

BADANIA MINERALOGICZNO-PETROGRAFICZNE I CHEMICZNE GNEJSU JAKO KLUCZ DO RACJONALNEJ GOSPODARKI ZŁOŻEM

MINERALOGICAL-PETROGRAPHICAL AND CHEMICAL RESEARCH OF GNEISS AS THE KEY TO RATIONAL MANAGEMENT OF MINERAL DEPOSIT

Marcin Kania, Amelia Zielińska, Andrzej Pomorski - „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław
Piotr Gunia - Instytut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego, Zakład Mineralogii i Petrografii
Arkadiusz Majcher - TESM Sp. z o.o., sp. k., Doboszowice

W artykule scharakteryzowano wyniki analiz petrograficznych i chemicznych gnejsu ze złoża Doboszowice 1. Złoże cechuje się złożoną budową geologiczną, warunkowaną zarówno przez obecność licznych odmian petrograficznych kopaliny, jak i zmienną miąższość nadkładu i występowaniem licznych przerostów i dyslokacji. Analiza budowy złoża ułatwia planowanie selektywnej eksploatacji złoża i dywersyfikację kierunków wykorzystania kopaliny oraz odpadów wydobywczych. Takie działanie wpisuje się w zasady racjonalnej, niskoemisyjnej gospodarki zasobami naturalnymi o obiegu zamkniętym.

Słowa kluczowe: gnejs, metamorfik Doboszowice, petrografia, analizy chemiczne, gospodarka o obiegu zamkniętym

Results of the petrographic and chemical analyses of the gneiss from the Doboszowice 1 deposit have been described in this paper. The deposit is characterised by the complicated geological setting, conditioned by the presence of the various petrographic types of gneiss, variable thickness of the cover and the occurrence of the numerous overgrowths and dislocations. The examination of the deposit's structure makes planning of the selective extraction and diversity of the post-mining wastes usage directions easier. Such activities fit into the rules of rational, low-emission natural resources management and circular economy.

Keywords: gneiss, Doboszowice metamorphic massif, petrography, chemical analyses, circular economy

WSTĘP

Zaprezentowane wyniki badań obejmują część badań geologicznych, opracowanych na potrzeby realizacji projektu NCBR pt. „Technologia wykorzystania odpadów wydobywczych przy równoczesnym ograniczaniu ich powstawania na etapie eksploatacji złoża gnejsu Doboszowice 1”. Projekt był realizowany we współpracy „Poltegor-Instytut” Instytutu Górnictwa Odkrywkowego we Wrocławiu jako jednostki badawczej oraz Towarzystwa Eksploatacji Surowców Mineralnych TESM Sp. z o.o. sp. k. z siedzibą w Doboszowicach jako partnera przemysłowego.

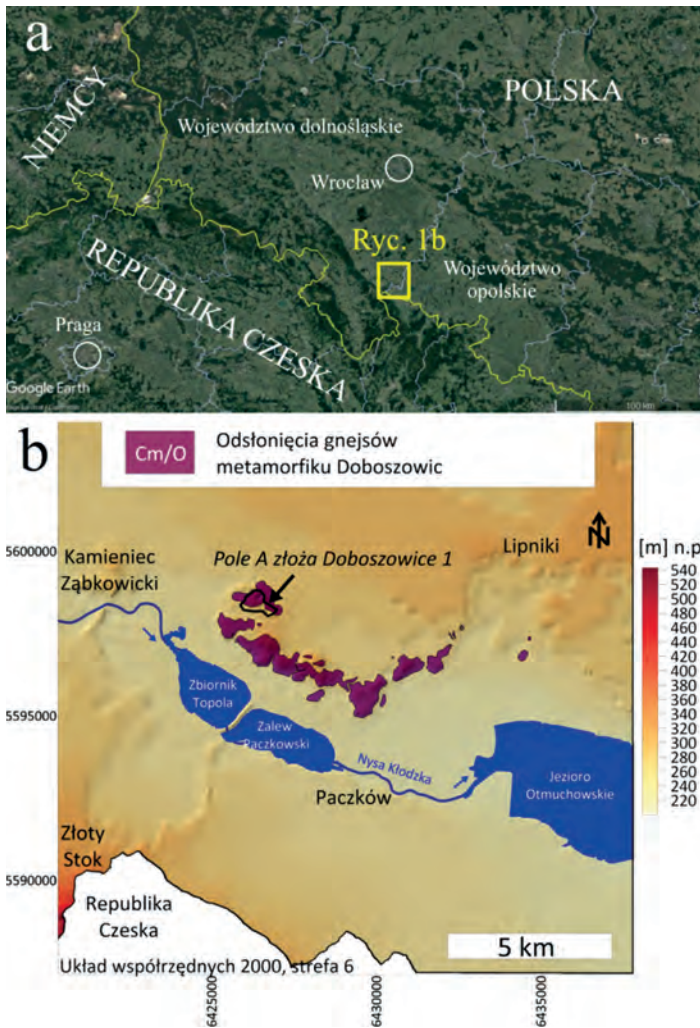
Celem projektu było opracowanie technologii zagospodarowania odpadów wydobywczych z kopalni Doboszowice, eksploatującej gnejs na potrzeby produkcji kruszywa i kamienia ozdobnego. Odpady wydobywcze i produkty trudno zbywalne o frakcji pylastej i piaszczystej mogą znaleźć zastosowanie w produkcji surowca skaleniowego i polepszacza glebowego. Na taką możliwość wskazywały wyniki dotychczas prowadzonych badań (Zagożdżon 2008; Hensel 2009; Stanisławska-Głubiak et al. 2009; Gałka et al. 2011; Witt et al. 2015, 2016).

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki obejmują część

prac geologicznych, realizowanych w ramach Etapu 1 projektu. Złoże Doboszowice 1, z uwagi na zróżnicowaną budowę geologiczną i wielokierunkowe wykorzystanie wydobywanej kopaliny, powinno podlegać selektywnej eksploatacji. Jednym z celów prac Etapu 1 było opracowanie geologicznej bazy danych na podstawie dokumentacji geologiczno-górnicznej złoża. Baza danych, skupiająca wyniki badań petrograficznych i chemicznych i porządkująca informacje w układzie przestrzennym, miała stanowić użyteczne narzędzie, pomocne przy planowaniu prac eksploatacyjnych. Wyniki części badań realizowanych na potrzeby tego zadania oraz oparte na nich wnioski zaprezentowano w niniejszym artykule.

LOKALIZACJA OBSZARU BADAŃ

Złoże „Doboszowice 1” zlokalizowane jest w południowej części obszaru mezoregionu Wzgórz Niemczańsko - Strzebińskich, wzdłuż południowej granicy fizyczno-geograficznej z Obniżeniem Otmuchowskim. Obszar ten obejmuje południowy fragment makroregionu Przedgórze Sudeckiego, rozgraniczającego masyw Sudetów Środkowych i Wschodnich od Niziny Śląskiej. Pod względem morfologicznym złoże obejmuje partię szczytową i zbocza wzgórz, wyraźnie kontra-



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań
 a - na tle podziału administracyjnego Polski i krajów ościennych (zasoby Google Earth)
 b - na tle rzeźby terenu i masywu metamorfiku Doboszowice - lokalizacja obszaru patrz Rys. 1a, opracowano na podstawie Sawicki 1959; Baraniecki 1960; Rembocha 1967; Badura 1987)
 Fig. 1. Location of the study area
 a - compared to the administrative division of Poland and foreign countries (Google Earth resources)
 b - compared to the morphological relief - location of the presented area see Fig. 1a, image based on Sawicki 1959; Baraniecki 1960; Rembocha 1967; Badura 1987)

stujących w terenie z graniczącą od południa równiną Obniżenia Otmuchowskiego (Kondracki 2002).

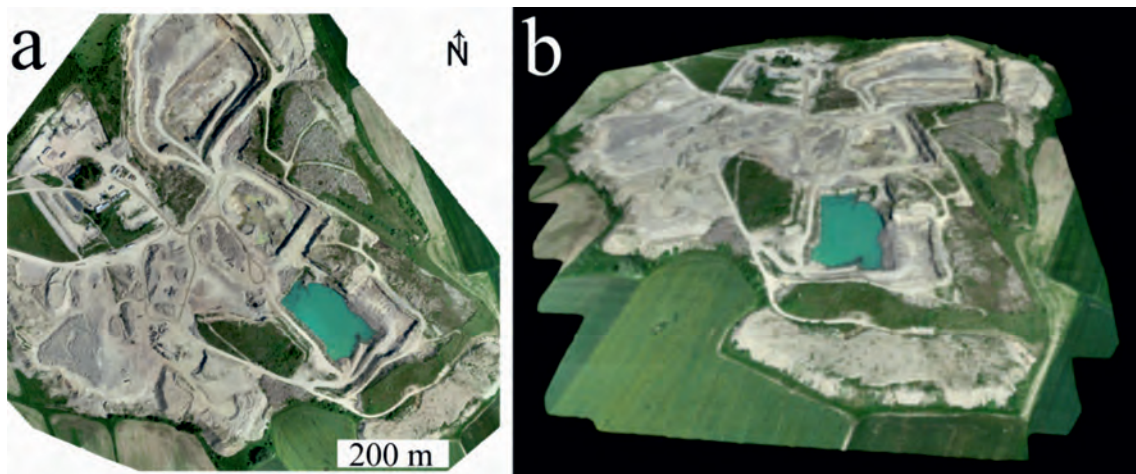
Pod względem geologicznym obszar badań obejmuje fragment zachodniej części struktury śląsko-morawskiej, określanej mianem metamorfiku Doboszowice (Oberc 1968, 1975). Jednostkę tę uważa się za powstałą w wyniku kolizji skorupy kontynentalnej Masywu Czeskiego i Bloku Bruno-Vistulicum (Puziewicz et al. 1999). Metamorfik Doboszowice ma budowę dwudzielną (Achramowicz et al. 1995; Mazur et al. 1995; Puziewicz, Rudolf 1998; Puziewicz et al. 1999; Awdankiewicz 2008) - część wschodnia zbudowana jest z paragnejsów powstałych z piaskowców (gnejsów z Chałupek), zaś część zachodnia, na której zlokalizowany jest obszar badań - z ortognejsów powstałych z przeobrażenia granitów dwułyszczkowych (gnejsów z Doboszowice). Podrzędnie w skład metamorfiku wchodzi łąki łyszczkowe, amfibolity i granitognejsy.

Naturalne odsłonięcia masywu gnejsowego występują wyłącznie w pojedynczych miejscach w okolicach wsi Doboszowice, Pomianów i Mrokocin. W granicach obszaru górniczego „Doboszowice 1”, która stanowi własność spółki TESM, zlokalizowane jest największe sztuczne odsłonięcie tych utworów (Rys. 1b, 2). Teren górniczy „Doboszowice 1” od północy graniczy bezpośrednio z zabudową wsi Doboszowice. W odległości 1 - 1,5 km w kierunku południowym znajduje się wieś Pomianów Górny oraz północny brzeg Zbiornika Topola. Obszar badań pod względem administracyjnym zlokalizowany jest w gminie Kamieniec Ząbkowicki, w powiecie ząbkowickim, w południowej części województwa dolnośląskiego.

W obrębie obszaru górniczego wydzielono dwa pola eksploatacyjne. Wydobywanie kopaliny prowadzone jest obecnie w północnym polu A o udokumentowanej powierzchni 36,2595 ha, obejmującym szczytową partię niższego ze wzgórz, na wysokości między 271,0 a 310 m n.p.m. Południowe pole B, o powierzchni 51,5609 ha, stanowi obszar rezerwowany, dotąd nieeksploatowany. Obejmuje partię szczytową wyższego ze wzgórz, na wysokości 270,5 - 341,2 m n.p.m.

BUDOWA GEOLOGICZNA ZŁOŻA

W trakcie formowania intruzji, protolity gnejsów z Doboszowice w postaci granitów dwułyszczkowych ulegać miały



Rys. 2. Współczesny obraz eksploatowanego pola A złoza Doboszowice 1 (2019 r.) a - ortofotomapa b - model fotogrametryczny, widok w kierunku NW
 Fig. 2. Contemporary image of exploited field A of the Doboszowice 1 deposit (2019) a - orthophotomapping b - photogrammetric model, view in the NW direction

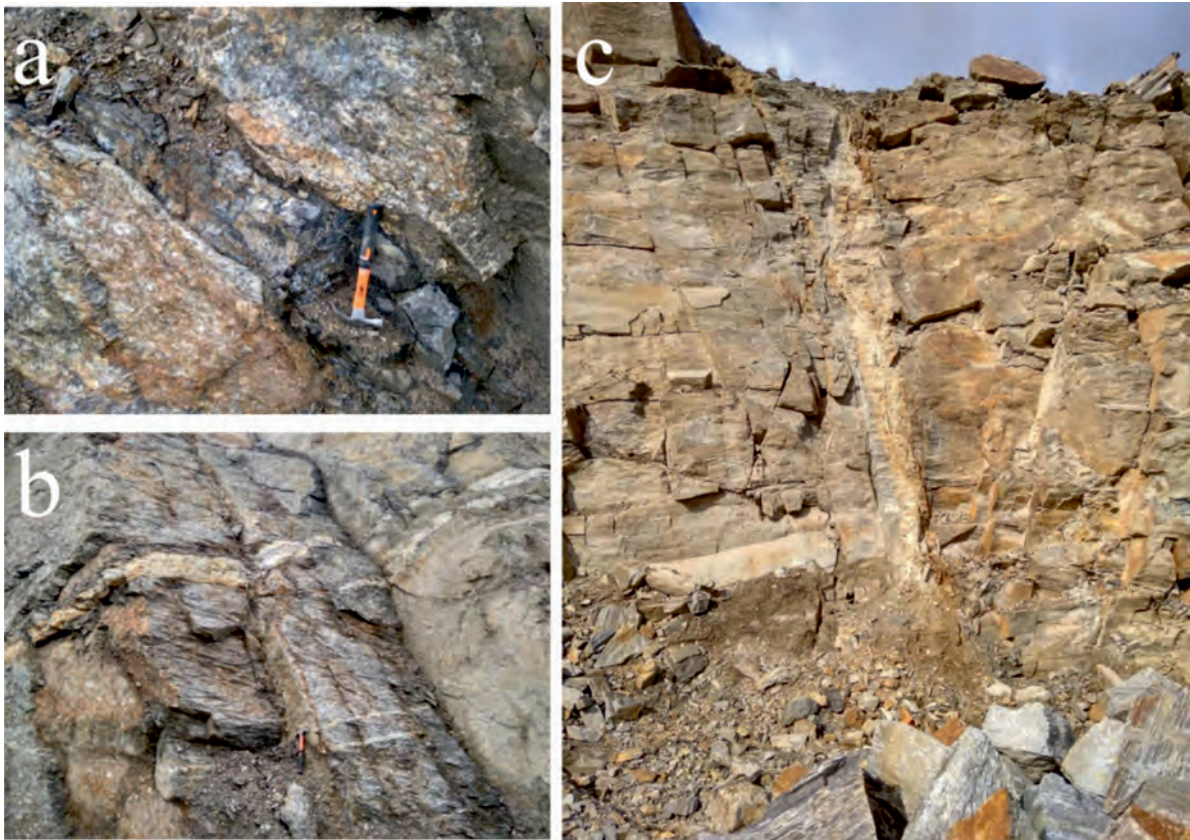
znaczącym naprężeniom tektonicznym, co mogło przyczynić się do przynajmniej częściowego uporządkowania teksturalnego składników mineralnych (Mazur et al. 1995). Wiek samego metamorfizmu granitów Mazur (et al. 2010) określił na ok. 500 Ma (przełom kambr - ordowik). Późniejsza, wieloetapowa metamorfoza i deformacja górotworu miała miejsce jeszcze podczas orogenezy waryscyjskiej, od górnego dewonu po dolny karbon (380 - 320 Ma). Zdaniem Achramowicza (et al. 1995) najintensywniejszy metamorfizm zachodził w zakresie temperatur 630 - 5800°C. Problematyką powstania masywu gnejsów z Doboszowic, oprócz wymienionych autorów, zajmowali się ponadto Achramowicz (1987, 1994), Puziewicz i Rudolf (1998) oraz Bartz (2001).

Eksploatowane gnejsy z Doboszowic charakteryzują się dużym zróżnicowaniem teksturalnym: występują m.in. odmiany laminowane, oczkowe, migmatytowe i granitognejsy. Tekstura laminacyjna (płaskorównoległa) przejawia się poprzez obecność naprzemiennych jasnych lamin kwarcowo - skaleniovych oraz ciemnych, złożonych przeważnie z łuszczyków. Tekstura oczkowa stanowi porfiroblastyczną modyfikację tekstury laminowanej, w której skalenie i kwarc tworzą większe, obłe zespoły blastów, kontrastujące z zespołem drobniejszych łuszczyków o pokroju blaszkowym. Tekstura migmatyczna stanowi produkt intensywniejszego migmatyzmu, podczas którego skały gnejsowe uległy impregnacji stopem krzemionkowym wzdłuż płaszczyzn foliacji. Efektem jest powstanie licznych, drobnych, dysharmonijnie sfałdowanych lamin. W pojedynczych otworach (7D w polu A oraz w 11D w polu B) na głębokości

66,1 - 66,8 m nawiercono granitognejs (rzędne stropu 233 - 235 m n.p.m.). Interpretację budowy geologicznej utrudnia obecność licznych stref uskokowych i związanych z nimi stref mylonitów i kataklazytów, soczew amfibolitów, żył kwarcowo-skaleniovych oraz przerostów zwietrzałego gnejsu w obrębie serii złożowej (Rys. 3).

Wymienione odmiany petrograficzne gnejsów nie tworzą zwartych partii w obrębie górotworu - zarówno w ociosach, jak i w profilach otworów wiertniczych zaobserwować można liczne, naprzemienne partie masywu skalnego o zróżnicowanej strukturze, teksturze, stopniu spękania i zwietrzienia. Obserwowane wydzielenia charakteryzują się skomplikowaną geometrią i zmienną miąższością, nieraz rzędu kilkudziesięciu centymetrów (Rys. 4-5). Próba przedstawienia zgeneralizowanej, przestrzennej formy wydzieleni petrograficznych stanowiła jeden z celów prac Etapu 1 - jego efekt przedstawiono na Rysunku 6.

Serię złożową przykrywają kenozoiczne skały osadowe, złożone z gliny, zwietrzliny gnejsowej, gnejsu zwietrzałego oraz zwietrzałego rumoszu gnejsowego. Miąższość pokrywy nadkładu charakteryzuje się na terenie górniczym dużą zmiennością - od 2 (14D) do ponad 70 m (4D, 24D). Zmienność ta związana jest ściśle z miejscową morfologią terenu - grubszy nadkład występuje u podnóża wzgórz, cieńszy - w partiach szczytowych. Obecność głębokiej, miejscami ponad 70-metrowej strefy zwietrzienia w centralnej części terenu górniczego stanowiła podstawę do wydzielenia dwóch odrębnych obszarów górniczych: Doboszowice 1A oraz Doboszowice 1B.

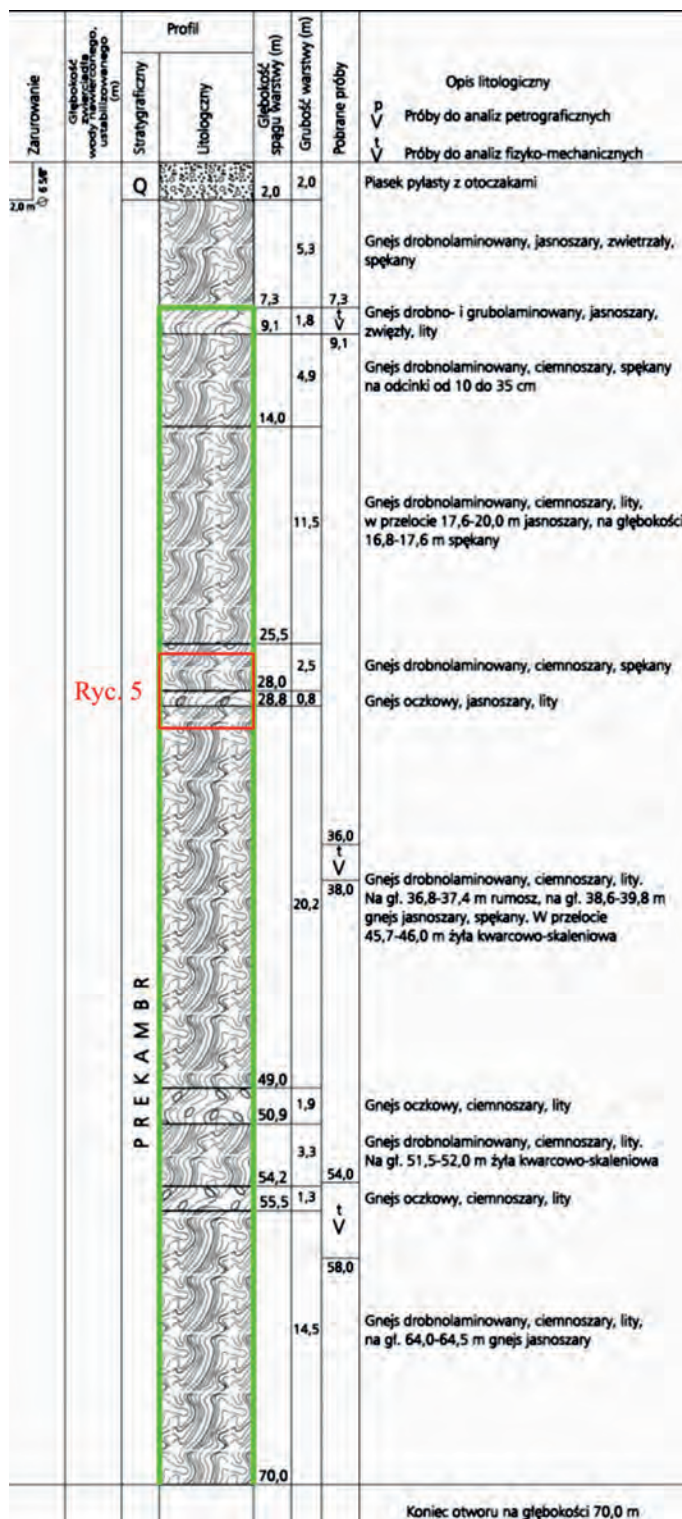


Rys. 3. Ściany wyrobisk górniczych pola A

- a - fragment soczewy lub żyły zwietrzałego amfibolitu (poziom 291 m n.p.m., centralna część pola A)
- b - jasne żyły kwarcowo- skaleniove (poziom 291 m n.p.m., centralna część pola A)
- c - strefa uskokowa w zachodniej ścianie wyrobiska w północnej części pola A, wysokość ściany ok. 10 m

Fig. 3. Working faces of the field A

- a - part of the lens or vein of the weathered amphibolite (level 291 m a.s.l., central part of field A)
- b - light quartz-feldspar veins (level 291 m a.s.l., central part of field A)
- c - fault zone in the western working face, located in the northern part of field A, height of the face c.a. 10 m



Rys. 4. Profil otworu 5D ze wschodniego obrzeża pola A (Majkowska 2010)
Rdzeń z fragmentu profilu oznaczonego kolorem czerwonym patrz Rys. 5
Fig. 4. Geological section of the 5D borehole, located on the eastern edge of field A (Majkowska 2010)

Core of the part of red-marked section see Fig. 5

METODYKA BADAŃ

Ogół prac realizowanych na potrzeby badań podzielono na przygotowawcze, terenowe i laboratoryjne. W ramach prac przygotowawczych dokonano analizy dokumentacji geologiczno-górnictwej: dokumentacji geologicznej złoża (Kochanowska 2004) wraz z dodatkiem nr 1 (Majkowska 2010) i załącznikami kartograficznymi, m.in. kartami otworów wiertniczych. W ramach prac terenowych pozyskano próbki materiału do

badania, natomiast prace laboratoryjne obejmowały przygotowanie próbek do badań oraz wykonanie analiz chemicznych i petrograficznych.

Prace realizowane w ramach projektu koncentrowały się na badaniach kopaliny występującej w obecnie eksploatowanym polu A. Podstawowy materiał do badań pozyskano z archiwalnych rdzeni wiertniczych. Zgodnie z ustaleniami z zakładem górniczym koncentrowano się w głównej mierze na opróbowaniu górnej, aktualnie eksploatowanej części serii złożowej (do głębokości 270 m n.p.m.). Z powodu niskiej kategorii rozpoznania złoża (C_1+C_2) oraz rzadkiej siatki wykonanych otworów wiertniczych, dla uwiarygodnienia wyników badań postanowiono poddać analizom również rdzenie wiertnicze z otworów z pola B oraz obszaru między polami.

Po pobraniu próbek do badań wykonano czynności związane z ich przygotowaniem do analizy. Czynności te obejmowały: suszenie, rozdrabnianie, mieszanie oraz pomniejszanie próbek. Próby poddano suszeniu powietrznemu, następnie skruszono i zmielono za pomocą agatowego ubijaka moździerzowego Fritsch Pulverisette. Po 60-minutowym procesie mielenia próbek osiągnięto uziarnienie o frakcji podsitowej $d_{90} < 0,1$ mm, co umożliwiło dalsze przygotowania. Zmielony materiał został poddawany ręcznemu pomniejszaniu prób (kwartowaniu). Kwartowanie polegało na usypywaniu stożka z dokładnie wymieszanego materiału, który następnie spłaszczano i dzielono krzyżowo na cztery części. Dwie przeciwległe części stanowiły materiał do dalszych analiz, natomiast dwie pozostałe odrzucono jako odpad.

W celu wykonania analizy EDXRF materiał musiał zostać przygotowany w formie pastylek. W celu ich przygotowania odważano z wymieszanego i skwartowanego materiału próbki o masie $2,25 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$, dodając do nich następnie 20 % lepszczka w postaci kwasu borowego ($0,75 \text{ g} \pm 0,1$), w celu związania analizowanego materiału w trwałą pastylkę. Następnie wymieszane składniki ucierano przez 1 minutę w moździerzu porcelanowym i wsypywano do cylindra manualnej prasy hydraulicznej AtlasTM Manual 15Ton firmy Specac. Prasowanie odbywało się przez 5 minut z naciskiem 15 ton. Sprasowaną pastylkę umieszczano w plastikowym opakowaniu z oznaczeniem nazwy próbek celem zabezpieczenia próbek przed zanieczyszczeniem oraz do ich identyfikacji (Rys. 7).

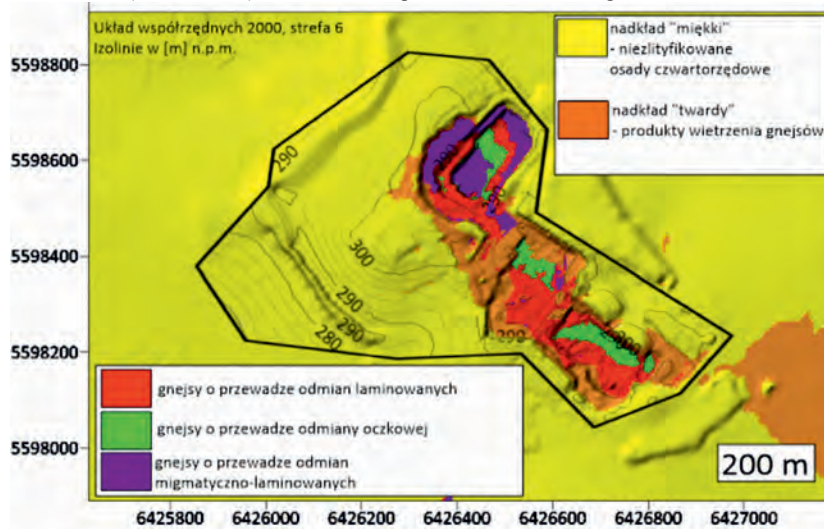
Próby gnejsów z rdzeni wiertniczych poddano analizom metodą fluorescencyjnej spektrometrii rentgenowskiej z dyspersją energii (EDXRF). Zastosowano spektrometr rentgenowski firmy Shimadzu, model EDX-7000, przystosowany zarówno do analizy pierwiastków ciężkich (o gęstości $> 5 \text{ g/cm}^3$) w atmosferze powietrza, jak i lekkich (tj. Na, Mg, Al, Sc, Ti, Y) z zastosowaniem płuczki helowej (Rys. 8).

Przygotowane pastylki umieszczano w komorze pomiarowej spektrometru. Próbkę poddawano analizom w atmosferze helu w celu zniwelowania strat promieniowania oraz interferencji pochodzących od powietrza. Bezwzorcowy pomiar trwał od 7 do 10 minut. W stosowanej na potrzeby badań procedurze pomiarowej spektrometru uwzględniono jako matrycę wzór sumaryczny kwasu borowego.

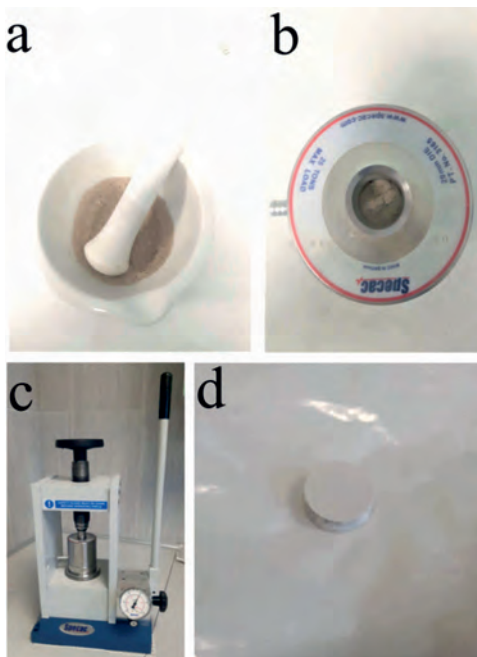
Ogółem wykonano analizy 88 próbek rdzeni, pochodzących z 16 otworów wiertniczych: 7 położonych w granicach pola A, 8 - pola B i 1 zlokalizowanego w obrębie terenu górniczego, pomiędzy obszarami górnictwami obu pól. Poszczególnym analizowanym fragmentom rdzeni przypisano odpowiednią odmianę petrograficzną i wykonano szczegółowe analizy ilościowe



Rys. 5. Fragment rdzenia z otworu wiertniczego 5D (26,0 - 30,0 m). Lokalizacja fragmentu na profilu otworu patrz Rys. 4
 Fig. 5. Section of the core from 5D borehole (26.0 - 30.0 m). Location of the presented section see Fig. 4



Rys. 6. Zgeneralizowany model przestrzenny złoża Doboszowice 1
 Fig. 6. Simplified spatial model of the Doboszowice 1 deposit



Rys. 7. Proces przygotowywania próbki do analizy EDXRF
 a - ucieranie, b - cylinder prasy, c - prasowanie, d - gotowa pastylka
 Fig. 7. Preparation of the sample for EDXRF analyses
 a - grinding, b - press cylinder, c - pressing, d - prepared briquette



Rys. 8. Spektrometr Shimadzu EDX-7000
 Fig. 8. Shimadzu EDX-700 spectrometer

EDXRF, obejmujące następujący zestaw składników w postaci tlenkowej: SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , Fe_2O_3 , CaO , MgO , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , V_2O_5 , ZrO_2 , Rb_2O , CuO , SrO , Cr_2O_3 , ZnO , Y_2O_3 , SO_2 , Ag_2O , Ga_2O_3 , BaO , PbO , Ir_2O_3 , Ta_2O_5 , NbO , NiO , Bi_2O_3 , PdO , WO_3 i Au_2O . Wyniki analiz poddawano krytycznej ocenie i w razie konieczności powtarzano analizę.

Dodatkowo skompletowano zestaw 14 próbek materiału skalnego, przeznaczonego do badań petrograficzno-mineralogicznych (Rys. 9a). W jego skład wchodziły:

- 4 próby zróżnicowanego teksturalnie gnejsu z frontu eksploatacyjnego w centralnej części wyrobiska, z poziomu 282 m (oznaczone jako seria W);
- 3 próby gnejsu z części górotworu bezpośrednio sąsiadującego z żyłami kwarcowymi w centralnej części wyrobiska, na poziomie 291 m (seria S);
- 7 prób gnejsu z otworów 1D oraz 11D (preparaty 11/1, 11/2, 11/3, 11/4, 11/5, 1/2, 1/3).

Z każdej z 14 próbek wykonano następnie preparat cienki (szlif mikroskopowy zakryty) do badań petrograficznych, o standardowych wymiarach 28 x 48 mm (Rys. 9b). Preparatykę zlecono Pracowni Szlifierskiej KGHM Cuprum. Następnie całość wykonanych preparatów została przekazana do badań do Pracowni Gemmologii, Petroarcheologii i Petrografii Technicznej, funkcjonującej przy Instytucie Nauk Geologicznych Wydziału Nauk o Ziemi i Środowiska Uniwersytetu Wrocławskiego.

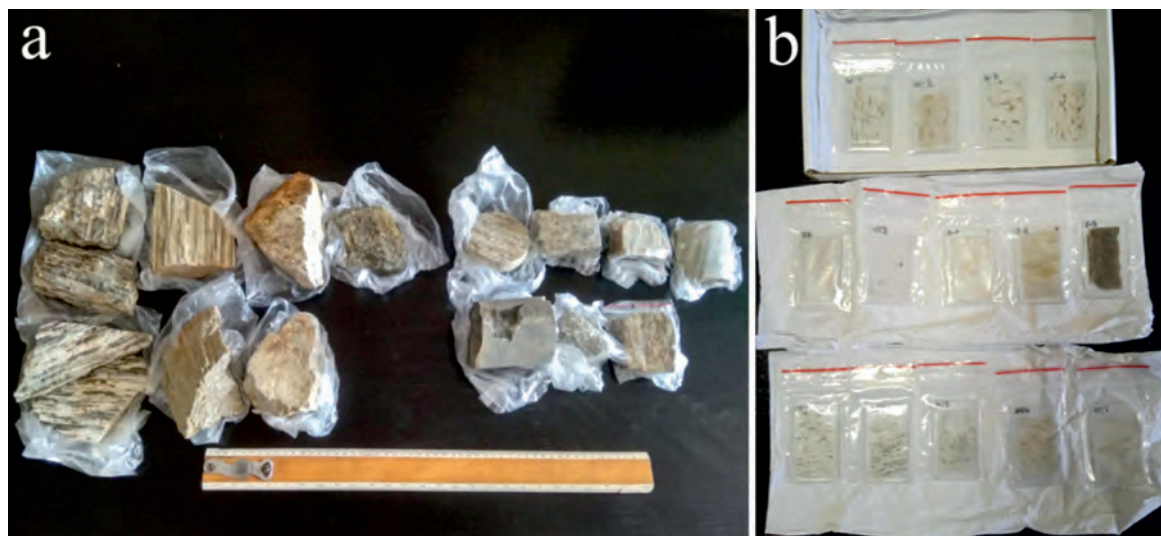
Badania petrograficzne wykonano tradycyjną metodą z zastosowaniem analiz mikroskopowych w świetle przechodzącym. Wykorzystano mikroskop polaryzacyjny Nikon Eclipse 200 Pol. Dokumentację fotograficzną opracowano z zastosowaniem systemu dokumentacji fotograficznej sprzężonej z mikroskopem, z wykorzystaniem aparatu fotograficznego Canon EOS 450d o rozdzielczości matrycy 13 Mpx. Badania petrograficzne skał obejmowały opracowanie opisu makroskopowego, określenie struktury i tekstury, analizę cech morfologiczno-optycznych minerałów skałotwórczych w świetle przechodzącym oraz wykonanie ilościowej analizy planimetrycznej składu mineralnego w połączeniu z komputerową analizą obrazu. Z uwagi na niewielkie rozmiary minerałów, pomiary ilościowe wykonano na pięciu losowo wybranych fragmentach płytki cienkiej, każdy o powierzchni ok. 26,5 mm². Udział objętościowy składników

mineralnych wykonano metodą zliczania punktowego (*point-count method*), wykorzystując program do komputerowej analizy obrazu JMicroVision v1.2.7. Na każdej z analizowanych mikrofotografii dokonano zliczeń losowo generowanych punktów, aż do uzyskania horyzontalnego rozkładu udziału poszczególnych składników na specjalistycznym diagramie (*evolution plot of classes*).

Otrzymane wyniki badań zostały zestawione w opracowaniu pt. „Charakterystyka petrograficzna gnejsów i amfibolitu z biotytem z okolic Doboszowic i Pomianowa na Bloku Przedsudcekim” (Gunia 2020) i włączone w skład dokumentacji badawczej, przygotowywanej w ramach realizacji projektu. Zamieszczone w opracowaniu wyniki badań posłużyły jako materiał porównawczy dla wyników analiz chemicznych oraz obserwacji terenowych.

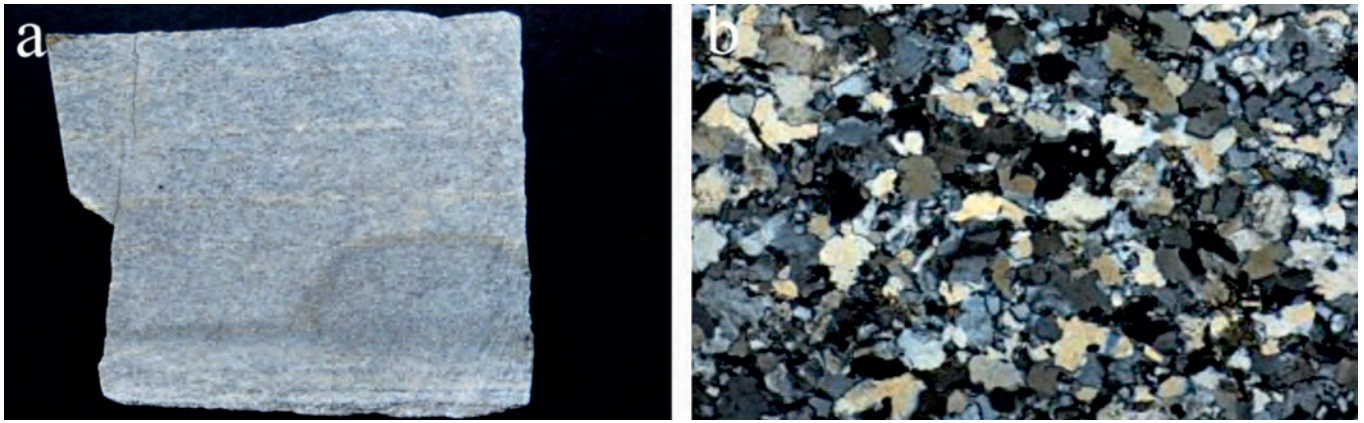
Zarówno w ramach prac badawczych realizowanych na potrzeby projektu, jak i w niniejszej publikacji, zdecydowano się przyjąć uproszczoną klasyfikację kopaliny, stosowaną w dokumentacji geologiczno-górnictwej. Obejmuje ona podział gnejsu według różnic teksturalnych, wyróżniając gnejs grubolaminowany, drobnolaminowany, oczkowy i migmatyczny. Dodatkowo wyszczególniono zwietrzałe partie kopaliny w obrębie serii złożowej jako przerosty. Zgeneralizowaną klasyfikację górnictwą zastosowano również w przypadku nadkładu: nadkład łatwo urabialny („miękki”) obejmuje niezlityfikowane osady czwartorzędowe w postaci gleby, gliny i zwietrzliny gnejsowej, natomiast nadkład trudno urabialny („twardy”) - zwietrzałe gnejsy i zwietrzały rumosz gnejsowy.

Zastosowanie przedstawionej klasyfikacji ma swoje praktyczne uzasadnienie - pozwala planować selektywną eksploatację. Ma to szczególne znaczenie w przypadku złoża Doboszowice 1, w którym zaobserwować można dużą zmienność petrograficzną eksploatowanej kopaliny. Gnejs drobnolaminowany znajduje zastosowanie jako kruszywo z uwagi na wyższe wartości parametrów fizyko-mechanicznych, wynikających ze stosunkowo drobnokrystalicznej struktury tej odmiany. Gnejs ten, określany mianem „technicznego”, występuje głównie w północnej części eksploatowanego pola A. Odmiennie zastosowanie znajdują grubokrystaliczne odmiany gnejsów: grubolaminowane, oczkowe i migmatyczne, które zakład górniczy sprzedaje jako kruszywo ozdobne i ogrodowe, korę kamienną i kamień elewacyjny.

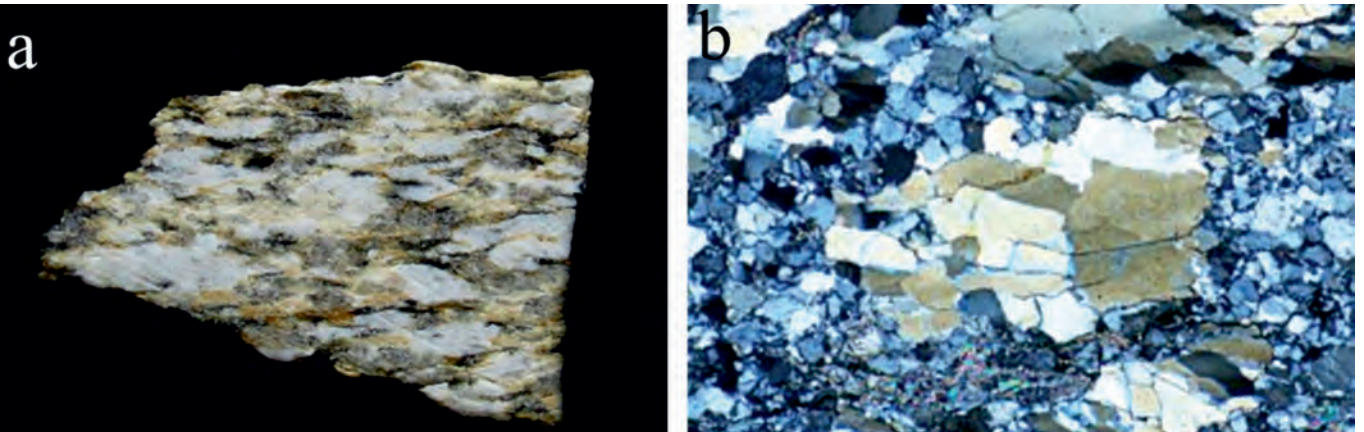


Rys. 9. Materiał do badań petrograficznych: a - próbki skał pobranych z ociosu i rdzeni wiertniczych b - zestaw preparatów cienkich (szlifów mikroskopowych zakrytych) do badań w świetle przechodzącym

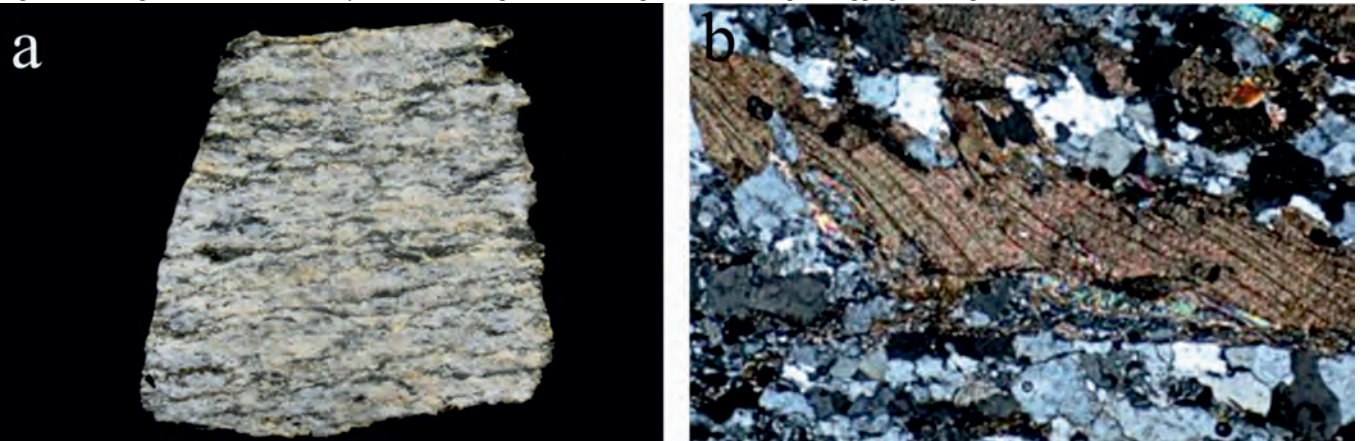
Fig. 9. Petrographic research material: a - samples collected from working faces and cores of boreholes b - set of the microscopic sections for the analyses in transmitted light



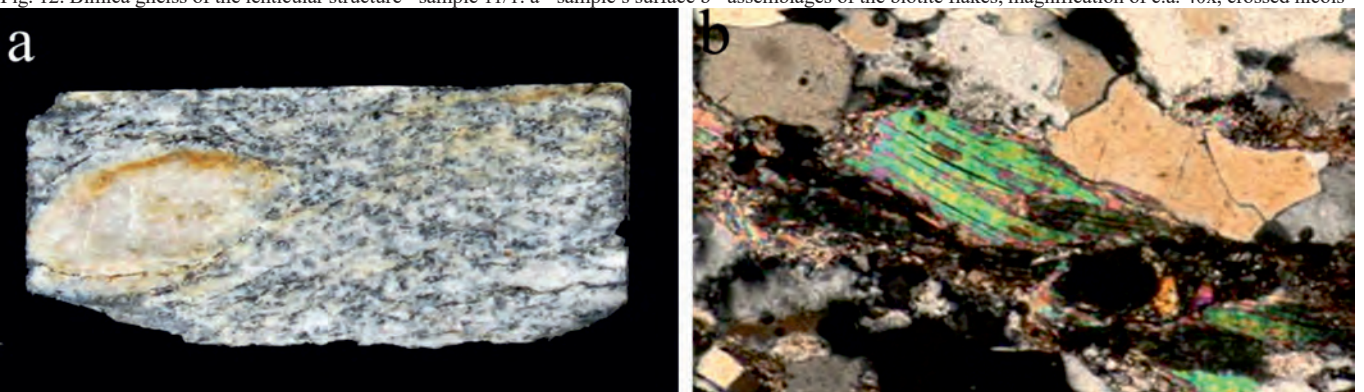
Rys. 10. Gnejs biotytowy drobno laminowany - próbka 1/2: a - powierzchnia próbki b - struktura gnejsu, powiększenie ok. 40x, nikole skrzyżowane
 Fig. 10. Finely laminated biotite gneiss - sample 1/2: a - sample's surface b - gneiss texture, magnification of c.a. 40x, crossed nicols



Rys. 11. Gnejs dwuływczykowy o teksturze soczewkowo-oczkowej - próbka W-4: a - powierzchnia próbki b - agregaty kwarcowe, powiększenie ok. 40x, nikole skrzyżowane
 Fig. 11. Bimica gneiss of the lenticular-eye structure - sample W-4: a - sample's surface b - quartz aggregates, magnification of c.a. 40x, crossed nicols



Rys. 12. Gnejs dwuływczykowy o teksturze soczewkowej - próbka 11/1: a - powierzchnia próbki b - skupienia blaszek biotytu, powiększenie ok. 40x, nikole skrzyżowane
 Fig. 12. Bimica gneiss of the lenticular structure - sample 11/1: a - sample's surface b - assemblages of the biotite flakes, magnification of c.a. 40x, crossed nicols



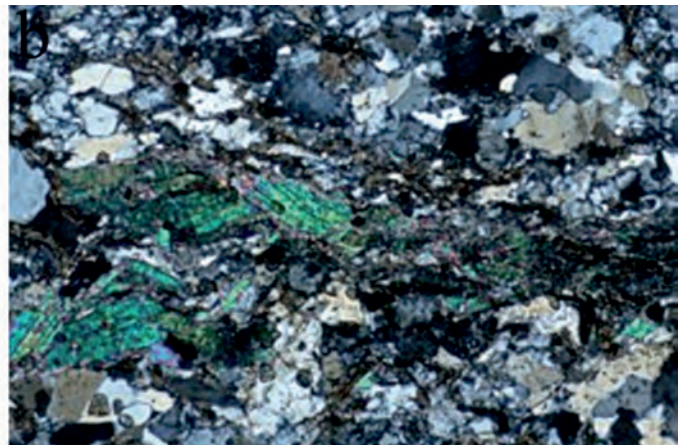
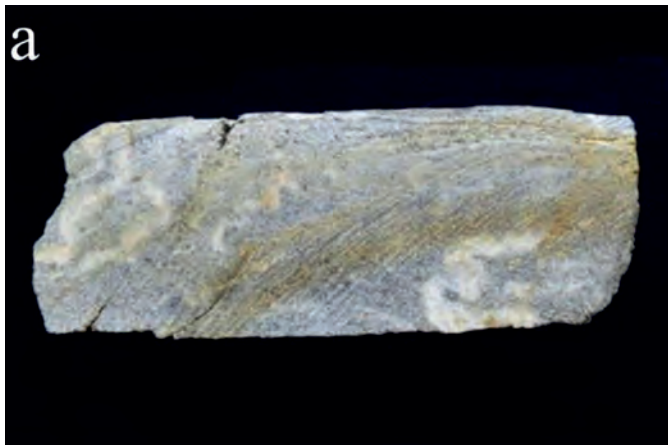
Rys. 13. Gnejs dwuływczykowy o teksturze oczkowej z oznakami kataklazy - próbka 11/3: a - powierzchnia próbki b - blaszka muskowitu, powiększenie ok. 40x, nikole skrzyżowane
 Fig. 13. Bimica gneiss of the eye structure and with cataclasis signs - sample 11/3: a - sample's surface b - biotite flake, magnification of c.a. 40x, crossed nicols

WYNIKI BADAŃ

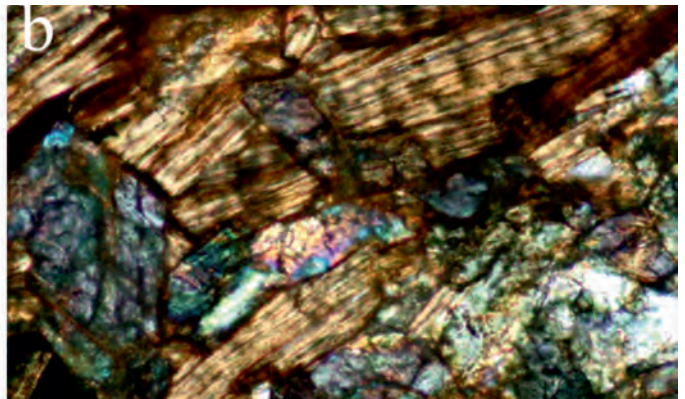
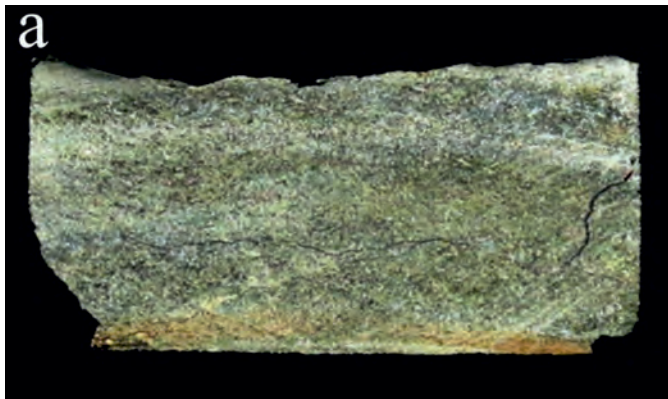
W ramach badań mineralogiczno-petrograficznych wyróżniono wśród analizowanych 14 próbek kilka odmian petrograficznych gnejsów: gnejsy biotytowe, gnejsy dwułyszczykowe o teksturze soczewkowo-oczkowej, gnejsy dwułyszczykowe o teksturze soczewkowej, gnejsy dwułyszczykowe o teksturze oczkowej z oznakami kataklazy oraz gnejsy dwułyszczykowe z ptygmatytami. Dodatkowo jedną z próbek zidentyfikowano jako amfibolit epidotowy z biotytem. Poniżej przedstawiono ogólną charakterystykę mineralogiczną wyróżnionych odmian.

Próbki gnejsu biotytowego, (Rys. 10) oznaczone jako 1/2 i 1/3, pochodzą z otworu wiertniczego 1D, zlokalizowanego w zachodniej części pola A. Reprezentują zarówno gnejs drobno-, jak i grubolaminowany, opierając się na uproszczonej klasyfikacji przyjętej w dokumentacji geologicznej złoża. Wyniki analiz mineralogiczno-petrograficznych wykazały, że są jasnoszare, laminowane skały, złożone z drobnych granoblastów, miejscami pocięte żyłkami skaleniowymi grubości 3 - 4 mm. Gnejsy biotytowe złożone są głównie z kwarcu, plagioklazów i skaleni alkalicznych, podrzędnie z pokruszonego biotyty i pojedynczych blaszek muskowitu. Skalenie alkaliczne, reprezentowane przez mikroklin, występują rzadziej od plagioklazów. W strefach kataklazy kwarc i skalenie przybierają często formę ostrokrawędzistą, o zróżnicowanej wielkości kryształów, wraz z silnie pokruszonymi lub zmielonymi fragmentami biotyty. Spośród minerałów akcesorycznych odnotowano obecność pojedynczych, zaokrąglonych kryształów cyrkonu i wprysnięć tlenków żelaza.

Próbki gnejsu dwułyszczykowego o teksturze soczewkowo-oczkowej (Rys. 11) oznaczone jako W-3, W-4 oraz S-1, pochodzą z centralnej części wyrobiska pola A. Próby W-3 i W-4 zostały pobrane z urobku, spod frontu eksploatacyjnego na poziomie eksploatacyjnym 282 m n.p.m., natomiast próbkę S-1 pobrano z fragmentu ociosu, bezpośrednio sąsiadującej z żyłą kwarcową na poziomie 291 m. n.p.m. Gnejs dwułyszczykowy to skała barwy białoszarej, z miejscowymi plamami wietrzeniowymi barwy żółtobrązowej. Ma strukturę grubo- i heteroblastyczną, o wyraźnej foliacji oczkowo-soczewkowej. Równoległą teksturę skał podkreślają naprzemienne laminy złożone z kwarcu, skaleni oraz łyszczyków. Zaobserwowano znaczne zróżnicowanie rozmiarów minerałów skałotwórczych występujących w niniejszej odmianie gnejsów. Jasne laminy złożone są przeważnie z kwarcu, skaleni i jasnych łyszczyków, ciemne - z przerostów biotyty i muskowitu. Kwarc występuje najczęściej w postaci ksenomorficznej, jako wypełnienie tła w obrębie jasnych lamin. Skalenie tworzą pojedyncze, większe fragmenty kryształów o pokroju tabliczkowym, często w sąsiedztwie pylastych produktów ich wietrzenia (kaolinizacji). Interstycje między skaleniami wypełnione są często pylastym pigmentem żelazistym barwy jasnobrązowej. W obrębie ciemnych lamin biotyt tworzy najczęściej brązowe, złożone z kilku blaszek zrosty z narośniętymi pojedynczymi blaszkami muskowitu. W obrębie pojedynczych, większych blaszek muskowitu o niemal idiomorficznym pokroju zidentyfikowano wrostki pierwotnego granatu. Minerale akcesoryczne są rzadkie i reprezentują oprócz wymienionego granatu pojedyncze wrostki cyrkonu w większych blaszkach biotyty.



Rys. 14. Gnejs dwułyszczykowy z ptygmatytami - próbka W-2: a - powierzchni próbki b - struktura gnejsu, powiększenie ok. 40x, nikole skrzyżowane
Fig. 14. Bimica gneiss with ptygmatites - sample W-2: a - sample's surface b - gneiss texture, magnification of c.a. 40x, crossed nicols



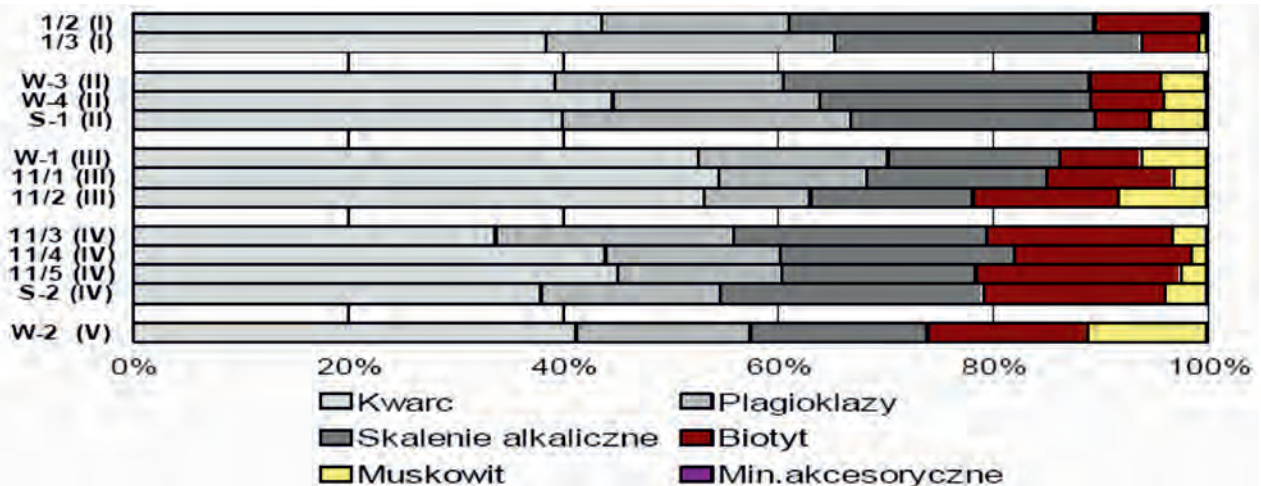
Rys. 15. Amfibolit epidotowy z biotytem - próbka S-3: a - powierzchni próbki b - przerost idiomorficznych słupków hornblendy zwyczajnej z biotytem, powiększenie ok. 60x, nikole skrzyżowane
Fig. 15. Epidote amphibolite with biotite - sample S-3: a - sample's surface b - overgrown of the idiomorphic prismatic hornblende and biotite, magnification of c.a. 60x, crossed nicols

Próbki gnejsu dwułyżczykowego o teksturze soczewkowej (Rys. 12) oznaczone jako próbki W-1, 11/1 oraz 11/2, pochodzą zarówno z centralnej części pola A (W-1 z urobku spod frontu eksploatacyjnego na poziomie 282 m n.p.m.), jak i z otworu 11D, zlokalizowanego w północnej części pola B (11/1 i 11/2). Reprezentowane są przez skały jasnoszarej barwy, złożone z naprzemiennie występujących ciemniejszych zdefragmentowanych lamin łyżczykowych i soczewkowatych nagromadzeń kwarcu i skaleni. Gnejs dwułyżczykowy o teksturze soczewkowej jest skałą o strukturze granonematoblastycznej, o wyraźnie zaznaczonej teksturze kierunkowej. W obrębie soczewek występują pojedyncze, drobne zrosty blaszek muskowitu. Skalenie o wykształceniu ksenomorficznym reprezentowane są głównie przez plagioklasy, rzadziej przez skalenie alkaliczne. Ciemne laminy złożone są w większości z biotyty. Muskowit często obrasta agregaty biotyty, rzadziej występuje osobno, w postaci skupień powyginanych mikroblaszek. Wśród sporadycznych minerałów akcesorycznych wyróżniono drobne cyrkonie wrośnięte w niektórych blaszkach biotyty oraz drobne nieporządkowane wprysnięcia tlenków żelaza w obrębie tła mineralnego.

Próbki gnejsu dwułyżczykowego (Rys. 13) o teksturze oczkowej z oznakami kataklazy, oznaczone jako 11/3, 11/4, 11/5 i S-2, pochodzą w większości z otworu 11D, zlokalizowanego w północnej części pola B. Próbka S-2 pochodzi z fragmentu ociosu, bezpośrednio sąsiadującego z żyłą kwarcową na poziomie 291 m. n.p.m. w centralnej części pola A. W skład wyróżnionej grupy petrograficznej wchodzi skały metamorficzne barwy szarej, o strukturze granonematoblastycznej lub granoblastycznej oraz stosunkowo słabo zaznaczonej teksturze kierunkowej. We wszystkich próbkach występują powierzchniowe, wietrzeniowe zmiany ich zabarwienia w postaci żyłek lub niewielkich skupień wypełnionych żelazistym pigmentem barwy jasnobrunatnej. Partie skały charakteryzujące się wyraźnie zaznaczoną teksturą kierunkową, podkreśloną równoległym ułożeniem kwarcu, skaleni i ciemnych łyżczyków wzdłuż dłuższych osi, współy-

stępują z obszarami o zaburzonej kataklazą teksturze bezkierunkowej. Gnejsy o wyraźnej, uporządkowanej teksturze składają się przeważnie ze skaleni - oczka budują skalenie potasowe (mikrokliny) o pojedynczych, owalnych kryształach. Muskowit tworzy większe, pojedyncze blaszki z dobrze zaznaczonymi śladami kierunków łupliwości. Biotyt występuje w skupieniach fragmentów blaszek, ułożonych na ogół zgodnie z kierunkiem foliacji. W przypadku gnejsów o kataklazystycznej strukturze składniki mineralne uległy zniekształceniom w wyniku deformacji ścięciowej - kwarc, skalenie i łyżczyki występują często w postaci skruszonej i zgranulowanych fragmentów. Minerale akcesoryczne reprezentowane są przez drobne kryształy tlenków żelaza, wrośniętych w zdeformowanych i pokruszonych blaszkach biotyty.

Próbka gnejsu dwułyżczykowego z ptygmatytami (Rys. 14), oznaczona jako W-2, pochodzi z centralnej części pola A, z urobku spod frontu eksploatacyjnego na poziomie 282 m n.p.m. Jest to gnejs ciemnoszarej barwy, o strukturze afanitowej i bezkierunkowej teksturze. Miejscowo w tle skały występują pojedyncze żyłki barwy szarej (ptygmatyty), o miąższości do 2 cm, często pofałdowanych i powyginanych. Dominują obszary o strukturze drobnogranoblastycznej, heteroblastycznej i mało wyraźnej teksturze kierunkowej. Do głównych składników mineralnych należy kwarc, skalenie, muskowit i biotyt. Kwarc reprezentowany jest przez kryształy ksenomorficzne o zmiennej wielkości. Miejscowo tworzy polimineralne, izolowane zrosty o charakterze skupień gniazdowych lub wstęgowych, występujących w skaolinizowanych partiach skały. Część drobnoziarnistego tła kwarcowo-skaleniowego jest silnie skataklazowana. Wśród słabiej zdeformowanych kryształów skaleni wyróżnić można zarówno zbliżone plagioklasy, jak i krzyżowe zrosty bliźniacze, charakterystyczne dla alkalicznych mikroklinów. Muskowit występuje najczęściej pojedynczo, w postaci odłamków większych blaszek, rzadziej w kilkublaszkowych zrostach. Sporadycznie zaobserwować można przerosty muskowitu



Rys. 16. Zestawienie wyników analiz planimetrycznych składu mineralnego gnejsów w % obj.

I - gnejs biotyty

II - gnejs dwułyżczykowy o teksturze soczewkowo-oczkowej

III - gnejs dwułyżczykowy o teksturze soczewkowej

IV - gnejs dwułyżczykowy o teksturze oczkowej z oznakami kataklazy

V - gnejs dwułyżczykowy z ptygmatytami

Fig. 16. Summary of the results of planimetric analyses, performed on gneiss (mineral composition in wt. %)

I - biotite gneiss

II - bimica gneiss of the lenticular-eye structure

III - bimica gneiss of the lenticular structure

IV - bimica gneiss of the eye structure and with cataclasis signs

V - bimica gneiss with ptygmatites

ze zdeformowanymi biotytami. Biotyt występuje najczęściej w postaci wydłużonych, blaszkowych agregatów. Ptygmatyty stanowią pseudomorfozy po większych tabliczkach skaleni. Są zazwyczaj wypełnione drobnokrystalicznym agregatem wietrzeniowym (zbudowanym prawdopodobnie z kaolinitu) z drobnymi nagromadzeniami tlenków żelaza. W tej odmianie nie stwierdzono obecności znaczących ilości minerałów akcesorycznych.

Oprócz wymienionych pięciu odmian petrograficznych gnejsu, jedną z badanych próbek (S-3) zidentyfikowano jako amfibolit epidotowy z biotytem (Rys. 15). Próbką została pobrana z fragmentu ociosu, bezpośrednio sąsiadującego z żyłą kwarcową na poziomie 291 m. n.p.m w centralnej części pola A. Amfibolit jest skałą barwy zielonkawej barwy, o afanitowej strukturze i bezkierunkowej teksturze. Tło skalne wykazuje dwojaką strukturę: od nematoblastycznej w partiach wzbogaconych w biotyt do granonematoblastycznej w strefach amfibolowo-epidotowych. Tekstura kierunkowa amfibolitu jest słabo zaznaczona. Skład mineralny reprezentują amfibole (hornblenda zwyczajna), biotyt i minerały z grupy epidot-kliinozojzytu. Wśród minerałów akcesorycznych dominują ilmenity i rutyle. Amfibole z grupy hornblendy zwyczajnej występują zazwyczaj w zespołach złożonych ze zdeformowanych słupeków, a w ich interstycjach widoczne są drobne, ostrokrawędziste fragmenty epidotu. Biotyt zazwyczaj występuje w tle amfibolowym w większych, „gniazdowych” nagromadzeniach blaszek. Zaobserwowano sporadyczne, owalne fragmenty kwarcytów o strukturze granoblastycznej. Wśród minerałów akcesorycznych wyróżnić można pojedyncze, zaokrąglone kryształy ilmenitu obecne w tle amfibolowym oraz zrosty drobnych igiełek rutylu, występujące sporadycznie w przestrzeniach międzyziarnowych.

Zbiorcze wyniki analiz planimetrycznych, odzwierciedlających skład mineralny poszczególnych odmian gnejsu, przedstawiono na Rysunku 16. Największy udział kwarcu odnotowano w próbkach gnejsów z grupy gnejsów dwułyszczkowych o teksturze soczewkowej: 52,6 - 54,5 % obj., a w pozostałych wyróżnionych grupach petrograficznych ilość tego składnika mineralnego jest porównywalna. Najmniejszy objętościowy udział kwarcu występuje w próbce 11/3 (gnejs dwułyszczkowy o teksturze oczkowej z oznakami kataklazy - 33,7 % obj.), największy w próbce: 11/1 - 54,5 % obj.

Sumaryczna zawartość skaleni przekracza 50 % obj. w próbce 1/3 (gnejs biotytowy). Największą zawartość plagioklazów (28,2 % obj.) stwierdzono w gnejsach biotytowych (1/3) oraz dwułyszczkowych o teksturze soczewkowo-oczkowej (S-1). Najniższą koncentrację tych glinokrzemianów wykazano w gnejsie dwułyszczkowym o teksturze soczewkowej (11/2) - 9,9 % obj. Plagioklasy występują najczęściej w grupie gnejsów dwułyszczkowych o teksturze soczewkowo-oczkowej: 19,3 - 26,8 % obj., podobnie do skaleni alikalicznych, które koncentrują się w wymienionej grupie II oraz w grupie gnejsów biotytowych (22,8 - 28,6 % obj.). Najniższą zawartość skaleni potasowych stwierdzono w próbce 11/2 (gnejs dwułyszczkowy o teksturze soczewkowej - 15,1 % obj. Niższe koncentracje skaleni są kompensowane wyższym udziałem kwarcu.

Wyraźne wzbogacenie w biotyt można zaobserwować w przypadku gnejsów dwułyszczkowych o teksturze oczkowej z oznakami kataklazy (16,5 - 19,1 % obj.), w pozosta-

łych odmianach udział tego łyszczyku nie przekracza 15 % obj. Wyraźne zubożenie w biotyt występuje wśród gnejsów dwułyszczkowych o teksturze soczewkowo-oczkowej: 5,1 - 6,8 % obj. Największe ilości muskowitu oznaczono ilościowo w próbce gnejsu dwułyszczkowego z ptygmatytami (11,1 % obj.), najmniejsze - w próbkach gnejsów biotytowych (0,4 - 0,7 % obj.).

Analiza planimetryczna składu mineralnego amfibolitu epidotowego, wykazuje udział amfibolu (hornblendy) w ilości 39,6 % obj., biotyty w ilości 36,9 % obj., kwarcu (10,7 % obj.) oraz skaleni, często przeobrażonych w epidot, o łącznym udziale 9,1 % obj. Zawartość składników akcesorycznych wynosi 3,7 % obj.

Na wykresach punktowych (Rys. 17-20) przedstawiono skład ilościowy próbek gnejsu, pobranych z rdzeni wiertniczych pochodzących z otworów zlokalizowanych w granicach całego terenu górniczego (pola A i B oraz część terenu między obszarami górniczymi). Niniejsze wykresy najlepiej obrazują zmienność określonych parametrów chemicznych w obrębie złoża. Szczególną uwagę poświęcono parametrom, które mają kluczowe znaczenie dla wytwarzania surowca skaleniowego i polepszacza glebowego: SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ oraz Fe_2O_3 . Na wykresach zamieszczono wartości graniczne parametrów jakościowych dla odpadów wydobywczych gnejsu, definiujących ich przydatność do wytworzenia w procesie separacji magnetycznej surowca skaleniowego do produkcji ceramiki. Spełnienie tych kryteriów jakościowych przyjęto jako kamień milowy we wniosku o dofinansowanie projektu:

- $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 2,0 \%$ wag.;
- $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O} \geq 1$;
- $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} > 6,5 \%$ wag.

Na przedstawionych wykresach widać wyraźnie, że kryterium $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O} \geq 1$ spełniają niemal wszystkie próby gnejsów (96,6 %), bez względu na odmianę przemysłową. Jednocześnie większym zróżnicowaniem zawartości obydwóch tlenków charakteryzują się gnejsy drobnolaminowane, niż grubolaminowane (Rys. 19). Równie korzystnie prezentują się analizowane gnejsy pod względem sumarycznej zawartości alkaliów (K_2O i Na_2O) - jedynie 5,7 % prób nie spełnia tego kryterium (Rys. 20). Najtrudniejszym kryterium do spełnienia okazuje się zawartość tlenku żelaza - nie spełnia go aż 47,7 % analizowanych próbek, reprezentowanych przeważnie przez gnejsy laminowane (Rys. 18, 20).

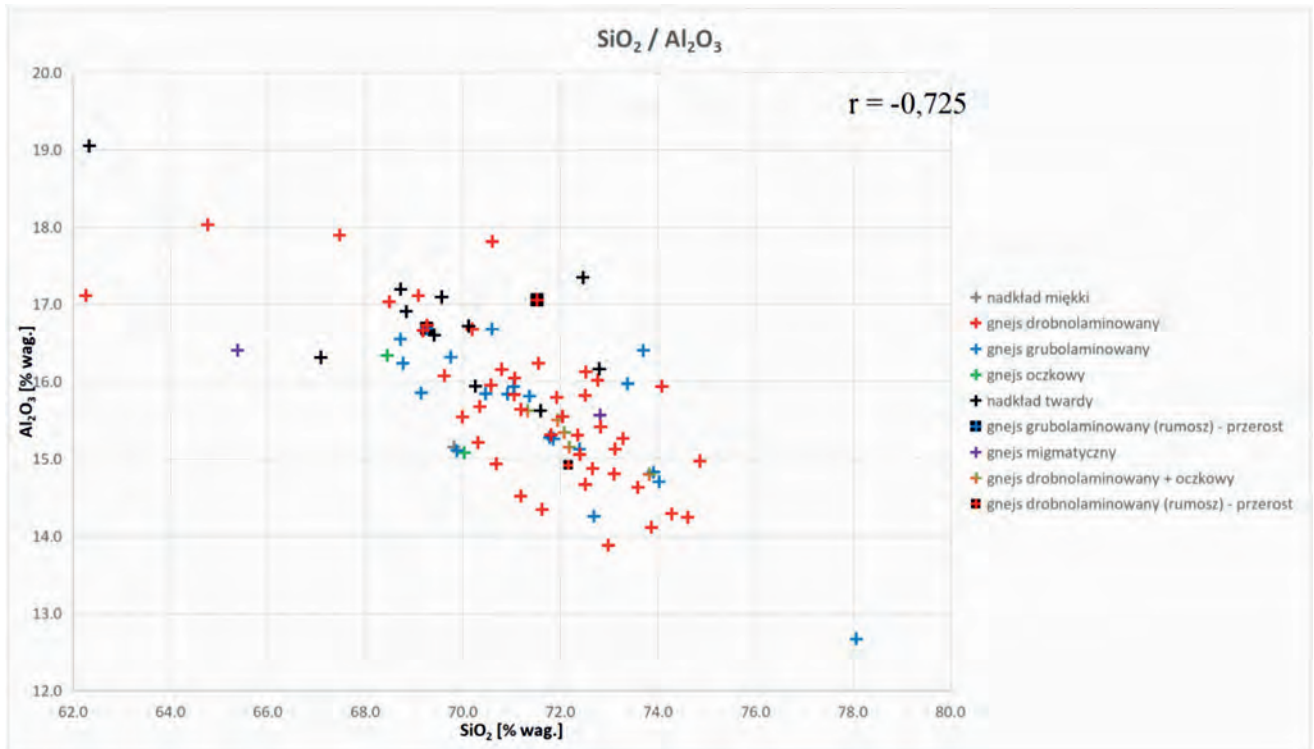
PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Należy zaznaczyć, że przyjęta przez kopalnię przemysłowa klasyfikacja kopaliny nie jest zbieżna z klasyfikacją opartą na wynikach badań petrograficznych. Świadczą o tym dobitnie rozbieżności między nazewnictwem odmian gnejsu w przypadku próbek z otworów 1D i 11D. Zarówno próbka 1/2, jak i 1/3, pochodzące z rdzeni otworu 1D, reprezentują gnejs biotytowy (w sensie petrograficznym), natomiast na kartach otworów włączonych w skład dokumentacji geologicznej złoża reprezentują one odpowiednio gnejs drobno- oraz grubolaminowany. Większe rozbieżności występują w przypadku próbek pochodzących z otworu 11D. Przeloty profilu rdzenia, z którego pochodzą próby 11/1 oraz 11/2, reprezentowane są przez gnejsy

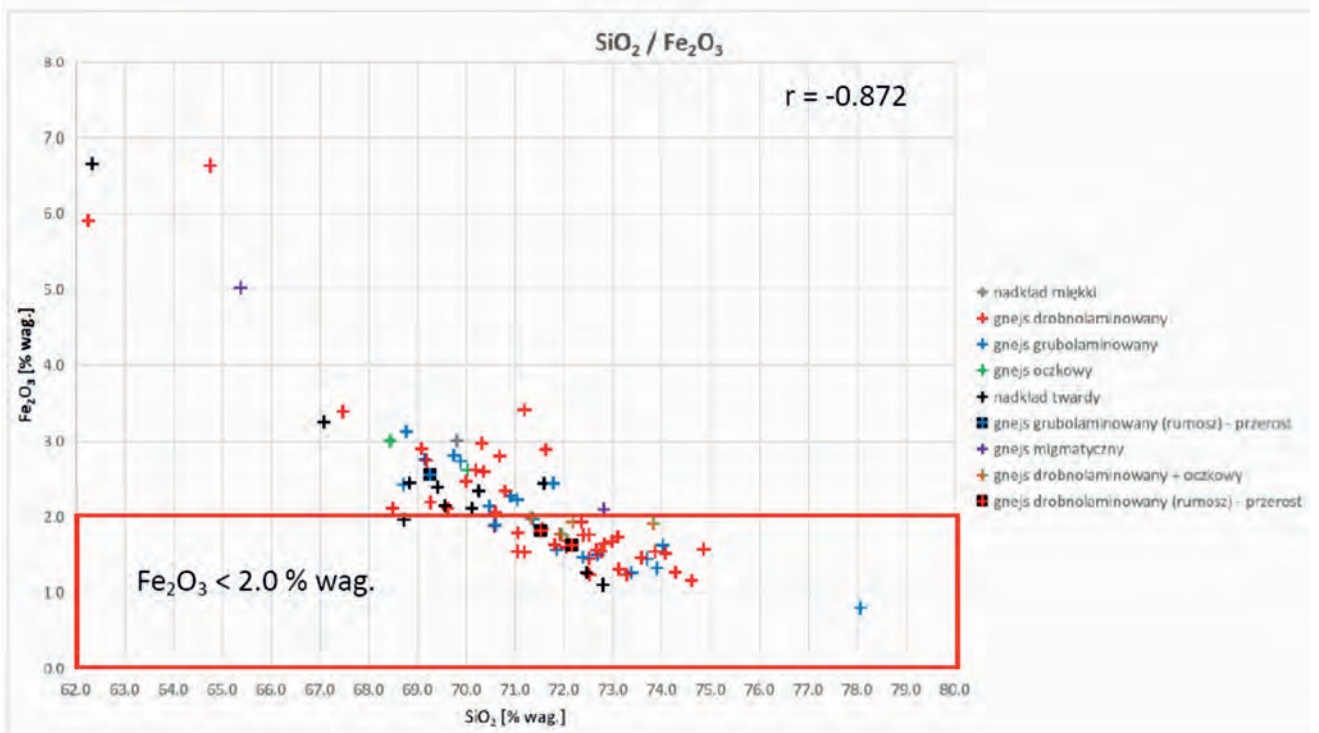
Tab. 1. Zestawienie litologii, składu mineralnego i chemicznego próbek gnejsu Klasyfikacja petrograficzna - oznaczenia analogiczne jak na Rys. 16. Klasyfikacja przemysłowa: GD - gnejs drobnolaminowany, GD - gnejs grubolaminowany, GGr - rumosz gnejsu grubolaminowanego (przerost w serii złożowej) Kolorem czerwonym oznaczono zawartości tlenków, których wartość nie spełnia parametrów granicznych kryteriów jakościowych do produkcji surowca skaleniowego

Tab. 1. Summary of lithology, mineral and chemical composition of the sampled gneiss Petrographic classification - labels similarly to Fig. 16. Industry classification: GD - finely laminated gneiss, GD - thickly laminated gneiss, GGr - debris of the thickly laminated gneiss (weathered intercalation within deposit) Values marked by red represent contents, which don't meet the quality criteria of the feldspar raw materials

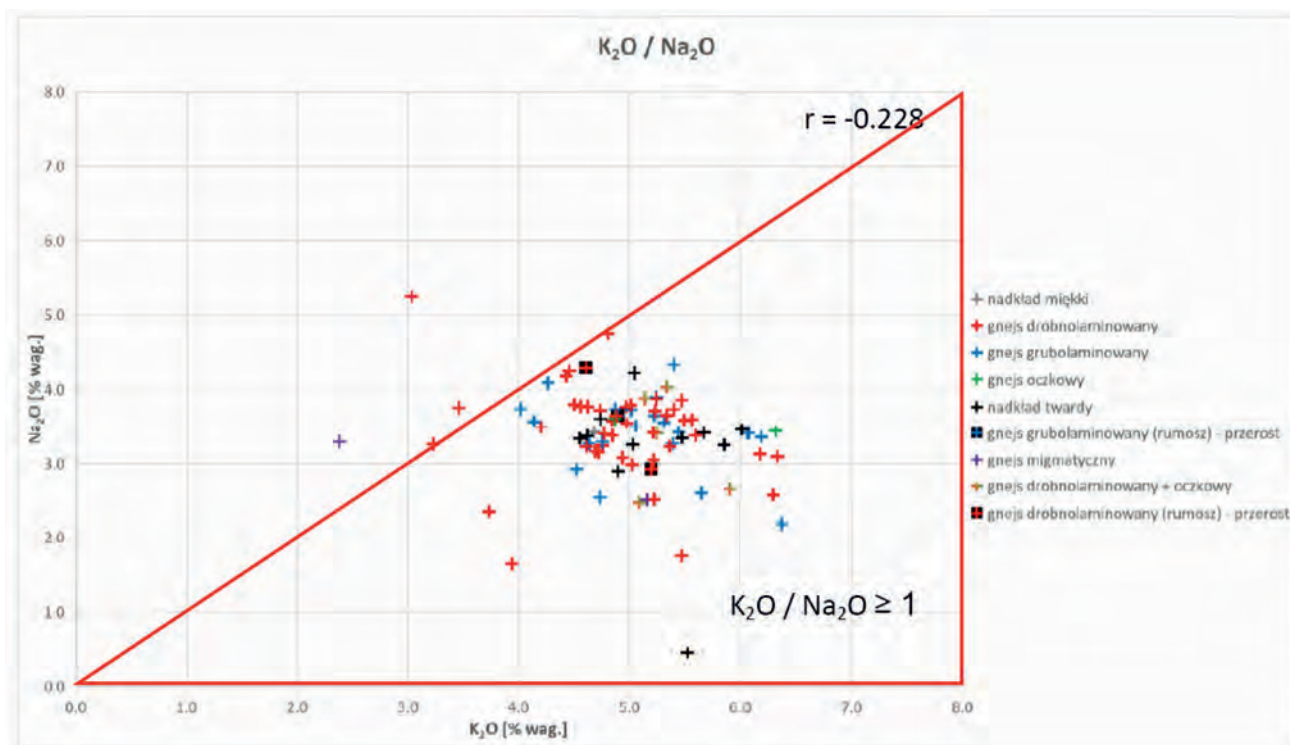
Nr próbki	Klasyfikacja petrograficzna	Klasyfikacja przemysłowa	Miejsce poboru	Skład mineralny w % obj.								Skład chemiczny w postaci tlenkowej (% wag.)									
				Biotyt	Muskowit	Amfibol	Kwarc	Skalenie alikaliczne	Plagioklasy	Skalenie ogółem	Składniki akcesoryczne	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O + Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃
1/2	I	GD	Otwór 1D, przelot 5.4-5.5 [m]	10.1	0.4	0	43.6	28.4	17.4	45.8	0.1	72,979	13,884	5,475	3,863	9,338	1,677	1,199	0,294	0,206	0,000
1/3	I	GG	Otwór 1D, przelot 6.7-6.8 [m]	5.4	0.7	0	38.4	28.6	26.8	55.4	0.1	72,684	14,260	5,402	4,330	9,732	1,496	0,676	0,215	0,133	0,371
11/1	III	GG	Otwór 11D, przelot 11.9-12.0 [m]	11.8	3.1	0	54.5	16.8	13.7	30.5	0.1	69,875	15,109	5,444	3,427	8,871	2,736	1,359	0,832	0,421	0,287
11/2	III	GG	Otwór 11D, przelot 16.4-16.5 [m]	13.6	8.2	0	53.1	15.1	9.9	25	0.1	69,143	15,854	5,243	3,901	9,144	2,764	1,233	0,850	0,429	0,000
11/3	IV	GGr	Otwór 11D, przelot 23.6-23.7 [m]	17.3	3.1	0	33.7	23.6	22.1	45.7	0.2	69,256	16,688	4,896	3,660	8,556	2,561	1,044	1,233	0,417	0,000
11/4	IV	GG	Otwór 11D, przelot 26.0-26.1 [m]	16.5	1.4	0	43.9	21.8	16.3	38.1	0.1	70,913	15,839	4,268	4,089	8,357	2,273	0,947	0,771	0,393	0,309
11/5	IV	GD	Otwór 11D, przelot 29.6-29.7 [m]	19.1	2.4	0	45.1	18.1	15.2	33.3	0.1	72,509	14,671	4,501	3,805	8,306	1,764	1,643	0,696	0,291	0,000
S-1	II		Część ociosu z bezpośredniego sąsiedztwa żyły kwarcowej (wytobisko centralne, poziom +291)	5.1	5.1	0	39.9	22.8	26.8	49.6	0.3	69,558	10,024	0,411	7,028	7,439	2,306	2,914	0,201	0,110	0,000
S-2	IV		Część ociosu z nad stropu żyły kwarcowej (wytobisko centralne, poziom +291)	16.9	3.8	0	37.9	24.5	16.7	41.2	0.2	67,386	17,049	4,282	4,164	8,992	2,783	1,972	0,787	0,445	0,000
W-1	III		Urobek spod ściany południowej wytobiska centralnego (poziom +282)	7.6	6.1	0	52.6	16	17.6	33.6	0.1	67,063	16,334	6,340	3,023	9,363	3,027	2,143	0,921	0,514	0,000
W-2	V		Urobek spod ściany południowej wytobiska centralnego (poziom +282)	14.9	11.1	0	41.2	16.5	16.2	32.7	0.1	65,479	17,518	6,340	2,407	9,313	4,117	1,379	0,927	0,578	0,000
W-3	II		Urobek spod ściany południowej wytobiska centralnego (poziom +282)	6.6	4.1	0	39.2	28.5	21.3	49.8	0.3	69,101	19,109	6,906	2,749	9,231	2,297	1,513	0,673	0,416	0,000
W-4	II		Urobek spod ściany południowej wytobiska centralnego (poziom +282)	6.8	3.9	0	44.6	25.2	19.3	44.5	0.2	67,649	15,806	6,482	2,959	8,390	3,408	2,129	1,001	0,596	0,413



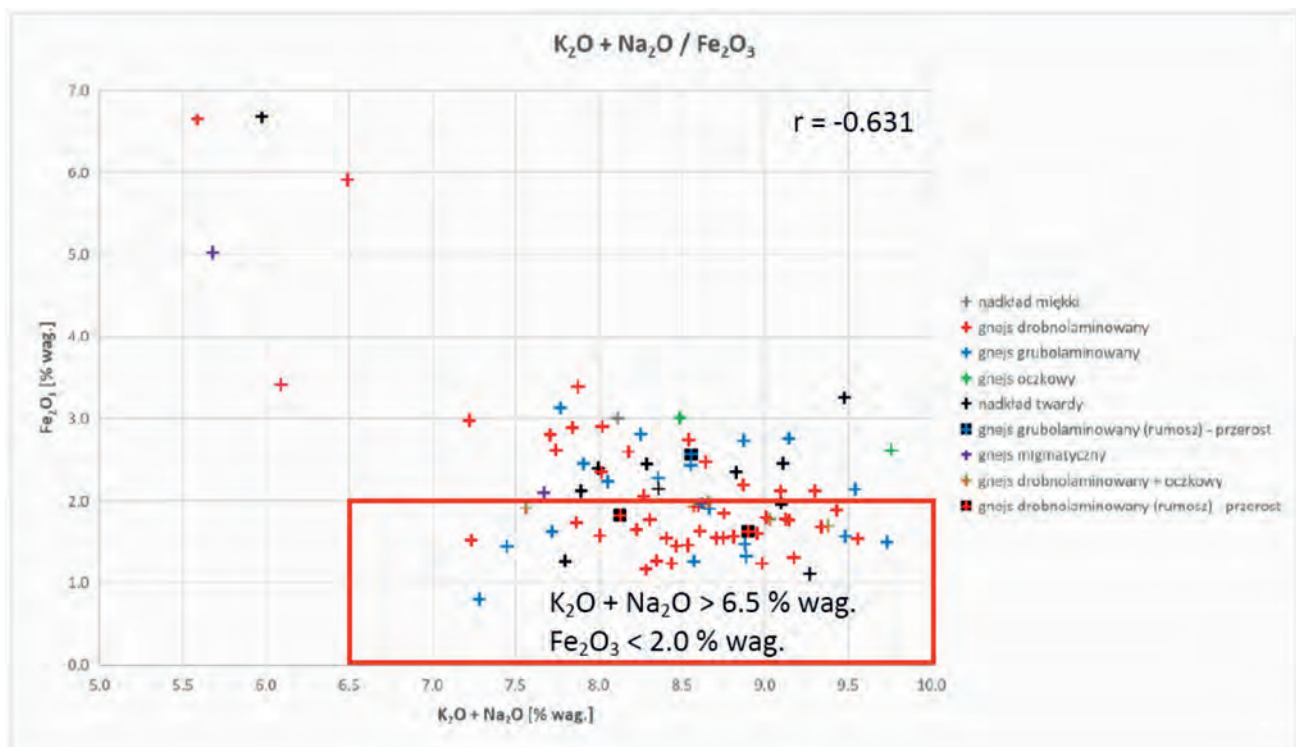
Rys. 17. Wykres punktowy zawartości SiO_2 i Al_2O_3 dla poszczególnych odmian przemysłowych gnejsu
 Fig. 17. Scatter chart of the SiO_2 and Al_2O_3 contents of the particular industrial types of gneiss



Rys. 18. Wykres punktowy zawartości SiO_2 i Fe_2O_3 dla poszczególnych odmian przemysłowych gnejsu
 Fig. 18. Scatter chart of the SiO_2 and Fe_2O_3 contents of the particular industrial types of gneiss



Rys. 19. Wykres punktowy zawartości K₂O i Na₂O dla poszczególnych odmian przemysłowych gnejsu
 Fig. 19. Scatter chart of the K₂O and Na₂O contents of the particular industrial types of gneiss



Rys. 20. Wykres punktowy zawartości K₂O + Na₂O i Fe₂O₃ dla poszczególnych odmian przemysłowych gnejsu
 Fig. 20. Scatter chart of the K₂O + Na₂O and Fe₂O₃ contents of the particular industrial types of gneiss

grubolaminowane, tymczasem w toku badań mikroskopowych próbki te zaklasyfikowane zostały jako gnejsy dwułytecznykowe o teksturze soczewkowej. Analogicznie próbki 11/3 do 11/5 widnieją na karcie otworu jako, odpowiednio: rumosz gnejsu grubolaminowanego, gnejs grubolaminowany spękany oraz gnejs drobnolaminowany lity. Mikroskopowo wszystkie trzy wymienione próbki zaklasyfikowano jako gnejs dwułytecznykowy o teksturze oczkowej z oznakami kataklazy.

W związku z powyższym, w celu zaadoptowania klasyfikacji petrograficznej do potrzeb działalności górniczej, jej zastosowanie wymagałoby powiązania z uproszczoną klasyfikacją przemysłową. Byłoby to problematyczne z uwagi na fakt, że klasyfikacja przemysłowa opiera się w głównej mierze wyłącznie na analizie makroskopowej, wykonywanej w terenie. Niemniej, zaprezentowane wyniki badań petrograficznych mogą posłużyć jako narzędzie pomocnicze do oceny kierunku wykorzystania kopaliny. Przykładowo, gnejsy biotytowe zubożone w muskowit wykazują na ogół niższą zawartość żelaza i wyższą zawartość alkaliów, co sprzyja ich wykorzystaniu jako surowca ceramicznego.

Mikroskopowa klasyfikacja petrograficzna, ze względu na swoją szczegółowość i koncentrację na aspektach mineralogicznych, wymaga uproszczenia w celu jej zastosowania w działalności górniczej, w przypadku której konieczne jest generalizowanie podziału kopaliny. Uproszczony, makroskopowy podział skał zastosowany na potrzeby dokumentacji geologiczno-górniczej złoża wydaje się być wystarczający na potrzeby prowadzenia i planowania eksploatacji selektywnej. Z uwagi na złożoną budowę geologiczną złoża, jednak i w tym przypadku należy wyodrębnić w serii złożowej większe wydzielenia, wzorem wydzieleni zastosowanych na potrzeby realizacji modelu przestrzennego złoża i przedstawionego na Rysunku 6. Wśród proponowanych wydzieleni serii złożowej można uwzględnić:

1. wydzielenie gnejsów o przewodzie odmian drobnolaminowanych - gnejsy te charakteryzują się podwyższonymi parametrami wytrzymałościowymi, co klasyfikuje je jako potencjalne kruszywo budowlane (Witt et al. 2016);
2. wydzielenie gnejsów o przewodzie odmian grubolaminowanych, ewentualnie wraz z wyszczególnieniem gruboblastycznych odmian oczkowej i migmatycznej - są to gnejsy o walorach ozdobnych, kierunkiem ich wykorzystania może być produkcja kamienia ogrodowego i elewacyjnego oraz kruszywa ozdobnego.

Przedstawione na Rysunkach 16-20 i w Tabeli 1 wyniki składu petrograficznego oraz chemicznego należy skonfrontować z wartościami parametrów granicznych kryteriów jakościowych, kluczowych dla produkcji surowca skaleniowego. Kryterium stosunku K_2O / Na_2O nie spełnia wyłącznie jedna

z próbek gnejsu poddanych badaniom petrograficznym (gnejs dwułytecznykowy o teksturze soczewkowo-oczkowej) oraz pojedyncze próby poddane analizom chemicznym (reprezentujących gnejsy drobnolaminowane i migmatyczne). Jako kluczowy parametr, który ma wpływ na stosunek zawartości tlenu potasu do tlenu sodu, należałoby wskazać związek ilościowy między skaleniami potasowymi a plagioklazami. Wzrost udziału pierwszego ze składników przekłada się na wyższą wartość K_2O / Na_2O .

Kryterium sumarycznego udziału ww. tlenków spełniają wszystkie z próbek gnejsu poddanych analizom petrograficznym oraz niemal wszystkie z prób poddanych analizom chemicznym (za wyjątkiem pojedynczych prób gnejsu drobnolaminowanego, migmatycznego i gnejsu zwietrzałego występującego w nadkładzie). Najbardziej problematycznym kryterium jest zawartość tlenu żelaza. Jedynie trzy spośród przedstawionych w Tabeli 1 próbek gnejsów spełniają to kryterium: dwie próby gnejsu biotyтового oraz jedna skatakla-zowanego gnejsu dwułytecznykowego. Z uwagi na śladowe zawartości minerałów akcesorycznych, w tym tlenków żelaza, jako główne źródło Fe należałoby wskazać biotyt. Stoi to jednak w sprzeczności z wyjątkowo wysokim udziałem tego minerału (19,1 % obj.) w próbce gnejsu 11/5 (gnejs dwułytecznykowy o teksturze oczkowej z oznakami kataklazy), odznaczającego się jednocześnie relatywnie niskim udziałem Fe_2O_3 (1,764 % wag.). Wyjaśnienie tego fenomenu może leżeć w stosunkowo wysokim udziale tlenków żelaza (m.in. magnetytu) wśród minerałów akcesorycznych, w porównaniu do próbek gnejsu biotyowego, które również spełniają kryterium maksymalnej zawartości Fe_2O_3 . Na taką możliwość może wskazywać porównanie udziału tlenków tytanu w wymienionych próbkach (Tab. 1). Weryfikacja tej hipotezy wymagałaby jednak dalszych, bardziej szczegółowych badań składu chemicznego i mineralogicznego, np. z zastosowaniem analiz SEM-EDS.

Opierając się na wynikach badań petrograficznych i chemicznych należałoby wskazać odpady wydobywcze i produkty trudno zbywalne, powstałe w procesie eksploatacji i przeróbki gnejsów grubolaminowanych i oczkowych, jako potencjalnie najlepszy materiał do wytwarzania surowców ceramicznych. Gnejsy migmatyczne (ptygmatytowe), przerosty amfibolito-we oraz względnie gnejsy drobnolaminowane mogą znaleźć zastosowanie w produkcji polepszaczy glebowych z uwagi na stosunkowo wysoką zawartość żelaza.

Badania zrealizowano w ramach projektu NCBR pt. „Technologia wykorzystania odpadów wydobywczych przy równoczesnym ograniczeniu ich powstawania na etapie eksploatacji złoża gnejsu Doboszowice I”. Projekt współfinansowano ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, w ramach Działania 4.1 Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, (POIR.04.01.02-00-0054/17).

LITERATURA

- [1] Achramowicz S. 1987 - *Mikrostruktury reformacyjne skał metamorficznych obszaru Strzelin-Doboszowice*. Maszynopis pracy doktorskiej, ING PAN, Oddział Wrocławski, 126 pp.
- [2] Achramowicz S. 1994 - *Rekonstrukcja paleonaprężeń związanych z intruzją hercyńskich granitoidów masywu Strzelina na podstawie analizy struktur dylatacyjnego odkształcenia odśrodkowego*. Ann. Soc. Geol. Pol., 63: 265–332.
- [3] Achramowicz S., Muszyński A., Schliestedt M. 1995 - *Wskaźniki wysokotemperaturowej deformacji gnejsów z Doboszowic*. Prace specjalne PTM, 6: 18-20.
- [4] Awdankiewicz H. 2008 - *Petrologia i geochemia metabazytów masywu Niedźwiedzia na bloku przedsudeckim*. Prace Państwowego Instytutu Geologicznego, PIG Warszawa.
- [5] Badura J. 1987 - *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1:25 000*, arkusz Lipniki (870 C). Państwowy Instytut Geologiczny, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- [6] Baraniecki L. 1960 - *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1:25 000*, arkusz M 33-58 Bd Kamieniec Ząbkowicki (869 D). Państwowy Instytut Geologiczny, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- [7] Bartz W. 2001 - *Quartz axes fabric in the Doboszowice orthogneiss (Fore-Sudetic Block, SW Poland) as an indicator of deformation regime and conditions*. Mineralogia Polonica, 32: 3-26.
- [8] Gałka B., Chodak T., Szerszeń L., Kaszubkiewicz J., 2011 - *Skład mineralogiczny odpadowej mączki skalnej i jej przydatność rekultywacyjne*. Roczniki gleboznawcze, LXII (2), Warszawa.
- [9] Gunia P. 2020 - *Charakterystyka petrograficzna gnejsów i amfibolitu z biotytem z okolic Doboszowic i Pomianowa na Bloku Przedsudeckim (wyniki i interpretacja)*. Materiał niepublikowany, praca wykonana na zlec. „Poltegor-Institut” IGO, Wrocław.
- [10] Hensel J. 2009 - *Bread from Stones, A New and Rational System of Land Fertilization and Physical Regeneration*. Long Greek, South Karolina.
- [11] Kochanowska J. 2004 - *Dokumentacja geologiczna złoża gnejsów „Doboszowice 1” w kat. C1+C2*. Dokumentacja TESM Sp. z o.o.
- [12] Kondracki J. 2002 - *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa.
- [13] Majkowska U. 2010 - *Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża gnejsu „Doboszowice 1” w kat. C1+C2*. Dokumentacja TESM Sp. z o.o.
- [14] Mazur S., Puziewicz J., Józefiak D. 1995 - *Strefa Niemczy – regionalna strefa ścinania pomiędzy obszarami o odmiennej ewolucji strukturalno-metamorficznej* [W:] Cwojdziański S. et al. (red.) - Przewodnik LXVI zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, 221–240. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Wrocław.
- [15] Mazur S., Kroner A., Szczepański J., Turniak K., Hanzl P., Melichar R., Rodionow N. V., Paderin I., Sergejew S.A. 2010 - *Single zircon U–Pb ages and geochemistry of granitoid gneisses from SW Poland: evidence for an Avalonian affinity of the Brunian microcontinent*. Geological Magazine, vol 146, no 4: 508-526. Cambridge University Press.
- [16] Oberc J. 1968 - *Blok przedsudecki na wschód od gnejsów sowiogórskich*. [W:] Budowa geologiczna Polski. T. I. Stratygrafia, cz. I, 88-93. Instytut Geologiczny, Warszawa.
- [17] Oberc J. 1975 - *Tektonika i rozwój wschodniej części bloku przedsudeckiego*. Przegląd Geologiczny, 23: 213-220.
- [18] Puziewicz J., Rudolf N. 1998 - *Petrografia i geneza leukokratycznych gnejsów dwuwłzycznykowych metamorfiku Doboszowic (Dolny Śląsk)*. Archiwum Mineralogiczne, T. 51, Z. 1-2: 182-212.
- [19] Puziewicz J., Mazur S., Papiewska C. 1999 - *Petrografia i geneza paragnejsów dwuwłzycznykowych metamorfiku Doboszowic (Dolny Śląsk) i towarzyszących im amfibolitów*. Archiwum Mineralogiczne, T. 52, Z. 1: 35-65.
- [20] Rembocha L. 1967 - *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1:25 000*, arkusz M 33-59 Ca Paczków (903 A). Instytut Geologiczny, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- [21] Sawicki L. 1959 - *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1:25 000*, arkusz M 33-58 Db Kamienica (902 B). Instytut Geologiczny, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- [22] Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Gałka B. 2009 - *Ocena przydatności odpadowego odwodnionego szlamu kamiennego do polepszania właściwości fizykochemicznych gleby*. Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych, Wrocław.
- [23] Witt A., Schmidt Z., Pomorski A., Majcher A. 2015 - *Potencjalne kierunki zagospodarowania kopalni skaleniowych wraz z produktami słabozbywalnymi, powstającymi w procesie produkcyjnym kopalni gnejsu „Doboszowice 1”*. Górnictwo Odkrywkowe, 56 (6): 55-62.
- [24] Witt A., Schmidt Z., Pomorski A., Majcher A. 2016 - *Aktualne kierunki wykorzystania gnejsów ze złóż dolnośląskich i opolskich oraz perspektywy zastosowania ich w nowych gałęziach przemysłu*. Górnictwo Odkrywkowe, 57 (1): 47-57.
- [25] Zagożdżon P. 2008 - *Mączki bazaltowe w zastosowaniach rolniczych i pokrewnych*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 123.