

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

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

---

**Nr 31**  
(październik–grudzień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

**Rok X**

**Warszawa–Opole 2017**

---

GRZEGORZ ŚMIERTKA\*

## Czy przemysłowa produkcja betonowych prefabrykatów może być ekologiczna?

**Słowa kluczowe:** beton, prefabrykacja, recykling, ekologia.

Producent może znacząco obniżyć negatywny wpływ procesu technologicznego produkcji betonowych prefabrykatów na środowisko naturalne poprzez stosowanie nowoczesnych instalacji oraz wykorzystanie w produkcji betonu surowców będących „odpadami” w innych gałęziach gospodarki: cementy zawierające różnego rodzaju dodatki, takie jak: mielony żużel wielkopiecowy, popioły lotne, itp.; kruszywa z recyklingu starego betonu; domieszki chemiczne poprawiające reologię mieszanki betonowej oraz wodę wykorzystywaną wcześniej do odkrywania kruszywa w tzw. instalacjach płukania betonowych powierzchni. Stosowanie specjalnych cementów pozwala dodatkowo na wytworzenie prefabrykatów oczyszczających środowisko naturalne ze szkodliwych związków chemicznych. Dodatkowo, co niezmiernie ważne, a rzadko poruszane, beton w środowisku naturalnym ulega naturalnemu procesowi karbonatyzacji w całym cyklu życia, który polega na wychwytywaniu z powietrza CO<sub>2</sub>.

### 1. Wstęp

Zgodnie z paragrafem 3.1 Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r., w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko [1], instalacje do produkcji betonu w ilości nie mniejszej niż 15 t na dobę, mogą zostać zaliczone do przedsięwzięć potencjalnie znacząco oddziałujących na środowisko. W związku z powyższym pytanie: „Czy przemysłowa produkcja betonowych prefabrykatów może być ekologiczna?” nasuwa się samo. Pytanie to może dotyczyć poszczególnych surowców do produkcji betonu, tzn. historii ich powstania, jak i technologii wytwarzania mieszanki betonowej, procesu dojrzewania prefabrykatów, ich eksploatacji oraz recyklingu po zakończonym cyklu życia.

Aktualna norma PN-EN 206+A1:2016-12 – Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność [2], podaje następującą definicję betonu: „materiał powstały ze zmieszania cementu, kruszywa grubego i drobnego, wody oraz ewen-

---

\* Dr inż., ZBP Kaczmarek Sp. z o.o. Sp.k., Zakład w Prusicach, grzegorz.smierka@zpbkaczmarek.pl

tualnych domieszek i dodatków, który uzyskuje swoje właściwości w wyniku hydratacji cementu”. Jako produkt finalny, zgodnie z listą substancji wzbudzających szczególnie duże obawy (Substances of Very High Concern – SVHC), opublikowaną przez Europejską Agencję Chemikaliów (European Chemical Agency – ECHA), nie zawiera on żadnych substancji szkodliwych [3]. Dzięki temu nie jest w żaden sposób szkodliwy dla zdrowia i życia organizmów żywych [3]. Dowodem na powyższe jest jego szerokie zastosowanie w niemal każdej gałęzi gospodarki, między innymi do produkcji rur wodociągowych.

Wbrew potocznej opinii, węzły betoniarskie nie produkują betonów, lecz mieszanki betonowe, gdyż „całkowicie wymieszane składniki [finalnego] betonu, [w momencie opuszczenia wytwórni] są jeszcze w stanie umożliwiającym zagęszczenie wybraną metodą” [2]. Inaczej sytuacja wygląda w przypadku producentów prefabrykatów betonowych, gdyż oferują już elementy z „betonu stwardniałego, tj. takiego, który jest w stanie stałym i osiągnął pewien poziom wytrzymałości” [2]. Dla branży budowlanej różnica ta jest oczywista, dla ustawodawcy nie.

## 2. Składniki betonu

### 2.1. Cement i dodatki

Głównym składnikiem jakościowym betonu jest cement (oznaczenie CEM). Według normy PN-EN 197-1:2012 – Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku [4], cement to „spoiwo hydrauliczne, tj. drobno zmielony materiał nieorganiczny, który po zmieszaniu z wodą daje zaczyn, wiążący i twardniejący w wyniku reakcji i procesów hydratacji, który po stwardnieniu pozostaje wytrzymały i trwały także pod wodą”. Głównym jego składnikiem jest klinkier portlandzki otrzymany poprzez wypalania mączki surowcowej, składającej się z wapienia, margli, glin i surowców korekcyjnych w piecu cementowym, w temperaturze ok. 1723 K. Efektem wypalenia jest spiek, który następnie jest mielony z dodatkami, w tym z gipsem spełniającym rolę regulatora czasu wiązania [5].

Norma [4] podaje 27 rodzajów cementów, wśród których dodatkowo można wyróżnić:

- 3 klasy wytrzymałości normowej (32,5; 42,5; 52,5),
- 3 klasy wytrzymałości wczesnej (L, N, R),
- 7 rodzajów cementów odpornych na siarczany (SR),
- gatunki o niskiej alkaliczności (NA),
- gatunki o niskim cieple hydratacji (LH).

Oznacza to łącznie ponad 100 rodzajów cementów wytwarzanych obecnie w Europie i na świecie. Tak zwane cementy czyste – CEM I, składające się z min. 95% klinkieru portlandzkiego oraz max. 5% gipsu, jako regulatora czasu wiązania, stanowią część całkowitej produkcji przemysłu cementowego. Zdecydowana większość to produkcja cementów z dodatkiem innych głównych składników, wśród których można wyspecyfikować:

- granulowany żużel wielkopiecowy (S) [6] – będący produktem ubocznym przetopu rudy żelaza na surówkę do produkcji stali i żeliwa. Proces ten zachodzi w wielkim piecu huty, gdzie w otoczeniu topnika – skały wapiennej, poddaje się obróbce termicznej rudę żelaza. Temperatura w tym procesie jest zbliżona do temperatury wypalania klinkieru portlandzkiego w piecu obrotowym;
- popiół lotny krzemionkowy (V) [7] – otrzymywany przez mechaniczne lub elektrostatyczne wytrącenie popiołów z gazów odlotowych ze spalania pyłu węgla kamiennego w kotłach energetycznych, głównymi składnikami są  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- popiół lotny wapienny (W) [4] – będący efektem ubocznym spalania węgla brunatnego, zawierający związki chemiczne o aktywności pucolanowej i hydraulicznej;
- pył krzemionkowy (D) [8] – powstający w wymiarze „mikro” w trakcie produkcji krzemu metalicznego i stopów żelazokrzemowych w piecach łukowych. Wymiar tych ziaren jest ponad dwa rzędy mniejszy od wymiaru ziaren zmielonego cementu.

Wszystkie powyższe składniki cementu, powstające pobocznie w produkcji innych produktów lub w trakcie innych procesów technologicznych, charakteryzują się właściwościami pucolanowymi lub hydraulicznymi – zgodnie z [2] dodatki typu II. Dodatkowo, co niezwykle ważne, pomimo braku harmonizacji normy [2] są one wyrobami budowlanymi, wobec czego wymagają wykazania przez ich producentów zgodności z odpowiednią normą zharmonizowaną jako dodatki [6–8], jako składnik cementu [4] oraz odpowiedniego oznakowania. Mogą być stosowane do cementu lub mieszanki betonowej w celu uzyskania określonych właściwości mieszanki betonowej, takich jak: konsystencja, urabialność, ułatwienie pompowalności, wydłużenie utrzymania właściwości roboczych mieszanki w czasie oraz parametrów finalnego betonu: obniżenia temperatury twardnienia świeżego betonu, zwiększenia wytrzymałości betonu w późniejszym czasie i innych.

## 2.2. Kruszywa

Reakcja wiązania cementu jest reakcją chemiczną. Proces hydratacji ziaren cementu wodą jest nieodwracalny co oznacza, iż po związaniu cementu, rozsegregowanie poszczególnych składników nie jest możliwe. Parametr wytrzymało-

ściowy betonu każdorazowo badany jest na próbkach betonu, tj. matrycy składającej się z cementu i kruszywa. W dużym uproszczeniu można więc stwierdzić, że wytrzymałość sztucznego kamienia – kruszywa powstałego z recydingu „starego” betonu – jest co najmniej równa wytrzymałości betonu poddanego przeróbce (ryc. 1).

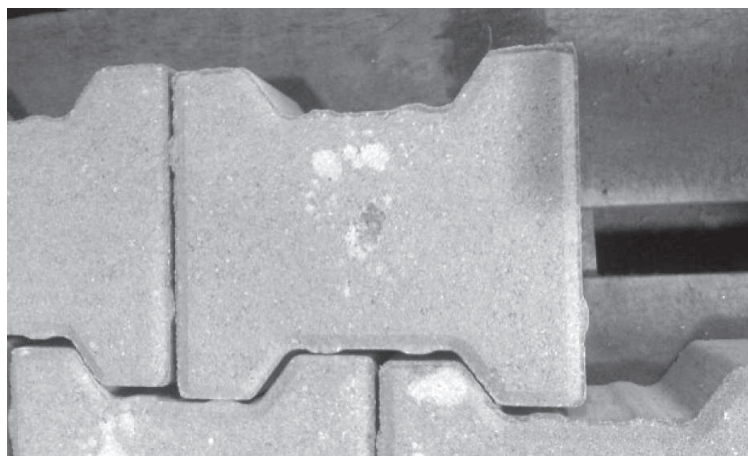


Ź r ó d ł o: Ryc. 1–4 – foto autora.

Ryc. 1. Odpad produkcyjny wstępnie przekruszony frakcji 0/63

Właściwości kruszyw każdorazowo określone są zgodnie z PN-EN 12620+A1:2010 – Kruszywa do betonu [9]. Zgodnie z [2] wszystkie betonowe prefabrykaty projektowane są na minimalny okres życia 50 lat, a w przypadku konstrukcji „odpowiedzialnych” (konstrukcje podziemne, obiekty inżynieryjne) na 100 lat, co jest działaniem wysoce proekologicznym.

Normatyw dopuszcza stosowanie kruszyw z recydingu, dzięki czemu elementy wadliwe podlegają pełnemu przetworzeniu, gdyż po przekruszeniu, przesianiu oraz przepłukaniu, w całości mogą zostać bezpiecznie zawrócone do produkcji w ilości do 5% dozowanego kruszywa, bądź wykorzystane jako np.: materiał podbudowy – betonowy kliniec. W prefabrykacji betonu część elementów wytwarzana jest w tzw. technologii wibroprasowania. Duża część odpadu powstaje wtedy nie z powodu niespełnienia wymagań trwałościowych, a jedynie wad wizualno-geometrycznych. Sytuacje takie mają na przykład miejsce w produkcji betonowej kostki brukowej, kiedy to na powierzchni betonu powstają nieestetyczne „ślady” niejednorodnej mieszanki, grubego kruszywa, pigmentu, itd. (ryc. 2).



Ryc. 2. Wada produkcyjna betonowej kostki

Dodatkowo świeżo zafornowane i rozszalowane prefabrykaty od wysokości ok. 30 cm, naturalnie osiadają na paletach produkcyjnych, zmieniając delikatnie wymiary oraz geometrię, tzw. efekt beczki. Przy elementach wyższych, np.: krawężniki, obrzeża, może to wpływać na ich ewentualne odrzucenie w trakcie kontroli jakości. w takich przypadkach prefabrykaty niespełniające np. dopuszczalnych tolerancji wymiarowych, a wykonane z materiału spełniającego wymagania trwałościowe, bez problemu mogą posłużyć jako surowiec do produkcji kruszywa z recyklingu.

### 2.3. Domieszki

Historia domieszek sięga III tysiąclecia p.n.e., kiedy to na terenie Mezopotamii próbowano poprawić właściwości bitumów, takich jak naturalny asfalt. Początek XX w. przyniósł pierwsze domieszki do betonu, a od początku lat trzydziestych ubiegłego wieku, rozpoczęto stosowanie pierwszych lignosulfonianów [10]. Domieszką do betonu, zgodnie z PN-EN 934-2 + A1:2012 – Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Domieszki do betonu. Definicje i wymagania [11] są substancje modyfikujące, dodawane podczas wykonywania mieszanki betonowej w ilości nieprzekraczającej 5% masy cementu w betonie. Głównym ich zadaniem jest uzyskanie określonych właściwości reologicznych mieszanki betonowej, takich jak: konsystencja – redukcja lub zwiększenie wiązliwości wody, napowietrzenie, przyspieszenie lub opóźnienie czasu wiązania albo twardnienia cementu, wpływających bezpośrednio na parametry betonu – przyspieszenie lub opóźnienie czasu twardnienia, zwiększenie jego wytrzymałości mechanicznej, mrozoodporności, szczelności, zmniejszenie skurczu betonu, itd.

Obecnie zdecydowana większość domieszek chemicznych wytwarzanych jest jako główny produkt. Nie zmienia to faktu, że część producentów nadal oferuje produkty bazujące na „odpadach” z innych gałęzi gospodarki [12]. Wśród najpopularniejszych domieszek można wyspecyfikować związki:

- lignosulfonianów będących odpadami w przemyśle celulozowo-papierniczym przy produkcji celulozy z drewna,
- naftalenów, będących produktami ubocznymi procesów przeróbki ropy naftowej.

Obie grupy plastyfikatorów redukuje ilość wody zarobowej w mieszance betonowej, wpływając na cechy jakościowo-trwałościowe betonu.

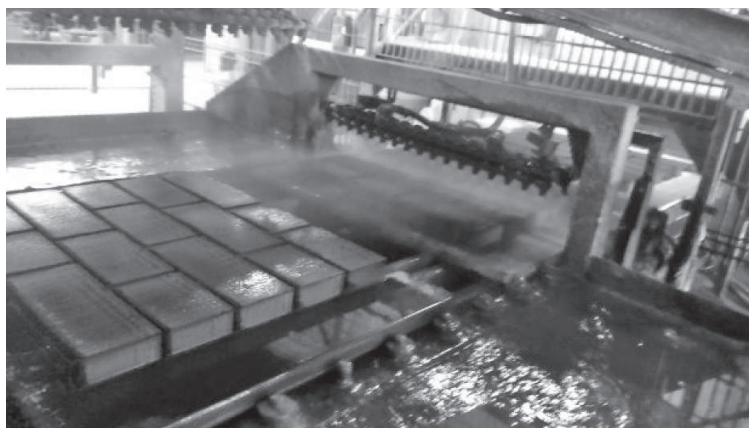
Wśród innych komponentów „zagospodarowywanych” w technologii betonu należy przytoczyć przykład:

- melasy buraczanej będącej efektem przerobu buraków cukrowych, zawierającej duże ilości sacharozy,
- technicznej skrobi ziemniaczanej.

Pierwsza, dzięki wysokiej zawartości cukru, pełni w mieszance betonowej funkcję domieszki opóźniającej proces wiązania, natomiast druga znacząco zwiększa lepkość mieszanki betonowej. Dalsza modyfikacja skrobi ziemniaczanej siarczanem magnezu (powstającym przy produkcji nawozów fosforowych) oraz kwasem siarkowym (wytwarzanym w znacznych ilościach w procesie produkcji miedzi elektrolitycznej) prowadzi do powstania domieszki silnie redukującej wodę tzw. superplastyfikatora.

## 2.4. Woda

Warunkiem rozpoczęcia procesu hydratacji jest uwodnienie ziaren cementu. Zgodnie z [2], woda pitna nadaje się do produkcji betonu bez dodatkowych badań. Producenci betonowych prefabrykatów, stosujący technologię betonu pływającego, borykają się z problemem odzysku dużych ilości wody użytej do usunięcia mleczka cementowego z powierzchni betonowych prefabrykatów (ryc. 3).



Ryc. 3. Proces płukania

Woda ta zawiera składniki mieszanki betonowej, tj. drobne kruszywo, cement, dodatki, pigmenty oraz domieszki, z których to należy ją oczyścić. Do tego celu

najczęściej stosuje się instalacje zawierające system filtrów, odstojników oraz pras zatrzymujących ponad 99% substancji stałych. Po procesie oczyszczania woda zostaje ponownie zawrócona do produkcji kolejnych prefabrykatów betonowych. W przypadku produkcji dwuwarstwowych prefabrykatów betonowej galanterii drogowej jest ona wykorzystywana do produkcji betonu na spodnią – konstrukcyjną część elementów.

### 3. Technologia produkcji – dojrzewanie

Zaformowane w zakładzie prefabrykacji elementy odwożone są na paletach produkcyjnych do komór dojrzewania, w których powinny panować optymalne warunki dla „świeżego betonu”, tj. temperatura ok. 313 K oraz wilgotność max. 95%. Wiązanie cementu jest reakcją egzotermiczną, co oznacza, iż w jej trakcie wydzielane są duże ilości ciepła. Odpowiednie, szczelne zaprojektowanie komór dojrzewania, znacząco ogranicza konieczność dogrzewania świeżych prefabrykatów, a tym samym znacząco zmniejsza zużycie przeznaczonych do tego celu paliw. Zaprojektowanie instalacji z rozdzieloną regulacją temperatury oraz wilgotności znacząco wpływa na zmniejszenie emisji spalin z instalacji grzewczych, gdyż w okresach letnich ogranicza konieczność dogrzewania na rzecz kontrolowania jedynie poziomu wilgotności w komorach [12] (ryc. 4).



Ryc. 4. Komory dojrzewania

### 4. Nowe technologie, utylizacja odpadów niebezpiecznych

Wyniki działów badań i rozwoju wielu firm pozwoliły na wyprodukowanie, a następnie wprowadzenie na rynek materiałów budowlanych wielu wyrobów zawierających nanometryczny dwutlenek tytanu. Wśród najczęściej występujących produktów można wspomnieć o cementach [14], zaprawach tynkarskich, farbach, czy też pigmentach. Tlenek tytanu ( $\text{TiO}_2$ ) dzięki specyficznym właściwościom utleniania pod wpływem światła (w procesie fotokatalizy) szkodliwe tlen-



ki azotu ( $\text{NO}_x$ ), do nieszkodliwych jonów azotanowych ( $\text{NO}_3^-$ ) [15]. Dodatkowo, dzięki aktywowanemu przez światło, promieniowaniu UV dwutlenku tytanu, zanieczyszczenia organiczne zostają utlenione. Na betonowej powierzchni powstaje cienka warstwa filmu wodnego, charakteryzująca się zerowym kątem zwilżenia i tym samym właściwościami samoczyszczącymi.

Śledząc dostępne metody odzysku i unieszkodliwiania odpadów, można przytoczyć wiele przykładów unieszkodliwiania szkodliwych związków, tj. metali ciężkich w matrycy betonowej. Z uwagi na doskonałe właściwości, immobilizujące kompozytów cementowych, odpady są z powodzeniem unieszkodliwiane na wiele lat [16].

## 5. Podsumowanie

Podsumowując można stwierdzić, że właściwie zaprojektowane nowoczesne linie do produkcji betonowych prefabrykatów oraz ekologicznie dobrane składy recepturowe mieszanek betonowych, pozwalają umieścić ten rodzaj działalności w ramach zasady zrównoważonego rozwoju bez szkód dla człowieka i środowiska naturalnego\*.

## Literatura

- [1] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko, Dz.U. z 2010 r. nr 213, poz. 1397.
- [2] PN-EN 206+A1:2016-12 – Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [3] <https://reach.gov.pl/reach/pl/2017/07/13/lista-kandydacka-svhc/> (1.09.2017).
- [4] PN-EN 197-1:2012 – Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
- [5] D u d a J., *Energooszczędne i proekologiczne techniki wypalania klinkieru cementowego*, „Prace Instytutu Materiałów Budowlanych” 2004, nr spec.
- [6] PN-EN 15167-1:2007 – Mielony granulowany żużel wielkopiecowy do stosowania w betonie, zaprawie i zaczynie. Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności.
- [7] PN-EN 450-1:2012 – Popiół lotny do betonu.
- [8] PN-EN 13263-1+A1:2012 – Pył krzemionkowy do betonu. Definicje, wymagania i kryteria zgodności.
- [9] PN-EN 12620+A1:2010 – Kruszywa do betonu.
- [10] K u r d o w s k i W., *Chemia betonu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991.
- [11] PN-EN 934-2+A1:2012 – Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Domieszki do betonu. Definicje i wymagania, zgodność, oznakowanie i etykietowanie.

---

\* Praca została sfinansowana ze środków własnych.

- [12] B a j o r e k G., *Sterowanie właściwościami betonu przy użyciu domieszek*, „Inżynier Budownictwa” 2013, nr 1, s. 62–68.
- [13] <http://www.kraftcuring.com> (1.09.2017).
- [14] <http://www.tiocem.pl> (1.09.2017).
- [15] Laboratorium Heidelberg Technology Center w Leimen. Wyniki badań fotokalitycznej, betonowej kostki brukowej produkcji ZPB Kaczmarek, 09/2008, materiały w posiadaniu autora.
- [16] M a l i n o w s k a A., Ograniczenie szkodliwości pyłów stalowniczych poprzez ich zestalanie/stabilizację, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2009, praca doktorska.

GRZEGORZ ŚMIERTKA

#### CAN THE INDUSTRIAL PRODUCTION OF PRECAST CONCRETE BE ECOLOGICAL?

**Keywords:** concrete, prefabrication, recycling, ecology.

The manufacturer can significantly reduce the negative impact of the technological process of the concrete precasts production on the natural environment, through the use of modern installations and the use in the production of concrete of raw materials that are “waste” in other sectors of the economy: cements containing various types of additives, i.e. ground blast furnace slag, fly ash, etc.; Aggregates from recycling of old concrete; chemical admixtures improving the rheology of concrete mixture and water used previously to uncover aggregate in the so-called installations for washing concrete surfaces. The use of special cements allows, in addition, for the production of prefabricates that purify the natural environment from harmful chemical compounds. Additionally, one thing that is extremely important and rarely mentioned, concrete in the natural environment undergoes a natural carbonation process throughout the life cycle, which consists in capturing of CO<sub>2</sub> from the air.