

Stefan Góralczyk, Danuta Kukielska**

JAKOŚĆ KRAJOWYCH KRUSZYW

1. Wstęp

Według szacunków ekspertów [1–3] w Polsce na drogi krajowe, autostrady, drogi ekspresowe i obwodnice potrzeba będzie od 11 mln ton w 2010 do 73 mln ton w 2013 roku różnego rodzaju kruszyw. W przewidywanym zapotrzebowaniu na kruszywo należy dodatkowo uwzględnić potrzeby kolejnictwa i budownictwa. Nowe warunki konstrukcyjne (wysokie budynki, budownictwo techniczne, budownictwo drogowe), skażone środowisko oraz wysokie koszty konstrukcji stalowych w porównaniu z żelbetowymi spowodowałyby zapotrzebowanie na betony nowej generacji tj. betony wysokiej jakości charakteryzujące się dobrą wytrzymałością i trwałością. Poziom zaawansowania technicznego tych zastosowań kruszywa wywołuje zapotrzebowanie na kruszywo wysokiej jakości.

2. Klasyfikacja kruszyw mineralnych

Kruszywo to materiał ziarnisty stosowany w budownictwie. Podział kruszyw zawarty jest w normach zawierających wymagania techniczne tj. w normach a mianowicie:

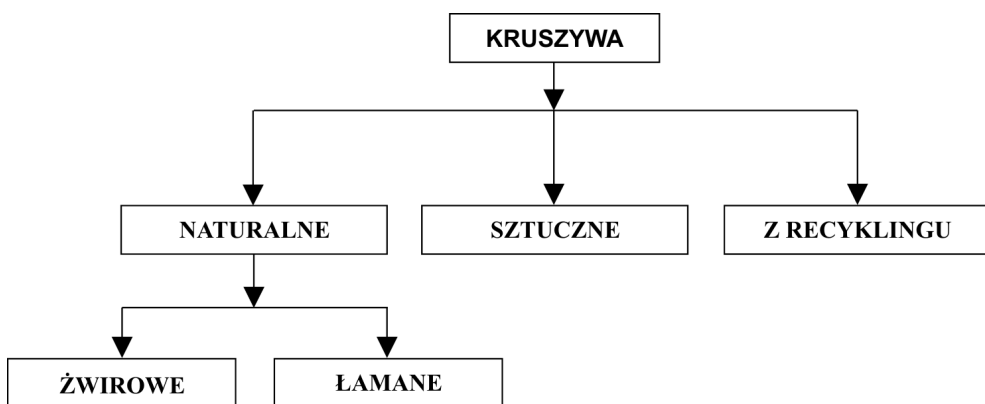
- PN-EN 12620 Kruszywa do betonu;
- PN-EN 13043 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu;
- PN-EN 13055 cz. 1 i 2. Kruszywa lekkie do betonu, zaprawy i zaczynu;
- PN-EN 13193 Kruszywa do zaprawy;
- PN-EN 13242 Kruszywa do niezwiązanych i hydraulicznie związanych materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym;
- PN-EN 13383-1 Kamień do robót hydrotechnicznych;
- PN-EN 13450 Kruszywa na podsypkę kolejową.

* Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa

Według wymienionych norm definicję kruszyw ustalono następująco:

- Kruszywa naturalne to kruszywa ze źródeł (złóż) naturalnych, które mogą być poddane najwyżej mechanicznej przeróbce;
- Kruszywa sztuczne to kruszywa pochodzenia mineralnego, które są rezultatem procesów przemysłowych obejmujących cieplną lub inną modyfikację;
- Kruszywa z recyklingu to kruszywa, które są rezultatem przeróbki nieorganicznych materiałów uprzednio stosowanych w budownictwie.

Podział i nazewnictwo kruszyw przedstawiono na rysunku 1. Zaproponowany podział kruszywa budzi jednak pewne zastrzeżenia [4].



Rys. 1. Podział kruszyw według PN-EN

Zgodnie z definicją kruszyw sztucznych obejmują one grupę kruszyw wyprodukowanych z surowców pochodzenia mineralnego (np. gliny, ily, łupki itp.), które poddane zostały w procesach przemysłowych obróbce cieplnej lub innej modyfikacji. Produkowana jest również (nie tylko w Polsce) duża grupa kruszyw z surowców odpadowych, które oprócz uszlachetniania (przekruszenia i rozszania do odpowiednich frakcji) nie podlegają żadnej innej modyfikacji. Czy zatem kruszywa otrzymywane z przeróbki mechanicznej żużli (pomiedziowych, stalowniczych, wielkopieczowych) należy zaliczyć do grupy kruszyw sztucznych? Normy dotyczące kruszyw, pomimo że ustalają wymagania dla tej grupy kruszyw, nie precyzują tego. Stąd podjęte zostały prace, aby tę nieścisłość w podziale kruszyw usunąć.

Dokument Komisji Europejskiej „*End of Waste — Aggregates Case Study*” z 5 marca 2007 r. proponuje zamiast nazwy kruszywa sztuczne przyjąć nazwę kruszywa wtórne (*secondary aggregates*) dla kruszyw z surowców wtórnych (produktów) wyprodukowanych w procesach przemysłowych.

Zgodny z tą propozycją jest dokument CEN/TC154/TG10/N736 „Materiały wtórne. Kruszywa sztuczne. Raport końcowy dla kruszyw ze złóż wtórnych”. W dokumencie tym

zapropozowano nową klasyfikację kruszyw sztucznych, produkowanych z różnych rodzajów surowców wtórnych.

W zależności od gęstości objętościowej kruszywa skalne dzieli się na trzy typy:

- kruszywo ciężkie o gęstości w stanie suchym powyżej 3000 Mg/m^3 ,
- kruszywa zwykle o gęstości w stanie suchym $2000\text{--}3000 \text{ Mg/m}^3$,
- kruszywa lekkie o gęstości w stanie suchym poniżej 2000 Mg/m^3 .

Wszystkie te grupy kruszyw są równoprawne, jeśli chodzi o zastosowanie do betonu, mieszanek bitumicznych oraz mieszanek związanych lub niezwiązanych hydraulicznie. Jedynym kryterium zastosowania kruszywa są jego właściwości.

3. Wpływ właściwości kruszywa (surowca) na jakość wyrobu

Niektóre właściwości kruszyw, w zasadzie niezależne od sposobu przeróbki w istotny sposób wpływają na właściwości wyrobu, w którym je zastosowano. Przykładem może być mrozoodporność kruszywa, jeden z elementów wpływający na trwałość betonu. Zgodnie z wymaganiami norm europejskich jako wskaźnik mrozoodporności można przyjąć nasiąkliwość kruszywa (PN-EN 1097-6). Uznaje się, że nasiąkliwość nie przekraczająca 1% gwarantuje mrozoodporność kruszywa. W przypadku niektórych wapieni, piaskowców i żużli wartość nasiąkliwości jest większa a kruszywa te są wystarczająco mrozoodporne.

Podobnie o możliwości zastosowania kruszywa do betonu o wysokiej wytrzymałości decyduje jego odporność na rozdrabnianie, czyli współczynnik LA badany w bębnie Los Angeles (PN-EN 1097-2). Z kolei na jakość mieszanek bitumicznych wpływ ma odporność kruszywa na ogrzewanie i suszenie jakie ma miejsce przy produkcji gorących mieszanek. Właściwość tę określa się w badaniu odporności na szok termiczny (PN-EN 1367-5). Parametry takie jak odporność na ścieranie (PN-EN 1097-1), odporność na polerowanie i ścieranie powierzchniowe (PN-EN 1097-8) decydują o możliwości zastosowania kruszywa do nawierzchni. W niniejszym materiale dokonano próby oszacowania jakości kruszyw według wymagań europejskich, kruszyw produkowanych w Polsce. Postanowienia norm europejskich stwarzają znacznie większe możliwości wyboru właściwości kruszyw odpowiadającej odbiorcy dla konkretnego zastosowania. Według norm europejskich dla najwyższych kategorii kruszyw określone są wymagania zdecydowanie ostrzejsze niż to miało miejsce w normach PN dla najwyższych klas, gatunków czy marek.

4. Jakość kruszyw z wybranych krajowych złóż

W analizie wykorzystano wyniki badań kruszyw z krajowych złóż wykonywane w Laboratorium Badania Maszyn Roboczych i Górniczych Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w latach 2005–2010 [6].

Analizę wykonano dla 100 asortymentów kruszywa wyprodukowanego w 95 zakładach. Porównano wyniki badań poniżej wymienionych rodzajów kruszywa:

- gabra (2),
- melafir (4),
- bazalt (12),
- amfibolit (2),
- żużel (3),
- dolomit (9),
- sjenit (1),
- węglan (7),
- wapień (3),
- gnejs (1),
- granit, granitognejs (5),
- kwarcyt (2),
- szarogłaz (1),
- żwir (13), (z przewagą ziarn magmowych i metamorficznych),
- żwir kruszony (15), (ziarna kruszone > 50%),
- żwir (10), (z przewagą ziarn kwarcowych lub piaskowcowych),
- żwir (10), (z przewagą ziarn węglanowych).

Analizowano wyniki badań kruszyw dla frakcji 8–16 mm.

Porównywano właściwości fizyko-mechaniczne, które określają jakość kruszywa i decydują o możliwości zastosowania w określonych zastosowaniach, a więc takie właściwości, które w istotny sposób mogą wpłynąć na jakość wyrobu, w którym zostały zastosowane. Jak wspomniano w rozdz. 3 takimi właściwościami są:

- odporność na rozdrabnianie, współczynnik LA według PN-EN 1097-2:2000/A1:2008,
- odporność na ścieranie współczynnik M_{DE} , według PN-EN 1097-1:2000/A1:2004
- odporność na polerowanie PSV według PN-EN 1097-8:2002,
- odporność na ścieranie powierzchniowe w warunkach drogowych AAV ,
- odporność na szok termiczny według PN-EN 1367-5:2004
- nasiąkliwość według PN-EN 1097-6:2002/AC:2004/Ap1:2005/A1:2006,
- mrozoodporność F według PN-EN 1367-1:2007.

W pierwszej kolumnie każdej tabel 1–7 w nawiasach podano liczbę badanych próbek w danej grupie kruszyw. W ostatniej kolumnie tablic podano liczbę próbek, które spełniają wymagania dla danej kategorii.

4.1. Odporność na rozdrabnianie (tab. 1)

Kruszywa z malafiru, gbra, szarogłazu i bazaltu osiągają najwyższą kategorię odporności na rozdrabnianie. W przypadku kruszyw z amfibolitu, żużli i dolomitu odporność na rozdrabnianie waha się od LA_{15} do LA_{25} . Najwyższą kategorię tego parametru osiąga 23% badanych kruszyw, a uwzględniając 2 najwyższe kategorie, wskaźnik wzrasta do 38%. Zróżnicowanie w tym zakresie wykazują kruszywa węglanowe, żwirowe i granitowe. Najniższe kategorie LA_{25} i niższe osiągają kruszywa z wapieni, gnejsu, granitu, kwarcytu, żwiru węglanowego. Wśród granitów znalazły się też 2 próbki, które nie osiągnęły żadnej kategorii i właściwość tę deklarowano.

TABELA 1

Odporność kruszywa na rozdrabnianie (współczynnik LA)

Kruszywo	Odporność na rozdrabnianie, LA PN-EN 1097-2:2000	
	Wynik badania	Kategoria według norm: PN-EN 12620, PN-EN 13043
Gabro (2)	13–15	LA_{15-2}
Melafir (3)	7–11	LA_{15-3}
Bazalt (12)	6–13	LA_{15-12}
Szarogłaz (1)	16	LA_{15-1}
Amfibolit (2)	12–19	LA_{15-1} LA_{20-1}
Żużel (3)	15–23	LA_{15-1} LA_{20-1} LA_{25-1}
Dolomit (8)	11–25	LA_{15-2} LA_{20-3} LA_{25-3}
Sjenit (1)	19	LA_{20-1}
Żwir (13) z przewagą ziaren magmowych i metamorficznych	18–25	LA_{20-6} LA_{25-5} LA_{30-2}
Żwir kruszony (15) ziarna kruszone > 50%	16–30	LA_{20-2} LA_{25-7} LA_{30-6}
Węglan (6)	18–32	LA_{20-1} LA_{25-2} LA_{30-2} LA_{35-1}

TABELA 1 cd.

Kruszywo	Odporność na rozdrabnianie, LA PN-EN 1097-2:2000	
	Wynik badania	Kategoria według norm: PN-EN 12620, PN-EN 13043
Żwir (10) z przewagą ziaren kwarcowych lub piaskowcowych	16–34	LA ₂₀ -1 LA ₂₅ -3 LA ₃₀ -4 LA ₃₅ -2
Wapień (3)	24–30	LA ₂₅ -2 LA ₃₀ -1
Gnejs (1)	34	LA ₃₅ -1
Granit, granitognejs (5)	21–43	LA ₂₅ -1 LA ₃₀ -1 LA ₃₅ -1 dek1-2
Kwarcyt (2)	21–32	LA ₂₅ -1 LA ₃₅ -1
Żwir (10) z przewagą ziaren węglanowych	21–31	LA ₂₅ -8 LA ₃₀ -1 LA ₃₅ -1

4.2. Odporność na ścieranie (tab. 2)

Najwyższą odpornością na ścieranie $M_{DE}10$ charakteryzują się kruszywa ze sjenitu, melafiru, żuźła, gabra oraz przeważająca liczba kwarowych kruszy żwirowych, kruszyw granitowych i bazaltowych. Najwyższą kategorię osiąga 27% badanych kruszyw, 2 najwyższe kategorie $M_{DE}10$ i $M_{DE}20$ osiągane są przez 56% badanych kruszyw. Duże zróżnicowanie występuje w pozostałych kruszywach żwirowych. Słabą odporność na ścieranie uzyskały żwiry węglanowe i kruszywa wapienne, w których odnotowano 1 przypadek kruszywa poza kategoriami, dla którego ten parametr należało deklarować.

TABELA 2

Odporność kruszywa na ścieranie (współczynnik M_{DE})

Kruszywo	Odporność na ścieranie, M_{DE} PN-EN 1097-1	
	Wynik badania	Kategoria według norm: PN-EN 12620, PN-EN 13043
Sjenit (1)	10	$M_{DE}10$ -1
Melafir (4)	6–14	$M_{DE}10$ -3 $M_{DE}15$ -1

TABELA 2 cd.

Żużel (3)	3–11	$M_{DE}10-2$ $M_{DE}15-1$
Gabro (2)	10–14	$M_{DE}10-1$ $M_{DE}15-1$
Żwir (10) z przewagą ziaren kwarcowych lub piaskowcowych	6–23	$M_{DE}10-6$ $M_{DE}15-3$ $M_{DE}25-1$
Granit, granitognejs (5)	7–16	$M_{DE}10-2$ $M_{DE}15-2$ $M_{DE}20-1$
Bazalt (12)	7–18	$M_{DE}10-4$ $M_{DE}15-4$ $M_{DE}20-4$
Dolomit (9)	7–18	$M_{DE}10-3$ $M_{DE}15-2$ $M_{DE}20-4$
Amfibolit (2)	9–16	$M_{DE}10-1$ $M_{DE}20-1$
Kwarcyt (2)	10–17	$M_{DE}10-1$ $M_{DE}20-1$
Żwir (13) z przewagą ziaren magmowych i metamorficznych	3–21	$M_{DE}10-2$ $M_{DE}15-5$ $M_{DE}20-5$ $M_{DE}25-1$
Żwir kruszony (14) ziarna kruszone > 50%	9–26	$M_{DE}10-1$ $M_{DE}15-4$ $M_{DE}20-5$ $M_{DE}25-2$ $M_{DE}30-2$
Węglan (7)	13–29	$M_{DE}15-2$ $M_{DE}20-1$ $M_{DE}25-1$ $M_{DE}30-2$ $M_{DE}35-1$
Żwir (10) z przewagą ziaren węglanowych	20–40	$M_{DE}15-3$ $M_{DE}20-4$ $M_{DE}25-2$ $M_{DE}40-1$
Wapień (3)	18–38	$M_{DE}20-1$ $M_{DE}30-1$ dek1-1
Gnejs (1)	25	$M_{DE}25-1$
Szarogłaz (1)	23	$M_{DE}25-1$

4.3. Odporność na polerowanie (tab. 3)

W badaniach wykonanych w IMBiGS najlepsze wartości polerowalności mieściły się w kategorii PSV_{68} , trzeciej w kolejności w normach. Taką polerowalność osiągnęły kruszywa z gnejsu, szarogłazu oraz niektóre kwarcytowe, amfibolitowe, węglanowe, żuźlowe i żwirowe kruszone. Duża zmienność występuje w pozostałych kruszywach żwirowych, a także w kruszywach węglanowych. W zakresie tego parametru wystąpiło najwięcej kruszyw poza kategoriami przewidzianymi w normach. Najwyższą osiągniętą w badaniach kategorię PSV_{56} (3 kategoria w normach) uzyskało 9% badanych kruszyw, zaś 14% nie uzyskało żadnej kategorii. Najniższą kategorię przewidzianą w normie — PSV_{44} — osiągnęło 41% badanych kruszyw.

TABELA 3

Odporność kruszywa na polerowanie PSV

Kruszywo	Odporność na polerowanie, PSV PN-EN 1097-8	
	Wynik badania	Kategoria według norm: PN-EN 12620, PN-EN 13043
Gnejs (1)	59	PSV_{56-1}
Szarogłaz (1)	58	PSV_{56-1}
Żwir (10) z przewagą ziaren węglanowych	45–61	PSV_{56-1} PSV_{50-5} PSV_{44-4}
Kwarcyt (2)	51–56	PSV_{56-1} PSV_{44-1}
Amfibolit (2)	49–54	PSV_{50-1} PSV_{44-1}
Żwir kruszony (15) ziarna kruszone > 50%	39–55	PSV_{56-2} PSV_{50-8} PSV_{44-4} dekl-1
Węglan (6)	41–56	PSV_{56-1} PSV_{44-5}
Żużel (3)	42–60	PSV_{56-1} PSV_{44-1} dekl-1
Bazalt (12)	44–52	PSV_{50-5} PSV_{44-7}
Gabro (2)	49–53	PSV_{50-1} PSV_{44-1}

TABELA 3 cd.

Żwir (7) z przewagą ziaren kwarcowych lub piaszkowców	43–53	PSV ₅₀₋₂ PSV ₄₄₋₄ dekl-1
Żwir (13) z przewagą ziaren magmowych i metamorficznych	42–53	PSV ₅₀₋₆ PSV ₄₄₋₄ dekl-3
Melafir (4)	52–55	PSV ₄₄₋₄
Sjenit (1)	52	PSV ₄₄₋₁
Dolomit (6)	41–47	PSV ₄₄₋₃ dekl-3
Wapień (3)	42–43	dekl-3

4.4. Odporność na ścieranie powierzchniowe (tab. 4)

Zdecydowana większość badanych kruszyw osiągnęła najwyższą kategorię ścieralności powierzchniowej. Na 84 próbki kruszywa tylko 4 tj. 5% odpowiadało kategorii AAV_{15} .

TABELA 4

Odporność kruszywa na ścieranie powierzchniowe AAV

Kruszywo	Odporność na ścieranie powierzchniowe, AAV PN-EN 1097-8	
	Wynik badania	Kategoria według norm: PN-EN 12620, PN-EN 13043
Amfibolit (2)	5	AAV_{10-2}
Bazalt (12)	2–4	AAV_{10-12}
Dolomit (9)	7–10	AAV_{10-9}
Żużel (3)	2–5	AAV_{10-3}
Gabro (2)	3	AAV_{10-2}
Gnejs (1)	5	AAV_{10-1}
Granit, granitognejs (5)	3	AAV_{10-5}
Kwarcyt (2)	1–3	AAV_{10-2}
Melafir (4)	3–4	AAV_{10-4}
Sjenit (1)	4	AAV_{10-1}
Szarogłaz (1)	4	AAV_{10-1}
Żwir (7) z przewagą ziaren kwarcowych lub piaszkowców	1–3	AAV_{10-7}

TABELA 4 cd.

Kruszywo	Odporność na ścieranie powierzchniowe, <i>AAV</i> PN-EN 1097-8	
	Wynik badania	Kategoria według norm: PN-EN 12620, PN-EN 13043
Żwir (8) z przewagą ziaren magmowych i metamorficznych	2–4	<i>AAV</i> _{15–8}
Żwir (10) z przewagą ziaren węglanowych	2–6	<i>AAV</i> _{10–10}
Żwir kruszony (13) ziarna kruszone > 50%	2–4	<i>AAV</i> _{10–12} <i>AAV</i> _{15–1}
Węglan (4)	2–15	<i>AAV</i> _{10–1} <i>AAV</i> _{15–3}

4.5. Odporność na szok termiczny (tab. 5)

Ubytek masy kruszyw poddanych szokowi termicznemu w prawie wszystkich przypadkach nie przekroczył 0,7%. Szok termiczny nie spowodował spadku wytrzymałości w przypadku 7 próbek kruszywa (gabro 2, gnejs 1, kwarcyty 2, żwir magmowo-metamorficzny 1). Największą zmienność odnotowano w grupie kruszyw żwirowych (1–6), bazaltowych (1–5), węglanowych (2–9), dolomitach (1–4). Maksymalne spadki wytrzymałości miały miejsce w próbkach kruszywa wapiennego (10) i węglanowego (9). Najlepsze wyniki w zakresie odporności na szok termiczny osiągnęły próbki kruszywa z gabra. W wyniku szoku termicznego ubytek masy dla tych próbek wyniósł 0,0–0,1% oraz nie odnotowano spadku wytrzymałości.

TABELA 5

Odporność kruszywa na szok termiczny

Kruszywo	Szok termiczny PN-EN 1367-5:2004	
	Ubytek masy	Spadek wytrzymałości V_{LA}
Amfibolit (2)	0,03	1
Bazalt (12)	0,02–0,1	1–5
Dolomit (9)	0,03–1,8	1–4
Wapień (3)	0,3–0,1	1–10
Węglan (7)	0,04–0,6	2–9
Żużel (3)	0,2–0,7	0–1
Gabro (2)	0,0–0,1	0
Gnejs (1)	0,3	0

TABELA 5 cd.

Granit, granitognejs (5)	0,02	0–3
Kwarcyt (2)	0,2	0
Melafir (4)	0,02–0,1	1–3
Sjenit (1)	0,03	3
Szarogłaz (1)	1,2	2
Żwir kruszony (13) ziarna kruszone > 50%	0,1–0,5	1–4
Żwir (8) z przewagą ziaren kwarcowych lub piaskowcowych	0,1–0,3	1–6
Żwir (12) z przewagą ziaren magmowych i metamorficznych	0,1–0,3	0–6
Żwir (9) z przewagą ziaren węglanowych	0,1–0,5	1–4

4.6. Nasiąkliwość

Najkorzystniejszą nasiąkliwością, nie przekraczającą 1%, charakteryzuje się zdecydowana większość kruszyw. Z przebadanych 92 próbek 67% wykazywało ten poziom nasiąkliwości. Wahania wartości nasiąkliwości wykazują kruszywa z dolomitu, węglanów, żwirów magmowo-metamorficznych i węglanowych. Pojedyncze próbki tych kruszyw przekraczają granicę 1%. Większość kruszyw bazaltowych wykazuje nasiąkliwość powyżej 1%. Tylko 2 próbki kruszywa (1 dolomitowe, 1 żwir węglanowy) charakteryzują się nasiąkliwością powyżej 2%.

TABELA 6

Nasiąkliwość kruszyw

Kruszywo	Nasiąkliwość, % PN-EN 1097-6	
	Wynik badania, %	Ocena według norm: PN-EN 12620, PN-EN 13043
Amfibolit (2)	0,6	<1–2
Szarogłaz (1)	0,5	<1–1
Sjenit (1)	0,3	<1–1
Żużel (3)	0,4–0,5	<1–3
Gabro (2)	0,3–0,4	<1–2
Granit, granitognejs (5)	0,3–0,7	<1–5
Kwarcyt (2)	0,3–0,7	<1–2

TABELA 6 cd.

Kruszywo	Nasiąkliwość, % PN-EN 1097-6	
	Wynik badania, %	Ocena według norm: PN-EN 12620, PN-EN 13043
Wapień (3)	0,3–0,4	<1–3
Żwir kruszony (12) ziarna kruszone > 50%	0,4–1,6	<1–11 >1–1
Żwir (10) z przewagą ziaren kwarcowych lub piaszczystych	0,7–1,4	<1–9 >1–1
Dolomit (7)	0,5–2,4	<1–5 >1–2
Żwir (13) z przewagą ziaren magmowych i metamorficznych	0,3–1,4	<1–8 >1–5
Melafir (3)	0,8–1,3	<1–2 >1–1
Żwir (10) z przewagą ziaren węglanowych	0,5–2,3	<1–7 >1–3
Węglan (7)	0,3–1,8	<1–4 >1–3
Bazalt (11)	0,5–1,7	<1–4 >1–7

4.7. Mrozoodporność

Badane próbki kruszywa w zdecydowanej większości — 68% — osiągnęły najwyższą kategorię mrozoodporności. Tylko w 6% próbek odnotowano najniższą kategorię, a w 3 przypadkach na 80 kruszywo nie odpowiadało żadnej kategorii i wartość należało deklorować. Dotyczyło to kruszyw węglanowych i żwirów węglanowych.

TABELA 7

Mrozoodporność kruszyw

Kruszywo	Nasiąkliwość, % PN-EN 1367-1	
	Wynik badania, %	Ocena według norm: PN-EN 12620, PN-EN 13043
Amfibolit (2)	0,8	F_1-2
Żużel (3)	0,2–0,7	F_1-3
Gabro (2)	0,2–0,3	F_1-2

TABELA 7 cd.

Granit, granitognejs (3)	0,2–0,5	F_{1-3}
Kwarcyt (2)	0,5–1	F_{1-2}
Sjenit (1)	0,2	F_{1-1}
Szarogłaz (1)	0,9	F_{1-1}
Żwir (8) z przewagą ziaren kwarcowych lub piaskowcowych	0,2–1	F_{1-8}
Bazalt (9)	0,1–2,5	F_{1-6} F_{2-3}
Wapień (3)	0,2–1,1	F_{1-2} F_{2-1}
Żwir (13) z przewagą ziaren magmowych i metamorficznych	0,1–2,0	F_{1-7} F_{2-6}
Dolomit (8)	0,4–1,8	F_{1-6} F_{2-1} F_{4-1}
Żwir kruszony (8) ziarna kruszone > 50%	0,1–1,3	F_{1-4} F_{2-3} F_{4-1}
Żwir (10) z przewagą ziaren węglanowych	0,5–4,9	F_{1-3} F_{2-4} F_{4-2} dekl –1
Melafir (2)	0,7–2,8	F_{1-1} F_{4-1}
Węglan (4)	0,7–7	F_{1-3} dekl –1
Gnejs (1)	1,4	F_{2-1}

5. Podsumowanie

W ciągu ostatnich lat w IMBIGS przebadano znaczącą ilość produkowanych w Polsce kruszyw. Badania przeprowadzono dla kruszywa produkowanego w 95 zakładach na 100 próbkach kruszywa. Na podstawie tych badań można stwierdzić, że w Polsce produkowane są w przeważającej ilości kruszywa wysokiej jakości. Zarówno parametry dotyczące odporności na różne czynniki, jak i nasiąkliwość i mrozoodporność odpowiadają najwyższej kategorii dla tych parametrów. Jedynie odporność na polerowanie pasuje się zwykle w niższych kategoriach. Bardzo korzystne wartości wszystkich omawianych właściwości osiągnęły kruszywa z gabra, amfibolitowe, żuźlowe, a także granitowe, kwarcytowe, sjenitowe

i z szarogłazu. Dużą różnorodność wykazują kruszywa zwirowe. Wśród nich można także znaleźć kruszywa wysokiej jakości, zwłaszcza w żwirach kruszonych albo kwarcytowo-piaskowcowych.

Dobłą jakość kruszyw potwierdzić można odnosząc uzyskane wyniki do stawianych wymagań. Wymagania dla kruszyw zawarte w Wymaganiach Technicznych WT-1 [7] w zależności od kategorii ruchu dla każdego zastosowania kruszywa, zarówno do betonu asfaltowego, warstwy ścieralnej lub warstwy wiążącej stawiają niższe wymagania niż osiągane przez badane kruszywa. Według WT-1 do wymienionych zastosowań niezbędne są kruszywa od LA_{20} do LA_{50} . Nawet właściwość, która w badaniach osiągnęła najniższy poziom tj. PSV , według WT-1 waha się od $PSV_{deklarowane}$ do PSV_{50} .

6. Wnioski

- 1) Kruszywa produkowane w Polsce wykazują zmienną jakość, co stwarza możliwość racjonalnego wyboru w zależności od konkretnego zastosowania warunkującego niezbędny poziom jakości.
- 2) Na bazie istniejącej bazy surowcowej istnieje możliwość produkowania kruszyw o wysokiej jakości, niezbędnych do najbardziej wymagających zastosowań.
- 3) Porównanie jakości różnych kruszyw pozwala na odrzucenie funkcjonujących stereotypów powodujących niechęć stosowania niektórych kruszyw w określonych zastosowaniach.

LITERATURA

- [1] *Zapaśnik W.*: Zapotrzebowanie kruszyw na drogi krajowe w latach 2010–2013. Bilans zasobów polskiego budownictwa drogowego. Materiały podstawowe: kruszywa, cement, asfalt, Polski Kongres Drogowy, Warszawa 2009
- [2] *Kabziński A.*: Kruszywa w Polsce w latach 1989–2008. Forum Producentów kruszyw, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalego, Warszawa 2009
- [3] *Kabziński A.*: Zapotrzebowanie kruszyw na drogi krajowe w latach 2010–2013, Bilans zasobów polskiego budownictwa drogowego. Materiały podstawowe: kruszywa, cement, asfalt, Polski Kongres Drogowy, Warszawa 2009
- [4] *Góralczyk S., Kukielska D.*: Europejskie kierunki prac normalizacyjnych dotyczących kruszyw sztucznych i z recyklingu. Konferencja Kruszywa Mineralne, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Szklarska Poręba 2010
- [5] Sprawozdania ekspertyzy z badań, IMBiGS, Warszawa 2006–2010
- [6] Wymagania Techniczne WT-1, IBDiM, Warszawa, 2008