

WPŁYW PROCESÓW POMAGMOWYCH I HIPERGENICZNYCH NA JAKOŚĆ KOPALINY WYSTĘPUJĄCEJ W ZŁOŻU GRANITÓW „GNIEWKÓW”

AN IMPACT OF POST-MAGMATIC AND HYPERGENIC PROCESSES ON THE QUALITY OF GRANITOIDES OF THE GNIEWKÓW DEPOSIT

Marek Rembiś - Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Geologii Złożowej i Górniczej, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Artykuł dotyczy granitoidów z masywu Strzegomia-Sobótka, które odsłaniają się w złożu „Gniewków”. Wyniki badań petrograficznych niezmiennych i przeobrażonych granitoidów odniesiono do oznaczonych wartości podstawowych fizyczno-mechanicznych właściwości tych skał, wykorzystując w tym celu statystyczny plan sympleksowo-kratowy typu {6,2} z programu Statistica. Wykazano, że powszechna serycytyzacja plagioklazów i chlorytyzacja biotyty, zachodzące na etapie pomagmowym, głównie w warunkach hydrotermalnych, wpłynęły istotnie na wzrost nasiąkliwości wagowej i obniżenie wytrzymałości na ściskanie granitoidów. W wyniku procesów hipergenicznych, przede wszystkim wietrzenia fizycznego tych skał, składniki mineralne uległy powszechnie spękaniu, natomiast w mniejszym stopniu zaszła serycytyzacja i kaolinityzacja skaleni, wywołana wietrzeniem chemicznym. Zjawiska te spowodowały wyraźne obniżenie zwięzłości granitoidów, wyrażające się wzrostem wartości ścieralności na tarczy Boehmego. Występowanie w złożu kopaliny reprezentującej różny stopień przeobrażenia powoduje, że uzyskiwany surowiec wykazuje zmienną jakość, uzależnioną od miejsca prowadzonej eksploatacji.

Słowa kluczowe: granitoidy, procesy pomagmowe i hipergeniczne, fizyczno-mechaniczne właściwości

The author deals with the granitoids of the Strzegom-Sobótka massif that are exposed in the Gniewków quarry. The results of petrographical investigations of the fresh and altered rock varieties were compared with the physico-mechanical rock properties using the simplex grate statistical plan {6,2} of the Statistica programme. Commonly occurring sericitization of plagioclases and chloritization of biotite, caused by post-magmatic, mainly hydrothermal processes, significantly increases water absorbability and lowers compressive strength of the granitoids. Physical weathering results mainly in fracturing of mineral components, whereas the sericitization and kaolinitization of the feldspars are rather weakly expressed. These processes lowered compactness of the granitoids which is marked by an increased Böhme disc abrasion. Since the alterations of the granitoids spatially differ, also the stone products have variable properties depending on their location within the quarry.

Keywords: granitoids, post-magmatic and hypergenic processes, physico-mechanical rock properties

Wprowadzenie

Rozwój petrogenetyczny granitoidów masywu Strzegomia-Sobótka związany jest z trzema głównymi etapami: magmowym, pomagmowym i hipergenicznym [11]. Zachodzące w tych etapach procesy geologiczne miały wpływ na zróżnicowanie formy występowania granitoidów oraz ich budowy wewnętrznej, czyli składu mineralnego, struktury i tekstury. Skały te wykazują znaczne zróżnicowanie petrograficzne, niemniej tradycyjnie nazywane są one granitami w szerokim ujęciu tego terminu. Ich zmienność przedstawili między innymi: Pendas [13], Majerowicz [11], Kural & Morawski [9] oraz Maciejewski & Morawski [10].

Zasadniczą część masywu stanowią dwa główne typy skał granitoidowych. W najbardziej wschodniej jego części występują granodioryty biotytowe nazywane granitami typu Chwałkowa [9], bądź granodiorytami strzeblowskimi [11]. Z

uwagi na rozwinięte miejscami tekstury kierunkowe i kataklazowe, zmienność strukturalną oraz podwyższoną zawartość biotyty, muskowitu, bądź w plagioklazach cząstki anortytowej, wyróżnia się tutaj szereg odmian lokalnych. Zachodnia część masywu zbudowana jest w przewadze z biotytowych granitoidów, nazywanych granitami typu Kostrzy [9], względnie granitami strzegomskimi [11]. W przeciwieństwie do granitoidów wschodniej części masywu są one bardziej jednorodne petrograficznie.

Według Puziewicz [25] masyw Strzegomia - Sobótka powstał z czterech intruzji, które następowały w dwóch etapach. Ze starszych intruzji, około 330 mln lat temu powstały granity dwułyszczkowe, natomiast z młodszych, datowanych na około 280 mln lat, utworzyły się granodioryty biotytowe, granity biotytowe oraz występujące w rejonie Kostrzy granity biotytowo – hornblendowe. Ze względu na genezę magmy budującej masyw, Puziewicz [25] uznał, że powstał on na

po granicy dwóch jednostek geologicznych: wschodniej, o charakterze oceanicznym, z którą należy łączyć granitoidy powstałe z magmy bliskiej nasycenia wodą oraz zachodniej, o charakterze kontynentalnym, gdzie krystalizowały granitoidy z magm niedosyconych wodą.

W stadium pointruzyjnym w granitoidach strzegomskich doszło do powstania regularnego systemu spękań ciosowych poprzecznych, podłużnych, diagonalnych oraz pokładowych [23, 11]. Sprzyjał on rozwojowi procesów pomagmowych, zwłaszcza hydrotermalnych, których efektem są liczne utwory żyłowe, przeobrażenia minerałów i ogólna mineralizacja granitoidów [3], a także działaniu procesów hipergenicznych (głównie wietrzeniowych). Wykazanie zgodności przestrzennej zjawisk wietrzeniowych z przebiegiem spękań ciosowych, umożliwiło Karwackiemu [8] wydzielenie pionowych stref wietrzeniowych rozwiniętych na spękaniach tektonicznych oraz poziomych stref wietrzeniowych związanych z ciosem pokładowym. Dzięki temu możliwe było wydzielenie czterech faz wietrzenia granitoidów (B, C, D i E) rozwijających się symetrycznie po obu stronach płaszczyzny ciosowej, o intensywności wietrzenia malejącej w miarę oddalania się od powierzchni tej płaszczyzny. Cechy tych faz zostały odniesione do właściwości granitoidu świeżego oznaczonego jako faza „A” [8].

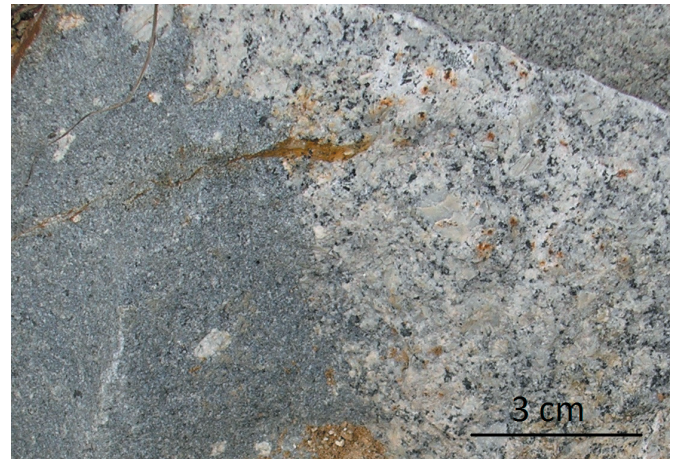


Rys. 1. Widok ogólny wyrobiska nr 10 w kopalni „Gniewków”
Fig. 1. General view of the working site no. 10 of the Gniewków quarry

Procesy pomagmowe i hipergeniczne (zwłaszcza wietrzeniowe) zachodziły w obrębie urozmaiconych petrograficznie skał granitoidowych masywu Strzegomia-Sobótki ze zmienną intensywnością, wpływając na zróżnicowanie wartości ich fizyczno-mechanicznych właściwości. W należącym do tej jednostki geologicznej złożu „Gniewków” zmienność ta jest szczególnie wyraźna, a określenie jej przyczyn, będące celem badań niniejszej pracy, ma istotne znaczenie praktyczne dla prowadzenia racjonalnej gospodarki złożem.

Informacje o złożu

Złoże granitów „Gniewków” znajduje się w północno-zachodniej części masywu Strzegomia-Sobótki. Zlokalizowane jest na zachodnim zboczu wzgórza Granitowa Góra o wysokości 305,8 m n.p.m. Obszar górniczy ma powierzchnię 0,35 km², a teren górniczy zajmuje powierzchnię 2,04 km². Miąższość złoża wynosi od 70,5 m do 104,2 m [29]. Udostępnione jest ono dwoma wyrobiskami wgłębnymi. Wyrobisko o numerze 10 (rys. 1), zlokalizowane jest w zachodniej i środkowej części złoża, natomiast drugie – oznaczone jako „10a” występuje w północno-wschodniej części złoża. Naturalny nadkład złoża o miąższości od 0 m do 11,5 m, stanowią zwietrzały granit oraz



Rys. 2. Widok makroskopowy granitoidu z widoczną zmiennością składu mineralnego i struktury w obrębie jednego bloku
Fig. 2. The variability of the mineral composition and structure within a single granitoid block



Rys. 3. Pionowe i poziome strefy wietrzeniowe rozwijające się zgodnie z systemem spękań występujących w złożu
Fig. 3. Vertical and horizontal weathering zones developed concordantly to the granitoid fracture system



Rys. 4. Widok makroskopowy bryły granitoidu z widocznymi strefami przeobrażonymi
Fig. 4. A granitoid block revealing zones of alterations

utwory czwartorzędowe: zwietrzelina granitu, rumoszc granitowy zagliniony, glina, piaski i gleba. Granit zwietrzały stanowi tzw. nadkład zwięzły. Jego średnia grubość w obrębie pola zasobów bilansowych wynosi 2,0 m. Rośnie ona gwałtownie w strefach tektonicznych. Takie dwie zuskokowane strefy zawierające silnie zwietrzały, kruchy i rozsypliwý granit, biegnące z północy na południe, obecne są w środkowej i zachodniej części złoża. Z uwagi na znaczny zasięg zostały one wyłączone z granic jego udokumentowania.

Zasoby geologiczne złoża według stanu na dzień 31.12.2014 r. wynoszą 59 830 tys. ton, natomiast zasoby przemysłowe stanowią 37 087 tys. ton.

Zmienność petrograficzna granitoidów

Obserwacje makroskopowe wykazały, że najbardziej typowe granitoidy występujące w złożu „Gniewków” są skałami, które na świeżej powierzchni mają barwę jasnopopielatą. Posiadają strukturę na ogół różnokrystaliczną, czasem średnio- lub grubokrystaliczną oraz teksturę bezładną i zbitą. W ich składzie można wyróżnić skalenie, kwarc, biotyt, hornblendę oraz ksenolity biotytowe i plagioklazowo-biotytowe. Pierwsze z nich to czarne, ostro odcinające się od tła, skupienia drobnych kryształów biotyту (rys. 2). Drugi typ ksenolitów ma postać białoczarńnych skupień drobnych kryształów plagioklazów i biotyту, obecnych we wzajemnie porównywalnym udziale. W pobliżu spękań ciosowych barwa granitoidów ulega zmianie na rdzawo-żółtą. Grubość takiej zabarwionej strefy jest zmienna i zwykle nie przekracza ona 30 cm (rys. 3 i 4).

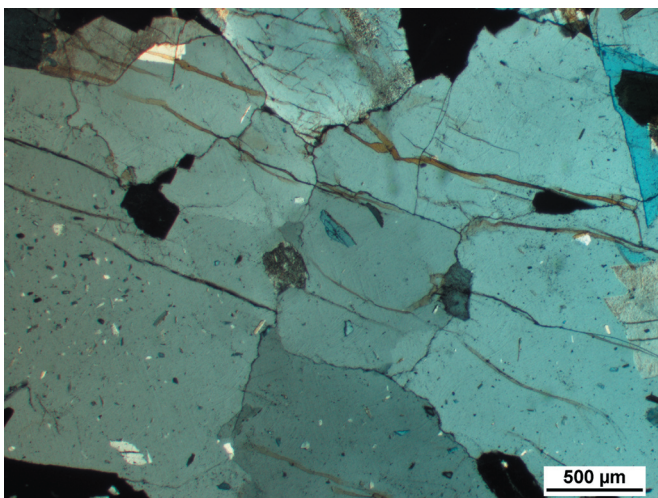
Cechy petrograficzne granitoidów określono badaniami w mikroskopie optycznym do światła przechodzącego na 24 próbkach pobranych z następujących części wyrobiska nr 10: na I poziomie eksploatacyjnym (+230 m n.p.m.) ze ściany północno-wschodniej (4 próbki), wschodniej (4 próbki) i południowo-wschodniej (2 próbki); na II poziomie eksploatacyjnym (+210 m n.p.m.) ze ściany wschodniej (4 próbki), południowo-wschodniej (8 próbek) oraz z części środkowej wyrobiska (2 próbki). Reprezentowane były one przez 12 próbek granitoidów o jasnopopielatej barwie, reprezentujących niezmienną część skały, które pobrane zostały w odległości co najmniej 30 cm od

powierzchni spękań ciosowych. Pozostałe 12 próbek granitoidów o rdzawo-żółtej barwie, reprezentujących przeobrażoną procesami hydrotermalnymi i wietrzeniowymi część skały pobrano z tych samych brył skalnych, ale z fragmentów przylegających do powierzchni spękań ciosowych. Skały tej odmiany odpowiadają zwietrzałym, kruchym granitoidom, określonym przez Karwackiego [8] jako granity fazy „C”.

Na podstawie mikroskopowych badań petrograficznych stwierdzono, że granitoidy charakteryzują się strukturą hipautomorficzną średnio- i zwykle nierówno-, a nawet bardzo nierówno krystaliczną. Ich tekstura jest zawsze bezładna.

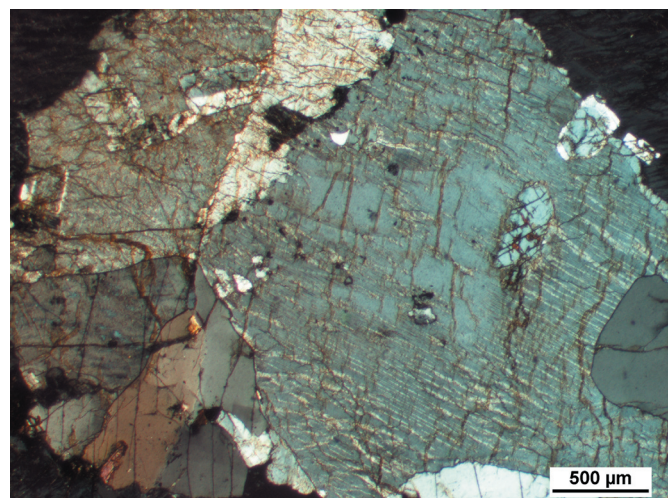
Kryształy kwarcu mają wielkość wynoszącą średnio 2,6 mm, przy wahaniami od 1,7 mm do 5,0 mm. Są one przeważnie ksenomorficzne, a tylko na granicy ze skaleniami alkalicznymi posiadają automorficzne ściany. Kontury kryształów są dosyć równe, sporadycznie skorodowane przez skalenie. W obrębie kryształów kwarcu dosyć rzadko występują wrostki biotyту, skaleni alkalicznych i plagioklazów. W próbkach reprezentujących niezmiennone granitoidy kryształy kwarcu są zwykle dobrze zachowane, a tylko nieliczne z nich są spękane. Intensywność spękań wyraźnie wzrasta w zwietrzałych granitoidach, zwłaszcza w próbkach z poziomu I, w których udział spękanych kryształów zwykle przeważa nad formami niezmiennymi, przy czym często powierzchnie spękań są zabarwione związkami żelaza (rys. 5).

Kryształy skaleni alkalicznych posiadają rozmiary od 4,2 mm do 6,2 mm, przy wartości średniej wynoszącej 5,2 mm. W stosunku do pozostałych składników mineralnych są one zawsze ksenomorficzne, a ich odgałęzienia wciskają się w wąskie interstycje pomiędzy pozostałymi składnikami. Kryształy są zbliżone polisyntetycznie według prawa peryklinowego i albitowego, co jest charakterystyczne dla mikroklinu. Obok drobnych, regularnych wrostków fazy sodowej w skaleniu potasowym, obecne są liczne formy pertytowe o nieregularnym i rozczłonkowanym przebiegu, co można wiązać ze zjawiskiem metasomatozy alkalicznej (albityzacji skaleni potasowego). Zmiany wietrzeniowe zaznaczają się w nich niemal wyłącznie wzmożoną intensywnością mikrospękań, zwykle o bardzo nieregularnym przebiegu (rys. 6). Zjawisko to jest szczególnie częste w próbkach granitoidów pobranych



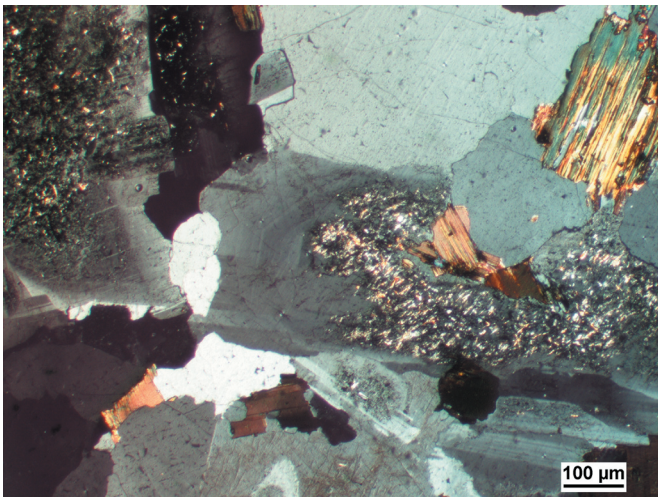
Rys. 5. Obraz mikroskopowy monzogranitu w świetle przechodzącym. Polaryzatory skrzyżowane. Spękania w obrębie kwarcu wypełnione związkami żelaza

Fig. 5. Microscopic view of the monzogranite in the transmitted light. Crossed polarizers. Sample I-1/2. Fractures within quartz are filled with iron secondary compounds



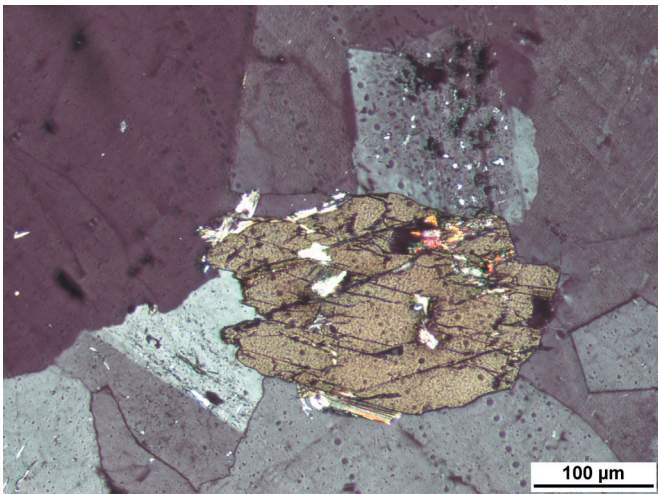
Rys. 6. Obraz mikroskopowy monzogranitu w świetle przechodzącym. Polaryzatory skrzyżowane. Spękania w skaleniu alkalicznym posiadające nieregularny przebieg, wypełnione związkami żelaza

Fig. 6. Microscopic view of the monzogranite in the transmitted light. Crossed polarizers. Sample I-4/2. Irregularly distributed fractures in an alkali feldspar are filled with secondary iron compounds



Rys. 7. Obraz mikroskopowy monzogranitu w świetle przechodzącym. Polaryzatory skrzyżowane. W części środkowej fotografii widoczne są przejawy zaawansowanej serycytyzacji plagioklazu o zonalnej budowie

Fig. 7. Microscopic view of the monzogranite in the transmitted light. Crossed polarizers. Sample I-3/2. Advanced sericitization of the plagioclase grain with the zonal structure (see the central part of the photo)

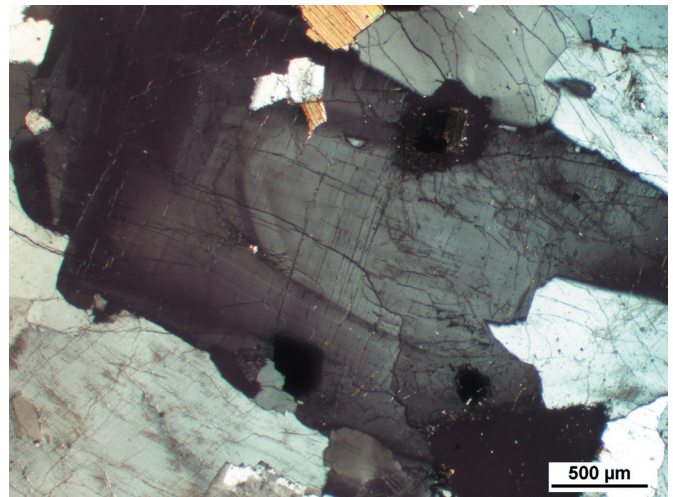


Rys. 9. Obraz mikroskopowy granodiorytu w świetle przechodzącym. Polaryzatory skrzyżowane. Kryształ hornblendy w początkowym stadium biotytyzacji

Fig. 9. Microscopic view of the granodiorite in the transmitted light. Crossed polarizers. A hornblende crystal in an initial stage of biotitization

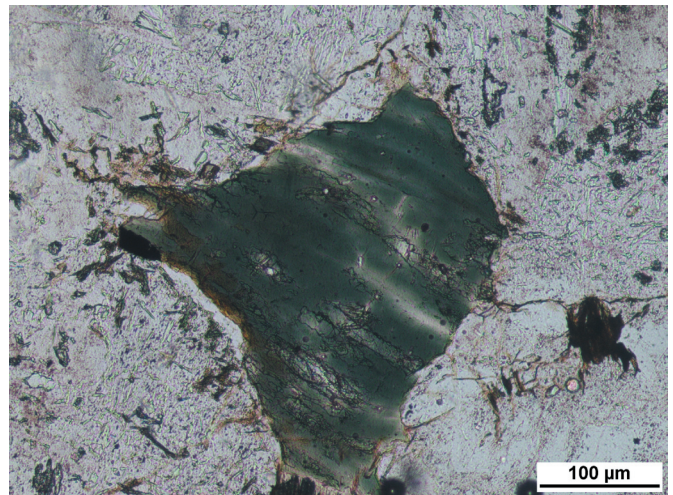
blisko powierzchni spękań ciosowych, zwłaszcza na I poziomie eksploatacyjnym.

Kryształy plagioklazów mają wielkość wynoszącą średnio 1,9 mm przy wahaniami od 1,6 mm do 2,2 mm. Są one zwykle hipidiomorficzne, często o wydłużonym, tabliczkowym pokroju. Większość z nich odznacza się zonalną budową, lecz słabo zaznaczonymi pasami wzrostu. Często wykazują budowę pasową. Znaczna, a w niektórych próbkach pochodzących z I poziomu eksploatacyjnego, nawet przeważająca część kryształów plagioklazów, wykazuje objawy serycytyzacji (rys. 7) lub są one przeobrażone w kierunku minerałów ilastych, rzadziej ulegają kalcyfikacji. Zmiany te występują zazwyczaj w centrach kryształów, obejmując ich duże fragmenty, niekiedy układają się strefowo, podkreślając budowę pasową. Niejednokrotnie duże, wydłużone blaszki serycytu zorientowane są zgodnie z kierunkami łupliwości. Wewnątrz kryształów plagioklazów obserwuje się dość liczne wrostki biotytu, często silnie postrzępione, a miejscami niemal całkowicie zastąpione przez chloryt.



Rys. 8. Obraz mikroskopowy monzogranitu w świetle przechodzącym. Polaryzatory skrzyżowane. Spękany kryształ plagioklazu

Fig. 8. Microscopic view of the monzogranite in the transmitted light. Crossed polarizers. Sample I-4/1. A fractured plagioclase crystal



Rys. 10. Obraz mikroskopowy monzogranitu w świetle przechodzącym. Jeden polaryzator. Schlorityzowany pakiet biotytu

Fig. 10. Microscopic view of the monzogranite in the transmitted light. One polarizer. A chloritized biotite sheaf

W niektórych kryształach plagioklazów obecne są mikrospęknięcia. Rozwijają się one począwszy od jądra kryształu, gdzie mają największą szerokość, a ku jego obwodowi zanikają (rys. 8). Niekiedy wypełnia je bardzo drobnoziarnista substancja kaolinitowa lub rdzawa substancja żelazista. W próbkach reprezentujących odmianę zwietrzałych granitoidów ilość mikrospęknięć znacznie wzrasta, a w skrajnym przypadku fragmenty kryształów ulegają odspojeniu wzdłuż płaszczyzn ich łupliwości, co powoduje niemal całkowitą ich dezintegrację.

Minerały femiczne reprezentowane są przede wszystkim przez: biotyt, hornblendę i chloryty. Wielkość kryształów oraz blaszek jest zmienna, wynosząc średnio 1,0 mm, przy wahaniami od 0,7 mm do 1,3 mm. Największe osobniki należą zwykle do wydłużonych, idiomorficznych kryształów hornblendy. Jej dobrze zachowane kryształy spotykane są rzadko. Zwykle ulega ona biotytyzacji (rys. 9), a następnie chlorytyzacji, toteż często obecne są pseudomorfozy biotytu i chlorytu po hornblendzie. Produktom rozkładu hornblendy towarzyszą skupienia związków żelaza.

Biotyt występuje co najmniej w dwóch generacjach. Pierwotny, obecny jest w formie pojedynczych blaszek lub ich zespołów. Na ogół jest silnie zmieniony, odbarwiony, w wielu

miejscach jest zastąpiony przez chloryty (rys. 10). Biotyt wtórny wypełnia pseudomorfozy po hornblendzie, tworząc skupienia blaszek o zmiennej orientacji i nieciągłej łupliwości, podkreślonej obecnością tlenków żelaza. Muskowit jest nieliczny, obecny zazwyczaj w formie drobnych łusek.

Chloryty są pospolitym, wtórnym składnikiem, powstałym w wyniku przeobrażenia biotyту lub hornblendy, z którymi są przestrzennie związane. Ich pleochroizm jest zmienny, ale zwykle słaby, w barwach zielonych. Czasem jest go brak. Niekiedy sferolitowe skupienia chlorytu występują w interstycjach między skaleniemi i kwarcem.

Minerały akcesoryczne reprezentowane są przez epidot, tytanit, apatyt, cyrkon tworzące pojedyncze kryształy, bezładnie rozmieszczone pomiędzy pozostałymi składnikami skały lub w ich obrębie, w formie mikrowrostków.

Skład mineralny badanych granitoidów przedstawiono w tabelach 1 i 2. Na podstawie udziału kwarcu, skaleni alkalicznych oraz plagioklazów omawiane skały zaliczono według klasyfikacji Streckeisen [30] w przewadze (16 próbek) do granitów monzonitowych (monzogranitów). Sześć próbek reprezentuje syenogranity, a dwie odpowiadają granodiorytom.

Omówione powyżej cechy strukturalne oraz skład mineralny są w głównej mierze związane z fizykochemicznymi warunkami środowiska powstania granitoidów. W znacznym stopniu wynikają także z działania procesów pomagmowych i hipergenicznych. Jak już podkreślali Kural & Morawski [9] omawiane granity uległy silnym przeobrażeniom hydrotermalnym. Według Janeczka [7] zjawiska te zachodziły w masywie strzegomskim w warunkach temperatur 200-300°C. Efektem

ich działania jest obecność w skałach granitoidowych charakterystycznej asocjacji mineralnej, w skład której wchodzi: chloryt, serycyt, minerały ilaste, tytanit, epidot, minerały żelaza (głównie hematyt) i węglany [3].

Spośród różnych rodzajów hydrotermalnych przeobrażeń, jakim ulegają skały leukokratyczne, jednym z głównych procesów występujących w omawianych granitach jest serycytyzacja plagioklazów. Zachodziła ona w warunkach podwyższonego ciśnienia i temperatury poniżej 300°C, dodatkowo przy doprowadzeniu jonów potasu (por. [26]). Pod wpływem gorących roztworów hydrotermalnych zasobnych w jony Fe i Mg zachodziła także chlorytyzacja biotyту (por. [12]), której przejawy są powszechnie obserwowane w omawianych skałach. Pozostałe procesy hydrotermalne, zachodziły z mniejszą intensywnością, doprowadzając do powstania niewielkich ilości minerałów ilastych, epidotu, minerałów żelaza i węglanów.

Skutkiem postępującego fizycznego wietrzenia granitoidów było pojawienie się gęstej sieci mikrospekań kryształów kwarcu i skaleni, prowadzące do ich dezintegracji. Tego rodzaju zjawiska są powszechnie opisywane w literaturze (por. [27, 31]). Mikrospekania te zapewniły drożność roztworom, zwłaszcza zawierającym związki żelaza. Ułatwiały także przebieg procesu serycytyzacji, która poczynając od spekań, ogarniała coraz większe powierzchnie kryształów. Tworzenie się serycytu na etapie wietrzenia stwierdzono także w innych masywach granitoidowych [6, 27]. Powstając w takich warunkach jest on zwykle nieco drobniej łuseczkowy, może także wypełniać mikrospekania, wspólnie z substancją o kaolinitowym charakterze, powstałą wskutek chemicznego wietrzenia (hydrolizy) ska-

Tab. 1. Skład mineralny monzogranitów (% obj.)

Tab. 1. Mineral composition (vol. percents) of monzogranites

Nazwa składnika	Monzogranity z I poziomu eksploatacyjnego (+230 m n.p.m.)		Monzogranity z II poziomu eksploatacyjnego (+210 m n.p.m.)	
	niezmienione	przeobrażone	niezmienione	przeobrażone
Plagioklasy	23,7-38,9	24,5-39,4	21,6-26,5	22,1-26,9
Skalenie alkaliczne	18,1-37,7	17,4-39,0	20,8-35,4	19,5-36,2
Kwarc	19,1-29,2	18,8-30,2	24,0-33,1	23,2-31,9
Biotyt	4,6-23,2	3,9-22,6	10,0-18,8	9,0-19,1
Muskowit	0,0-2,1	0,0-1,6	0,0-1,9	0,0-1,9
Hornblenda	0,0	0,0	0,0	0,0
Minerały akcesoryczne	1,2-3,4	1,6-4,1	2,0-4,9	2,2-5,5

Tab. 2. Skład mineralny syenogranitów i granodiorytów (% obj.)

Tab. 2. Mineral composition (vol. percents) of syenogranites and granodiorites

Nazwa składnika	Syenogranity z I poziomu eksploatacyjnego (+230 m n.p.m.)		Syenogranity z II poziomu eksploatacyjnego (+210 m n.p.m.)		Granodioryty z II poziomu eksploatacyjnego (+210 m n.p.m.)	
	niezmienione	przeobrażone	niezmienione	przeobrażone	niezmienione	przeobrażone
Plagioklasy	18,4	19,2	18,6-19,5	17,6-20,9	37,0	38,6
Skalenie alkaliczne	44,0	42,4	37,7-39,4	39,7-40,5	19,1	18,9
Kwarc	22,3	23,3	22,4-22,5	20,9-21,8	29,3	28,6
Biotyt	12,3	11,8	16,2-17,2	14,1-17,7	11,9	11,0
Muskowit	0,0	0,0	0,0-1,5	0,0-1,6	0,0	0,0
Hornblenda	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,3
Minerały akcesoryczne	3,0	3,3	2,4-2,6	2,5-2,8	1,7	1,8

Tab. 3. Zmienność fizyczno-mechanicznych właściwości monzogranitów
 Tab. 3. Variability of the physico-mechanical properties of monzogranites

Nazwa parametru	Monzogranity z I poziomu eksploatacyjnego (+230 m n.p.m.)		Monzogranity z II poziomu eksploatacyjnego (+210 m n.p.m.)	
	niezmienione	przeobrażone	niezmienione	przeobrażone
Gęstość objętościowa [g/cm ³]	2,58-2,64	2,45-2,52	2,60-2,63	2,51-2,53
Nasiąkliwość wagowa [%]	0,21-0,43	1,85-2,11	0,35-0,46	1,47-2,12
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	155-168	66-90	166-175	100-134
Ścieralność na tarczy Boehmego [cm]	0,12-0,16	0,36-0,98	0,10-0,14	0,26-0,48

Tab. 4. Zmienność fizyczno-mechanicznych właściwości syenogranitów
 Tab. 4. Variability of the physico-mechanical properties of syenogranites

Nazwa parametru	Syenogranity z I poziomu eksploatacyjnego (+230 m n.p.m.)		Syenogranity z II poziomu eksploatacyjnego (+210 m n.p.m.)	
	niezmienione	przeobrażone	niezmienione	przeobrażone
Gęstość objętościowa [g/cm ³]	2,62	2,54	2,62-2,64	2,50-2,55
Nasiąkliwość wagowa [%]	0,30	2,00	0,32-0,50	1,80-1,98
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	147	88	148-156	90-96
Ścieralność na tarczy Boehmego [cm]	0,18	0,62	0,16	0,22-0,28

ni. W niektórych przypadkach efekty wietrzenia składników mineralnych mogą być podobne do produktów przeobrażeń pomagmowych, wówczas oddzielenie tych zjawisk, jeżeli się one nakładają, jest utrudnione lub nawet niemożliwe.

Biorąc pod uwagę intensywność zmian, jakim ulegały poszczególne składniki mineralne, można stwierdzić, że wśród składników badanych skał, plagioklasy są najmniej odporne na działanie czynników pomagmowych i hipergenicznych.

Fizyczno-mechaniczne właściwości granitoidów

Jednym z wymogów określających gospodarczą przydatność kopaliny są odpowiednie wartości ich fizyczno-mechanicznych właściwości oraz stopień ich zmienności w obrębie złoża. Spośród różnych parametrów charakteryzujących kopalinę, do oceny wybrano gęstość objętościową, której wartość oznaczono wg PN-EN 1936:2010 [22], nasiąkliwość wagową określoną wg PN-EN 13755:2002 [20], wytrzymałość na ściskanie (wg PN-EN 1926:2001 [21]) i ścieralność na tarczy Boehmego (wg PN-84/B-04111 [14]). Badania wykonano na 16 próbkach monzogranitów oraz 6 próbkach syenogranitów, które wcześniej zostały zbadane petrograficznie.

Stwierdzono, że monzogranity nieznacznie przekształcone procesami pomagmowymi i hipergenicznymi charakteryzują się wartością gęstości objętościowej w zakresie 2,58-2,64 g/cm³ oraz niewielką nasiąkliwością wagową wynoszącą od 0,21% do 0,46% (tab. 3). Są to skały zwarte o wytrzymałości na ściskanie od 155 MPa do 175 MPa i ścieralności na tarczy Boehmego w zakresie 0,10-0,16 cm (tab. 3).

Skały, w których badaniami petrograficznymi stwierdzono przejawy zaawansowanych przemian składników mineralnych, posiadają wyraźnie niższą wartość gęstości objętościowej, wynoszącą 2,51-2,53 g/cm³ dla próbek pochodzących z niższego poziomu II oraz 2,45-2,52 g/cm³ dla próbek z poziomu I, położonego bliżej powierzchni stropu złoża. Jednocześnie wykazują znaczną nasiąkliwość w zakresie 1,47-2,12% (tab. 3). Skały te są mniej zwarte, zwłaszcza pochodzące z poziomu I, bowiem ich wytrzymałość na ściskanie wynosi

66-90 MPa a ścieralność od 0,36 cm do 0,98 cm. Dla próbek reprezentujących poziom II wartości te wynoszą odpowiednio: 100-134 MPa i 0,26-0,48 cm (tab. 3).

Badane syenogranity z nielicznymi przejawami zmian pomagmowych posiadają nieco wyższą niż niezmienione monzogranity wartość gęstości objętościowej, wynoszącą 2,62-2,64 g/cm³ (tab. 4), ale jednocześnie charakteryzują się mniej korzystnymi wartościami wytrzymałości na ściskanie (147-156 MPa) i ścieralności na tarczy Boehmego (0,16-0,18 cm) (tab. 4). W próbkach, w których składniki mineralne noszą wyraźne ślady przemian, zwłaszcza pochodzących z poziomu I, zanotowano niższe wartości gęstości i wytrzymałości na ściskanie oraz wzrost wartości nasiąkliwości i ścieralności na tarczy. Zakres zmian tych parametrów jest porównywalny do stwierdzonego w przeobrażonych monzogranitach.

Wpływ przemian pomagmowych i hipergenicznych na jakość kopaliny

W badaniach dotyczących granitoidów różnego typu wielokrotnie wykazano (np. [4, 24]), że ich właściwości fizyczno-mechaniczne zależą od cech strukturalno-teksturalnych oraz od składu mineralnego, a także stopnia zwietrzenia. Natomiast w mniejszym stopniu dokonywano oceny wpływu zmian, jakim uległy poszczególne minerały w wyniku procesów i zjawisk pomagmowych i hipergenicznych, na właściwości techniczne kopaliny (np. [1, 5]). W niniejszej pracy ocenę taką przeprowadzono na podstawie uzyskanych wyników badań i ich statystycznej analizy, tworząc model statystyczno-eksperymentalny. Do jego konstrukcji, wybrano określone badaniami petrograficznymi udziały sześciu głównych grup składników mineralnych skały (tab. 5 i 6), stanowiących tzw. zmienne materiałowe.

Suma udziałów tych składników po ich przeliczeniu stanowiła w każdej próbce 100%. Jako zmienne zależne przyjęto kolejno cztery zbadane i omówione wcześniej, właściwości granitoidów: gęstość objętościową, nasiąkliwość wagową, wytrzymałość na ściskanie oraz ścieralność na tarczy Boehmego.

Tab. 5. Udziały głównych składników mineralnych monzogranitów
 Tab. 5. Contents of major mineral components of monzogranites

Nazwa składnika	Monzogranity z I poziomu eksploatacyjnego (+230 m n.p.m.)		Monzogranity z II poziomu eksploatacyjnego (+210 m n.p.m.)	
	niezmienione	przeobrażone	niezmienione	przeobrażone
Skalenie niezmienione	38,6-55,6	25,4-33,0	40,7-56,3	28,3-37,1
Skalenie zserycytizowane	6,2-10,4	19,6-36,6	3,6-6,6	18,1-24,9
Biotyt niezmieniony	4,1-20,0	1,4-6,6	8,7-16,9	3,8-9,6
Biotyt schlorytizowany	0,5-3,2	2,5-16,2	1,2-1,9	4,8-9,6
Kwarc niezmieniony	16,2-25,0	5,1-13,7	21,9-29,1	14,7-21,1
Skalenie i kwarc spękane	2,2-5,0	13,1-25,2	1,9-4,0	6,3-12,1

Tab. 6. Udziały głównych składników mineralnych syenogranitów
 Tab. 6. Contents of major mineral components of syenogranites

Nazwa parametru	Syenogranity z I poziomu eksploatacyjnego (+230 m n.p.m.)		Syenogranity z II poziomu eksploatacyjnego (+210 m n.p.m.)	
	niezmienione	przeobrażone	niezmienione	przeobrażone
Skalenie niezmienione	54,9	21,6	52,1-53,4	29,1-32,5
Skalenie zserycytizowane	7,5	40,0	4,6-5,1	25,5-31,5
Biotyt niezmieniony	10,6	3,3	14,9-16,2	6,4-8,3
Biotyt schlorytizowany	1,7	8,5	1,0-1,3	7,8-9,4
Kwarc niezmieniony	19,6	13,5	20,2-20,7	13,9-15,0
Skalenie i kwarc spękane	2,7	9,8	1,8-2,2	5,8-8,0

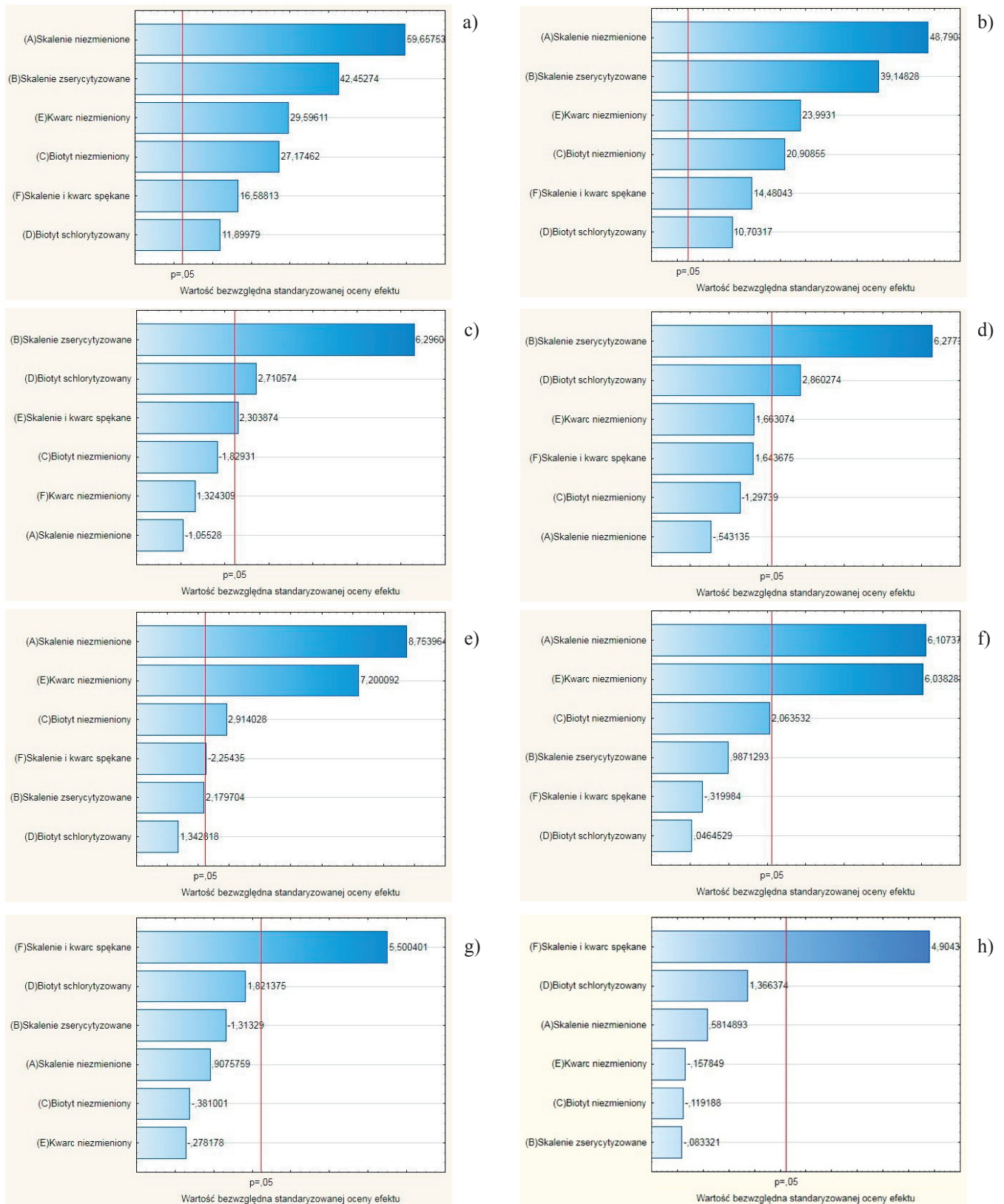
Analiza została wykonana przy użyciu programu Statistica według statystycznego planu sympleksowo-kratowego typu {6,2}. Jej celem było wskazanie, które wielkości są statystycznie znaczące przy założonym poziomie istotności $p=0,05$ i mają wpływ na zmianę parametrów technicznych granitoidów. Dla rozpatrywanego zbioru danych zaplanowano model wielomianowy drugiego stopnia. Wykonano dwie analizy: jedną obejmującą łącznie próbki monzogranitów i syenogranitów oraz drugą, tylko dla próbek monzogranitów, które są skałami dominującymi w złożu. Uzyskane dane dla poszczególnych właściwości przedstawiono w postaci wykresów Pareto (rys. 11), gdzie krytyczna wartość parametru t-Studenta przy poziomie istotności $p=0,05$ zaznaczona jest linią pionową, a jego bezwzględna wartość decyduje o stopniu istotności ocenianego efektu.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że bez względu na przynależność do odmiany petrograficznej granitoidu, wszystkie składniki mineralne mają istotny statystycznie wpływ na zmianę wartości ich gęstości objętościowej. Jednak szczególnie wyraźny wpływ na wzrost tego parametru ma duży udział skaleni, niezależnie od ich stanu zachowania (rys. 11a i 11b). Odmianowa jest natomiast sytuacja dla nasiąkliwości wagowej, bowiem wzrost jej wartości jest determinowany przede wszystkim przez duży udział zserycytizowanych, a przez to mikroporowatych skaleni. Wyraźnie mniejsze znaczenie dla zmiany nasiąkliwości ma udział schlorytizowanego biotyту, a w monzogranitach także udział spękanych kryształów kwarcu i skaleni. Pozostałe, niezmienione składniki mineralne nie wpływają w sposób statystycznie istotny na zmianę tego parametru (rys. 11c i 11d).

Wytrzymałość na ściskanie granitoidów wynika głównie z udziału niezmienionych kryształów skaleni i kwarcu (rys. 11e i 11f). W tym przypadku ujawnia się zdolność tych składników

mineralnych do tworzenia trwałych wiązań, stawiających opór narastającemu naprężeniu ściskającemu, wywieranemu w trakcie wykonywania badania. W monzogranitach, statystycznie istotny wpływ na wartość tego parametru ma także obecność niezmienionego biotyту. Jego znaczenie jest jednak wyraźnie mniejsze niż kwarcu lub skaleni, co można wiązać ze znacznie mniejszą twardością tego minerału. Natomiast, jak należało przypuszczać, na wzrost wartości tego parametru nie ma wpływu obecność spękanych oraz schlorytizowanych i zserycytizowanych składników mineralnych. Ścieralność na tarczy Boehmego jest silnie zależna wyłącznie od udziału spękanych kryształów skaleni i kwarcu, które w trakcie wykonywania oznaczenia tego parametru łatwo ulegają wykruszaniu. Udział pozostałych składników, nawet tych, które są silnie zmienione procesami serycytyzacji lub chlorytizacji, nie ma istotnego statystycznie znaczenia (rys. 11g i 11h).

Dla oceny wpływu przemian pomagmowych i hipergenicznych na jakość surowca określono odporność na rozdrabnianie kruszywa granitoidowego według normy PN-EN 1097-2:2010 [16] oraz jego odporność na ścieranie według normy PN-EN 1097-1:2011 [15]. Do badań wybrano kruszywo wyprodukowane w zakładzie przerobczym kopalni „Gniewków”, złożone z ziaren reprezentujących różny stopień przeobrażenia, co makroskopowo wyraża się jego zmiennym zabarwieniem. Zostało ono poddane selekcji i podzielone na trzy grupy. Jedną stanowiły ziarna niezmienionych granitoidów o barwie jasnopopielatej, drugą, ziarna reprezentujące odmianę przeobrażoną o barwie rdzawo-żółtej. W grupie trzeciej znalazły się ziarna obu odmian, zestawione w przypadkowy sposób w trakcie procesu produkcji kruszywa. Zgodnie z wymogami wspomnianej normy, wartość tych parametrów oznaczono na kruszywie frakcji 10-14 mm, natomiast dla porównania i określenia czy stopień rozdrobnienia ziaren wpływa na wartość odporności na rozdrabnianie lub



Rys. 11. Wykresy Pareto ukazujące wpływ udziału składników mineralnych granitoidów z Gniewkowa na ich właściwości
 Monzogranity: a) gęstość objętościowa, c) nasiąkliwość wagowa, e) wytrzymałość na ściskanie, g) ścieralność na tarczy Boehmego.
 Monzogranity i syenogranity: b) gęstość objętościowa, d) nasiąkliwość wagowa, f) wytrzymałość na ściskanie, h) ścieralność na tarczy Boehmego.

Fig. 11. Pareto diagrams showing the dependence between the content of mineral components and the properties of the Gniewków granitoids
 Monzogranites: a) bulk density, c) water absorbability, e) compressive strength, g) Böhme grinding test. Monzogranites and Syenogranites:
 b) bulk density, d) water absorbability, f) compressive strength, h) Böhme grinding test

odporności na ścieranie, zbadano wielkość tych parametrów także dla kruszywa frakcji 4-8 mm.

Wyniki badań wykazały, że kruszywo charakteryzuje się zmienną odpornością na rozdrabnianie wyrażoną wiel-

kością wskaźnika Los Angeles (LA). Dla ziaren niezmiennionych frakcji 10-14 mm wynosi on 24,2, natomiast dla ziaren przeobrażonych aż 63,9 (tab. 7).

W kruszywie zawierającym oba rodzaje ziaren, war-

Tab. 7. Zmienność odporności na rozdrabnianie i ścieranie kruszywa granitoidowego ze złoża „Gniewków” różnych odmian i frakcji
 Tab. 7. Variabilities of the fragmentation and grindability resistances of the various types and grain fractions of the aggregates of Gniewków

Nazwa parametru i metoda badania	Kruszywo frakcji 4-8 mm			Kruszywo frakcji 10-14 mm		
	niezmienione	przeobrażone	mieszane	niezmienione	przeobrażone	mieszane
Odporność na rozdrabnianie, LA wg PN-EN1097-2:2010	33,6	65,8	46,8	24,2	63,9	38,2
Kategoria wg PN-EN 12620: 2010	LA ₃₅	LA ₆₆	LA ₅₀	LA ₂₅	LA ₆₄	LA ₄₀
Kategoria wg PN-EN 13043:2004 i PN-EN 13242:2010	LA ₄₀	LA ₆₆	LA ₅₀	LA ₂₅	LA ₆₄	LA ₄₀
Odporność na ścieranie, MDE wg PN-EN 1097-1:2011	18,9	40,4	25,0	16,4	32,7	22,8
Kategoria wg PN-EN 12620:2010, PN-EN 13043:2004 i PN-EN 13242:2010	M _{DE} 20	M _{DE} 40	M _{DE} 25	M _{DE} 20	M _{DE} 35	M _{DE} 25

tość wskaźnika jest równa 38,2. Według norm PN-EN 12620: 2010 [17], PN-EN 13043: 2004 [18] i PN-EN 13242: 2010 [19], należy ono zatem do różnych kategorii: LA25, LA40 i LA64 (tab. 7). Kruszywo frakcji 4-8 mm posiada równie zmienną odporność na rozdrabnianie, ale jednocześnie nieco mniejszą jej wartość niż kruszywo omówione wcześniej. Wartość wskaźnika LA wynosi bowiem od 33,6 dla ziaren niezmiennych do 65,8 dla ziaren przeobrażonych. Według wspomnianych norm kruszywo tej frakcji należy do nieco gorszych kategorii niż kruszywo frakcji 10-14 mm (tab. 7). Kruszywo wykazuje także zmienną odporność na ścieranie (tab. 7). Dla frakcji 10-14 mm wskaźnik mikro-Devala (M_{DE}) wynosi od 16,4 (ziarna niezmiennione) do 32,7 (ziarna przeobrażone). W kruszywie zhomogenizowanym, zawierającym oba rodzaje ziaren, jego wartość jest równa 22,8. W związku z tym kwalifikuje się ono wg norm PN-EN 12620: 2010, PN-EN 13043: 2004 i PN-EN 13242: 2010 do kategorii odpowiednio: M_{DE}20, M_{DE}35 i M_{DE}25 (tab. 7). Kruszywo frakcji 4-8 mm posiada nieco mniejszą odporność na ścieranie, wyrażoną wartością wskaźnika M_{DE} wynoszącą od 18,9 do 40,4. W tym przypadku tylko kruszywo złożone z przeobrażonych ziaren należy do gorszej kategorii niż kruszywo 10-14 mm (tab. 7).

Przedstawione powyżej zjawisko pogarszania się jakości kruszywa w zakresie kategorii LA i M_{DE} wraz ze zmniejszaniem się jego uziarnienia zostało już stwierdzone wcześniej np. przez Bromowicza [2] w granitoidach oraz Rembisia [28] w bazaltoidach. Jak się wydaje, wynika ono z faktu kumulowania się w drobniejszych frakcjach kruszywa, mniej odpornych mechanicznie składników mineralnych.

Podsumowanie

Na podstawie wyników wykonanych badań stwierdzono, że procesy pomagmowe, głównie o charakterze hydrotermalnym, zaznaczające się przede wszystkim powszechną serycytyzacją plagioklazów i chlorytyzacją biotyту, wpłynęły istotnie na wzrost nasiąkliwości wagowej i obniżenie wytrzymałości na ściskanie granitoidów. Wpływ procesów hipergenicznych obejmujących głównie wietrzenie fizyczne i chemiczne tych skał, spowodował powstanie licznych mikrospękań składników mineralnych, a w mniejszym zakresie także serycytyzację skaleni i powstanie kaolinitu oraz związków żelaza. Zjawiska te wpłynęły istotnie na obniżenie zwięzłości granitoidów, wyrażające się wzrostem wartości ścieralności na tarczy Boehmego.

Rozwój i nasilenie zmian związanych z procesami hydrotermalnymi i wietrzeniowymi granitoidów w złożu „Gniewków” sprawia, że na poziomie I (+230 m n.p.m.) kopalina charakteryzuje się nieco gorszą jakością, niż na poziomie II (+210 m n.p.m.). Zgodnie z ogólną tendencją należy oczekiwać, że w głębszych partiach górotworu kopalina będzie charakteryzowała się jeszcze lepszą jakością.

Przedstawione wyniki pozwalają określić omawiane skały jako kopalinę o stosunkowo przeciętnej jakości i dość niejednorodnym wykształceniu, warunkowanym obecnością stref przeobrażonych, w obrębie których dochodzi do istotnego pogorszenia jakości, zwłaszcza pod względem cech wytrzymałościowych.

Zmienna jakość kopaliny przekłada się także na niejednorodność jakościową produkowanych z niej kruszyw. Wynika ona ze zróżnicowanego udziału w kruszywie ziaren przeobrażonych i niezmiennych, uzależnionego w danym okresie produkcji od miejsca eksploatacji kopaliny.

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.

Literatura

- [1] Basu A., Celestino T. B., Bortolucci A. A. *Evaluation of rock mechanical behaviors under uniaxial compression with reference to assessed weathering grades*. Rock Mech. Rock Engng, 2009, 42: 73–93
- [2] Bromowicz J. *Zakres zmian właściwości fizyczno-mechanicznych skał w procesie przeróbki kruszyw lamanych*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, 2001, 93: 13–31
- [3] Ciesielczuk J. *Hydrotermalne przeobrażenia granitów z Borowa oraz Strzelina (Sudety) na tle wybranych masywów granitoidowych*. Przegląd Geologiczny, 2002, 50, 9: 783-786
- [4] Gupta A. S., Rao K. S. *Weathering effects on the strength and deformational behavior of crystalline rocks under uniaxial compression*. Engng Geol., 2000, 56: 257–274
- [5] Heidari M., Momeni A. A., Naseri F. *New weathering classifications for granitic rocks based on geomechanical parameters*. Engineering Geology, 2013, 166: 65–73
- [6] Irfan T. Y., Dearman W. R. *The engineering petrography of a weathered granite in Cornwall, England*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 1978, 11: 233-244
- [7] Janeczek J. *Typomorficzne minerały pegmatytów masywu granitoidowego Strzegom-Sobótka*. Geol. Sudet., 1985, 20, 3: 1-82
- [8] Karwacki A. *Zmienność własności fizykochemicznych w profilach wietrzeniowych granitoidów masywu Strzegom-Sobótka*. Zesz. Nauk. AGH. Geologia, 1980, 6, 3: 27-51
- [9] Kural S., Morawski T. *Strzegom-Sobótka granitic massif*. Biul. Inst. Geol., 1968, 227: 33-85
- [10] Maciejewski S., Morawski T. *Zmienność petrograficzna granitów masywu strzegomskiego*. Kwart. Geol. 1975, 19, 1: 47-65
- [11] Majerowicz A. *Masyw granitowy Strzegom-Sobótka*. Geologia Sudetica, 1972, 6: 7-96
- [12] Parneix J. C., Beaufort D., Dudoignon P., Meunier A. *Biotite chloritization process in hydrothermally altered granites*. Chemical Geology, 1985, 51, 1–2: 89-101
- [13] Pendas H. *Granit strzegomski w okolicy Kostrzy i Borowa*. Biul. IG 1956, 112: 79-136
- [14] PN-84/B-04111 *Materiały kamienne. Oznaczenie ścieralności na tarczy Boehmego*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1984
- [15] PN-EN 1097-1:2011. *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 1: Oznaczanie odporności na ścieranie (mikro-Deval)*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2011
- [16] PN-EN 1097-2:2010. *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 2: Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2010
- [17] PN-EN 12620: 2010. *Kruszywa do betonu*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2010
- [18] PN-EN 13043: 2004. *Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2004
- [19] PN-EN 13242: 2010 *Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2010
- [20] PN-EN 13755:2002. *Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2002
- [21] PN-EN 1926:2001. *Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2001
- [22] PN-EN 1936:2010. *Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2010
- [23] Podstolski R. *Spękania ciosowe masywu Strzegomia-Sobótki*. Kwart. Geol. 1970, 4, 1: 43-51
- [24] Příkryl R. *Some microstructural aspects of strength variation in rocks*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2001, 38, 5: 671–682
- [25] Puziewicz J. *Strzegom-Sobótka granitoid massif – current state of investigations*. Arch. Mineralog., 1990, 45 (1-2), 135–153
- [26] Que M., Allen A., R. *Sericitization of plagioclase in the Rosses Granite Complex, Co. Donegal, Ireland*. Mineralogical Magazine, 1996, 60: 927-936.
- [27] Raj J. K. *Characterisation of the weathering profile developed over a porphyritic biotite granite in peninsular Malaysia*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 1985, 32, 1: 121-129
- [28] 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: 29-49.
- [29] Stachowiak R., Stachowiak A. *Dokumentacja geologiczna złoża granitu Gniewków, kat. B+C1*. 1978
- [30] Streckeisen A. L. *To each plutonic rock its proper name*. Earth Science Reviews, 1976, 12, 1-33
- [31] Thuro K., Sholz M.,. *Deep weathering and alteration in granites – a product of coupled processes*. GeoProc 2003 International on Coupled T-H-M-C Processes in Geosystems: Fundamentals, Modeling, Experiments and Applications. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, 2003, pp. 1-6