

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 27**  
(październik–grudzień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

**Rok IX**

**Warszawa–Opole 2016**

---

KRYSTYNA RAJCZYK\*  
GRZEGORZ ROLKA\*\*  
PAWEŁ GAMBAL\*\*\*

# Kruszywa z żużla powstającego przy produkcji miedzi i możliwości ich wykorzystania w świetle wymagań ochrony środowiska

**Słowa kluczowe:** żużel pomiedziowy, radioaktywność, kruszywa sztuczne.

W pracy przedstawiono wyniki badań promieniotwórczości naturalnej kruszyw wyprodukowanych w KGHM Metraco S.A. z żużla powstającego przy produkcji miedzi. Porównano poziom aktywności promieniotwórczej kruszyw naturalnych i sztucznych oraz surowców i materiałów budowlanych. Zwrócono szczególną uwagę na właściwości kruszyw z żużla pomiedziowego w świetle wymagań ochrony środowiska oraz pod kątem jego przydatności dla budownictwa drogowego. Oceniono możliwość zastosowania odpowiednich frakcji kruszyw pomiedziowych jako substytutu kruszyw naturalnych do produkcji betonów samozagęszczalnych.

## 1. Wstęp

Wykorzystanie odpadów przemysłowych jako substytutów surowców naturalnych stanowi podstawowy instrument walki z zanieczyszczeniem środowiska oraz zapewnia ochronę złóż i surowców naturalnych.

W europejskiej Strategii 2020 przewiduje się maksymalne wykorzystanie surowców wtórnych do wytwarzania wyrobów o jakości nieustępującej wyrobom z surowców naturalnych. W tym kierunku przebiegają również prace normalizacyjne w europejskim Komitecie CEN TC 154.

Pomysł wykorzystania żużla pomiedziowego jako wysokiej jakości kruszywa dla budownictwa drogowego zrodził się kilkanaście lat temu w KGHM Polska Miedź

---

\* Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, k.rajczyk@icimb.pl

\*\* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, g.rolka@icimb.pl

\*\*\* Dr inż., KGHM Metraco S.A.

S.A. Jedną z przyczyn wpływających negatywnie na dotychczasowe wykorzystanie żużla pomiedziowego jako kruszywa był brak dostatecznej wiedzy dotyczącej jego właściwości, oddziaływania na środowisko i zagrożeń związanych ze stosowaniem oraz brak odpowiednich uregulowań prawnych w tym zakresie. Celem przeprowadzonych badań było wykazanie, że kruszywa wyprodukowane z odpadowego żużla pomiedziowego spełniają wymagania ochrony środowiska i mogą być wykorzystane w budownictwie, w szczególności drogowym.

## **2. Aspekty prawne przekształcenia materiału odpadowego w produkt rynkowy**

Aby odpady przemysłowe mogły znaleźć właściwe i bezpieczne zastosowanie w myśl idei „dzisiaj odpad – jutro nowy produkt”, muszą one po przetworzeniu spełniać następujące warunki:

- przetworzony materiał znajduje powszechne zastosowanie do konkretnego celu,
- istnieje popyt na taki materiał,
- przetworzony materiał spełnia wymagania techniczne dla danego zastosowania określone w odpowiednich normach i przepisach,
- zastosowanie produktu z przetworzonego odpadu nie prowadzi do negatywnych skutków dla życia i zdrowia ludzkiego oraz środowiska naturalnego.

Ponadto powinny być spełnione określone wymagania Unii Europejskiej w danym zakresie.

Surowiec wtórny, z którego powstaje produkt winien być szczegółowo rozpoznany i przebadany, z uwzględnieniem możliwości uwalniania się substancji niebezpiecznych (np. metali ciężkich).

Obowiązek badania i ocena zawartości metali ciężkich w kruszywach wyprodukowanych z surowców odpadowych wynika z wymagań określonych w normach PN-EN, odpowiednich dla poszczególnych zastosowań tych kruszyw. Jest to warunek konieczny do oznaczenia kruszywa znakiem CE, dopuszczającym wyrób do obrotu i stosowania. Obowiązek badania zawartości uwalnianych metali ciężkich wynika bezpośrednio z ustaleń podanych w Dyrektywie 89/106 EEC oraz z Mandatu M 125 Kruszywa, udzielonego CEN przez Komisję Europejską i Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu, nawiązujących do tzw. wymagań podstawowych w zakresie bezpieczeństwa wyrobu budowlanego. Wyroby wprowadzane na rynek muszą być bezpieczne i tylko takie mogą być oznaczone znakiem CE [1].

## **3. Kruszywa z surowców odpadowych – wymagania**

Bazę do produkcji kruszyw sztucznych mogą stanowić surowce odpadowe powstające w energetyce, hutnictwie żelaza i metali kolorowych, ciepłownictwie,

przemysle ceramicznym oraz górnictwie. Ocena wpływu na środowisko takich kruszyw powinna zamieszczać wyniki badań zawartości substancji niebezpiecznych oraz radioaktywności.

W Polsce w zakresie badania substancji niebezpiecznych wykonuje się oznaczenie pierwiastków promieniotwórczych oraz substancji szkodliwych wprowadzanych do wód lub ziemi. Badanie substancji niebezpiecznych przeprowadza się dla wyciągu wodnego uzyskanego według PN EN 1744-3:2004 – Badanie chemicznych właściwości kruszyw. Część 3: Przygotowanie wyciągów przez wymywanie kruszyw. Ocena uzyskanych wyników przeprowadza się według kryteriów zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.

Określenie zanieczyszczeń promieniotwórczych w kruszywach polega na wyznaczeniu sumarycznej aktywności występujących w nich radionuklidów (potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228) oraz pośrednio wielkości emisji gazowego radonu Rn-222 i porównaniu wyników z wymaganiami normatywnymi. Wyznaczenie stężenia naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w badanych surowcach i materiałach pozwala na wyliczenie wskaźników aktywności:

- f1, który określa zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych (sumaryczne promieniowanie gamma): potasu K-40, radu Ra-226 i toru T228;
- f2, który określa pośrednio wielkość emisji gazowego radonu Rn-222 i porównaniu wyników z wymaganiami normowymi.

Wymagania techniczne dla kruszyw zawarte są w normach: Kruszywo do betonu, Kruszywo do mieszanek bitumicznych, Kruszywa do niezwiązanych i hydraulicznie związanych materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.

## 4. Żużel pomiedziowy – pochodzenie i charakterystyka

Kruszywa pomiedziowe produkowane są obecnie z żużla z pieców szybowych, a w najbliższej przyszłości wytwarzane będą również z żużla z pieców elektrycznych Huty Miedzi Głogów. KGHM Metraco S.A. produkuje ok. 700 tys. ton kruszyw pomiedziowych rocznie, co daje ok. 10% udziału w rynku kruszyw sztucznych w Polsce. Aktualnie KGHM Metraco S.A. zagospodarowuje całość żużla szybowego. Jest to produkt odpadowy powstający w trakcie przetopu brykietowanego koncentratu miedzi w piecu szybowym. W stanie płynnym, w temperaturze ok. 1200°C, transportowany jest kadziowozami na miejsce składowania – hałdę. Po wylaniu żużla na hałdzie następuje jego krzepnięcie i powolne studzenie w warunkach atmosferycznych. Technologia produkcji kruszyw z żużla z pieca elektrycznego polega na wylewaniu płynnego żużla kadziowozami do specjalnych dołów żużlowych w warstwach określonej grubości, w określonych przedziałach

czasowych. Zastygający żużel przyjmuje postać skały o parametrach zbliżonych do bazaltu (ryc. 1). Kruszywa z żużla pomiedziowego charakteryzują się zbitą, skrytokrystaliczną strukturą, przełomem muszlowym, barwą ciemnoszarą lub szarą. Na powierzchni większości ziaren widoczne są pęcherzyki powstałe po odgazowaniu stopu. Akcesorycznie trafiają się naloty minerałów żelaza i miedzi.

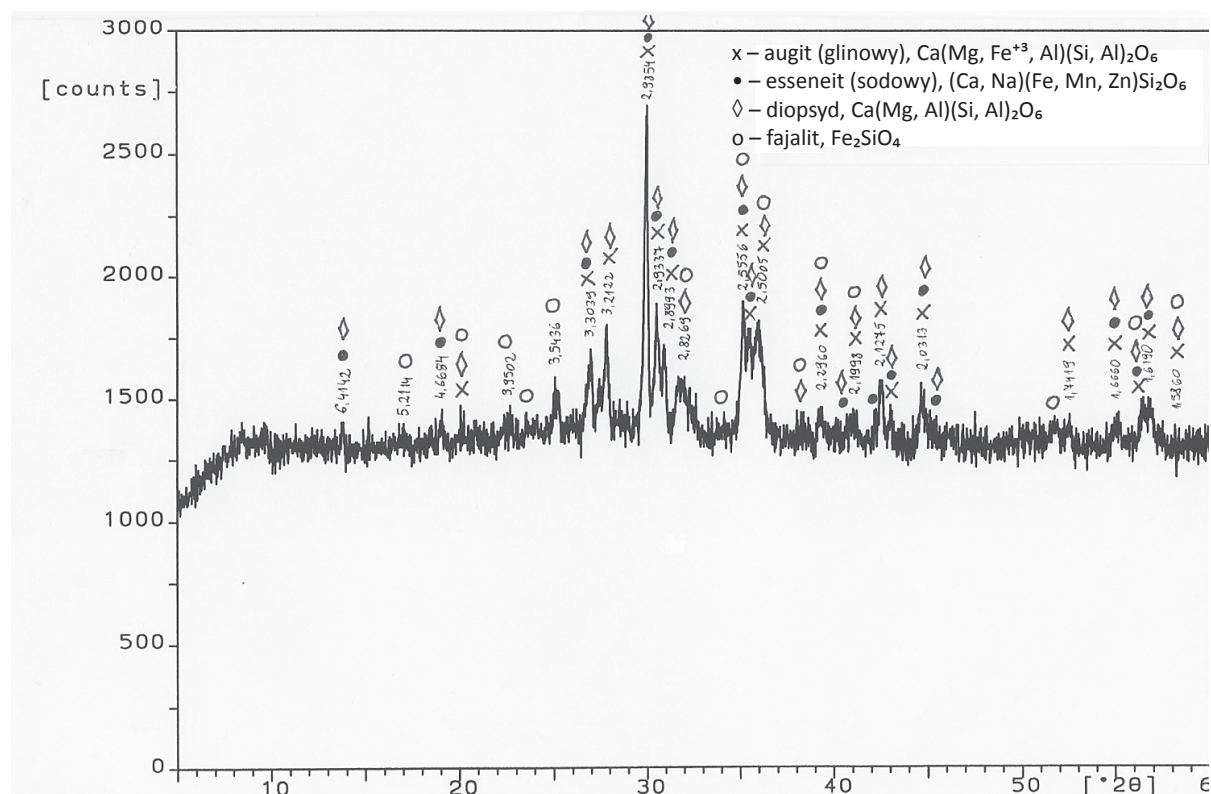


Ź r ó d ł o: Ryc. 1–5 – opracowanie własne.

Ryc. 1. Wylewanie żużla z pieca szybowego na hałdę oraz linia przerobu kruszyw w firmie Metraco

Metodą analizy dyfraktometrycznej zidentyfikowano występowanie w żużlu pomiedziowym takich minerałów, jak augit, diopsyd i fajalit.

Na rycinie 2 przedstawiono dyfraktogram próbki kruszywa z żużla pomiedziowego z pieca szybowego.



Ryc. 2. Dyfraktogram próbki kruszywa z żużla pomiedziowego z pieca szybowego

Kruszywo produkowane w wyniku recyklingu żużla pomiedziowego, powstającego w trakcie procesu wytapiania miedzi w piecach szybowych zawiera składniki skałotwórcze, m.in. złożone tlenki. Składem mineralnym przypomina bazalt i gabrę, naturalne surowce używane w budownictwie drogowym. Twardość (wielkość 6 w skali Moshy), odporność na ścieranie i podatność na kruszenie czynią z żużla pomiedziowego szybowego doskonały surowiec do produkcji budowlanych kruszyw łamanych.

Firma Metraco zbudowała linie technologiczne umożliwiające wykorzystanie żużla do produkcji wysokiej jakości kruszyw drogowych użytych do budowy wszystkich warstw dróg (grysy o uziarnieniu: 0/5 mm, 5/8 mm, 8/11 mm, 11/16 mm 16/22 mm oraz mieszanki 0/31,5 mm i 0/63 mm). Dobrą jakość produkowanych kruszyw pomiedziowych potwierdzają wyniki przeprowadzanych badań, które świadczą o tym, że kruszywa pomiedziowe w zakresie takich cech, jak: nasiąkliwość, odporność na rozdrabnianie, odporność na ścieranie powierzchniowe oraz odporność na szok termiczny nie ustępują takim kruszywom naturalnym, jak granitowe czy bazaltowe.

W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę kruszywa z żużla pomiedziowego w porównaniu z innymi rodzajami kruszyw [2].

T a b e l a 1

*Charakterystyka kruszyw pomiedziowych i naturalnych*

Kruszywo	Nasiąkliwość wg PN-EN 1097-6:2002 [%]	Odporność na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2:2000 współczynnik [LA]	Odporność na ścieranie powierzchniowe wg PN-EN 1097-1:2000 współczynnik [M <sub>DE</sub> ]	Odporność na szok termiczny wg PN-EN 1367-5:2004	
				ubytek masy [%]	spadek wytrzymałości współczynnik [V <sub>LA</sub> ]
Z pieca szybowego Legnica	0,4	16	2	0,2	1
Z pieca szybowego Głogów	0,5	15	2	0,4	1
Z pieca elektrycznego Głogów	0,7	27	3,6	0,7	0
Żużel	0,4–0,5	15–23	2–5	0,2–0,7	0–1
Gabro	0,3–0,4	13–15	3	0,0–0,1	0
Granit	0,3–0,7	21–43	3	0,02	0–3
Żwir z przewagą ziaren kwarcowych	0,7–1,4	16–34	1–3	0,1–0,3	1–6
Węglan	0,3–1,8	18–32	2–15	0,04–0,6	2–9
Bazalt	0,5–1,7	6–13	2–4	0,02–0,1	1–5

Ź r ó d ł o: Tab. 1–3 – opracowanie własne.

W tabeli 2 przedstawiono zawartość uwalnianych substancji niebezpiecznych na podstawie wyników badań kruszyw żużlowych prowadzonych przez Metraco w latach 2006–2010 [2].

Badania wykazały, że zawartość oznaczonych w wyciągu wodnym substancji niebezpiecznych nie przekracza dopuszczalnych stężeń tych składników, określonych w Rozporządzeniu Rady Ministrów z 28 stycznia 2009 r. w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.

Tabela 2

*Zawartość uwalnianych substancji niebezpiecznych w wyciągu wodnym z kruszyw z żużla pomiedziowego*

Oznaczony pierwiastek	Zawartość składnika w wyciągu wodnym [mg/l]	Dopuszczalne stężenie [mg/l]
Cd	< 0,020	0,2
Cr	< 0,010	0,5
Cu	0,052	0,5
Ni	< 0,100	0,5
Pb	< 0,200	0,5
Zn	0,080	0,2
Ba	< 0,200	0,2

W przypadku kruszyw pomiedziowych największe obawy budzi przekonanie, że mogą one zawierać zwiększoną zawartość pierwiastków promieniotwórczych. Wymagania odnośnie do wykorzystania kruszyw w budownictwie określa Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. – w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów [3].

Dokumentem o charakterze doradczym, opisującym metodykę badań, zasady analizy wyników i sposób ich interpretacji jest wydany w 2010 r. Poradnik Instytutu Techniki Budowlanej (ITB) nr 455/2010 pt. *Badania promieniotwórczości naturalnej materiałów budowlanych*. Do oceny poziomu zanieczyszczenia materiałów budowlanych pierwiastkami promieniotwórczymi przyjęto dwa parametry, tzw. współczynniki kwalifikacyjne – f1 i f2 [3]. Wartości wskaźników aktywności f1 i f2 nie mogą przekraczać o więcej niż o 20% wartości:

–  $f_1 = 1$  i  $f_2 = 200$  Bq/kg w odniesieniu do surowców i materiałów budowlanych stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego;

–  $f_1 = 2$  i  $f_2 = 400$  Bq/kg w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w obiektach budowlanych naziemnych wznoszonych na terenach zabudowanych lub przeznaczonych do zabudowy w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego, oraz do niwelacji takich terenów;

–  $f_1 = 3,5$  i  $f_2 = 1000$  Bq/kg w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w częściach naziemnych obiektów budowlanych niewymienionych w pkt 2 oraz do niwelacji terenów niewymienionych w pkt 2;

–  $f_1 = 7$  i  $f_2 = 2000$  Bq/kg w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w częściach podziemnych obiektów budowlanych, o których mowa w pkt 3, oraz w budowlach podziemnych, w tym w tunelach kolejowych i drogowych, z wyłączeniem odpadów przemysłowych wykorzystywanych w podziemnych wyrobiskach górniczych. Dodatkowo przy stosowaniu odpadów przemysłowych od niwelacji terenów, o których mowa w par. 3 pkt 2 i 3, oraz do budowy dróg, obiektów sportowych i rekreacyjnych zapewnia się, przy zachowaniu wymaganych wartości wskaźników  $f_1$  i  $f_2$ , obniżenie mocy dawki pochłoniętej na wysokości 1 m nad powierzchnią terenu, drogi lub obiektu, w szczególności przez położenie dodatkowej warstwy innego materiału [3].

Z prowadzonych badań żużla szybowego w latach 2006–2009 wynika, że współczynniki  $f_1$  i  $f_2$  zawierają się w przedziale dla  $f_1$  od 1,46 do 1,73, a dla  $f_2$  od 288,04 do 360,40 Bq/kg. Aktualnie prowadzone badania promieniotwórczości potwierdzają przydatność kruszywa otrzymanego z żużla pomiedziowego dla zastosowań w budownictwie drogowym. Zgodnie z zaleceniami w pomiarach promieniowania gamma zastosowano trójkanałowy analizator naturalnych zanieczyszczeń radioaktywnych MAZAR-01. Zalecana metoda polega na analizie porównawczej częstości zliczeń w trzech kanałach pomiarowych, oddzielnie dla badanej próbki oraz dla trzech wzorców pomiarowych: potasowego, radowego i torowego. Próbki badanych kruszyw pomiedziowych przed umieszczeniem w pojemniku typu Marinelli rozdrobniono do uziarnienia poniżej 2 mm, suszono do stałej masy i ważono. Ze względu na ekshalację radonu Rn-222 pojemnik należy uszczelnić. Aby zapewnić równowagę promieniotwórczej przed rozpoczęciem pomiaru, próbki kruszyw leżakowały przez 14 dni. Uzyskane wyniki podano w tabeli 3.

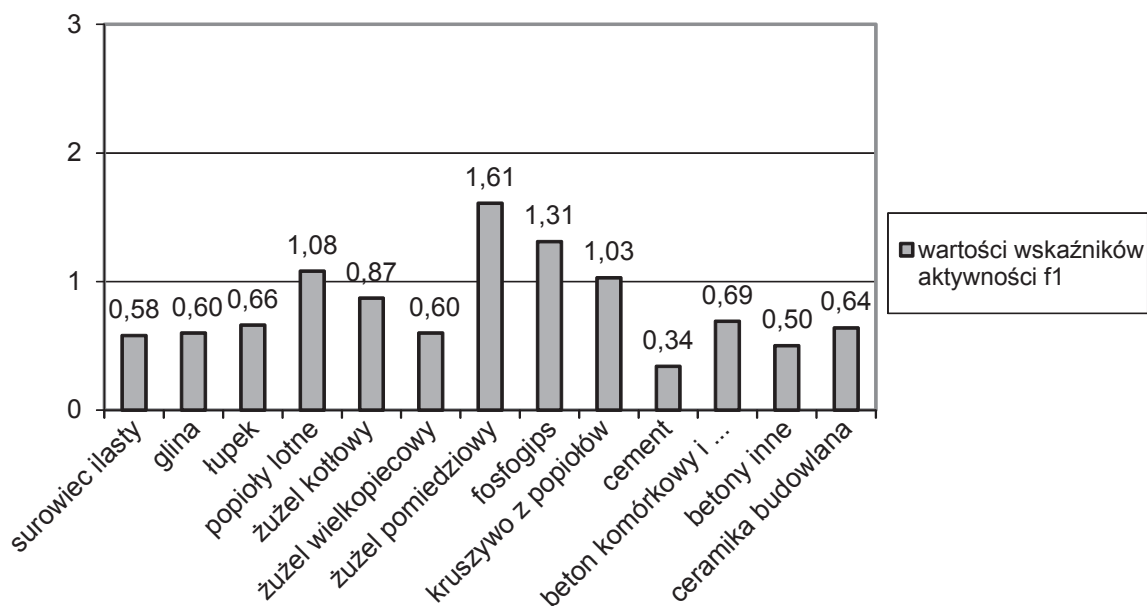


Tabela 3

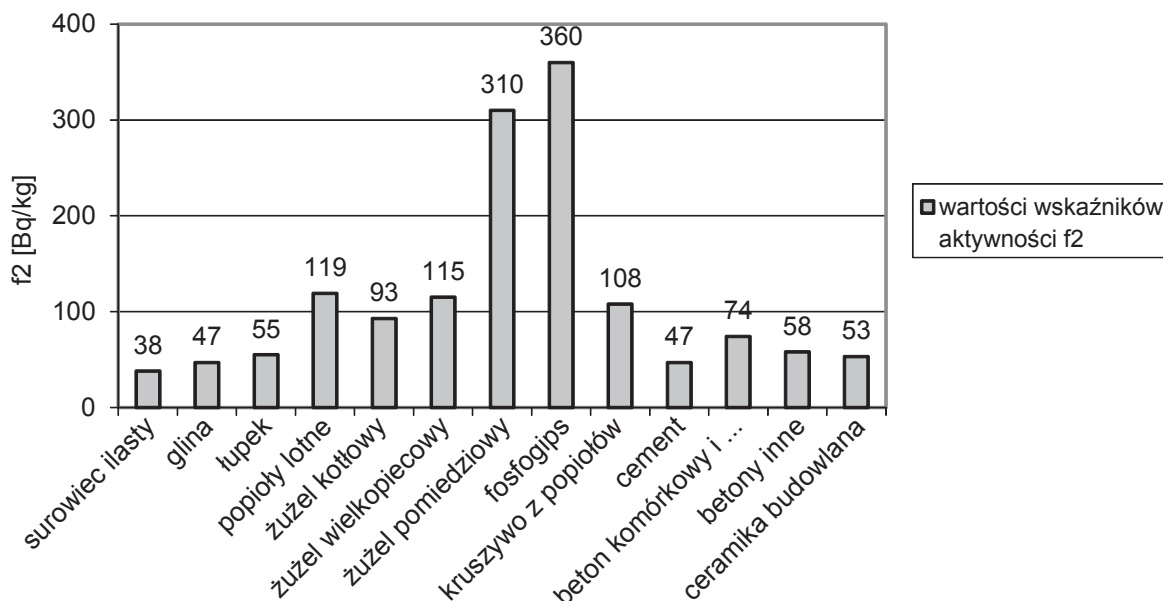
Zawartość naturalnych radionuklidów oraz współczynniki służące ocenie przydatności kruszyw z żużla pomiedziowego

Materiał próbki	Wyniki pomiarów									
	stężenie potasu	niepewność pomiaru potasu	stężenie radu	niepewność pomiaru radu	stężenie toru	niepewność pomiaru toru	wskaznik f1	niepewność określenia f1	wskaznik f2	niepewność określenia f2
	Bq/kg	± Bq/kg	Bq/kg	± Bq/kg	Bq/kg	± Bq/kg	-	-	Bq/kg	Bq/kg
Żużel krystaliczny z pieca szybowego	961,02	82,04	320,19	21,30	50,47	4,83	<b>1,62</b>	0,09	<b>320,19</b>	21,30
Żużel krystaliczny z pieca elektrycznego	766,85	69,30	290,55	19,30	41,38	4,13	1,41	0,08	290,55	19,30

Na rycinach 3 i 4 w oparciu o badania prowadzone przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej CLOR przedstawiono schematycznie wartość wskaźników f1 i f2 dla żużla pomiedziowego na tle innych surowców i materiałów budowlanych [5].



Ryc. 3. Wartość wskaźnika aktywności f1 dla wybranych surowców i materiałów budowlanych

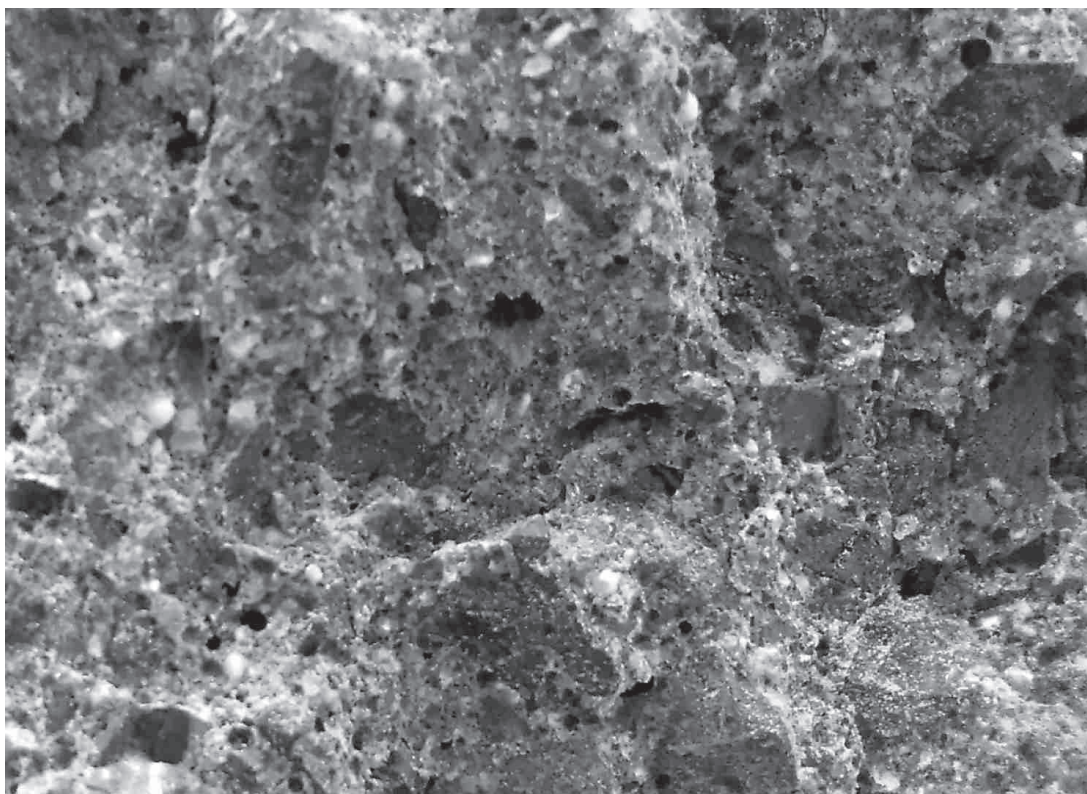


Ryc. 4. Wartość wskaźnika aktywności f2 dla wybranych surowców i materiałów budowlanych

Według wyników badań promieniotwórczości naturalnej kruszyw, przeprowadzonych przez Dohojda i Rubina, z przebadanych 17 kruszyw pochodzenia naturalnego i sztucznego jedynie agloporyt i perlitoporyt nie powinny być stosowane w budownictwie przeznaczonym na stały pobyt ludzi i zwierząt, co nie znaczy, iż kruszywa z tych materiałów nie mogą być wykorzystane w innych zastosowaniach [5–6].

## 5. Możliwość zastosowania kruszywa z żużla pomiedziowego w betonach samozagęszczalnych

W badaniach prowadzonych w Oddziale Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu przeanalizowano możliwość zastosowania kruszywa z żużla pomiedziowego jako substytutu kruszywa naturalnego do produkcji betonów samozagęszczalnych. Betony takie ze względu na zdolność do samozagęszczania pod wpływem własnego ciężaru, bez zagęszczania mechanicznego, znajdują zastosowanie wszędzie tam, gdzie nie ma możliwości tradycyjnego zagęszczania mieszanki betonowej za pomocą urządzeń wibracyjnych. Mieszanka betonu samozagęszczalnego pozwala na szczelne wypełnienie deskowania oraz zagęszczenie i odpowietrzenie mieszanki betonowej pod wpływem własnego ciężaru. W mieszankach tych znajduje się znaczna ilość dodatków mineralnych zwanych wypełniaczami. Mają one duży wpływ na właściwości mieszanek i stwardniałego betonu. Mieszanki te charakteryzują się również mniejszą ilością kruszywa grubego. Na rycinie 5 przedstawiono mikrostrukturę betonu samozagęszczalnego zawierającego frakcję 2/8 mm kruszywa pomiedziowego.



Ryc. 5. Mikrostruktura betonu samozagęszczalnego zawierającego frakcję 2/8 mm kruszywa pomiedziowego

W badaniach zastosowano frakcje 2/8 mm kruszywa z pieca szybowego. Stwardniały beton samozagęszczalny zawierający kruszywo żużłowe charakteryzował się bardzo zbliżoną wytrzymałością na ściskanie do betonu zawierającego kruszywo naturalne, jednak wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywanie po 56 dniach dojrzewania była odpowiednio wyższa i wynosiła 7,4 MPa. Wysoka wytrzymałość betonów samozagęszczalnych z wykorzystaniem kruszyw żużłowych kwalifikuje ten rodzaj kruszyw jako substytut kruszyw naturalnych do produkcji betonów samozagęszczalnych. Kruszywo żużłowe może zostać użyte również do niwelacji terenu, budowy dróg, mostów i innych tego typu obiektów.

## 6. Podsumowanie

Problem powstawania przemysłowych odpadów stałych jest tak stary, jak istnienie samego przemysłu. Jest oczywiste, że odpady takie powstają oraz będą powstawać i zawsze będą rodzić się pytania, co z nimi robić. Odpady te muszą prędzej czy później trafić do środowiska naturalnego. Ważne jest, aby trafiły do tego środowiska w sposób dla niego przyjazny. Przemysłowe wykorzystanie odpadów wydaje się być najlepszym dla tego celu rozwiązaniem. Żużel pomiedziowy może, a nawet powinien być z uwagi na ochronę wyczerpywanych zasobów naturalnych stosowany przy budowie dróg. Materiał ten spełnia wysokie wymagania i może konkurować jakością z kruszywami ze skał naturalnych,

takich jak gąbrosz czy bazalt. Produkcja kruszyw z odpadowego żużla ma również niebagatelne znaczenie dla środowiska naturalnego. Ogranicza tereny konieczne do składowania odpadów, a także przyczynia się do ochrony zasobów złóż kruszyw naturalnych.

## Literatura

- [1] Góralczyk S., Kukielska D., Produkcja kruszyw z surowców wtórnych, [http://www.imbigs.pl/sites/default/files/pliki/kruszywa\\_2011\\_1c.pdf](http://www.imbigs.pl/sites/default/files/pliki/kruszywa_2011_1c.pdf) (25.11.2016).
- [2] Góralczyk S., Kukielska D., Gambal P., Żurek A., Kruszywa pomiedziowe a naturalne – które lepsze, [http://www.imbigs.pl/sites/default/files/pliki/kruszywa\\_2011\\_1d.pdf](http://www.imbigs.pl/sites/default/files/pliki/kruszywa_2011_1d.pdf) (dostęp 22.11.2016).
- [3] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-232 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów, Dz.U. z 2007 r. nr 4, poz. 29.
- [4] Żak A., Rychlicki J., Kuczbańska M., Ząbek A., Analiza i ocena zmian radioaktywności surowców i materiałów budowlanych stosowanych w Polsce w latach 1980–2007. s. 83–86, [http://www.clor.waw.pl/publikacje/roczniki/report\\_of\\_clor\\_2008\\_2009.pdf](http://www.clor.waw.pl/publikacje/roczniki/report_of_clor_2008_2009.pdf) (25.11.2016).
- [5] [http://www.przegladbudowlany.pl/2012/07-8/2012-078-PB-39-42\\_Zapotoczna.pdf](http://www.przegladbudowlany.pl/2012/07-8/2012-078-PB-39-42_Zapotoczna.pdf) (25.11.2016).
- [6] Dohojda M., Rubin J.A., *Promieniotwórczość naturalna wybranych kruszyw budowlanych*, „Materiały Ceramiczne” 2009, nr 1, s. 55–58.

KRYSTYNA RAJCZYK  
GRZEGORZ ROLKA  
PAWEŁ GAMBAL

### SLAG AGGREGATES ORIGINATED FROM PRODUCTION OF COPPER AND THE POSSIBILITY OF THEIR USE UNDER ENVIRONMENTAL PROTECTION REQUIREMENTS

**Keywords:** copper slag, radioactivity, artificial building aggregates.

In this elaboration, the results of testing the aggregates natural radioactivity, produced by KGHM Mitraco from slag originated from production of copper, were shown. The level of natural and artificial aggregates as well as raw and building materials radioactivity was compared. The attention was focused on the properties of copper slag aggregates in terms of environmental protection as well as their utility in road engineering. The possibility of using appropriate copper slag aggregates fractions against natural aggregates to SCC was evaluated.