

# Tradycyjne i nowoczesne metody zagospodarowania odpadów kompozytów cementowych

Dr inż. Małgorzata Lenart, Politechnika Krakowska

## 1. Wprowadzenie

Ze względów ekologicznych i ochrony środowiska, jak również ze względu na promowanie zrównoważonego podejścia w budownictwie współcześnie kładzie się duży nacisk na recykling materiałów oraz maksymalne zagospodarowanie odpadów przemysłowych. Wejście Polski w struktury Unii Europejskiej wymusiło również racjonalną i nowoczesną gospodarkę odpadami, do których zaliczyć należy także odpady z sektora budowlanego. Powyższa filozofia znalazła swoje odzwierciedlenie w dwóch aktach prawnych: Rozporządzeniu Rady UE nr 305 z 2011 roku [1] dotyczącym wyrobów budowlanych oraz w polskiej ustawie o odpadach z dnia 14 grudnia 2014 roku [2].

## 2. Zagospodarowanie odpadów kompozytów cementowych a zrównoważone budownictwo

Idea zrównoważonego rozwoju stała się współcześnie nie tylko przesłanką filozoficzną, ale koniecznością związaną z wymaganiami ochrony środowiska oraz wymaganiami cywilizacyjnymi. W artykule piątym Konstytucji RP znajduje się zapis, że Rzeczpospolita Polska zapewnia ochronę środowiska, kierując się zasadą zrównoważonego rozwoju. Uszczegółowienie ogólnej definicji zrównoważonego rozwoju znajduje się w ustawie Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. [3]. Niestety nie ma jeszcze zapisu definicji odnoszącej ideę zrównoważonego rozwoju do branży budowlanej [4, 5]. Jednakże więcej szczegółów w tym zakresie znajduje się w obowiązującym Rozporządzeniu Rady UE nr 305 z 2011 roku – Wyroby budowlane. Pod kątem zrównoważonego rozwoju zmodyfikowano trzecie i szóste wymaganie podstawowe stawiane obiektom budowlanym, uwzględniając cały cykl życia budynków od ich zaprojektowania do wyburzenia i ponownego użycia materiałów wtórnych. W rozporządzeniu dodano także siódme wymaganie zatytułowane: Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych. W wymaganiu tym położono nacisk na ponowne wykorzystanie lub recykling obiektów budowlanych oraz wykorzystanie surowców przyjaznych środowisku i materiałów wtórnych.

Z drugiej strony, według ustawy o odpadach [2], to na wytwórcy odpadów leży obowiązek zapobiegania powstawaniu odpadów lub ograniczenia ich powstawania. Jeżeli nie ma takiej możliwości, to odpady należy przygotować do ponownego użycia. Zgodnie z definicją podaną w tej ustawie wytwórcą odpadów powstających w wyniku świadczenia usług w zakresie budowy, rozbiórki czy też remontu obiektów jest firma, która świadczy tę usługę. W związku z tym w przypadku betonu towarowego za zagospodarowanie pozostałości

niewykorzystanej mieszanki betonowej odpowiada wytwórca. Natomiast za pozostałe odpady powstałe na placu budowy, w tym niewykorzystane resztki, np. zapraw, odpowiada wykonawca robót.

W przypadku niewykorzystanej mieszanki betonowej wytwórcy betonu towarowego standardowo stosują dwie metody jej utylizacji. Pierwsza z nich polega na uformowaniu bloków betonowych, odczekaniu, aż beton zwiąże, a następnie na ich rozkruszeniu w kruszarkach. Tak pozyskane kruszywo zdefiniowane jest w normie PN-EN 206+A1: 2016-12 – Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność – jako kruszywo odzyskane przez przekruszenie. Zaletą tej metody utylizacji jest jej prostota. Wadą przestrzeń potrzebna na składowanie bloków oraz specjalistyczny sprzęt wymagany do rozkruszenia bloków.

Druga metoda utylizacji niewykorzystanych resztek nie tylko mieszanki betonowej, ale i innych kompozytów cementowych to oddzielenie kruszywa i zaczynu w stacji recyklingu. Nowoczesne wytwórnie betonu towarowego często wyposażone są w stacje tego typu, składające się z:

- separatora (najczęściej jest to obrotowy bęben ślimakowy),
- zbiornika na wodę recyklingową zawierającą cement oraz inne cząstki drobne (na ogół o wielkości do 0,2 mm),
- miejsca odbioru wypłukanego kruszywa.

Istotną zaletą tego rozwiązania jest jego duża skuteczność w ochronie środowiska naturalnego. Wadą – cena samej stacji recyklingowej. Ponadto stacje te są na ogół stacjonarne i niewykorzystane resztki mieszanek betonowych należy do nich dowieźć. Problemem jest też recykling wody płuczkowej. Najczęściej nie może ona być ponownie zastosowana do produkcji nowych mieszanek betonowych m.in. ze względu na zawartość różnego typu wcześniej użytych domieszek. Może być ona oczyszczana np. metodą osadnika stożkowego i ponownie użyta do mycia betonowozów, mieszalników czy też pomp. Nowoczesną, opracowaną w ostatnich latach metodą zagospodarowania niewykorzystanych resztek mieszanek betonowych czy też zapraw jest wykorzystanie dwukomponentowej domieszki powodującej zbrzylenie się tych odpadów [6, 7]. Domieszkę dozuje się bezpośrednio do betonowozu lub innego mieszalnika. Oba składniki domieszki dozuje się oddzielnie, każdorazowo mieszając kompozyt cementowy przez około 2–3 minuty [8]. Powstaje w ten sposób granulata z niewykorzystanej mieszanki czy też zaprawy cementowej, który należy rozsypać, umożliwiając jego wyschnięcie. Granulata ten można zakwalifikować jako kruszywo z odzysku i ponownie zastosować do produkcji nowych kompozytów cementowych. Zaletą tej metody jest jej ogólna dostępność i możliwość zastosowania zarówno na placu budowy, jak i w wytwórni

**Tabela 1.** Właściwości mechaniczne, fizyczne i chemiczne zastosowanego cementu

| Właściwość                                   | Wartość średnia           |
|--|---------------------------|
| Wytrzymałość:<br>po 2 dniach<br>po 28 dniach | 28,0 [MPa]<br>57,2 [MPa]  |
| Początek czasu wiązania                      | 170 [min]                 |
| Powierzchnia właściwa                        | 3681 [cm <sup>2</sup> /g] |
| Straty prażenia                              | 2,87 [%]                  |
| Pozostałość nierozpuszczalna                 | 0,79 [%]                  |
| SO <sub>3</sub>                              | 0,059 [%]                 |
| Cl-  | 0,63 [%]                  |

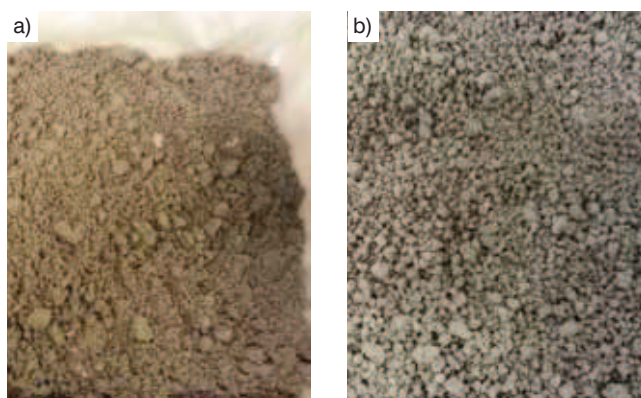
betonu towarowego, czy też wytwórni prefabrykowanych elementów betonowych. Do zalet należy zaliczyć również niski koszt jej zastosowania. Wadą jest konieczność dysponowania przestrzenią umożliwiającą rozsypanie granulatu w celu jego wyschnięcia.

Zarówno kruszywo z recyklingu lub odzysku, jak i wodę recyklingową można zastosować do nowo produkowanych kompozytów cementowych jedynie po wcześniejszej analizie ich właściwości. Woda użyta do produkcji mieszanek betonowych powinna spełniać wymagania normy PN-EN 1008: 2004 – Woda zarobowa do betonu. Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu. Wyjątkiem jest woda pitna wodociągowa, którą można zastosować do betonu, bez przeprowadzania ciągłych badań. Zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie PN-EN 206 kruszywo z odzysku do produkcji nowych mieszanek betonowych zastosować może jedynie wytwórca, który wytworzył dane kruszywo. Przy czym, jeżeli nie jest ono rozdzielone na poszczególne frakcje, to może być użyte w ilości nieprzekraczającej 5% całkowitej masy kruszywa oryginalnego. Jeśli ilość zastosowanego kruszywa odzyskanego przez wyflukanie przekracza 5% całkowitej masy kruszywa oryginalnego, kruszywo takie należy rozdzielić na kruszywo drobne i grube oraz musi ono spełnić wymagania normy PN-EN 12620+A1: 2010 – Kruszywa do betonu. W przypadku kruszyw odzyskanych przez przekruszenie, a zastosowanych w ilościach przekraczających 5% całkowitej masy kruszywa oryginalnego, kruszywo to należy potraktować jak kruszywo z recyklingu. Poniżej przedstawiono możliwości zastosowania wspomnianego pakietu domieszek do utylizacji niewykorzystanej zaprawy. Celem przedstawionych badań jest określenie właściwości granulatu pozyskanego z zaprawy metodą zastosowania dwuskładnikowej domieszki i odniesienie jego parametrów do właściwości oryginalnego kruszywa.

### 3. Badania granulatu pozyskanego z niewykorzystanych zapraw

#### 3.1. Wykonanie granulatu

Do celów badawczych kruszywo z odzysku przygotowano poprzez dodanie dwukomponentowej domieszki do zaprawy


**Rys. 1.** Wygląd granulatu rozsypanego do wyschnięcia (a) oraz wyschniętego (b)

normowej. Zaprawę normową wykonano z kwarcowego piasku normowego o uziarnieniu zgodnym z PN-EN 196-1: 2016-07 – Metody badania cementu. Część 1: Oznaczanie wytrzymałości – oraz cementu CEM I 42,5 R o parametrach przedstawionych w tabeli 1.

Wspomniana domieszka jest domieszką produkowaną przemysłowo, składa się z dwóch komponentów A i B. Składnik A jest to superabsorbent, natomiast składnik B to domieszka powodująca przyspieszenie wiązania. Domieszkę zadozowano zgodnie z zaleceniami producenta, tzn. składnik A w ilości 0,5 kg na 1m<sup>3</sup> zaprawy i mieszano zaprawę przez 2–3 minuty. Po tym czasie zadozowano składnik B w ilości 6 kg na 1m<sup>3</sup> zaprawy i mieszano zaprawę przez kolejne 2 minuty. Tak przygotowany granulat rozsypano na tacy w warstwie o grubości około 2 cm. Granulat dojrzewał w temperaturze 19°C i wilgotności względnej około 55%. Wygląd świeżego oraz wyschniętego (7-dniowego) granulatu przedstawia rysunek 1.

#### 3.2. Badania wybranych właściwości granulatu

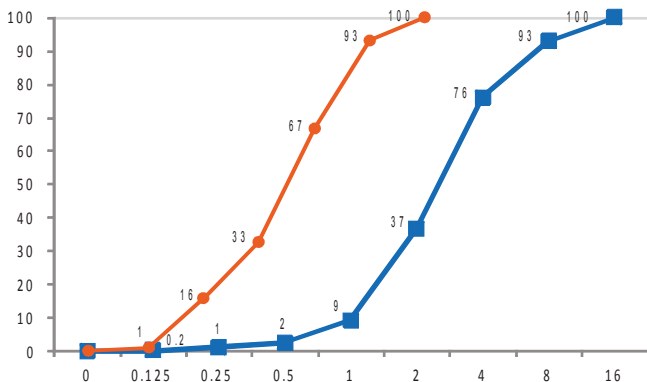
W trakcie badań laboratoryjnych oznaczono podstawowe właściwości przygotowanego granulatu, takie jak: uziarnienie, wilgotność, nasiąkliwość i gęstość.

Badanie uziarnienia przeprowadzono metodą przesiewania na sucho zgodnie z procedurą przedstawioną w normie PN-EN 933-1: 2012 – Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Część 1: Oznaczanie składu ziarnowego. Metoda przesiewania. Wyniki oznaczenia przedstawiono na wykresie (rys. 2). Dodatkowo na tym wykresie przedstawiono krzywą uziarnienia piasku zastosowanego do wykonania pierwotnej zaprawy.

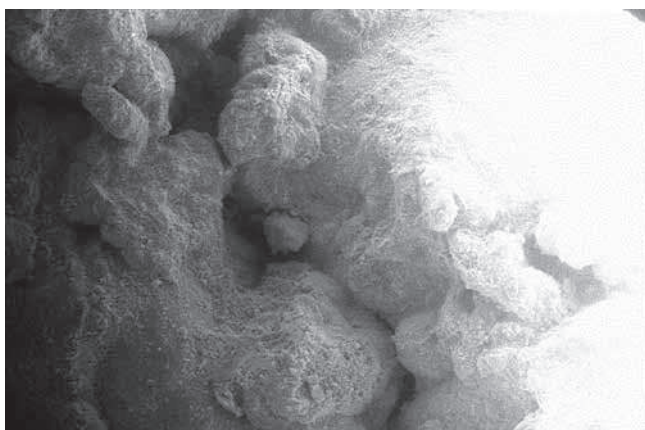
Analizując wykres można zauważyć, że maksymalne uziarnienie kruszywa oryginalnego wynosiło 2 mm, natomiast granulatu 16 mm. W granulacie ziarna do 2 mm stanowią 37% całości stosu okrucowego, a ziaren do 4 mm jest 76%. Jest to zrozumiałe, ponieważ w granulacie część ziaren uległa zlepianiu się z sobą, natomiast na pozostałych ziarnach piasku znajduje się otoczka zaczynu wraz z przyczepionymi do niej najdrobniejszymi cząstkami piasku.

Oznaczenie wilgotności przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 1097-5: 2008 – Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 5: Oznaczanie zawartości wody przez suszenie w suszarce z wentylacją. Wielkość tę oznaczono





**Rys. 2.** Wykres uziarnienia oryginalnego kruszywa oraz granulatu uzyskanego po zastosowaniu domieszek granulujących zaprawę



**Rys. 3.** Zdjęcie powierzchni ziarna granulatu wykonane mikroskopem skaningowym przy powiększeniu stukrotnym

dla granulatu dojrzewającego przez 1 dzień oraz dla dojrzewającego 7 dni. Po jednym dniu wilgotność granulatu wynosiła 4,5%, natomiast po 7 dniach 3,4%. Wilgotność kruszywa w głównej mierze zależy od warunków otoczenia (warunków atmosferycznych), w drugiej zaś kolejności od struktury porowatości badanych ziaren. W badanym przypadku granulatu przechowywany był w warunkach laboratoryjnych, w temperaturze 19°C i wilgotności 55%, co powodowało jego wysychanie, stąd spadek jego wilgotności.

Oznaczenia gęstości i nasiąkliwości granulatu przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 1097-6: 2013-1 – Badania mechaniczne i fizyczne właściwości kruszyw. Część 6: Oznaczenie gęstości ziaren i nasiąkliwości. Badania przeprowadzono na granulacie o uziarnieniu do 4 mm, który dojrzewał (wysychał) przez 7 dni we wspomnianych warunkach laboratoryjnych. Wyniki oznaczenia gęstości i nasiąkliwości 24-godzinnej granulatu oraz piasku kwarcowego zastosowanego do przygotowania zaprawy zestawiono w tabeli 2. Gęstość objętościowa ziaren granulatu  $\rho_a$  wyniosła 1790 kg/m<sup>3</sup>, podczas gdy gęstość oryginalnego kruszywa kształtowała się na poziomie 2660 kg/m<sup>3</sup>. Z kolei nasiąkliwość wyniosła 6,5%. Spadki gęstości granulatu oraz wzrost nasiąkliwości związane są z porowatą strukturą uzyskanego materiału. Na zdjęciu z mikroskopu skaningowego (rys. 3) przedstawiono nieregularną strukturę powierzchni ziarna granulatu przy stukrotnym powiększeniu.

**Tabela. 2.** Wyniki oznaczenia gęstości i nasiąkliwości dla otrzymanego granulatu i oryginalnego piasku kwarcowego

| Właściwość  | Granulat 0/4 | Piasek kwarcowy 0/2 |
|---|--------------|---------------------|
| Gęstość objętościowa ziaren $\rho_a$ [kg/m <sup>3</sup> ]                               | 1790         | 2660                |
| Gęstość ziaren wysuszonych w suszarce $\rho_{rd}$ [kg/m <sup>3</sup> ]                  | 1600         | 2600                |
| Gęstość ziaren nasyconych i powierzchniowo osuszonych $\rho_{ssd}$ [kg/m <sup>3</sup> ] | 1710         | 2620                |
| Nasiąkliwość $WA_{24}$ [%]  | 6,5          | 0,6                 |

#### 4. Podsumowanie

Idea ograniczenia produkowania odpadów oraz konieczność utylizacji lub zagospodarowania odpadów powstałych w procesie budowlanym jest w tym momencie już nakazem prawnym. Istnieje kilka metod zagospodarowania odpadów z niewykorzystanych kompozytów cementowych. Jedną z nich jest możliwość zastosowania pakietu domieszek chemicznych powodujących zbrylanie się tych kompozytów. W artykule przedstawiono wyniki badań granulatu powstałego z zaprawy. Granulat ten charakteryzuje się zwiększoną zawartością frakcji grubszych oraz mniejszą gęstością w odniesieniu do oryginalnego kruszywa zastosowanego w zaprawie. Porowata struktura granulatu spowodowała, że nasiąkliwość tego materiału ukształtowała się na poziomie 6,5%. Jednakże uzyskane parametry tego materiału są analogiczne do tych uzyskiwanych przez kruszywa z recyklingu czy też kruszywa z odzysku pozyskane przez przekruszenie. Stąd należy przypuszczać, że materiał ten z powodzeniem będzie można zastosować w nowo wytwarzanych zaprawach czy też mieszankach betonowych, postępując na zasadach ogólnych przyjętych dla kruszyw wtórnych. Jednakże, aby zastosować badany granulatu w nowo produkowanych zaprawach, należy zwrócić uwagę na nadziarna. Problem ten nie występuje, jeśli granulatu taki zastosuje się do produkcji nowo powstałych mieszanek betonowych. Podsumowując każda z przedstawionych metod zagospodarowania odpadów kompozytów cementowych ma swoje wady i zalety oraz każda z nich wpisuje się w ideę zrównoważonego budownictwa. Wybór metody zależy od możliwości technologicznych i finansowych firm wytwarzających dane odpady.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG
- [2] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. z 2013, poz. 21 z późn. zm.)
- [3] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2001 nr 62, poz. 627 z późn. zm.)
- [4] Czarnecki L., Garbacz A., Łukowski P., Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2017
- [5] Czarnecki L., Kaproń M., Definiowanie zrównoważonego budownictwa, Materiały Budowlane 1/2010
- [6] Gruszczyński M., Lenart M., Paszek U., Wpływ zawartości granulatu pozyskanego z mieszanki betonowej na wybrane właściwości betonu, Ochrona przed Korozją 1/2018
- [7] Lenart M., Gruszczyński M., Application of aggregate recycled from concrete mix as an example of implementation of sustainable development strategy in building engineering. Energy efficient, sustainable building materials and products, Wydawnictwo PK, Kraków, 2017
- [8] Re-Con Zero. Returned Concrete with Zero Impact. Headquarters Mapei SpA, Milan