

Stefan Góralczyk, Danuta Kukielska
IMBiGS
Paweł Gambal, Adam Żurek
KGHM Ecoren S.A., Departament Rozwoju, Lubin

SUMMARY

The division of aggregates, requirements and testing methods have been included, along with comparative quality analysis. The analysis involved the range of 100 aggregates, manufactured by 95 producers. The aggregates have been tested by IMBiGS in the years 2006-2010. For the analysis, the accepted results concerned the 8/16 fraction. The research was representative for all types of aggregates produced in Poland. The analysis involved basic technological properties of aggregates, such as: resistance to crushing, grindability, thermal shock resistance, absorbability and freeze resistance. The values gained for particular properties have been related to the PN-EN 12620 and PN-EN 13043 standards. The quality of aggregates produced in Poland has been presented, basing on the tests results. The possibility of expanding raw materials base beyond traditional materials applied has been discussed.

Kruszywa pomiedziowe a naturalne – które lepsze?

Według szacunków ekspertów (1-3) w Polsce na drogi krajowe, autostrady, drogi ekspresowe i obwodnice potrzeba będzie od 11 mln ton w 2010 r. do 73 mln ton w 2013 roku różnego rodzaju kruszyw. Dodatkowo należy uwzględnić potrzeby kolejnictwa i budownictwa. Poziom zaawansowania technicznego tych zastosowań kruszywa wywołuje zapotrzebowanie na kruszywo wysokiej jakości.

Zgodnie z podziałem kruszyw zawartym w normach PN-EN, wyróżniamy następujące kruszywa naturalne i sztuczne, a z tych można wyodrębnić kruszywa z recyklingu. Wszystkie te grupy kruszyw są równoprawne, jeśli chodzi o ich zastosowanie.

PRODUKCJA KRUSZYW POMIEDZIOWYCH

Kruszywa pomiedziowe produkowane są zarówno z żużla z pieca szybowego, jak i żużla z pieca elektrycznego Huty Miedzi Głogów. Ecoren produkuje około 1 mln ton kruszyw pomiedziowych rocznie, co daje około 10% udziału w rynku kruszyw sztucznych w Polsce. Aktualnie KGHM Ecoren

zagospodarowuje całość żużli szybowych produkowanych przez KGHM Polska Miedź S.A. Żużel szybowy jest produktem odpadowym powstającym w trakcie przetopu brykietowanego koncentratu miedzi w piecu szybowym (8). W stanie płynnym, w temperaturze około 1200°C, transportowany jest kadziowozami na miejsce składowania – hałdę (fot. 2). Po wylaniu żużla na hałdzie następuje jego krzepnięcie i powolne studzenie w warunkach atmosferycznych.

PRODUKCJA ŻUŻLA Z PIECA ELEKTRYCZNEGO HUTY MIEDZI GŁOGÓW

Technologia produkcji kruszyw z żużla z pieca elektrycznego polega na wylewaniu płynnego żużla kadziowozami do specjalnych dołów żużlowych (fot. 1) w warstwach określonej grubości, w określonych przedziałach czasowych (10). Takie rozwiązanie gwarantuje uzyskanie wymaganych parametrów fizykochemicznych oraz bezpieczne i sprawne urabianie „żużla”.

JAKOŚĆ KRUSZYW POMIEDZIOWYCH W PORÓWNIANIU Z KRUSZYWAMI ZE SKAŁ NATURALNYCH

W analizie wykorzystano wyniki badań kruszyw z krajowych złóż wykonanych w Laboratorium Badań Maszyn Roboczych i Górniczych Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w latach 2005-2010 (6). Analizę wykonano dla 101 asortymentów kruszywa wyprodukowanego w 95 zakładach. Porównano wyniki badań poniżej wymienionych rodzajów kruszywa:

- kruszywo z żużla z pieca szybowego z Huty Miedzi Legnica (1);

KRUSZYWO	ODPORNOŚĆ NA ROZDRABNIANIE, LA PN-EN 1097-2:2000	
	WYNIK BADAŃ	KATEGORIA
Z pieca szybowego Legnica	16	LA ₂₀
Z pieca szybowego Głogów	15	LA ₁₅
Z pieca elektrycznego Głogów	27	LA ₃₀
Żużel (4)	15-23	LA ₁₅ -1 LA ₂₀ -1 LA ₂₅ -1
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
Dolomit (8)	11-25	LA ₁₅ -2 LA ₂₀ -3 LA ₂₅ -3
Sjenit (1)	19	LA ₂₀ -1
Żwir (13) z przewagą ziarn 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
Żwir (10) z przewagą ziarn kwarcowych lub piaskowców	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 dekl. 2
Kwarcyt (2)	21-32	LA ₂₅ -1 LA ₃₅ -1
Żwir (10) z przewagą ziarn węglanowych	21-31	LA ₂₅ -8 LA ₃₀ -1 LA ₃₅ -1

Tab. 1. Odporność kruszywa na rozdrabnianie (współczynnik LA)

W obliczu planowanych inwestycji w Polsce konieczne jest powiększenie zasobowej bazy surowcowej również o surowce wtórne. Obecnie w wielu dziedzinach tradycyjnie wykorzystuje się tylko niektóre surowce, a z rezerwą traktuje inne. Z prowadzonych badań wynika, że surowce wtórne są równie dobre jak naturalne, a kruszywa z nich produkowane nie ustępują im swoimi właściwościami.

- kruszywo z żużla z pieca szybowego z Huty Miedzi Głogów (1);
- kruszywo z żużla z pieca elektrycznego z Huty Miedzi Głogów (1);
- kruszywo z żużla (4);
- gabro (2);
- melafir (4);
- bazalt (12);
- amfibolit (2);
- 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 piaskowców;
- żwir (10) z przewagą ziarn węglanowych.

Analizowano wyniki badań kruszyw dla frakcji 8-16 mm. Wyniki odnoszono do wymagań zawartych w normach: *PN-EN 12620 Kruszywo do betonu* i *PN-EN 13043 Kruszywo do mieszanek bitumicznych*.

Porównywano właściwości fizykomechaniczne, które określają jakość kruszywa i decydują o jego przydatności do określonych zastosowań, a więc takie właściwości, które w istotny sposób mogą wpłynąć na jakość wyrobu, w którym zostały zastosowane:

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

W pierwszej kolumnie każdej tabeli (tab. 1-7) podano surowiec, z którego wyprodukowano kruszywo, a w nawiasach – liczbę badanych próbek w danej grupie kruszyw. W ostatniej kolumnie tablic podano liczbę próbek, które spełniają wymagania dla danej kategorii.

Kruszywo	ODPORNOŚĆ NA ŚCIERANIE, M_{DE} PN-EN 1097-1	
	WYNIK BADANIA	KATEGORIA
Z pieca szybowego Legnica	3	$M_{DE} 10$
Z pieca szybowego Głogów	3	$M_{DE} 10$
Z pieca elektrycznego Głogów	7,7	$M_{DE} 10$
Żużel (4)	3-11	$M_{DE} 10-2$ $M_{DE} 15-1$
Sjenit (1)	10	$M_{DE} 10-1$
Melafir (4)	6-14	$M_{DE} 10-3$ $M_{DE} 15-1$
Gabro (2)	10-14	$M_{DE} 10-1$ $M_{DE} 15-1$
Żwir (10) z przewagą ziarn 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 ziarn 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 ziarn węglanowych	20-40	$M_{DE} 15-3$ $M_{DE} 20-4$ $M_{DE} 25-2$ $M_{DE} 40-1$
Wapień (3)	18-38	$M_{DE} 20-1$ $M_{DE} 30-1$ dekl. -1
Gnejs (1)	25	$M_{DE} 25-1$
Szarogłaz (1)	23	$M_{DE} 25-1$

Tab. 2. Odporność kruszywa na ścieranie (współczynnik M_{DE})

ODPORNOŚĆ NA ROZDRABNIANIE

Kruszywa z melafiru, gabra, szarogłazu i bazaltu osiągnęły najwyższą kategorię odporności na rozdrabnianie. W tej grupie mieści się również kruszywo z żużla z huty Głogów (łącznie 23% badanych kruszyw). Uwzględniając dwie najwyższe kategorie, liczba kruszyw wzrasta do 38% i obejmuje wszystkie kruszywa żużlowe. Najniższe odnotowane w badaniach kategorie LA_{25} i niższe osiągnęły kruszywa z wapieni, gnejsu, granitu, kwarcytu oraz żwiru węglanowego.

ODPORNOŚĆ NA ŚCIERANIE

Najwyższą odpornością na ścieranie $M_{DE} 10$ charakteryzują się kruszywa z żużla, sjenitu, melafiru,

Kruszywo	ODPORNOŚĆ NA POLEROWANIE, PSV PN-EN 1097-8	
	WYNIK BADANIA	KATEGORIA
Z pieca szybowego Legnica	42	dekl. -1
Z pieca szybowego Głogów	48	PSV ₄₄ -1
Z pieca elektrycznego Głogów	48	PSV ₄₄ -1
Żużel (4)	42-60	PSV ₅₆ -1 PSV ₄₄ -1 dekl. -1
Gnejs (1)	59	PSV ₅₆ -1
Szarogłaz (1)	58	PSV ₅₆ -1
Żwir (10) z przewagą ziarn 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
Bazalt (12)	44-52	PSV ₅₀ -5 PSV ₄₄ -7
Gabro (2)	49-53	PSV ₅₀ -1 PSV ₄₄ -1
Żwir (7) z przewagą ziarn kwarcowych lub piaskowcowych	43-53	PSV ₅₀ -2 PSV ₄₄ -4 dekl. 1
Żwir (13) z przewagą ziarn 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

Tab. 3. Odporność kruszywa na polerowanie PSV

gabra oraz przeważająca liczba kwarcowych kruszyw żwirowych, kruszyw granitowych i bazaltowych. Najwyższą kategorię osiągnęły 27% badanych kruszyw, w tym oba kruszywa produkowane przez Ecoren. Kruszywa pomiedziowe z Huty Głogów i Legnica oraz niektóre żwirowe zawierające głównie ziarna magmowe i metamorficzne osiągnęły wyjątkowo wysoką odporność na ścieranie – parametr ten nie przekracza wskaźnika 3. Słabą odporność na ścieranie uzyskały żwirowe węglanowe i kruszywa wapienne.

ODPORNOŚĆ NA POLEROWANIE

W badaniach wykonanych w IMBiGS najlepsze wartości polerowalności mieściły się w kategorii PSV₅₆, trzeciej w kolejności w normach. Taką polerowalność osiągnęły kruszywa z gnejsu, szarogłazu oraz niektóre kruszywa kwarcytowe, amfibolitowe, węglanowe, pomiedziowe i żwirowe kruszone. W zakresie tego parametru wystąpiło najwięcej kruszyw poza kategoriami przewidzianymi w normach. Najwyższą osiągniętą w badaniach kategorię PSV₅₆ uzyskało 9% badanych kruszyw, zaś 14% nie uzyskało

Kruszywo	ODPORNOŚĆ NA ŚCIERANIE POWIERZCHNIOWE, AAV PN-EN 1097-8	
	WYNIK BADAŃ	KATEGORIA
Z pieca szybowego Legnica	2	AAV ₁₀
Z pieca szybowego Głogów	2	AAV ₁₀
Z pieca elektrycznego Głogów	3,6	AAV ₁₀
Żużel (4)	2-5	AAV ₁₀ -3
Amfibolit (2)	5	AAV ₁₀ -2
Bazalt (12)	2-4	AAV ₁₀ -12
Dolomit (9)	7-10	AAV ₁₀ -9
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 ziarn kwarcowych lub piaszczystych	1-3	AAV ₁₀ -7
Żwir (8) z przewagą ziarn magmowych i metamorficznych	2-4	AAV ₁₅ -8
Żwir (10) z przewagą ziarn węglanowych	2-6	AAV ₁₀ -10
Żwir kruszony (13) ziarna kruszone > 50%	2-4	AAV ₁₀ -12 AAV ₁₅ -1
Węglan (4)	2-15	AAV ₁₀ -1 AAV ₁₅ -3

Tab. 4. Odporność kruszywa na ścieranie powierzchniowe AAV

żadnej kategorii. Najniższą kategorię przewidzianą w normie – PSV₄₄ – osiągnęło najwięcej badanych kruszyw (41%).

ODPORNOŚĆ NA ŚCIERANIE POWIERZCHNIOWE

Zdecydowana większość badanych kruszyw (95%, w tym wszystkie pomiedziowe) osiągnęła najwyższą kategorię ścieralności powierzchniowej.

ODPORNOŚĆ NA SZOK TERMICZNY

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. Kruszywa pomiedziowe z żużla z Huty Głogów i Legnica wykazały niski ubytek masy (0,2% i 0,4%) oraz bardzo niski spadek wytrzymałości – na poziomie 1. Maksymalne spadki wytrzymałości miały miejsce w próbkach kruszywa wapiennego i węglanowego (9-10).

NASIĄKLIWOŚĆ

Najkorzystniejszą nasiąkliwością, nieprzekraczającą 1%, charakteryzuje się zdecydowana większość kruszyw (67%), w tej grupie znalazły się również kruszywa pomiedziowe. Pojedyncze próbki kruszywa z dolomitu, węglanów, żwirów magmowo-metamorficznych i węglanowych przekraczają granicę

Kruszywo	SZOK TERMICZNY PN-EN 1367-5:2004	
	UBYTEK MASY	SPADEK WYTRZYMAŁOŚCI V _{LA}
Z pieca szybowego Legnica	0,2	1
Z pieca szybowego Głogów	0,4	1
Z pieca elektrycznego Głogów	0,7	0
Żużel (4)	0,2-0,7	0-1
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
Gabro (2)	0,0-0,1	0
Gnejs (1)	0,3	0
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 ziarn kwarcowych lub piaszczystych	0,1-0,3	1-6
Żwir (12) z przewagą ziarn magmowych i metamorficznych	0,1-0,3	0-6
Żwir (9) z przewagą ziarn węglanowych	0,1-0,5	1-4

Tab. 5. Odporność kruszywa na szok termiczny

1%. Większość kruszyw bazaltowych wykazuje nasiąkliwość powyżej 1%, dwie próbki kruszywa (dolomitowe, a także żwir węglanowy) charakteryzowały się nasiąkliwością powyżej 2%.

MROZODPORNOŚĆ

Badane próbki kruszywa w zdecydowanej większości (68%) osiągnęły najwyższą kategorię mrozoodporności. Taką mrozoodporność wykazały również kruszywa produkowane z żużli pomiedziowych. Tylko w 6% próbek odnotowano najniższą kategorię, a w trzech przypadkach kruszywo nie odpowiadało żadnej kategorii (wartość deklarowana). Dotyczyło to kruszyw węglanowych i żwirów węglanowych.

SUBSTANCJE NIEBEZPIECZNE

W przypadku kruszyw pomiedziowych pewne obawy budzi przekonanie, że mogą one zawierać zwiększoną zawartość substancji szkodliwych. Porównanie wyników uzyskanych dla różnych kruszyw metodami aktualnie obowiązującymi w Polsce pokazuje (tab. 8), że poziom zawartości wymywalnych substancji niebezpiecznych jest taki sam jak dla innych rodzajów kruszywa. Podobne obawy budzi także promieniotwórczość naturalna. Jak pokazują badania przeprowadzone w ciągu kilku ostatnich lat, zawartość pierwiastków promieniotwórczych w kruszywie pomiedziowym pozostawała zawsze

KRUSZYWO	NASIĄKLIWOŚĆ, % PN-EN 1097-6	
	WYNIK BADANIA %	OCENA
Z pieca szybowego Legnica	0,4	< 1
Z pieca szybowego Głogów	0,5	< 1
Z pieca elektrycznego Głogów	0,7	< 1
Żużel (4)	0,4-0,5	< 1-3
Amfibolit (2)	0,6	< 1-2
Szarogłaz (1)	0,5	< 1-1
Sjenit (1)	0,3	< 1-1
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
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 ziarn kwarcowych lub piaskowcowych	0,7-1,4	< 1-9 > 1-1
Dolomit (7)	0,5-2,4	< 1-5 > 1-2
Żwir (13) z przewagą ziarn 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 ziarn 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

Tab. 6. Nasiąkliwość kruszyw

na bezpiecznym poziomie w stosunku do wartości dopuszczalnych (tab. 9).

PODSUMOWANIE

W ciągu ostatnich lat w IMBiGS przebadano znaczącą ilość produkowanych w Polsce kruszyw. 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 plasuje się zwykle w niższych kategoriach.

Bardzo korzystne wartości wszystkich omawianych właściwości osiągnęły kruszywa z gabra, amfibolitowe, a także granitowe, kwarcytowe, sjenitowe i z szarogłazu. W tej grupie kruszyw o najwyższej jakości znalazły się kruszywa produkowane z żużli pomiedziowych.

Dobłą jakość produkowanych kruszyw potwierdza odniesienie wyników do stawianych wymagań. W zależności od kategorii ruchu dla każdego zastosowania kruszywa, zarówno do betonu asfaltowego, jak i warstwy ścieralnej lub warstwy wiążącej, Wymagania Techniczne WT-1 (7) stawiają niższe wymagania

KRUSZYWO	NASIĄKLIWOŚĆ, % PN-EN 1367-1	
	WYNIK BADANIA %	KATEGORIA
Z pieca szybowego Legnica	0,4	F ₁
Z pieca szybowego Głogów	0,2	F ₁
Z pieca elektrycznego Głogów	0,2	F ₁
Żużel (4)	0,2-0,7	F ₁₋₃
Amfibolit (2)	0,8	F ₁₋₂
Gabro (2)	0,2-0,3	F ₁₋₂
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 ziarn 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 ziarn magmaowych 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 ziarn 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 2 dekl.
Gnejs (1)	1,4	F ₂₋₁

Tab. 7. Mrozoodporność kruszyw

niż parametry osiągane przez badane kruszywa. Do wymienionych zastosowań niezbędne są kruszywa od LA₂₀ do LA₅₀. Nawet właściwość, która w badaniach osiągnęła najniższy poziom, tj. PSV, wg WT-1 waha się od PSV_{deklarowane} do PSV₅₀.

WNIOSKI

Na podstawie powyższej analizy można wyciągnąć trzy podstawowe wnioski, mianowicie:

1. Kruszywa produkowane w Polsce wykazują zróżnicowaną jakość – daje to możliwość racjonalnego wyboru kruszywa do konkretnego zastosowania, warunkującego niezbędny poziom jakości.
2. Porównanie jakości różnych kruszyw pozwala na odrzucenie funkcjonujących stereotypów powodujących niechęć do stosowania niektórych kruszyw w określonych zastosowaniach.
3. Kruszywo z żużli pomiedziowych charakteryzuje się wysoką jakością, porównywalną z kruszywami ze skał twardych (np. bazalt, melafir, gabro). □

Piśmiennictwo

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, 9.11.2009 r.



Fot. 2. Wylewanie żużla z pieca szybowego na halde

ZAWARTOŚĆ UWALNIANYCH SUBSTANCJI NIEBEZPIECZNYCH, MG/L	SPOSÓB BADANIA	WYNIKI BADAŃ KRUSZYW ŻUŻLOWYCH ECOREN W LATACH 2006-2010				PRZYKŁADOWE WYNIKI			DOPUSZCZALNE STĘŻENIA*
						KRUSZYWO ZWIROWE	KRUSZYWO BAZALTOWE	KRUSZYWO WAPIENNE	
Cd	PN-EN 1744-3:2003 PN-EN1233:2000 PN-ISO 8288:2002 PN-82/C-045070.05	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,1	< 0,1	0,2
Cr		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,100	0,897	0,5
Cu		0,052	< 0,05	< 0,05	0,086	< 0,05	< 0,02	< 0,02	0,5
Ni		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	0,5
Pb		< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,01	0,5
Zn		0,08	< 0,2	0,018	< 0,09	0,08	< 0,2	< 0,2	2
Ba		< 0,2	0,067	0,54	0,02	< 0,2	< 0,09	0,086	2

Tab. 8. Zawartość uwalnianych substancji niebezpiecznych

* Wymagania wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z 28.01.2009 r. w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego

PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ NATURALNA	SPOSÓB BADANIA	WYNIKI BADAŃ KRUSZYW Z ŻUŻLA SZYBOWEGO ECOREN W LATACH 2006-2010				DOPUSZCZALNE ZAWARTOŚCI*
$f_{1,max}$ $f_{2,max}$ Bq/kg	Instrukcja ITB 234/06	1,61	1,46	0,12	1,73	≤ 2 ≤ 400
Promieniotwórczość naturalna	Sposób badania	Wyniki badań kruszyw z żużla elektrycznego Ecoren				Dopuszczalne zawartości*
$f_{1,max}$ $f_{2,max}$ Bq/kg	Instrukcja ITB 234/06	1,47 308,00				≤ 2 ≤ 400

Tab. 9. Promieniotwórczość naturalna

* Wymagania wg Rozporządzenia Rady Ministrów z 2.01.2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów

- Kabziński A.: *Kruszywa w Polsce w latach 1989-2008*. Forum Producentów Kruszyw, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, 17.11.2009 r.
- 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, 9.11.2009 r.
- 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, 14-16.04.2010 r.
- Sprawozdania ekspertyzy z badań, IMBiGS, Warszawa 2006-2010.
- Góralczyk S., Kukielska D.: *Stan prawny regulujący zawartości metali ciężkich w materiałach budowlanych w Polsce i Unii Europejskiej*.
- Wymagania Techniczne WT-1. IBDiM, Warszawa 2008.
- Starowicz A., Gambal P.: *Wykorzystanie żużli pomiedziowych do produkcji kruszyw drogowych*. Wrocław 2008.
- Gambal P.: *Żużle pomiedziowe – ich natura oraz przydatność gospodarcza*. 2008.
- Gambal P., Starowicz A., Galos K.: *Nowe sposoby zagospodarowania żużli pomiedziowych w perspektywie realizacji projektu EURO 2012 w Polsce*. Kraków 2009.
- Gambal P., Starowicz A.: *Żużel odpadowy z pieca elektrycznego Huty Miedzi „Głogów” jako surowiec do produkcji kruszyw*. Wrocław 2010.
- Gambal P., Starowicz A., Żurek A.: *Zmienić żużel w kruszywo*. 2010.