

STYL BUDOWY GEOLOGICZNEJ ZŁOŻA BAZALTÓW „TARGOWICA” JAKO CZYNNIK WARUNKUJĄCY ZMIENNOŚĆ LITOLOGII I FIZYCZNO-MECHANICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI KOPALINY

THE FORM OF THE TARGOWICA BASALT DEPOSIT AS A FACTOR DETERMINING THE LITHOLOGICAL VARIABILITY AND THE RESULTING PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF USABLE ROCKS

Marek Rembiś - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Geologii Złożowej i Górniczej

Wartukule przedstawiono budowę geologiczną złoża „Targowica”, którego utwory są wynikiem naprzemiennie zachodzącej erupcji magmy bazaltowej i materiału piroklastycznego, na obszar o zróżnicowanej morfologii. Wylewy bazaltowe i przedzielające je kompleksy piroklastyczne, zalegają w sposób nieregularny, na co wpłynęły również procesy tektoniczne, zachodzące później na tym obszarze. W pokrywach bazaltowych obserwuje się wyraźną budowę strefową, związaną z nierównomiernie przebiegającym w nich procesem stygnięcia magmy i zjawiskami zachodzącymi na kontakcie ze skałami podłoża, a także z późniejszymi procesami wietrzenia. Stwierdzono, że bazalty obecne w poszczególnych częściach pokryw są zróżnicowane pod względem cech strukturalno-teksturalnych. Wykazano ponadto, że cechy te pozostają w ścisłej zależności z ich fizyczno-mechanicznymi właściwościami. Badania wartości wytrzymałości na ściskanie i twardości Knoop (KH), wykazały, że w wewnętrznych i stropowych częściach pokryw lawowych, występuje kopalina o najbardziej korzystnych właściwościach, reprezentowana przez bazalty o teksturze afanitowej i afanitowo-porfirowej. Istotne znaczenie surowcowe mogą mieć również odmiany o strukturze porowatej, charakteryzujące się zwartym szkieletem skalnym o dużej twardości KH. W ścisłych relacjach przestrzennych z tymi skałami występują silnie zwietrzałe bazalty, w tym objęte procesem zgorzeli bazaltowej oraz skały piroklastyczne, które pomimo gorszych właściwości fizyczno-mechanicznych również mogą być surowcowo wykorzystywane.

Słowa kluczowe: bazalty, wytrzymałość na ściskanie, twardość Knoop

The geological structure of the Targowica basalt deposit has developed as a result of alternate eruptions of the basaltic magma and pyroclastic material onto an area of a diversified morphology. Therefore, the form of the basalt flows and their intercalating pyroclastic complexes, moreover affected also by later tectonic processes, is irregular. The basalt covers reveal a distinct zonal structure, associated with various cooling rates and processes at the contacts with underlying rocks (both cogenetic and country ones), and also with later weathering. The basalts from different parts of the covers vary in their structural and textural features that are, in turn, closely related to physico-mechanical rock parameters. The measurements of the compressive strength and the Knoop hardness (KH) indicate/show that the inner and top zones of the basalt covers are composed of the rocks with the best properties and represent the basalts with the aphanitic and/or aphanitic-porphyrific textures. As a significant resource may also be recognized the porous basalts, whose dense rock frameworks have high KH values. These three basalt types are spatially closely related to highly weathered basalts, including those affected by the basalt gangrene, and the pyroclastics. Although both rock varieties reveal lower values of their physical-mechanical properties, they can also be utilized as raw materials.

Keywords: basalts, compressive strength, Knoop hardness

Wstęp

Wystąpienia trzeciorzędowych bazaltoidów skupione są na terenie Dolnego Śląska w trzech obszarach zwanych koncentracjami bazaltowymi. Zwykle skały te określa się zbiorczo jako bazalty, mimo iż obecne są wśród nich także: bazanity, tefryty, latyty, nefelinity, doleryty, limburgity i trachybazalty [3, 4]. Większość z nich powstała z magm utworzonych w górnym płaszczu, szybko wznoszonych ku powierzchni, dzięki czemu nie ulegały one wyraźnej dyferencjacji [2]. Skały te budują

różne formy intruzywne, takie jak: pokrywy lawowe, pnie i czopy wulkaniczne, dolne części stożków wulkanicznych oraz żyły [3, 4, 12]. Przebieg procesów generowania magmy oraz jej zestalania, a także procesów pomagmowych, hipergenicznych i tektonicznych spowodował, że niejednokrotnie bazalty charakteryzują się dużą zmiennością składu mineralnego, cech strukturalno-teksturalnych i fizyczno-mechanicznych właściwości, nawet w obrębie jednego złoża [1, 10, 14]. Z tego względu, ocena jakości kopaliny reprezentującej różne części złoża, powinna uwzględniać znaczenie i wpływ tych zjawisk

zapewniając, tym samym, możliwość racjonalnego wykorzystania zasobów złoża oraz uzyskania surowca o wymaganej jakości.

Szczególnie dużą zmiennością budowy charakteryzują się złoża bazaltów założone w obrębie pokryw (potoków) lawowych. Mogą one wykazywać znaczne zróżnicowanie miąższości wynikające z wylewu lawy na obszar morfologicznie zróżnicowany. Ponadto potoki, ze względu na nierównomiernie zachodzący w nich proces stygnięcia magmy, posiadają wyraźną budowę strefową. Niekiedy, kolejne wylewy bazaltowe są poprzegradzane materiałem piroklastycznym. Często, w wyniku denudacji, są zniszczone lub porożcinane i tworzą luźno zachowane płyty [12]. Tego rodzaju skomplikowaną budowę geologiczną, połączoną ze zmiennością litologiczną kopaliny, przedstawiono w niniejszym artykule na przykładzie złoża bazaltów „Targowica”.

Budowa geologiczna złoża i zmienność litologiczna kopaliny

Omawiane złożo znajduje się we wsi Targowica, w województwie dolnośląskim, w powiecie ząbkowickim. Położone jest na przedpolu Sudetów, w północno-wschodniej części Wzgórz Niemczańsko-Strzelińskich. Występuje w obrębie koncentracji bazaltowej Strzelin-Ziębice, której skały datowane są na miocen górny [7]. Powstały one ze słabo zróżnicowanych, alkalicznych magm ultrasasadowych, utworzonych prawdopodobnie na głębokości około 50–70 km. Przemieszczając się w górne partie skorupy ziemskiej nie tworzyły one długotrwałych komór pośrednich i nie uległy silniejszej kontaminacji materiałem z otoczenia [4].

Bazalty eksploatowane w złożu „Targowica” występują w obrębie dwóch potoków lawowych, umiejscowionych na południowy zachód od komina wulkanu, z którego wypłynęły. Starszy (dolny) potok, obecny na całym obszarze złoża, ma kształt elipsy, wydłużonej w kierunku SW–NE. Zalega on na podłożu zbudowanym z łupków i gnejsów wieku proterozoicznego, przykrytych w części zachodniej trzeciorzędowymi piaskami i mułkami. Podłoże posiada silnie zróżnicowaną morfologię, stąd rzędne spągu złoża w granicach jego udokumentowania wahają się od +157 m npm do +255 m npm [6]. Dolny potok osiąga miąższości w granicach obszaru górnicego od 14,5 m w części południowo-zachodniej, do 74,2 m w części północno-wschodniej i 81,4 m w części północno-zachodniej. Górny potok lawowy, tworzący jednolity wylew, występuje jedynie w północnej części złoża, gdzie osiąga miąższość w granicach obszaru górnicego od 21,7 m do 33,4 m. Ku południowi przybiera on coraz mniejszą grubość lub rozdziela się na izolowane fragmenty w formie bloków, brył i soczewek, wciśniętych w kompleks utworów piroklastycznych (rys. 1). Wylewy bazaltowe przedzielone są utworami piroklastycznymi trzech generacji. Mają one zróżnicowaną miąższość, wzrastającą od 1,2 m do 19,3 m w kierunku zachodnim i południowo-zachodnim [6].

Bazalty wykazują obecność typowych struktur kontrakcyjnych, powstałych w trakcie stygnięcia lawy. Są one zróżnicowane pod względem wykształcenia i sposobu rozmieszczenia w obrębie złoża. We wschodniej i północno-wschodniej części złoża występuje regularna podzielnosc słupowa (rys. 2), typowa dla strefy wewnętrznej potoku, o płaszczyznach zapadających pod kątem 45–50° w kierunku północnym. Południowa część

złoża charakteryzuje się istnieniem licznych nieregularnych spękań pionowych i poziomych, niekiedy przypominających pseudosłupy. Spotyka się tu również bazalty rozpadające się na drobne soczewy, pryzmy i bryły o przekroju trapezów oraz nieregularnych wieloboków, w różny sposób powyginanych. Świadczy to o występowaniu tu brzeżnej strefy potoku lawowego. Uwidacznia się jednocześnie podział strefy brzeżnej na spągową i stropową. Część stropowa ma wyraźnie większą miąższość od części spągowej, a wynika to z intensywniejszego jej chłodzenia podczas stygnięcia wylewu.

Oprócz struktur kontrakcyjnych na terenie złoża obserwowane są przejawy deformacji tektonicznych o zróżnicowanym nasileniu i dużej różnorodności form. Z reguły są to odkształcenia nieciągłe (dysjunktywne). Należą do nich przede wszystkim liczne, różnowiekowe generacje spękań skalnych, ścinających i tensyjnych. Przemieszczenia o większej amplitudzie spowodowały powstanie dużej ilości drobnych uskoków, przeważnie grawitacyjnych, o powierzchniach uskokowych stromo zapadających ku NE i W [6]. Towarzyszą im spękania tensyjne zapadające ku SW. Obok uskoków grawitacyjnych powszechne są uskoki poprzeczne (rozrywające) o biegu N–S i upadzie na W. Poza tym pospolite są półrzęby typu grawitacyjnego, które ograniczają uskoki o stromym upadzie zwróconym na NW.



Rys. 1. Wyrobisko złoża „Targowica”. Fragment górnego potoku bazaltowego kontaktujący z niższym poziomem piroklastycznym
Fig. 1. The Targowica quarry. A part of the upper basalt flow contacts with the underlying pyroclastic horizon

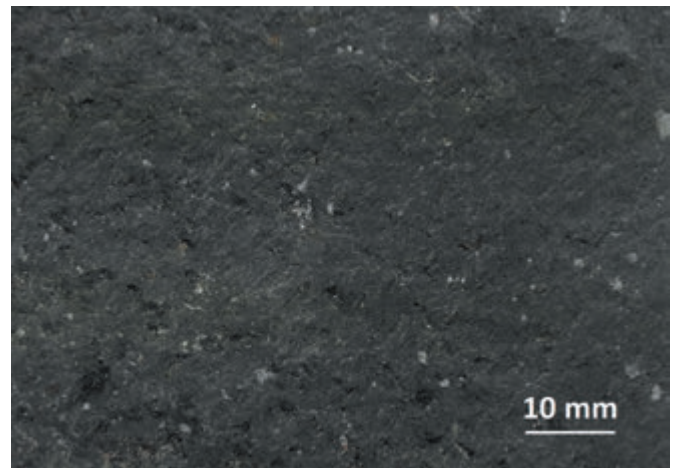


Rys. 2. Wyrobisko złoża „Targowica”. Fragment wewnętrznej części potoku lawowego z bazaltami wykazującymi cios słupowy
Fig. 2. The Targowica quarry. A part of the inner zone of a basalt flow revealing columnar jointing

Zróznicowanie przestrzenne i geometryczne kompleksów skalnych obecnych w złożu „Targowica”, warunkowane procesami wulkanicznymi, występuje w ścisłym związku ze zmiennością petrograficzną i strukturalno-teksturalną budujących je skał. Cechy te określono badaniami w mikroskopie optycznym do światła przechodzącego na 24 próbkach skał pobranych z różnych części wyrobiska. W badaniach wykorzystano: mikroskop petrograficzny, polaryzacyjny do światła przechodzącego JENAPOL (Carl Zeiss Jena), komputerowy analizator obrazu NIS-Elements BR 3.2 (Nikon Corporation, Tokyo).

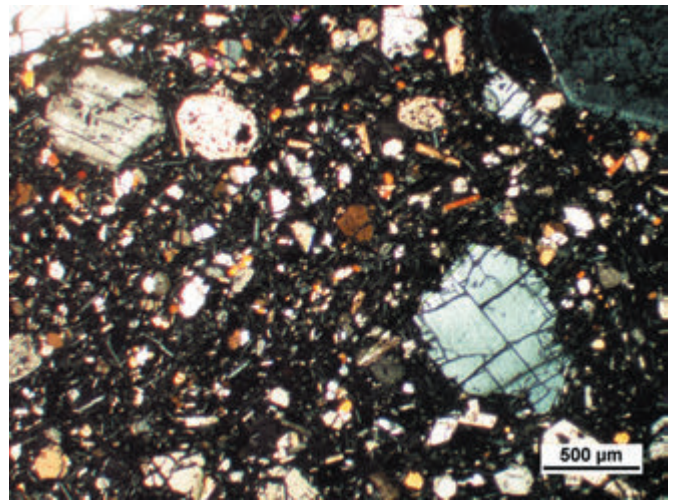
W wewnętrznej części dolnego i górnego wylewu, w miejscach, gdzie pokrywy te osiągają największe miąższości, (północno-wschodni i wschodni fragment złoża), a sporadycznie także w części środkowej i południowej złoża, dominują skały o teksturze afanitowo-porfirowej i porfirowo-afanitowej (rys. 3). Są świeże i bardzo twarde, a na ścianach wyrobiska wykazują podzielność w kształcie grubych słupów o okrągłym przekroju. Miejscami posiadają zielonkawy odcień związany ze zwiększonym udziałem oliwinu. Badania mikroskopowe wykonane dla 6 próbek wykazały, że skały te mają teksturę holokrystaliczną, porfirową (rys. 4). Struktura ich jest masywna i bezładna. Według klasyfikacji skał wylewnych [11] odpowiadają one bazaltom. Ich ciasto skalne, o strukturze pilotaktytowej, zbudowane jest głównie z listewkowych plagioklazów, bardzo drobnych mikrolitów piroksenów i oliwinów o izometrycznym pokroju. W przestrzeniach między nimi obecne są fragmenty szkliska wulkanicznego z przejawami dewitryfikacji oraz nieliczny nefelin [10]. W odmianie afanitowo-porfirowej ciasto skalne obecne jest w udziale 81,9–92,8 %, a w odmianie porfirowo-afanitowej w udziale 76,5–80,2 %. Fenokryształy, w pierwszej z wymienionych odmian występują w udziale 7,2–18,1%, natomiast w drugiej osiągają nawet 19,8–23,5 %. W ich składzie wyróżnia się przede wszystkim pirokseny (augit) i oliwiny, rzadziej plagioklasy, a zupełnie podrzędnie nefelin. Niektóre osobniki piroksenów, zwłaszcza duże, osiągające 3 mm, są spękanе i nadtrawione na brzegach. Oliwiny w dużej części pokryte są siecią spękań i zastąpione przez iddyngsyty. Tworzenie się w środkowych częściach potoku, bazaltów wzbogaconych w fenokryształy, może być wynikiem procesu opisanego przez Komara [5]. Badacz ten wykazał, że gdy w dajkach lub sillach magma zawiera więcej niż 8% fenokryształów, ich wzajemne oddziaływanie wytwarza silne ciśnienie dyspersyjne, które odpycha fenokryształy od ścian żyły (gdzie jest wyższa lepkość i większe gradienty prędkości). Powoduje to ich większą koncentrację w centrum, a być może także wzrost rozmiarów.

W brzeżnej (stropowej) części dolnego i górnego potoku, zwłaszcza w północnej i centralnej części złoża, stwierdzono obecność skał, będących według klasyfikacji Streckeisen [11] również bazaltami, ale w odróżnieniu od wcześniej omówionych, wykazujących teksturę afanitową. Skały te, zbadane łącznie na 7 próbkach, charakteryzują się bezładną i związłą strukturą, która w najbardziej zewnętrznej strefie o grubości 0,5–1,5 m jest porowata, a nawet pęcherzykowata i gąbczasta. W obrazach mikroskopowych bazaltów ujawniają się niewidoczne makroskopowo, nieliczne (3,0–6,3 %) fenokryształy augitu i oliwinów o niewielkich rozmiarach, nie przekraczających 1,5 mm. Rozsiane są one w mikrokrystalicznym cieście skalnym, składającym się z mikrolitów piroksenów i plagioklazów, wzajemnie przerośniętych i współwystępu-



Rys. 3. Powierzchnia bazaltu o teksturze afanitowo-porfirowej. Makroskopowo widoczne są jedynie nieliczne, głównie większe fenokryształy

Fig. 3. The surface of a basalt with the aphanitic-porphyritic texture. In the hand specimen only can be seen few bigger phenocrysts



Rys. 4. Obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym bazaltu o teksturze porfirowo-afanitowej. Uwagę zwraca duży udział fenokryształów oliwinu, augitu i nefelinu o zróżnicowanych rozmiarach. Polaryzatory skrzyżowane

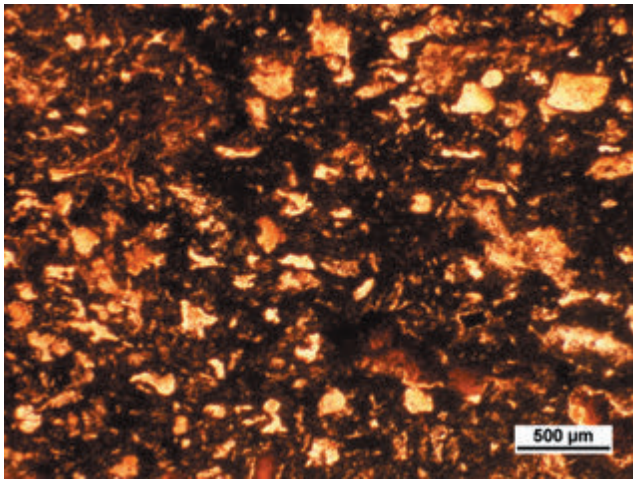
Fig. 4. Microscopic view in the transmitted light of a basalt with the aphanitic-porphyritic texture. The content of olivine, augite and nepheline phenocrysts with variegated sizes is strikingly high. Crossed polarizers

jących z kryształami oliwinów albo z ich iddyngsytowymi pseudomorfozami. W przestrzeniach między tymi składnikami występuje nieliczny nefelin oraz częściowo zdewitryfikowane szklisko wulkaniczne.

W wyższych częściach profilu, w obrębie górnego potoku, bazalty tej odmiany są silnie zwietrzałe. Ulegają rozpadowi na drobne bryły o pryzmatycznym i trapezowym przekroju. Na powierzchniach spękań ciosowych są zabarwione na brązowo, a szczeliny wypełnione są gliną wymieszaną z okruskami bazaltu. Fenokryształy augitu są schlorotytyzowane, iddyngsyty tworzy niemal całkowite pseudomorfozy po oliwinach, a fragmenty szkliska są całkowicie zdewitryfikowane. Pory częściowo wypełnione są minerałami wtórnymi, głównie zeolitami, a także minerałami ilastymi. Ciasto skalne przybiera brązową barwę od dużej ilości występujących w nim związków żelaza (rys. 5).

W brzeżnej (spągowej) części dolnego potoku, kontaktującej z nizejleżącymi utworami piroklastycznymi, bazalty często wykazują strukturę migdałowcową (rys. 6).

Fenokryształy prawie w całości są zastąpione przez minerały wtórne. Obecne są pseudomorfozy iddyngsyty, serpen-

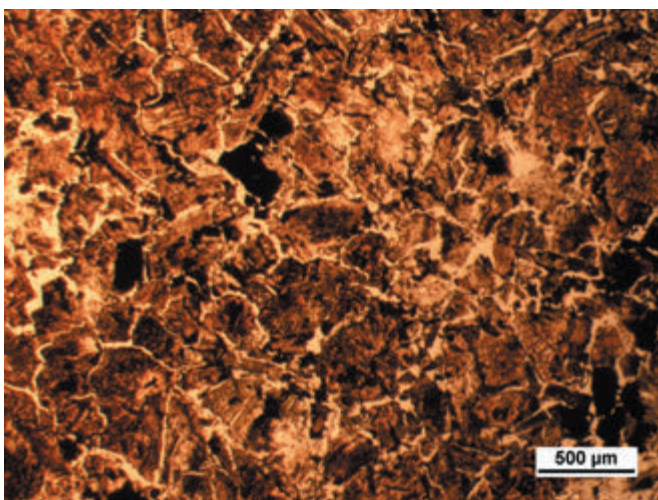


Rys. 5. Obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym zwietrzałego bazaltu o teksturze afanitowej i porowatej strukturze. W cieście skalnym dominują związki żelaza i minerały ilaste. Jeden polaryzator

Fig. 5. Microscopic view in the transmitted light of a weathered basalt with the aphanitic texture and the porous structure. The groundmass is dominated by iron compounds and clay minerals. One polarizer

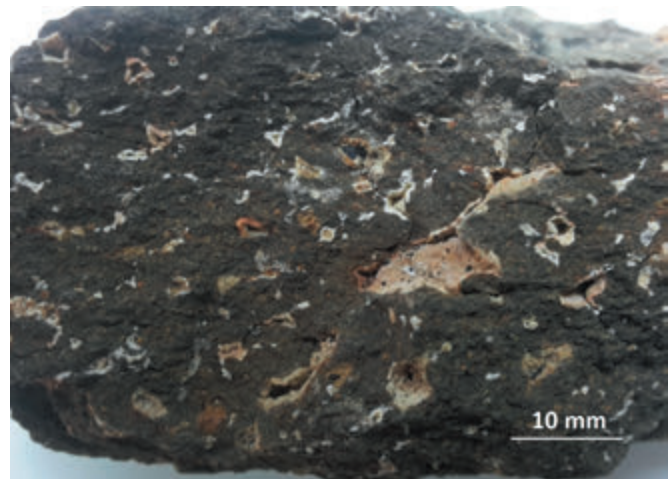
tynu lub bowlingitu po oliwinie oraz chlorytu po piroksenie. Niemal wszystkie pęcherzyki o owalnych lub nieregularnych kształtach są całkowicie wypełnione zeolitami i węglanami oraz minerałami ilastymi.

W niektórych bryłach i soczewkach, stanowiących izolowane przez utwory piroklastyczne fragmenty górnego potoku, uwidaczniające się w centralnej i południowo-zachodniej części złoża, obecne są skały o teksturze gruzłowo-porfirowej. Charakteryzują się różnym stopniem zwięzłości. Obok bloków i okruców o zwartej strukturze obecne są formy spękane lub rozsypujące się. Zwykle posiadają gruzłową powierzchnię. Badania mikroskopowe wykonane dla 5 próbek wykazały, że skały te posiadają teksturę porfirowo-afanitową. Fenokryształy, występujące w udziale 8,4–13,6 % obj. to głównie oliwin, augit i nefelin. Sporadycznie obecne są większe listewki plagioklazu, który ujawnia polisyntetyczne zbliżniaczenia. Niemal wszystkie fenokryształy oliwinu zastąpione zostały przez rdzawobrunatny iddyngsyty, a w niektórych z nich, nieregularne szcze-



Rys. 7. Obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym bazanitu o teksturze porfirowo-afanitowej z przejawami tzw. zgorzeli bazaltowej. Gęsta sieć nieregularnych spękań dzieli skalę na fragmenty o różnych rozmiarach. Jeden polaryzator

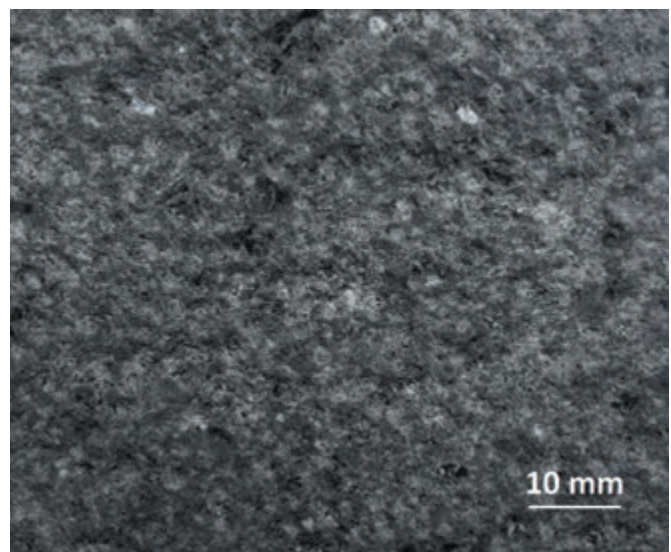
Fig. 7. Microscopic view in the transmitted light of a basanite with the aphanitic-porphyrific texture: the rock shows signs of the so-called basalt gangrene. A dense network of irregular fractures splits the rock into fragments of various sizes. One polarizer



Rys. 6. Powierzchnia bazaltu o strukturze migdałkowej. Pory całkowicie lub częściowo są wypełnione zeolitami, węglanami lub minerałami ilastymi

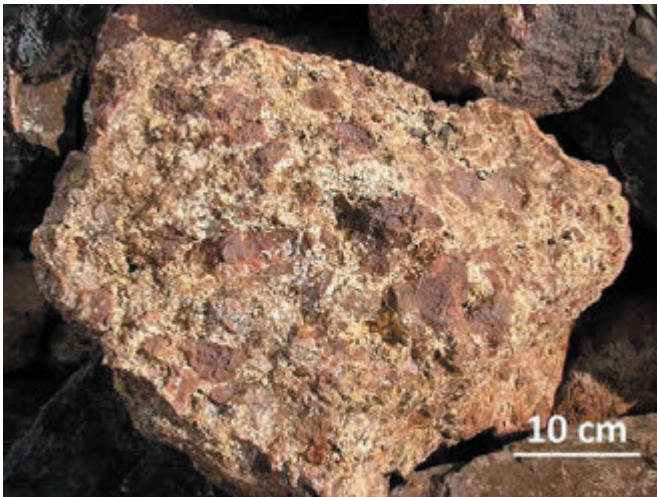
Fig. 6. The surface of a basalt with the amygdaloidal structure. The pores are fully or partly filled with zeolites, carbonates or clay minerals.

liny zostały wypełnione serpentynem. Fenokryształy augitu występują w formie krótkich słupków lub ksenomorficznych ziaren. Są one obficie poikilitowo przerośnięte składnikami ciasta skalnego (najczęściej plagioklazem). Ich osobniki uległy wyraźnej chlorytyzacji. Fenokryształy tkwią w cieście skalnym obecnym w udziale 86,4–91,6 % obj. i zbudowanym głównie z augitu, mikrolitów listewkowego plagioklazu, oliwinu, nefelinu częściowo przeobrażonego w analcym i fragmentów szkliwa wulkanicznego. Dwie spośród opisywanych skał zostały określone za pomocą diagramu Streckeisen [11] jako bazalty, natomiast trzy pozostałe jako bazanity. Wykazują one przejawy przeobrażenia, określanego powszechnie jako zgorzel bazaltowa. W dwóch próbkach ich struktura, uwidaczniająca się w obrazach mikroskopowych jest zwięzła, natomiast pozostałe skały tej odmiany są mikroporowate i pokryte gęstą siatką nieregularnych spękań i szczelin (rys. 7). Wielkość poszczególnych fragmentów wyodrębnionych przez spęknięcia wynosi od 0,2 mm do 14 mm. Oprócz nich w skale obecne są żyłki o nieregularnym przebiegu i grubości od dziesiątych



Rys. 8. Bazanit o teksturze porfirowo-afanitowej z widocznymi na powierzchni jasopopielatymi, izometrycznymi plamkami, stanowiącymi przejawy początkowego stadium rozwoju zgorzeli bazaltowej

Fig. 8. Basanite with the aphanitic-porphyrific texture. Small, light gray, isometric spots visible on the rock surface are initial signs of the so-called basalt gangrene development



Rys. 9. Brekcja piroklastyczna z widocznymi ostrokrawędzistymi okruchami skalnymi.

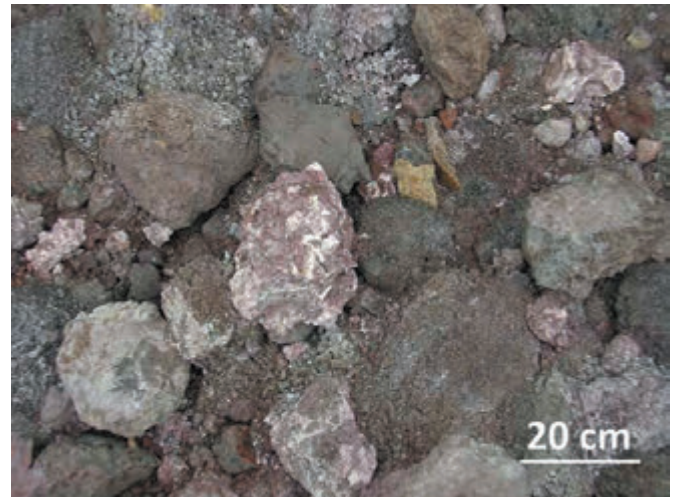
Fig. 9. Pyroclastic breccia containing angular rock fragments

części milimetra do 1 mm, wypełnione kryptokrystaliczną, białą substancją. Miejscami dostrzega się pustki po zwiędniętych składnikach mineralnych, lub częściowo wypełnione wtórnymi minerałami. Rozwój zgorzeli, obserwowany makroskopowo, postępuje, począwszy od ujawnienia się na powierzchni tych skał izometrycznych, jasnopopielatych plam (rys. 8), poprzez powstanie sieci nieregularnych spękań włosowatych i utworzenie gruzłowej powierzchni, aż do rozpadu skały na drobny gruz [13, 14]. Przedstawione zmiany obejmują bryły omawianych skał w sposób chaotyczny, niezwiązany z istniejącym w nich ciosem kontrakcyjnym. Przyczyna zgorzeli nie jest do końca wyjaśniona. Według Zagożdżona [13], który dokonał szczegółowego przeglądu wyników dotychczasowych badań w tym zakresie, jest ona efektem współdziałania specyficznych procesów magmowych, pomagmowych i wietrzeniowych. Istotną rolę w przebiegu tych zjawisk odgrywa obecność analcytu i nefelinu, bowiem podczas ich transformacji dochodzi w skale do powstawania naprężeń, a następnie spękań. Według Adamczyka [1] o intensywności przeobrażeń decyduje także skład chemiczny szkliwa wulkanicznego. Można zatem przypuszczać, że bazaltoidy o teksturze gruzłowo-porfirowej, w których rozwinęła się zgorzel, pierwotnie posiadały szkliwo o składzie chemicznym odmiennym od występującego w bazaltoidach pozostałych odmian i było ono bardziej podatne na przeobrażenia.

Jak wspomniano wcześniej, pomiędzy wylewami bazaltoidowymi występują trzy poziomy przewarstwienia utworów piroklastycznych. Złożone są one z materiału okruchowego o zróżnicowanej frakcji od pyłów wulkanicznych, po bomby i bloki znacznych rozmiarów. Reprezentowane są przez zwięzłe brekcje piroklastyczne (rys. 9), złożone z ostrokrawędzistych bloków wulkanicznych i fragmentów zastygłej lawy, spojonych popiołem wulkanicznym oraz tufy (krystalolitotufy) (rys. 10), wśród których obecne są niekiedy duże bomby bazaltu pęcherzykowatego.

Mikroskopowo, w okruchach brekcji stwierdzono podobne wykształcenie minerałów, jak w omówionych wcześniej bazaltach. Fenokryształy reprezentowane są przez oliwin i augit, natomiast ciasto skalne zbudowane jest z augitu, związków żelaza, minerałów ilastych oraz ziaren szkliwa wulkanicznego. Charakterystyczny dla tej skały jest silny stopień przeobrażenia oliwinu przez iddyngsytyzację.

Tufy mają zróżnicowane zabarwienie, od jasnoszarego,



Rys. 10. Słabo zwięzłe, zwiędnięte okruchy tufu

Fig. 10. Weakly compact, weathered fragments of a tuff

poprzez szaro-żółte do brunatno-czerwonego. Posiadają bezładną strukturę. Są zwiędnięte i słabo zwięzłe. Złożone są ze spękanych krystaloklastów kwarcu i skaleni, ponadto z biotytu i muskowitu oraz litoklastów skał metamorficznych i porowatych okruchów szklawa, stanowiących łącznie 48,2–59,6 % obj. Składniki te tkwią w tle złożonym z chlorytów, minerałów ilastych, związków żelaza i drobnych ziaren skaleni, biotytu, kwarcu i szkliwa wulkanicznego.

Fizyczno-mechaniczne właściwości bazaltów i skał piroklastycznych

Ocenę wpływu procesów magmowych, pomagmowych i hipergenicnych, które ukształtowały skały należące do poszczególnych kompleksów, na ich parametry fizyczno-mechaniczne, dokonano na podstawie wartości wytrzymałości na ściskanie oraz twardości Knoopa. Pierwszy z wymienionych parametrów oznaczono zgodnie z metodyką podaną w normie PN-EN 1926:2001 [9]. Badaniom poddano po 3 próbki pochodzące z każdej, opisanej wcześniej odmiany skał, z wyjątkiem bazaltoidów o teksturze gruzłowo-porfirowej, dla których, ze względu na ich różnorodność, badanie wykonano na 5 próbkach. Łącznie zbadano 29 próbek skał. Badanie twardości Knoopa wykonano na twardościomierzu Knoop/Vickersa (model HVKD-1000 IS), zgodnie z wymogami normy PN-EN 14205:2004 [8]. W tym celu, ze skał reprezentujących poszczególne odmiany, wycięto płytki o grubości 10 mm i powierzchni 50 mm x 40 mm, które następnie, w zależności od stopnia zwięzłości, wypolerowano lub wyszlifowano. Na tym etapie przygotowania materiału badawczego, rozpadowi uległy próbki tufu i z tego względu nie udało się wykonać dla nich badania twardości. Punkt poddany badaniu ustawiano w polu widzenia obiektywu mikroskopu i uruchamiano dla niego procedurę badawczą. Obejmowała ona automatyczne naprowadzenie wgnębniaka nad punkt pomiarowy, a następnie wykonanie jego wcisku w powierzchnię skały przez okres 10 sekund, z obciążeniem wynoszącym 0,98 N. Twardość obliczana była automatycznie przez urządzenie, zgodnie z formułą (1):

$$KH=0,102F/S=0,102F/CD^2=1,4509F/D^2 \quad (1)$$

gdzie: KH - twardość Knoopa [MPa]; F - siła [N]; S - pole powierzchni [mm²]; C - stała wgnębniaka; D - długość dłuższej

przekątnej powstałego wgniecenia [mm].

Dla każdego rodzaju skały wykonano 40 pomiarów. Ponieważ twardość mierzona jest w mikroobszarze o powierzchni wynoszącej maksymalnie kilkaset μm^2 , zatem możliwe było wykonanie pomiarów oddzielnie dla ciasta skalnego i fenokryształów, zróżnicowanych zarówno pod względem składu mineralnego, jak i stopnia przeobrażenia.

Badania wykazały, że omawiane bazaltoidy charakteryzują się dużą zmiennością wielkości wytrzymałości na ściskanie w zakresie od 35 MPa do 305 MPa (tab. 1). Związek tego zróżnicowania z rodzajem tekstury skały został wykazany już wcześniej dla niektórych odmian teksturalnych bazaltów ze złoża „Targowica” [10], a także dla bazaltoidów z innych obszarów Dolnego Śląska [1]. Dowiedziono mianowicie, że wśród zwięzłych bazaltów największe wartości wytrzymałości na ściskanie posiada odmiana o teksturze afanitowej. W stosunku do niej wartość tego parametru jest niższa w bazaltach o teksturze afanitowo-porfirowej i ulega dalszemu obniżeniu w odmianie o teksturze porfirowo-afanitowej, czyli proporcjonalnie do wzrostu udziału ich fenokryształów (tab. 1). Niniejsze badania wykazały dodatkowo, że również struktura ma istotny wpływ na wartość tego parametru. W bazaltach o porowatej, gąbczastej strukturze, pomimo braku większej ilości fenokryształów, wytrzymałość na ściskanie ulega wyraźnemu zmniejszeniu i wynosi 110–205 MPa (tab. 1).

Jak wykazały obserwacje mikroskopowe próbek, najniższa z podanych wartości uzyskana została dla próbki najbardziej porowatej. Wykazano również, że wtórne wypełnienie porów różnymi składnikami, co ma miejsce w bazaltach o strukturze migdałowcowej, nie wpłynęło na wyraźne zwiększenie ich wytrzymałości na ściskanie, która wynosi 122–218 MPa (tab. 1). W tym przypadku zmienność uzyskanych wartości związana jest z rodzajem i ilością substancji wypełniającej pory. Największe wartości (do 218 MPa) uzyskano dla próbek o dużym udziale wtórnych węglanów wypełniających pęcherzyki, natomiast najmniejszą stwierdzono w próbce o znacznym udziale w porach minerałów ilastych i równocze-

snej obecności nielicznych pustych porów. Niniejsze badania potwierdziły także wielokrotnie wykazywany w literaturze naukowej wpływ stopnia zwietrzenia skały na jej zwięzłość. Jak należało oczekiwać, najniższe wartości wytrzymałości na ściskanie uzyskano dla silnie zwietrzałych, porowatych bazaltów o teksturze afanitowej oraz bazaltów i bazanitów o teksturze gruzłowo-porfirowej, z rozwiniętą w nich zgorzelą bazaltową. Znamienny jest natomiast fakt, że na wartość omawianego parametru nie ma wpływu rodzaj wietrzenia, a jedynie jego natężenie, co powoduje, że obie odmiany tych skał wykazują wytrzymałość na ściskanie w zbliżonych do siebie przedziałach wartości (tab. 1).

Spśród pozostałych badanych skał, brekcje piroklastyczne charakteryzują się przeciętną wytrzymałością na ściskanie, wynoszącą od 117 MPa do 136 MPa (tab. 1), co wynika z dużego udziału w nich twardych okruchów, dość trwale połączonych spoiwem. W odróżnieniu od nich, tufy posiadają bardzo niskie, najniższe spośród wszystkich badanych skał, wartości tego parametru, mieszczące się w przedziale 15–32 MPa (tab. 1).

Wyniki badań twardości Knoop (KH) wykazały prawidłowość nieco inną niż w przypadku wytrzymałości na ściskanie. Stwierdzono, że niezwiertzałe bazalty, bez względu na udział fenokryształów, a więc odmiany o teksturze afanitowej, afanitowo-porfirowej i porfirowo-afanitowej oraz niezależnie od udziału porów (odmiany o zwięzłej i porowatej strukturze), posiadają wysokie i wzajemnie zbliżone wartości twardości KH (tab. 1). Specyfika przeprowadzania badania twardości sprawia, że udział fenokryształów w skale nie ma wpływu na wartość tego parametru, gdyż analogiczne składniki mineralne znajdują się również w cieście skalnym. Nie ma również znaczenia zjawisko łupliwości niektórych większych fenokryształów, sprzyjające podzielności skały pod wpływem nacisku oraz siła ich wiązania z ciastem skalnym. Podobnie, wartość wyniku nie jest związana z udziałem porów, gdyż pomiar dokonywany jest w mikroobszarach zlokalizowanych pomiędzy nimi. Uzyskane wyniki pozwalają zatem wnioskować, że w przypadku rozdrobnienia skał wymienionych odmian na mniejsze fragmenty, ich

Tab. 1. Wykaz wykorzystanych w obliczeniach (SBAS) zobrażeń SAR z rejonu kopalni
Tab. 1. List of SAR images used in SBAS calculations for the mine area

Odmiana skały	Wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym [MPa]	Twardość Knoop KH [MPa]
Bazalt o teksturze afanitowo-porfirowej	246–258*	210–231
Bazalt o teksturze porfirowo-afanitowej	166–194*	206–244
Bazalt o teksturze afanitowej i zwięzłej strukturze	272–305*	220–250
Bazalt o teksturze afanitowej i porowatej, gąbczastej strukturze	110–205	196–238
Bazalt o teksturze afanitowej i porowatej, gąbczastej strukturze, silnie zwietrzały	69–125	38–77
Bazalt o strukturze migdałowcowej	122–218	45–183
Bazalt i bazanit o teksturze gruzłowo-porfirowej	35–150	29–141
Brekcja piroklastyczna	117–136	50–118
Tuf	15–32	**

* Źródło danych: [10]

** Nie oznaczano, próbki rozpadły się podczas ich przygotowywania

twierdzenie jest znaczna i wzajemnie porównywalna. Ma to istotne znaczenie na przykład z punktu widzenia produkcji kruszyw bazaltowych najdrobniejszych frakcji.

W odróżnieniu od wspomnianych skał, bazalt o strukturze migdałowcowej charakteryzuje się zróżnicowaną wartością twardości KH (tab. 1). W niektórych obszarach zlokalizowanych w obrębie ciasta skalnego, osiąga on twardość dochodzącą do 183 MPa. Natomiast w przypadku pomiaru dokonywanego w miejscu występowania minerałów ilastych, stanowiących wtórne wypełnienia pęcherzyków, stwierdzono wyraźnie mniejszą twardość, wynoszącą zaledwie 45 MPa. „Migdały” powstałe przez wypełnienie porów zeolitami lub węglanami charakteryzują się twardością KH w zakresie 50–82 MPa.

Równie dużą zmiennością wartości omawianego parametru charakteryzują się bazalty i bazanity o strukturze gruzłowo-porfirowej, wykazujące zróżnicowany stopień zmian zgorzelowych. W próbkach o nieznacznym nasileniu tych przeobrażeń (nieliczne jasnoszare plamki), twardość we wszystkich punktach pomiarowych jest wysoka, i wynosi powyżej 120 MPa. W próbkach o wyraźnie rozwiniętych zmianach zgorzelowych i obecności pojedynczych spękań, twardość jest silnie zróżnicowana w zakresie 40–120 MPa. W całkowitej zwietrzalej próbce bazaltu, pomiar twardości w różnych miejscach ciasta skalnego i w obrębie fenokryształów wykazał niskie wartości twardości w zakresie 29–40 MPa.

Najniższe wartości twardości KH, wynoszące 38–77 MPa (tab. 1), posiadają silnie zwietrzałe bazalty o afanitowej strukturze i porowatej strukturze. W przypadku skał tej odmiany, niskie wartości tego parametru spowodowane są intensywnym zwietrzeniem wszystkich składników, należących zarówno do ciasta skalnego, jak i do fenokryształów. Najniższą wartość KH (38 MPa) stwierdzono w miejscu występowania zdewitryfikowanego fragmentu szkliwa, natomiast największą (77 MPa) w jednym z kryształów augitu.

Brekcje piroklastyczne charakteryzują się przeciętnymi wartościami twardości KH w zakresie 50–118 MPa (tab. 1). Maksymalne wartości stwierdzono w okruchach wulkanicznych, w punktach pomiarowych zlokalizowanych w obrębie niezmiennych kryształów augitu lub ziaren szkliwa, wyraźnie mniejsze (90–100 MPa) w przeobrażonych oliwinach, natomiast najniższe – w skupieniach minerałów ilastych, tworzących spoiwo brekcji.

Literatura

- [1] Adamczyk Z. *Ewolucja wulkanizmu kenozoicznego Przedgórze Rębiszowskiego (Dolny Śląsk) oraz jej wpływ na charakter petrograficzny i jakość surowca bazaltowego*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, 2008, 282: 1–244.
- [2] Badura J., Pécskay Z., Koszowska E., Wolska A., Zuchiewicz W., Przybylski B. *Nowe dane o wieku i petrologii kenozoicznych bazaltoidów dolnośląskich*. Przegląd Geologiczny, 2006, 54, 2: 145–153
- [3] Birkenmajer K., Pécskay Z. *Radiometric dating of the Tertiary volcanics in Lower Silesia, Poland. I. Alkali basaltic rocks of the Opole region*. Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences, 2002, 50: 31–50
- [4] Cwojdzński S., Jodłowski S. „*Plamowe*” koncentracje bazaltowe Masywu czeskiego i Dolnego Śląska. Biuletyn Instytutu Geologicznego, 1982, 341: 201–222
- [5] Komar P. D., *Mechanical interactions of phenocryst and flow differentiation of igneous dikes and sills*. GSA Bulletin, 1972, 83, 4: 973–988
- [6] Majkowska U., *Dokumentacja geologiczna złoża bazaltu w kat. C₁+C₂ „Targowica”*. Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu. 1992
- [7] Oberc J., Dyjor S., Wroński J., *Ewolucja wschodniej części bloku przedsudeckiego w kenozoiku (piętro młodoalpejskie)*. Przegl. Geol. 1975, 23: 220–223

Podsumowanie

Skały występujące w obrębie złoża „Targowica” tworzą formy geologiczne o zróżnicowanych kształtach, miąższości i miejscu zalegania. Stosunki przestrzenne między nimi są bardzo skomplikowane i trudne do przewidzenia w trakcie eksploatacji. Ta niejednorodność budowy geologicznej wynika z działalności wulkanu, wyrażającej się naprzemiennym wydobywaniem się magmy bazaltowej oraz materiału piroklastycznego na obszar o zróżnicowanej morfologii. Powstałe w wyniku tych procesów potoki lawowe mają złożoną budowę wewnętrzną. Wyraża się ona strefowością ułożenia bazaltoidów, zróżnicowanych pod względem składu mineralnego i cech strukturalno-teksturalnych. Fizyczno-mechaniczne właściwości tych skał, ściśle związane z ich cechami petrograficznymi, zostały ostatecznie ukształtowane przez procesy pomagmowe i hipergeniczne. Kopalinę najbardziej wartościową pod względem surowcowym, stanowią zwięzłe odmiany bazaltów o strukturze afanitowej i afanitowo-porfirowej, posiadające wysokie wartości wytrzymałości na ściskanie i twardości Knoopa. Występują one w wewnętrznych i stropowych częściach potoków, w północno-wschodniej, wschodniej i centralnej części złoża. Tam też miąższości pokryw bazaltowych są największe, a udziały przerostów piroklastycznych najmniejsze.

W porowatych bazaltach o strukturze afanitowej, które posiadają znacznie mniejszą wytrzymałość na ściskanie, występuje zwarty szkielet skalny o dużej twardości. To sprawia, że w przypadku ich rozdrobnienia do kruszyw najdrobniejszych frakcji, eliminującego większość porów, możliwe jest uzyskanie surowca o wysokiej jakości.

Zwietrzałe bazalty oraz utwory piroklastyczne, pomimo swoich bardzo słabych właściwości fizyczno-mechanicznych, mogą być również surowcowo wykorzystywane, na przykład do produkcji mieszanek bazaltowo-tufowych, surowców bentonitowych lub nawozów mineralnych.

Praca została zrealizowana w AGH Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska. Badania finansowane były ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na naukę, w ramach realizacji prac statutowych nr 11.11.140.320.

- [8] PN-EN 14205: 2004. *Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie twardości według Knoopa*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2004
- [9] PN-EN 1926:2007. *Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie jednoosiowej wytrzymałości na ściskanie*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2007.
- [10] Rembiś M., *Mineralno-teksturalna zmienność wybranych skał bazaltowych Dolnego Śląska i jej rola w kształtowaniu fizyczno-mechanicznych właściwości produkowanych kruszyw*. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 2011, 27, 3: 29–49
- [11] Streckeisen A. L., *IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitic Rocks. Recommendations and Suggestions*. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 1978, 141: 1–14
- [12] Śliwa Z., *Własności strukturalne bazaltów Śląska*. *Rocz. PTG.*, 1967, 37: 435–454
- [13] Zagożdżon P., *O genezie zgorzeli bazaltoidoidowej*. *Przeł. Geol.*, 2001, 49: 328–334
- [14] Zagożdżon P., *Geometryczna charakterystyka wystąpień skał zgorzelowych w trzeciorzędowych bazaltoidach Śląska*. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, 2004, 106: 233–243



Fot. Andrzej Borowicz

Kopalnia Nochten i Elektrownia Boxberg