

# Problem(atyka) gruzu betonowego

## Wstęp

Sposoby zagospodarowania gruzu betonowego z rozbiórki konstrukcji betonowych są obecnie przedmiotem licznych badań, prowadzonych szczególnie w krajach wysoko rozwiniętych. Rezultaty dotychczasowych działań w tym zakresie skierowane są przede wszystkim na poszukiwanie możliwości zwiększenia efektywności ekonomicznej pozyskiwania kruszyw z recyklingu niezależnie od oczywistych korzyści ekologicznych takiego postępowania. Potrzeba utylizacji odpadów budowlanych związana jest również, a może przede wszystkim, ze stałym wzrostem zapotrzebowania na beton, który nierozzerwalnie związany jest ze wzrostem zapotrzebowania na kruszywa.

Można zdecydowanie powiedzieć, że w polskich realiach stosowanie kruszywa z recyklingu jako zamiennika naturalnych kruszyw do produkcji betonów obecnie wiąże się głównie z korzyściami środowiskowymi. Należy jednak pamiętać, że Ustawa o odpadach, przyjęta przez Sejm RP 14 lutego 2001 roku, nakłada na wytwórcę odpadów obowiązek odzysku

lub ich unieszkodliwienia w miejscu, w którym powstały lub przekazania ich innym podmiotom do utylizacji. Taki zapis w ustawie zmusza wytwórców gruzu budowlanego (w tym także betonowego) do jego dalszej przeróbki. Dzięki odzyskiwaniu kruszyw z odpadów firmy rozbiórkowe zyskują także możliwość obniżenia kosztów rozbiórek (eliminacja kosztów wywozu i składowania odpadów). Istotnym zagadnieniem ściśle związanym z upowszechnieniem stosowania kruszyw z recyklingu jest także opracowanie coraz lepszych technologii pozyskiwania kruszyw wtórnych z gruzu budowlanego, o coraz to lepszych parametrach użytkowych, które mogą znaleźć zastosowanie nie tylko w produkcji betonów zwykłych, ale także mogących konkurować, z kruszywami naturalnymi przy projektowaniu betonów wysokowartościowych. Stąd koniecznym jest wdrożenie działań systemowych w pozyskiwaniu odpowiedniej jakości surowców wtórnych wymagających selektywnej rozbiórki obiektów budowlanych z podziałem na poszczególne materiały, a często także wstępnej oceny materiałów jeszcze w konstrukcji przed jej rozbiórką, łącznie z rozpoznaniem, o ile będzie to oczywiście możliwe, dokumentacji materiałowej konstrukcji budowlanej, co nie jest zadaniem łatwym szczególnie w przypadku starszych budynków.

Prekursorami prowadzonych kompleksowo prac nad kierunkami zastosowania kruszyw z recyklingu gruzu budowlanego są wytyczne opracowane przez RILEM (International Union of Testing and Reserch Laboratories for Materials and Structures) z siedzibą w Paryżu oraz wytyczne opracowane przez naszych zachodnich sąsiadów, tzw. „niemieckie” [1]. Według wytycznych opracowanych przez RILEM [2], kruszywa z recyklingu można podzielić na trzy kategorie:

- RCAC I – materiał pochodzący z elementów murowych,

Tabela 1. Wymagania stawiane kruszywom z recyklingu stosowanym do produkcji betonu wg RILEM [1, 2]

Cecha kruszywa	RCAC I	RCAC II	RCAC III
Minimalna gęstość w stanie suchym [kg/dm <sup>3</sup> ]	1,500	2,000	2,400
Maksymalna nasiąkliwość wagowa [%]	20	10	3
Maksymalna zawartość materiału o gęstości < 2,200 kg/dm <sup>3</sup> [%]		10	10
Maksymalna zawartość materiału o gęstości < 1,800 kg/dm <sup>3</sup> [%]	10	1	1
Maksymalna zawartość materiału o gęstości < 1,000 kg/dm <sup>3</sup> [%]	1	0,5	0,5
Maksymalna zawartość materiałów obcych [%]	5	1	1
Maksymalna zawartość metali [%]	1	1	1
Maksymalna zawartości zanieczyszczeń organicznych [%]	1	0,5	0,5
Maksymalna zawartość ziaren < 0,063 mm [%]	3	2	2
Maksymalna zawartość ziaren < 4 mm [%]	5	5	5
Maksymalna zawartość siarczanów rozpuszczalnych wyrażona jako SO <sub>3</sub> [%]	1	1	1

Tabela 2. Parametry oraz zawartości kruszywa z recyklingu wg wytycznych „niemieckich” [1]

Rodzaj kruszywa	Zawartość [%]						Maksymalna zawartość rozpuszczalnych chlorków [%] masy	Minimalna gęstość w stanie suchym kg/dm <sup>3</sup>	Maksymalna nasiąkliwość masowa [%]	Maksymalna zawartość frakcji grubych kruszyw z recyklingu w [%] zawartości całkowitej kruszyw			
	Beton, naturalne kruszywo	Cegła	Tynk	Inne mineralne składniki <sup>1</sup>	Asfalt	Zanieczyszczenia <sup>2</sup>				Beton zbrojony		Podbudowy, stabilizacje <sup>3</sup>	
										Elementy wewnętrzne	Elementy zewnętrzne		
TYP I Kruszywo z betonu	≥90	≤10	≤10	≤2	≤1	≤0,2	≤0,4	2,000	10	50	40	100	
TYP II Kruszywo z elementów budowlanych	≥70	≤30	≤30	≤3	≤1	≤0,5		2,000	15	40	-	100	
TYP III Kruszywo z elementów murowych	≥20	≤80	≤5	≤5	≤1	≤0,5		1,800	20	40	-	100	
TYP IV Kruszywo mieszane	≥80			≤20		≤1	≤0,15	1,500	-	-	-	100	

<sup>1)</sup> Na przykład beton lekki, zaprawa budowlana, pumeks, beton komórkowy

<sup>2)</sup> Na przykład szkło, ceramika, papier, gips, plastik, metal, drewno

<sup>3)</sup> Obejmuje również frakcje drobne

- RCAC II – materiał pochodzący z elementów betonowych,
- RCAC III – materiał stanowiący mieszaninę co najmniej 80% kruszywa naturalnego oraz maksymalnie 20% kruszywa z recyklingu.

Pozostałe kryteria stawiane kruszywom z recyklingu w wytycznych RILEM przedstawiono w tabeli 1. Natomiast tzw. wytyczne „niemieckie” dzielą kruszywa z recyklingu na 4 grupy:

- TYP 1 – kruszywo z betonu,
- TYP 2 – kruszywo z elementów budowlanych,
- TYP 3 – kruszywo z elementów murowych,
- TYP 4 – kruszywo mieszane.

Pełny zakres wymagań stawianych kruszywom z recyklingu przez wytyczne „niemieckie” zawarty jest w tabeli 2.

W wytycznych RILEM znajdziemy także rekomendowany dla poszczególnych typów kruszyw zakres stosowania, obejmujący maksymalne klasy wytrzymałości betonów, do których można stosować poszczególne typy kruszyw [1,2]:

- RCAC I – C16/20 (maksymalnie C30/37, jeśli gęstość kruszywa w stanie powierzchniowego wysuszenia przekracza 2000 kg/m<sup>3</sup>)
- RCAC II – C50/60
- RCAC III – brak limitu.

Obok kryteriów wytrzymałościowych w wytycznych RILEM podane są także wymagania dotyczące wykonywania dodatkowych badań betonów z udziałem kruszyw z recyklingu przed ich użyciem, w zależności od kierunku zastosowania:

- badania czasu wiązania,
- badania reaktywności alkaliczno-krzemionkowej,
- badania mrozoodporności i oddziaływania środków odładzających.

Wytyczne opracowane przez RILEM zalecają także wykonywanie dodatkowo na kruszywach z recyklingu badań obejmujących oznaczenia zawartości zanieczyszczeń związkami organicznymi, określeniu wymywalności metali ciężkich oraz promieniotwórczości naturalnej.

Prace naukowe oraz wytyczne stosowania kruszyw (m.in. wspomniane RILEM) [2] stały się przyczynkiem do opracowania norm europejskich obejmujących możliwe kierunki zastosowania kruszyw po-

chodzących z recyklingu, w tym także dla produkcji betonu (PN-EN 12620:2013-08 Kruszywa do betonu). Zgodnie z zapisami w PN-EN 12620:2013-08 kruszywa stosowane w budownictwie odpowiadać powinny wszystkim wymaganiom zawartym w tej Normie Europejskiej. Dotyczy to zarówno znanych i tradycyjnych, naturalnych i przemysłowych kruszyw objętych mandatem M125 „Kruszywa”, jak również kruszyw z recyklingu i niektórych materiałów z nowych lub nieznanymi źródłami, które zostały zdefiniowane jako kruszywo powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie.

W PN-EN 12620:2013-08 dość szczegółowo zostały zdefiniowane materiały, które mogą stanowić surowiec do produkcji kruszyw do betonu (tab. 3). Dodatkowo, wraz z opublikowaniem normy PN-EN 12620:2013-08 zostały wprowadzone także normy dotyczące badań kruszyw z recyklingu, a mianowicie:

- PN-EN 933-11:2009/AC:2010 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Część 11: Klasyfikacja składników kruszywa grubego z recyklingu (oryg.)
- PN-EN 1744-6:2008 Badania chemicznych właściwości kruszyw - Część 6: Oznaczanie wpływu wyciągu z kruszyw z recyklingu na początek czasu wiązania cementu.

Wymagania normowe ujęte w PN-EN 12620:2013-08 nakładają na producenta także konieczność klasyfikacji składników kruszyw grubych z recyklingu oraz określenia ich zawartości (tab. 4).

Obok wyodrębnionych w normie PN-EN 933-11:2009/AC:2010 składników pozostałe zanieczyszczenia kruszyw z recyklingu mogą także stwarzać poważne problemy technologiczne i użytkowe, spośród których należy podkreślić:

- krótszy lub wydłużony czas wiązania,
- szybszą lub wolniejszą niż założona utratę urabialności mieszanki betonowej,
- zmiany pęcznienia mieszanki,
- redukcję modułu sprężystości stwardniałego betonu,
- pogorszenie lub poprawę przyczepności pomiędzy kruszywem i zaczynem cementowym,



- obniżenie odporności na ścieranie,
- zwiększenie skurczu przy wysychaniu,
- zwiększenie przepuszczalności stwardniałego betonu,
- pogorszenie mrozoodporności betonu.

Powyższe problemy nierozzerwalnie związane są także z obecnością starej zaprawy na powierzchniach ziaren kruszywa z recyklingu, a także mikrospektań ziaren kruszywa powstających w procesie ich pozyskiwania i uszlachetniania. Negatywny wpływ starego zaczynu i zaprawy na właściwości nowego betonu związany jest przede wszystkim z ich obecnością w drobnych frakcjach kruszywa z recyklingu. Jednakże stara zaprawa pokrywająca większe ziarna kruszywa, modyfikując powstającą w twardniejącym betonie strefę przejściową pomiędzy zaczynem i ziarnami kruszywa może również prowadzić do pojawiania się niekorzystnych zjawisk. Występowanie ich może być częściowo niwelowane poprzez zabiegi wymiany drobnych frakcji kruszywa z recyklingu na kruszywa naturalne, jak również poprzez poprawę technologii pozyskiwania grubszych frakcji kruszyw (lepsze oddzielenie stwardniałego zaczynu cementowego od powierzchni ziaren).

Mając na uwadze powyższe, w PN-EN 12620:2013-08 ujęte zostały także dodatkowe wymagania (z klauzulą jeśli jest to wymagane) dla kruszyw z recyklingu dotyczące:

- stałości objętości – rozumianej zgodnie z powołaną normą jako skurcz przy wysychaniu
- zawartości jonów chlorkowych,
- zawartości siarczanów rozpuszczalnych w wodzie,
- wpływu materiałów rozpuszczalnych w wodzie na początek czasu wiązania zaczynu cementowego,
- oraz reaktywności alkaliczno-krzemionkowej w kruszywach z recyklingu.

Poniżej zestawiono wymagania stawiane składowi kruszyw z recyklingu w wybranych krajach europejskich (tab. 5) oraz możliwości zastosowania kruszyw z recyklingu w określonych klasach ekspozycji w tych krajach (tab. 6).

Autorzy normy PN-EN 12620:2013-08 zdecydowali także, że takie „stabo znane” materiały wprowadzane do handlu jako kruszywa z recyklingu powinny obok wymagań zawartych w niniejszej normie spełniać również kryteria ujęte w przepisach krajowych dotyczących substancji niebezpiecznych stosownych do

Tabela 3. Rodzaje materiałów mogących znaleźć zastosowanie w produkcji kruszyw do betonu (PN-EN 12620:2013-08)

Typ	Źródło	Podtyp	Surowiec	Historia zastosowania	Szczególne wymagania wg. normy	Dodatkowe wymagania
P	Kruszywa naturalne	P	Wszystkie typy petrograficzne zawarte w normie PN EN 932-3	Tak	Tak	Nie
A	Budownictwo i recykling	A1	Odzyskany asfalt (destrukty)	Nie	-	-
		A2	Beton kruszony	Tak	Tak	Nie
		A3	Kruszona cegła murarska	Tak	Tak	Nie
		A4	Mieszanka A1, A2 i A3	Tak	Tak	Nie
B	Spalarnie stałych odpadów komunalnych	B1	Popiół denny z pieców do spalania odpadów komunalnych (z wyłączeniem popiołów lotnych)	Tak	Nie	-
		B2	Popiół lotny z pieców do spalania odpadów miejskich	Nie	-	-
C	Energetyka	C1	Popiół lotny ze spalania węgla	Tak	Tak	Tak
		C2	Popiół lotny z kotłów fluidalnych	Nie	-	-
		C3	Żużel z kotłów elektrownianych	Tak	Nie	Nie
		C4	Popiół denny ze spalania węgla	Nie	-	-
		C5	Popiół denny z kotłów fluidalnych	Nie	-	-
D	Hutnictwo żelaza i stali	D1	Żużel wielkopiecowy granulowany (szklisty)	Tak	Tak	Nie
		D2	Żużel wielkopiecowy chłodzony powietrzem (krystaliczny)	Tak	Tak	Nie
		D3	Żużel z konwertora tlenowego (żużel konwertorowy)	Tak	Tak	Nie
		D4	Żużel z elektrycznego pieca łukowego (z produkcji stali węglowej)	Tak	Tak	Nie
		D5	Żużel z elektrycznego pieca łukowego (z produkcji nierdzewnej/wysokiej jakości stali stopowej)	Nie	-	-
		D6	Żużel po żelazochromie	Nie	-	-
E	Przemysł metali nieżelaznych	E1	Żużel miedziowy	Tak	Nie	Tak
		E2	Żużel molibdeniczny	Nie	-	-
		E3	Żużel cynkowy	Tak	Nie	Tak
		E4	Żużel pofosforowy	Nie	-	-
F	Odlewnictwo	F1	Piasek odlewniczy	Tak	Nie	Tak
		F2	Żużel z pieca odlewniczego	Nie	-	-
G	Górnictwo węglowe i skalne	G1	Łupek węglowy przepalony	Nie	-	-
		G2	Odpady z węgla kamiennego (łupki przywęglowe)	Nie	-	-
		G3	Wcześniej wyselekcjonowane odpady z górnictwa węglowego i skalnego	Nie	-	-
		G4	Przepracowany olej łupkowy	Nie	-	-
H	Prace pogłębiające	H1	Piasek z pogłębiania rzek i zbiorników wodnych	Tak	Nie	Nie
		H2	Gлина z pogłębiania	Nie	-	-
I	Pozostałe	I1	Ziemia z prac wykopalskowych	Nie	-	-
		I2	Popiół z przemysłu papierniczego	Tak	Nie	Nie
		I3	Popiół ze spalania odpadów	Nie	-	-
		I4	Popiół ze spalania biomasy	Nie	-	-
		I5	Stłuczka szklana	Tak	Tak	Tak
		I6	Gлина pęczniująca	Norma EN13055	-	-

Uwaga: Surowce oznaczone w tabeli kolorem szarym w myśl zawartych w normie informacji nie mogą być stosowane do produkcji kruszyw do betonu

ich zamierzonego zastosowania, a dodatkowo właściwości i wymagania mogą być okresowo określone na podstawie doświadczenia w stosowaniu tych produktów i definiowane w krajowych dokumentach umownych. Obowiązek badania zawartości uwalnianych metali ciężkich wynika bezpośrednio z ustaleń podanych w Dyrektywie 89/106 EEC oraz z Mandatu M125 Kruszywa, udzielonego CEN przez Komisję Europejską i Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu, nawiązujących do tzw. wymagań podstawowych w zakresie bezpieczeństwa wyrobu budowlanego [3]. W Polsce, w zakresie badań dodatkowych wykonuje się także oznaczenia zawartości pierwiastków promieniotwórczych oraz zawartości wyższych węglowodorów aromatycznych. Dodatkowo obowiązki dla producenta wynikające ze stosowania surowców wtórnych reguluje REACH, czyli Rozporządzenie (WE) 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 roku dotyczące rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń

Tabela 4. Rodzaje składników gruzu betonowego według PN-EN 933-11:2009/AC:2010

Składnik	Opis
Rc	Beton, wyroby betonowe, zaprawa, betonowe elementy murowe
Ru	Kruszywo niezwiązane, kamień naturalny, kruszywo związane hydraulicznie
Rb	Ceramiczne elementy murowe (tj. cegły i dachówki) Silikatowe elementy murowe Beton napowietrzony nie pływający w wodzie
Ra	Materiały bitumiczne
FL	Materiał pływający w wodzie, objętościowo
X	Inne: Spoiste (np. glina i grunt) Metale różne (żelazne i nieżelazne), Nie pływające w wodzie drewno, plastik i guma Tynk gipsowy
Rg	Szkło

w zakresie chemikaliów oraz utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów. Kruszywa z recyklingu podlegają obecnie rozporządzeniu REACH i muszą być rejestrowane. Tym samym konieczne jest dodatkowo wykonanie badań składu chemicznego kruszywa i na tej podstawie [3]:

Tabela 5. Wybrane wymagania dotyczące składu kruszyw z recyklingu

Kraj	Niemcy				Szwecja		Wielka Brytania		Polska	
Rodzaj obowiązujących dokumentów	DIN EN 12620/DIN EN 206 Wytyczne DAfStb /DIN 4226-100				EN 206-1 SS 137003 (Boverket BÅ99)		BS 8500-2		Wymagania według nowelizacji PN-EN 206-1 z 2014 r.	
Wymiar ziarna, mm	> 2				> 4		> 4		≥ 4	
Rodzaj kruszywa z recyklingu:	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	RA1	RA2	RCA	RA	Typ A <sup>2)</sup>	Typ B <sup>3)</sup>
Beton	≥ 90	≥ 70	≤ 20	≥ 80	≥ 90	≥ 50	Brak wymagań		≥ 90	≥ 50
Kruszywo naturalne	-	-	-		≤ 95	≥ 70			-	-
Beton + kruszywo naturalne	-	-	-		≤ 10	≤ 30			≥ 95	≥ 70
Ceramiczne elementy murowe	≤ 10	≤ 30	≤ 5		Brak wymagań	Brak wymagań	≤ 5	≤ 100	≤ 10	≤ 30
Cegła wapienno-piaskowa	≤ 10	≤ 30	≤ 5		Brak wymagań	Brak wymagań	≤ 5	≤ 100	≤ 10	≤ 30
Materiały bitumiczne (asfalt)	≤ 1			≤ 20	≤ 1	≤ 5	≤ 5.0	≤ 10.0	≤ 1	≤ 5
Inne składniki mineralne	≤ 2	≤ 3	≤ 5	≤ 20	≤ 1	≤ 2	≤ 0.5 <sup>1)</sup>	≤ 1.0 <sup>1)</sup>	≤ 1	≤ 2
Zanieczyszczenia	≤ 0.2	≤ 0.5	≤ 1	≤ 2	≤ 2	≤ 1.0	≤ 2 <sup>4)</sup>			≤ 2 <sup>4)</sup>
Gęstość w stanie suchym, kg/m <sup>3</sup>	≥ 2000		≥ 1800	≥ 1500	≥ 2100	≥ 1700	Brak wymagań	Brak wymagań	≥ 2100	≥ 1700

1) Dotyczy materiałów o gęstości < 1000 kg/m<sup>3</sup>

2) Kruszywa ze znanego źródła/pochodzenia mogą być stosowane w tych samych klasach ekspozycji, w których był zaprojektowany oryginalny beton, z którego pozyskano te kruszywa, przy maksymalnym zastąpieniu kruszywa naturalnego w ilości 30%

3) Nie należy stosować do betonów o klasie wytrzymałości > C30/37

4) W przypadku zastosowań specjalnych, w których wymagana jest wysoka jakość wykończenia powierzchni, zaleca się ograniczenie ilości zanieczyszczeń ≤ 0,2

Tabela 6. Możliwości zastosowania kruszyw z recyklingu w określonych klasach ekspozycji betonów według wybranych krajów europejskich

Kraj	Niemcy		Szwecja		Wielka Brytania	Polska	
Maksymalna zawartość kruszywa z recyklingu, % wag.	Typ 1 <sup>1)</sup>	Typ 2 <sup>1)</sup>	RA1 <sup>2)</sup>	RA2 <sup>2)</sup>	RCA	Typ A <sup>3)</sup>	Typ B <sup>4)</sup>
Klasa ekspozycji							
X0			50	50		50	50
XC1	≤ 45	≤ 35	30	20	100	30	20
XC2				0			0
XC3				0			0
XC4				0			0
XF1	≤ 35	≤ 25		0			0
XF2							
XF3	≤ 35	≤ 25					
XF4							
XA1	≤ 25	≤ 25	30	0		30	0
XS1							
XD1			30	0		30	0
Pozostałe klasy ekspozycji		0	0		0 <sup>3)</sup>	0	

1) nie należy stosować w betonach lekkich i sprężanych

2) dopuszcza się stosowanie we wszystkich niewykazanych w tabeli klasach ekspozycji w ilości do 5% wag.

3) Kruszywa ze znanego źródła/pochodzenia mogą być stosowane w tych samych klasach ekspozycji, w których był zaprojektowany oryginalny beton, z którego pozyskano te kruszywa, przy maksymalnym zastąpieniu kruszywa naturalnego w ilości 30%

4) Nie należy stosować do betonów o klasie wytrzymałości > C30/37



- ocenienie zawartości uwalnianych substancji niebezpiecznych oraz określenie ich rodzaju,
- ocenienie ich jakości i stopnia szkodliwości lub wykluczenie ich szkodliwego oddziaływania (art. 7, ust. 3),
- sprawdzenie na listach substancji zwolnionych z rejestracji i liście substancji już zarejestrowanych.

Jak z powyższego widać, stosowanie kruszywa z recyklingu może wpływać znacząco zarówno na właściwości mieszanki betonowej jak i stwardniałego betonu. Nie dyskwalifikuje to jednak takich kruszyw jako wartościowego materiału do wytwarzania betonów. Przykładem mogą być doświadczenia holenderskie, gdzie w latach 90. został wprowadzony obowiązek stosowania wtórnego kruszywa grubego w ilości co najmniej 20% w nowo projektowanych mieszankach betonowych [4]. Stosowanie grubszych frakcji ziarnowych kruszyw z recyklingu betonu nie powoduje szczególnie wyraźnych negatywnych skutków. Wprawdzie przy stosowaniu kruszyw z recyklingu obserwowane jest zwykle pogorszenie parametrów fizykochemicznych betonu, lecz nie jest ono duże w porównaniu do betonów wykonanych na kruszywach naturalnych [4,5]. Badania nad pozyskiwaniem wartościowych kruszyw z recyklingu prowadzone są obecnie także na AGH w Krakowie w ramach projektu zatytułowanego *Advanced Technologies for the Production of Cement and Clean Aggregates from Construction and Demolition Waste* (Zaawansowane technologie produkcji cementu oraz kruszyw z materiałów pochodzących z rozbiórki konstrukcji budowlanych) – 7 Program Ramowy - akronim C2CA. W ramach prac konsorcjum projektu opracowuje technologie otrzymywania wysokiej jakości kruszyw z odpadów budowlanych i porozbiórkowych. Celem realizowanego projektu jest także poszukiwanie rozwiązań poprawiających ekonomiczną i ekologiczną rentowność tej technologii, szczególnie w przypadku, gdzie recykling starych budynków i budowanie nowych są zintegrowane. W ramach projektu wykonano dotychczas szereg prac związanych z określeniem parametrów prowadzenia procesu pozyskiwania pełnowartościowych kruszyw z recyklingu do wytwarzania betonów, nie tylko niskich klas wytrzymałości. Wytworzone kruszywa zostały użyte do wyprodukowania serii betonów, w których zastępowano kruszywa naturalne w ilości 50 oraz 100%. Dotychczasowe rezultaty potwierdzają

doświadczenia europejskie mówiące, że jest możliwym wytwarzanie betonów nawet ze 100% zastąpieniem kruszyw naturalnych kruszywami z recyklingu, które przy odpowiednim zaprojektowaniu mieszanki betonowej (zastosowanie odpowiedniej ilości cementu, dodatków i domieszek chemicznych) pozwalają na otrzymanie betonów nie tylko niskich klas. Niezbędnym warunkiem jest jednak zastosowanie do ich produkcji kruszyw z recyklingu jak najwyższej jakości, czyli poddanych odpowiedniej obróbce przed ich zastosowaniem, co stanowi kluczowe zagadnienie realizowanego projektu.

Reasumując należy pamiętać, że przy stosowaniu kruszyw z recyklingu (nawet tych wysokiej jakości) zawsze powinno się zachowywać właściwą ostrożność, gdyż kruszywa te mogą charakteryzować się cechami, które nie są poddawane ocenie w typowych badaniach kruszyw. Stąd zawsze należy brać pod uwagę konieczność wykonania dodatkowej oceny przydatności kruszyw z recyklingu na podstawie indywidualnego doświadczenia w stosowaniu tego typu produktów [6]. Należy również pamiętać, że badania samych kruszyw powinny stanowić jedynie wstępną ocenę ich przydatności do betonu, a ostateczną weryfikację możliwości ich zastosowania można osiągnąć dopiero na podstawie łącznych badań składnika i gotowego kompozytu.

**dr inż. Radosław Mróz**  
**Akademia Górniczo-Hutnicza**  
**im. Stanisława Staszica w Krakowie**

*Praca została sfinansowana z funduszy przeznaczonych na realizację projektu badawczego pt. *Advanced Technologies for the Production of Cement and Clean Aggregates from Construction and Demolition Waste - Akronim projektu: C2CA, 7 Program Ramowy, Numer kontraktu: 265189.**

#### Literatura:

- 1 Gołda A., Król A., *Drugie życie betonu. Budownictwo Technologie Architektura, Kraków, Październik – Grudzień 2006, s. 44-47*
  - 2 RILEM Recommendation, *Specifications for concrete with recycled aggregates. Materials and Structures, vol. 27, 1994, s. 557-559*
  - 3 Góralczyk S., Kukielska D., *Produkcja kruszyw z surowców wtórnych. Kruszywa, nr 1, 2011, s. 33-38*
  - 4 Kijowski G., *Kruszywo z betonu. Budownictwo Technologie Architektura, Kraków, Kwiecień-Czerwiec, 2006, s. 46-47*
  - 5 Kliszczewicz A., *Betony wysokowartościowe na kruszywach wtórnych, Konferencja Dni Betonu, Szczyrk, 2002, s. 69-90*
  - 6 Czarnecki L., i inni, *Beton według normy PN-EN 206-1 – komentarz. Polski Cement Sp. z o.o., Kraków, 2004*
- Powołane Normy Krajowe:  
 PN-EN 12620:2013-08 „Kruszywa do betonu”  
 PN-EN 206-1:2014 „Beton zwykły”  
 PN-EN 933-11:2009/AC:2010 *Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Klasyfikacja składników kruszywa grubego z recyklingu*  
 PN-EN 1744-6:2008 *Badania chemicznych właściwości kruszyw. Oznaczanie wpływu wyciągu z kruszyw z recyklingu na początek czasu wiązania cementu*



foto: Archiwum Radosław Mróz