowiskowych, własnościowych i społecznej akceptacji działalności poszukiwawczej.

Prospects for the discovery of deposits of new critical raw material in the Kłodzko Valley

The Kłodzko Valley and its surrounding areas are among the regions with significant exploration potential for critical and strategic raw materials. The diverse geological structure, numerous occurrences of mineralization, and traces of historical mining activity indicate the possibility of delineating areas that warrant re-evaluation using contemporary exploration methods.

In addition to characterizing the most promising areas and types of mineralization the practical barriers to conducting geological fieldwork are presented. These include constraints arising from the presence of landscape parks, Natura 2000 sites, and forest

complexes, as well as the need to obtain permission to access the properties from landowners or the State Forests. Attention is also drawn to an interpretive and procedural barrier encountered in practice with regard to obtaining data on property owners.

The importance of raising public awareness of the need to expand the national resource base is likewise emphasized. The example of the Kłodzko Valley demonstrates that the success of the search for new deposits currently depends not only on geological potential, but also on legal, environmental, and ownership-related conditions, as well as on public acceptance of exploration activities.

KRZYSZTOF KUBACKI[1], ARKADIUSZ KUSTRA[2]

[1] *KI Mining, Lubin*

[2] *AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków*

Streaming jako alternatywna forma finansowania projektów geologiczno-górniczych

Projekty geologiczno-górnicze w branży metali podstawowych i szlachetnych wymagają ponoszenia wysokich nakładów inwestycyjnych już na początkowych etapach cyklu ich życia. Wydatkowany poziom gotówki wzrasta wraz z rozwojem tych projektów od etapu poszukiwania i dokumentowania zasobów geologicznych, poprzez wykonywanie prac nad przygotowaniem studiów techniczno-ekonomicznych, do etapu realizacji inwestycji i następnie ruchu zakładu górniczego. W zależności od wielkości i zasobności danego złoża oraz zawartości metalu wiodącego nakłady te mogą wynieść od kilkuset do kilku miliardów dolarów amerykańskich.

Możliwości i dopasowanie wykorzystania określonych kapitałów finansujących projekty geologiczno-górnicze zależy od etapu w cyklu ich życia, co determinuje ryzyko oraz kształtuje wartość przedsięwzięcia. Tradycyjne źródła finansowania obejmują kapitały własne pochodzące z rynku kapitałowego (emisja akcji) czy kredyty bankowe. Z uwagi na specyfikę projekty na etapie przedinwestycyjnym są najczęściej finansowane z kapitałów w postaci środków prywatnych lub pozyskiwanych na rynkach kapitałowych. Z kolei na etapie inwestycji lub prowadzenia działalności produkcyjnej wraz z perspektywą generowania dodatnich przepływów pieniężnych dominuje finansowanie przy pomocy kredytów inwestycyjnych.

Na początku tego stulecia pojawiła się nowa, alternatywna, ale i komplementarna forma finansowania przedsięwzięć geologiczno-górniczych, która określana jest jako *streaming*. Ma on zastosowanie zarówno do projektów na etapie przygotowania studiów techniczno-ekonomicznych, jak i bardziej zaawansowanych przedsięwzięć inwestycyjnych i działających zakładów górniczych.

Streaming, pomimo dość krótkiej historii, ma już ugruntowaną pozycję w sektorze poszukiwania i wydobywania złóż metali. Pojawienie się tej formy finansowania jest ściśle związane z powstaniem firmy Silver Wheaton (dziś Wheaton Precious Metals) i jej pierwotną emisją akcji na giełdzie papierów wartościowych w Toronto w Kanadzie w 2004 r. Streaming oznacza umowę, w wyniku której właściciel projektu złożowego zobowiązuje się dostarczyć kupującemu określoną ilość produkcji metalu wytwarzanego w zakładzie górniczym. W zamian za to druga strona płaci właścicielowi złoża:

- opłatę początkową w określonej umownie wysokości,
- płatności cykliczne za dostarczenie określonej ilości metalu, gdzie cena jest ustalona umownie, poniżej ceny rynkowej danego metalu.

Nabywca metalu sprzedaje go następnie na rynku po aktualnej cenie rynkowej, zarabiając na różnicy pomiędzy ceną zakupu a ceną sprzedaży. Streaming dotyczy przede wszystkim metali szlachetnych, takich jak srebro i złoto, występujących najczęściej jako produkt towarzyszący przy wydobyciu innego metalu wiodącego, np. miedzi, cynku itp.

W ciągu ostatnich dwudziestu lat zawarto na światowym rynku metali dziesiątki umów typu streaming. Umowy te mogą mieć wartość od kilkudziesięciu milionów dolarów do nawet kilku miliardów dolarów (zwłaszcza w przypadku istniejących zakładów górniczych).

Streaming jest określany w literaturze jako alternatywna forma finansowania, w odróżnieniu od tradycyjnych metod opartych na kapitale własnym czy kapitale obcym o charakterze dłużnym. Jako pozabilansowe źródło nie zwiększa dotychczasowego zadłużenia, nie rozwadnia kapitału własnego oraz jest uznawany za elastyczny instrument, uzależniony od kształtowania przyszłych korzyści z projektu w postaci przepływów pieniężnych.

Wymienione charakterystyki powodują, że znaczenie streamingu będzie rosło w kolejnych latach i dekadach, zwłaszcza w kontekście nasilenia intensywności realizacji projektów geologiczno-górniczych.

Streaming as an alternative form of financing of exploration and mining projects

Exploration and mining projects in the base and precious metals mining industry require significant capital expenditures from the early stages of their life cycle. The level of cash outlay increases as these projects progress from the exploration and resource definition stage, through the preparation of technical and economic studies, to the final investment stage and subsequent mining operation. Depending on the size and quality of a deposit, as well as the content of the primary metal, these expenditures can range from several hundred to several billion US dollars.

The options and selection of specific capital sources for financing of exploration and mining projects depend on their stage in the life cycle which determines the risk and implies project value. Traditional sources of financing include equity raised in the capital markets (through issuance of shares) or bank loans. Due to their specific nature, exploration projects are most commonly financed through private funds or equity capital raised in the capital markets. At the investment phase or mining production phase, however, in line with the prospects of generating positive cash flows financing with investment loans prevails.

At the beginning of this century a new alternative yet complementary form of financing of exploration and mining projects emerged. This form is known as *streaming*.

It is applicable to advanced exploration projects at the stage of preparing technical and economic studies, as well as to investment stage projects and mining operations.

Despite its relatively young history *streaming* has already established a strong presence in the exploration and metal mining sector. The appearance of this form of financing is directly linked to the creation of the company Silver Wheaton (today Wheaton Precious Metals) and its Initial Public Offering of shares on the Toronto Stock Exchange in Canada in 2004. *Streaming* is a contract where the owner of the exploration or mining project agrees to deliver to the buyer a specified quantity of the metal produced at the mine. In return the buyer agrees to pay the owner of the project:

- an upfront payment of a specified amount, agreed upon in advance,
- recurring payments for the delivery of a specified quantity of metal, at a unit price agreed upon which is below the spot price of that metal on the market.

The buyer then sells the metal on the market at the current spot price, earning a profit on the difference between the purchase price and the spot price. *Streaming* applies primarily to precious metals such as silver and gold, which most often occur as a by-product in the mining of another primary metal like copper or zinc, etc.

Over the past two decades dozens of streaming deals have been concluded in the global metal mining markets. Their value can range from tens of millions of dollars to even billions of dollars, especially for operating mines.

Streaming is referred to in literature as an alternative form of financing as opposed to traditional methods based on equity or debt capital. As an off-balance sheet source, it does not increase existing debt nor dilute equity. It is also considered as a flexible financing source dependent on how the future project benefits shape out in form of cash flows.

The above mentioned characteristics mean that *streaming* will gain in importance in the coming years or decades, especially considering the increasing number of exploration and mining projects being executed.

WOJCIECH KUPKA

Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa

Główne elementy implementacji Critical Raw Materials Act zawarte w projekcie ustawy o zapewnieniu gospodarce krajowej dostępu do surowców, w tym surowców krytycznych (UC83)

Przyjęcie rozporządzenia Critical Raw Materials Act – CRMA stanowi jeden z kluczowych elementów działań Unii Europejskiej na rzecz zwiększenia bezpieczeństwa surowcowego, ograniczenia nadmiernych zależności od państw trzecich oraz rozwoju europejskich zdolności w zakresie wydobycia, przetwarzania i recyklingu surowców strategicznych. Pomimo bezpośredniego stosowania rozporządzenia realizacja części przewidzianych w nim obowiązków wymaga stworzenia odpowiednich krajowych ram instytucjonalnych i proceduralnych. W Polsce zasadniczym instrumentem służącym temu celowi jest *projekt ustawy o zapewnieniu gospodarce krajowej dostępu do surowców, w tym surowców krytycznych (UC83).*

Celem opracowania jest przedstawienie głównych mechanizmów przewidzianych w projekcie UC83 oraz ich znaczenia dla praktycznej implementacji CRMA w Polsce. Szczególna uwaga została poświęcona krajowemu systemowi obsługi projektów strategicznych, przyśpieszeniu procedur związanych z ich realizacją, ochronie złóż oraz budowie krajowych zdolności analitycznych w zakresie bezpieczeństwa surowcowego.

Jednym z najważniejszych elementów projektu jest stworzenie krajowych ram realizacji projektów strategicznych w rozumieniu CRMA. UC83 określa procedurę opiniowania wniosków o uznanie przedsięwzięcia za projekt strategiczny oraz wypracowywania stanowiska kraju wobec wniosków przekazywanych przez Komisję Europejską. Szczególne znaczenie ma ustanowienie pojedynczego punktu kontaktowego, odpowiedzialnego za koordynowanie procedur administracyjnych i procesu wydawania pozwoleń dla projektów strategicznych. Projekt przewiduje jednocześnie szereg instrumentów służących skróceniu procesu inwestycyjnego. Obejmują one skrócenie terminów dla organów uczestniczących w procedurach, mechanizmy przeciwdziałające przewlekłości postępowań, w tym określenie skutków braku stanowiska organu w terminie, oraz jednoinstancyjność postępowań administracyjnych dotyczących pozwoleń dla projektów strategicznych. Rozwiązaniom tym towarzyszą przyśpieszone postępowania sądowo-administracyjne oraz ograniczenie części dodatkowych uzgodnień mogących wydłużać realizację przedsięwzięcia. Celem tych zmian jest zapewnienie większej przewidywalności procesu inwestycyjnego przy zachowaniu wymogów wynikających z właściwych regulacji sektorowych. Szczególne rozwiązania dotyczą także projektów strategicznych obejmujących wydobycie kopalin. Projekt wzmacnia ich pozycję w po-

stępowaniach koncesyjnych oraz umożliwia powiązanie statusu projektu strategicznego z mechanizmami szczególnej ochrony złóż.

Kolejnym instrumentem jest uznanie działań niezbędnych do realizacji projektu strategicznego za cel publiczny w rozumieniu przepisów o gospodarce nieruchomościami. Projekt przewiduje ponadto przyśpieszenie procedur środowiskowych oraz postępowań dotyczących przedsięwzięć obejmujących przetwarzanie i recykling odpadów. Uzupełnieniem tych rozwiązań jest obowiązek uwzględniania projektów strategicznych w odpowiednich dokumentach strategicznych jednostek samorządu terytorialnego. Szczególny status projektu ma zatem znajdować odzwierciedlenie na różnych etapach jego przygotowania i realizacji.

Drugim zasadniczym filarem UC83 jest wzmocnienie krajowych zdolności analitycznych. Projekt przewiduje utworzenie w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym Centrum Analiz Surowcowych. Centrum ma stanowić wyspecjalizowane zaplecze analityczne, odpowiedzialne za gromadzenie i integrowanie danych oraz przygotowywanie analiz dotyczących m.in. zapotrzebowania gospodarki na surowce, gospodarki surowcami mineralnymi czy ryzyka związanego z dostawami surowców krytycznych. Towarzyszyć temu ma rozwój bazy danych, integrującej informacje istotne z punktu widzenia monitorowania gospodarki surowcowej i bezpieczeństwa dostaw. Projekt określa również mechanizmy współdziałania PIG-PIB z administracją publiczną, innymi podmiotami publicznymi oraz przedsiębiorcami w zakresie pozyskiwania informacji niezbędnych do realizacji zadań analitycznych. Rozwiązania te mają umożliwić bardziej kompleksowe monitorowanie krajowego zapotrzebowania, łańcuchów wartości oraz potencjalnych zagrożeń dla ciągłości dostaw surowców.

Istotnym elementem projektu jest również wzmocnienie roli Polityki Surowcowej Państwa (PSP) jako podstawowego dokumentu wyznaczającego strategiczne kierunki działań państwa w obszarze surowców. PSP ma zapewniać spójne podejście do rozpoznawania i ochrony krajowych zasobów, bezpieczeństwa dostaw oraz rozwoju krajowej gospodarki surowcowej, umożliwiając jednocześnie powiązanie krajowych priorytetów z celami i instrumentami wynikającymi z CRMA.

Projekt UC83 pokazuje, że implementacja CRMA nie ogranicza się do formalnego przypisania kompetencji poszczególnym organom, lecz obejmuje stworzenie kompleksowego krajowego systemu obsługi strategicznych inwestycji surowcowych oraz monitorowania bezpieczeństwa surowcowego. UC83 stanowi tym samym próbę powiązania europejskich celów CRMA z krajową polityką surowcową i specyfiką polskiej bazy zasobowej, przy jednoczesnym poszukiwaniu równowagi pomiędzy sprawną realizacją projektów strategicznych a ochroną pozostałych interesów publicznych.

Main elements of the implementation of the Critical Raw Materials Act in the draft act on ensuring access of the national economy to raw materials, including critical raw materials (UC83)

The adoption of the Critical Raw Materials Act (CRMA) constitutes one of the key elements of the European Union's efforts to strengthen raw materials security, reduce excessive dependencies on third countries, and develop European capacities for the extraction, processing and recycling of strategic raw materials. Although the regulation is directly applicable, the implementation of some of the obligations it establishes requires appropriate national institutional and procedural frameworks. In Poland, the main instrument serving this purpose is the draft *Act on Ensuring Access of the National Economy to Raw Materials, Including Critical Raw Materials (UC83).*

The aim of this paper is to present the main mechanisms provided for in the UC83 draft and their significance for the practical implementation of the CRMA in Poland. Particular attention is given to the national framework for strategic projects, the acceleration of procedures related to their implementation, the protection of mineral deposits, and the development of national analytical capacities in the field of raw materials security.

One of the most important elements of the draft is the establishment of a national framework for the implementation of strategic projects within the meaning of the CRMA. UC83 sets out the procedure for assessing applications for the recognition of projects as strategic projects and for developing Poland's position on applications submitted by the European Commission. Of particular importance is the establishment of a single point of contact, responsible for coordinating administrative procedures and the permitting process for strategic projects. The draft also provides for a number of instruments aimed at shortening the investment process. These include shorter deadlines for authorities involved in relevant procedures, mechanisms to prevent excessive delays, including consequences where an authority fails to provide its position within the prescribed time limit, and single-instance administrative proceedings concerning permits for strategic projects. These measures are complemented by accelerated proceedings before administrative courts and by limiting certain additional administrative consultations that could prolong project implementation. The objective is to increase the predictability of the investment process while maintaining the requirements arising from the relevant sectoral legislation. Specific solutions also apply to strategic projects involving the extraction of mineral resources. The draft strengthens their position in concession proceedings and enables the status of a strategic project to be linked with mechanisms providing special legal protection for mineral deposits.

Another instrument is the recognition of activities necessary for the implementation of a strategic project as a public purpose within the meaning of real estate management legislation. The draft also provides for the acceleration of environmental procedures

and proceedings concerning projects involving waste processing and recycling. These measures are complemented by an obligation to take strategic projects into account in the relevant strategic documents of local government units. The special status of a strategic project is therefore intended to be reflected at different stages of its preparation and implementation.

The second major pillar of UC83 is the strengthening of national analytical capacities. The draft provides for the establishment of the Raw Materials Analysis Centre within the Polish Geological Institute – National Research Institute (PIG-PIB). The Centre is intended to serve as a specialised analytical facility responsible for collecting and integrating data and preparing analyses concerning, inter alia, the economy's demand for raw materials, mineral raw materials management, and risks related to critical raw material supplies. This is to be accompanied by the development of a database integrating information relevant to monitoring the raw materials economy and security of supply.

The draft also establishes mechanisms for cooperation between PIG–PIB and public administration authorities, other public entities and businesses in obtaining information necessary for analytical activities. These solutions are intended to enable more comprehensive monitoring of domestic demand, value chains and potential risks to the continuity of raw material supplies.

An important element of the draft is also the strengthening of the role of the National Raw Materials Policy as the principal document defining the strategic directions of state action in the field of raw materials. The National Raw Materials Policy is intended to ensure a coherent approach to the identification and protection of domestic resources, security of supply and the development of the national raw materials economy, while linking national priorities with the objectives and instruments arising from the CRMA.

The UC83 draft demonstrates that the implementation of the CRMA is not limited to the formal allocation of responsibilities among individual authorities, but involves the establishment of a comprehensive national system for facilitating strategic raw materials investments and monitoring raw materials security. UC83 therefore seeks to link the European objectives of the CRMA with Poland's national raw materials policy and the specific characteristics of its domestic resource base, while seeking an appropriate balance between the efficient implementation of strategic projects and the protection of other public interests.

ARKADIUSZ KUSTRA, ANNA WIKTOR-SUŁKOWSKA,
MARTA PODOBIŃSKA-STANIEC

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków

Europejski plan osiągnięcia niezależności surowcowej

Komisja Europejska w strategicznych planach rozwoju określiła surowce jako kluczowy czynnik innowacyjnego rozwoju w obszarach transformacji energetycznej, cyfryzacji oraz sektorach obronnym i lotniczo-kosmicznym. Tym samym dostęp do surowców oraz niezależność w ich pozyskaniu zostały zdefiniowane jako podstawy bezpieczeństwa gospodarczego UE w kontekście budowania przewag konkurencyjnych, zwłaszcza w stosunku do Chin oraz Stanów Zjednoczonych. W 2024 r. wszedł w życie „Europejski akt w sprawie surowców krytycznych" (akr. CRMA), w którym wymieniono 34 surowce krytyczne i 17 surowców strategicznych. Zostały one uznane za szczególne ważne ze względu na ich znaczenie, prognozowany wzrost popytu na nie oraz trudności związane ze zwiększeniem ich produkcji. W CRMA ustalono roczne wewnątrzwspólnotowe wskaźniki referencyjne dla surowców strategicznych, które winny być osiągnięte do 2030 r., tj.:

- co najmniej 10% powinno być wydobyte w UE,
- co najmniej 40% powinno pochodzić z przetwarzania w UE,
- co najmniej 25% powinno pochodzić z wewnętrznego recyklingu,
- maksymalnie do 65% może pochodzić z pojedynczego państwa trzeciego.

UE, by móc zagwarantować osiągnięcie wartości referencyjnych, w grudniu 2025 r. ustanowiła „Plan działania RESourceEU", którego głównym celem jest przyspieszenie osiągnięcia wskazanych celów. Zdefiniowano niezbędne działania uszczegóławiające oraz wskazano mechanizmy kształtowania samodzielnej polityki surowcowej Unii Europejskiej.

W artykule Autorzy podejmują próbę przeanalizowania dokumentu RESourceEU w świetle zagadnień dotyczących instrumentów osiągnięcia przez UE niezależności surowcowej, wzmocnienia odporności na zakłócenia dostaw i wytyczenia drogi do szybszej dywersyfikacji kierunków pozyskania surowców przy uwzględnieniu ich łańcuchów wartości. Badanie oparto na analizie dokumentów strategicznych i regulacyjnych UE, danych dotyczących koncentracji światowej produkcji i przetwórstwa oraz informacji o europejskich projektach strategicznych i partnerstwach surowcowych. Poddano analizie sześć filarów „Planu działania RESourceEU", tj.:

1. Utworzenie Europejskiego Centrum Surowców Krytycznych (np. JOGMEC) i skonstruowanie w jego ramach tzw. „mechanizmu surowcowego".
2. Wspieranie i przyspieszanie realizacji projektów priorytetowych.

3. Rozwój gospodarki o obiegu zamkniętym (cyrkularności), recyklingu oraz innowacji.
4. Utworzenie trwałego rynku surowców krytycznych, poprzez zapewnienie rynku zbytu w Unii Europejskiej (program SAFE).
5. Ochrona jednolitego rynku oraz wzmacnianie odporności łańcuchów dostaw.
6. Rozwijanie partnerstw z państwami trzecimi.

Wskazane filary leżące u podstaw RESourceEU oparte są na rozwiązaniach istniejących już np. w Japonii czy Stanach Zjednoczonych, niemniej mogą one stanowić konieczną strukturę organizacji procesów i działań mających wpływ na polepszenie ogólnej sytuacji w UE w zakresie dostępności surowców krytycznych. Jednak osiągnięcie całkowitej niezależności UE nie jest możliwe. Realne wydaje się zrównoważenie systemu pomiędzy ograniczoną dostępnością surowców w ramach endogenicznej polityki przy równoczesnym stworzeniu zdywersyfikowanego i odpornego systemu zaopatrzenia. Powinien on bazować na zewnętrznych dostawach z zaprzyjaźnionych państw, z którymi Europa współpracowałaby w ramach strategicznych partnerstw. Ta współpraca powinna wspomagać gospodarczy rozwój tych państw przy jednoczesnej możliwości pozyskiwania przez UE surowców, koncentratów czy innych półproduktów do zaawansowanej produkcji w Europie.

European plan for achieving raw materials independence

The European Commission in its strategic development plans has identified raw materials as a key factor underpinning innovation-driven development in the areas of the energy transition, digitalization, defense, and aerospace. Accordingly, access to raw materials and independence in securing their supply have been defined as fundamental pillars of the EU's economic security, particularly in the context of strengthening its competitive position in relation to China and the United States.

In 2024, the Critical Raw Materials Act (CRMA) entered into force, identifying 34 critical raw materials and 17 strategic raw materials. These materials have been recognized as of particular importance due to their significance, projected growth in demand, and the challenges associated with increasing their production. The CRMA established annual intra-EU benchmarks for strategic raw materials to be achieved by 2030:

- at least 10% should be extracted within the EU,
- at least 40% should be processed within the EU,
- at least 25% should come from recycling within the EU,
- no more than 65% may come from a single third country.

In order to ensure progress towards achieving these benchmarks, in December 2025 the EU established the RESourceEU Action Plan, whose primary objective is to

accelerate the attainment of the stated targets. The Plan defines the necessary detailed measures and identifies mechanisms for developing an autonomous EU raw materials policy.

In this article, the Authors seek to analyze the RESourceEU document from the perspective of the instruments available to the EU for achieving greater independence in the supply of raw materials, strengthening resilience to supply disruptions, and paving the way for a more rapid diversification of raw material sourcing, while taking their value chains into account. The study is based on an analysis of EU strategic and regulatory documents, data on the concentration of global production and processing, and information concerning European strategic projects and raw materials partnerships. The analysis covers the six pillars of the RESourceEU Action Plan, i.e.:

1. Establishment of a European Critical Raw Materials Centre (e.g. modelled on JOGMEC) and the creation within its framework of a dedicated "raw materials mechanism".
2. Supporting and accelerating the implementation of priority projects.
3. Development of the circular economy, recycling and innovation.
4. Establishment of a sustainable market for critical raw materials by ensuring a market for such materials within the European Union (SAFE program).
5. Protection of the Single Market and strengthening the resilience of supply chains.
6. Development of partnerships with third countries.

The pillars underpinning RESourceEU outlined above are based on solutions already implemented, for example, in Japan and the United States. Nevertheless, they may provide the necessary framework for organizing processes and activities aimed at improving the overall situation in the EU with regard to the availability and security of supply of critical raw materials.

However, achieving complete EU independence in this area is not feasible. A more realistic approach would be to strike a balance between the limited availability of raw materials under an endogenous resource policy and the simultaneous development of a diversified and resilient supply system. Such a system should be based on external supplies from like-minded and trusted countries with which Europe should cooperate through strategic partnerships. This cooperation should contribute to the economic development of partner countries while, at the same time, enabling the EU to secure access to raw materials, concentrates and other intermediate products required for advanced manufacturing in Europe.

MONIKA KWIATKOWSKA

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Analiza porównawcza krajowych złóż kamieni łamanych i blocznych na podstawie wybranych typów skał magmowych – zasoby, trendy w wydobyciu, wystarczalność

Kształtowanie się zapotrzebowania na kruszywa naturalne zależy głównie od stanu i dynamiki rozwoju budownictwa i drogownictwa. W większości przypadków kruszywa łamane otrzymywane ze złóż kamieni łamanych i blocznych mają charakter surowców o znaczeniu regionalnym. Znaczenie ponadregionalne dotyczy najwyższych klas jakościowych, czyli m.in. grysów ze skał magmowych. Regionalne zróżnicowanie zarówno popytu na kruszywa, jak i rozmieszczenia ich zasobów, skutkuje istotnymi dysproporcjami w intensywności eksploatacji kamieni łamanych i blocznych oraz w produkcji kruszyw naturalnych łamanych na terytorium Polski. Zasoby skał wykorzystywanych do produkcji kruszyw łamanych są nierównomiernie rozmieszczone w Polsce, co wynika z różnic w budowie geologicznej poszczególnych regionów. Złoża kamieni łamanych i blocznych występują głównie w południowej części Polski, z wyraźną dominacją województwa dolnośląskiego.

Analizie poddano wybrane typy skał magmowych zaliczanych do grupy złóż kamieni łamanych i blocznych. Wśród nich szczególne znaczenie gospodarcze mają skały wylewne, takie jak bazalty, melafiry i porfiry, oraz skały z grupy granitoidów, w tym granity i granodioryty. Dodatkowo oceniono złoża diabazów i gabra.

W latach 1989–2025 obserwowane były istotne zmiany w poziomie wydobycia kamieni łamanych i blocznych, a także w produkcji kruszyw łamanych. Dynamika ta wynikała m.in. z kondycji krajowego budownictwa drogowego i kolejowego, poziomu inwestycji infrastrukturalnych i przemysłowych, rosnącej konkurencji ze strony kruszyw pochodzących z recyklingu, a także udziału kruszyw importowanych na rynku krajowym.

Dane dotyczące omawianych typów skał, należących dawniej do kategorii tzw. kamieni drogowych i budowlanych, zostały zweryfikowane i przeanalizowane na podstawie m.in. „Bilansów Zasobów Złóż Kopalin w Polsce za lata 1989–2025", „Bilansów Perspektywicznych Zasobów Kopalin Polski" oraz „Mapy Geośrodowiskowej Polski", z uwzględnieniem obszarów prognostycznych i perspektywicznych występowania wskazanych surowców skalnych. Głównym celem przeprowadzonej analizy jest określenie potencjału eksploatacyjnego omawianych złóż w kontekście przyszłych potrzeb gospodarki narodowej. Pozwoli to na ocenę, w jakim stopniu udokumentowane zasoby surowców mineralnych mogą zaspokoić zapotrzebowanie na wybrane typy skał

zaliczanych do grupy kamieni łamanych i blocznych, a także na określenie statycznej i dynamicznej ich wystarczalności. Umożliwi również ocenę potrzeby prowadzenia dalszych prac poszukiwawczo-rozpoznawczych i dokumentacyjnych w obrębie obszarów prognostycznych i perspektywicznych oraz określenie, czy konieczne jest uwzględnienie wyzwań związanych z potencjalnym wyczerpywaniem się zasobów złóż tych kopalin lub ograniczeniami wynikającymi z uwarunkowań środowiskowych. Aktualizacja i pogłębiona analiza informacji o wytypowanych surowcach skalnych stanowią istotny wkład w kształtowanie długofalowej polityki surowcowej państwa.

A comparative analysis of domestic crushed and dimension stone deposits based on selected igneous rock types – mineral resources, extraction trends, and resource sufficiency

The demand for natural aggregates is primarily influenced by the state and dynamics of development in the construction and road-building sectors. In most cases, crushed aggregates – produced from crushed and dimension stones – are considered raw materials of regional importance. Aggregates of supra-regional significance are limited to the highest quality classes, such as chippings from igneous rocks. The regional variation in both demand for aggregates and the distribution of their resources results in significant disparities in the intensity of crushed and dimension stones extraction, as well as in the production of natural crushed aggregates across the territory of Poland. Resources of rocks used for producing crushed aggregates are unevenly distributed across the country due to geological differences between various regions. Deposits of crushed and dimension stones are found primarily in the southern part of Poland, with a clear dominance of the Lower Silesian Voivodeship.

The analysis focused on selected types of igneous rocks categorized as crushed and dimension stones deposits. Of particular economic importance are volcanic rocks such as basalts, melaphyres, and porphyries, as well as rocks from the granitoid group, including granites and granodiorites. Additionally, deposits of diabases and gabbros were also assessed.

Between 1989 and 2025, significant changes were observed in the level of crushed and dimension stones extraction, as well as in the production of crushed aggregates. This dynamic resulted from factors such as the condition of the national road and rail construction sectors, the level of infrastructure and industrial investment, growing competition from recycled aggregates, and the share of imported aggregates on the domestic market.

Data on the analyzed types of rocks, formerly classified as road and building stones, were verified and analyzed based on, among others, “The Balance of Mineral Deposit

Resources in Poland" for the years 1989–2025, "The Balance of Prospective Mineral Resources of Poland", and the "Geoenvironmental Map of Poland", taking into account prognostic and prospective areas for the occurrence of the indicated rock raw materials.

The main aim of the analysis is to determine the extraction potential of the discussed deposits in the context of future national economic needs. This will allow for an assessment of the extent to which the documented mineral resources can meet the demand for selected rock types classified as crushed and dimension stones, as well as an evaluation of their static and dynamic sufficiency. It will also enable an assessment of the need for further exploration, prospecting and deposit documentation activities within prognostic and prospective areas, and whether it is necessary to anticipate challenges associated with the potential depletion of these deposits or restrictions arising from environmental constraints. The updating and in-depth analysis of information on selected rock raw materials represents a significant contribution to the formation of the long-term national raw materials policy.

ROBERT LESZCZYŃSKI, MAŁGORZATA SPIAK

KGHM Polska Miedź SA, Lubin

Polihalit, krytyczny surowiec dla rolnictwa i szansa na nowe górnictwo w Polsce

Potas należy do kluczowych surowców warunkujących rozwój współczesnego rolnictwa i utrzymanie bezpieczeństwa żywnościowego. Jednocześnie światowa produkcja surowców potasowych koncentruje się w ograniczonej liczbie państw, co w połączeniu z rosnącym zapotrzebowaniem na nawozy potasowe oraz uwarunkowaniami geopolitycznymi zwiększa znaczenie poszukiwania nowych źródeł ich pozyskiwania. Szczególne zainteresowanie wzbudzają złoża polihalitu, stanowiącego naturalne i ekologiczne źródło potasu, magnezu, siarki i wapnia, postrzeganego jako perspektywiczna alternatywa dla tradycyjnych nawozów potasowych pochodzących ze złóż soli chlorkowych.

W referacie przedstawiono wyniki prac geologiczno-poszukiwawczych realizowanych w ramach projektu PUCK, obejmującego rozpoznanie złóż soli potasowo-magnezowych w rejonie północnego Pomorza. Omówiono aktualną sytuację na światowym rynku nawozów potasowych, znaczenie polihalitu dla sektora nawozowego oraz jego potencjalną rolę w budowaniu bezpieczeństwa surowcowego Polski i Unii Europejskiej. Zaprezentowano także najważniejsze parametry geologiczne złoża „Mieroszyno", dla którego w 2025 r. zatwierdzono dokumentację geologiczną wykazującą zasoby geologiczne przekraczające 300 mln ton.

Przeprowadzone analizy wskazują, że złoża polihalitu w rejonie Pucka mogą stanowić istotny element krajowej bazy surowcowej potasu. W warunkach całkowitej zależności Polski od importu nawozów potasowych oraz prognozowanego wzrostu globalnego popytu na ten surowiec projekt PUCK należy postrzegać jako przedsięwzięcie o znaczącym potencjale gospodarczym i strategicznym, wspierające dywersyfikację źródeł surowców oraz wzmacnianie bezpieczeństwa surowcowego państwa.

Projekt ma unikatowy w skali czasu i miejsca charakter, polegający na wybudowaniu po raz pierwszy od pół wieku nowoczesnej kopalni podziemnej w regionie, gdzie tego typu górnictwo nigdy nie istniało.

Polyhalite: a critical raw material for agriculture and an opportunity for a new mining industry in Poland

Potassium is one of the key raw materials underpinning the development of modern agriculture and the maintenance of food safety and security. However, global production of potash raw materials is concentrated in a limited number of countries. Combined with growing demand for potassium fertilisers and geopolitical challenges, this concentration increases the importance of identifying new sources of supply. Particular attention is being given to polyhalite deposits, which provide a natural and environmentally sustainable source of potassium, magnesium, sulphur, and calcium and are regarded as a promising alternative to conventional potassium fertilisers deposits.

This paper presents the results of geological exploration carried out as part of the PUCK Project, aimed at exploring potassium-magnesium salt deposits in northern Pomerania. It discusses the current situation in the global potassium fertiliser market, the importance of polyhalite to the fertiliser industry, and its potential role in strengthening the raw material security of Poland and the European Union. The paper also presents the key geological parameters of the Mieroszyno deposit, for which geological documentation was approved in 2025, confirming geological resources exceeding 300 million tons.

The analyses indicate that the polyhalite deposits in the Puck area could become an important component of Poland's domestic potassium resource base. Given Poland's complete dependence on imported potassium fertilisers and the projected growth in global demand for this raw material, the PUCK Project should be regarded as an initiative with considerable economic and strategic potential. It could support the diversification of raw material supply sources and strengthen Poland's raw material security. The project is unique in both its historical and regional context, as it involves the development of a modern underground mine for the first time in half a century, in a region where underground mining of this type has never previously been undertaken.

RAFAŁ MAŁEK, RAFAŁ NASIŁOWSKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Eoceńskie fosforyty Lubelszczyzny (wybrane lokalizacje) – analiza chemiczna pod kątem zawartości REE oraz P_2O_5

Fosforyty to skały osadowe pochodzenia biochemicznego, a ich powstanie związane jest z wytrącaniem się fosforanów w osadach, głównie pochodzenia morskiego. Tworzą one nagromadzenia typu pokładowego w formie warstw i horyzontów oraz skupień i konkrecji fosforytowych zawierających zmienną domieszkę różnych ziaren detrytycznych i mineralnych. Fosforyty na obszarze Polski są dość powszechne i rozproszone w osadowych skałach klastycznych i węglanowych różnego wieku, od kambru po eocen. Największe koncentracje fosforytów występują w utworach kredy Niżu Polskiego (Gąsiewicz 2020; Uberna 1982, 1987; Morawiecki 1971).

Fosforyty eoceńskie występują na rozległych obszarach Niżu Polskiego. Znaczne nagromadzenia konkrecji fosforytowych rozpoznano również na północnej Lubelszczyźnie, a także w rejonie Zatoki Puckiej. Konkrecje występują w obrębie piaszczystych osadów górnego eocenu, zbudowanych głównie z kwarcu i glaukonitu. Utwory fosforytonośne są przykryte osadami czwartorzędowymi i/lub młodszymi utworami neogenu (Uberna 1982, 1987). Fosforyty eoceńskie występują najczęściej w postaci pojedynczych konkrecji, których średnica może dochodzić do 10–12 cm, oraz miejscami zlepów fosforytowych. Lokalnie ich nagromadzenia są większe, co prowadzi do powstania słabo zaznaczonych poziomów lub warstw fosforytonośnych. Na północnej Lubelszczyźnie rozpoznano jeden pokład fosforytowy o zmiennej miąższości (zazwyczaj 20–40 cm), zmniejszającej się na ogół w kierunku północno-wschodnim. Udział konkrecji w warstwie może być znaczny i miejscami sięgać około 60%. Zasoby fosforytów eoceńskich na północnej Lubelszczyźnie, rozpoznane w kategorii D, stwierdzono w rejonie Glinnego Stoku oraz Łąkoci (Uberna 1982, 1987). W rejonie Mielnika nad Bugiem zawartość P_2O_5 w konkrecjach fosforytowych o uziarnieniu powyżej 2 mm wynosi średnio około 15%, przy zakresie wartości od około 12% do 17% (Gąsiewicz 2020).

W ramach zadania PSG podjęto próbę weryfikacji oraz oceny wzbogacenia REE na obszarze mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Szczególną uwagę poświęcono konkrecjom fosforytowym osadów kredy dolnej (alb–cenoman), która była przedmiotem eksploatacji górniczej na początku drugiej połowy XX w. (Nasiłowski i in. 2025; Mikulski i in. 2021; Brański i Mikulski 2016). Jednak dla celów porównawczych i weryfikacyjnych opróbowano również wystąpienia eoceńskich fosforytów Lubelszczyzny, a następnie wykonano analizy chemiczne próbek metodami WD-XRF i ICP-MS (tlenki główne, pierwiastki śladowe i pierwiastki ziem rzadkich REE). Opróbowaniu podda-

no wytypowane odsłonięcia naturalne i sztuczne, głównie w opuszczonych i czynnych miejscach eksploatacji odkrywkowej kredy i bursztynu w rejonie miejscowości: Bachorza, Kornica, Koszelówka oraz Mielnik nad Bugiem. Konkrecje fosforytowe zlokalizowano w obrębie glaukonitowych piasków i mułków eocenu, występujących w podłożu czwartorzędowym i zalegających bezpośrednio na utworach kredy.

Spośród uzyskanych wyników analiz głównych składników tlenkowych SiO_2 wykazywało zawartości w zakresie 36,8–47,3% (mediana 41,7%), Fe_2O_3 oznaczono w przedziale 3,4–5,2% (mediana 4,1%), a CaO od 21,9% do 26,5% (mediana 24,2%). Zawartości P_2O_5 wahały się w przedziale od 14,3% do 17,6% z medianą na poziomie 15,79% i średnią arytmetyczną 15,84%. Spośród zbadanych pierwiastków śladowych na uwagę zasługują zawartości Sr w zakresie od 975 ppm do 1704 ppm (mediana 1163 ppm), Ba w zakresie 127–418 ppm (mediana 211 ppm), V w zakresie 60–105 ppm (mediana 94 ppm), Cr w zakresie 71–87 ppm (mediana 78 ppm) oraz Zn (mediana 52 ppm) i U (mediana 38 ppm). Zawartości Li, Be, Co, Ni, Cu, As, Se, Rb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Tl i Pb były bardzo małe (poniżej 60 ppm). Spośród pierwiastków ziem rzadkich (REE) najwyższe wyniki uzyskano dla Ce, którego zawartość w badanych próbkach oznaczono w przedziale 88–501 ppm (mediana 171,6 ppm) oraz Y w przedziale 71–414 ppm (mediana 121 ppm). Nieco niższe zawartości zanotowano dla La (35–205 ppm, mediana 99 ppm) oraz Nd (40–340 ppm, mediana 67 ppm). Spośród pozostałych pierwiastków z grupy REE pojedyncze pomiary wykazywały wyższe zawartości, np. na poziomie 70–80 dla ppm Pr, Sm, Gd czy Dy, jednak średnie zawartości i mediany spośród całej grupy analitycznej były niskie (poniżej 20 ppm). Sumaryczne zawartości REE wyniosły od 302 ppm do 1870 ppm, z medianą na poziomie 542 ppm. Najwyższe sumaryczne zawartości REE uzyskano dla dwóch próbek – jednej pochodzącej z miejscowości Bachorza (1870 ppm) i jednej z miejscowości Kornica (1081 ppm).

Dla otrzymanych wyników przeprowadzono analizę statystyczną korelacji rangowej Spearmana, która zalecana jest dla mniejszych grup statystycznych i wykazuje zależności monotoniczne (nieliniowe). Cała grupa pierwiastków REE charakteryzuje się wysoką dodatnią korelacją z Al_2O_3 (wsp. korelacji Spearmana ρ w przedziale 0,64–0,87) oraz z niektórymi metalami, takimi jak Cu, Ba, Sr czy Zn (ρ w przedziale 0,36–0,87), a także ujemną korelacją z SiO_2, MgO, CaO, SO_3, Na_2O oraz Co i V. Z kolei P_2O_5 wykazuje silną dodatnią korelację z CaO (ρ = 0,87), MnO (ρ = 0,78), F (ρ = 0,84), słabą dodatnią korelację z Al_2O_3, Mo, Be i Sr (ρ w przedziale 0,32–0,49) oraz silną ujemną korelację z SiO_2, MgO i Na_2O. P_2O_5 wykazuje słabą dodatnią korelację z lekkimi i średnimi pierwiastkami z grupy REE (od La do Sm – współczynnik korelacji ρ wskazuje wartości od 0,18 do 0,27) oraz silniejszą korelację z niektórymi ciężkimi REE (od Gd do Lu – ρ w zakresie 0,2 do 0,52).

Wyniki zawartości REE analizowanych próbek eoceńskich fosforytów znormalizowano do PAAS (Post-Archean Australian Shale). W porównaniu z wzorcem PAAS mamy do czynienia ze względnym niewielkim wzbogaceniem w lekkie REE (LREE) w stosunku do ciężkich REE (HREE). W większości próbek wszystkie lub niemal wszystkie wartości pozostają jednak w zakresie od około 1 do 5 razy wyższym niż wzorzec PAAS,

czyli nie są ekstremalnie wzbogacone. Od generalnego trendu na wykresie zdecydowanie odstaje krzywa odpowiadająca próbce Bachorza Ba-5, która zawierała najwyższe zawartości pierwiastków ziem rzadkich (sumarycznie 1870 ppm). Z kolei próbka Mielnik Mi-1 wyróżnia się najniższymi zawartościami La-Nd. Wszystkie próbki wykazują wzbogacenie w pośrednie pierwiastki ziem rzadkich (MREE) w zakresie Sm-Tb.

Porównując analizowane fosforyty eoceńskie Lubelszczyzny z fosforytami kredowymi rejonu Niżu Polskiego, można stwierdzić, że zawartości P_2O_5 są zbliżone w obu przypadkach, choć zanotowane maksimum w badanych fosforytach eoceńskich jest niższe (17,6% versus ponad 23%; Gąsiewicz 2020; Uberna 1987). W przypadku zawartości pierwiastków z grupy REE większość (8 próbek z 10) eoceńskich fosforytów wykazuje wyższe sumaryczne zawartości REE (maksimum 1870 ppm, mediana 542 ppm, śr. 708 ppm) niż próbki kredowe z Niżu Polskiego, dla których wcześniejsze badania (Mikulski i in. 2021; Zglinicki i in. 2020) wykazały sumę REE w granicach 350–400 ppm.

Prace sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (projekt 22.6701.2201.00.1).

Eocene phosphorites of the Lublin region (selected locations) – chemical analysis for REE and P_2O_5 content

Phosphorites are sedimentary rocks of biogenic origin, formed as a result of phosphate precipitation within sediments, predominantly of marine origin. They occur as bedded accumulations, forming layers and horizons, as well as phosphate-rich concentrations and phosphatic nodules containing variable amounts of detrital and mineral grains. In Poland, phosphorites are relatively widespread and occur as dispersed components within clastic and carbonate sedimentary rocks of different ages, ranging from the Cambrian to the Eocene. The largest concentrations of phosphorites are associated with the Cretaceous deposits of the Polish Lowlands (Gąsiewicz 2020; Uberna 1982, 1987; Morawiecki 1971).

Eocene phosphorites occur over extensive areas of the Polish Lowlands. Significant accumulations of phosphatic nodules have also been identified in northern Lublin region, as well as in the vicinity of the Puck Bay. The nodules occur within sandy Upper Eocene deposits composed mainly of quartz and glauconite. The phosphorite-bearing strata are overlain by Quaternary sediments and/or younger Neogene sediments (Uberna 1982, 1987). Eocene phosphorites most commonly occur as individual nodules, which may reach 10–12 cm in diameter, and locally as phosphatic aggregates. In some areas their concentration is higher, resulting in the development of poorly defined

phosphorite-bearing horizons or beds. In northern Lublin region one phosphorite bed with variable thickness has been identified, typically ranging from 20 to 40 cm and generally decreasing to the northeast. The proportion of phosphatic nodules within the bed may be substantial, locally reaching approximately 60%. Eocene phosphorite resources in northern Lublin region, identified in category D, have been documented in the vicinity of Glinny Stok and Łąkocie (Uberna 1982, 1987). In the Mielnik area along the Bug River, the P_2O_5 content of phosphatic nodules with a grain size exceeding 2 mm averages approximately 15%, with values ranging from about 12 to 17% (Gąsiewicz 2020).

As part of the PSG task, an attempt was made to verify and assess REE enrichment in the Mesozoic margin of the Świętokrzyskie Mountains. Particular attention was paid to phosphatic nodules occurring within the Lower Cretaceous (Albian–Cenomanian) deposits, which were subject to mining exploitation during the early second half of the 20th century (Nasiłowski et al. 2025; Mikulski et al. 2021; Brański and Mikulski 2016). For comparative and verification purposes, occurrences of Eocene phosphorites in the Lublin region were also sampled, followed by chemical analyses using WD-XRF and ICP-MS methods, including determination of major oxides, trace elements, and rare earth elements (REE). Sampling was carried out at selected natural and artificial exposures, mainly within abandoned and active open-pit workings associated with the extraction of chalk deposits and amber, in the vicinity of Bachorza, Kornica, Koszelówka, and Mielnik along the Bug River. Phosphatic nodules were identified within glauconitic Eocene sands and silts occurring beneath the Quaternary cover and directly overlying the chalk deposits.

Among the major oxide components, SiO_2 concentrations ranged from 36.8 to 47.3% (median 41.7%), while Fe_2O_3 was determined in the range of 3.4–5.2% (median 4.1%), and CaO concentrations ranged from 21.9 to 26.5% (median 24.2%). P_2O_5 concentrations ranged from 14.3 to 17.6%, with a median of 15.79% and an arithmetic mean of 15.84%. Among the trace elements analysed, notable concentrations were recorded for Sr, from 975 to 1704 ppm (median 1163 ppm), Ba – from 127 to 418 ppm (median 211 ppm), V – from 60 to 105 ppm (median 94 ppm), and Cr – from 71 to 87 ppm (median 78 ppm). Zn and U also showed relatively elevated concentrations, with median values of 52 and 38 ppm, respectively. Concentrations of Li, Be, Co, Ni, Cu, As, Se, Rb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Tl, and Pb were very low, generally below 60 ppm. Among the rare earth elements (REE) the highest concentrations were recorded for Ce, with values ranging from 88 to 501 ppm (median 171.6 ppm), and Y – from 71 to 414 ppm (median 121 ppm). Slightly lower concentrations were observed for La (35–205 ppm, median 99 ppm) and Nd (40–340 ppm, median 67 ppm). The remaining REE locally exhibited elevated individual concentrations, with single measurements reaching approximately 70–80 ppm for Pr, Sm, Gd, and Dy. However, the arithmetic means and median values calculated for the entire REE group were generally low, remaining below 20 ppm. The total REE concentrations ranged from 302 to 1870 ppm, with a median of 542 ppm. The highest total REE concentrations were recorded in two

samples: one collected from the locality of Bachorza (1870 ppm) and one from the locality of Kornica (1081 ppm).

A Spearman rank correlation analysis was performed for the obtained results. This statistical method is recommended for relatively small datasets and is suitable for identifying monotonic relationships, including non-linear relationships. The entire group of rare earth elements (REE) is characterized by strong positive correlations with Al_2O_3 (Spearman's correlation coefficient ρ ranging from 0.64 to 0.87) and with selected metals, including Cu, Ba, Sr, and Zn (ρ = 0.36–0.87). In contrast, negative correlations were observed with SiO_2, MgO, CaO, SO_3, and Na_2O, as well as with Co and V. P_2O_5 exhibits strong positive correlations with CaO (ρ = 0.87), MnO (ρ = 0.78), and F (ρ = 0.84), and weak positive correlations with Al_2O_3, Mo, Be, and Sr (ρ = 0.32–0.49). At the same time, P_2O_5 shows strong negative correlations with SiO_2, MgO, and Na_2O. P_2O_5 exhibits weak positive correlations with the light and middle rare earth elements (from La to Sm), with Spearman's ρ values ranging from 0.18 to 0.27, and stronger correlations with some of the heavy REE (from Gd to Lu), for which ρ ranges from 0.20 to 0.52.

The REE concentrations determined in the analysed samples of Eocene phosphorites were normalized to PAAS (Post-Archean Australian Shale). Relative to the PAAS reference, the samples show a slight enrichment in light rare earth elements (LREE) in relation to heavy rare earth elements (HREE). In most samples, however, all or nearly all normalized values remain within approximately 1–5 times the PAAS reference values, indicating that the samples are not characterized by extreme REE enrichment. The curve corresponding to sample Bachorza Ba-5 clearly deviates from the general trend observed in the normalized REE patterns. This sample yielded the highest total REE concentration (1870 ppm). In contrast, sample Mielnik Mi-1 is distinguished by the lowest normalized values in the La–Nd range. All samples exhibit an enrichment in the middle rare earth elements (MREE), particularly over the Sm–Tb interval.

A comparison of the analysed Eocene phosphorites from the Lublin region with Cretaceous phosphorites from the Polish Lowland indicates that P_2O_5 concentrations are broadly comparable in both cases, although the maximum concentration recorded in the studied Eocene phosphorites is lower (17.6 versus more than 23%; Gąsiewicz 2020; Uberna 1987). With respect to REE concentrations, the majority of the Eocene phosphorite samples (8 out of 10) show higher total REE concentrations (maximum 1870 ppm, median 542 ppm, arithmetic mean 708 ppm) than the Cretaceous samples from the Polish Lowland. Previous studies (Mikulski et al. 2021; Zglinicki et al. 2020) reported total REE concentrations of approximately 350–400 ppm in the latter.

This work was financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management (project 22.6701.2201.00.1).

Literatura/References

Brański P., Mikulski S.Z. 2016. Rare earth elements distribution in fine-grained deposits from the uppermost Triassic and Lower Jurassic of the Polish Basin: provenance and weathering in the source area. Geological Quarterly 60, 441–450.

Gąsiewicz, A. 2020. Fosforyty (Phosphorites). [W:] Szamałek, K., Szuflicki, M., Mizerski, W. (reds.). Bilans perspektywicznych zasobów Polski. Warszawa: PIG-PIB, 233–236.

Mikulski, S.Z., Brański, P., Pieńkowski, G., Małek, R., Zglinicki, K., Chmielewski, A. 2021. Wzbogacenie w REE utworów osadowych w wybranych rejonach obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich – obiecujące dane wstępne i potrzeba dalszych badań. Przegląd Geologiczny 69, 379–385.

Morawiecki, A., 1971. Badania nad wzbogacaniem i wykorzystywaniem fosforytów krajowych. Biuletyn Instytutu Geologicznego 246: 47–134.

Nasiłowski, R., Mikulski, S., Małek, R., Weekes, R. 2025. Wstępne rezultaty poszukiwań REE w wybranych perspektywicznych utworach osadowych obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. II Kongres Surowcowy, Krynica Zdrój, 3–6.11.2025.

Uberna, J. 1982. Występowanie fosforytów w Polsce z surowcowo-technologiczną oceną możliwości ich wykorzystania oraz określeniem perspektyw poszukiwawczych. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB [nr inw. 30109, nr kat. ObO/1820], Warszawa.

Uberna, J. 1987. Fosforyty [W:] Budowa geologiczna Polski. Tom VI. Złoża surowców mineralnych (red. Osika R.): 439–451. Warszawa: Wyd. Geol.

Zglinicki, K., Szamałek, K., Salwa, S., Górska, I. 2020. Dolnokredowe fosforyty z NE obrzeżenia Gór Świętokrzyskich jako potencjalne źródło REE – badania wstępne. Przegląd Geologiczny 68, 566–576.

STANISŁAW Z. MIKULSKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Poszukiwania surowców krytycznych (CRM) w obszarach transgranicznych w ramach wspólnego programu Stowarzyszenia Europejskich Służb Geologicznych (EGS)

Krajowe Programy Poszukiwań (KPP) surowców krytycznych, opracowane zgodnie z rozporządzeniem KE CRMA, w zdecydowanej większości nie zapewniają prospekcji w obszarach transgranicznych, co kilkukrotnie było podnoszone przez Autora podczas spotkań różnych grup eksperckich. Występowanie CRM w jednostkach metalogenicznych o charakterze paneuropejskim umożliwia państwom członkowskim UE oraz stowarzyszonym podjęcie wspólnych prac poszukiwawczo-badawczych CRM w obszarach transgranicznych. Tym bardziej, że poziom wiedzy geologicznej oraz nakłady finansowe na rozpoznanie potencjału surowcowego są bardzo zróżnicowane w poszczególnych krajach.

W ramach EuroGeoSurveys (EGS) opracowany został przez krajowe służby geologiczne dziesięcioletni projekt Programu transgranicznych poszukiwań CRM w obszarze 27 państw członkowskich oraz 6 państw spoza UE (Albania, Norwegia, Serbia, Szwajcaria, Ukraina oraz Wielka Brytania). Głównym celem programu pt. „European Cross-Border Exploration Initiative. Concept Papers and Supporting Annexes" będzie rozwinięcie wszechstronnej współpracy transgranicznej dla wzmocnienia potencjału krajowych służb geologicznych odpowiedzialnych za otwarty transfer wiedzy geologicznej dla wsparcia inwestycji w sektorze poszukiwawczym w celu obniżenia ryzyka finansowego związanego z podjęciem poszukiwań CRM w Europie. Europejski Bank Inwestycyjny szacuje, że realizacja celów CRMA w zakresie krajowego wydobycia surowców krytycznych w UE wymagałaby nakładów na poszukiwania złóż rzędu 2 mld euro rocznie w ciągu najbliższych 5 lat, co stanowi mniej więcej dziesięciokrotność obecnych wydatków, wynoszących około 0,2 mld euro rocznie. W 2024 r. na UE przypadało zaledwie około 3% światowych budżetów przeznaczanych na poszukiwania, podczas gdy udział Kanady wynosił 20%, a Australii 16%. Dotychczasowy model finansowania w zakresie wzrostu aktywności w sektorze poszukiwawczo-górniczym w UE jest zdecydowanie niewystarczający w stosunku do zakładanych celów CRMA.

Opracowany Program transgranicznych poszukiwań CRM w obszarach transgranicznych będzie przedmiotem dyskusji między EGS a Dyrekcją Generalną ds. Rynku Wewnętrznego, Przemysłu, Przedsiębiorczości i MŚP (DG GROW) Komisji Europejskiej. Planowana kwota inwestycji ze środków UE wyniosłaby około 830 mln euro w perspektywie 10 lat, z czego około 670 mln euro byłoby przeznaczone na siedem tran-

sgranicznych programów regionalnych, obejmujących najbardziej perspektywiczne jednostki metalogeniczne w Europie. Kolejno są to następujące programy regionalne:

- A.1 – Fennoskandyjsko-bałtycko-ukraiński,
- A.2 – Basen cechsztyński,
- A.3 – Północno-zachodnioeuropejski pas waryscyjski,
- A.4 – Środkowo-południowoeuropejski orogen waryscyjski,
- A.5 – Środkowy alpejsko-karpacki,
- A.6 – Hellenidy-Albanidy i Rodopy,
- A.7 – Dynarydy.

PIG-PIB aktywnie uczestniczył w przygotowaniu programów A2, A4 oraz A5. Dodatkowo planowane są projekty prospekcyjne w zakresie świadczenia usług i rozwoju potencjału w ramach sieci European Exploration Capability Network, a także projekty pilotażowe EU-DEEP-MAP dotyczące głębokich złóż, wspólne usługi w zakresie danych geologicznych (EGDI) oraz nowoczesna metodyka i analityka w sektorze surowców mineralnych. Należy podkreślić, że w ramach 7 głównych regionalnych programów transgranicznych opracowano 20 kluczowych projektów tematycznych.

Zarządzanie Programem transgranicznych poszukiwań CRM byłoby realizowane przez Geological Service for Europe (GSE), początkowo w ramach wyodrębnionego biura w strukturach EuroGeoSurveys. Biuro stanowiłoby punkt kontaktu z KE w kwestiach zarządzania programem oraz jego realizacją. W procesie wdrażania systematycznie wykorzystywany byłby potencjał europejskich krajowych służb geologicznych (NGSO). EGS zrzesza 37 takich służb, zatrudniających łącznie ponad 10 000 pracowników, co stanowi solidną rozproszoną bazę wiedzy eksperckiej, infrastruktury oraz zdolności operacyjnych niezbędnych do realizacji programu. Poszczególne programy regionalne oraz kluczowe komponenty programu byłyby powierzane odpowiednio wykwalifikowanym służbom wiodącym i uczestniczącym na mocy wspólnych porozumień programowych.

Celem UE jest zatem wzmocnienie, ukierunkowanie i zwielokrotnienie efektów działań, przy jednoczesnym finansowaniu przedsięwzięć, które przynoszą korzyści o charakterze ogólnoeuropejskim, a nie tylko krajowym. Transgraniczne badania geologiczne pozwolą połączyć krajowe zbiory danych, interpretacje geologiczne i wiedzę ekspercką. Umożliwiają one integrację mapowania geologicznego, badań geofizycznych i geochemicznych, danych z otworów wiertniczych oraz innych informacji z różnych krajów. Pozwalają także na uzupełnienie braku wiedzy geologicznej w rozpoznaniu terenu i zastosowanie jednolitych metod interpretacji. Ponadto planowane są transgraniczne lotnicze badania geofizyczne, programy głębokich wierceń, specjalistyczne techniki analityczne i inne kosztowne działania, które mogą przekraczać budżety lub możliwości techniczne KPP. Przewiduje się, że sztuczna inteligencja (SI) i uczenie maszynowe będą odgrywać coraz większą rolę w ramach planowanego programu. Realizacja programu umożliwi ujawnienie struktur geologicznych, trendów występowania złóż oraz możliwości poszukiwawczych, które mogłyby pozostać niezauważone przy analizie danych z każdego kraju osobno. Wspólne zakupy sprzętu mogą obniżyć koszty

jednostkowe i udostępnić wysokiej jakości metody krajom, które nie mogłyby ich samodzielnie uzasadnić. Skoordynowany program może przedstawić główne europejskie regiony wydobywcze jako spójne możliwości poszukiwań, wspierane przez regionalne zbiory danych geologicznych i modele perspektywiczne dla złóż surowców mineralnych.

Proponowany program uzupełnia zatem KPP i co istotne, nie zastępuje instrumentów finansowych dla firm poszukiwawczych. Nie będzie finansował komercyjnych poszukiwań na poziomie firm. Celem programu będzie transfer wiedzy pomiędzy służbami geologicznymi oraz wzmocnienie kompetencji instytucji publicznych, od których zależą inwestycje w sektorze poszukiwań CRM w Europie.

Exploration for critical raw materials (CRM) in cross-border areas under the joint program of the Association of European Geological Surveys (EGS)

The vast majority of National Exploration Programs (NEPs) for critical raw materials developed in accordance with the EU's CRMA regulation, fail to provide for exploration in cross-border areas, a point the author has raised on several occasions during meetings of various expert groups. The occurrence of critical raw materials (CRMs) within pan-European metallogenic units offers the EU's member states and associated countries the opportunity to undertake joint exploration and research activities in cross-border areas. This is particularly relevant given the significant disparities between countries regarding the level of geological knowledge and the financial resources allocated to assessing raw material potential.

Under the auspices of EuroGeoSurveys (EGS) national geological surveys have developed a 10-year project for a cross-border Critical Raw Materials (CRM) exploration program covering 27 EU member states and six non-EU countries (Albania, Norway, Serbia, Switzerland, Ukraine, and the United Kingdom). The primary objective of the program entitled „European Cross-Border Exploration Initiative: Concept Papers and Supporting Annexes" is to foster comprehensive cross-border cooperation. This aims to strengthen the capacity of national geological surveys to facilitate the open transfer of geological knowledge, thereby supporting investment in the exploration sector and mitigating the financial risks associated with CRM exploration in Europe. The European Investment Bank estimates that achieving the CRMA targets for domestic critical raw material extraction in the EU would require exploration expenditure of approximately €2 billion annually over the next five years, roughly ten times the current spending level of around €0.2 billion per year. In 2024 the EU accounted for only about 3% of global exploration budgets, whereas Canada's share stood at 20% and Australia's at 16%. The current financing model for boosting activity in the EU's exploration and mining sector is woefully inadequate relative to the targets set by the CRMA.

The developed CRM exploration program for cross-border areas will be the subject of discussions between the EGS and the European Commission's Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. The planned EU investment amounts to approximately €830 million over a 10-year period, with about €670 million allocated to seven cross-border regional programs covering Europe's most promising metallogenic units. These regional programs are as follows:

- A1 – Fennoscandian-Baltic-Ukrainian,
- A2 – Zechstein Basin,
- A3 – Northwestern European Variscan Belt,
- A4 – Central-Southern European Variscan Orogen,
- A5 – Central Alpine-Carpathian,
- A6 – Hellenides-Albanides and Rhodopes,
- A7 – Dinarides.

PGI-NRI actively participated in preparing programs A2, A4, and A5. Additionally, plans include exploration projects focused on service provision and capacity building within the European Exploration Capability Network, as well as EU-DEEP-MAP pilot projects targeting deep-seated deposits, shared geological data services (EGDI), and modern methodology and analytics for the mineral raw materials sector. It should be noted that 20 key thematic projects have been developed within the framework of these seven major regional cross-border programs.

The management of the cross-border CRM exploration program would be carried out by the Geological Service for Europe (GSE), initially through a dedicated office within the EuroGeoSurveys structure. This office would serve as the contact point with the European Commission regarding program management and implementation. The implementation process would systematically leverage the capabilities of European national geological surveys. EGS brings together 37 such surveys, employing a total of over 10,000 staff, thereby providing a robust, distributed base of expertise, infrastructure, and operational capacity essential for the program's execution. Specific regional programs and key program components would be entrusted to suitably qualified lead and participating surveys under joint program agreements.

The EU's goal is therefore to strengthen, focus, and multiply the impact of activities while funding initiatives that yield pan-European rather than merely national benefits. Cross-border geological surveys will allow for the pooling of national datasets, geological interpretations, and expertise. They enable the integration of geological mapping, geophysical and geochemical surveys, borehole data, and other information from various countries, as well as the filling of knowledge gaps in terrain assessment and the application of standardized interpretation methods. Furthermore, plans include cross-border airborne geophysical surveys, deep drilling programs, specialized analytical techniques, and other costly activities that might exceed the budgets or technical capabilities of individual national geological surveys. Artificial intelligence (AI) and machine learning are expected to play an increasingly important role in the planned program. Implementing the program will reveal geological structures, deposit

trends, and exploration opportunities that might otherwise go unnoticed during separate national data analyses. Joint equipment procurement can reduce unit costs and make high-quality methods available to countries that could not justify them on their own. A coordinated program can present major European mining regions as coherent exploration opportunities, supported by regional geological datasets and prospectivity models for mineral deposits.

The proposed program therefore complements the NEP and, importantly, does not replace financial instruments for exploration companies. It will not fund commercial exploration at the company level. The program aims to facilitate knowledge transfer between geological surveys and to strengthen the capabilities of the public institutions upon which investments in the European CRM exploration sector depend.

MACIEJ MŁYNARCZYK

Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa

Koncesje pod presją. Oczekiwania gospodarki, społeczeństwa i środowiska

Rosnące znaczenie bezpieczeństwa surowcowego oraz wejście w życie Critical Raw Materials Act stawiają przed administracją geologiczną coraz silniejsze oczekiwania, aby inwestycje surowcowe przygotowywać i prowadzić sprawniej i szybciej. Rozporządzenie CRMA wzmacnia znaczenie surowców strategicznych i krytycznych, nadaje projektom strategicznym priorytet oraz ustanawia mechanizmy koordynacji i przyspieszania procedur. Jednocześnie wyraźnie pozostawia w mocy wymagania wynikające z prawa unijnego i krajowego, w tym dotyczące ocen środowiskowych, konsultacji i środków odwoławczych. Dlatego postępowanie koncesyjne pozostaje przestrzenią wyważania oczekiwań gospodarki dotyczących zarówno dostępu do surowców i przewidywalności procedur, oczekiwań społecznych związanych z bezpieczeństwem i transparentnością, jak i wymogów ochrony środowiska, racjonalnej gospodarki złożem i interesu publicznego. Szczególne znaczenie ma przy tym wiarygodność inwestora – jego rzeczywista zdolność organizacyjna oraz dysponowanie środkami technicznymi i finansowymi adekwatnymi do skali przedsięwzięcia, całego cyklu funkcjonowania kopalni i obowiązków likwidacyjnych. Ocena ta chroni zasoby Skarbu Państwa przed blokowaniem złóż przez projekty nierealne lub nadmiernie ryzykowne. Rosnąca presja na uruchamianie nowych źródeł surowców zwiększa zatem potrzebę sprawnych procedur, ale nie znosi obowiązku wszechstronnej oceny przedsięwzięcia. Odpowiedzialna polityka koncesyjna musi łączyć tempo działania z praworządnością, bezpieczeństwem, ochroną środowiska i trwałym interesem publicznym.

Concessions under pressure. The expectations of the economy, society and the environment

The growing importance of raw materials security and the entry into force of the Critical Raw Materials Act are placing the geological administration under increasing pressure to prepare and carry out raw materials investments more efficiently and quickly. The CRMA Regulation reinforces the importance of strategic and critical raw materials, gives priority to strategic projects and establishes mechanisms for coordinating and expediting procedures. At the same time, it explicitly maintains

the requirements arising from EU and national law, including those relating to environmental assessments, consultations and appeal procedures. The concession process therefore serves as a forum for balancing the economy's expectations regarding both access to raw materials and the predictability of procedures, public expectations concerning safety and transparency, as well as environmental protection requirements, the rational management of the deposit and the public interest. Of particular importance here is the investor's credibility – their actual organisational capacity and possession of technical and financial resources commensurate with the scale of the project, the entire operational cycle of the mine, and the decommissioning obligations. This assessment protects the State Treasury's resources from deposits being tied up by unrealistic or excessively risky projects. The growing pressure to develop new sources of raw materials therefore increases the need for efficient procedures, but does not remove the obligation to carry out a comprehensive assessment of the project. A responsible licensing policy must balance the pace of action with the rule of law, safety, environmental protection and the long-term public interest.

JACEK MUCHA[1], MONIKA WASILEWSKA-BŁASZCZYK[1],
JUSTYNA AUGUŚCIK-GÓRAJEK[2]

[1] *AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków*
[2] *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*

Czy metoda naturalnego sąsiada może zastąpić klasyczne metody geometryczne szacowania zasobów?

Szacowanie zasobności jednostkowej metalu i zasobów złoża przy rzadkiej sieci punktów rozpoznania jest obciążone niepewnością wynikającą zarówno z liczby i geometrii danych, jak i z nieznanej struktury zmienności przestrzennej analizowanego parametru. W takich warunkach obliczenie wiarygodnego semiwariogramu empirycznego i dopasowanie do niego modelu teoretycznego, zwłaszcza w zakresie odległości mniejszych niż typowe odstępy między punktami opróbowania, mogą być utrudnione. Uzasadnia to ocenę przydatności metod geometrycznych, które nie wymagają wcześniejszego modelowania struktury zmienności. Celem badań było porównanie dokładności trzech metod: wieloboków Voronoia, interpolacji liniowej w triangulacji Delaunaya oraz naturalnego sąsiada Sibsona. Ocenę przeprowadzono odrębnie dla lokalnych oszacowań zasobności oraz globalnego oszacowania średniej zasobności i odpowiadających jej zasobów całkowitych.

Badania wykonano jako kontrolowany eksperyment Monte Carlo. Założony obszar o wymiarach 1000×1000 m rozpoznawano za pomocą 24 nieregularnie rozmieszczonych punktów o stałym położeniu. Podstawową siatkę tworzyło 1600 bloków obliczeniowych o wymiarach 25×25 m. W celu oceny wrażliwości wyników na wielkość bloków analizę lokalną powtórzono również dla bloków 50×50 m i 100×100 m. Pola referencyjne zasobności jednostkowej Cu generowano jako lognormalne pola losowe. Skalę wartości i zmienności rozkładu przyjęto na podstawie empirycznych charakterystyk licznego zbioru pomiarów zasobności Cu, uzyskanego z opróbowania wyrobisk górniczych jednego ze złóż Cu-Ag LGOM. Przyjęte parametry odpowiadały średniej zasobności jednostkowej około 272 kg/m^2 i odchyleniu standardowemu około 185 kg/m^2. W każdej realizacji wartości w 24 punktach rozpoznania stanowiły wyłączny zbiór danych wejściowych dla porównywanych metod, natomiast dyskretna reprezentacja pola referencyjnego służyła wyłącznie do oceny dokładności oszacowań.

Przeanalizowano sześć scenariuszy zmienności przestrzennej, utworzonych przez kombinację dwóch zasięgów autokorelacji, 150 m i 1500 m, oraz trzech wariantów struktury zmienności, określonych jako ciągły, mieszany i losowy, reprezentujących różny stopień przestrzennego skorelowania wartości zasobności. Krótszy zasięg był nieco mniejszy niż średnia odległość każdego punktu rozpoznania od jego najbliższego sąsiada, natomiast dłuższy przekraczał przekątną analizowanego obszaru. Dla każdego scenariusza i każdej wielkości bloków wygenerowano 1000 niezależnych realizacji. Dokładność lokalną oceniano przez porównanie wartości oszacowanej i referencyjnej

w środkach bloków z wykorzystaniem średniego błędu bezwzględnego i średniego bezwzględnego błędu procentowego. Dokładność globalną oceniano na podstawie błędów oszacowania średniej zasobności całego obszaru. Ponieważ powierzchnia obszaru była stała, względne błędy oszacowania średniej zasobności były identyczne ze względnymi błędami oszacowania zasobów całkowitych. Dla każdej realizacji sporządzono również ranking metod, w którym ranga 1 odpowiadała najmniejszemu błędowi procentowemu.

Podstawowym czynnikiem różnicującym dokładność zarówno lokalnych, jak i globalnych oszacowań była struktura zmienności przestrzennej zasobności Cu. Najmniejsze błędy uzyskiwano w wariancie ciągłym, a największe w wariancie losowym. Oddziaływanie struktury zmienności było znacznie wyraźniejsze w ocenie lokalnej niż globalnej. Przy zasięgu 1500 m średni lokalny błąd procentowy wynosił zależnie od metody: 17,9–21,3% w wariancie ciągłym, 51,7–59,3% w wariancie mieszanym oraz 78,7–88,8% w wariancie losowym. Odpowiadający mu globalny błąd procentowy był wyraźnie mniejszy i wynosił odpowiednio: 3,2–3,6%, 8,5–8,7% oraz 11,4–11,9%. Wyniki wskazują, że dokładne oszacowanie średniej zasobności całego obszaru nie oznacza równie dokładnego odtworzenia lokalnego zróżnicowania zasobności.

Wpływ doboru metody na dokładność szacowania był mniejszy niż wpływ struktury zmienności przestrzennej, lecz zależał od skali oceny. W ocenie lokalnej we wszystkich sześciu scenariuszach najmniejsze średnie błędy uzyskano metodą naturalnego sąsiada Sibsona. Interpolacja liniowa w triangulacji Delaunaya zajmowała pozycję pośrednią, natomiast największe błędy dawała metoda wieloboków Voronoia. Kolejność ta pozostawała niezmieniona dla wszystkich analizowanych wielkości bloków. Zwiększenie wymiarów bloków z 25×25 m do 50×50 m i 100×100 m nie powodowało systematycznej zmiany średniego lokalnego błędu procentowego. W ocenie globalnej różnice między metodami były znacznie mniejsze, a wszystkie metody zapewniały zbliżoną dokładność oszacowania średniej zasobności i zasobów całego analizowanego obszaru.

Wyniki badań wskazują, że przy rzadkiej sieci punktów rozpoznania wybór metody powinien uwzględniać cel wykorzystania wyników. W zastosowaniach wymagających odtworzenia lokalnego zróżnicowania zasobności najdokładniejsze lokalne oszacowania uzyskano metodą naturalnego sąsiada Sibsona. Metoda ta wykorzystuje informacje z kilku sąsiednich punktów i zapewnia ciągłą zmianę interpolowanych wartości, co umożliwia dokładniejsze lokalne odwzorowanie przestrzennego zróżnicowania zasobności niż schodkowy model uzyskiwany metodą wieloboków Voronoia. Wysokie błędy lokalne, szczególnie w wariancie losowym, pokazują jednak, że żadna metoda interpolacyjna nie zastępuje odpowiedniego rozpoznania złoża. Zwiększenie dokładności lokalnych prognoz może wymagać zagęszczenia sieci punktów rozpoznania lub wykorzystania dodatkowych danych z opróbowania wyrobisk górniczych. Stwierdzone prawidłowości jakościowe mogą odnosić się również do innych parametrów złożowych o podobnych właściwościach statystycznych i strukturze zmienności przestrzennej.

Badania sfinansowane z subwencji przyznanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz częściowo wsparte w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" w AGH.

Can natural neighbor interpolation replace classical geometric methods for mineral resource estimation?

Estimating metal accumulation and mineral resources from a sparse exploration sampling pattern involves uncertainty associated with the small number and spatial configuration of exploration points, as well as with the unknown spatial variability structure of the parameter under analysis. Under such conditions reliable semivariogram calculation and modeling, particularly at distances shorter than the typical spacing between sampling points, may be difficult. This justifies assessing the usefulness of geometric methods that do not require prior modeling of the variability structure. The study aimed to compare the accuracy of three methods: the Voronoi polygon method, linear interpolation within a Delaunay triangulation, and Sibson's natural neighbour interpolation. The assessment was conducted separately for local estimates of Cu accumulation and for the global estimate of the mean Cu accumulation and the corresponding total Cu resources.

The study was conducted as a controlled Monte Carlo experiment. A study area measuring 1,000×1,000 m was represented by 24 irregularly distributed exploration points at fixed locations. The base grid comprised 1,600 grid blocks measuring 25×25 m. To assess the sensitivity of the results to block size the local analysis was also repeated for 50×50 m and 100×100 m blocks. The reference fields for Cu accumulation were generated as lognormal random fields.

The scale of values and variability of the assumed distribution were based on the empirical characteristics of an extensive dataset of Cu accumulation measurements obtained from the sampling of mine workings in one of the Cu-Ag deposits of the Lubin-Głogów Copper District. The adopted parameters corresponded to a mean areal Cu accumulation of approximately 272 kg/m^2 and a standard deviation of approximately 185 kg/m^2. In each realization, the values at the 24 exploration points constituted the sole input dataset for the methods being compared, whereas the discrete representation of the reference field was used exclusively to assess the accuracy of the estimates.

Six scenarios of spatial variability were analyzed, created by combining two autocorrelation ranges, 150 m and 1,500 m, with three variants of the variability structure referred to as continuous, mixed, and random, representing different degrees of spatial correlation in Cu accumulation. The shorter range was slightly smaller than the average distance from each exploration point to its nearest neighbor, whereas the longer range exceeded the diagonal of the analyzed area. For each scenario and block size, 1,000 independent realizations were generated. The local accuracy was assessed by comparing the estimated and reference values in the centers of the blocks, using the mean absolute error and the mean absolute percentage error. The global accuracy was evaluated from errors in the estimated mean Cu accumulation of the entire area. Because the area remained constant, the relative errors in estimating the mean

accumulation were identical to the relative errors in estimating the total Cu resources. The methods were also ranked separately for each realization, with rank 1 assigned to the lowest percentage error.

The primary factor differentiating the accuracy of both local and global estimates was the spatial variability structure of Cu accumulation. The lowest errors were obtained in the continuous variant and the highest in the random variant. The effect of the variability structure was much more pronounced in the local assessment than in the global assessment. With a range of 1,500 m the mean local percentage error, depending on the method, was 17.9–21.3% in the continuous variant, 51.7–59.3% in the mixed variant, and 78.7–88.8% in the random variant. The corresponding global percentage errors were markedly lower, at 3.2–3.6%, 8.5–8.7%, and 11.4–11.9%, respectively. The results indicate that an accurate estimate of the mean Cu accumulation over the entire area does not necessarily imply an equally accurate reconstruction of its local spatial variation.

The effect of the choice of method was less than the influence of the spatial variability structure, but depended on the scale of assessment. In the local assessment in all six scenarios the smallest mean errors were obtained with the Sibson's natural neighbor method. Linear interpolation in Delaunay triangulation showed intermediate accuracy, whereas the largest errors were produced by the Voronoi polygon method. This ranking remained unchanged for all the block sizes analyzed. Increasing the dimensions of the block from 25×25 m to 50×50 m and to 100×100 m did not cause a systematic change in the mean local percentage error. In the global assessment the differences between the methods were much smaller, and all methods provided similar accuracy in estimating the mean accumulation and total resources of the entire analyzed area.

The results indicate that when the exploration data are sparse the choice of method should reflect the intended use of the estimates. For applications requiring an accurate representation of the local spatial variation in Cu accumulation the most accurate local estimates were obtained using Sibson's natural neighbor interpolation. This method uses information from several neighboring points and produces continuously varying interpolated values enabling a more accurate local representation of spatial variation in Cu accumulation than the stepwise model produced by the Voronoi polygon method. However, high local errors, especially in the random variant, show that no interpolation method can replace adequate deposit exploration. Improving the accuracy of local predictions may require an increased density of exploration points or additional sampling data from the mine workings. The qualitative relationships identified in this study may also apply to other deposit parameters with similar statistical properties and a similar structure of spatial variability.

This research was funded by a grant awarded to the Stanisław Staszic AGH University of Science and Technology in Kraków by the Ministry of Science and Higher Education, and was partly supported under the 'Initiative of Excellence – Research University' programme at AGH.

MICHAŁ NOWOSIELSKI

Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa

Realizowane i planowane obszary współpracy międzynarodowej Polski w zakresie geologii i surowców

Współpraca międzynarodowa Polski w obszarze geologii i surowców ma wieloletnią tradycję. Przez dziesięciolecia polscy geolodzy uczestniczyli w pracach badawczych prowadzonych poza granicami kraju, m.in. w Mongolii, Wietnamie, Libii czy Algierii. Działania te stanowiły nie tylko wkład w rozwój nauki, ale również fundament przyszłej współpracy gospodarczej. Znaczenie współpracy międzynarodowej wzrosło wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na surowce krytyczne i strategiczne. Polska, podobnie jak większość państw Unii Europejskiej, jest uzależniona od importu wielu surowców niezbędnych do transformacji energetycznej i rozwoju nowoczesnych technologii. Dlatego jednym z celów przyjętej w 2022 r. Polityki Surowcowej Państwa było rozwijanie współpracy międzynarodowej oraz dywersyfikacja źródeł dostaw. W praktyce oznacza to głównie budowanie partnerstw z państwami posiadającymi perspektywiczne zasoby surowców poprzez współpracę badawczo-naukową pomiędzy służbami geologicznymi.

Od 2019 r. Polska rozszerzyła sieć współpracy geologiczno-surowcowej poprzez zawieranie porozumień pomiędzy służbami geologicznymi. Umowy podpisano m.in. z Demokratyczną Republiką Konga, Mongolią, Uzbekistanem, Ukrainą, Słowacją, Dominikaną, Kazachstanem, Argentyną i Wietnamem, a także z państwami Grupy Wyszehradzkiej oraz Wielką Brytanią. Współpraca ta obejmuje wspólne badania geologiczne, wymianę danych, doświadczeń i dobrych praktyk. Dodatkowo 30 kwietnia 2026 r. podpisano strategiczne porozumienie dotyczące surowców krytycznych pomiędzy rządami Polski oraz USA. Szczególne znaczenie mają również polskie kontrakty z Międzynarodową Organizacją Dna Morskiego związane z poszukiwaniem surowców na Atlantyku i Pacyfiku. Dodatkowym impulsem do rozwoju współpracy jest wejście w życie unijnego rozporządzenia Critical Raw Materials Act (CRMA). Jednym z jego założeń jest ograniczenie zależności od pojedynczych dostawców poprzez zasadę, że nie więcej niż 65% zapotrzebowania na strategiczny surowiec może pochodzić z jednego państwa trzeciego. W związku z tym Unia Europejska rozwija partnerstwa surowcowe z państwami o stabilnych warunkach politycznych i gospodarczych oraz wspiera realizację projektów strategicznych poza UE.

Przyszła współpraca Polski powinna koncentrować się na krajach posiadających znaczący potencjał surowcowy, stabilne regulacje prawne oraz dobre warunki prowadzenia działalności gospodarczej. Do priorytetowych kierunków współpracy można zaliczyć: Argentynę, Australię, Chile, Indonezję, Kanadę, Kazachstan, Rwandę, Stany

Zjednoczone, Uzbekistan i Wietnam. Kluczowe będzie nie tylko rozwijanie relacji między służbami geologicznymi, lecz także tworzenie mechanizmów wspierających zagraniczną ekspansję polskich przedsiębiorstw, udział w partnerstwach surowcowych UE, promocję polskiego potencjału badawczego oraz organizację misji gospodarczych. Działania te mogą istotnie zwiększyć bezpieczeństwo surowcowe Polski i wzmocnić pozycję polskich podmiotów na globalnym rynku surowców. Ważny jest również aktywny udział Polski w międzynarodowych gremiach, takich jak: G20, Europejska Rada ds. Surowców Krytycznych, Międzynarodowa Organizacja Dna Morskiego, Międzynarodowa Agencja Energii, EuroGeoSurvey.

Current and planned areas of Poland's international cooperation in geology and raw materials

Poland's international cooperation in the field of geology and mineral resources has a long-standing tradition. For decades, Polish geologists have participated in research projects conducted abroad, including in Mongolia, Vietnam, Libya, and Algeria. These activities have not only contributed to scientific progress but have also laid the foundation for future economic cooperation. The importance of international cooperation has increased alongside the growing demand for critical and strategic raw materials. Poland, like most the European Union member states, depends on imports of many raw materials essential for the energy transition and the development of modern technologies. Therefore, one of the objectives of the State Raw Materials Policy adopted in 2022 is to strengthen international cooperation and diversify supply sources. In practice, this has primarily involved building partnerships with countries possessing prospective mineral resources through scientific and research cooperation between geological surveys.

Since 2019 Poland has expanded its network of geological and raw materials cooperation through agreements concluded between geological surveys. Such agreements have been signed with, among others, the Democratic Republic of the Congo, Mongolia, Uzbekistan, Ukraine, Slovakia, the Dominican Republic, Kazakhstan, Argentina, and Vietnam, as well as with the Visegrád Group countries and the United Kingdom. This cooperation includes joint geological research, data exchange, sharing of experience, and the dissemination of best practices. Additionally, on 30 April 2026 a strategic agreement on critical raw materials was signed between the governments of Poland and the United States. Polish contracts with the International Seabed Authority (ISA) concerning the exploration of mineral resources in the Atlantic and Pacific Oceans are also of particular importance. An additional driver for the development of cooperation is the entry into force of the European Union's Critical Raw Materials

Act (CRMA). One of its key objectives is to reduce dependence on single suppliers by establishing that no more than 65% of the EU's demand for a strategic raw material may originate from a single third country. Consequently, the European Union is developing raw materials partnerships with countries that offer stable political and economic conditions and is supporting the implementation of strategic projects outside the EU.

Future cooperation should focus on countries with significant mineral resource potential, stable legal frameworks, and favorable business environments. Priority partners include Argentina, Australia, Chile, Indonesia, Canada, Kazakhstan, Rwanda, the United States, Uzbekistan, and Vietnam. It will be crucial not only to strengthen relations between geological surveys but also to establish mechanisms that support the international expansion of Polish companies, participation in the EU raw materials partnerships, promotion of Poland's research capabilities, and the organization of trade and economic missions. These efforts may significantly enhance Poland's raw materials security and strengthen the position of Polish entities in the global mineral resources market. Equally important is Poland's active participation in international forums, including the G20, the European Critical Raw Materials Board, the International Seabed Authority (ISA), the International Energy Agency (IEA), and EuroGeoSurveys.

ANTHONY OLISE OKONKWO, MAGDALENA WORSA-KOZAK

Politechnika Wrocławska, Wrocław

Zobowiązania zrównoważeniowe projektu MINOTAUR przełożone na wskaźniki mierzalne: ocena na tle raportowanej kampanii wiertniczej

Międzynarodowy projekt MINOTAUR rozwija autonomicznego robota wiertniczego, który ma być wprowadzany do istniejącego otworu, następnie ma drążyć własny odcinek konturowy wzdłuż strefy złożowej i być odzyskany drugim otworem. Wniosek projektowy formułuje cztery zobowiązania zrównoważonego rozwoju. Zastosowanie podziemnego rozgałęziania wiertniczego (*sub-surface branching*) oraz wierceń konturowych pozwoli na znaczące ograniczenie liczby pionowych wierceń z powierzchni. Wykorzystanie technologii cyfrowych bliźniaków rdzeni wiertniczych (*digital twin*) oraz pomiarów in-situ (LWD) eliminuje potrzebę fizycznego wydobywania rdzeni skalnych na powierzchnię. Ma się to przełożyć również na redukcję ilości generowanych odpadów wiertniczych i wydobywczych oraz zmniejszenie łącznej długości wierceń. Zobowiązania te sformułowano jakościowo – bez jednostek, wartości odniesienia i kierunku poprawy, przez co ich bezpośrednia weryfikacja jest niemożliwa na tym etapie realizacji projektu.

Celem pracy było przełożenie tych niemierzalnych zobowiązań na wskaźniki mierzalne (Azapagic 2004) i sprawdzenie ich na tle rzeczywistej, publicznie dostępnej i udokumentowanej kampanii wiertniczej. Zbudowano zestaw 24 wskaźników w czterech grupach: środowiskowej, bezpieczeństwa, ekonomicznej i operacyjnej. Każdy wskaźnik otrzymał jednostkę, kierunek poprawy oraz przypisanie do jednej z trzech jednostek funkcjonalnych: metra postępu, kampanii poszukiwawczej i metra opróbowanego. Wskaźniki, których nie da się zamknąć na obecnym poziomie gotowości technologicznej MINOTAURA (TRL 3–5), oznaczono jako warunkowe lub nierozstrzygalne, co na kolejnych etapach projektu pozwoli poszerzyć analizę.

Jako punkt odniesienia przyjęto kampanię Driftwood Creek w Kolumbii Brytyjskiej (Kanada), raportowaną zgodnie ze standardem NI 43-101: 16 otworów powierzchniowych, 1211,5 m wiercenia rdzeniowego BTW (otwór 59,6 mm, rdzeń 42,0 mm, 386 próbek rdzenia) (Reeves i in. 2018). Konfigurację hybrydową dla zastosowania MINOTAURA wyprowadzono geometrycznie przez rozwiązanie zbioru dominującego na rzeczywistych współrzędnych otworów macierzystych. Przy deklarowanym zasięgu odgałęzienia robotycznego 100 m minimalna liczba otworów powierzchniowych wynosi 5 (531,0 m), uzupełnionych o 671,2 m wierceń z zastosowaniem robota.

Przy zastosowaniu systemu MINOTAUR liczba wierceń z powierzchni spada o 68,8% (z 16 do 5), a zajęta powierzchnia terenu z 6400 do 2000 m^2. Łączny metraż

wierceń maleje o 0,8%, objętość urobku rośnie o 187,5%, a masa zwiercin o 428,0%. Masa rdzenia wydobywanego na powierzchnię spada o 56,2%, ekspozycja personelu w strefie zagrożenia spada o 53,7%, a czas pracy urządzenia – o 56,2%. Dwanaście wskaźników pozostaje nierozstrzygniętych ze względu na niski TRL MINOTAURA. Deklarowaną w projekcie 30-procentową oszczędność kosztową sprowadzono do jednego sprawdzalnego warunku $k \leq 0{,}4723$, w którym nieznana stawka jednostkowa skraca się algebraicznie. Wykazano ponadto, że sześć z siedmiu ilorazów porównawczych jest niewrażliwych na przyjętą gęstość skały i prędkość wiercenia, ponieważ wielkości te skracają się po obu stronach porównania.

Robotyczna technologia konturowa MINOTAUR (Banerjee i in. 2025) nie tyle zmniejsza obciążenie środowiskowe kampanii poszukiwawczej, ile przenosi je między kategoriami: ogranicza naruszenie powierzchni, ekspozycję personelu i masę rdzenia kosztem znacznego wzrostu objętości urobku. Niewątpliwą zaletą MINOTAURA jest jednak to, że wzrost objętości urobku wiąże się jednocześnie ze wzrostem informacji geologicznej uzyskiwanej bezpośrednio ze strefy złożowej, ograniczając urobek oraz informację ze stref płonnych. Rozkład wskaźników nierozstrzygniętych jest sam w sobie wynikiem – pokazuje, których danych technologia na poziomie TRL 3–5 jeszcze nie ujawnia. Przedstawione narzędzia pozwalają konsorcjum zweryfikować własne deklaracje ilościowo i nadają się do oceny zrównoważenia innych rozwiązań górniczych przed wdrożeniem.

Badania te są realizowane w ramach projektu MINOTAUR, który otrzymał dofinansowanie z Programu Badań i Innowacji Unii Europejskiej Horyzont Europa w ramach Umowy Grantowej nr 101178775.

Translating the MINOTAUR project's sustainability commitments into measurable indicators: an assessment against a reported drilling campaign

The international MINOTAUR project is developing an autonomous drilling robot designed to be deployed into an existing wellbore, where it will then drill its own contour section along the reservoir zone before being retrieved via a second wellbore. The project proposal sets out four sustainability commitments. Subsurface branching and contour drilling will significantly reduce the number of vertical drill holes from the surface. Digital twin technology for drill cores and in-situ measurements (LWD) eliminates the need to extract rock cores to the surface physically. It is also expected to reduce the volume of drilling and mining waste generated, as well as the total drilling length. These commitments have been formulated in qualitative terms – without units, benchmarks or a direction for improvement – making their direct verification impossible at this stage of the project.

This study aimed to translate these non-measurable commitments into measurable indicators (Azapagic 2004) and test them against an actual, publicly available, and

documented drilling campaign. We developed a set of 24 indicators, organised into four groups: environmental, safety, economic, and operational. Each indicator was assigned a unit, a direction for improvement and a classification under one of three functional units: metres of progress, exploration campaign and metres tested. Indicators that cannot be finalised at MINOTAUR's current technology readiness level (TRL 3–5) were marked as conditional or inconclusive, allowing the analysis to expand in subsequent project stages.

The Driftwood Creek campaign in British Columbia (Canada), reported in accordance with the NI 43-101 standard, was adopted as a benchmark: 16 surface holes, 1,211.5 m of BTW core drilling (59.6 mm borehole, 42.0 mm core, 386 core samples) (Reeves et al. 2018). The hybrid configuration for the MINOTAUR application was derived geometrically by solving the dominant set on the actual coordinates of the parent boreholes. With a declared robotic branch reach of 100 m, the minimum number of surface boreholes is 5 (531.0 m), supplemented by 671.2 m of robotic drilling.

Using the MINOTAUR system, the number of surface drill holes falls by 68.8% (from 16 to 5), and the land area occupied decreases from 6,400 to 2,000 m^2. The total length of drill holes decreases by 0.8%, the volume of cuttings increases by 187.5%, and the mass of drill cuttings increases by 428.0%. The mass of core brought to the surface falls by 56.2%, staff exposure in the hazard zone falls by 53.7%, and the equipment's operating time falls by 56.2%. Twelve indicators remain inconclusive due to MINOTAUR's low TRL. The 30% cost saving declared in the project has been reduced to a single verifiable condition, $k \leq 0.4723$, under which the unknown unit cost is reduced algebraically. It has also been shown that six of seven comparative ratios are insensitive to assumed rock density and drilling speed, as these values decrease on both sides of the comparison.

The MINOTAUR robotic contouring technology (Banerjee et al. 2025) does not so much reduce the environmental impact of an exploration campaign as redistribute it across categories: it limits surface disturbance, personnel exposure and core weight at the cost of a significant increase in cuttings volume. An unquestionable advantage of MINOTAUR, however, is that the increase in cuttings volume is simultaneously associated with an increase in geological information obtained directly from the deposit zone, thereby reducing cuttings and information from barren zones. The distribution of unresolved indicators is a result in itself – it shows which data the technology at TRL 3–5 has not yet revealed. The tools presented enable the consortium to verify its claims quantitatively and are suitable for assessing the sustainability of other mining solutions before implementation.

This research is being carried out as part of the MINOTAUR project, funded by the European Union's Horizon Europe Research and Innovation Programme under Grant Agreement No. 101178775.

Literatura/References

Azapagic A. 2004. Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. Journal of Cleaner Production 12(6), 639–662, https://doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00075-1.

Banerjee A. i in. 2025. Report on validation scenarios and TRL verification. MINOTAUR Deliverable D1.2, v1.0.

Reeves A., Loschiavo A., Bender R.M. 2018. NI 43-101 Preliminary Economic Assessment, Driftwood Creek Magnesite Project, British Columbia. AKF Mining Services Inc. [Online:] https://www.sedarplus.ca/csa-party/viewInstance/resource.html?node=W5500&drmKey=ffef28f6799268a3&drr=sse84166ecedeb4a3bcd1ade2eb4ac9f43e6ecb2b14764d28035fda60d0bf543df48808bc837748da2c6f27910e38ad5b1ux&id=0c11f8b7998bcd96f3dbdde2c19112665e3b0e6cf7be2f70.

KGHM
POLSKA MIEDŹ

POD POWIERZCHNIĄ

Odkrywamy złoża, z których zbudowane są innowacje



kghm.com

ANNA POLAK[1], EWELINA ANNA KOSTKA[2]

[1] *KGHM Polska Miedź SA, Lubin*

[2] *Kancelaria Juris sp. z o.o., Warszawa*

Strategiczny, ale czy wykonalny? Środowiskowe granice realizacji projektów strategicznych i możliwości krajowego uprzywilejowania

Przyznanie inwestycji statusu projektu strategicznego na podstawie Critical Raw Materials Act (CRMA) ma służyć stworzeniu korzystniejszych warunków dedykowanym projektom niezbędnym dla bezpieczeństwa surowcowego Unii Europejskiej. CRMA nie ogranicza się przy tym do skrócenia terminów wydawania pozwoleń, lecz przyznaje projektom strategicznym szczególną pozycję prawną, obejmującą ich priorytetowe traktowanie oraz uwzględnienie znaczenia projektu dla interesu publicznego. Status projektu strategicznego nie eliminuje jednak obowiązku spełnienia unijnych wymogów środowiskowych, tak materialnych, jak i proceduralnych, w szczególności wynikających z ramowej dyrektywy wodnej, regulacji dotyczących ocen oddziaływania na środowisko oraz emisji przemysłowych.

Celem referatu jest ustalenie, jak daleko sięga uprzywilejowanie projektów strategicznych ustanowione przez CRMA, gdzie przebiegają jego granice wynikające z unijnego prawa ochrony środowiska oraz w jakim zakresie państwa członkowskie mogą – w ramach pozostawionej im przestrzeni regulacyjnej – wprowadzać dalsze rozwiązania ułatwiające realizację takich inwestycji. Analiza konkretnych europejskich projektów surowcowych posłuży rozróżnieniu barier wynikających z materialnych standardów prawa UE i tych, których źródłem jest krajowa organizacja oraz fragmentaryzacja procesów inwestycyjnych. Na tym tle przedstawione zostaną możliwości wykorzystania instrumentów krajowych, takich jak integracja i koordynacja postępowań, szczególny status inwestycji, decyzja kompleksowa czy priorytet proceduralny, a także granice takich rozwiązań wyznaczane przez prawo środowiskowe UE i wymóg skutecznej ochrony sądowej.

Strategic, but is it feasible? Environmental constraints on the implementation of strategic projects and the scope for preferential treatment at national level

The designation of an investment as a strategic project under the Critical Raw Materials Act (CRMA) is intended to create more favourable conditions for selected

projects that are essential to ensuring the raw materials security of the European Union. The CRMA is not limited to shortening the applicable time limits for the permit-granting process. It also confers a distinct legal status on strategic projects, entailing their priority treatment and requiring due account to be taken of their importance to the public interest. However, designation as a strategic project does not relieve the project promoter of the obligation to comply with the substantive and procedural requirements of EU environmental law, in particular those arising under the water framework directive, the legislation governing environmental impact assessment, as well as the rules on industrial emissions.

The purpose of this paper is to determine the extent of the preferential treatment afforded to strategic projects under the CRMA, to identify the limits imposed on such treatment by EU environmental law, and to examine the extent to which member states may, within the regulatory discretion available to them, introduce additional measures facilitating the implementation of such investments. The analysis of selected European raw materials projects will serve to distinguish barriers arising from substantive standards of EU law from those attributable to the organisation and fragmentation of investment and permit-granting procedures at national level.

In view of the foregoing, the paper will examine the potential use of national legal and procedural instruments, including the integration and coordination of administrative procedures, the conferral of a special legal status on qualifying investments, the adoption of a single comprehensive decision, and the introduction of procedural priority. It will also address the limits of such measures under EU environmental law and the requirement to ensure effective judicial protection.

SEBASTIAN PREWENDOWSKI[1], WOJCIECH PANNA[2], MAGDALENA SZUMERA[1], SEBASTIAN KOMAREK[1], JAROSŁAW CYBOROŃ[1]

[1] *AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków*
[2] *Akademia Tarnowska, Tarnów*

Ocena potencjału aplikacyjnego surowców ilastych w oparciu o analizę składu fazowego i pojemności wymiany kationowej

Surowce ilaste, dzięki swoim unikatowym właściwościom fizykochemicznym, znajdują szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Ich znaczenie gospodarcze wynika zarówno z ich roli jako podstawowych surowców wykorzystywanych w przemyśle materiałów budowlanych, jak i z możliwości ich zastosowania w nowoczesnych technologiach środowiskowych (Nieć, Ratajczak 2004). O ich właściwościach użytkowych decyduje przede wszystkim skład mineralny i fazowy, a w szczególności rodzaj i zawartość minerałów ilastych, takich jak montmorylonit, kaolinit czy illit, które determinują kluczowe parametry funkcjonalne, w tym zdolność pęcznienia, właściwości sorpcyjne oraz pojemność wymiany kationów (CEC) surowca (Wyszomirski, Galos 2007). Właściwości te mają bezpośredni wpływ na możliwości technologicznego wykorzystania materiału oraz jego efektywność w konkretnych kierunkach aplikacyjnych. Z tego względu kompleksowa charakterystyka mineralogiczna i fazowa stanowi podstawę oceny jakości surowców ilastych oraz umożliwia prognozowanie ich zachowania podczas procesów technologicznych.

Celem pracy była kompleksowa charakterystyka wybranych surowców ilastych z wykorzystaniem rentgenowskiej analizy dyfrakcyjnej (XRD) oraz określenie zależności pomiędzy ich składem fazowym a pojemnością wymiany kationowej (CEC). Identyfikację minerałów ilastych przeprowadzono na podstawie analizy dyfraktogramów preparatów orientowanych poddanych glikolowaniu oraz prażeniu, zgodnie z procedurami interpretacyjnymi opracowanymi przez Brindleya i Browna (1980). Ilościową analizę składu fazowego wykonano z zastosowaniem metody udoskonalonego dopasowania strukturalnego Rietvelda (1969). W celu wyznaczenia zawartości fazy amorficznej do próbek dodano wzorzec wewnętrzny (ZnO) w ilości 5% wag., co umożliwiło jednoczesne ilościowe oznaczenie udziału faz krystalicznych oraz oszacowanie zawartości składnika amorficznego. Właściwości sorpcyjne badanych materiałów oceniono poprzez oznaczenie pojemności wymiany kationowej z wykorzystaniem metody kompleksu Cu(II)-trietylenotetraaminy $[Cu(trien)]^{2+}$ (Meier, Kahr 1999). Uzyskane wyniki skorelowano z wynikami analiz mineralogicznych, co pozwoliło ocenić wpływ rodzaju i udziału poszczególnych minerałów ilastych na zdolność materiałów do wymiany jonowej.

Przeprowadzone badania wykazały wyraźne zróżnicowanie składu fazowego analizowanych surowców ilastych, co znajduje bezpośrednie odzwierciedlenie w wartościach pojemności wymiany kationowej (CEC). Najwyższe wartości CEC uzyskano dla próbek o dominującym udziale minerałów z grupy smektytów, podczas gdy materiały o przewadze kaolinitu i illitu charakteryzowały się istotnie niższą zdolnością wymiany kationów. Uzyskane wyniki wskazują na ścisłą korelację pomiędzy składem mineralnym a właściwościami sorpcyjnymi badanych surowców, potwierdzając dominującą rolę minerałów ilastych o strukturze 2:1 w kształtowaniu ich aktywności jonowymiennej. Połączenie ilościowej analizy fazowej metodą XRD z oznaczeniami CEC stanowi kompleksowe narzędzie do oceny potencjału użytkowego surowców ilastych oraz umożliwia racjonalny dobór materiałów do zastosowań technologicznych i środowiskowych.

Badania zostały sfinansowane w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" (IDUB) w AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie oraz z subwencji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Assessment of the application potential of clay raw materials based on an analysis of phase composition and cation exchange capacity

Clay raw materials, owing to their unique physicochemical properties, are widely used in numerous industrial sectors. Their economic importance stems both from their role as basic raw materials in the building materials industry and from their potential application in modern environmental technologies (Nieć, Ratajczak 2004). Their functional properties are determined primarily by their mineral and phase composition, particularly by the type and content of clay minerals such as montmorillonite, kaolinite, and illite, which govern key functional parameters, including swelling capacity, sorption properties, and the cation exchange capacity (CEC) of the raw material (Wyszomirski, Galos 2007). These properties directly influence the potential technological applications of the material and its effectiveness in specific fields of use. Therefore, comprehensive mineralogical and phase characterization provides a basis for assessing the quality of clay raw materials and enables their behavior during technological processes to be predicted.

The aim of this study was to comprehensively characterize selected clay raw materials using X-ray diffraction (XRD) and to determine the relationship between their phase composition and cation exchange capacity (CEC). Clay minerals were identified based on X-ray diffraction patterns of oriented specimens analyzed after ethylene glycol solvation and heating, in accordance with the interpretation procedures

developed by Brindley and Brown (1980). Quantitative phase analysis was performed using the Rietveld refinement method (1969). To determine the amorphous phase content, 5 wt.% of an internal standard (ZnO) was added to the samples, enabling both the quantitative determination of crystalline phases and the estimation of the amorphous component content. The sorption properties of the investigated materials were evaluated by determining their cation exchange capacity using the copper(II)–triethylenetetramine complex $[Cu(trien)]^{2+}$ method (Meier, Kahr 1999). The results were correlated with the mineralogical analysis data, enabling assessment of the effects of the type and proportion of individual clay minerals on the ion-exchange capacity of the materials.

The results revealed considerable variation in the phase composition of the analyzed clay raw materials, which was directly reflected in their cation exchange capacity (CEC) values. The highest CEC values were obtained for samples dominated by minerals from the smectite group, whereas materials containing predominantly kaolinite and illite exhibited significantly lower cation exchange capacities. The results indicate a strong correlation between the mineral composition and sorption properties of the investigated raw materials, confirming the dominant role of 2:1 clay minerals in controlling their ion-exchange activity. Combining quantitative XRD phase analysis with CEC measurements provides a comprehensive tool for assessing the application potential of clay raw materials and enables the rational selection of materials for technological and environmental applications.

The studies were financed (or partially financed) by the "Excellence Initiative – Research University" program (IDUB) at AGH University of Krakow and from the subsidy of the Minister of Science and Higher Education for the AGH University of Kraków.

Literatura/References

Brindley G.W., Brown G. 1980. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. The Mineralogical Society, London.

Meier L.P., Kahr G. 1999. Determination of the cation exchange capacity (CEC) of clay minerals using the complexes of copper (II) ion with triethylenetetraamine. Clays and Clay Minerals 47(3), 386–388.

Nieć M., Ratajczak T. 2004. Złoża kopalin ilastych do produkcji ceramiki budowlanej, kruszyw lekkich i cementu [W:] Ney R. (red.) – Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce ilaste. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN, 117–218.

Rietveld, H.M. 1969. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. Journal of Applied Crystallography 2(2), 65–71.

Wyszomirski P., Galos K. 2007. Surowce mineralne i chemiczne przemysłu ceramicznego. Kraków: AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne.

JOANNA ROSZKOWSKA-REMIN, PAWEŁ URBAŃSKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Australijski sektor poszukiwawczy. Uwarunkowania prawne, rola służb geologicznych i możliwe inspiracje dla Polski

Na podstawie badań monitoringowych oraz doświadczeń z wizyt studyjnych pracowników PIG-PIB w Australii

Australia jest jednym z najważniejszych światowych producentów surowców mineralnych, a sektor poszukiwawczy stanowi istotny element jej gospodarki. Utrzymanie wysokiego poziomu odkryć w coraz trudniejszych warunkach geologicznych i ekonomicznych wymaga jednak silnego systemu ograniczania ryzyka inwestycyjnego, w którym uczestniczy administracja federalna i stanowa. Celem referatu jest przedstawienie najważniejszych elementów tego systemu oraz wskazanie rozwiązań przydatnych w dyskusji nad wspieraniem rozwoju poszukiwań kopalin w Polsce. Analizą objęto sposoby udzielania koncesji na poszukiwania i wydobycie kopalin, działalność stanowych służb geologicznych oraz instrumenty wsparcia eksploracji i rozwoju projektów surowcowych.

W Australii poszczególne stany stosują odrębne systemy licencjonowania działalności poszukiwawczej i wydobywczej, w tym m.in. oddzielają prace rozpoznawcze od poszukiwawczych. Istotną ich cechą jest stopniowanie wymagań prawnych i środowiskowych zależnie od rodzaju i skali prowadzonych badań. W ograniczaniu ryzyka inwestycji kluczową funkcję pełnią służba federalna i stanowe służby geologiczne. Prowadzą one regionalne badania geologiczne, geofizyczne i geochemiczne, tworzą modele potencjału surowcowego i udostępniają nieodpłatnie dane. Istotnym elementem systemu jest bezpośrednie ograniczanie ryzyka finansowego poprzez programy współfinansowania poszukiwań (m.in. wierceń i badań geofizycznych) oraz instrumenty finansowe i prawne wspierające dalszy rozwój projektów. Ważną rolę w całym sektorze mineralnym w Australii odgrywają spółki typu junior mining companies finansowane w znacznym stopniu przez prywatny rynek kapitałowy, koncentrujące się na najbardziej ryzykownych, wczesnych etapach eksploracji. Po potwierdzeniu potencjału złoża projekty mogą być rozwijane wspólnie z większymi przedsiębiorstwami górniczymi lub przez nie przejmowane. W Polsce brak jest obecnie wyraźnego odpowiednika tego segmentu rynku.

Z przeprowadzonego studium wynika, że australijska strategia surowcowa nie opiera się na jednym instrumencie, lecz na połączeniu dostępu do informacji geologicznej, sprawnego systemu wydawania koncesji, wsparcia projektów eksploracyjnych na

różnych etapach oraz koordynacji procedur inwestycyjnych. Wypracowany system nie eliminuje wszystkich problemów sektora – Australia nadal zmaga się m.in. z wysokimi kosztami eksploracji, trudnościami w finansowaniu projektów typu greenfield oraz złożonymi procedurami środowiskowymi.

W kontekście Polski szczególnie interesujące są jednak rozwiązania związane ze współfinansowaniem najbardziej ryzykownych etapów eksploracji, stopniowaniem wymagań formalno-prawnych, dostępem do publicznych danych oraz ciągłością wsparcia projektu od eksploracji do inwestycji. Elementem wartym dyskusji jest również stworzenie warunków prawnych i finansowych sprzyjających rozwojowi wyspecjalizowanych spółek poszukiwawczych typu junior mining, zdolnych do podejmowania ryzyka wczesnych etapów eksploracji. Australijskie doświadczenia wskazują, że rolą państwa nie jest zastępowanie kapitału prywatnego, lecz ograniczanie ryzyka, które utrudnia jego zaangażowanie.

Australia's mineral exploration sector: legal framework, the role of geological surveys, and potential lessons for Poland

Based on monitoring studies and the experience gained by Polish Geological Institute–National Research Institute (PIG-PIB) staff during study visits to Australia

Australia is one of the world's leading producers of mineral raw materials, and the exploration sector is an important component of its economy. However, maintaining a high level of discoveries under increasingly challenging geological and economic conditions requires a robust system for reducing investment risk, involving both federal and state governments. The aim of the presentation is to present the key elements of this system and to identify solutions that may contribute to the discussion on supporting the development of mineral exploration in Poland. The analysis covers the systems for granting exploration and mining licences, the activities of state geological surveys, and instruments supporting exploration and the development of mineral projects.

In Australia, individual states apply separate licensing systems for mineral exploration and mining, including among other things, distinguishing prospecting from exploration. An important feature of these systems is the graduated nature of legal and environmental requirements, depending on the type and scale of activities undertaken. Federal and state geological surveys play a key role in reducing investment risk. They conduct regional geological, geophysical and geochemical surveys, develop mineral potential models, and provide geological data free of charge. An important element of the system is the direct reduction of financial risk through exploration co-funding programmes, including drilling and geophysical surveys, as well as financial and legal

instruments supporting the further development of mineral projects. *Junior mining companies* play an important role in Australia's mineral sector. They are financed to a significant extent through private capital markets and focus on the most risky, early stages of exploration. Once a deposit's potential has been confirmed, projects may be further developed jointly with, or acquired by, larger mining companies. There is currently no clear equivalent of this market segment in Poland.

The study indicates that Australia's mineral resources strategy is not based on a single instrument, but rather on a combination of access to geological information, an efficient licensing system, support for exploration projects at different stages, and coordination of investment procedures.

The system does not eliminate all sectoral challenges. Australia continues to face, among other issues, high exploration costs, difficulties in financing greenfield projects, and complex environmental approval procedures.

In the context of Poland, particularly relevant are solutions involving co-funding of the riskiest stages of exploration, graduated formal and legal requirements, access to public geological data, and continuity of support from exploration through to investment.

Another issue worthy of consideration is the creation of legal and financial conditions conducive to the development of specialised *junior mining* companies capable of undertaking the risks associated with early-stage exploration. The Australian experience demonstrates that the role of the state is not to replace private capital, but to reduce the risks that hinder its engagement.

KATARZYNA STALA-SZLUGAJ, ZBIGNIEW GRUDZIŃSKI

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

Gospodarka węglem energetycznym w 2026 roku

Według statystyk International Energy Agency (IEA 2026) światowa produkcja węgla w 2025 r. uzyskała niewiele wyższy poziom niż w 2024 r. i wyniosła 9,12 mld ton (wzrost o 4,4% r/r). Łączna produkcja węgla energetycznego i koksowego wzrosła w stosunku rocznym o 0,8% do poziomu 8,54 mld ton. Wstępne dane za I kwartał 2026 r. pokazują wzrost światowej produkcji (r/r) o 2,4% do 2,35 mln ton. Łączna produkcja węgla energetycznego i koksowego wzrosła o 2,2% (r/r), wynosząc w I kwartale 2026 r. 2,11 mld ton.

W perspektywie 2030 r. światowa produkcja węgla wyniesie 8,64 mld ton i w porównaniu z 2025 r. będzie maleć w tempie 1,1%/rok (IEA 2025). Zapotrzebowanie będzie maleć rocznie w tempie 0,6% i w perspektywie 2030 r. ma wynieść 8,58 mld ton. Postępująca dekarbonizacja w Europie powoduje, że udział europejskiego rynku w światowym zużyciu węgla od lat maleje. W 2030 r. ma stanowić zaledwie 3% globalnego zużycia węgla i w wymiarze wolumenowym spaść do 288 mln ton. Dla porównania w 2025 r. zużycie węgla w Europie wyniosło 483 mln ton, co stanowiło 5% zużycia węgla na świecie.

Prognozy australijskiego departamentu przemysłu, nauki i surowców (REQ 2026) pokazują, że światowy handel węglem energetycznym w 2026 r. w stosunku do wyników uzyskanych w 2025 r. ma zmaleć o 4% do 1,07 mld ton. Import tego surowca od lat koncertuje się głównie w azjatyckiej części świata. Australijscy analitycy oceniają, że w 2026 r. do odbiorców w Azji ma zostać wyekspediowane 90% globalnego handlu węglem energetycznym. Czołówka światowych importerów węgla energetycznego od lat jest relatywnie stała. Prognozy wskazują, że do Chin ma trafić 32% światowego handlu węglem energetycznym, udział Indii ma wynieść 16%, Japonii – 11%, a Korei Południowej – 8%.

W pracy zaprezentowano ceny węgla energetycznego z rynku spot dla głównych indeksów węglowych: w eksporcie (FOB Australia, FOB Kolumbia, FOB RPA, FOB USA, FOB Rosja-Bałtyk, FOB Rosja; FOB – Free on board lub Freight on board) oraz w imporcie (CIF N-W Europa, CIF Azja, CIF Turcja; CIF – Cost, insurance, and freight). Analizą objęto okres od stycznia do czerwca 2026 r.

W pierwszej połowie 2026 r. ceny węgla energetycznego znalazły się pod wpływem konfliktu na Bliskim Wschodzie. Jednym z efektów zbrojnej konfrontacji pomiędzy koalicją Stanów Zjednoczonych i Izraela a Iranem i jego sojusznikami była blokada szlaków morskich (Cieśnina Ormuz), co przełożyło się na wzrost cen paliw. Wzrost

cen węgla energetycznego był powiązany z gwałtownym wzrostem cen LNG, odzwierciedlając dynamikę zmiany paliwa na światowych rynkach, na których węgiel i gaz są jego substytutami.

W pracy przedstawiono także prognozy obrotów handlu węglem energetycznym w perspektywie 2031 r. w podziale na głównych światowych eksporterów oraz importerów węgla energetycznego. Zaprezentowano również krajowe wydobycie oraz import węgla energetycznego za pierwsze sześć miesięcy 2026 r., a także notowania cen dwóch polskich indeksów węgla energetycznego: PSCMI_1 (w sprzedaży dla energetyki zawodowej i przemysłowej) oraz PSCMI_2 (w sprzedaży dla ciepłowni przemysłowych i komunalnych).

Publikacja zrealizowana w ramach badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk.

Steam coal management in 2026

According to statistics from the International Energy Agency (IEA 2026), global coal production in 2025 was only slightly higher than in 2024, totalling 9.12 billion tons (a 4.4% year-on-year increase). Total production of steam and coking coal rose by 0.8% year-on-year to 8.54 billion tons. Preliminary data for the first quarter of 2026 show a 2.4% year-on-year increase in global production to 2.35 million tons. Total production of steam and coking coal rose by 2.2% (year-on-year) reaching 2.11 billion tons in the first quarter of 2026.

By 2030 global coal production is projected to reach 8.64 billion tons and, compared with 2025, will decline at a rate of 1.1% per annum (IEA 2025). Demand will fall by 0.6% annually and is projected to reach 8.58 billion tons by 2030. Ongoing decarbonisation in Europe means that the European market's share of global coal consumption has been declining for years. By 2030 it is expected to account for just 3% of global coal consumption and, in terms of volume, to fall to 288 million tons. Compared to this, in 2025 coal consumption in Europe stood at 483 million tons, which accounted for 5% of global coal consumption.

Forecasts by the Australian Department of Industry, Science and Resources (REQ 2026) indicate that global trade in steam coal in 2026 is set to fall by 4% compared with 2025, to 1.07 billion tons. Imports of this commodity have for years been concentrated mainly in Asia. Australian analysts estimate that in 2026 90% of global steam coal trade will be shipped to Asian buyers. The ranking of the world's leading steam coal importers has remained relatively stable for years. Forecasts indicate that 32% of global steam coal trade is set to go to China, with India accounting for 16%, Japan for 11%, and South Korea for 8%.

The study presents spot market prices for steam coal for the main coal indices: for exports (FOB Australia, FOB Colombia, FOB South Africa, FOB USA, FOB Russia-Baltic, FOB Russia; FOB – Free on board or Freight on board) and for imports (CIF North-West Europe, CIF Asia, CIF Turkey; CIF – Cost, insurance, and freight). The analysis included the period from January to June 2026.

In the first half of 2026 steam coal prices were influenced by the conflict in the Middle East. One of the consequences of the armed confrontation between the US-led coalition with Israel and Iran and its allies was the blockade of sea routes (the Strait of Hormuz), which led to a rise in fuel prices. The rise in steam coal prices was linked to a sharp increase in LNG prices, reflecting the dynamics of fuel substitution in global markets where coal and gas are substitutes for one another.

The study also presents forecasts for steam coal trade volumes up to 2031, with a breakdown by the world's main exporters and importers of steam coal. It also presents domestic production and imports of steam coal for the first six months of 2026, as well as price quotations for two Polish steam coal indices: PSCMI_1 (for sales to the commercial and industrial power sectors) and PSCMI_2 (for sales to industrial and municipal heating plants).

This publication was a part of the statutory research carried out by the Mineral Resources and Energy Economy Institute of the Polish Academy of Sciences.

Literatura/References

EA 2026. IEA, Quarterly Coal Statistics, IEA, Paris. [Online:] https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/quarterly-coal-statistics, Licence: Terms of Use for Non-CC Material [dostęp: 2026-09-21].

IEA 2025. IEA (2025), Coal 2025, IEA, Paris. [Online:] https://www.iea.org/reports/coal-2025, Licence: CC BY 4.0.

REQ 2026. Resources and energy quarterly: June 2026. Date published: 3 July 2026. The Australian Department Of Industry, Science and Resources. [Online:] https://www.industry.gov.au/publications/resources-and-energy-quarterly-june-2026.

JAN A. STEFANOWICZ

Kancelaria Juris sp. z o.o., Warszawa

Formułowanie przedmiotu koncesji poszukiwawczo-rozpoznawczej w świetle CRMA

W prezentacji przedstawiam i rekomenduję korzystanie przez organy koncesyjne, opiniujących i przedsiębiorców z instytucji koncesji dla realizacji obowiązków i uprawnień z Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie ustanowienia ram na potrzeby zapewnienia bezpiecznych i zrównoważonych dostaw surowców krytycznych oraz zmiany Rozporządzeń (UE) Nr 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 I (UE) 2019/1020 (Rozporządzenie CRMA, Rozporządzenie). Istotna merytorycznie część przepisów Rozporządzenia i Projektu ustawy o zapewnieniu gospodarce krajowej dostępu do surowców, w tym surowców krytycznych (Ustawa wdrażająca), które przedstawiam, w istocie zmusza do ich realizacji przez zamieszczanie właściwych zapisów w koncesjach, a niektórych w umowie użytkowania górniczego. Należy wskazać, że to uprawnienie czy raczej ten obowiązek dotyczy zarówno koncesji dla poszukiwań i rozpoznawania złóż kopalin stanowiących przedmiot własności Skarbu Państwa, jak i obejmuje złoża kopalin zlokalizowanych w nieruchomościach ich właścicieli. W prezentacji zostają omówione istotniejsze przepisy Rozporządzenia CRMA, takie jak np. dotyczące przekazywania danych i informacji, potrzeby pouczeń i wskazywania kar pieniężnych czy związanych z ryzykiem surowcowym. Zgodnie z Rozporządzeniem CRMA administracja publiczna musi przejść z trybu kontrolnego w tryb wspierająco-koordynacyjny. W Polsce dotyczy to Ministerstwa Klimatu i Środowiska, Głównego Geologa Kraju oraz marszałków województw i starostów. Dla inwestorów (przedsiębiorców) Rozporządzenie przewiduje wiele obowiązków. Część z nich wynika wprost z prawa unijnego, a część to utworzone w Rozporządzeniu narzędzia, które administracja geologiczna będzie mogła i musiała zastosować, by wymuszać na organach administracji geologicznej i inwestorach dostosowanie się do realizacji celów CRMA.

1. Ustawa z dnia 9 kwietnia 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (pgig) w aktualnym brzmieniu ustala m.in., co powinna zawierać koncesja. Koncesji udzielają marszałek i minister dla kopalin Skarbu Państwa, a czasem starosta. Powinna ona zawierać stosownie do art. 30 ust. 1 pgig m.in. rodzaj i sposób wykonywania zamierzonej działalności, przestrzeń, w której granicach ma być wykonywana zamierzona działalność, w razie potrzeby przesłanki, których spełnienie oznacza rozpoczęcie działalności. W pracy przytacza się art. 13 i 15 pgig, wskazując, iż niektóre obowiązki mogą lub powinny znaleźć się w umowie użytkowania górniczego, jeżeli dotyczyć to będzie wzajemnych świadczeń, a pożytek z tych czynności pozyskany z dominium stanie się aktywem Skarbu Państwa (mieniem). Wykazuję, że opiniujący mają

możliwość i obowiązek wnosić o umieszczenie jednocześnie w opinii oraz wniosku o koncesję warunku zawieszającego pozytywną opinię.

2. Otóż w sytuacji potrzeby realizacji prac poszukiwawczych i/lub rozpoznawczych w zakresie kopalin krytycznych i kluczowych będą one z założenia dość intensywne, długotrwałe (patrz Krajowy Plan Poszukiwań Surowców Krytycznych 2026), obejmujące nowe technologie i jedynie o szacunkowym czasie badań. Tymczasem wymogi dokumentowania tych badań i przekazywanie danych są znacznie szersze niż w pgig. Dla koncesji poszukiwawczej i rozpoznawczej ustalono w pgig, że ich treść powinna zawierać zgodnie z art. 31 m.in. minimalną kategorię rozpoznania złoża, zakres i harmonogram przekazywania informacji geologicznych i próbek. W artykule omówiono możliwość ingerencji w te zapisy koncesji. Ta obligatoryjna treść stanowi bowiem katalog otwarty, przesądza o tym jednoznacznie art. 30, który stanowi, iż koncesja może określać inne wymagania dotyczące wykonywania działalności objętej koncesją, w szczególności w zakresie bezpieczeństwa powszechnego i ochrony środowiska. Jest tylko jedno ustawowe ograniczenie zakresu treści koncesji, które zgodnie z art. 31 ust. 2 zakłada, iż powierzchnia terenu objętego koncesją na poszukiwanie lub rozpoznawanie złoża kopaliny nie może przekroczyć 1200 km^2, co jak wskazuję, w wielu przypadkach jest ograniczeniem niezasadnym. Zresztą z założenia zarówno Rozporządzenie CRMA, jak i Ustawa wdrażająca przewidują czy też zalecają badania także większych obszarów.
3. Wykazano, iż trzeba przyjąć, że organ koncesyjny, czy to minister właściwy ds. koncesjonowania, czy marszałek lub starosta, powinien przyjmować i rozpatrywać w toku postępowania koncesyjnego także wnioski innych podmiotów co do zapisów w koncesji, a to w szczególności: wójta (burmistrza, prezydenta), marszałka i mając na uwadze przepisy Rozporządzenia CRMA, także Głównego Geologa Kraju, ministra właściwego ds. klimatu i właściwego ds. środowiska, a także ministrów ds. energii, infrastruktury, Dyrektora PIG-PIB, ministra właściwego ds. gospodarki, Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego.
4. Wymienione podmioty publiczne mają wykonywać zadania, które w znacznej części podlegają obowiązkom Rozporządzenia, ale też posiadają uprawnienia w zakresie koordynacji i analiz poszukiwań i rozpoznawania złóż, ryzyk i zagrożeń w tych zakresach działalności. Mając obowiązek ich poszukiwania, rozpoznawania i zarządzania nimi, powinni wykonywać te obowiązki i uprawnienia poprzez m.in. kształtowanie treści koncesji na poszukiwanie lub rozpoznawanie złóż kopalin surowców krytycznych lub kluczowych. Wobec inwestorów Rozporządzenie przewiduje także wiele obowiązków. Część z nich wynika wprost z prawa unijnego, a część to narzędzia, które administracja będzie musiała zastosować, by wymusić na przedsiębiorcach dostosowanie się do celów CRMA.

   W artykule omówiono obowiązki nakładane na przedsiębiorcę wprost z CRMA:

   - ➡ każdy operator czynnego obiektu unieszkodliwiania odpadów ma obowiązek przeprowadzania oceny potencjału odzysku surowców krytycznych (np. pierwiastków ziem rzadkich, renu) ze zrzucanych szlamów i wód pokopalnianych;

- audyty łańcucha dostaw (art. 24): duże przedsiębiorstwa (według CRMA) wykorzystujące surowce strategiczne będą musiały regularnie audytować swój łańcuch dostaw, mapować ryzyka zakłóceń i raportować działania zaradcze;
- wymogi dla projektów strategicznych: przedsiębiorca ubiegający się o ten prestiżowy status (i unijne granty) musi bezpośrednio przed Komisją Europejską wykazać w dokumentacji aplikacyjnej, że:
  - projekt ma realny wpływ na bezpieczeństwo surowcowe UE;
  - technologia jest wykonalna ekonomicznie i technologicznie;
  - spełnia najwyższe standardy ESG (środowiskowe, społeczne i ładu korporacyjnego).

5. Obowiązki nakładane przez administrację publiczną lub służbę geologiczną na podstawie Rozporządzenia CRMA: aby administracja mogła zrealizować swoje unijne cele, będzie musiała m.in. narzucić na inwestorów określone rygory na etapie koncesyjnym, takie jak:
   - przekazywanie danych geologicznych: organy koncesyjne będą musiały nałożyć obowiązek szerszego przekazywania wyników badań (np. pełnego profilu chemicznego pompowanej solanki z wód kopalnianych) do centralnej bazy danych PIG-PIB;
   - rozszerzone Oceny Oddziaływania na Środowisko (OOŚ): mimo że CRMA skraca terminy pozwoleniowe, właściwe organy ochrony środowiska będą wymuszać udowodnienie w Raporcie OOŚ, że instalacja ekstrakcyjna maksymalizuje tzw. obieg zamknięty (*Zero Liquid Discharge*) i minimalizuje ślad węglowy; zaangażowanie społeczne (*Social License to Operate*): urzędy marszałkowskie i organy wydające decyzje środowiskowe będą musiały wymagać od inwestorów przedstawienia planu łagodzenia konfliktów społecznych w obszarze inwestycji. Bez udowodnienia, że lokalna społeczność akceptuje projekt i czerpie z niego korzyści, organ może odmówić procedowania w tzw. trybie szybkiej ścieżki. Ten obowiązek może stać się również zapisem w koncesji;
   - kluczowe obowiązki służby geologicznej:
     - służba geologiczna ma obowiązek opracowania i regularnego aktualizowania Krajowych Programów Poszukiwań Surowców Krytycznych (art. 18). Obejmuje to m.in. kartowanie i analizę głębokich anomalii oraz ocenę składu chemicznego wód podziemnych pod kątem obecności metali i soli. Tym samym istnieje potrzeba nakładania szerszego obowiązku na przedsiębiorców co do opróbowań badań i pozyskiwania danych geologicznych;
     - inwentaryzacja odpadów wydobywczych (art. 26): PIG-PIB już ma obowiązek utworzenia i udostępnienia publicznej bazy danych o zamkniętych i czynnych obiektach unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (szlamy poflotacyjne, hałdy, w tym czynnych lub likwidowanych kopalń). Służba musi przeanalizować te odpady pod kątem potencjału odzysku surowców krytycznych (tzw. złoża antropogeniczne).

6. Przede wszystkim przedsiębiorcy mający obowiązki wynikające z CRMA, a szczególnie duże przedsiębiorstwa, będą z jednej strony sami wnosili we wniosku koncesyjnym o uwzględnienie w koncesji określonych obowiązków, informacji czy danych, a z drugiej strony podmioty publiczne, zobowiązane w CRMA oraz w ustawie o zapewnieniu gospodarce krajowej dostępu do surowców, w tym surowców krytycznych (Projekt z 10.08.2026 r.) do koniecznych działań, będą musiały skutecznie oddziaływać na przedsiębiorców, co może i powinno odbywać się poprzez zapisy w koncesji lub umowie użytkowania górniczego. Nie oznacza to, że dotyczy to tylko organów koncesyjnych; wręcz przeciwnie, nową rolę – i to znaczną – uzyskały inne organy. Będą one mogły i często musiały wnosić do organów koncesyjnych o umieszczenie proponowanych zapisów informujących, zobowiązujących bądź alternatywnych do koncesji. Takie oddziaływania powinny dla ich skuteczności być realizowane w zalecany tu sposób i mogą następować poprzez wprowadzenie do koncesji takich zapisów, jak:
   - wskazujące na przewidziany w przepisach Rozporządzenia obowiązek i uszczegółowianie go;
   - przekazywanie danych i informacji;
   - pouczenia i kary pieniężne;
   - wnioski o uznanie projektu za strategiczny;
   - dotyczące ryzyka „surowcowego".
7. Jak to już wskazano wyżej, nakładanie obowiązków, z uwagi na zakres i rezultat zalecanej czynności (nakazanej), mogłyby czy nawet powinno znaleźć się w umowie użytkowania górniczego. Przykładowo pozyskiwanie nowych danych i informacji geologicznych w toku czynności faktycznych i cywilno-prawnych powinno znaleźć się w umowie cywilno-prawnej, jaką jest umowa użytkowania górniczego. Pozyskane próbki, dane i informacje geologiczne będą bowiem stanowić mienie Skarbu Państwa.

Defining the scope of an exploration and reconnaissance license in light of the CRMA

In the presentation I present and recommend the use of the concession institution by licensing authorities, reviewing bodies, and entrepreneurs for the implementation of obligations and rights arising from the Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724, and (EU) 2019/1020 ("Critical Raw Materials Act"/"CRMA", "the Regulation"). A substantively significant part of the provisions of the CRMA and the Draft Act on Ensuring the National Economy Access to Raw Materials, Including

Critical Raw Materials ("Implementing Act"), which I present, essentially forces their implementation through the inclusion of appropriate provisions in concessions and, in some cases, in mining usufruct agreements. It should be pointed out that this authority, or rather this obligation, applies both to concessions for prospecting and exploration of mineral deposits constituting the property of the State Treasury, and – by encompassing mineral deposits located within real estate – to their owners. The text discusses more important provisions of the CRMA, such as those concerning the transmission of data and information, the need for instructions and the indication of financial penalties or those related to supply risk. According to the CRMA, public administration must shift from a control mode to a supporting and coordinating mode. In Poland, this applies to the Ministry of Climate and Environment, the Chief National Geologist, as well as voivodeship marshals and county heads. For investors (entrepreneurs), the Regulation provides for numerous obligations. Some of them stem directly from EU law, while others are tools established in the Regulation that the geological administration will be able and required to use in order to compel geological administration authorities and investors to comply with the implementation of CRMA objectives.

1. The Act of 9 June 2011 – the Geological and Mining Law ("GML") in its current wording specifies, among other things, what a concession should contain. Concessions are granted by the voivodeship marshal and the minister for minerals belonging to the State Treasury, and sometimes by the county head. Pursuant to Article 30(1) of the GML, a concession should contain, inter alia, the type and manner of performing the intended activity, the space within which the intended activity is to be performed, and – if necessary – the conditions whose fulfillment signifies the commencement of the activity. The article cites Articles 13 and 15 of the GML, indicating that certain obligations may or should be included in the mining usufruct agreement if they concern mutual considerations and the benefit derived from these activities under dominium becomes an asset of the State Treasury (property). I demonstrate that reviewing bodies have the capability and obligation to request the inclusion of a condition precedent for a positive opinion simultaneously in the opinion and in the concession application.
2. In the event of the need to carry out prospecting and/or exploration work regarding critical and strategic minerals, such work – including geological operations – will by assumption be quite intensive, long-term (cf. National Critical Raw Materials Exploration Plan 2026), involving new technologies and with only an estimated research timeframe. Meanwhile, the requirements for documenting this research and transmitting data are much broader than those in the GML. For exploration and prospecting concessions, the GML provides that their content should include, pursuant to Article 31, inter alia, the minimum category of deposit exploration, as well as the scope and schedule for transmitting geological information and samples. The article discusses the possibility of interfering with these concession provisions. This mandatory content constitutes an open-ended catalogue, which is unequivocally determined by Article 30, stating that the concession may specify other

requirements regarding the performance of the activity covered by the concession, particularly in the field of public safety and environmental protection. There is only one statutory limitation on the scope of the concession's content, which, in accordance with Article 31(2), assumes that the area covered by the concession for prospecting or exploring a mineral deposit cannot exceed 1,200〖" km" 〗^2, which, as I point out in the article, is in many cases an unjustified limitation. Incidentally, by design, both the CRMA Regulation and the Implementing Act provide for or recommend investigations over even larger areas.

3. The article demonstrates that it must be assumed that the licensing authority – whether the minister competent for licensing matters, the voivodeship marshal, or the county head (should also accept and examine, in the course of the concession proceedings, requests from other entities regarding the provisions of the concession, in particular mayor/head of the commune), the voivodeship marshal, and, having regard to the provisions of the CRMA Regulation, also the Chief National Geologist, the minister competent for climate matters and the minister competent for environment matters, as well as the ministers competent for energy and infrastructure, the Director of the Polish Geological Institute – National Research Institute (PIG-PIB), the minister competent for economy matters, and the President of the State Mining Authority
4. The aforementioned public entities are to perform tasks that are largely subject to the obligations of the Regulation, while also holding powers in the coordination and analysis of prospecting and exploration of deposits, as well as risks and hazards within these areas of activity. Having now the obligation to prospect, explore, and manage them, they should exercise these duties and powers by, inter alia, shaping the content of concessions for the prospecting or exploration of deposits of critical or strategic raw materials. For investors, the Regulation also provides for numerous obligations. Some of these stems directly from EU law, while others are tools that the administration will have to use in order to compel entrepreneurs to comply with CRMA objectives.

   The article discusses the obligations imposed directly on entrepreneurs by the CRMA:
   - Recovery assessment: every operator of an active waste facility is required to assess the potential for recovering critical raw materials (e.g., rare earth elements, rhenium) from discharged slurries and mine waters;
   - Supply chain audits (Article 24): large enterprises (according to the CRMA) using strategic raw materials will be required to regularly audit their supply chain, map disruption risks, and report mitigation actions;
   - Requirements for Strategic Projects: an entrepreneur applying for this prestigious status (and EU grants) must demonstrate directly to the European Commission in the application documentation that:
     - The project has a real impact on the EU's raw material security;
     - The technology is economically and technologically feasible;
     - It meets the highest ESG standards (environmental, social, and governance).

5. Obligations imposed by public administration authorities or the geological survey under the Critical Raw Materials Act (CRMA). In order for public administration authorities to meet their EU targets, they will need to impose specific requirements on investors at the concession stage, such as:
   - ➞ Submission of geological data: Concession authorities will be required to impose an obligation to disclose comprehensive exploration/investigation data (e.g., full chemical profiling of pumped mine water brines) to the central database of the Polish Geological Institute – National Research Institute (PGI-NRI/PIG-PIB);
   - ➞ Extended Environmental Impact Assessments (EIAs): Although the CRMA accelerates permitting timelines, competent environmental protection authorities will mandate proof in the Environmental Impact Report (EIR) that the extraction plant maximizes closed-loop processing (Zero Liquid Discharge – ZLD) and minimizes its carbon footprint; Social License to Operate (SLO): Marshal's offices and environmental decision-issuing bodies will require project proponents to present a social conflict mitigation plan for the affected investment zone. Failing to demonstrate local community acceptance and tangible local benefits may lead the authority to deny processing under the fast-track procedure. This requirement may also be incorporated into concession conditions.
   - ➞ Key obligations of the geological survey:
     - ➞ The geological survey is mandated to develop and regularly update National Critical Raw Material Exploration Programs (Art. 18). This encompasses, inter alia, mapping and analysis of deep-seated anomalies, as well as groundwater hydrogeochemical assessment for trace metals and salts. Consequently, there is a need to impose broader data-sharing and sampling obligations on mining operators and developers;
     - ➞ Inventory of Extractive Waste Facilities (Art. 26): PGI-NRI is already tasked with establishing and maintaining a publicly accessible database of closed and active extractive waste management facilities (flotation tailings, waste heaps/spoil tips, including those of operational or decommissioned mines). The survey must evaluate these waste deposits for critical raw material recovery potential (so-called secondary or anthropogenic deposits).
6. First and foremost, project operators facing obligations under the CRMA – and particularly large enterprises – will, on the one hand, proactively request the inclusion of specific obligations, information, or data in their concession applications. On the other hand, public entities mandated to carry out necessary measures under the CRMA and the Act on Ensuring National Economy Access to Raw Materials, Including Critical Raw Materials (Draft dated 10 August 2026), will need to exert effective regulatory leverage over operators. This can and should be achieved through provisions stipulated in the concession or the mining usufruct agreement. This does not imply that such powers are limited strictly to concession authorities; on the contrary, other authorities have been granted a new and substantial role. They will have the power, and often the duty, to petition concession authorities

to incorporate proposed informational, binding, or alternative clauses into the concession. To ensure their effectiveness, such regulatory interventions should be executed through the recommended mechanisms below, which may involve introducing terms into the concession such as:

- ➞ Provisions specifying and detailing statutory obligations provided for under the Regulation;
- ➞ Data- and information-sharing mandates;
- ➞ Legal instructions and administrative monetary penalties;
- ➞ Provisions regarding applications for Strategic Project status;
- ➞ Provisions addressing critical raw material supply chain risk.

7. As indicated above, the imposition of obligations – given the scope and intended outcome of the recommended (or mandated) measure – could, and indeed should, be incorporated into the mining usufruct agreement. For instance, the acquisition of new geological data and sampling information in the course of factual operations and civil-law transactions ought to be stipulated in a civil-law instrument such as the mining usufruct agreement. This is because the obtained samples, data, and geological information will constitute the property of the State Treasury.

GRZEGORZ SUSZKA, JERZY HADRO

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Sosnowiec

Monitoring emisji metanu z kopalń zamkniętych – etap I projektu MEMO, inwentaryzacja potencjalnych źródeł emisji

Według danych Europejskiej Agencji Środowiska z 2024 r. sektor energetyczny odpowiadał w 2022 r. za 16% emisji metanu w UE, z czego 38% wiązało się z górnictwem. Udział górnictwa w emisji metanu jest bardzo zróżnicowany między krajami UE – w Polsce, gdzie wydobycie węgla wciąż trwa, jest największy i wynosi aż ok. 70%.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1787 w sprawie redukcji emisji metanu w sektorze energetycznym nakłada na państwa członkowskie obowiązek sporządzenia i publicznego udostępnienia wykazu zamkniętych podziemnych kopalń węgla kamiennego oraz wyników pomiaru emisji metanu na zidentyfikowanych punkowych źródłach emisji. Jeśli w wyniku inwentaryzacji stwierdzone zostanie, że w danym punkcie emisja przekracza 0,5 t CH_4/rok, wymagane będzie zainstalowanie sprzętu pomiarowego i rozpoczęcie pomiarów z częstością przynajmniej raz na godzinę.

Wdrożenie rozporządzenia w krajach UE napotyka istotne trudności w postaci braku jednolitej metodyki identyfikacji punktowych źródeł emisji metanu z uwzględnieniem ograniczonej dostępności lub niekompletności danych archiwalnych. Nie mniej ważny problem stanowi ograniczona czułość dostępnych technik pomiarowych wobec niskiej wartości minimalnej emisji wymaganej rozporządzeniem.

Odpowiedzią na te wyzwania jest międzynarodowy projekt MEMO (Methane Monitoring), finansowany przez Fundusz Badawczy Węgla i Stali, realizowany przez konsorcjum partnerów z Polski, Niemiec, Belgii, Czech i Francji. Celem projektu jest opracowanie spójnej metody identyfikacji punktowych źródeł emisji oraz szacowania emisji metanu z zamkniętych kopalń, możliwej do zastosowania we wszystkich krajach UE. Realizacja projektu obejmuje pięć pakietów roboczych: zarządzanie projektem, opracowanie metod inwentaryzacji i szacowania emisji metanu, wypracowanie metod pomiarowych, studia przypadków oraz upowszechnianie wyników.

Wynikiem prac I etapu projektu było opracowanie kryteriów wyboru obszarów prowadzenia dalszych prac, które uwzględniają zróżnicowane warunki eksploatacji górniczej w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW). Kryteria te objęły: uwarunkowania geologiczne (przepuszczalność i miąższość nadkładu złoża), położenie danej kopalni w stosunku do kopalń sąsiednich, metanowość kopalń oraz czas, jaki upłynął od zamknięcia kopalni. Na podstawie przyjętych kryteriów dokonano wyboru następujących zamkniętych kopalń GZW: Krupiński, Moszczenica, Niwka Modrzejów, Siersza i Zabrze.

Wyniki dotychczasowych prac stanowić będą podstawę kolejnych etapów projektu, w których potencjalne punktowe źródła emisji metanu zostaną objęte pomiarami wykorzystującymi specjalistyczną aparaturę (m.in. drony) w granicach wytypowanych zamkniętych kopalń. Prace terenowe posłużą również do walidacji opracowywanych metod pomiarowych. Ponadto wyniki przeprowadzonych pomiarów, jak i dane archiwalne dotyczące m.in. emisji i schematu wyrobisk górniczych wytypowanych zamkniętych kopalń, zostaną wykorzystane do opracowania modeli matematycznych służących do prognozowania potencjalnych miejsc i wielkości emisji metanu.

Badania zostały wykonane w ramach projektu międzynarodowego pt.: „Monitoring metanu w opuszczonych kopalniach węgla" (akronim: MEMO), realizowanego w ramach międzynarodowego programu Funduszu Badawczego Węgla i Stali UE na podstawie umowy zawartej z European Research Executive Agency (REA) o nr 101216769-MEMO, współfinansowanego ze środków budżetu państwa przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego – program „Międzynarodowe Projekty Współfinansowane", umowa nr 6296/FBWiS/2025/2 na realizację projektu nr W106/FBWiS/2025.

Methane emission monitoring from closed coal mines – stage I of the MEMO project: inventory of potential emission sources

According to 2024 data from the European Environment Agency, the energy sector accounted for 16% of EU methane emissions in 2022, 38% of which were related to mining. The share of mining related methane emissions varies significantly across the EU countries – in Poland, where coal mining is still ongoing, it is the largest, reaching approximately 70%.

Regulation (EU) 2024/1787 of the European Parliament and of the Council on reducing methane emissions from the energy sector requires Member States to establish and make publicly available an inventory of closed underground hard coal mines, including the results of methane emission measurements at identified point emission sources. If the inventory indicates that emissions at a given point exceed 0.5 t CH_4/year, measurement equipment must be installed and measurements must be taken at least once per hour.

Implementation of the Regulation in EU countries faces significant challenges due to the lack of a uniform methodology for identifying point emission sources, taking into account the limited availability or incompleteness of historical data. Another important issue is the limited sensitivity of available measurement techniques due to the low value of the minimum emission threshold specified in the Regulation.

The international MEMO (Methane Monitoring) project, funded by the Research Fund for Coal and Steel and implemented by a consortium of partners from Poland, Germany, Belgium, the Czech Republic, and France, addresses these challenges.

The project aims to develop a consistent methodology for identifying point emission sources and estimating methane emissions from closed mines, applicable across all the EU countries. The project comprises five work packages: project management, development of methods for methane emission inventory and estimation, development of measurement methods, case studies and dissemination of results.

The first stage of the project resulted in the development of criteria for selecting areas for further work, which take into account the diverse mining conditions in the Upper Silesian Coal Basin (USCB). These criteria included: geological conditions (permeability and overburden thickness), the location of the mine in relation to neighbouring mines, methane emissions of the mine, and the time elapsed since mine closure. Based on the adopted criteria, the following closed mines in the USCB were selected: Krupiński, Moszczenica, Niwka Modrzejów, Siersza, and Zabrze.

The results of the work conducted so far will form the basis for subsequent stages of the project, in which potential point sources of methane emissions will be measured using specialized equipment (including drones) within the boundaries of selected closed mines. The fieldwork will also serve to validate the developed measurement methods. Furthermore, the measurement results, together with historical data on emissions and the layout of underground workings in the selected closed mines, will be used to develop mathematical models for predicting potential methane emission areas and emission rates.

This research was carried out as part of the international project entitled: “Methane Monitoring of Abandoned Coal Mines” (acronym: MEMO), implemented under the international program of the EU Research Fund for Coal and Steel under the agreement concluded with the European Research Executive Agency (REA) no. 101216769-MEMO, co-financed by the Ministry of Education and Science – the program “International Co-Financed Projects” under the contract No. 6296/FBWiS/2025/2 for the implementation of the project W106/FBWiS/2025.

MIROSŁAW SZOSTAK, ANNA JANUSZEWSKA-KACPRZAK

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Rozpoznawanie hałd pogórniczych metodami wiertniczymi – możliwości i ograniczenia

Antropogeniczne nagromadzenia odpadów wydobywczych i przeróbczych charakteryzują się znaczną niejednorodnością pod względem uziarnienia, stopnia zagęszczenia, wilgotności, przepuszczalności oraz udziału fragmentów skalnych o zróżnicowanej wielkości i wytrzymałości. Powoduje to, że ich rozpoznanie metodami wiertniczymi wymaga odmiennego podejścia niż w przypadku naturalnych profili geologicznych, a wybór technologii wiercenia powinien być każdorazowo dostosowany do rodzaju zdeponowanego materiału. W praktyce technologia przyjęta na początku wiercenia może wymagać zmiany w jego trakcie.

Doświadczenia z prac prowadzonych na różnych typach obiektów antropogenicznych (hałdy, osadniki) pozwoliły na porównanie kilku metod wiercenia. Na hałdach związanych z górnictwem węgla, m.in. w rejonie Wałbrzycha oraz Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, stosowano wiercenia rdzeniowe w systemie PQ (śr. 122 mm), wiercenia świdrem ślimakowym oraz wiercenia obrotowo-udarowe z młotkiem wgłębnym (DTH śr. 100 mm). Zróżnicowane uziarnienie materiału, występowanie zarówno drobnego materiału odpadowego, jak i dużych fragmentów skał płonnych oraz lokalnie silnie zagęszczonych warstw powodowało istotne różnice w postępie wiercenia i jakości uzyskiwanych próbek.

Wiercenie ślimakowe jest szczególnie efektywne w luźnym i stosunkowo jednorodnym materiale drobno- i średnioziarnistym. Jego zaletami są prostota technologiczna, duży postęp oraz brak konieczności stosowania płuczki, co ogranicza możliwość wymywania najdrobniejszych frakcji. Ograniczeniem jest natomiast obecność dużych okruchów skalnych oraz warstw silnie zagęszczonych. Dodatkowym problemem może być osypywanie się ścian otworu po wyciągnięciu świdra oraz przemieszczanie materiału wzdłuż profilu, utrudniające jednoznaczne przypisanie próbki do określonej głębokości. Z tego względu metoda ta jest szczególnie przydatna do szybkiego rozpoznania materiału luźnego, natomiast jej przydatność maleje wraz ze wzrostem niejednorodności obiektu.

Wiercenia rdzeniowe w systemie PQ pozwalają na uzyskanie materiału o znacznie lepszej kontroli głębokości poboru oraz na obserwację zmian w profilu hałdy. Metodę tę stosowano m.in. w hałdach powęglowych oraz obiektach zawierających odpady poflotacyjne. Jej istotną zaletą jest możliwość prowadzenia ciągłego opróbowania, szczególnie ważnego przy ocenie pionowej zmienności składu materiału. Problemem

w silnie przepuszczalnych i luźnych partiach hałd mogą być jednak zaniki płuczki, pogorszenie uzysku materiału oraz destabilizacja ścian otworu. Konieczne jest wówczas dostosowanie parametrów płuczki, ograniczenie jej strat, zapewnienie odpowiedniego zapasu wody oraz, w razie potrzeby, rurowanie niestabilnych odcinków otworu.

Odmienne warunki występują na hałdach zawierających materiał gruboziarnisty, silnie skonsolidowany lub odpady o dużej wytrzymałości mechanicznej. Przykładem są obiekty pohutnicze w Rudzie Śląskiej oraz hałdy związane z odkładaniem skały płonnej, m.in. w rejonie Szklar. W takich warunkach zastosowanie znajdują metody udarowe i obrotowo-udarowe. Wiercenie młotkiem wgłębnym pozwala na efektywne przewiercanie twardych fragmentów skalnych i silnie skonsolidowanych warstw, dla których świder ślimakowy lub klasyczne wiercenie obrotowe mogą okazać się niewystarczające.

Skuteczność wiercenia DTH zależy w znacznym stopniu od właściwego doboru sprężarki. Ciśnienie robocze musi zapewniać prawidłową pracę młotka na dnie otworu, natomiast wydatek powietrza powinien umożliwiać skuteczne wynoszenie zwiercin przestrzenią pierścieniową. Parametry te należy dobierać do średnicy młotka i otworu, głębokości wiercenia oraz wielkości i ilości powstających zwiercin. Niedostateczny wydatek powietrza prowadzi do zalegania zwiercin na dnie, spadku postępu wiercenia i zwiększenia ryzyka przychwycenia przewodu wiertniczego. W materiale luźnym nadmierny przepływ powietrza może z kolei powodować rozluźnianie ośrodka i pogarszać stateczność ścian otworu (kawerny). Z tego względu parametry pracy sprężarki nie powinny być traktowane jako stałe dla całego otworu.

Kluczowym wnioskiem z przeprowadzonych prac jest konieczność elastycznego prowadzenia wiercenia. Hałda nie stanowi jednorodnego ośrodka, a pojedynczy otwór może przecinać kolejno materiał drobnoziarnisty, luźne okruchy skalne, warstwy silnie zagęszczone oraz pojedyncze duże bloki. Technologia skuteczna w pierwszych metrach otworu może stać się nieefektywna wraz ze zmianą charakteru materiału. W praktyce uzasadnione jest więc stosowanie technologii kombinowanych, np. rozpoczęcie wiercenia ślimakiem, przejście na system PQ w celu uzyskania reprezentatywnego materiału rdzeniowego, a w przypadku napotkania warstw trudnych do przewiercenia zastosowanie techniki udarowej lub młotka DTH.

Dobór metody wiercenia na hałdach powinien być zatem kompromisem pomiędzy postępem wiercenia, statecznością otworu oraz jakością i reprezentatywnością uzyskiwanej próbki. Doświadczenia z różnych typów obiektów wskazują, że najbardziej efektywne rozpoznanie zapewnia nie stosowanie jednej technologii, lecz możliwość jej modyfikacji w trakcie realizacji otworu odpowiednio do rzeczywistych warunków występujących w jego profilu.

Investigation of post-mining waste dumps using drilling methods – opportunities and limitations

Anthropogenic accumulations of mining and mineral processing waste are highly heterogeneous in terms of particle size distribution, compaction, moisture content, permeability, and the proportion of rock fragments of varying sizes and strengths. Consequently, investigating these deposits using drilling methods requires a fundamentally different approach than that used for natural geological profiles. The choice of drilling technology must be tailored to the specific type of deposited material in every instance. In practice, the technology chosen at the start of a borehole may need to be adapted or changed while drilling is underway.

Experience gained from operations on various types of anthropogenic sites, such as waste heaps and settling ponds, has enabled a comparison of several drilling methods. On coal mining waste heaps, including those in the Wałbrzych region and the Upper Silesian Coal Basin, methods such as PQ-system core drilling (122 mm diameter), continuous flight auger drilling, and rotary-percussive down-the-hole (DTH, 100 mm diameter) hammer drilling have been utilized. The variable grain size, the presence of both fine waste material and large fragments of waste rock, and locally heavily compacted layers led to significant differences in drilling progress and core sample quality.

Auger drilling is particularly effective in loose, relatively homogeneous, fine- to medium-grained material. Its advantages include technical simplicity, high penetration rates, and the fact that it does not require drilling fluid, which prevents the washing away of the finest fractions. However, its main limitations are the presence of large rock fragments and highly compacted layers. Additional challenges include borehole wall collapse after the auger is extracted and the displacement of material along the profile, making it difficult to accurately correlate samples with specific depths. For these reasons, while this method is highly suitable for rapid reconnaissance of loose material, its utility declines as the heterogeneity of the site increases.

PQ-system core drilling provides much better depth control for sampling and allows for the detailed observation of variations within the waste heap profile. This method has been used on coal waste heaps and tailings ponds, among other sites. Its key benefit is the ability to perform continuous sampling, which is crucial for assessing vertical variations in material composition. However, highly permeable and loose zones within the heaps can cause fluid loss, poor core recovery, and borehole instability. Addressing these issues requires adjusting the drilling fluid properties, mitigating fluid loss, securing an adequate water supply, and, if necessary, casing the unstable intervals of the borehole.

Distinctly different conditions are encountered on heaps containing coarse, highly consolidated material or waste with high mechanical strength. Examples include metallurgical slag dumps in Ruda Śląska and waste rock dumps, such as those in the

Szklary region. In these environments, percussive and rotary-percussive methods are preferred. Down-the-hole (DTH) hammer drilling allows for the efficient penetration of hard rock fragments and heavily consolidated layers where auger drilling or conventional rotary drilling might fail.

The effectiveness of DTH drilling largely depends on the proper selection of the air compressor. The operating pressure must ensure that the hammer functions correctly at the bottom of the hole, while the air flow rate must be sufficient to effectively flush out drill cuttings through the annular space. These parameters must be tailored to the hammer and borehole diameters, the drilling depth, and the size and volume of the generated cuttings. Insufficient air flow leads to cuttings accumulating at the bottom, decreasing the penetration rate and increasing the risk of stuck drill pipes. Conversely, excessive air flow in loose material can loosen the surrounding matrix and compromise borehole stability, leading to washouts or cavities. Therefore, compressor operating parameters should not be kept constant throughout the entire depth of the borehole.

A key takeaway from these operations is the absolute necessity of a flexible drilling approach. A waste heap is not a homogeneous medium; a single borehole may pass sequentially through fine-grained material, loose rock fragments, heavily compacted layers, and isolated large boulders. A technology that is highly effective for the first few meters may become completely inefficient as the nature of the material changes. In practice, using combined or hybrid technologies is highly justified – for instance, starting with auger drilling, switching to the PQ system to retrieve representative core samples, and resorting to percussive techniques or a DTH hammer when encountering hard-to-drill layers.

Consequently, choosing a drilling method for waste heaps involves finding a compromise between penetration rate, borehole stability, and the quality and representativeness of the recovered sample. Experience across various site types demonstrates that the most effective site investigation is achieved not by relying on a single technology, but by maintaining the flexibility to modify the approach mid-drilling in response to the actual conditions encountered downhole.

MAGDALENA SZUMERA[1], PAWEŁ RUTKOWSKI[1], KAMIL KORNAUS[1],
MICHAŁ PYRC[2], AGNIESZKA KIJO-KLECZKOWSKA[2], MARIUSZ CHWIST[2],
MARCIN GAJEK[1], MAGDALENA LEŚNIAK[1], AGNIESZKA WOJTECZKO[1]

[1] *AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków*
[2] *Politechnika Częstochowska, Częstochowa*

Badania właściwości fizykochemicznych i termicznych węgla aktywnego stosowanego w instalacji oczyszczania biogazu wysypiskowego

Koncepcja. Biogaz składowiskowy stanowi cenne paliwo wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej i ciepła, jednak jego zastosowanie wymaga wcześniejszego usunięcia zanieczyszczeń, przede wszystkim siarkowodoru oraz lotnych związków krzemu. Związki te powodują przyspieszoną degradację tłokowych silników spalinowych, skracając ich trwałość i zwiększając koszty eksploatacji. Jedną z najczęściej stosowanych metod oczyszczania biogazu jest adsorpcja na węglach aktywnych o działaniu katalitycznym. Podczas eksploatacji węgiel aktywny ulega stopniowej dezaktywacji wskutek akumulacji produktów adsorpcji oraz reakcji chemicznych zachodzących w strukturze porowatej. Mimo szerokiego wykorzystania tego typu materiałów nadal niewiele publikacji przedstawia ocenę zmian zachodzących w katalitycznym węglu aktywnym eksploatowanym w rzeczywistych warunkach przemysłowych, z wykorzystaniem komplementarnych metod badawczych.

Cel pracy. Celem pracy była kompleksowa charakterystyka zmian właściwości fizykochemicznych, mikrostrukturalnych oraz termicznych katalitycznego węgla aktywnego po zakończonej eksploatacji w instalacji oczyszczania gazu składowiskowego. Badaniom poddano katalityczny węgiel aktywny IM-AC DS100, zastosowany do usuwania siarkowodoru z gazu składowiskowego, w rzeczywistych warunkach przemysłowych w Częstochowskim Przedsiębiorstwie Komunalnym w Sobuczynie. Materiał ten pracował w kolumnach adsorpcyjnych od listopada 2025 r. do kwietnia 2026 r. W tym okresie instalacja oczyściła 622 525 m^3 gazu składowiskowego, z którego wyprodukowano 1174,6 MWh energii elektrycznej.

Metodyka badań. W badaniach wykorzystano próbki węgla aktywnego przed oraz po jego eksploatacji (pochodzące z trzech wysokości złoża). Analizy wykonano zarówno dla materiału w postaci pelletu węgla aktywnego, jak i proszku uzyskanego po rozdrobnieniu pelletów do uziarnienia poniżej 200 µm. Właściwości katalitycznego węgla aktywnego oceniono metodami BET, t-Plot, BJH, DFT, piknometrii helowej, TG-DSC-MS, SEM-EDS oraz WDXRF, co umożliwiło kompleksową charakterystykę struktury porowatej, składu chemicznego, mikrostruktury oraz właściwości termicznych materiału.

Wyniki badań. Eksploatacja katalitycznego węgla aktywnego spowodowała istotne zmiany jego właściwości fizykochemicznych i termicznych. Parametry tekstu-

ralne uległy wyraźnemu pogorszeniu; powierzchnia właściwa BET zmniejszyła się z 885 do 423–757 m^2/g, powierzchnia mikroporów – z 745 do 338–634 m^2/g, a ich objętość właściwa – z 0,31 do 0,15–0,28 cm^3/g, przy jednoczesnym spadku całkowitej objętości porów z 0,45 do 0,23–0,39 cm^3/g. Największy stopień degradacji stwierdzono w próbce węgla aktywnego z najwyższej partii złoża, co wskazuje na nierównomierne jego wykorzystanie. Pomiary gęstości helowej wykazały wzrost gęstości próbek eksploatowanych po odgazowaniu z 1,625–1,780 do 2,004–2,074 g/cm^3 (wzrost o 16,6–24,5%), podczas gdy dla materiału przed eksploatacją zmiana wyniosła jedynie 4,6% dla próbki proszkowej, co wskazuje na obecność składników usuwanych podczas odgazowania. Obserwacje SEM ujawniły obecność licznych depozytów na powierzchni ziaren oraz częściowe pokrycie ścian porów materiałem reakcyjnym. Analizy EDS wykazały lokalne wzbogacenie powierzchni w siarkę (>40% mas.) oraz obecność potasu, wapnia i krzemu. Wyniki WDXRF potwierdziły te obserwacje, wskazując na wzrost średniej zawartości siarki z 0% w materiale przed eksploatacją do 0,3–0,9% S (odpowiednio 0,9–2,4% SO_3) w próbkach po eksploatacji. Z kolei analiza TG-DSC-MS wykazała wieloetapowy przebieg przemian termicznych związanych z usuwaniem produktów zgromadzonych podczas eksploatacji, przede wszystkim H_2S.

Wnioski. Kompleksowa charakterystyka wykazała, że eksploatacja katalitycznego węgla aktywnego prowadzi do degradacji jego właściwości adsorpcyjnych wskutek akumulacji produktów adsorpcji oraz reakcji chemicznych zachodzących podczas usuwania siarkowodoru z biogazu wysypiskowego. Spadek powierzchni właściwej i objętości mikroporów koreluje z obecnością depozytów bogatych w siarkę, zmianami składu chemicznego oraz właściwościami termicznymi materiału. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do optymalizacji czasu eksploatacji adsorbentów oraz opracowania metod ich regeneracji.

Badania były współfinansowane w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" (IDUB) w AGH Akademii Górniczo-Hutniczej oraz z subwencji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Praca została również przygotowana w ramach BS/PB-1-100-301/2026/P (Wydział Inżynierii Mechanicznej, Politechnika Częstochowska).

Physicochemical and thermal properties of activated carbon used in a landfill gas purification system

Concept. Landfill gas is a valuable fuel used to generate electricity and heat; however, its utilisation requires prior removal of contaminants, primarily hydrogen sulphide and volatile silicon compounds. These impurities accelerate the degradation of reciprocating internal combustion engines, reducing their service life and increasing

operating costs. One of the most widely applied methods for landfill gas purification is catalytic adsorption using activated carbons. During operation, activated carbon undergoes gradual deactivation due to the accumulation of adsorption products and chemical reactions occurring within its porous structure. Despite the widespread application of these materials, relatively few studies have comprehensively evaluated the changes occurring in catalytic activated carbon operated under actual industrial conditions using complementary analytical techniques.

Objective. This study aimed to comprehensively characterise the physicochemical, microstructural, and thermal changes occurring in catalytic activated carbon after long-term operation in a landfill gas purification system.

The investigated material was IM-AC DS100 catalytic activated carbon used for hydrogen sulphide removal from landfill gas under real industrial operating conditions at the Czestochowa Municipal Waste Management Company in Sobuczyna, Poland. The adsorbent operated in adsorption columns from November 2025 to April 2026. During this period, the installation purified 622,525 m^3 of landfill gas, enabling the generation of 1,174.6 MWh of electrical energy.

Methodology. The study was performed using catalytic activated carbon samples collected before and after industrial operation, with the post-operation samples taken from three different bed heights. Analyses were carried out on both the original activated carbon pellets and powder obtained by crushing the pellets to a particle size below 200 μm. The physicochemical properties of the catalytic activated carbon were investigated using BET surface area analysis, t-Plot, BJH, DFT pore structure analysis, helium pycnometry, TG-DSC-MS, SEM-EDS, and WDXRF. These complementary techniques enabled a comprehensive characterisation of the porous structure, chemical composition, microstructure, and thermal behaviour of the material.

Results. Industrial operation of the catalytic activated carbon resulted in significant changes in its physicochemical and thermal properties. The textural parameters deteriorated considerably; the BET specific surface area decreased from 885 to 423–757 m^2/g, the micropore surface area from 745 to 338–634 m^2/g, and the micropore volume from 0.31 to 0.15–0.28 cm^3/g, accompanied by a reduction in the total pore volume from 0.45 to 0.23–0.39 cm^3/g. The highest degree of degradation was observed in the activated carbon sample collected from the upper section of the adsorption bed, indicating non-uniform utilisation of the adsorbent. Helium pycnometry measurements revealed an increase in the density of the spent samples after degassing from 1.625–1.780 to 2.004–2.074 g/cm^3 (an increase of 16.6–24.5%). In contrast, the corresponding change for the fresh material was only 4.6% for the powdered sample, indicating the presence of constituents removed during the degassing process. SEM observations revealed numerous deposits on the surface of the carbon grains as well as partial coverage of the pore walls by reaction products. EDS analyses demonstrated local sulphur enrichment of the surface (locally exceeding 40 wt.%) together with the presence of potassium, calcium, and silicon. These observations were confirmed by WDXRF analysis, which showed an increase in the average sulphur content from

0 wt.% in the fresh material to 0.3–0.9 wt.% S (corresponding to 0.9–2.4 wt.% SO_3) in the spent samples. In turn, TG-DSC-MS analysis revealed a multi-stage thermal decomposition process associated with the removal of products accumulated during operation, primarily hydrogen sulphide (H_2S).

Conclusions. The comprehensive characterisation demonstrated that industrial operation of catalytic activated carbon leads to deterioration of its adsorption properties due to the accumulation of adsorption products and chemical reactions occurring during hydrogen sulphide removal from landfill gas. The decrease in specific surface area and micropore volume correlates with the presence of sulphur-rich deposits, changes in chemical composition, and alterations in the material's thermal properties. The obtained results may provide a basis for optimising the service life of adsorbents and for developing effective regeneration strategies.

The studies were partially financed by the "Excellence Initiative – Research University" program (IDUB) at AGH University of Krakow and by the subsidy of the Minister of Science and Higher Education for the AGH University of Kraków. The study was also carried out within the project BS/PB-1-100-301/2026/P (Faculty of Mechanical Engineering, Czestochowa University of Technology).

ARTUR SZYMAŃSKI, KAROL DURKOWSKI

KGHM CUPRUM sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław

Rozpoznawanie warunków hydrogeologicznych w obszarach antropogenicznych i naturalnych deformacji terenu w obszarach pogórniczych dawnej kopalni węgla brunatnego „Babina" (rejon Łęknicy). Aktualizacja wyników i trendy zmian hydrodynamicznych dla wielolecia 2020–2026

Poeksploatacyjne, wtórne deformacje terenu rozwijające się na terenach pogórniczych stanowią narastający problem w skali globalnej, generując ryzyko uszkodzenia infrastruktury i zagrożenie dla bezpieczeństwa. Modelowym przykładem takiego obszaru w Polsce są tereny dawnej kopalni węgla brunatnego i iłów ceramicznych „Babina" w rejonie Łęknicy, zlokalizowane w strukturze Światowego Geoparku UNESCO Łuk Mużakowa. W latach 2020–2026 wdrożono tam interdyscyplinarny program monitoringu i analiz środowiskowych, integrujący ciągłe pomiary hydrogeologiczne, badania geofizyczne, teledetekcję satelitarną i lotniczą oraz zaawansowane modelowanie numeryczne. Głównym celem prac była rekonstrukcja warunków hydrogeologicznych oraz analiza trendów hydrodynamicznych przy użyciu metod uczenia maszynowego w celu weryfikacji hipotezy o hydrogeologicznej genezie współczesnych deformacji terenu.

Wieloletnie obserwacje pozwoliły na zidentyfikowanie kluczowego punktu zwrotnego w rozwoju hydrodynamicznym regionu, ujawniając występowanie dwóch odmiennych reżimów wodonośnych. W przypowierzchniowym, czwartorzędowym poziomie wodonośnym odnotowano fluktuacje sezonowe zwierciadła wód w granicach 0,39–7,07 m p.p.t., które od 2024 r. przekształciły się w trwały trend spadkowy o charakterze regionalnym. Doprowadził on do permanentnego wysuszenia większości studni gospodarskich oraz całkowitego zaniku Zbiornika Jana I i naturalnego wypływu „Źródło Quelle" w połowie 2026 r. Zjawiska te wskazują na ucieczkę składowej powierzchniowej w kierunku dawnych wyrobisk kopalnianych. Z kolei głębokie piętro neogeńskie wykazało wysoką stabilność hydrodynamiczną, co świadczy o stopniowym osiąganiu równowagi i tłumieniu pulsacji ciśnień poeksploatacyjnych. Intensywny drenaż pionowy i przeformowanie dróg filtracji stwarzają jednak wysokie ryzyko inicjacji nowych deformacji nieciągłych w strefach osłabienia mechanicznego gruntu.

W sensie hydrochemicznym udokumentowano permanentną degradację jakościową wód wywołaną procesami kwaśnego drenażu kopalnianego (AMD), będącego skutkiem wietrzenia pirytu i markazytu. Większość akwenów pojezierza antropogenicznego reprezentuje typ zbiorników acidotroficznych o ekstremalnie kwaśnym odczynie (pH 2,44–2,98), wysokim potencjale redox oraz anomalnie wysokiej mineralizacji siar-

czanowo-żelazistej. Warunki te drastycznie ograniczają biologiczny rozwój ekosystemu oraz rekreacyjne i gospodarcze wykorzystanie tych terenów. Opracowany model numeryczny, zintegrowany z algorytmami uczenia maszynowego, do analizy dużych zbiorów danych (Big Data) wykazał bardzo wysoką skuteczność predykcyjną. Pozwolił on na precyzyjne skorelowanie zmian poziomów hydrodynamicznych z przemieszczeniami rejestrowanymi metodą InSAR oraz anomaliami ERT. Uzyskane wyniki stanowią gotowe narzędzie aplikacyjne służące optymalizacji planowania przestrzennego i wczesnemu ostrzeganiu przed zagrożeniami geotechnicznymi.

Identification of hydrogeological conditions in areas of anthropogenic and natural terrain deformations in the post-mining areas of the former 'Babina' lignite mine (Łęknica region). Update of results and hydrodynamic change trends for multi-years period 2020–2026

Post-mining, secondary ground deformations developing in reclaimed areas represent a growing global issue, posing significant risks to infrastructure and public safety. A model example of such an area in Poland is the site of the former 'Babina' lignite and ceramic clay mine near Łęknica, located within the unique structure of the UNESCO Global Geopark Muskau Arch. In the years 2020–2026, an interdisciplinary environmental monitoring and analysis program was implemented there, integrating continuous hydrogeological measurements, geophysical surveys, satellite and airborne remote sensing, and advanced numerical modeling. The primary objective of the study was to reconstruct hydrogeological conditions and analyze hydrodynamic trends using machine learning techniques to verify the hypothesis regarding the hydrogeological origin of contemporary ground deformations.

Multi-year observations allowed for the identification of a crucial turning point in the hydrodynamic development of the region, revealing the occurrence of two distinct aquifer regimes. In the shallow Quaternary aquifer, seasonal water table fluctuations between 0.39 and 7.07 m b.g.s. were recorded, which transformed into a continuous, regional downward trend starting from 2024. This process led to the permanent drying out of most domestic wells and the complete disappearance of the Jana I Reservoir and the 'Quelle Spring' natural groundwater outflow by mid-2026. These phenomena indicate a rapid reorganization of filtration pathways and water migration toward the old mine workings. Conversely, the deep Neogene aquifer demonstrated high hydrodynamic stability, indicating a gradual state of equilibrium and the dampening of post-mining pressure pulsations. However, intense vertical drainage creates a high risk of initiating new discontinuous deformations in mechanically weakened zones.

Hydrochemically, a permanent qualitative degradation of water resources caused by acid mine drainage (AMD) processes resulting from pyrite and marcasite weathering was documented. Most water bodies within the anthropogenic lake district represent acidotrophic reservoirs characterized by an extremely acidic pH (2.44–2.98), high redox potential, and anomalously high sulfate-ferrous mineralization. These conditions drastically restrict biological development and limit the recreational and economic potential of the area. The developed numerical model, integrated with machine learning algorithms for Big Data analysis, demonstrated exceptionally high predictive efficacy. It enabled a precise correlation of hydrodynamic level changes with displacements registered via InSAR and ERT anomalies. The obtained results constitute a ready-to-use application tool for spatial planning optimization and early warning against geotechnical hazards.

ROBERT UBERMAN, WOJCIECH NAWORYTA

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków

Zabezpieczenie likwidacji kopalń – lekcja dla innych sektorów

Niniejsza praca powstała na podstawie przygotowywanego artykułu: Plant closure and asset decommissioning – what other sectors should learn from mining industry?

Praca podsumowuje serię artykułów poświęconych ewolucji teorii i praktyki dotyczącej zarządzania procesem zakończenia eksploatacji oraz likwidacji zakładu górniczego, opierając się na wiedzy autorów dotyczącej złóż węgla brunatnego. Zapowiada także zamykające opracowanie, które przedstawia najważniejsze ustalenia w świetle podobnych wyzwań występujących w innych branżach, ze szczególnym uwzględnieniem elektrowni jądrowych oraz odnawialnych źródeł energii.

Polski sektor wydobycia węgla brunatnego stanowi interesujący przykład całego procesu – od budowy kopalni aż po zakończenie prac związanych z likwidacją zakładu górniczego. Wpływ wydobycia węgla brunatnego, a także elektrowni opalanych tym surowcem, na środowisko naturalne sprawił, że branża ta stała się głównym obszarem zainteresowania rządu w zakresie interwencji w procesy fizycznej likwidacji kopalń. Specyficzny charakter procesów likwidacyjnych w sektorze górnictwa wiąże się zwykle z dalekosiężnym i długoterminowym wpływem działalności wydobywczej na środowisko naturalne, a także z faktem, że żywotność każdej kopalni jest ściśle powiązana z ograniczoną ilością nieodnawialnych zasobów mineralnych.

W 2001 r. w Polsce wprowadzono pierwsze przepisy prawne mające na celu zapewnienie odpowiedniego bezpieczeństwa finansowego procesów likwidacyjnych kopalń, w tym kopalń węgla brunatnego. Po ponad 20 latach funkcjonowania tych rozwiązań zidentyfikowano dwie istotne ich wady. Pierwsza dotyczy planowania zamknięcia kopalni, które jest w sposób szczegółowy definiowane dopiero pod koniec fazy eksploatacji. W tym momencie jest już za późno na zgromadzenie środków niezbędnych do sfinansowania wymaganych działań. Druga dotyczy finansowania likwidacji kopalni, które powinno pochodzić z akumulacji kapitału odkładanego w formie rezerw od początku wydobycia. Jednak dokładny termin zakończenia eksploatacji nie jest znany, a co za tym idzie – również koszt prac likwidacyjnych.

Zabezpieczenie finansowania działań związanych z zamknięciem kopalń jest przedmiotem sprzecznych interesów rządu i przemysłu. Obie strony zgadzają się co do fundamentalnej kwestii – podmioty prowadzące działalność górniczą powinny ponosić odpowiedzialność za szeroko pojętą rekultywację terenów przekształconych w wyniku budowy kopalni i prowadzenia eksploatacji. Szczególny charakter tego zobowiązania

wynika z faktu, że zazwyczaj musi ono zostać zrealizowane i rozliczone w odległej przyszłości, w okresie gdy podstawowe aktywa górnicze nie generują już dochodu. Z perspektywy branży zabezpieczenie środków stanowi dodatkowy koszt (lub obciążenie), który przedsiębiorstwa muszą ponieść w celu zapewnienia finansowania działań, do których realizacji i tak są zobowiązane. Dla rządów jest natomiast ważnym narzędziem ograniczania ryzyka niewypłacalności przedsiębiorstw górniczych.

Górnictwo, w tym wydobycie węgla brunatnego, nie jest jedyną branżą mającą negatywny wpływ na środowisko. Rosnące znaczenie polityki ESG przyczyniło się do zwiększenia liczby sektorów zmagających się z wyzwaniami związanymi z likwidacją obiektów i zakończeniem działalności. Huty stali, zakłady chemiczne, rolnictwo na dużą skalę i inne sektory również wywierają znaczący wpływ na środowisko. Szczególnej uwagi wymagają instalacje do produkcji energii z wykorzystaniem OZE. Technologie te są powszechnie postrzegane jako rozwiązania sprzyjające ograniczeniu negatywnego oddziaływania sektora energetycznego na środowisko. Nie oznacza to jednak braku problemów związanych z zakończeniem cyklu życia tych instalacji. Po zakończeniu ich eksploatacji mogą pozostać elementy infrastruktury oraz materiały wymagające odpowiedniego zagospodarowania, w tym materiały potencjalnie niebezpieczne, a także tereny wymagające rekultywacji. Ryzyko to zostało już rozpoznane, a w kilku krajach prowadzone są prace nad określeniem odpowiednich praktyk likwidacyjnych. Doświadczenia przemysłu górniczego dostarczają w tym zakresie istotnych informacji zarówno przedsiębiorstwom, jak i organom państwa.

Securing the financing of mine decommissioning – lessons for other sectors

This study is based on a paper currently in preparation: Plant closure and asset decommissioning – what other sectors should learn from mining industry?

This presentation summarizes a series of articles devoted to the evolution of theory and practice in the management of the process of mine closure and the decommissioning of mining facilities, drawing on the authors' knowledge and experience concerning lignite deposits. It also announces a concluding paper that presents the key findings in the context of similar challenges encountered in other industries, with particular emphasis on nuclear power plants and renewable energy sources.

The Polish lignite mining sector provides an interesting example of the entire process, from mine construction to the completion of activities associated with the decommissioning of a mining facility. The environmental impact of lignite mining, as well as that of power plants fuelled by lignite, has made this sector a major focus of government intervention in the physical decommissioning of mines. The specific nature of decommissioning processes in the mining sector is generally associated with

the far-reaching and long-term impact of mining activities on the natural environment, as well as with the fact that the operating life of each mine is closely linked to the limited availability of non-renewable mineral resources.

In 2001 Poland introduced the first legal provisions aimed at ensuring an appropriate level of financial security for mine decommissioning processes, including those involving lignite mines. After more than 20 years of these arrangements being in operation, two significant shortcomings have been identified. The first one concerns mine closure planning, which is defined in detail only towards the end of the operational phase. At this stage it is already too late to accumulate the funds necessary to finance the required activities. The second one concerns the financing of mine decommissioning, which should be based on the accumulation of capital in the form of financial reserves from the beginning of mining operations. However, the exact timing of the end of mining operations is not known and, consequently, neither is the cost of decommissioning activities.

Securing the financing of mine closure activities is an area where the interests of governments and the mining industry may conflict. Both parties agree, however, on a fundamental principle: mining operators should be responsible for the broad range of land reclamation measures required for areas transformed as a result of mine construction and mining operations. The particular nature of this obligation stems from the fact that it generally has to be fulfilled and accounted for in the distant future, at a time when the primary mining assets no longer generate income. From the industry's perspective, securing the necessary funds represents an additional cost (or financial burden) that companies must bear in order to ensure the financing of measures that they are required to implement in any event. For governments, it is an important instrument for mitigating the risk of insolvency among mining companies.

Mining, including lignite mining, is not the only industry with a significant environmental impact. The growing importance of ESG policies has contributed to an increase in the number of sectors facing challenges associated with the decommissioning of facilities and the cessation of operations. Steel mills, chemical plants, large-scale agriculture, and other sectors also have a significant impact on the environment. Particular attention should be paid to energy-generation facilities based on renewable energy sources. These technologies are widely regarded as solutions that contribute to reducing the energy sector's negative environmental impact. However, this does not mean that they are free from challenges associated with the end of their life cycle. Once these facilities reach the end of their operational life, infrastructure components and materials requiring appropriate management may remain, including potentially hazardous materials, as well as areas requiring land reclamation. This risk has already been identified and several countries are working to establish appropriate decommissioning practices. The experience of the mining industry provides valuable insights in this respect both for companies and for public authorities.

KACPER M. URBANIK

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa;
Uniwersytet Warszawski, Warszawa

Ustalanie stawek opłat eksploatacyjnych dla kopalin – wyzwania prawne, metodologiczne i ekonomiczne

System opłat eksploatacyjnych za wydobywanie kopalin w Polsce stanowi istotny element publicznoprawnych instrumentów gospodarowania zasobami złóż kopalin. Obowiązujące rozwiązania, oparte przede wszystkim na przepisach Ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze oraz corocznie aktualizowanych obwieszczeniach ministra właściwego do spraw środowiska, zakładają stosowanie określonych stawek jednostkowych dla poszczególnych kopalin lub ich grup. Rozwój znaczenia gospodarczego nowych surowców, zmiany technologiczne oraz zmieniające się warunki rynkowe powodują jednak konieczność okresowej weryfikacji adekwatności istniejącego systemu. Dotyczy to w szczególności kopalin, które nie zostały dotychczas objęte odrębnymi stawkami opłaty eksploatacyjnej. W polskiej literaturze fachowej spór wokół samej metodyki, jak i wysokości stawek opłaty eksploatacyjnej trwa od początków prac nad kolejnymi ustawami aż do dziś, kiedy obowiązuje ustawa z 2011 r.

W ramach badań przeprowadzono analizę dostępnych danych dotyczących cen kopalin i produktów ich przeróbki, charakterystyki rynków poszczególnych surowców, ich zastosowań gospodarczych oraz uwarunkowań technologicznych ich pozyskiwania. Uwzględniono również rozwiązania stosowane w innych państwach w zakresie pobierania opłat związanych z eksploatacją zasobów mineralnych. Analiza porównawcza wykazała jednak ograniczoną możliwość bezpośredniego wykorzystania zagranicznych modeli do ustalania polskich stawek. W wielu państwach opłaty mają bowiem charakter *ad valorem* i są uzależnione od wartości sprzedaży, przychodów lub zysku przedsiębiorstwa, podczas gdy polski system opiera się zasadniczo na stawkach kwotowych przypisanych do jednostki wydobytej kopaliny.

Przeprowadzone analizy wskazują, że szczególnym wyzwaniem jest ustalenie wartości ekonomicznej kopaliny na etapie jej wydobycia. W przypadku wielu analizowanych surowców wartość produktu końcowego jest wynikiem kolejnych etapów procesów technologicznych, obejmujących m.in. wzbogacanie, separację, koncentrację lub przetwarzanie. Koszty i efektywność tych procesów mogą istotnie różnić się pomiędzy poszczególnymi złożami, co powoduje, że ta sama kopalina może charakteryzować się znacząco odmienną ekonomiczną wartością w zależności od parametrów geologicznych i technologicznych złoża. Na tę wartość wpływają m.in.: zawartość składnika użytecznego, jego współczynnik odzysku, skład mineralny kopaliny, dostępność technologii przeróbki, koszty energii, transportu oraz zagospodarowania odpadów.

Przeprowadzona analiza wskazuje, że rozszerzenie katalogu kopalin objętych odrębnymi stawkami opłaty eksploatacyjnej może przyczynić się do zwiększenia spójności i aktualności polskiego systemu gospodarowania zasobami mineralnymi. Jednocześnie wyniki badań wskazują na potrzebę dalszego rozwoju metodyki ustalania stawek, zwłaszcza dla kopalin o złożonej charakterystyce technologicznej i braku jednoznacznych cen rynkowych. W przyszłości zasadne wydaje się szersze wykorzystanie danych dotyczących parametrów złóż, współczynników odzysku oraz kosztów eksploatacji i przeróbki. Pozwoliłoby to na lepsze powiązanie wysokości opłaty eksploatacyjnej z rzeczywistą wartością gospodarczą wydobywanego zasobu, przy jednoczesnym zachowaniu przejrzystości i wykonalności obowiązujących rozwiązań prawnych. W swoich dociekaniach autor zwraca również uwagę na możliwe odejście od obecnego modelu naliczania stawki opłaty eksploatacyjnej i zwrócenie się ku częściej stosowanemu modelowi *ad valorem.*

Determination of mineral exploitation fee rates – legal, methodological and economic challenges

The system of exploitation fees for mineral resource exploitation in Poland constitutes an important public-law instrument for the management of mineral deposits. Based primarily on the Geological and Mining Law of 9 June 2011 and annual updates issued by the minister responsible for the environment, the current framework provides for fixed unit rates applicable to individual minerals or groups of minerals. However, the growing economic importance of new raw materials, technological developments and changing market conditions necessitate periodic verification of the adequacy of the existing system. This is particularly relevant to minerals that have not yet been assigned separate exploitation fee rates. The methodology and level of such fees have been the subject of professional and academic debate since the development of successive versions of the relevant legislation and remain an important issue under the 2011 Act.

The study analysed available data on mineral and processed-product prices, the characteristics of individual raw material markets, their economic applications and the technological conditions of their exploitation. It also examined solutions applied in other countries concerning charges imposed on mineral resource exploitation. The comparative analysis demonstrated, however, that foreign models have limited applicability to the Polish system. In many countries, exploitation fees are ad valorem and linked to sales value, revenues or enterprise profits, whereas the Polish system is based primarily on fixed monetary rates assigned to a unit of exploited raw material.

A particular methodological challenge is determining the economic value of a raw material at the stage of exploitation. For many raw materials, the value of the

final product results from successive stages of technological processing, including beneficiation, separation, concentration and further processing. The costs and efficiency of these processes may vary considerably between deposits. Consequently, the economic value of a raw material is influenced by geological and technological parameters, including the content of the economically useful component, recovery rate, mineralogical characteristics, available processing technologies, energy and transport costs, and waste-management expenses.

The findings indicate that expanding the catalogue of minerals subject to separate exploitation fee rates could improve the consistency and currency of Poland's mineral resource management system. At the same time, further refinement of the methodology for determining such rates is required, particularly for minerals with complex technological characteristics and no clearly established market price. Greater use of data on deposit parameters, recovery rates, and exploitation and processing costs could establish a closer relationship between the fee and the actual economic value of the exploited resource, while preserving transparency and enforceability.

The study also considers the possibility of moving away from the current fixed-rate model towards an ad valorem approach, which is more widely applied internationally. Such a change could provide greater flexibility in responding to variations in mineral value and market conditions, although its implementation would require careful consideration of the legal, economic and administrative consequences.

SVITLANA VASYLENKO

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Potencjał współpracy polsko-ukraińskiej w budowie europejskiego rynku pierwiastków ziem rzadkich

Pierwiastki ziem rzadkich (REE) należą do surowców o kluczowym znaczeniu dla transformacji energetycznej i cyfrowej, nowoczesnych technologii oraz sektora obronnego. Wysoka koncentracja światowego wydobycia i przetwórstwa REE poza Europą sprawia, że dywersyfikacja dostaw oraz rozwój własnych zdolności w zakresie ich pozyskiwania, separacji i recyklingu stały się jednym z priorytetów polityki surowcowej Unii Europejskiej. Celem pracy jest ocena możliwości wykorzystania komplementarnego potencjału Polski i Ukrainy do budowy bardziej odpornego europejskiego łańcucha wartości REE.

Polska nie posiada obecnie udokumentowanych złóż REE o znaczeniu gospodarczym. Potencjał krajowy związany jest przede wszystkim ze źródłami wtórnymi i niekonwencjonalnymi, m.in. fosfogipsami, popiołami energetycznymi i odpadami przemysłowymi, a także z rozwojem technologii recyklingu. Jednocześnie rozwinięta infrastruktura przemysłowa, sektor chemiczny i metalurgiczny, zaplecze badawczo-rozwojowe oraz położenie na głównych szlakach transportowych wschód–zachód stwarzają warunki do rozwoju w Polsce segmentu przetwarzania i separacji REE.

Ukraina dysponuje natomiast jedną z najbardziej zróżnicowanych baz surowców krytycznych w Europie. Mineralizacja REE związana jest m.in. z kompleksami alkalicznymi i karbonatytowymi, pegmatytami oraz strefami metasomatycznymi tarczy ukraińskiej. Znaczna część danych zasobowych wymaga jednak weryfikacji z wykorzystaniem współczesnych metod badawczych i kryteriów ekonomicznych. Dodatkowym ograniczeniem pozostaje wojna, która utrudnia dostęp do części złóż oraz rozwój infrastruktury wydobywczej i przetwórczej.

Komplementarność obu państw stwarza podstawy do stworzenia zintegrowanego modelu współpracy, w którym Ukraina mogłaby pełnić funkcję dostawcy surowców i koncentratów, natomiast Polska – regionalnego centrum ich zaawansowanego przetwarzania, separacji i recyklingu. Taki model umożliwiłby połączenie ukraińskiej bazy zasobowej z europejskim zapleczem technologicznym i rynkiem wewnętrznym UE. Warunkiem jego realizacji jest rozwój infrastruktury transgranicznej, harmonizacja regulacji i standardów środowiskowych, wspólne projekty badawczo-rozwojowe oraz stworzenie trwałego mechanizmu koordynacji instytucjonalnej. Powołanie Polsko-Ukraińskiej Rady ds. Surowców Krytycznych mogłoby stanowić podstawę takiej współpracy. Integracja potencjału surowcowego Ukrainy z możliwościami przetwórczymi Polski może przyczynić się do budowy regionalnego łańcucha wartości REE, zwiększając bezpieczeństwo surowcowe i strategiczną autonomię Unii Europejskiej.

Potential for Polish-Ukrainian cooperation in building the European rare earth elements market

Rare earth elements (REE) are critical raw materials essential for the energy and digital transitions, advanced technologies and the defense sector. The high concentration of global REE extraction and processing outside Europe makes diversification of supply and the development of domestic capabilities in extraction, separation and recycling a strategic priority for the European Union. This study evaluates the potential for combining the complementary strengths of Poland and Ukraine to develop a more resilient European REE value chain.

Poland currently has no documented REE deposits of economic significance. Its domestic potential is associated mainly with secondary and unconventional sources, including phosphogypsum, coal combustion ashes and industrial waste, as well as with the development of recycling technologies. At the same time, Poland's industrial infrastructure, chemical and metallurgical sectors, research and development capacity, and strategic location along major east–west transport corridors provide favourable conditions for developing REE processing and separation capacities.

Ukraine, in contrast, possesses one of the most diverse critical raw material resource bases in Europe. REE mineralization is associated with alkaline and carbonatite complexes, pegmatites and metasomatic zones of the Ukrainian shield. However, a substantial part of the available resource data requires verification using modern exploration methods and economic criteria. The ongoing war represents an additional constraint, limiting access to some deposits and hindering the development of mining and processing infrastructure.

The complementary potential of the two countries provides a basis for an integrated cooperation model in which Ukraine could supply raw materials and mineral concentrates, while Poland could become a regional hub for their advanced processing, separation and recycling. Such a model would connect Ukraine's resource base with European technological capabilities and the EU internal market. Its implementation requires the development of cross-border infrastructure, harmonization of regulatory and environmental standards, joint research and development projects, and a permanent institutional coordination mechanism. Establishing a Polish-Ukrainian Critical Raw Materials Council could provide a framework for such cooperation. Integrating Ukraine's resource potential with Poland's processing capabilities could support the development of a regional REE value chain, strengthening the raw material security and strategic autonomy of the European Union.

PRZEMYSŁAW WNĘK

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków;
Kopalnie Porfiru i Diabazu sp. z o.o., Krzeszowice

Hydrogeochemiczne skutki zakończenia odwadniania kopalni rud Zn-Pb w rejonie Trzebini-Chrzanowa

Eksploatacja złóż rud cynku i ołowiu typu Mississippi Valley w rejonie Trzebini i Chrzanowa wymagała prowadzenia intensywnego odwadniania górniczego, które przez dziesięciolecia przekształcało warunki hydrogeologiczne węglanowego piętra triasowego – najważniejszego regionalnego piętra wodonośnego, obejmującego GZWP nr 452 „Chrzanów" i stanowiącego istotne źródło zaopatrzenia ludności w wodę. Zaprzestanie odwadniania kopalni „Trzebionka" w 2010 r. zapoczątkowało odbudowę zwierciadła wód podziemnych, której dalszy przebieg był związany również z późniejszym zaprzestaniem eksploatacji ujęcia „Józef". Procesowi temu towarzyszą długotrwałe i przestrzennie zróżnicowane przemiany hydrogeochemiczne w obrębie niecki chrzanowskiej.

Podczas drenażu górniczego obniżenie zwierciadła wód podziemnych i rozwój wtórnej strefy aeracji umożliwiły utlenianie minerałów siarczkowych, przede wszystkim pirytu i markasytu, a także sfalerytu i galeny. Procesy te prowadzą do generowania kwasowości, powstawania siarczanów oraz akumulacji łatwo rozpuszczalnych produktów wietrzenia. Wraz z ponownym nasycaniem górotworu produkty te są wymywane do wód podziemnych, powodując wzrost stężenia siarczanów i niektórych metali. Jednocześnie neutralizacja powstającej kwasowości przez minerały węglanowe sprzyja wzrostowi stężeń Ca^{2+} i Mg^{2+}, prowadząc do wzrostu mineralizacji i twardości wód. Dzięki dużej zdolności buforowej dolomitów i wapieni pogorszeniu jakości wód nie musi towarzyszyć niski odczyn pH. W takich warunkach stężenie SO_4^{2} stanowi jeden z najbardziej użytecznych wskaźników pogórniczych przemian hydrogeochemicznych.

Skala tych zmian w rejonie niecki chrzanowskiej jest zróżnicowana. W rejonie dawnego centrum drenażu proces ten miał dużą intensywność. W wodach szybu „Włodzimierz" po rozpoczęciu zatapiania notowano stężenia SO_4^{2} przekraczające 2000 mg/L i osiągające około 2700 mg/L; w szybie „Józef" stężenie wzrosło do około 1700 mg/L. Odpowiedź w południowej części systemu jest przestrzennie zróżnicowana. W nieczynnym kamieniołomie „Skała" stężenie SO_4^{2} wzrosło z 32,1 mg/L w 2017 r. do ponad 700 mg/L w 2025 r., natomiast w studniach ujęcia „Żelatowa" obserwuje się odmienne przebiegi zmian pomiędzy poszczególnymi otworami, a zmiany składu chemicznego wody wpływają na sposób wykorzystania wody do zaopatrzenia ludności.

Przypadek kopalni „Trzebionka" pokazuje, że hydrogeochemiczne następstwa długoterminowego drenażu złóż rud Zn-Pb mogą utrzymywać się wiele lat po zakończe-

niu eksploatacji. Ich przebieg zależy od skali wcześniejszego odwodnienia i rozwoju wtórnej strefy aeracji, nagromadzenia produktów utleniania siarczków oraz warunków przepływu i transportu w szczelinowo-krasowym strukturalnie zróżnicowanym systemie wodonośnym. Ma to bezpośrednie znaczenie dla ochrony zasobów GZWP nr 452 „Chrzanów", eksploatacji ujęć wód podziemnych oraz projektowania monitoringu hydrogeologicznego na obszarach historycznej eksploatacji rud Zn-Pb w regionie śląsko-krakowskim.

Hydrogeochemical effects of the cessation of dewatering of a Zn-Pb ore mine in the Trzebinia–Chrzanów area

The exploitation of Mississippi Valley-type zinc and lead ore deposits in the Trzebinia-Chrzanów area required intensive mine dewatering, which over several decades substantially altered the hydrogeological conditions of the Triassic carbonate aquifer – the most important regional aquifer, including Main Groundwater Basin (GZWP) No. 452 "Chrzanów", and an important source of water supply for the local population. The cessation of dewatering at the "Trzebionka" mine in 2010 initiated groundwater-level rebound, the subsequent course of which was also influenced by the later shutdown of the "Józef" water intake. This process has been accompanied by long-term and spatially variable hydrogeochemical transformations within the Chrzanów trough.

During mine drainage, the lowering of the groundwater table and the development of a secondary unsaturated zone allowed sulfide minerals to oxidize, mainly pyrite and marcasite, but also sphalerite and galena. These processes generate acidity and sulfate and lead to the accumulation of soluble weathering products. As groundwater levels rise and the previously drained rock mass becomes resaturated, these products are leached into groundwater, increasing sulfate concentrations and the concentrations of some metals. At the same time, neutralization of acidity by carbonate minerals increases Ca^{2+} and Mg^{2+} concentrations, leading to higher water mineralization and hardness. Because of the high buffering capacity of dolomites and limestones, deterioration of groundwater quality does not necessarily occur together with low pH. Under these conditions, SO_4^2 concentration is one of the most useful indicators of post-mining hydrogeochemical changes.

The scale of these changes varies across the Chrzanów trough. In the area of the former drainage center, the changes were particularly strong. After mine flooding began, SO_4^2 concentrations in water from the "Włodzimierz" shaft exceeded 2,000 mg/L and reached approximately 2,700 mg/L, while concentrations in the "Józef" shaft increased to approximately 1,700 mg/L. In the southern part of the system, the changes

vary considerably between individual locations. In the abandoned “Skała” quarry, SO_4^{2} concentration increased from 32.1 mg/L in 2017 to more than 700 mg/L in 2025. At the “Żelatowa” groundwater intake, individual wells show different trends over time, and changes in water chemistry affect how the groundwater can be used for public water supply.

The case of the “Trzebionka” mine shows that the hydrogeochemical effects of long-term drainage of Zn-Pb ore deposits may persist for many years after mining has ended. The course of these changes depends on the scale of previous dewatering and the development of the secondary unsaturated zone, the accumulation of sulfide oxidation products, and groundwater flow and solute transport within a structurally complex fractured-karst aquifer. This is directly relevant to the protection of groundwater resources in GZWP No. 452 “Chrzanów”, the operation of groundwater intakes, and the design of hydrogeological monitoring in areas of historical Zn-Pb ore mining in the Silesian–Cracow region.

PIOTR WYSZOMIRSKI, MARCIN GAJEK

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków

Czy zasadowe skały magmowe mogą być atrakcyjnym surowcem do wytwarzania szkliw ceramicznych?

Zasadowe skały magmowe, ze względu na swój skład chemiczny i mineralny, mogą stanowić atrakcyjną bazę surowcową do otrzymywania ciemnych szkliw ceramicznych. Zawierają one jednocześnie składniki szkłotwórcze oraz tlenki pełniące funkcję topników, natomiast stosunkowo wysoka zawartość żelaza sprzyja uzyskiwaniu barwy brązowej lub czerwonobrązowej. Ich zastosowanie może być szczególnie interesujące w technologii płytek ceramicznych, w której szkliwo powinno osiągnąć odpowiedni stopień stopienia i rozpływu w krótkim czasie, a następnie utworzyć podczas chłodzenia stabilną warstwę o wymaganych właściwościach powierzchniowych. Możliwość wykorzystania naturalnej skały jako jedynego mineralnego składnika szkliwa pozwalałaby jednocześnie na uproszczenie receptury oraz wyeliminowanie etapu wcześniejszego frytowania. Celem pracy była zatem ocena przydatności wybranych krajowych zasadowych skał magmowych do bezpośredniego otrzymywania ciemnych szkliw ceramicznych w warunkach szybkiego wypalania wyrobów gresowych.

Badaniami objęto kilka krajowych odmian bazaltów (bazalt oliwinowy z Męcinki, bazanity nefelinowe z Krzeniowa i Rataja, nefelinity z Wilczej Góry, Rutek i Ligoty Tułowickiej), a także diabaz z Niedźwiedziej Góry, melafir z Grzęd oraz gabro z Braszowic. Surowce te różniły się zarówno składem mineralnym i stopniem przeobrażenia składników pierwotnych, jak i składem chemicznym. Surowce bazaltowe charakteryzowały się na ogół stosunkowo małą zawartością SiO_2 oraz podwyższonym udziałem CaO, MgO i tlenków żelaza, podczas gdy melafir, diabaz i gabro były bardziej zasobne w krzemionkę. Takie zróżnicowanie umożliwiło ocenę wpływu właściwości surowca na zachowanie podczas ogrzewania oraz na właściwości końcowej warstwy szkliwa.

Każdy z badanych surowców stanowił jedyny składnik mineralny przygotowanej zawiesiny szkliwnej. Szkliwa nanoszono natryskowo na podłoża gresowe i wypalano w cyklu trwającym około 60 min. w maksymalnej temperaturze 1205°C i pięciominutowym przetrzymaniu w tej temperaturze. Zachowanie surowców podczas ogrzewania oceniono metodą mikroskopii wysokotemperaturowej, natomiast otrzymane szkliwa scharakteryzowano metodami dyfrakcji rentgenowskiej i mikroskopii skaningowej. Określono również ich barwę, chropowatość powierzchni oraz twardość metodą Vickersa i w skali Mohsa.

Większość badanych surowców wykazała właściwości termiczne umożliwiające utworzenie prawidłowej warstwy szkliwa w zastosowanym cyklu wypalania. Szczegól-

nie interesujące okazało się zachowanie melafiru z Grzęd. Pomimo stosunkowo wysokich temperatur charakterystycznych tego szkliwa (temperatury kuli, półkuli i rozpływu), wyznaczonych metodą mikroskopii wysokotemperaturowej, w temperaturze 1205°C utworzyło ono gładką, jednorodną i silnie połyskliwą powierzchnię. Wynik ten wskazuje, że o przydatności surowca do otrzymywania szkliwa nie można sądzić wyłącznie na podstawie jego temperatur charakterystycznych. Odmiennie zachowało się gabro z Braszowic, które w zastosowanych warunkach eksperymentu nie osiągnęło wystarczającego stopnia stopienia i nie utworzyło powierzchni o wymaganej jakości. W związku z tym uznano, że surowiec ten nie spełnia wymaganych kryteriów i wyłączono go z dalszych badań.

Otrzymane szkliwa miały mikrostrukturę szklano-krystaliczną. W ich składzie fazowym – oprócz fazy amorficznej – stwierdzono przede wszystkim obecność piroksenów i plagioklazów, a w części próbek również oliwinów oraz żelazistych faz tlenkowych, reprezentowanych głównie przez spinele (magnetyt i/lub magnezjoferryt) i hematyt. Istotne różnice zaobserwowano pomiędzy szkliwami otrzymanymi z surowców bazaltowych a szkliwami z melafiru i diabazu. Szkliwa bazaltowe wykazywały większą skłonność do krystalizacji i zawierały liczniejsze wydzielenia faz krystalicznych o zróżnicowanej wielkości i morfologii. W przypadku melafiru z Grzęd i diabazu z Niedźwiedziej Góry tło mineralne otrzymanego tworzywa było bardziej jednorodne, a udział faz krystalicznych mniejszy. Mniejsza podatność krystalizacyjna tych szkliw znalazła odzwierciedlenie w ich większym połysku i mniejszej chropowatości powierzchni. Zjawisko to może być związane m.in. z mniejszym w nich udziałem fazy spinelowej, której ziarna często pełnią funkcję centrów krystalizacji podczas chłodzenia.

Wszystkie otrzymane szkliwa charakteryzowały się ciemną, brunatną lub czerwonobrunatną barwą. Najniższą wartość współrzędnej jasności L*, wynoszącą 17,84, uzyskano dla szkliwa z melafiru z Grzęd. Nie stwierdzono jednak prostej zależności pomiędzy całkowitą zawartością żelaza w surowcu a jasnością powierzchni. Ostateczna barwa szkliwa zależy bowiem nie tylko od zawartości w nim żelaza, ale też od formy występowania tego pierwiastka, stopnia jego utlenienia, udziału fazy szklistej i krystalicznej oraz rozmieszczenia faz żelazistych w mikrostrukturze.

Najkorzystniejsze właściwości powierzchniowe uzyskano dla szkliw otrzymanych z diabazu z Niedźwiedziej Góry i melafiru z Grzęd. Szkliwo diabazowe wykazywało najmniejszą chropowatość, Ra = 0,579 ± 0,122 μm, przy jednocześnie wysokiej mikrotwardości 6,8 ± 0,4 GPa. Podobne właściwości powierzchniowe stwierdzono w przypadku szkliwa z melafiru. Charakteryzowało się ono niewielką chropowatością Ra = 0,700 ± 0,084 μm, wysoką mikrotwardością 6,4 ± 0,1 GPa oraz najciemniejszą i wizualnie najbardziej połyskliwą powierzchnią. Twardość wszystkich badanych szkliw mieściła się w zakresie 6–7 w skali Mohsa, potwierdzając ich wysoką odporność na zarysowanie.

Przeprowadzone badania wskazują, że odpowiednio dobrane, krajowe zasadowe skały magmowe mogą być bezpośrednio stosowane jako jedyny, samodzielny surowiec do otrzymywania ciemnych szkliw ceramicznych w technologii szybkiego wypalania

płytek gresowych. Pozwala to na rezygnację z wcześniejszego frytowania oraz stosowania dodatkowych topników, pigmentów i innych pomocniczych surowców mineralnych. Takie rozwiązanie prowadzi do uproszczenia składu surowcowego szkliw i potencjalnego ograniczenia energochłonności oraz kosztów ich produkcji. Rzeczywista skala tych korzyści wymaga jednak przeprowadzenia dalszych prac studialnych i szczegółowej analizy technologiczno-ekonomicznej.

Can basic igneous rocks be an attractive raw material for the production of ceramic glazes?

Basic igneous rocks, owing to their chemical and mineral composition, may constitute an attractive raw material base for the production of dark ceramic glazes. They contain both glass-forming components and oxides that act as fluxes, while their relatively high iron content promotes the development of brown or reddish-brown coloration. Their application may be particularly interesting in ceramic tile technology, where the glaze should achieve an adequate degree of melting and flow within a short time and subsequently form, during cooling, a stable layer with the required surface properties. The possibility of using natural rock as the sole mineral component of the glaze would also allow the formulation to be simplified and the preliminary fritting step to be eliminated. Therefore, the aim of this study was to evaluate the suitability of selected Polish basic igneous rocks for the direct production of dark ceramic glazes under the rapid-firing conditions used for stoneware products.

The study included several domestic varieties of basalt rocks (olivine basalt from Męcinka, nepheline basanites from Krzeniów and Rataj, and nephelinites from Wilcza Góra, Rutki and Ligota Tułowicka), as well as diabase from Niedźwiedzia Góra, melaphyre from Grzędy and gabbro from Braszowice. These raw materials differed in terms of both their mineral composition and the degree of alteration of their primary constituents, as well as their chemical composition. The basaltic raw materials were generally characterized by relatively low SiO_2 contents and elevated proportions of CaO, MgO and iron oxides, whereas the melaphyre, diabase and gabbro were richer in silica. This diversity made it possible to assess the influence of raw material properties on their behaviour during heating and on the properties of the resulting glaze layer.

Each of the investigated raw materials was used as the sole mineral component of the prepared glaze suspension. The glazes were spray-applied onto stoneware substrates and fired in a cycle lasting approximately 60 min, with a maximum temperature of 1205°C and a five-minute holding time at this temperature. The behaviour of the raw materials during heating was evaluated by high-temperature microscopy, while the resulting glazes were characterized using X-ray diffraction and scanning electron

microscopy. Their colour, surface roughness, and hardness, determined using the Vickers method and the Mohs scale, were also evaluated.

Most of the investigated raw materials exhibited thermal properties that enabled the formation of a properly developed glaze layer under the applied firing cycle. The behaviour of the melaphyre from Grzędy was particularly noteworthy. Despite the relatively high characteristic temperatures of this glaze, namely the sphere, hemisphere and flow temperatures determined by high-temperature microscopy, it formed a smooth, homogeneous and highly glossy surface at 1205°C. This result indicates that the suitability of a raw material for glaze production cannot be assessed solely on the basis of its characteristic temperatures. In contrast, the gabbro from Braszowice behaved differently: under the experimental conditions applied, it did not achieve a sufficient degree of melting and failed to form a surface of the required quality. Consequently, this raw material was considered not to meet the required criteria and was excluded from further investigation.

The obtained glazes exhibited a glass-crystalline microstructure. In their phase composition, in addition to the amorphous phase, pyroxenes and plagioclases were the predominant crystalline phases, while some samples also contained olivines and iron-bearing oxide phases, represented mainly by spinels (magnetite and/or magnesioferrite) and hematite. Significant differences were observed between the glazes obtained from basaltic raw materials and those produced from melaphyre and diabase. The basaltic glazes exhibited a greater tendency to crystallize and contained more numerous crystalline phase precipitates with varying sizes and morphologies. In the case of the melaphyre from Grzędy and diabase from Niedźwiedzia Góra, the mineral background of the resulting material was more homogeneous, while the proportion of crystalline phases was lower. The lower crystallization tendency of these glazes was reflected in their higher gloss and lower surface roughness. This phenomenon may be related, among other factors, to their lower content of the spinel phase, whose grains often act as crystallization nuclei during cooling.

All the obtained glazes were characterized by a dark brown or reddish-brown colour. The lowest value of the lightness coordinate L*, amounting to 17.84, was obtained for the glaze produced from the melaphyre from Grzędy. However, no direct relationship was found between the total iron content of the raw material and the lightness of the surface. The final colour of the glaze depends not only on iron content, but also on the form in which this element occurs, its oxidation state, the proportions of the glassy and crystalline phases, and the distribution of iron-bearing phases within the microstructure.

The most favourable surface properties were obtained for the glazes produced from diabase from Niedźwiedzia Góra and melaphyre from Grzędy. The diabase glaze exhibited the lowest surface roughness, Ra = 0.579 ± 0.122 μm, combined with a high microhardness of 6.8 ± 0.4 GPa. Similar surface properties were observed for the melaphyre glaze. It was characterized by low surface roughness, Ra = 0.700 ± 0.084 μm, high microhardness of 6.4 ± 0.1 GPa, and the darkest and visually most glossy surface.

The hardness of all investigated glazes ranged from 6 to 7 on the Mohs scale, confirming their high scratch resistance.

The conducted study indicates that appropriately selected domestic basic igneous rocks can be directly used as the sole raw material for the production of dark ceramic glazes in the rapid-firing technology used for stoneware tiles. This makes it possible to eliminate preliminary fritting as well as the use of additional fluxes, pigments and other auxiliary mineral raw materials. Such an approach simplifies the raw material composition of the glazes and may potentially reduce the energy consumption and production costs. However, the actual scale of these benefits requires further studies and a detailed technological and economic analysis.

KRZYSZTOF ZIELIŃSKI[1], STANISŁAW SPECZIK[1,2],
AGNIESZKA WRZOSEK[1,2], TOMASZ BIEŃKO[1]

[1] *Mozów Copper sp. z o.o., Warszawa*
[2] *Uniwersytet Warszawski, Warszawa*

Złoża Północnego Pasa Miedziowego w Polsce a możliwości pozyskania pierwiastków krytycznych wynikające z ich selektywnej eksploatacji i flotacji

Północny Pas Miedziowy południowo-zachodniej Polski obejmuje trzy głębokie złoża rud miedzi i srebra na monoklinie przedsudeckiej: Nowa Sól, Mozów oraz Sulmierzyce Północ. Złoże Nowa Sól zostało udokumentowane w kategorii C_1 i obecnie przygotowywany jest projekt jego zagospodarowania. W ramach prac nad oceną potencjału technologicznego złoża przeprowadzono wstępne badania mineralogiczne i metalurgiczne, których celem było określenie charakterystyki rudy oraz opracowanie schematu przeróbki na potrzeby wstępnej oceny ekonomicznej projektu (PEA).

Badania wykonano na reprezentatywnych próbkach rdzeniowych i materiale rozdrobnionym. Obejmowały one ilościową analizę mineralogiczną, określenie występowania i uwolnienia minerałów miedzi oraz badania flotacyjne w skali laboratoryjnej. Głównym minerałem miedzionośnym w złożu jest chalkozyn, odpowiadający za około 80% zawartości Cu, a następnie kowelin i chalkopiryt. Optymalne wyniki flotacji uzyskano dla przemiału wstępnego do P_{80} = 60 µm, ponownego przemiału koncentratu z flotacji wstępnej do P_{80} = 10,7 µm oraz dwóch stopni czyszczenia. Powtarzalność wyników potwierdziły cztery testy weryfikacyjne. Analiza produktów wykazała jednocześnie obecność w koncentracie składników potencjalnie niekorzystnych, przede wszystkim węgla organicznego, Pb, Zn i As. Uzyskany koncentrat zbadano także pod kątem obecności pierwiastków towarzyszących, takich jak Au, Pt, Pd czy Ni.

Wyniki potwierdzają możliwość zastosowania konwencjonalnego schematu flotacyjnego do wzbogacania rudy Cu-Ag ze złoża Nowa Sól i dostarczają podstawowych danych technologicznych dla dalszego rozwoju projektu. Na przyszłym etapie eksploatacji złoża rozważana jest budowa dwóch zakładów flotacyjnej przeróbki rudy – jednego do wzbogacania rudy piaskowcowej, drugiego koncentrującego się na rudzie łupkowo-węglanowej. W tym celu planowane są dalsze badania flotacyjne z podziałem na typ rudy i litologię oraz analizą możliwości odzysku pierwiastków towarzyszących, w tym niektórych uznawanych obecnie za niekorzystne w koncentracie (Zn, Pb).

Deposits of the Northern Copper Belt in Poland and the ability to recover critical elements via their selective extraction and flotation

The Northern Copper Belt of south-western Poland includes three deep copper and silver ore deposits in the Fore-Sudetic Monocline: Nowa Sól, Mozów, and Sulmierzyce North. The Nowa Sól deposit has been documented in the C_1 category, and its development plan is currently in preparation. The investigation of the technological potential of the deposit included preliminary mineralogical and metallurgical testing, aimed at determining the characteristics of the ore and establishing a processing model for the needs of a preliminary economic assessment of the project (PEA).

The tests focused on representative core samples and crushed material. They included a quantitative mineralogical analysis, determining the occurrence and liberation of copper minerals, as well as laboratory-scale flotation experiments. The main copper-bearing mineral in the deposit is chalcocite, accounting for approximately 80% of Cu, followed by covellite and chalcopyrite. The optimal flotation conditions were achieved for primary grinding to P_{80} = 60 μm, regrinding of the initial flotation concentrate to P_{80} = 10.7 μm, and two stages of cleaning. The reproducibility of results was confirmed by four verifying tests. Also, an analysis of the products indicated the presence of potentially deleterious components in the concentrate, primarily organic carbon, Pb, Zn, and As. The resulting concentrate was also tested for the presence of secondary elements, like Au, Pt, Pd, or Ni. The results confirm the feasibility of using a conventional flotation model for enriching the Cu-Ag ore from the Nowa Sól deposit, and they provide basic technological data for further growth of the project. At the future mining stage, it is considered to construct two ore flotation plants – one for processing the sandstone ore, the other one focused on the shale and carbonate ore. To this end, there are plans to conduct further separate flotation tests based on ore types and lithology, and to examin the ability to recover secondary elements, including some of those currently considered as deleterious in the concentrate (Zn, Pb).

ORLEN

Z ENERGIĄ
DLA POLSKI

3,7 mld m³
GAZU ZIEMNEGO

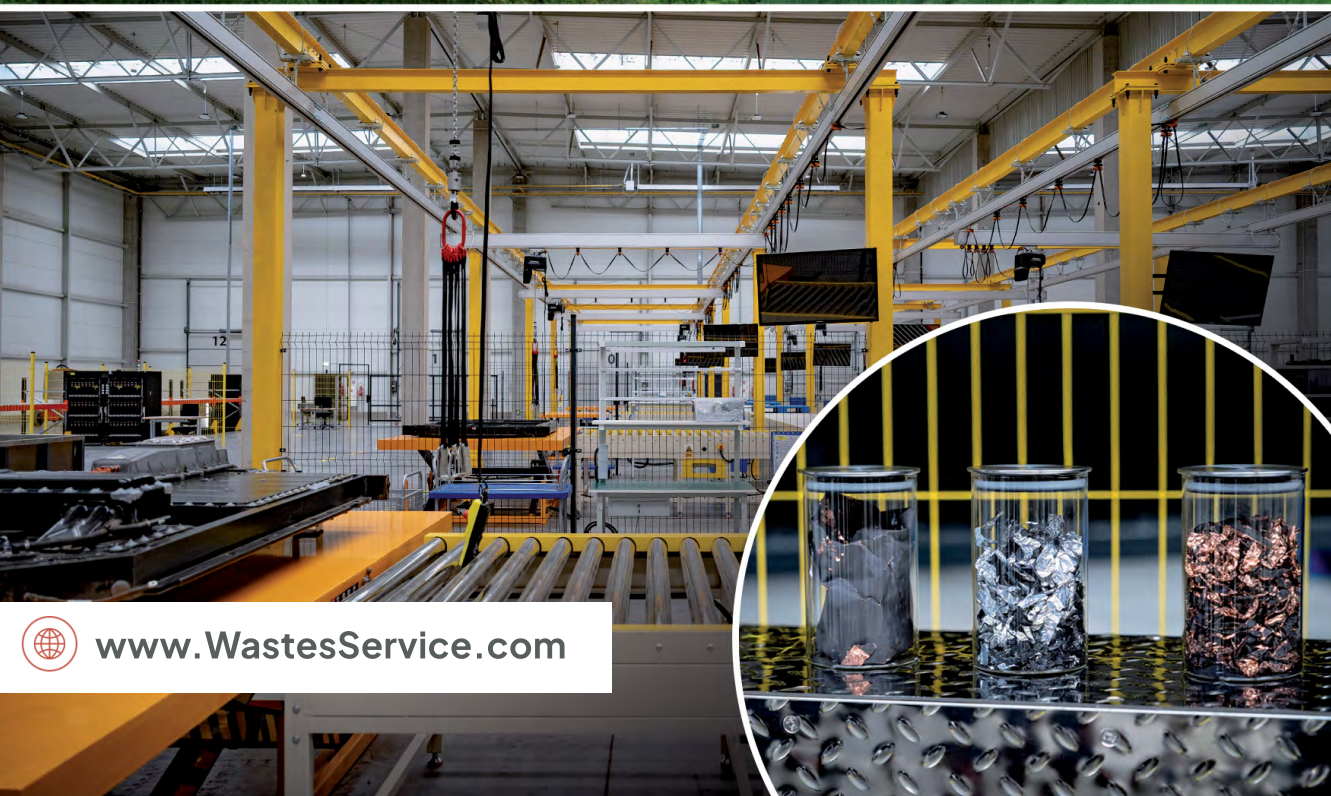


WYDOBYLIŚMY Z KRAJOWYCH
ZŁÓŻ W 2025 ROKU

Recycling for Electromobility and E-Scrap

WASTES SERVICE
GROUP





www.WastesService.com

Komitet Naukowy Konferencji

prof. dr hab. inż. Krzysztof GALOS (Przewodniczący) – IGSMiE PAN/MKiŚ
dr inż. Wojciech GLAPA – Politechnika Wrocławska
dr inż. Katarzyna GUZIK – IGSMiE PAN
dr inż. Alicja KOT-NIEWIADOMSKA – IGSMiE PAN
dr hab. inż. Mariusz KRZAK, prof. uczelni – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
dr hab. inż. Arkadiusz KUSTRA, prof. uczelni – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
dr inż. Ewa LEWICKA – IGSMiE PAN
prof. dr hab. inż. Marek NIEĆ – IGSMiE PAN
dr hab. inż. Barbara RADWANEK-BĄK – IGSMiE PAN
prof. dr hab. Krzysztof SZAMAŁEK – Państwowy Instytut Geologiczny – PIB
dr inż. Jarosław SZLUGAJ – IGSMiE PAN
prof. dr hab. Stanisław WOŁKOWICZ – Państwowy Instytut Geologiczny – PIB
prof. dr hab. inż. Piotr WYSZOMIRSKI – profesor emeritus, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Komitet Organizacyjny Konferencji

dr inż. Alicja KOT-NIEWIADOMSKA (Przewodnicząca)
dr inż. Jarosław SZLUGAJ (Sekretarz)
mgr inż. Anna BURKOWICZ
dr inż. Beata FIGARSKA-WARCHOŁ
dr hab. inż. Andrzej GAŁAŚ
dr inż. Katarzyna GUZIK
mgr inż. Jarosław KAMYK
dr inż. Ewa LEWICKA

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk
Pracownia Polityki Surowcowej
31-261 Kraków, ul. Wybickiego 7A
tel. 12 617 16 19, 506 087 645; 12 617 16 66, 693 833 190
email: aktualia@min-pan.krakow.pl

ISBN 978-83-67606-84-4
eISBN 978-83-67606-85-1