

MAREK REMBIŚ\*

## **Mineralno-teksturalna zmienność wybranych skał bazaltowych Dolnego Śląska i jej rola w kształtowaniu fizyczno-mechanicznych właściwości produkowanych kruszyw**

### **Wprowadzenie**

Kruszywa bazaltowe są tradycyjnie jednymi z najbardziej cenionych wyrobów używanych w różnych dziedzinach przemysłu budowlanego. Między innymi powszechnie wykorzystywane są do produkcji betonu, mieszanek bitumicznych, stosowanych w powierzchniach przeznaczonych do ruchu oraz niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w budownictwie. Ich przydatność do wspomnianych zastosowań wynika głównie z dużej odporności na czynniki niszczące, np. ścieranie, rozdrabnianie, czy też oddziaływanie składników klimatu i wyrażona jest odpowiednimi kategoriami, zawartymi w normach PN-EN 12620: 2008, PN-EN 13043: 2004 i PN-EN 13242: 2008. Niejednokrotnie poszczególne partie kruszywa bazaltowego, pozyskiwane z różnych części tego samego złoża, odpowiadają odmiennym kategoriom charakteryzującym poziom wymagań stawianych przez normy. Zmienność ta wynika ze zróżnicowania właściwości fizyczno-mechanicznych kopaliny, która cechuje się różnorodnością teksturalną i mineralną oraz różnym zakresem rozwoju procesów wietrzeniowych zachodzących w jej obrębie, co w niniejszej pracy omówiono na przykładzie bazaltoidów pochodzących z pięciu wybranych złóż z obszaru Dolnego Śląska. Powiązanie wielkości parametrów technicznych kruszywa z litologią kopaliny, z której ono powstało, może stanowić podstawę do działań związanych z kształtowaniem jakości produkowanych wyrobów. Zagadnienie to rozważano koncentrując się na bazaltoidach reprezentujących jedno z opisywanych złóż. Uzyskane wyniki

---

\* Dr, AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Geologii Złożowej i Górniczej, Kraków; e-mail: mrembis@geol.agh.edu.pl

badania mogą być odnoszone także do innych skał bazaltowych wykazujących podobną litologię.

### 1. Materiał badawczy i metodyka badań

Bazaltoidy dolnośląskie występują w trzech głównych obszarach nazywanych koncentracjami bazaltowymi (Cwojdziański, Jodłowski 1982). Odznaczają się zróżnicowaniem petrograficznym, omówionym w licznych pracach (np. Birkenmajer 1967; Kozłowska-Koch 1987; Wierchołowski 1993; Lucińska-Anczkiewicz, Michalik 1996; Łatkiewicz i in. 2002; Awdankiewicz 2004; Badura, Przybylski 2004; Ladenberger i in. 2004, 2005; Matusiak, Puziewicz 2005; Badura i in. 2006; Ladenberger i in. 2006; Puziewicz, Jaźwa 2006; Zych-Habel i in. 2008), reprezentując głównie tefryty i bazanity, rzadziej foidyty, bazalty i sporadycznie trachybazalty oraz budują różne formy intruzywne (Cwojdziański, Jodłowski 1982; Birkenmajer, Pécskay 2002; Birkenmajer i in. 2002a i b, 2004a i b, 2007). Większość bazaltoidów dolnośląskich wywodzi się z magm utworzonych w górnym płaszczu, które ulegały szybkiemu wznoszeniu i nie zdążyły ulec dyferencjacji (Badura i in. 2006). Wyniki datowań radiometrycznych bazaltoidów (Birkenmajer i in. 2004a i b) wykazały istnienie dwóch okresów intensywnej aktywności wulkanicznej zachodzącej w późnym oligocenie (z kulminacją na około 27 Ma) i we wczesnym miocenie (z kulminacją na około 20 Ma). Badania Badury i in. (2006) wskazują, że najstarszy etap wulkanizmu może przypadać nawet na paleocen i eocen (65–33,9 Ma). Ponadto w okolicach Łądka Zdroju Birkenmajer i in. (2002a) ujawnili istnienie najmłodszego epizodu wulkanicznego datowanego na 5,46–3,86 Ma.

W niniejszej pracy do analizy wytypowano pięć aktualnie eksploatowanych złóż reprezentujących poszczególne obszary, a także różnorodne formy występowania zróżnicowanych petrograficznie bazaltoidów. Pobrane w nich próbki – o łącznej liczbie 45 – poddano badaniom makroskopowym i mikroskopowym, na podstawie których wyróżniono pięć odmian teksturalnych, zróżnicowanych głównie pod względem ilości występujących w skale fenokryształów (zdefiniowanych jako kryształy o rozmiarach powyżej 0,125 mm), a także o różnym stopniu spójności masy skalnej. Przyjęto następujące określenia wydzielonych odmian: afanitowa, afanitowo-porfirowa, porfirowo-afanitowa, porfirowo-gruzłowa oraz gruzłowo-porfirowa, czyli tak zwany „bazalt ze zgorzelą”. Ostatnia z wymienionych odmian – z racji swoich bardzo słabych właściwości fizyczno-mechanicznych – uważana jest za odpad i z tego powodu w dalszej części pracy nie była uwzględniana.

Z koncentracji bazaltowej Żytawa-Zgorzelec-Lubań wybrano skały ze złoża Rębiszów-Kłopotno. W jego zachodniej części występuje strefa kominowa, od której w kierunku wschodnim i zachodnim odchodzą dwa potoki lawowe (Adamczyk, Derewecki 2004; Adamczyk 2008). Próbkę do badań reprezentującą odmianę porfirowo-afanitową pobrano w pobliżu strefy kominowej, w zachodniej części wyrobiska, natomiast odmianę afanitowo-porfirową w jego części północno-wschodniej.

Formę wylewu posiada natomiast złoże Jawor-Męcinka (Borek, Kautzki 1977; Puziewicz, Jaźwa 2006) wybrane z rejonu Legnica-Jawor-Złotoryja. W obrębie tego złoża obecne są dwa potoki lawowe rozdzielone poziomem utworów piroklastycznych. Próbki bazaltoidów odmiany afanitowej pobrano w południowej części wyrobiska w obrębie górnej części pokrywy lawowej, natomiast reprezentujące odmianę afanitowo-porfirową w obrębie jej niższej części. Do tego samego obszaru należą także złoże Krzeniów i Wilcza Góra, których utwory, w odróżnieniu od poprzednio wymienionego złoża, rozwinęły się w obrębie pni i czopów wulkanicznych (Mężyk 1961; Krzyśków 1986). W złożu Krzeniów lava bazaltoidowa wydostawała się przez komin wulkaniczny usytuowany w południowo-środkowej części złoża, a następnie wylewała się w kierunku północnym i zachodnim. Próbki bazaltoidów o teksturze afanitowo-porfirowej i porfirowo-afanitowej pobrano w części kominowej, natomiast reprezentujące odmianę porfirowo-gruzłową w części przykominowej, w północno-wschodnim fragmencie wyrobiska. W złożu Wilcza Góra zaznacza się kilka okresów działalności wulkanu. W wyniku krzepnięcia lawy z następujących kolejno po sobie faz erupcyjnych (Śliwa 1971) średnica komina wulkanicznego uległa zmniejszeniu, a w części wierzchołkowej krateru utworzyła się pokrywa lawowa (Smulikowski, Kozłowska-Koch 1984). Z części południowo zachodniej złoża z poziomu II wyrobiska eksploatacyjnego pobrane zostały próbki bazaltoidów o teksturze afanitowo-porfirowej.

Trzeci rejon Strzelin-Ziębice reprezentowany jest przez złoże Targowica, w którym wystąpienie bazaltów ma formę wylewu o kształcie elipsy wydłużonej w kierunku SW-NE (Siembach 1967; Birkenmajer i in. 2004b). Złoże stanowi południową część potoku lawowego, którego strefa kominowa znajduje się na północny wschód od północnej granicy złoża. Na obszarze złoża występują dwa potoki lawowe przedzielone utworami piroklastycznymi trzech generacji. Górny potok lawowy wykształcony w formie jednolitej serii, ze słupami ustawionymi pionowo, występuje jedynie w północnej części złoża. W jego południowej części tworzy jedynie drobne wtrącenia wśród utworów tufowych. Dolny potok występuje natomiast na całym obszarze złoża. Próbki do badań petrograficznych reprezentujące odmianę afanitową i afanitowo-porfirową pobrano w części środkowej dolnego potoku lawowego odsłaniającej się w północno-wschodnim fragmencie wyrobiska. Próbki bazaltoidów o teksturze porfirowo-afanitowej pozyskano z centralnej części wyrobiska, również ze środkowej części dolnego wylewu, natomiast wykazujące teksturę porfirowo-gruzłową z zachodniej części wyrobiska, ze strefy brzeżnej dolnego potoku lawowego.

Na próbkach bazaltoidów pochodzących ze złoża Targowica i wyróżniających się spośród analizowanych złóż największym zróżnicowaniem teksturalnym, dodatkowo wykonano badania właściwości fizyczno-mechanicznych. Bryły skalne w ilości 48 sztuk reprezentujące cztery wydzielone odmiany teksturalne pobrano w tych samych miejscach wyrobiska co próbki do badań petrograficznych. Dla każdej z odmian bazaltoidu wykonano dwanaście próbek foremnych będących sześcianami o krawędziach 70 mm i przeprowadzono badania gęstości objętościowej (zgodnie z normą PN-EN 1936: 2001), nasiąkliwości (zgodnie

z normą PN-EN 13755: 2002), a następnie wytrzymałości na ściskanie (zgodnie z normą PN-EN 1926: 2001). Powierzchnie czołowe próbek, które miały być obciążane zostały wyszlifowane. Próbki obciążano ze stałą prędkością wzrastania naprężeń ściskających 1 MPa/s. W wyniku rozdrobnienia w kruszarce laboratoryjnej pozostałych fragmentów brył bazaltoidów poszczególnych odmian, uzyskano próbki kruszywa o wymiarach 10–14 mm. Oznaczono na nich zgodnie z normą PN-EN 1097-1: 2000 odporność kruszywa na ścieranie (wskaźnik mikro-Deval) oraz zgodnie z normą PN-EN 1097-2: 2000 odporność na rozdrabnianie (wskaźnik Los Angeles).

## 2. Wyniki badań petrograficznych

### 2.1. Odmiana o teksturze afanitowej

Skały tej odmiany stwierdzono w złożach Jawor-Męcinka i Targowica. W pierwszym z nich tworzą niewielkie, izolowane fragmenty rozmieszczone nieregularnie w obrębie całego złoża. W złożu Targowica stanowią one znaczny udział w północnej i centralnej jego części. Bazaltoidy posiadają barwę czarną oraz strukturę zwięzłą i bezładną. W obrazach mikroskopowych ujawnia się ich tekstura porfirowa niewidoczna makroskopowo. Ciasto skalne w udziale 94,1–97,7% (tab. 1) składa się głównie z wykształconych listewkowo mikrolitów piroksenów i plagioklazów, wzajemnie przerastających się i współwystępujących z kryształami oliwinów albo z ich iddyngsytowymi pseudomorfozami. W przestrzeniach między tymi składnikami występuje nefelin oraz produkty dewitryfikacji szkliwa wulkanicznego. W całej masie ciasta skalnego równomiernie rozsiane są minerały nieprzeźroczyste, głównie magnetyt. Często tworzy on ziarna o izometrycznej formie, które mogą łączyć się także w większe agregaty.

Nieliczne (2,3–5,9%) fenokryształy reprezentowane są głównie przez pirokseny i oliwiny, a w śladowych ilościach przez plagioklasy i nefelin (tab. 1). Składniki te mają bardzo zmienną wielkość. Osiągają maksymalne rozmiary do 1,50 mm, przy średniej wynoszącej 0,65 mm. Pirokseny, głównie z grupy augitu, charakteryzują się bardzo często budową pasową, ale dostrzega się także kryształy o budowie klepsydrowej. Tworzą krótkie słupki lub izometryczne formy. W przekroju poprzecznym doskonale jest zauważalna ich ośmioboczna geometria oraz regularna siatka łupliwości. Przeważnie są dobrze zachowane, ale niekiedy wykazują na swoich obrzeżach zatoki korozyjne. Duże osobniki zawierają wrostki magnetytu i listewki plagioklazów.

Fenokryształy oliwinu są często automorficzne. Wykazują przy tym sześcioboczne wydłużone formy. Na ogół są słabo spękane, w niektórych przypadkach uległy jednak silnym procesom wietrznym. Wśród nich dominującą rolę odgrywa iddyngsytyzacja, obejmująca zwykle większe części kryształów.

TABELA 1

Skład mineralny bazaltoidów wydzielonych odmian [% obj.]

TABLE 1

Mineral composition of the distinguished varieties of basaltoids [vol. %]

Odmiana teksturalna bazaltoidu	Nazwa złoża	Plagioklasy	Pirokseny	Oliwin	Minerały nieprzeźroczyste	Nefelin	Szkliwo wulkaniczne	Suma średnich wartości piroksenów, oliwinów i miner. nieprzeźr.	Feno-kryształy	Ciasto skalne
Afanitowa	Targowica	27,8–39,7 33,0	26,2–46,5 32,8	5,8–10,9 6,4	14,3–23,2 17,1	0,1–2,4 1,4	4,0–17,1 9,3	56,3	3,0–5,9 4,9	94,1–97,0 95,1
	Jawor-Męcinka	26,3–46,8 37,4	28,8–41,9 33,6	4,5–10,3 7,8	11,1–21,5 15,8	0,1–1,2 0,9	3,3–10,2 4,5	57,2	2,3–4,6 3,1	95,4–97,7 96,9
	Rębiszów-Kłopotno	27,4–34,8 32,9	22,1–35,7 32,4	16,8–20,7 18,0	7,1–13,4 11,3	1,1–2,0 1,6	6,1–25,1 6,8	61,7	9,0–14,8 11,3	85,2–91,0 88,9
Afanitowo-porfirowa	Targowica	20,1–47,7 33,1	24,5–46,5 37,6	6,9–18,1 9,4	10,1–29,2 12,2	2,4–5,7 3,8	2,0–14,1 3,9	59,2	7,2–18,1 10,6	81,9–92,8 89,4
	Krzemień	29,6–49,0 32,9	28,9–41,2 38,7	7,0–16,7 11,9	7,6–11,0 10,3	3,4–5,7 4,7	0,0–2,9 1,5	60,9	10,9–18,7 14,6	81,3–89,1 85,4
	Jawor-Męcinka	30,2–45,1 33,1	27,5–39,4 37,6	6,3–14,5 9,9	10,7–28,6 15,3	1,5–3,5 2,4	0,1–3,1 1,7	62,8	6,8–11,5 10,2	88,5–93,2 89,8
Porfirowo-afanitowa	Wilecza Góra	30,7–41,7 31,8	29,1–34,0 30,6	15,0–21,4 18,0	10,2–14,0 11,1	7,4–9,1 8,3	0,1–0,3 0,2	59,7	8,2–16,1 12,3	83,9–91,8 87,7
	Rębiszów-Kłopotno	29,7–41,2 32,1	29,9–45,1 38,7	14,7–22,8 16,9	8,2–11,8 8,9	1,4–4,2 2,1	0,5–4,3 1,3	64,5	19,5–22,7 20,8	77,3–80,5 79,2
	Krzemień	32,3–39,6 33,1	31,9–42,5 37,2	13,4–20,9 17,6	7,7–13,4 9,0	1,6–3,1 2,3	0,2–1,1 0,8	63,8	23,0–28,1 26,3	71,9–77,0 73,7
Porfirowo-gruzłowa	Targowica	26,8–32,9 29,0	35,4–51,8 38,7	11,6–20,1 13,2	8,9–16,3 11,6	5,6–11,3 6,6	0,1–1,0 0,9	63,5	19,8–23,5 21,2	76,5–80,2 78,8
	Krzemień	30,1–41,1 36,5	29,2–44,8 37,5	11,6–13,8 12,8	6,3–9,8 8,1	3,7–4,3 4,0	0,0–2,0 1,1	58,4	19,4–24,7 23,5	75,3–80,6 76,5
	Targowica	29,8–46,6 33,3	28,6–49,5 41,2	8,9–14,4 10,2	8,8–12,2 9,7	2,8–6,3 4,5	0,0–3,2 1,1	61,1	19,7–22,8 21,0	77,2–80,3 79,0

\* W każdym przypadku wartości średnie uzyskano na podstawie analizy trzech próbek.

## 2.2. Odmiana o teksturze afanitowo-porfirowej

Bazaltoidy o takim wykształceniu zaobserwowano we wszystkich opisywanych złożach. W Wilczej Górze stanowią jedyną odmianę, w Krzeniowie oraz w Jaworze-Męcince dominują w obrębie całego obszaru złoża, natomiast w dużym udziale obecne są w Rębiszowie-Kłopotnie oraz Targowicy, zajmując części centralne i północno-wschodnie tych złóż.

Posiadają barwę szaro-czarną, strukturę zwięzłą i bezładną oraz teksturę porfirową, zauważalną również makroskopowo. Dominujące w skale ciasto skalne, obecne w udziale 81,3–93,2% (tab. 1) zbudowane jest głównie z listewkowych mikrolitów plagioklazów wzajemnie poprzerastanych. Nieco mniej obserwuje się piroksenów, które wykształcone są w postaci drobnych, krótkich słupków. Często dostrzega się w nich budowę pasową. Oprócz nich występują izometryczne kryształy oliwinu. W całej masie równomiernie rozmieszczone są ponadto minerały nieprzeźroczyste, głównie magnetyt o automorficznej, czworosiennej formie. W przestrzeniach między wymienionymi składnikami obecne są fragmenty szkliwa wulkanicznego z przejawami dewitryfikacji oraz nefelin, którego lepiej wykształcone osobniki są często poikilitowo przerośnięte.

Fenokryształy są liczniejsze niż w odmianie afanitowej, występując w udziale 6,8–18,7% (tab. 1). Osiągają maksymalną wielkość 3,0 mm. W ich składzie wyróżnia się prawie wyłącznie pirokseny i oliwiny. Kryształy oliwinu przybierają ksenomorficzne kształty i miejscami są dosyć mocno spękane. Na obrzeżach tych kryształów powszechnie obecne są zatoki korozyjne. Fenokryształy piroksenu, głównie augitu, są na ogół większe od oliwinów i dość dobrze zachowane. Występują powszechnie pod postacią krótkich słupków, a w przekroju poprzecznym mają charakterystyczne ośmioboczne formy. Często cechuje je budowa pasowa, a rzadziej typu klepsydrowego. Sporadycznie przerośnięte są składnikami ciasta skalnego. Miejscami obserwuje się w ich wnętrzu drobne ziarna magnetytu i listewki plagioklazów. W niektórych przypadkach obrzeża kryształów piroksenów, podobnie jak to stwierdza się w oliwinach, mają charakter korozyjny.

## 2.3. Odmiana o teksturze porfirowo-afanitowej

Skały o takiej teksturze zidentyfikowano w trzech złożach. W Rębiszowie-Kłopotnie zajmują duże fragmenty jego zachodniej i południowo-wschodniej części, w Krzeniowie tworzą wąskie, wydłużone strefy usytuowane w części centralnej i północno-wschodniej, a w Targowicy budują głównie centralną część złoża. Charakteryzują się szaro-czarnym zabarwieniem, miejscami zielonkawym, wynikającym zapewne ze zwiększonego udziału oliwinu. Wykazują strukturę zwięzłą, bezładną oraz wyraźnie widoczną makroskopowo teksturę porfirową. Ciasto skalne w udziale 76,5–80,5% (tab. 1) składa się głównie, tak jak we wszystkich omawianych odmianach, z listewkowych plagioklazów, bardzo drobnych mikrolitów piroksenów i oliwinów o izometrycznym pokroju. Ziarna magnetytu rozmieszczone są równomiernie w całej masie, mogą też tworzyć większe koncentracje o nieregularnych kształtach. W skład ciasta wchodzi również nefelin, który niekiedy tworzy automorficzne, czworoboczne osobniki, przeważnie jednak wypełnia interstycje.

Fenokryształy są obecne w największym udziale (19,5–28,1%) spośród wszystkich wydzielonych odmian i reprezentowane głównie przez pirokseny oraz oliwiny (tab. 1). Pirokseny są liczniejsze i większe od oliwinów, osiągając rozmiary do 1,5 mm. Charakteryzują się często budową zonalną, rzadziej klepsydrową. Niektóre duże osobniki uległy intensywnej korozji i są spękanne. Częste jest również ich poikilitowe przerastanie składnikami tła (magnetyt i oliwin). Fenokryształy oliwinów mają formy ksenomorficzne, ale występują również osobniki automorficzne. Większość z nich jest zastąpiona przez iddyngsyty i powszechnie pokryta siecią spękań.

#### 2.4. Odmiana o teksturze porfirowo-gruzłowej

Obserwacje terenowe wykazały, że bazaltoidy tej odmiany zajmują dużą, głównie południowo-zachodnią część złoża Targowica oraz niewielkie fragmenty w południowo-zachodniej i północno-wschodniej części złoża Krzeniów. Skąły te są w różnym stopniu dotknięte procesem wietrzenia i w wyrobiskach występują w obszarach przylegających do stref objętych zgorzelą. Wpływa to na ich barwę, która jest niejednorodna, szaro-czarna z jasnopopielatymi plamami. Ponadto posiadają nierówną, gruzłową powierzchnię i wykazują mniejszą zwięzłość od bazaltoidów pozostałych odmian.

Ciasto skalne zbudowane jest z mikrolitów listewkowych plagioklazów, które bezładnie przerastają się z innymi składnikami tła. Poza nimi w dużej ilości obecne są drobne słupki piroksenów i różnej wielkości ziarna magnetytu. W przestrzeniach między tymi składnikami obserwuje się hipautomorficzne osobniki nefelinu i skupienia szkliwa wulkanicznego z przejawami dewitryfikacji.

Fenokryształy występujące w ilości 19,4–24,7% (tab. 1) reprezentowane są przez oliwiny i pirokseny. Sporadycznie mogą być też obecne większe listewki plagioklazów, które ujawniają polisyntetyczne zbliżniaczenia. Oliwiny wyraźnie przeważają ilościowo nad piroksenami, które z kolei mają większe rozmiary, dochodzące do 2,3 mm. Niektóre z fenokryształów oliwinu uległy wyraźnej korozji. Większość z nich zastąpiona została niemal w całości przez iddyngsyty, serpentyny lub chloryty. Fenokryształy piroksenów (przede wszystkim augitu) występują w formie krótkich słupków lub ksenomorficznych ziarn. Są one schlorytyzowane i obficie poikilitowo przerośnięte składnikami ciasta skalnego (najczęściej plagioklazów). Te ostatnie zwykle ujawniają budowę zonalną, rzadziej spotyka się klepsydrową. Uległy one silnej korozji oraz chlorytyzacji, która obejmuje nie tylko brzegowe części kryształów, ale także wnika w głąb, wzdłuż spękań i płaszczyzn łupliwości.

W obrębie fenokryształów i składników tła skalnego obserwuje się liczne spękania, których linie tworzą nieregularną siatkę. Miejscami dostrzega się pustki po zwietrzałych składnikach mineralnych lub częściowo wypełnione wtórnymi minerałami. Obserwuje się również dużą ilość mikroporów.

Wykonane badania petrograficzne wykazały, że badane skały reprezentujące poszczególne odmiany teksturalne różnią się między sobą składem mineralnym i stanem zachowania składników. Dla próbek pochodzących ze wszystkich badanych złóż potwierdzono pow-

szechnie obserwowaną tendencję do wzrostu udziału fenokryształów kosztem szkliwa wulkanicznego, przechodząc od odmiany afanitowej do porfirowo-afanitowej. Stwierdzono także zmienność składu mineralnego w przypadku próbek należących do tej samej odmiany, ale pochodzących z różnych złóż. Jest to widoczne zwłaszcza w przypadku szkliwa wulkanicznego, którego udział jest najmniejszy w próbkach pochodzących z części kominowej, a największy w próbkach reprezentujących górne części potoków lawowych.

Omówione skały wykazują podobieństwo petrograficzne do bazaltoidów, głównie bazanitów, opisanych w wymienionych powyżej złożach przez Mężyka (1961), Borka, Kautzkiego (1977), Krzyškowa (1986), Kryżę, Kuśnierz (1992), Birkenmajera i in. (2002b), Zagożdżona (2002), Awdankiewicza (2004), Birkenmajera i in. (2004b) oraz Adamczyka (2008). Niewielkie różnice polegające głównie na różnym udziale fenokryształów mogą wynikać zarówno z lokalizacji pobranych próbek w odmiennych fragmentach potoków lub komina wulkanicznego, jak też z przyjęcia przez poszczególnych badaczy różnych wartości (od 0,125 mm do 0,5 mm) stanowiących minimalny rozmiar form traktowanych jako fenokrystały.

### 3. Właściwości fizyczno-mechaniczne kopaliny

Opisana zmienność wykształcenia petrograficznego bazaltoidów, będąca wynikiem działania procesów magmowych i pomagmowych, a także wtórnych czynników, takich jak wietrzenie hipergeniczne, wpływa na wielkość parametrów fizyczno-mechanicznych kopaliny. Tezę tę wyrażaną już niejednokrotnie wcześniej (np. Adamczyk 1998; Zagożdżon 2002) zweryfikowano poprzez charakterystykę wielkości gęstości objętościowej, nasiąkliwości i wytrzymałości na ściskanie, dokonaną dla bazaltoidów pochodzących ze złoża Targowica, które reprezentują wszystkie uprzednio wydzielone odmiany. Można oczekiwać, że sposób i zakres zmienności właściwości fizyczno-mechanicznych kopaliny w poszczególnych odmianach może mieć charakter uniwersalny, dotycząc także tych złóż, w których występują podobnie wykształcone bazaltoidy.

#### 3.1. Gęstość objętościowa

Zróznicowanie tego parametru jest uzależnione od składu mineralnego, cech strukturalnych i teksturalnych, a także stopnia spękania i zwiótrzenia składników skały.

Bazaltoidy ze złoża Targowica charakteryzują się w poszczególnych odmianach zmiennością gęstości objętościowej w zakresie od 2,85 Mg/m<sup>3</sup> do 3,00 Mg/m<sup>3</sup> (tab. 2). Najwyższymi wartościami tego parametru od 2,97 Mg/m<sup>3</sup> do 3,00 Mg/m<sup>3</sup> (średnio 2,98 Mg/m<sup>3</sup>) charakteryzują się skały o teksturze porfirowo-afanitowej. Spowodowane to jest największą zawartością minerałów ciemnych (głównie fenokryształów), które mają wysokie wartości gęstości właściwej (pirokseny, oliwiny, magnetyt). Składniki te występują w łącznym udziale wynoszącym średnio dla tej odmiany 63,5% (tab. 1). Ponadto minerały budujące tę



TABELA 2

Zmienność właściwości fizyczno-mechanicznych bazaltoidów ze złoża Targowica

TABLE 2

Variability of the physical and mechanical properties of the basaltoids from the Targowica deposit

Odmiana teksturalna bazaltoidu	Gęstość objętościowa [Mg/m <sup>3</sup> ] wg PN-EN 1936:2001 od-do; średnio*	Nasiąkliwość [%] wg PN-EN 13755: 2002 od-do; średnio*	Wytrzymałość na ściskanie [MPa] wg PN-EN 1926: 2001 od-do; średnio*
Afanitowa	2,90–2,95 2,94	0,18–0,24 0,22	272–305 288
Afanitowo-porfirowa	2,94–2,98 2,96	0,22–0,25 0,23	246–258 250
Porfirowo-afanitowa	2,97–3,00 2,98	0,25–0,30 0,28	166–194 182
Porfirowo-gruzłowa	2,85–2,93 2,90	0,46–0,55 0,52	152–169 158

\* W każdym przypadku wartości średnie uzyskano na podstawie analizy dwunastu próbek.

odmianę skał wykazują stosunkowo niski stopień zmian wtórnych i charakteryzują się zwięzłą strukturą.

Nieco niższą gęstość objętościową mają skały o teksturze afanitowo-porfirowej. Wynosi ona od 2,94 Mg/m<sup>3</sup> do 2,98 Mg/m<sup>3</sup>, przy wartości średniej równej 2,96 Mg/m<sup>3</sup> (tab. 2). Wpływa na to mniejsza zawartość minerałów ciemnych, która średnio dla wszystkich próbek wynosi 59,2% (tab. 1), a tym samym nieco większy udział pozostałych składników o niższej gęstości właściwej. Stan zachowania minerałów i struktura skał są zbliżone do opisanych w poprzedniej odmianie.

Skały o teksturze afanitowej mają gęstość objętościową w przedziale 2,90–2,95 Mg/m<sup>3</sup>, średnio 2,94 Mg/m<sup>3</sup>. Decyduje o tym niższy udział minerałów ciemnych o wysokich gęstościach właściwych, wynoszący średnio dla odmiany 56,3% (tab. 1), przy podobnej do opisywanych wcześniej strukturze skały i stanie zachowania jej składników.

Najniższe wartości gęstości objętościowej (2,85–2,93 Mg/m<sup>3</sup>, średnio 2,90 Mg/m<sup>3</sup>) posiadają skały odmiany porfirowo-gruzłowej (tab. 2), pomimo że charakteryzują się one zawartościami minerałów ciemnych zbliżonymi do występujących w odmianie afanitowo-porfirowej (średnio dla próbek: 61,1%) (tab. 1). Wynika z tego, że związek gęstości objętościowej ze składem mineralnym w tej odmianie bazaltoidów ma mniejsze znaczenie. Wyraźniejszy wpływ ma natomiast rozluźnienie zwięzłości skały wywołane obecnością spękań i drobnych porów oraz najwyższy spośród omawianych odmian stopień zwietrzenia minerałów, wyrażający się głównie chlorytyzacją plagioklazów i iddingsytyzacją oliwinów.

### 3.2. Nasiąkliwość

Ta cecha skał jest ściśle związana z ich porowatością, określając w nich pośrednio zawartość porów skomunikowanych, dostępnych dla wody, a więc efektywnych.

Omawiane skały bazaltowe wykazują dużą zmienność nasiąkliwości. Jej wartości dla poszczególnych odmian wahają się od 0,18% do 0,55% (tab. 2). Tak duża zmienność tego parametru może być spowodowana zróżnicowaniem strukturalno-teksturalnym skał oraz stopniem ich zwietrzenia.

Najniższą nasiąkliwość od 0,18% do 0,24% (średnio 0,22%) wykazują skały o teksturze afanitowej. Zbliżone wartości tej właściwości (0,22–0,25%, średnio 0,23%) wykazują skały odmiany afanitowo-porfirowej (tab. 2). Skały obu tych odmian mają zwięzłą strukturę, nie ujawniają spękań i charakteryzują się niskim stopniem zwietrzenia minerałów.

Nieco wyższą nasiąkliwość posiadają skały odmiany porfirowo-afanitowej. Mieści się ona w zakresie 0,25–0,30%, przy wartości średniej wynoszącej 0,28% (tab. 2). Wpływ na takie wartości nasiąkliwości może mieć obecność większej ilości fenokryształów piroksenów i oliwinów, z których duża część wykazuje przejawy spękania.

Najwyższe wartości omawianego parametru (0,46–0,55%, średnio 0,52%) stwierdzono w skałach odmiany porfirowo-gruzłowej (tab. 2), które cechują się niższą zwięzłością oraz mniej szczelną strukturą. Wynika ona z występowania sieci spękań rozwijających się w obrębie różnych składników i obecności mikroporów, a także związana jest z tworzeniem się pseudomorfoz chlorytu oraz iddyngsytu kosztem plagioklazów i oliwinów.

### 3.3. Wytrzymałość na ściskanie

Ta własność skał warunkowana jest siłą wiązań strukturalnych oraz właściwościami wytrzymałościowymi poszczególnych składników mineralnych, zależąc tym samym od ich udziału w skale (por. Pinińska 1995; Brożek, Oruba-Brożek 2003). W przypadku skał o zbliżonym składzie mineralnym istotny wpływ na zróżnicowanie tej wielkości może mieć wielkość składników, a także ich stan zachowania.

Bazaltoidy pochodzące ze złoża Targowica charakteryzują się dużą zmiennością wielkości wytrzymałości na ściskanie w zakresie od 152 MPa do 305 MPa (tab. 2). Charakter tej zmienności pozwala sądzić, że związana jest ona z rodzajem tekstury skały i stopniem zwietrzenia skały, pośrednio natomiast wynika z jej składu mineralnego. Wskazuje na to bardzo wysoka wartość współczynnika korelacji ( $r = -0,98$ ) pomiędzy wielkością wytrzymałości na ściskanie a udziałem fenokryształów. Ponieważ składają się na nie pirokseny i oliwiny, również w ich przypadku istnieją ujemne korelacje, choć o nieco mniejszej wartości ( $r = -0,93$  i  $r = -0,78$ ), gdyż minerały te tworzą także małe kryształy obecne w cieście skalnym. Największe wartości omawianego parametru (272–305 MPa) wykazują zatem skały odmiany afanitowej, a nieznacznie niższe (246–258 MPa) – reprezentujące odmianę afanitowo-porfirową. W odmianie porfirowo-afanitowej o większym niż w pozostałych skałach udziale fenokryształów w stosunku do tła skalnego, wartości wytrzymałości

są niższe i wynoszą od 166 MPa do 194 MPa (tab. 2). Najniższe wytrzymałości na ściskanie w przedziale 152–169 MPa posiadają bazaltoidy odmiany porfirowo-gruzłowej, mimo iż posiadają teksturę i udział fenokryształów zbliżone do występujących w odmianie porfirowo-afanitowej. W tym przypadku wartości te wynikają głównie ze wspomnianego już spekania i częściowego zwietrzenia składników mineralnych tych skał, a tym samym korelują z wielkościami gęstości objętościowej i nasiąkliwości.

#### 4. Charakterystyka wybranych parametrów kruszyw

Zróżnicowanie wielkości odporności na rozdrabnianie i ścieranie kruszywa frakcji 10–14 mm, pochodzącego ze złoża Targowica i reprezentującego poszczególne odmiany teksturalne bazaltoidów, wykazuje oczywistą analogię do zmienności wytrzymałości na ściskanie, którą określono dla kopaliny. Brak jest jednak między tymi parametrami wyraźnej zależności, co wykazali już np. Dhir i in. (1971), Bromowicz (2001), dla różnego rodzaju kruszyw. Największą odpornością charakteryzuje się kruszywo uzyskane z odmiany afanitowej, dla którego wskaźnik Los Angeles wynosi 9,6% a mikro-Deval 9,8% (tab. 3). Nieznacznie wyższe wartości, wynoszące odpowiednio 11,4% i 10,4%, stwierdzono dla kruszywa z odmiany afanitowo-porfirowej. Większy udział fenokryształów w skałach o teksturze porfirowo-afanitowej oraz nasilenie się przejawów wietrzenia w odmianie porfirowo-gruzłowej, wyrażające się obniżeniem zwięzłości, sprawia że w tej ostatniej wskaźnik

TABELA 3

Wielkość odporności na rozdrabnianie i ścieranie kruszywa bazaltoidowego frakcji 10–14 mm, pochodzącego ze złoża Targowica

TABLE 3

The values of resistance to fragmentation and wear of the basaltoid aggregate (fraction 10–14 mm) from the Targowica deposit

Odmiana teksturalna bazaltoidu	Odporność na rozdrabnianie (wskaźnik Los Angeles) [%] wg PN-EN 1097-2: 2000	Odporność na ścieranie (wskaźnik mikro-Deval) [%] wg PN-EN 1097-1: 2000
Afanitowa	9,6	9,8
Afanitowo-porfirowa	11,4	10,4
Porfirowo-afanitowa	14,5	12,5
Porfirowo-gruzłowa	17,7	15,8
Mieszanina wszystkich odmian w udziałach po 25%	11,6	10,9
Mieszanina odmian: afanitowej i porfirowo-gruzłowej w udziałach po 50%	13,6	12,8

Wartości średnie uzyskano na podstawie analizy dwunastu próbek.

Los Angeles wzrasta do wartości 17,7%, natomiast mikro-Deval osiąga poziom 15,8% (tab. 3).

Jak wynika z przedstawionych danych, eksploatacja kopalni należących do odmiany afanitowej, afanitowo-porfirowej, a nawet porfirowo-afanitowej pozwala uzyskać materiał o bardzo wysokiej jakości, w odróżnieniu od kopaliny ostatniej odmiany, dającej wyrób należący według norm PN-EN 12620: 2008 i PN-EN 13043: 2004 do nieco gorszych kategorii LA i  $M_{DE}$ . Prowadząc racjonalną gospodarkę złożem i dążąc do uzyskania jak największej ilości wyrobów spełniających wysokie wymagania, zwykle modyfikuje się jakość kruszyw poprzez równoczesne urabianie różnych części złoża i „uśrednianie” wielkości poszczególnych parametrów. Nawiązując do tego typu działań podjęto próbę oszacowania jakości kruszywa ze złoża Targowica w zależności od udziału w nim różnych odmian teksturalnych bazaltoidów. W tym celu określono wielkość wskaźników LA i  $M_{DE}$  dla mieszaniny wszystkich odmian w udziałach po 25% oraz mieszaniny odmian: afanitowej i porfirowo-gruzłowej w udziałach po 50%. Uzyskane wyniki wskazują, że w pierwszym z wymienionych przypadków niewielkiemu pogorszeniu uległa zarówno odporność na rozdrabnianie wyrażona wskaźnikiem LA równym 11,6%, jak też ścieralność określona wskaźnikiem  $M_{DE}$ , wynoszącym 10,9% (tab. 3). Należy podkreślić, że w obu przypadkach są to nadal dość korzystne wartości, przekraczające tylko nieznacznie poziom charakterystyczny dla odmiany afanitowo-porfirowej (tab. 3). Badania kruszyw złożonych w równych udziałach z dwóch odmian: najbardziej i najmniej odpornej na rozdrabnianie i ścieranie pokazują, że wielkość wskaźnika LA pomimo wzrostu do wartości 13,6%, jest nadal niższa niż dla odmiany porfirowo-afanitowej, natomiast wielkość wskaźnika  $M_{DE}$  równa 12,8% nieznacznie tylko przekracza wartość 12,5% określoną dla wspomnianej odmiany (tab. 3).

Z punktu widzenia jakości badanego kruszywa określonej normami PN-EN 12620: 2008 i PN-EN 13043: 2004 należy stwierdzić, że dla odmian afanitowej, afanitowo-porfirowej i porfirowo-afanitowej, kruszywa reprezentujące zarówno którąkolwiek z tych odmian, jak też ich mieszaninę zestawioną w dowolnym udziale, odpowiadają tej samej, najlepszej kategorii LA<sub>15</sub>. Kruszywo pochodzące z bazaltoidów o teksturze porfirowo-gruzłowej ma wyraźnie gorszą jakość i należy do kategorii LA<sub>20</sub>, jednak zmieszane z pozostałymi odmianami, w proporcjach określonych w tabeli 3, ponownie kwalifikuje się do kategorii LA<sub>15</sub>.

Pod względem odporności na ścieranie, najlepszej kategorii  $M_{DE}10$  odpowiada tylko kruszywo z odmiany afanitowej i zapewne jej mieszaniny z odmianą afanitowo-porfirową, co wymaga jednak potwierdzenia badaniami. Wyraźnie gorszą jakość ( $M_{DE}20$ ) posiada natomiast kruszywo z bazaltoidu o teksturze porfirowo-gruzłowej. Pozostałe kruszywa, a także mieszaniny wszystkich wydzielonych odmian, określone w tabeli 3 spełniają wymogi kategorii  $M_{DE}15$  (tab. 3).

Według normy PN-EN 13242: 2008 o wymaganiach nieco mniej rygorystycznych niż omówione powyżej, wszystkie badane kruszywa ze złoża Targowica reprezentujące zarówno pojedyncze odmiany, jak też ich mieszaniny, mieszczą się w kategoriach LA<sub>20</sub> i  $M_{DE}20$ .

Jak to już wielokrotnie wykazano (np. Ramsay i in. 1974; Bromowicz 2001) parametry wytrzymałościowe są cechą charakterystyczną dla każdej skały, mimo iż są zależne od warunków w jakich przeprowadza się badanie (Pinińska 1995). Nieco odmiennie jest natomiast w przypadku kruszyw, których odporność dodatkowo modyfikowana jest przez kształt i wielkość ziarn. Zależne jest to zarówno od sposobu kruszenia kopaliny i rodzaju zastosowanych urządzeń, jak też od składu petrograficznego skały oraz jej struktury i tekstury (Ramsay i in. 1974; Smith, Collis 2001). Wpływ wspomnianych czynników petrograficznych na zmienność parametrów kruszywa w zależności od wielkości frakcji, przeanalizowano na przykładzie danych, zawartych w orzeczeniach o jakości kruszywa bazaltoidowego, pochodzącego ze złoża Targowica. Wyniki oznaczeń zostały odniesione do kategorii kruszywa przedstawionych w normach PN-EN 12620: 2008 i PN-EN 13043: 2004. Należy wyraźnie podkreślić, że przedstawiane poniżej wielkości uzyskano dla kruszyw pochodzących z bieżącej produkcji (marzec–kwiecień 2010 r.) i stanowiących mieszaninę opisanych wcześniej odmian, zestawionych w nieznanymi proporcjach.

Omawiane kruszywa charakteryzują się gęstością objętościową w zakresie  $2,93 \text{ Mg/m}^3$  do  $2,98 \text{ Mg/m}^3$  (tab. 4). Stwierdzono pewną tendencję do jej zwiększania się we frakcjach o drobniejszym uziarnieniu (rys. 1). Można to wiązać z gromadzeniem się w nich okruszków oliwinów i magnetytu, stosunkowo podatnych na rozkruszanie, a jednocześnie wykazujących dużą gęstość właściwą. Wpływ udziału tych dwóch minerałów na wielkość gęstości objętościowej kopaliny potwierdza wysoka korelacja pomiędzy nimi, wyrażona współczynnikiem korelacji równym  $r = 0,81$ . Podobną zmienność wynikającą z uziarnienia kruszywa stwierdzono w przypadku nasiąkliwości (rys. 1). We frakcjach drobniejszych wzrasta ona nawet powyżej 1% i w związku z tym kruszywo należy wówczas do gorszej kategorii  $WA_{242}$  (tab. 4). Można to wiązać z większym udziałem we frakcjach drobniejszych odmiany porfirowo-gruzłowej, odznaczającej się znacznym zwietrzeniem, a więc podatniejszej na rozdrabnianie, a jednocześnie wykazującej dwukrotnie większą od pozostałych nasiąkliwość wagową (tab. 2).

Wspomniane czynniki decydujące o zmienności gęstości objętościowej i nasiąkliwości mogą mieć również wpływ na wielkość odporności kruszyw na rozdrabnianie ( $LA$ ) i ścieranie ( $M_{DE}$ ). Z tego względu obserwuje się wzrost wartości wskaźników  $LA$  oraz  $M_{DE}$  w miarę zmniejszania się uziarnienia (rys. 1), co w przypadku drugiego parametru dodatkowo wiąże się z pogorszeniem kategorii kruszywa (tab. 4).

Pomimo zmiennych wartości nasiąkliwości kruszywa wszystkich frakcji charakteryzują się zbliżoną mrozoodpornością, wyrażoną ubytkiem masy w zakresie 0,3–0,8% (tab. 4), co kwalifikuje je do najlepszej kategorii  $F_1$ . Wyjątek stanowi kruszywo frakcji 2/8 mm, gdzie wartość ta wynosi 1,4%, stąd odpowiada ono kategorii  $F_2$  (tab. 4). Można to wiązać z większym udziałem słabo związanej odmiany porfirowo-gruzłowej w badanej partii materiału skalnego.

Przedstawione dla bazaltoidów ze złoża Targowica zależności pomiędzy zmiennością teksturalną i mineralną kopaliny, a parametrami technicznymi kruszyw, mają podobny charakter także w przypadku pozostałych omawianych złóż. Scharakteryzowano je na

TABELA 4

Właściwości fizyczno-mechaniczne kruszyw bazaltoidowych ze złoża Targowica  
na podstawie deklarowanego przez kopalnię świadectwa badań

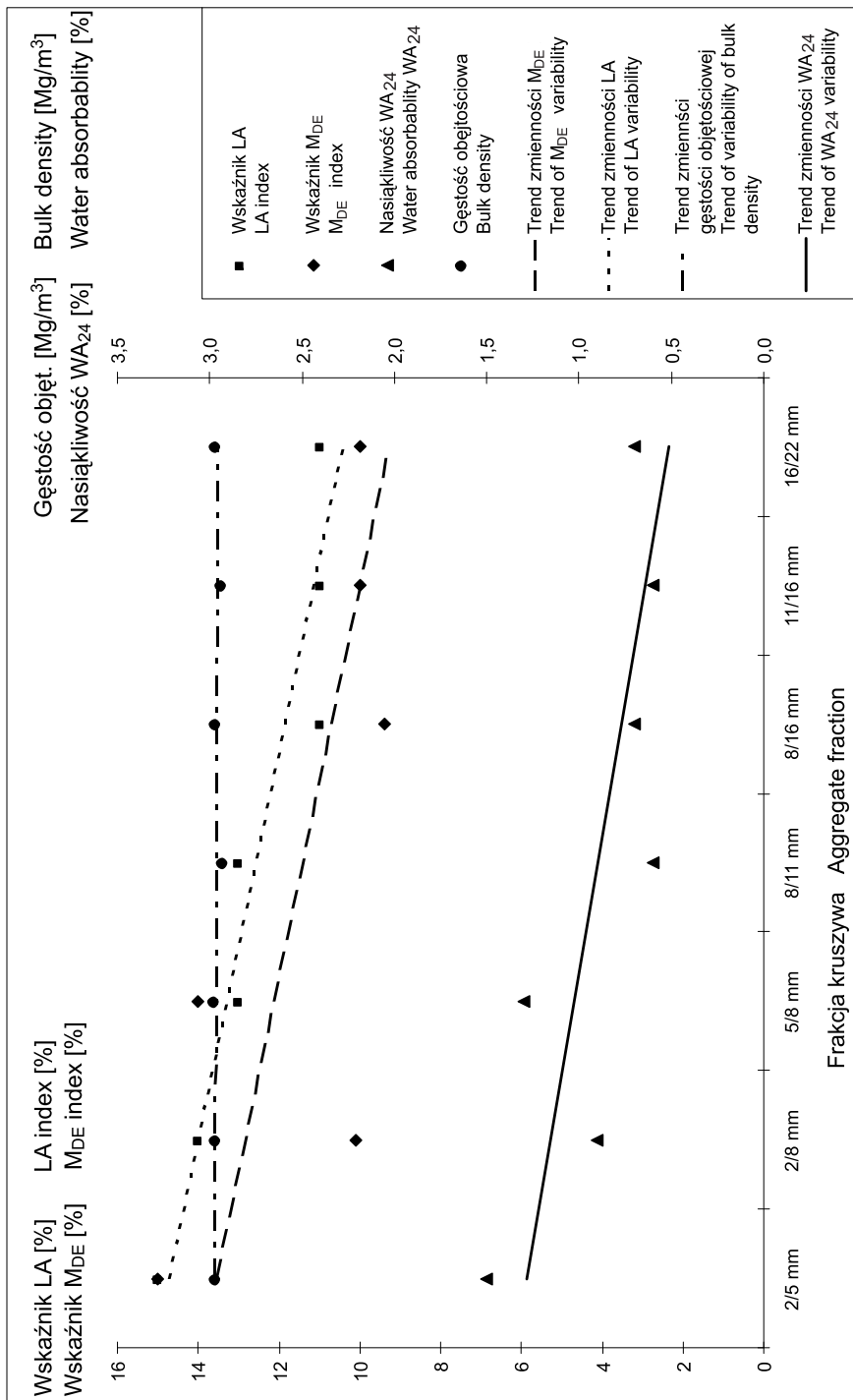
TABLE 4

Physical and mechanical properties of the basaltoid aggregates from the Targowica deposit declared  
in the producer attest

	Fracja kruszywa [mm]						
	2/5	2/8	5/8	8/11	8/16	11/16	16/22
Gęstość objętościowa ziarn ( $\rho_d$ ) wg PN-EN 1097-6: 2002							
Wynik badania [Mg/m <sup>3</sup> ]	2,97	2,97	2,98	2,93	2,97	2,94	2,97
Nasiakliwość (WA <sub>24</sub> ) wg PN-EN 1097-6: 2002							
Wynik badania [%]	1,5	0,9	1,3	0,6	0,7	0,6	0,7
Kategoria według PN-EN 12620 i PN-EN 13043	WA <sub>242</sub>	WA <sub>241</sub>	WA <sub>242</sub>	WA <sub>241</sub>	WA <sub>241</sub>	WA <sub>241</sub>	WA <sub>241</sub>
Mrozoodporność (F) wg PN-EN 1367-1: 2001							
Wynik badania [%]	0,3	1,4	0,3	0,8	0,5	0,8	0,4
Kategoria według PN-EN 12620 i PN-EN 13043	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>
Odporność na rozdrabnianie (wskaźnik Los Angeles) wg PN-EN 1097-2: 2000							
Wynik badania [%]	15,0	14,0	13,0	13,0	11,0	11,0	11,0
Kategoria według PN-EN 12620 i PN-EN 13043	LA <sub>15</sub>	LA <sub>15</sub>	LA <sub>15</sub>	LA <sub>15</sub>	LA <sub>15</sub>	LA <sub>15</sub>	LA <sub>15</sub>
Odporność na ścieranie (mikro-Deval) wg PN-EN 1097-1: 2000							
Wynik badania [%]	15,0	10,1	14,0	–	9,4	10,0	10,0
Kategoria według PN-EN 12620 i PN-EN 13043	M <sub>DE15</sub>	M <sub>DE15</sub>	M <sub>DE15</sub>	–	M <sub>DE10</sub>	M <sub>DE10</sub>	M <sub>DE10</sub>

podstawie danych zawartych w świadectwach badań kruszyw pochodzących z roku 2010, biorąc pod uwagę takie same frakcje, jak podane w tabeli 4 i odniesiono do kategorii przedstawionych w normach PN-EN 12620: 2008 i PN-EN 13043: 2004. W niektórych przypadkach nie było możliwe uzyskanie od producentów szczegółowych danych, dotyczących wielkości poszczególnych parametrów, a jedynie odpowiadających im kategorii, które przyjęto jako przedmiot analizy.

W złożu Krzeniów zróżnicowanie teksturalne bazaltoidów wpłynęło na zmienność gęstości objętościowej ziarn produkowanego kruszywa w zakresie od 2,95 Mg/m<sup>3</sup> do 3,06 Mg/m<sup>3</sup>. Wartości te są jednak nieco wyższe niż w bazaltoidach ze złoża Targowica, co można wiązać z większym udziałem w tych skałach sumy oliwinów, piroksenów i minerałów nieprzezroczystych (tab. 1). Pomimo tego, że kopalina pochodzi ze złoża zlokalizowanego



Rys. 1. Zmienność (wraz z liniami trendu) parametrów kruszyw bazaltoidowych różnych frakcji pochodzących ze złoża Targowica

Fig. 1. Variability of physical and mechanical properties (trend lines are indicated) of various fractions of the basaltoid aggregates from the Targowica deposit

w strefie komina wulkanicznego, to jednak z uwagi na obserwowane w niej przejawy zwietrzenia składników mineralnych, zwłaszcza w odmianie porfirowo-gruzłowej, omawiane kruszywa charakteryzują się podwyższoną nasiąkliwością, powyżej 1% i stąd należą do kategorii WA<sub>242</sub> oraz obniżoną odpornością na ścieranie, wyrażoną kategorią M<sub>DE15</sub>. Wspomniane procesy nie mają jednak wpływu na odporność kruszyw na rozdrabnianie, bowiem należą do najlepszej kategorii LA<sub>15</sub>.

Z uwagi na występowanie w złożu Jawor-Męcinka bazaltoidów o zbliżonych do siebie teksturach: afanitowej i afanitowo-porfirowej, produkowane kruszywa w odróżnieniu od omówionych wcześniej, odznaczają się dużą jednorodnością wielkości gęstości objętościowej, zawierającej się w przedziale 3,02–3,04 Mg/m<sup>3</sup>. Kruszywa posiadają stosunkowo dużą nasiąkliwość przy niewielkiej zmienności w zakresie 1,2–1,4%, co można wiązać z obecnością spękań i przejawami wietrzenia skały. Takie wartości odpowiadają kategorii WA<sub>242</sub>. Odporność na rozdrabnianie kruszyw (LA) jest zróżnicowana w poszczególnych ich frakcjach. Wyższa wartość (13,1%) charakteryzuje frakcje drobniejsze, natomiast niższa (10,9%) odpowiada frakcjom grubszy. Pomimo tej zmienności o podobnym charakterze jak w złożu Targowica, wszystkie należą do najlepszej kategorii LA<sub>15</sub>. Odporność na ścieranie (M<sub>DE</sub>) kruszyw zmienia się od 9,0% do 10,6% i w związku z tym należą do dwóch kategorii M<sub>DE10</sub> i M<sub>DE15</sub>.

Kruszywa reprezentujące złożo Wilcza Góra pochodzą z jednej, afanitowo-porfirowej odmiany bazaltoidów, natomiast w złożu Rębiszów-Kłopotno składa się na nie dodatkowo odmiana porfirowo-afanitowa. Takie wykształcenie kopaliny związanej genetycznie ze strefą komina wulkanicznego i zawierającej duży udział dobrze zachowanych kryształów o gęstości większej niż pozostałe składniki powoduje, że kruszywa z obu tych złóż, w stosunku do uprzednio omówionych, posiadają najwyższe wartości gęstości objętościowej w zakresie 3,06–3,10 Mg/m<sup>3</sup> w Rębiszowie-Kłopotnie i 3,09–3,10 Mg/m<sup>3</sup> w Wilczej Górze. Podobne względem siebie wielkości nasiąkliwości kruszyw wynoszą odpowiednio 0,6–1,0% oraz 0,6–0,9%. Tak niskie wartości wynikające z dobrego stanu zachowania skał kwalifikują je do kategorii WA<sub>241</sub>. Kruszywa z obu złóż posiadają identyczną odporność na rozdrabnianie (LA = 8,0%) i ścieranie (M<sub>DE</sub> = 10,0%), stąd reprezentują kategorie LA<sub>15</sub> i M<sub>DE10</sub>.

### Podsumowanie

Analiza danych uzyskanych w trakcie obserwacji terenowych, a także dotyczących petrografii omawianych bazaltoidów wskazuje, że nie występuje wyraźny i jednoznaczny związek pomiędzy formą intruzji, w obrębie której one występują, a przynależnością do odpowiedniej odmiany teksturalnej. W złożach położonych w obrębie potoków lawowych można bowiem wyróżnić wszystkie opisane powyżej odmiany teksturalne (Targowica), względnie afanitową i afanitowo-porfirową (Jawor-Męcinka). W złożach zlokalizowanych w strefie kominów wulkanicznych obecne są odmiany bazaltoidów o teksturze afanitowo-



-porfirowej i porfirowo-afanitowej (Krzeniów, Rębiszów-Kłopotno), bądź tylko pierwszej z nich (Wilcza Góra).

Jak wynika z przedstawionych danych, kruszywa z poszczególnych złóż wykazują zróżnicowane właściwości, w zależności od wielkości frakcji w jakiej występują, co można wiązać z właściwościami kopaliny, warunkowanymi jej składem mineralnym i sposobem jej kruszenia. Zmienność ta jest najwyraźniej widoczna w kruszywach uzyskanych z kopaliny reprezentowanej przez różne odmiany teksturalne, w tym wykazującej przejawy wietrzenia. W kruszywach uzyskanych z kopaliny jednorodnej i występującej w stanie niezmiennym zakres zmian jakości jest mniejszy.

Stwierdzono, że kruszywa uzyskane z bazaltoidów związanych genetycznie ze strefą komina wulkanicznego charakteryzują się nieco większymi wartościami gęstości objętościowej i niższą nasiąkliwością oraz nieznacznie większą odpornością na ścieranie i rozdrabnianie niż pochodzące z potoków lawowych. Zróżnicowanie to nie wpływa jednak zasadniczo na zmianę jakości omawianych kruszyw, bowiem zarówno pierwsze z nich, jak i drugie należą do kategorii WA<sub>241</sub> i WA<sub>242</sub> oraz M<sub>DE10</sub> i M<sub>DE15</sub>, a także LA<sub>15</sub>. Wyraźniejszy wpływ na parametry techniczne kruszyw ma natomiast przynależność kopaliny do określonej odmiany teksturalnej, co wykazano na przykładzie bazaltoidów pochodzących ze złoża Targowica. W związku z tym określenie w złożu obszarów występowania skał reprezentujących poszczególne odmiany teksturalne umożliwia wyodrębnienie i wskazanie stref, z których można uzyskać surowiec o przewidywanej jakości. Może być ona modyfikowana poprzez zestawianie w ustalonych proporcjach różnych odmian kopaliny. Z badań wynika, że dla uzyskania kruszyw najwyższej kategorii ścieralności określonej w normach PN-EN 12620: 2008 i PN-EN 13043: 2004 jako M<sub>DE10</sub>, powinny być stosowane kruszywa uzyskane z odmian afanitowej i afanitowo-porfirowej, natomiast najlepszą kategorię odporności na rozdrabnianie LA<sub>15</sub> zapewniają w zasadzie kruszywa z odmian afanitowej, afanitowo-porfirowej i porfirowo-afanitowej, a także o teksturze porfirowo-gruzłowej, ale w tym przypadku wyłącznie w mieszaninie z wymienionymi wcześniej.

Praca zrealizowana została na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, w ramach prac statutowych Katedry Geologii Żyłowej i Górniczej AGH (nr 11.11.140.562), finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

#### LITERATURA

- Adamczyk Z., 1998 – Wstępna ocena przydatności bazaltoidu z Rębiszowa jako surowca do wielokierunkowego użytkowania. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 14, 4, s. 177–184.
- Adamczyk Z., 2008 – Ewolucja wulkanizmu kenozoicznego Przedgórze Rębiszowskiego (Dolny Śląsk) oraz jej wpływ na charakter petrograficzny i jakość surowca bazaltowego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo*, 282, s. 1–244.
- Adamczyk Z., Derewicki M., 2004 – Initial evaluation of the basalt from Kłopotno deposit as a raw material for multipurpose application, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 20, 4, s. 37–46.

- Awdankiewicz M., 2004 – Petrology and geochemistry of Cenozoic basalts from Targowica (Fore-Sudetic Block). *Prace Specjalne Polskiego Towarzystwa Mineralogicznego*, 24, s. 61–64.
- Badura J., Przybylski B., 2004 – Dolnośląska formacja bazaltowa. [W:] *Budowa geologiczna Polski. T. I, Stratygrafia, cz. 3a, Kenozoik – paleogen, neogen*. Red. T.M. Peryt i M. Piwocki, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, s. 161–168.
- Badura J., Pécskay Z., Koszowska E., Wolska A., Zuchiewicz W., Przybylski B., 2006 – Nowe dane o wieku i petrologii kenozoicznych bazaltoidów dolnośląskich. *Przegląd Geologiczny*, 54, 2, s. 145–153.
- Birkenmajer K., 1967 – Bazalty dolnośląskie jako zabytki przyrody nieożywionej. *Ochrona Przyrody*, 32, s. 225–275.
- Birkenmajer K., Pécskay Z., 2002 – 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*, 50, s. 31–50.
- Birkenmajer K., Pécskay Z., Grabowski J., Lorenc M.W., Zagożdżon P.P., 2002a – Radiometric dating of the Tertiary volcanics in Lower Silesia, Poland. II. K-Ar and palaeomagnetic data from Neogene basanites near Łądek Zdrój, Sudetes Mts. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 72, s. 119–129.
- Birkenmajer K., Pécskay Z., Grabowski J., Lorenc M.W., Zagożdżon P.P., 2002b – Radiometric dating of the Tertiary volcanics in Lower Silesia, Poland. III. K-Ar and palaeomagnetic data from Early Miocene basaltic volcanics near Jawor, Fore-Sudetic Block. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 72, s. 241–253.
- Birkenmajer K., Lorenc M.W., Pécskay Z., Zagożdżon P.P., 2004a – Wiek, cykle i kierunek migracji trzeciorzędowego bazaltowego wulkanizmu Dolnego Śląska w świetle datowań K-Ar. VIII Ogólnopolska Konferencja Naukowa “Datowanie minerałów i skał” Kraków, s. 9–10.
- Birkenmajer K., Pécskay Z., Grabowski J., Lorenc M.W., Zagożdżon P.P., 2004b – Radiometric dating of the Tertiary volcanics in Lower Silesia, Poland. IV. Further K-Ar and palaeomagnetic data from Late Oligocene to Early Miocene basaltic rocks of the Fore-Sudetic Block. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 74, s. 1–19.
- Birkenmajer K., Pécskay Z., Grabowski J., Lorenc M.W., Zagożdżon P.P., 2007 – Radiometric dating of the Tertiary volcanics in Lower Silesia, Poland. V. K-Ar and palaeomagnetic data from Late Oligocene to Early Miocene basaltic volcanics of the North-Sudetic Depression. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 77, s. 1–16.
- Borek Z., Kautzki A., 1977 – Dokumentacja geologiczna złoża bazaltu „Jawor-Męcinka” w kat. B + C<sub>2</sub>, miejscowość: Męcinka, gm. Męcinka, woj. legnickie.
- Bromowicz J., 2001 – Zakres zmian właściwości fizyczno-mechanicznych skał w procesie przeróbki kruszyw łamanych. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, 93, s. 13–31.
- Brożek M., Oruba-Brożek E., 2003 – Wpływ struktury ziaren mineralnych na ich właściwości wytrzymałościowe na przykładzie wapienia i porfiru. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 19, 3, s. 91–109.
- Cwojdzinski S., Jodłowski S., 1982 – „Plamowe” koncentracje bazaltowe Masywu czeskiego i Dolnego Śląska. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 341, s. 201–222.
- Dhir R.K., Ramsay D.M., Balfour N., 1971 – A study of the aggregate impact and crushing value tests. *Journal of Institution of Highway Engineers* 18, s. 17–27.
- Kozłowska-Koch M., 1987 – Klasyfikacja i nomenklatura trzeciorzędowych wulkanitów Dolnego i Opolkiego Śląska. *Archiwum Mineralogiczne*, 42, s. 43–91.
- Kryza G., Kuśnierz A., 1992 – Opracowanie petrograficzne skał ze złoża Targowica. [W:] *Dokumentacja geologiczna złoża Targowica*.
- Krzyśków M., 1986 – Dokumentacja geologiczna złoża bazaltu „Krzeniów” w kat. C<sub>1</sub> + C<sub>2</sub>.
- Ladenberger A., Michalik M., Peate D.W., Grassineau N., 2005 – Oxygen isotopic composition in Tertiary Lower Silesia basalts (SW Poland) – evidence for HIMU mantle source in NE part of the Bohemian massif. *Prace Specjalne Polskiego Towarzystwa Mineralogicznego*, 25, s. 133–136.
- Ladenberger A., Michalik M., Tomek C., Peate D.W., 2004 – Major, trace elements characteristics and isotopic composition of Tertiary volcanic rocks from SW Poland. [In:] M.W. Lorenc, P.P. Zagożdżon (Eds) – *International workshop “Basalts 2004”*, s. 17–18.

- Ladenberger A., Zych B., Michalik M., 2006 – Clinopyroxenes from the Tertiary volcanic rocks from the Lower Silesia (SW Poland). *Mineralogia Polonica – Special Papers*, 29, s. 53–56.
- Lucińska-Anczkiewicz A., Michalik M., 1996 – Wybrane dane geochemiczne trzeciorzędowych bazaltów Dolnego Śląska. *Prace Specjalne Polskiego Towarzystwa Mineralogicznego*, 8, s. 69–72.
- Łatkiewicz A., Michalik M., Zych B., 2002 – Opaque minerals in Tertiary basalts from the Lower Silesia. *Prace Specjalne Polskiego Towarzystwa Mineralogicznego*, 20, s. 133–136.
- Matusiak M., Puziewicz J., 2005 – Preliminary data on basalt from Winna Góra near Jawor (SW Poland) and its peridotitic enclaves. *Prace Specjalne Polskiego Towarzystwa Mineralogicznego*, 26, s. 203–206, 12th Meeting of the Petrology Group of the Mineralogical Society of Poland with special session “Crystalline rocks of the East-european craton”, Stary Folwark, 13–16 October 2005.
- Mężyk O., 1961 – Dokumentacja geologiczna złoża bazaltu „Wilcza Góra”.
- Nadybski J., 1956 – Dokumentacja geologiczna złoża bazaltu w Rębiszowie.
- Pinińska J., 1995 – Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Część I. Skały osadowe regionu świętokrzyskiego. Tom 2. Objasnienia i interpretacja. Zakład Geomechaniki Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 1995.
- PN-EN 1097-1: 2000 – Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 1: Oznaczanie odporności na ścieranie (mikro-Deval). Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa, 2000.
- PN-EN 1097-2: 2000 – Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 2: Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa, 2000.
- PN-EN 1097-6: 2002 – Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 6: Oznaczanie gęstości ziarn i nasiąkliwości. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa, 2002.
- PN-EN 1367-1: 2001 – Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych. Część 1: Oznaczanie mrozoodporności. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa, 2001.
- PN-EN 1926: 2001 – Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa, 2001.
- PN-EN 1936: 2001 – Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa, 2001.
- PN-EN 12620: 2008 – Kruszywa do betonu. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa, 2008.
- 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.
- PN-EN 13242: 2008 – Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa, 2008.
- PN-EN 13755: 2002 – Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa, 2002.
- Puziewicz J., Jąźwa A., 2006 – The Męcinka basalt (SW Poland) – preliminary data. *Mineralogia Polonica – Special Papers*, 29, s. 70–72, XIII Meeting of the Petrology Group of the Mineralogical Society of Poland, Leśna 19–22 October 2006.
- Ramsay D.M., Dhir R.K., Spence I. M., 1974 – The role of rock and clast fabric in the physical performance of crushed-rock aggregate. *Engineering Geology* 8, s. 267–285.
- Siembach D., 1967 – Dokumentacja geologiczna w kat. B + C1 złoża bazaltu „Targowica”.
- Smith M.R., Collis L., 2001 – Aggregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes. Geological Society, Engineering Geology Special Publication 17. The Geological Society, London, 339 s.
- Wierchołowski B., 1993 – Stanowisko systematyczne i geneza sudeckich skał wulkanicznych. *Archiwum Mineralogiczne*, 49, s. 199–235.
- Zych-Habel B., Kasina M., Michalik M., 2008 – Fe-Ti oxides in the Tertiary volcanic rocks from the Lower Silesia (SW Poland). *Mineralogia, Special Papers*, 32, s. 177.
- Zagożdżon P.P., 2002 – Kruszywa bazaltowe a zgorzel słoneczna. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, 97, 33, s. 229–242.

MINERALNO-TEKSTURALNA ZMIENNOŚĆ WYBRANYCH SKAŁ BAZALTOWYCH DOLNEGO ŚLĄSKA I JEJ ROLA  
W KSZTAŁTOWANIU FIZYCZNO-MECHANICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI PRODUKOWANYCH KRUSZYW

Słowa kluczowe

Dolny Śląsk, petrografia bazaltoidów, kategorie kruszyw

Streszczenie

Jednym z głównych wymogów, określających gospodarczą przydatność kopaliny, stosowanych do produkcji kruszywa są odpowiednie wartości właściwości fizyczno-mechanicznych oraz ich jednorodność. Uzależnione są one od naturalnych cech skały, jej składu mineralnego, tekstury i struktury. Charakterystyka kruszywa oraz stawiane im wymagania techniczne określone są w odpowiednich normach, dotyczących procedur przeprowadzania poszczególnych badań oraz sposobów interpretacji ich wyników.

W bazaltoidach pochodzących z wybranych złóż Dolnego Śląska i reprezentujących różne formy intruzywne, wydzielono pięć odmian teksturalnych: afanitową, afanitowo-porfirową, porfirowo-afanitową, porfirowo-gruzłową oraz gruzłowo-porfirową. Zostały one scharakteryzowane w zakresie petrografii (tab. 1) oraz podstawowych właściwości fizyczno-mechanicznych (tab. 2). Wykazano, że najlepsze parametry techniczne posiada kopalina w odmianach afanitowej i afanitowo-porfirowej, co wynika z tekstury skały i nieznacznego stopnia jej zwietrzenia, w mniejszym stopniu natomiast związane jest z jej składem mineralnym.

Dla kruszyw frakcji 10–14 mm uzyskanych z poszczególnych odmian teksturalnych kopaliny oraz ich mieszanin, wykonano badania odporności na ścieranie (mikro-Deval) i rozdrabnianie (Los Angeles) według norm PN-EN 12620: 2008 i PN-EN 13043: 2004. Stwierdzono, że kruszywa reprezentujące większość odmian stanowią materiał o bardzo wysokiej jakości, z wyjątkiem odmiany gruzłowo-porfirowej, dającej wyrób należący do nieco gorszych kategorii. Ponadto na wybranych przykładach wykazano, jak poprzez zestawianie różnych odmian kopaliny, można zmieniać jakość uzyskiwanych z niej kruszyw, wyrażoną kategoriami LA i  $M_{DE}$  (tab. 3).

Przeanalizowano wpływ petrografii skały na zróżnicowanie parametrów kruszywa w zależności od wielkości jego frakcji (rys. 1, tab. 4) i stwierdzono, że jest ono najmniejsze w kruszywach uzyskanych z kopaliny jednorodnej i niezwiędzłej. Większy zakres zmienności obserwuje się natomiast w kruszywach pochodzących z kopaliny reprezentowanej przez różne odmiany teksturalne, w tym wykazujące przejawy wietrzenia.

Możliwość określenia w złożu obszarów występowania bazaltoidów reprezentujących poszczególne odmiany teksturalne, stwarza warunki do typowania stref, z których można uzyskać surowiec o przewidywanej jakości. Może być ona częściowo zmieniana poprzez zestawianie w ustalonych proporcjach różnych odmian kopaliny przeznaczonej do produkcji kruszywa.

MINERAL AND TEXTURAL VARIABILITY OF SELECTED LOWER SILESIA BASALTOIDS AND ITS ROLE IN  
CONTROLLING THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE AGGREGATES PRODUCED

Key words

Lower Silesia, petrography of basaltoids, categories of aggregates

Abstract

Proper values of physical and mechanical properties and their homogeneity are one of major requirements deciding about technological suitability of the rocks quarried to manufacturing aggregates. These properties depend on the natural features of a rock, its mineral composition, texture and structure. The characteristic of aggregates and the technical requirements they must meet are normalized in adequate standards that describe the procedures of conducting particular determinations and the methods of interpreting their results.

In the basaltoids (usually called basalts) of selected deposits of Lower Silesia that represent different intrusive forms, five textural varieties have been distinguished: aphanitic, aphanitic-porphyrific, porphyritic-aphanitic,

porphyritic-nodular and nodular-porphyritic. The petrography and essential physical and mechanical properties of these varieties have been described in Tables 1 and 2, respectively. The highest technical parameters have the aphanitic and aphanitic-porphyritic rock varieties. They result mainly from the textures of these rocks and their insignificant weathering, and to a lesser degree from their mineral composition.

The resistance to wear (micro-Deval) and the resistance to fragmentation (Los Angeles) of the aggregates that represent the grain fraction 10–14 mm of the five varieties of basaltoids and the rock composites were determined according to the standards PN-EN 12620: 2008 and PN-EN 13043: 2004. Of the aggregates produced from the five major varieties, only those made of the nodular-porphyritic basaltoids have the properties of lower categories, whereas the remaining four are the materials of very high quality. Additionally, it has been shown that by combining various basaltoid types it is possible to produce composite aggregates with the variable qualities belonging to the categories LA and  $M_{DE}$  (Tab. 3).

The effect of rock petrography on the differentiation of the parameters of aggregates depending on the grain fraction of the products (Fig. 1, Tab. 4) is the lowest in the case of the aggregates produced from the homogenous and not weathered rock. In contrast, the range of variability of the parameters is higher if the starting material to produce aggregates is composed of several textural varieties and shows signs of weathering as well.

The possibility of delineation of the areas occupied in the deposit by basaltoids with specific textural varieties creates the conditions of determining the rock zones, from which the aggregates of the predicted quality may be produced. This quality may be controlled and partly changed to the user needs by producing aggregates from the specially prepared rock mixtures (i.e. the charge to crushers) with specified proportions of the basaltoid varieties.

