



TOMASZ PAWLIK

GDDKiA,
Oddział we Wrocławiu
tpawlik@gddkia.gov.pl

Wpływ cech petrograficznych na wybrane parametry fizyczno-mechaniczne kruszyw granitoidowych z Dolnego Śląska wykorzystywanych w budownictwie drogowym

W Polsce złoża granitoidów koncentrują się na obszarze Przedgórz Sudeckiego i Sudetów. Duże zasoby, dość dobre właściwości technologiczne, łatwa dostępność górnicza tych skał oraz konkurencyjne warunki cenowe powodują, że powszechnie wykorzystywane są do produkcji zarówno elementów blocznych, galanterii kamiennej, jak i kruszyw lub kamienia łamanego. Oferowane przez kopalnie kruszywa, spełniające normy PN-EN 12620, PN-EN 13043 i PN-EN 13242, stosuje się szeroko w betonach cementowych, mieszankach mineralno-asfaltowych (mma) i podbudowach stabilizowanych mechanicznie.

Pomimo zbliżonego składu mineralnego różnych rodzajów granitoidów (granitów i skał pokrewnych) z obszaru dolnośląskiego, skał tych nie można traktować jako materiału homogenicznego pod względem właściwości technicznych [3]. Należą one do skał magmowych, w których współczynniki zmienności parametrów fizyczno-mechanicznych w jednym złożu wahają się w granicach 10–50% [6], co wiąże się z ich zróżnicowaniem mineralogicznym. W takim ujęciu niezwykle ważną okazuje się dobrze wykonana charakterystyka petrograficzna surowca w złożu.

W artykule starano się przedstawić zmienność wybranych parametrów kruszyw (nasiąkliwość, mrozoodporność, odporność na rozdrabnianie i ścieranie) w zależności od takich cech petrograficznych surowca, jak skład mineralny, zmiany wietrzeniowe, struktura i tekstura skały. Pojęcie struktury, w odniesieniu do skał magmowych, dotyczy: a) stopnia wykryształizowania składników mineralnych z magmy, b) wielkości poszczególnych składników, c) stopnia prawidłowości ich wykształcenia. Pojęcie tekstury skały odnosi się z kolei do: a) sposobu rozmieszczenia i ułożenia składników, b) stopnia wypełnienia przestrzeni przez poszczególne składniki skały [4].

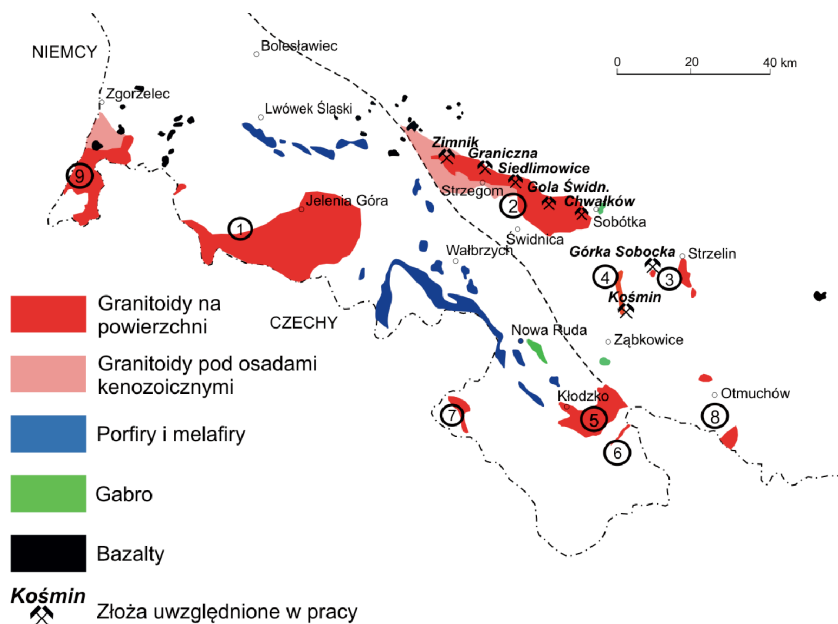
Charakterystyka granitoidów dolnośląskich

Terminem *granitoidy* określa się zespół skał, który w uproszczonym podziale petrograficznym skał głębinowych reprezentowany jest przez granity alkaliczno-skalenio-we, granity, granodioryty i tonality. Głównymi składnikami

mineralnymi, decydującymi o przynależności systematycznej są: kwarc, skalenie alkaliczne i plagioklasy. Spośród pozostałych składników najpospolitszy jest biotyt, rzadsze muskowit i amfibole. Najważniejsze minerały poboczne to cyrkon, apatyt, tytanit, ilmenit, monacyt, chloryt [1, 4, 7].

Na Dolnym Śląsku i Opolszczyźnie granitoidy odznaczają się na obszarze Sudetów i Przedgórz Sudeckiego (rys. 1). Jednostkami zbudowanymi z granitoidów są: masyw karkonoski, masyw Strzegom-Sobótka, masyw kłodzko-złotostocki i masyw Kudowa-Oleśnice oraz masyw Żulowej. Intruzje granitoidowe występują także na obszarze masywu strzelińskiego, strefy Niemczy, strefy Złoty Stok – Skrzynka i bloku łużyckiego koło Zgorzelca [2, 5].

W województwie dolnośląskim udokumentowano ok. 80 złóż granitoidów (głównie granitów, w mniejszym stopniu granodiorytów), z tego w 2011 r. eksploatowano aż 45 [8]. Największe gospodarcze znaczenie mają surowce z masywu Strzegom-Sobótka i masywu strzelińskiego. Na znacznie mniejszą skalę eksploatuje się skały okolic Niemczy i Szklarskiej Poręby.



Rys. 1. Wystąpienia granitoidów i innych skał magmowych w Sudetach i na Przedgórz Sudeckim (wg [6] – zmienione) z zaznaczonymi kopalniami uwzględnionymi w artykule; Intruzje granitoidowe: 1 – masyw karkonoski, 2 – masyw Strzegom-Sobótka, 3 – granitoidy masywu strzelińskiego, 4 – granitoidy strefy Niemczy (tzw. sjenity niemczańskie), 5 – masyw kłodzko-złotostocki, 6 – granitoidy strefy Złoty Stok – Skrzynka (granitoidy jawornickie), 7 – masyw Kudowa-Oleśnice, 8 – masyw Żulowej, 9 – granitoidy bloku łużyckiego (granitoidy zawidowskie i rumburskie)

Metodyka badań

Do celów porównawczych wybrano takie parametry fizyczno-mechaniczne kruszyw, które wykazują największy związek z cechami wykształcenia skał: nasiąkliwość, mrozoodporność, odporność na rozdrabnianie, odporność na ścieranie. Badania te poprzedzono analizą petrograficzną surowca oraz kruszyw. Każda z próbek laboratoryjnych zawierała nie więcej niż 10%(v/v) ziaren zwietrzałych. Jedynie w przypadku kruszywa z Goli Świdnickiej i Chwałkowa badania wykonano dodatkowo na 4 próbkach materiału o przeważającym udziale ziaren zwietrzałych.

Właściwości technologiczne zbadano na kruszywach pochodzących z 7 złóż (reprezentujących trzy odrębne jednostki geologiczne: masyw Strzegom-Sobótka, masyw strzeliński, strefę Niemczy) (rysunek1), obejmujących granit biotytowy (Graniczna), granity dwuluszczkowe (Siedlimowice, Górka Sobocka), leukogranit biotytowy i granit hornblendowo-biotytowy (Zimnik), jasne granodioryty biotytowe (Chwałków, Gola Świdnicka) i granodioryt (Kośmin). Z materiału tego przygotowano próbki analityczne do konkretnych badań. Analizy odporności na rozdrabnianie i ścieranie wykonano łącznie na 39 próbkach (po 5-7 próbek z każdego złoża), natomiast do badań nasiąkliwości i mrozoodporności wykorzystano 30 próbek (3-7 próbek z każdego złoża), (tabela 2., 3.).

Większość badań parametrów fizyczno-mechanicznych wykonano na wymaganych przez odpowiednie normy frakcjach¹ odsianych z kruszywa grubego o uziarnieniu 8/16 mm. Jedynie w przypadku materiału zwietrzałego z Goli Świdnickiej i Chwałkowa wymagane frakcje uzyskano z kruszywa o uziarnieniu ciągłym 0/31,5 mm.

Petrograficzną charakterystykę surowca skalnego przeprowadzono na reprezentatywnych próbkach, uwzględniających petrograficzną i mineralogiczną zmienność złoża. W przypadku złóż Chwałków i Gola Świdnicka pobrano dodatkowo próbki skał zwietrzałych. W pierwszej kolejności wykonano makroskopowy opis cech surowca, uwzględniając przede wszystkim jego strukturę i teksturę oraz obecność zmian wietrzeniowych. Szczegółowy opis, obejmujący rodzaj i zawartość procentową składników skały, wykonano na płytkach cienkich przy użyciu petrograficznego mikroskopu polaryzacyjnego. Równocześnie przeprowadzono charakterystykę próbek kruszywa pod kątem ich zmienności petrograficznej i zawartości ziaren zwietrzałych.

Badanie nasiąkliwości wykonano zgodnie z normą [11]. Nasiąkliwość rozumiana jest jako przyrost masy po 24 godzinach zanurzenia kruszywa w wodzie destylowanej, wyrażony w % (m/m).

Mrozoodporność oznaczono według normy [9]. Parametr ten określa procentowy (%m/m) ubytek masy początkowej próbki po poddaniu jej cyklicznemu zamrażaniu i odmrażaniu oraz przesianiu jej przez odpowiednie sito kontrolne [9].

Odporność na rozdrabnianie oznaczono zgodnie z normą [10], z zastosowaniem bębna Los Angeles. Cecha ta rozumiana jest jako część masy próbki analitycznej (podana w %m/m),

¹ Uwaga redakcji: Normy [13, 14 i 15] nie przewidują pojęcia „frakcja kruszywa, lecz „wymiar kruszywa”

która po zakończeniu badania przeszła przez sito kontrolne o oczku 1,6 mm. Do badania użyto frakcji 10/14 mm.

Odporność na ścieranie określono wg procedury zawartej w normie [9], przy użyciu urządzenia typu mikro-Deval (metoda „na mokro”). Parametr ten określa procentowy (%m/m) ubytek początkowej masy próbki (o uziarnieniu 10/14 mm) w czasie jej ścierania i po przesianiu przez sito kontrolne o oczku 1,6 mm.

Wyniki badań petrograficznych

Wśród przebadanych próbek z poszczególnych złóż opisano łącznie 9 odmian litologicznych (tabela1), które generalnie zaklasyfikować można do granitów i granodiorytów:

1. Zimnik – dwie odmiany: a) leukogranit biotytowy o strukturze drobnokrystalicznej i teksturze bezładnej, masywnej; przedrostek *leuko-* podkreśla niską (< 5%v/v) zawartość minerałów ciemnych; b) granit hornblendowo-biotytowy o strukturze średniokrystalicznej i teksturze masywnej, bezładnej; 2. Graniczna: granit biotytowy o strukturze średniokrystalicznej, miejscami lekko porfirowatej i teksturze bezładnej, masywnej; 3. Siedlimowice – dwie odmiany: a) drobnokrystaliczny leukogranit biotytowo-muskowitowy o strukturze bezładnej, masywnej, b) średniokrystaliczny leukogranit biotytowo-muskowitowy o strukturze kierunkowej, masywnej; 4. Gola Świdnicka: średniokrystaliczny granodioryt biotytowy o strukturze bezładnej, masywnej; 5. Chwałków: średniokrystaliczny granodioryt biotytowy o strukturze kierunkowej, masywnej; 6. Górka Sobocka: drobnokrystaliczny granit muskowitowo-biotytowy o strukturze bezładnej i masywnej; 7. Kośmin: granodioryt biotytowy o strukturze nierównokrystalicznej, porfirowatej (związanej z obecnością większych porfirokryształów skałeni alkalicznych w średniokrystalicznym tle skalnym) i teksturze wyraźnie kierunkowej, masywnej.

Jako osobne próbki potraktowano granodioryty biotytowe o znacznym stopniu zwietrzenia ze złóż Gola Świdnicka i Chwałków (tabela 1). Makroskopowo skały te mają barwę brązową lub żółtobrunatną, związaną z utlenianiem się Fe²⁺ (obecnym np. w biotycie, magnetycie i siarczku) i wytrącaniem się wodorotlenków Fe³⁺ (goethyt, limonit). Zwraca też uwagę znaczne zmatowienie i spękanie kwarcu oraz skałeni. Te ostatnie mogą być dodatkowo skałinityzowane. Procesom tym towarzyszy zmniejszenie zwięzłości skały. Zjawiska wietrzeniowe dotyczą głównie surowca z partii stropowych złóż oraz ze stref przylegających do spękań ciosowych lub stref nieciągłości tektonicznych. Udział ziaren zwietrzałych w tych próbkach wyniósł 60%(v/v) w przypadku Goli Świdnickiej i 70%(v/v) w przypadku Chwałkowa. Stopień zwietrzenia poszczególnych ziaren był zróżnicowany.

Szczegółowy skład mineralny badanych skał opracowany w oparciu o analizę mikroskopową przedstawiono w tabeli 1.

Niejednorodność petrograficzna stwierdzona w złożach Zimnik i Siedlimowice przekłada się także na charakter próbek kruszywa z tych lokalizacji. Probki z Zimnika *Zim 1* i *Zim 4* reprezentują mieszaninę ziaren leukogranitu drobnokrystalicznego (ok. 40%v/v ziaren) i granitu średniokrystalicznego (ok. 60%v/v ziaren); pozostałe wybrane do badań próbki z Zimnika (*Zim 2,3,5*) są bardziej jednolite, z wyraźną domina-

Tabela 1. Skład mineralny granitoidów ze złóż uwzględnionych w badaniach

Złoże	Odmiana mineralogiczna	Struktura, tekstura	Skład mineralny [% (v/v)]														
			Kwarc	Plagioklaz	Skaleń potasowy	Biotyt	Muskowit	Serycyt	Hornblenda	Chloryt	Cyrkon	Apatyt, monacyt	Granat	Klinozoisyt i epidot	Tytanit	Goethyt, limonit	Minerały rudne
Zimnik I	leukogranit biotytowy	drobno-kryształiczna, bezładna	33,0	34,7	29,1	1,9	–	–	–	1,00	0,05	0,03	–	0,08	–	–	0,14
	granit hornblendowo-biotytowy	średnio-kryształiczna, bezładna	30,2	30,6	33,2	4,1	–	–	1,3	0,48	0,02	0,02	–	–	–	–	0,10
Graniczna	granit biotytowy	średnio-kryształiczna, bezładna	30,4	33,9	29,9	4,3	0,8	–	–	0,20	0,07	0,15	–	0,10	0,02	–	0,20
Siedlimowice I	leukogranit biotyto-muskowitowy	drobno-kryształiczna, bezładna	33,9	30,5	26,4	4,0	4,1	0,62	–	0,18	0,04	0,12	0,01	0,10	–	0,02	0,04
	leukogranit biotyto-muskowitowy	średnio-kryształiczna, kierunkowa	34,8	29,1	27,2	3,6	4,8	0,08	–	0,21	0,03	0,08	0,03	–	–	–	0,07
Gola Świdnicka	granodioryt biotytowy	średnio-kryształiczna, bezładna	28,1	46,3	15,3	9,3	–	0,04	–	0,63	0,06	–	–	0,04	0,14	–	0,10
Gola Świdnicka	granodioryt biotytowy – zwietrzały	średnio-kryształiczna, bezładna	29,7	44,1	14,6	3,0	–	0,04	–	5,01	0,04	–	–	–	–	2,12	1,40
Chwałków I	granodioryt biotytowy	średnio-kryształiczna, kierunkowa	29,1	46,2	14,3	8,2	–	0,04	–	2,00	0,01	0,08	–	–	–	–	0,11
Chwałków I	granodioryt biotytowy – zwietrzały	średnio-kryształiczna, kierunkowa do bezładnej	30,3	44,4	13,4	2,2	–	–	–	4,52	0,02	0,07	–	–	–	3,80	1,26
Górka Sobocka	granit muskowitowo-biotytowy	drobno-kryształiczna, bezładna	35,9	33,0	21,9	5,6	3,1	–	–	–	0,11	0,22	–	–	–	0,02	0,11
Kośmin	granodioryt biotytowy	porfirowata, kierunkowa	20,4	41,1	16,2	15,8	–	–	4,5	0,83	0,11	0,11	–	–	0,11	–	0,84

cją odmiany drobnokryształicznej (80-85%v/v ziaren). W przypadku kopalni Siedlimowice próbka *Sied 3* składa się głównie z odmiany drobnokryształicznej, bezładnej (70%v/v ziaren). W pozostałych próbkach przeważają ziarna granitu średnio-kryształicznego o teksturze kierunkowej (75–85%v/v ziaren).

Wyniki badań kruszyw

Wyniki badań właściwości technologicznych kruszyw zestawiono w tabeli 2 (nasiąkliwość i mrozoodporność) i tabeli 3 (odporność na rozdrabnianie i odporność na ścieranie). Analiza otrzymanych danych pozwoliła na określenie kilku istotnych związków między petrografią surowca a parametrami kruszyw.

Najistotniejszy czynnik petrograficzny, radykalnie wpływający na jakość materiału skalnego, stanowią zmiany wietrze-

niowe. Kruszywa o udziale ziaren zwietrzałych na poziomie 60-70%(v/v), reprezentujące złoża Gola Świdnicka i Chwałków (próbki *GoŚ-zw 1-2* i *Chw-zw 1-2*), charakteryzują się najgorszymi parametrami. Biorąc pod uwagę średnie z uzyskanych wartości, w kruszywach zwietrzałych stwierdzono wzrost nasiąkliwości o 360% (Gola Świdnicka) i 320% (Chwałków), pogorszenie mrozoodporności – odpowiednio – o 300% i 330%, odporności na rozdrabnianie o 180% (w obu przypadkach), odporności na ścieranie o 260% i 250%.

Drugą tendencją zaznaczającą się po przeanalizowaniu wyników badań jest wzrost wytrzymałości na rozdrabnianie i ścieranie wraz ze zmniejszaniem się wielkości składników mineralnych w skale. Średnie wyniki z badań Los Angeles (LA) uzyskane dla kruszyw z odmian drobnokryształicznych leukogranitu z Zimnika (próbki *Zim 2, 3, 5*) oraz granitu dwutęszczykowego z Górki Sobockiej (próbki *Gor 1-5*) wynoszą odpowiednio 27%(m/m) i 29%(m/m), natomiast z badań me-

tołą mikro-Devala (M_{DE}) – 9%(m/m) dla obu kruszyw. Z kolei próbki *Zim 1* i *Zim 4*, w których znajdowała się największa domieszka granitu średniokrystalicznego, cechują się najgorszą odpornością na rozdrabnianie i ścieranie. Podobną zależność stwierdzono w przypadku materiału z Siedlimowic. Próbką *Sied 3* ze znaczną domieszką granitu drobnokrystalicznego charakteryzuje się najwyższą odpornością na rozdrabnianie (LA – 30%/m) i ścieranie (M_{DE} – 13%/m) w porównaniu do próbek z dominacją odmiany średniokrystalicznej (średnio LA – 37%/m i M_{DE} – 19%/m). Kruszywa z pozostałych odmian średniokrystalicznych granitoidów wykazują średnie wartości wskaźnika LA na poziomie 31–36% (m/m) i M_{DE} na poziomie 11–15%(m/m). Najniższymi parametrami wytrzymałościowymi charakteryzuje się granodioryt z Kościna (średnio: LA – 36%/m i M_{DE} – 15%/m), co może

być związane m.in. z wyraźną strukturą porfirowatą. Duże, kilkucentymetrowe porfirokryształy plagioklazów powodują zwiększenie średniej wielkości składników skały, co negatywnie odbija się na jakości kruszywa.

Drobnokrystaliczność struktury skały koreluje się także wyraźnie ze stosunkowo niską nasiąkliwością. Średnia nasiąkliwość kruszywa z Zimnika to 0,3%(m/m), a z Górki Sobockiej – 0,8%(m/m). Dla kruszywa z Siedlimowic z dominacją odmiany drobnokrystalicznej (próbka *Sied 3*) uzyskano nasiąkliwość 0,7%(m/m), przy średniej 1,0%(m/m) dla odmiany średniokrystalicznej (próbki *Sied 1,2*). W przypadku pozostałych kruszyw nasiąkliwości określono na poziomie 1,0–1,3%(m/m).

Kruszywa o najmniejszej porowatości, złożone z odmian drobnokrystalicznych, charakteryzują się także najwyższą

Tabela 2. Wyniki badań nasiąkliwości i mrozoodporności oraz kategorie wg PN-EN 12620, 13043 i 13242

Złoże	Symbol próbki	Nasiąkliwość			Mrozoodporność			
		Wynik [% (m/m)]	Kat. wg PN-EN 13043	Kat. wg PN-EN 13242	Wynik [% (m/m)]	Kat. wg PN-EN 12620	Kat. wg PN-EN 13043	Kat. wg PN-EN 13242
Zimnik I	Zim 1	0,5	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,7	F ₁	F ₁	F ₁
	Zim 2	0,1	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,1	F ₁	F ₁	F ₁
	Zim 3	0,2	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,1	F ₁	F ₁	F ₁
Graniczna	Gran 1	1,0	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,7	F ₁	F ₁	F ₁
	Gran 2	1,1	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	1,2	F ₂	F ₂	F ₂
	Gran 3	0,9	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,7	F ₁	F ₁	F ₁
Siedlimowice I	Sied 1	1,0	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	1,0	F ₁	F ₁	F ₁
	Sied 2	0,9	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,9	F ₁	F ₁	F ₁
	Sied 3	0,7	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,8	F ₁	F ₁	F ₁
	Sied 4	1,2	WA ₂₄ 2	WA ₂₄ 2	1,0	F ₁	F ₁	F ₁
Gola Świdnicka	GoŚ 1	1,1	WA ₂₄ 2	WA ₂₄ 2	0,8	F ₁	F ₁	F ₁
	GoŚ 2	0,8	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,5	F ₁	F ₁	F ₁
	GoŚ 3	1,0	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,9	F ₁	F ₁	F ₁
Gola Świdnicka (zwietrzały)	GoŚ-zw 1	2,4	poza kat.	poza kat.	2,8	F ₄	F ₄	F ₄
	GoŚ-zw 2	3,4	poza kat.	poza kat.	3,2	F ₄	F ₄	F ₄
Chwałków I	Chw 1	1,3	WA ₂₄ 2	WA ₂₄ 2	0,8	F ₁	F ₁	F ₁
	Chw 2	0,9	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	1,0	F ₁	F ₁	F ₁
	Chw 3	1,0	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,9	F ₁	F ₁	F ₁
	Chw 4	1,1	WA ₂₄ 2	WA ₂₄ 2	1,2	F ₂	F ₂	F ₂
	Chw 5	1,1	WA ₂₄ 2	WA ₂₄ 2	0,8	F ₁	F ₁	F ₁
Chwałków I (zwietrzały)	Chw-zw 1	3,8	poza kat.	poza kat.	4,1	F _{dekl.}	F _{dekl.}	F _{dekl.}
	Chw-zw 2	2,7	poza kat.	poza kat.	3,4	F ₄	F ₄	F ₄
Górka Sobocka	Gor 1	0,8	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,8	F ₁	F ₁	F ₁
	Gor 2	0,8	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	1,0	F ₁	F ₁	F ₁
	Gor 3	0,7	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,3	F ₁	F ₁	F ₁
Kościna	Kos 1	1,5	WA ₂₄ 2	WA ₂₄ 2	1,1	F ₂	F ₂	F ₂
	Kos 2	1,6	WA ₂₄ 2	WA ₂₄ 2	1,4	F ₂	F ₂	F ₂
	Kos 3	1,1	WA ₂₄ 2	WA ₂₄ 2	0,4	F ₁	F ₁	F ₁
	Kos 4	1,0	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	0,4	F ₁	F ₁	F ₁
	Kos 5	1,5	WA ₂₄ 2	WA ₂₄ 2	0,7	F ₁	F ₁	F ₁

mrozoodpornością (Zimnik – średnio 0,3%/m, Górka Sobocka – średnio 0,7%/m, Siedlimowice, próbka Sied 3 – z przewagą granitu drobnokrystalicznego – 0,8%/m). Dla odmian średniokrystalicznych otrzymano wyniki rzędu 0,9-

1,0%/m (z wyjątkiem Goli Świdnickiej – średnio 0,7%/m).

Na podstawie analizy uzyskanych wyników nie można stwierdzić jednoznacznie, jaki wpływ na jakość kruszyw ma kierunkowa tekstura skały. Jeżeli taki związek istnieje, w przy-

Tabela 3. Wyniki badań odporności na rozdrabnianie i odporności na ścieranie oraz kategorie wg PN-EN 12620, 13043 oraz 13242.

Kopalnia	Symbol próbki	Odporność na rozdrabnianie			Odporność na ścieranie				
		Wynik [% (m/m)]	Kat. wg PN-EN 12620	Kat. wg PN-EN 13043	Kat. wg PN-EN 13242	Wynik [% (m/m)]	Kat. wg PN-EN 12620	Kat. wg PN-EN 13043	Kat. wg PN-EN 13242
Zimnik I	Zim 1	31	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	11	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Zim 2	24	LA ₂₅	LA ₂₅	LA ₂₅	9	M _{DE} 10	M _{DE} 10	M _{DE} 20
	Zim 3	25	LA ₂₅	LA ₂₅	LA ₂₅	9	M _{DE} 10	M _{DE} 10	M _{DE} 20
	Zim 4	30	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀	9	M _{DE} 10	M _{DE} 10	M _{DE} 20
	Zim 5	25	LA ₂₅	LA ₂₅	LA ₂₅	8	M _{DE} 10	M _{DE} 10	M _{DE} 20
Graniczna	Gran 1	34	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	11	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Gran 2	40	LA ₄₀	LA ₄₀	LA ₄₀	15	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Gran 3	35	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	11	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Gran 4	35	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	11	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Gran 5	34	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	12	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
Siedlimowice I	Sied 1	38	LA ₄₀	LA ₄₀	LA ₄₀	14	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Sied 2	34	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	14	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Sied 3	30	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀	13	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Sied 4	40	LA ₄₀	LA ₄₀	LA ₄₀	15	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Sied 5	37	LA ₄₀	LA ₄₀	LA ₄₀	14	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
Gola Świdnicka	GoŚ 1	30	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀	10	M _{DE} 10	M _{DE} 10	M _{DE} 20
	GoŚ 2	34	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	11	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	GoŚ 3	30	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀	12	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	GoŚ 4	31	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	11	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	GoŚ 5	30	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀	11	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
Gola Świdnicka (zwierzały)	GoŚ-zw 1	54	LA _{dekl.}	LA _{dekl.}	LA ₆₀	29	M _{DE} 35	M _{DE} 35	M _{DE} 35
	GoŚ-zw 2	56	LA _{dekl.}	LA _{dekl.}	LA ₆₀	28	M _{DE} 35	M _{DE} 35	M _{DE} 35
Chwałków I	Chw 1	31	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	11	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Chw 2	32	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	11	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Chw 3	35	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	12	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Chw 4	35	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	12	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Chw 5	32	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	12	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
Chwałków I (zwierzały)	Chw-zw 1	59	LA _{dekl.}	LA _{dekl.}	LA ₆₀	31	M _{DE} 35	M _{DE} 35	M _{DE} 35
	Chw-zw 2	50	LA ₅₀	LA ₅₀	LA ₅₀	27	M _{DE} 35	M _{DE} 35	M _{DE} 35
Górka Sobocka	Gor 1	32	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	9	M _{DE} 10	M _{DE} 10	M _{DE} 20
	Gor 2	27	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀	9	M _{DE} 10	M _{DE} 10	M _{DE} 20
	Gor 3	26	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀	9	M _{DE} 10	M _{DE} 10	M _{DE} 20
	Gor 4	34	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	10	M _{DE} 10	M _{DE} 10	M _{DE} 20
	Gor 5	25	LA ₂₅	LA ₂₅	LA ₂₅	9	M _{DE} 10	M _{DE} 10	M _{DE} 20
Kośmin	Kos 1	37	LA ₄₀	LA ₄₀	LA ₄₀	16	M _{DE} 20	M _{DE} 20	M _{DE} 20
	Kos 2	40	LA ₄₀	LA ₄₀	LA ₄₀	14	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Kos 3	30	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀	14	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Kos 4	25	LA ₂₅	LA ₂₅	LA ₂₅	17	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20
	Kos 5	35	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₅	13	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20

padku badanych materiałów jest on niewielki. Porównując zbliżone składem granodiority biotytowe z Goli Świdnickiej (tekstura beżadna) i Chwałkowa (tekstura kierunkowa), nieznacznie lepsze parametry (wartości średnie) uzyskano dla tego pierwszego. Problem wpływu rodzaju tekstury skały na parametry technologiczne kruszywa wymaga dalszych badań na większej liczbie próbek.

Wyraźny jest wpływ składu mineralnego na parametry technologiczne kruszywa. Niekorzystna wydaje się większa zawartość łuszczyków (biotytu, muskowitu), co daje się prześledzić na przykładzie dwóch skał drobnokrystalicznych: uboższego w łuszczyki (ok. 2%v/v biotytu) leukogranitu z Zimnika oraz dwułuszczykowego granitu z Górki Sobockiej (ok. 9%v/v biotytu i muskowitu). Wśród granitoidów średniokrystalicznych najgorsze parametry fizyczno-mechaniczne wykazał granodioryt z Koźmina o zawartości biotytu wynoszącej ok. 16%v/v (w pozostałych skałach średniokrystalicznych, niezwiertzałych, łączną zawartość łuszczyków ustalono na poziomie 4-9%v/v). W tym przypadku jednak dużą rolę odgrywać może także wspomniana już porfirowata struktura granodiorytu.

Wydaje się także, że jakość technologiczna kruszywa jest korzystniejsza przy niższym udziale skaleni potasowych w skale; wynika to z porównania właściwości średniokrystalicznych granodiorytów biotytowych z Goli Świdnickiej i Chwałkowa (ok. 14-15%v/v K-skaleni) ze średniokrystalicznym granitem biotytowym z Granicznej (ok. 30%v/v K-skaleni) i średniokrystalicznym granitem dwułuszczykowym z Siedlimowic (ok. 27%v/v K-skaleni). Najniższym udziałem skaleni potasowych charakteryzuje się granodioryt z Koźmina (ok. 16%v/v), co jednak nie determinuje dobrych parametrów z przyczyn, o których była już mowa wyżej.

W odniesieniu do kategorii wymagań zawartych w [13, 14 i 15] badane kruszywa wykazują dużą niejednorodność (tabela 2 oraz 3). Najbardziej zróżnicowane są pod względem odporności na rozdrabnianie, reprezentując kategorie LA₂₅, LA₃₀, LA₃₅, LA₄₀ i LA_{deklarowana} (lub LA₆₀ wg PN-EN 13242). Pod względem odporności na ścieranie badane kruszywa mieszczą się w kategoriach M_{DE}10, M_{DE}15, M_{DE}35 wg PN-EN 12620 i 13043 oraz M_{DE}20 i M_{DE}35 wg PN-EN 13242; a na podstawie nasiąkliwości klasyfikują się do kategorii WA₂₄1, WA₂₄2 oraz poza kategorią (kruszywa zwiertzałe); pod względem mrozoodporności analizowane kruszywa można przypisać do kategorii F₁, F₂, F₄ i F_{deklarowana}.

Wnioski

1. Istnieje wyraźna zależność badanych właściwości fizyczno-mechanicznych kruszyw granitoidowych (nasiąkliwości, mrozoodporności, odporności na rozdrabnianie, odporności na ścieranie) od cech petrograficznych (struktura, skład mineralogiczny zmiany wietrzeniowe) tych kruszyw.

2. Duży udział ziaren objętych procesami wietrzeniowymi znacząco pogarsza jakość kruszywa, co objawia się przede wszystkim kilkukrotnym wzrostem nasiąkliwości, spadkiem mrozoodporności, odporności na rozdrabnianie i odporności na ścieranie. Stopień pogorszenia parametrów fizyczno-mechanicznych zależy głównie od ilości ziaren zwiertzałych w kruszywie.

3. Kruszywa z granitów drobnokrystalicznych cechują się najlepszą odpornością na rozdrabnianie i ścieranie, mrozoodpornością oraz najmniejszą nasiąkliwością.

4. Wyższa zawartość łuszczyków (biotytu, muskowitu) oraz większy udział skaleni potasowych w surowcu granitoidowym negatywnie wpływa na jakość kruszywa.

5. Bardzo wyraźna struktura porfirowata powoduje zwiększenie średniego wymiaru ziaren składników skały, co negatywnie wpływa na ogólną jakość kruszywa.

6. Wpływ tekstury kierunkowej skały na właściwości kruszyw granitoidowych nie jest jednoznaczny. Problem ten wymaga dodatkowych badań.

7. W odniesieniu do klasyfikacyjnych kategorii wymagań zawartych w normach PN-EN 12620, 13043 i 13242 badane kruszywa wykazują znaczne zróżnicowanie, co może mieć decydujące znaczenie przy wykorzystaniu lub odrzuceniu kruszyw granitoidowych do budowy warstw konstrukcji nawierzchni.

Artykuł powstał na podstawie pracy dyplomowej zrealizowanej w ramach Studiów Podyplomowych „Technologia Budowy Dróg” na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej.

Bibliografia

- [1] A. Bolewski, W. Parachoniak, *Petrografia*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1982
- [2] J. Fabiszewski (red.), *Przyroda Dolnego Śląska*. Polska Akademia Nauk we Wrocławiu, Wrocław 2005
- [3] A. Karwacki, *Petrograficzne podstawy zróżnicowania własności technicznych granitoidów masywu Strzegom-Sobótka*. Zeszyty Naukowe AGH – Geologia, t.6, z. 1. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1980
- [4] A. Majerowicz, B. Wierchołowski, *Petrologia skał magmowych*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1990
- [5] S. Mazur, P. Aleksandrowski, K. Turniak, M. Awdankiewicz, *Geology, tectonic evolution and Late Paleozoic magmatism of Sudetes – an overview*. [w:] A. Kozłowski, J. Wiszniewska (red.), *Granitoids in Poland*. AM Monograph No 1. Faculty of Geology of Warsaw University, Warszawa 2007
- [6] R. Ney (red.) *Surowce skalne. Kruszywa mineralne*. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2007
- [7] W. Ryka, A. Maliszewska, *Słownik petrograficzny*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1982
- [8] M. Szufflicki, A. Malon, M. Tymiński (red.) *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31. XII 2011 r.* Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2012
- [9] PN-EN 1097-1: 2011 – Badanie mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Oznaczanie odporności na ścieranie
- [10] PN-EN 1097-2: 2010 – Badanie mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie
- [11] PN-EN 1097-6: 2002 – Badanie mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 6: Oznaczanie gęstości ziaren i nasiąkliwości
- [12] PN-EN 1367-1: 2007 – Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych – Część 1: Oznaczanie mrozoodporności
- [13] PN-EN 12620 + A1: 2010 – Kruszywa do betonu
- [14] PN-EN 13043: 2004 – Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwardzeń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu
- [15] PN-EN 13242: 2004 – Kruszywa do niezwiązanych i hydraulicznie związanych materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym ■