

Nowy składnik główny cementu wg prEN 197-6 – frakcje drobne (pyły) z recyklingu betonu (F)

Streszczenie

Filozofia zrównoważonego budownictwa i gospodarki obiegu zamkniętego, gdzie materiały budowlane już raz zastosowane, po odpowiednim przetworzeniu, mogą być ponownie wykorzystane przy produkcji cementu (betonu), znajduje odzwierciedlenie także w normalizacji. Przykładem takiego podejścia jest projekt normy prEN 197-6 „Cement – Part 6: Cement with recycled building materials” [1], który definiuje nowy główny składnik cementu, jakim są frakcje drobne (pyły) z recyklingu betonu (z ang. recycled concrete fines) o oznaczeniu normowym F. Będą mogły one stanowić interesujący składnik cementu, zwłaszcza przy ograniczonej dostępności szeroko stosowanych w składzie cementu, zarówno popiołów lotnych, jak i granulowanego żużla wielkopiecowego.

Słowa kluczowe:

cement, recykling betonu, pyły

Abstract

The philosophy of sustainable construction and circular economy, where building materials once used, after appropriate processing, can be reused in the production of cement (concrete) is also reflected in standardization. An example of such an approach is the draft standard prEN 197-6 „Cement – Part 6: Cement with recycled building materials” [1], which defines a new main component of cement, which is recycled concrete fines with the standard designation F. They can be an interesting component of cement, especially with the limited availability of widely used in the composition of cement, both fly ashes and granulated blast furnace slag.

Keywords:

cement, concrete recycling, ashes

Frakcje drobne (pyły) z recyklingu betonu (F) – wymagania

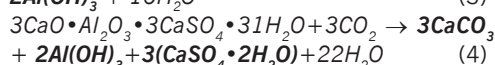
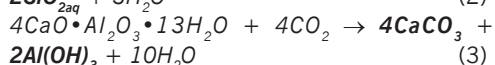
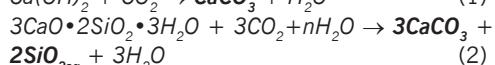
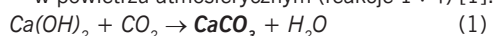
Projekt normy definiuje frakcje drobne (pyły) z recyklingu betonu (F) jako specjalnie wyselekcjonowane i przygotowane materiały mineralne z zakładów produkujących kruszywo i/lub piaski z recyklingu betonu lub odzyskane z produkcji betonu, lub pochodzące z kruszywa odzyskanego przez przekruszenie. W projekcie normy zasugerowano (nie jest to wymóg), że kruszywo grube wytwarzane podczas recyklingu betonu, w procesie którego pozyskuje się drobne frakcje (pyły) na potrzeby produkcji cementu, powinno spełniać wymagania dotyczące zawartości składników takich jak: $R_{Cu_{90}}$, $R_{b_{10}}$, $R_{a_{1}}$, FL_2 i XR_{g1} , określone w normie PN-EN 12620+A1:2010 [2]:

- $R_{Cu_{90}}$ ($R_c + R_u \geq 90\%$), gdzie: R_c – beton, wyroby betonowe, zaprawa, betonowe elementy murowe, R_u – kruszywo niezwiązane, kamień naturalny, kruszywo związane hydraulicznie
- $R_{b_{10}}$ ($R_b \leq 10\%$), gdzie R_b – ceramiczne elementy murowe, tj. cegły i dachówki, silikatowe elementy murowe, beton napowietrzony nieptywający w wodzie
- R_{a_1} ($R_a \leq 1\%$), gdzie R_a – materiały bitumiczne
- FL_2 ($FL \leq 2\%$), gdzie FL – materiał pływający w wodzie, objętościowo
- XR_{g1} ($X + R_g \leq 1\%$), gdzie: R_g – szkło, X – inne: spoiste, np. glina i grunt, metale żelazne i nieżelazne, nieptywające w wodzie drewno, plastik i guma, tynk gipsowy.

Projekt normy prEN 197-6 [1] charakteryzuje drobne frakcje (pyły) z recyklingu betonu jako materiał niereaktywny. Mogą posiadać szczątkowe właściwości hydrauliczne lub pucolanowe, które jednak nie przyczyniają się znacząco do poprawy reaktywności cementu. Należy jednak podkreślić, że w wielu pracach badawczych wykazano, że reaktywność drobnych frakcji (pyłów) z recyklingu betonu nie jest szczątkowa [3][4]. Wynika to z faktu, że:

- stwardniałe fazy zaczynu cementowego, w trakcie eksploatacji obiektu czy konstrukcji budowlanej oraz w trakcie recyklingu betonu, ulegają przyspieszonej karbonatacji przez CO_2 zawarty

w powietrzu atmosferycznym (reakcje 1÷4) [1].



Głównymi produktami karbonatacji produktów hydratacji faz cementowych, poza wilgocią, są węglan wapnia o bardzo rozwiniętej powierzchni oraz żel krzemionkowy i wodorotlenek glinu $Al(OH)_3$. Amorficzna postać związków krzemu i glinu jest istotna z punktu widzenia aktywności pucolanowej.

- w składzie pyłu mogą być też obecne nieprze-reagowane ziarna klinkieru portlandzkiego (grubsze), a także innych składników głównych cementu. W Polsce byłyby to głównie ziarna zmielonego granulowanego żużla wielkopiecowego oraz popiołu lotnego, stosowanych jako składniki główne cementu. Ziarna popiołu lotnego pochodzić mogą także ze składu betonu (po-wszechnie stosowany dodatek typu II w kraju).

W projekcie normy prEN 197-6 [1] zdefiniowano następujące wymagania jakościowe dla frakcji drobnych (pyłów) z recyklingu betonu (F):

- zawartość całkowita węgla organicznego (TOC) $\leq 0,8\%$ masy
- zawartość $SO_3 \leq 2,0\%$ masy
- zawartość gliny, oznaczona metodą adsorpcji błękitu metylenowego zgodnie z EN 933-9, nie powinna przekraczać 1,20 g/100 g. Frakcje drobne z recyklingu betonu (F) do tych badań powinny być zmielone do rozdrobnienia około 5000 cm_2/g oznaczonego jako powierzchnia właściwa zgodnie z PN-EN 196-6 [6].

Skład cementów wg prEN 197-6

W projekcie normy prEN 197-6 [1] zdefiniowano 6 nowych rodzajów cementu. Wymagania co do składu nowych rodzajów cementu przedstawiono w tabeli 2. Pozostałe właściwości cementów wg prEN 197-6 [1], tj. mechaniczne, fizyczne i chemiczne, powinny spełniać wymagania zawar-

Tabela 2. Cementy zawierające pyły z recyklingu betonu (F) wg prEN 197-6 [1]

Nazwa rodzaju cementu powszechnego użytku		Zawartość składnika [% masy] ^{a)}											Składniki drugorzędne	
		Składniki główne												
		Klinkier	Fracje drobne (pyły) z recyklingu betonu	Żużel wielkopiecowy	Pył krzemionkowy ^{b)}	Pucolana		Popiół lotny		Łupek palony	Wapień			
						naturalna	naturalna wypalana	krzemionkowy	wapienny					
K	F	S	D	P	Q	V	W	T	L ^{c)}	LL ^{c)}				
Cement portlandzki pyłowy	CEM II/A-F	80 ÷ 94	6 ÷ 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 ÷ 5
	CEM II/B-F	65 ÷ 79	21 ÷ 35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cement portlandzki wieloskładnikowy ^{d)}	CEM II/A-M	80 ÷ 88	6 ÷ 14	<----- 6 ÷ 14 ----->										
	CEM II/B-M	65 ÷ 79	6 ÷ 29	<----- 6 ÷ 29 ----->										
	CEM II/C-M	50 ÷ 64	6 ÷ 20	<----- 16 ÷ 44 ----->										
Cement wieloskładnikowy	CEM VI	35 ÷ 49	6 ÷ 20	31 ÷ 59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

a) wartości w tabeli odnoszą się do sumy składników głównych i składników drugorzędnych,

b) udział pyłu krzemionkowego jest ograniczony do 6-10 %,

c) w przypadku stosowania wapienia, proporcja sumy wapienia i pyłu z betonu z recyklingu (suma L, LL i F) jest ograniczona do 35% masy,

d) liczba głównych składników innych niż klinkier jest ograniczona do dwóch i te składniki główne należy deklorować poprzez oznaczenie cementu. W przypadku, gdy w składzie cementu stosowane są równocześnie frakcje drobne z recyklingu betonu (F) i wapień (L lub LL), liczba składników głównych innych niż klinkier jest ograniczona do trzech i należy zadeklarować przez oznaczenie cementu

Tabela 3. Skład cementów (% masy) badanych w ramach projektu Recybeton [8]

Opis	Klinkier (K)	Wapień (LL)	Fracje drobne (pyły) z recyklingu betonu (F)	Gips
CEM II/A-15%LL	79	15	---	6
CEM II/A-M (7%LL-8%)	79	7	8	6
CEM II/A-M (9%LL-16%)	69	9	16	6
CEM II/B-25%F	69	---	25	6

Tabela 4. Właściwości fizyczne cementów [8]

Opis	Gęstość [g/cm ³]	Powierzchnia właściwa [cm ² /g]	Wodożądność [% masy]	Początek czasu wiązania [min]
CEM II/A-15LL	3,065	4620	24,9	170
CEM II/A-M (7LL-8RCP)	3,039	4690	25,2	165
CEM II/A-M (9LL-16RCP)	2,984	4770	25,7	192
CEM II/B-25RCP	2,966	4550	26,9	222

te w normie PN-EN 197-1 „Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczący cementów powszechnego użytku” [7].

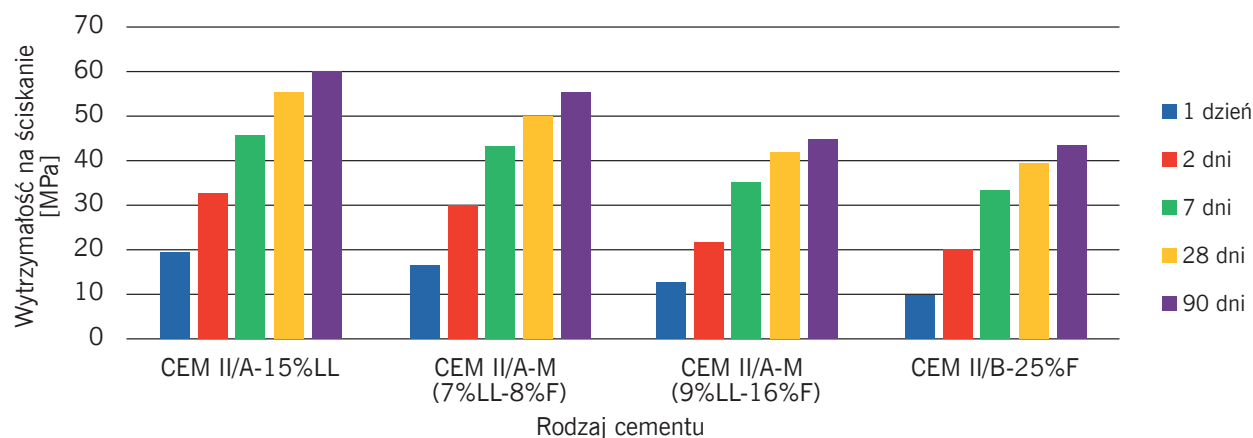
Właściwości cementów z drobnymi frakcjami z recyklingu betonu (F)

W ramach europejskiego programu badawczego Recybeton (CEN CT51/WG6 Düsseldorf) [8] zajęto się wykorzystaniem frakcji drobnych (pyłów)

z recyklingu betonu (F) jako składnika głównego cementu. Prowadzone badania miały na celu porównanie wytrzymałości zaprawy cementowej wykonanej z cementu portlandzkiego wapiennego CEM II/A-LL (15% wapienia LL zgodnego z wymaganiami normy EN 197-1 [7]) z wytrzymałością cementu zawierającego zmienne ilości frakcji drobnych (pyłów) z recyklingu betonu (F). Skład poszczególnych cementów przedstawiono w tabeli 3, właściwości fizyczne cementów podano w tabeli 4, natomiast wyniki badań wytrzymałości na ściskanie przedstawiono na rysunku 1. Cement zawierający 25% frakcji drobnych (pyłów) z recyklingu betonu uzyskuje wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach o ok. 30% niższą w porównaniu z cementem odniesienia zawierającym 15% wapienia LL. Podobne zależności uzyskali autorzy z Chin. Wyniki bardzo szerokiego zakresu badań zostały zamieszczone w publikacji [9].

Warto podkreślić, że skład i jakość frakcji drobnych (pyłów) z recyklingu betonu w znacznej mierze zależy od sposobu przeróbki gruzu betonowego oraz technologii pozyskiwania tych frakcji. Głęboka przeróbka gruzu betonowego z użyciem efektywnych układów krusząco-mielących oraz rozbudowany system separacji ziarnowej pozwalają na

Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie zapraw cementowych [8]



uzyskanie produktów o dobrych właściwościach użytkowych i w odpowiedniej ilości. Według autorów opracowania [10] skład produktów z zaawansowanego recyklingu betonu zawiera 20% masy frakcji kruszywa 4÷16 mm, 58% masy frakcji kruszywa drobnego 0÷4 mm oraz 22% masy frakcji drobnych (pyłów). Na uwadze należy mieć także koszt odzysku właściwej ilości i jakości frakcji drobnych (pyłów).

Podsumowanie

Nowy główny składnik cementu, jakim są drobne frakcje z recyklingu betonu (F) może stanowić alternatywę dla stosowania przede wszystkim wapienia w składzie cementu, jednocześnie domykając obieg materiałowy w cyklu życia cementu i betonu (rys. 2). Należy mieć na uwadze, że praktyczne wdrożenie nowego składnika do produkcji i stosowania cementów z jego udziałem wymagać będzie znalezienia rozwiązań dla kilku wyzwań, tj.:

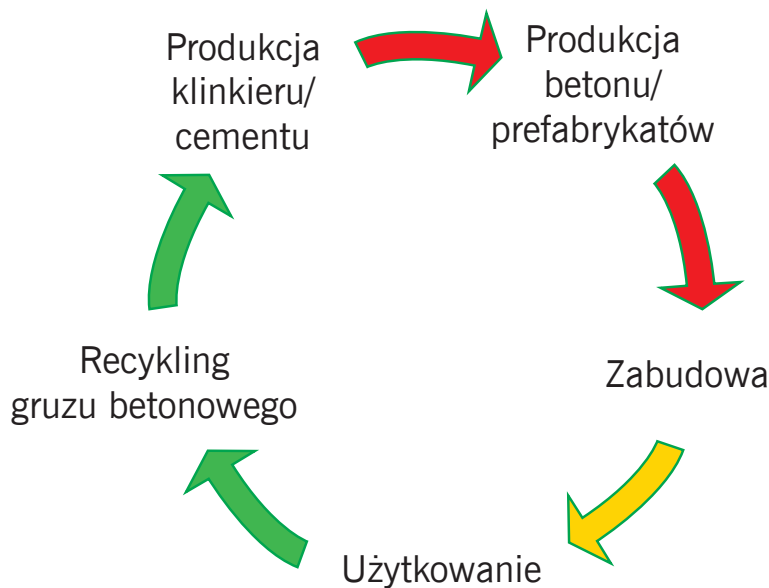
- pozyskiwania odpowiednich jego ilości – organizacja efektywnego systemu zbiórki i przetwarzania gruzu betonowego
- opracowania i wdrożenia jak najefektywniejszego systemu separacji frakcji zawierających głównie zaczyn cementowy od pozostałych frakcji zawierających piasek i/lub kruszywo grube, gdyż wysoka zawartość zaczynu cementowego (zhydratyzowanego i skarbonatyzowanego) korzystnie wpływa na reaktywność tego materiału
- ewentualnej dodatkowej obróbki, np. karbonatyzacji (naturalnej lub wymuszonej) prowadzącej do zwiększenia reaktywności pozyskanego materiału [4] i zmniejszenia jego śladu węglowego
- opracowania metodyki kontroli jakości uzyskanego pyłu
- aktualizacji zapisów norm powiązanych, umożliwiając formalne stosowanie nowego składnika głównego cementu (np. PN-B-06265:2022-08 tj. krajowego uzupełnienia do normy PN-EN 206+A2:2021-08)
- akceptacji uczestników procesu budowlanego (specyfikujących, użytkowników itp.) dla stosowania tego rodzaju cementów.

Opisany projekt nowej normy prEN 197-6 jest prawie gotowy do głosowania i powinien w stosunkowo krótkim czasie (ok. roku) stać się dokumentem obowiązującym umożliwiając stosowanie frakcji drobnych z recyklingu betonu jako składnika głównego cementu.

dr inż. M. Batog, mgr inż. B. Batog
Centrum Technologiczne Betotech

Literatura

1. prEN 196-7:2022 „Cement – Part 6: Cement with recycled building materials”
2. PN-EN 12620+A1:2010 „Kruszywa do betonu”
3. S. Li, J. Gao, Q. Li, X. Zhao, Investigation of using recycled powder from the preparation of recycled aggregate as a supplementary cementitious material, *Construction and Building Materials*, Volume 267, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120976>
4. M. Zajęc, J. Skocek, Ł. Gótek, J. Deja; Supplementary cementitious materials based on recycled concrete paste, *Journal of Cleaner Production*, Volume 387, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135743>



Rys. 2. Typowy cykl życia cementu i betonu

5. Praca zbiorowa pod redakcją naukową J. Dei; *Beton. Technologie i metody badań. Stowarzyszenie Producentów Cementu*, Kraków, 2020
6. PN-EN 196-6:2019-01 „Metody badania cementu – Część 6: Oznaczanie stopnia zmielenia”
7. PN-EN 197-1:2012 „Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”
8. CEN CT51/WG6 04/02/2020, Düsseldorf, Sandrine MANSOUTRE Presentation RECYBETON
9. Shujun Li, Jianming Gao, Qiuyi Li c, Xiaolong Zhao; Investigation of using recycled powder from the preparation of recycled aggregate as a supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, Volume 267, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120976>
10. HTC, *Selective recycling of concrete*, Research & Development Letter, Leimen, 4/2020
11. PN-B-06265:2022-08 „Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność – Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A2:2021-08”



foto: Zespół autorów BTA