

WPLYW ZAWARTOŚCI KRUSZYWA Z RECYKLINGU NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI BETONÓW

Dorota DWORZAŃCZYK-KRZYWIEC*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W artykule zostały przedstawione problemy związane z wytwarzaniem kruszyw z recyklingu oraz urządzenia do produkcji tego typu kruszyw. Celem pracy było określenie wpływu zawartości kruszywa z recyklingu w stosie okrucowym na wybrane cechy betonów. Zaprojektowano cztery składy mieszanek betonowych o różnych zawartościach kruszywa z recyklingu w dwóch granulacjach. Wykonano badania wybranych cech: konsystencji, gęstości, wytrzymałości na ściskanie, mrozoodporności. Wykonano również badania derywatograficzne zaczynów wyseparowanych z betonów i określono zawartość wodorotlenku wapnia, wody związanej i węglanu wapnia. We wnioskach uwzględniono wpływ kruszywa z recyklingu na wybrane cechy betonów. Uzyskano beton cementowy na bazie kruszywa wtórnego o porównywalnych właściwościach do betonu zwykłego na kruszywie naturalnym.

Słowa kluczowe: beton, kruszywo z recyklingu, badania derywatograficzne.

1. Wprowadzenie

Beton, najważniejszy współcześnie materiał budowlany, jest produkowany w olbrzymich ilościach. Jest oczywiste, że ma to wieloraki wpływ na środowisko i nie jest obojętne, jakie przepisy, zasady i ograniczenia są skutecznie egzekwowane zarówno przy produkcji lub pozyskiwaniu składników oraz przy całym procesie produkcji i zastosowania mieszanki, jak też w okresie eksploatacji konstrukcji z betonu, ich napraw, a wreszcie rozbiórki.

„*Journal of Environmental Engineering*” informuje, iż beton można stać się bardziej przyjazny środowisku, gdy dokładnie poznany zostanie jego „cykl życiowy”, a w szczególności sposób pochłaniania dwutlenku węgla przez gotowe elementy betonowe. Dzięki temu, koszty środowiskowe wytwarzania betonu – czyli suma CO_2 emitowanego podczas produkcji cementu pomniejszona o ilość dwutlenku węgla zaabsorbowanego przez beton – mogą zostać znacznie obniżone. Wraz z postępującym zanieczyszczeniem środowiska oraz prawnymi sankcjami ograniczającymi ilość emitowanego do atmosfery dwutlenku węgla, naukowcy szukają sposobów na ograniczenie lub zmagazynowanie CO_2 , tak, by produkcja betonu obciążona była mniejszą emisją tego gazu. Według amerykańskich naukowców konieczne są dalsze badania betonu, które pozwolą na opracowanie metody zwiększenia absorpcji CO_2 przez ten materiał.

Jednocześnie niezbędne jest poszukiwanie bardziej przyjaznej środowisku alternatywy dla standardowego cementu, jako surowca, z którego wytwarzane są betonowe konstrukcje. Produkcja cementu, to kosztowny z punktu widzenia środowiska proces technologiczny. W trakcie wyprężania węglanu wapnia, by z niego powstał tlenek wapnia, uwalniany jest do środowiska w dużej ilości dwutlenek węgla (CO_2). Według profesor Liv Haselbach z Washington State University (USA), ekologiczne koszty produkcji betonu powinny być pomniejszone o ilość CO_2 zaabsorbowanego przez elementy betonowych konstrukcji. Analizy wykazały, iż beton w trakcie swojego „życia” pochłania ponad 5% dwutlenku węgla emitowanego podczas produkcji cementu. Ilość ta może być stosunkowo łatwo zwiększona, gdyby zużyty beton, wtórnie przetwarzany, rozdrabniany był do bardzo małych ziaren. Tym samym, powierzchnia dostępna dla dwutlenku węgla zostałaby znacznie powiększona. Każdy obiekt budowlany powinien być zaprojektowany, zbudowany, użytkowany i rozebrany zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju (Golda i Giergiczny, 2009).

Celem pracy było zaprojektowanie betonu na bazie kruszyw z recyklingu oraz wykonanie badań mających na celu ustalenie wpływu tego kruszywa na wybrane cechy mieszanki betonowej oraz stwardniałego betonu. Zaprojektowano cztery składy mieszanek betonowych o różnych zawartościach kruszywa z recyklingu w dwóch

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: d.dworzanczyk@pb.edu.pl

granulacjach. Wykonano badania wybranych cech: konsystencji, gęstości, wytrzymałości na ściskanie, mrozoodporności. Wykonano również badania derywatograficzne zaczynów wyseparowanych z betonów i określono zawartość wodorotlenku wapnia, wody związanej i węglanu wapnia.

1.1. Pochodzenie kruszywa

Beton z recyklingu powstaje z odpadów budowlanych. Można je podzielić na:

- ziemię z wykopów: grunt rodzimy, żwir, piasek ił, glina, okruchy skalne;
- odpady z remontów dróg: odpady nawierzchni asfaltowej lub betonowej, substancje zawierające smołę, kostka brukowa i krawężniki, piasek, żwir i tłuczeń;
- gruz rozbiórkowy: grunt, beton, okładziny ceramiczne, cegła ceramiczna i silikatowa, zaprawa, gips, kruszywo, wełna mineralna;
- odpady z placu budowy: drewno, tworzywa sztuczne, papier, tektura, metal, kable, farby, lakiery i kleje.

Gruz budowany powstaje podczas działań budowlanych, jego jakość i skład jest zależny od rodzaju konstrukcji budowlanej, jej wieku i funkcji obiektu w trakcie użytkowania. Wyróżnić można trzy rodzaje gruzu budowlanego. Pierwszy jest nieobciążony, zawierający niewielkie ilości substancji organicznych i nieorganicznych. Drugi, obciążony jest zanieczyszczony. Dzięki selekcji i przebieraniu zostaje oczyszczony z niewłaściwych składników. Trzecim rodzajem jest gruz zanieczyszczony substancjami szkodliwymi. Ten rodzaj gruzu budowlanego powstaje podczas rozbiórek starych zakładów opieki zdrowotnej (szpitali), laboratoriów chemicznych itp. W celu pozyskania kruszywa z tego rodzaju gruzu, należy przeprowadzić specjalistyczne zabiegi, mające na celu unieszkodliwienie niebezpiecznych składników (Golda i Giergiczny, 2009).

Zgodnie z zaleceniami RILEM TC 121-DRG TF1 klasyfikacji gruzu pochodzącego z rozbiórki dokonuje się według 3 następujących kategorii (RILEM, 1994):

- typ I – kruszywo pochodzące wyłącznie z gruzu ceglano,
- typ II – kruszywo pochodzące wyłącznie z gruzu betonowego,
- typ III – kruszywo mieszane składające się z co najmniej 80% kruszywa naturalnego i maksymalnie 10% kruszywa typu I.

Powyższe zalecenia dotyczą kruszyw o frakcji większej niż 4 mm.

2. Materiały i metodyka badań

Do badań użyto cementu portlandzkiego CEM I 42,5 HSR odpowiadającego wymaganiom normy PN-EN 19701. Kruszywo drobne stanowił piasek rzeczny ze skał luźnych frakcji 0/2 mm. Kruszywo naturalne stanowił żwir frakcji: 2/4, 4/8 i 8/16 mm. Kruszywo wtórne uzyskano z rozbiórki obiektu przemysłowego wzniesionego

w Białymstoku w latach 80 ubiegłego stulecia. Po wykonaniu stanu surowego zaniechano dalszego prowadzenia inwestycji. Przez ponad dwadzieścia lat konstrukcja poddawana była oddziaływaniom środowiska. Metoda kruszenia gruzu betonowego polegała na jednokrotnym ich przepuszczeniu przez kruszarkę szczękową o wydajności 70 t/h. Frakcja piaskowa i ziemia zostały w tym procesie oddzielone a zbrojenie usunięte za pomocą separatora magnetycznego. Badane kruszywo pochodzące z rozdrobnienia gruzu betonowego składa się z:

- pierwotnego kruszywa naturalnego (kruszywo do 16 mm),
- zaprawy cementowej stanowiącej większą część kruszywa,
- zanieczyszczeń (widoczne fragmenty szkła, drewna, szczątków roślinnych oraz papy).

Przyjęty sposób kruszenia, jakość kruszywa pierwotnego oraz otaczającej go zaprawy, jak również obecność zanieczyszczeń wpływają na właściwości mechaniczne kruszywa wtórnego, które zestawiono w tabeli 1 (Bołtryk i Pawluczuk, 2007; Bołtryk i in., 2007).

3. Mieszanka betonowa

Do przeprowadzenia badań przygotowano 4 składy mieszanek betonowych o różnej zawartości grubego kruszywa wtórnego. Skład mieszanek zaprojektowano metodą znanego zaczynu przy zachowaniu stałej konsystencji. Składy mieszanek betonowych na 1 m³ podano w tabeli 2.

Z powodu obecności zaprawy kruszywo z recyklingu charakteryzuje się wyższą nasiąkliwością o około 43% w stosunku do kruszywa naturalnego. Jego wodożądność zwiększa się wraz ze wzrostem porowatości betonu, z którego powstało. Również znaczna zawartość części pylastych wpływa na wzrost ilości wody potrzebnej do przygotowania mieszanki betonowej. W związku z tym ilość wody niezbędną do uzyskania stałej konsystencji mieszanki betonowej z kruszywem wtórnym określano na drodze doświadczalnej, co zaskutkowało zmiennym wskaźnikiem w/c.

3.1. Wyniki badań

Podstawowe właściwości techniczne betonów zestawiono w tabeli 3. Wytrzymałość betonu na ściskanie wykonano zgodnie z PN-EN 12390-3. Wyniki wskazują na nieznaczną różnicę wytrzymałości na ściskanie betonu na kruszywie grubym częściowo i całkowicie recyklowanym.

Największą wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania osiągnęły próbki wykonane z 50% kruszywa ze skał luźnych i 50% kruszywa wtórnego (rys. 1). Skład IV charakteryzuje się największą gęstością, a najmniejszą gęstość stwierdzono w składzie I, którego nasiąkliwość jest największa. Zawartość powietrza jest najmniejsza

Tab. 1. Podstawowe właściwości mechaniczne kruszywa naturalnego i z recyklingu (Boltryk i in., 2007).

| Właściwość | Kruszywo naturalne | | | Kruszywo naturalne | | |
|--|--------------------|--------|--------|--------------------|--------|--------|
| | Frakcja [mm] | | | Frakcja [mm] | | |
| | 2/4 | 4/8 | 8/16 | 2/4 | 4/8 | 8/16 |
| WA24 (nasiąkliwość) [%] według PN-EN 1097-6 | 1,5 | 1,3 | 1,0 | 7,5 | 7,1 | 6,5 |
| Zawartość wody [%] według PN-EN 1097-5 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| Gęstość [kg/dm ³] według PN-EN 1097-7 | 2,65 | | | 2,67 | | |
| Gęstość pozorną [kg/dm ³] według PN-76/B-06714.06 | 2,63 | 2,63 | 2,64 | 2,11 | 2,12 | 2,15 |
| Zawartość zaprawy (wagowo) [%] | – | – | – | 67 | 51 | 44 |
| Porowatość [%] według PN-76/B-06714.09 | 1,58 | 1,53 | 1,07 | 20,97 | 20,44 | 19,32 |
| Szczelność według PN-76/B-06714.08 | 0,9842 | 0,9847 | 0,9893 | 0,7903 | 0,7956 | 0,8068 |

Tab. 2. Skład mieszanek betonowych na 1 m³

| Lp. | Składniki | Skład I | Skład II | Skład III | Skład IV |
|-----|------------------------------------|---------|----------|-----------|----------|
| 1 | Cement [kg] | 235 | 287 | 289 | 289 |
| 2 | Woda [kg] | 191 | 197 | 190 | 190 |
| 3 | Kruszywo ze skał luźnych 0/2 [kg] | 429 | 525 | 529 | 528 |
| 4 | Kruszywo ze skał luźnych 2/4 [kg] | 185 | 226 | 227 | 227 |
| 5 | Kruszywo ze skał luźnych 4/8 [kg] | – | 547 | – | 275 |
| 6 | Kruszywo ze skał luźnych 8/16 [kg] | – | – | 545 | 273 |
| 7 | Kruszywo z recyklingu 4/8 [kg] | 447 | – | 551 | 275 |
| 8 | Kruszywo z recyklingu 8/16 [kg] | 443 | 541 | – | 273 |

Tab. 3. Właściwości techniczne betonów

| Właściwość | Skład I | Skład II | Skład III | Skład IV |
|--|---------|----------|-----------|----------|
| Konsystencja według PN-ENV 206 | F3 | F3 | F3 | F3 |
| Zawartość powietrza [%] | 1 | 0,95 | 0,9 | 0,9 |
| Gęstość objętościowa [kg/dm ³] | 1,92 | 2,32 | 2,33 | 2,32 |
| Wskaźnik w/c | 0,81 | 0,68 | 0,66 | 0,66 |
| Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa] | 23,25 | 25,83 | 25,42 | 26,58 |
| Nasiąkliwość [%] | 9,63 | 7,91 | 8,22 | 7,57 |
| Gęstość pozorną [kg/dm ³] | 2,064 | 2,128 | 2,142 | 2,161 |

w składach III i IV, największa w składzie I. Wraz ze wzrostem zawartości kruszywa z recyklingu w mieszance betonowej zmniejsza się jej gęstość. Wiąże się to bezpośrednio ze zwiększoną porowatością kruszywa wtórnego.

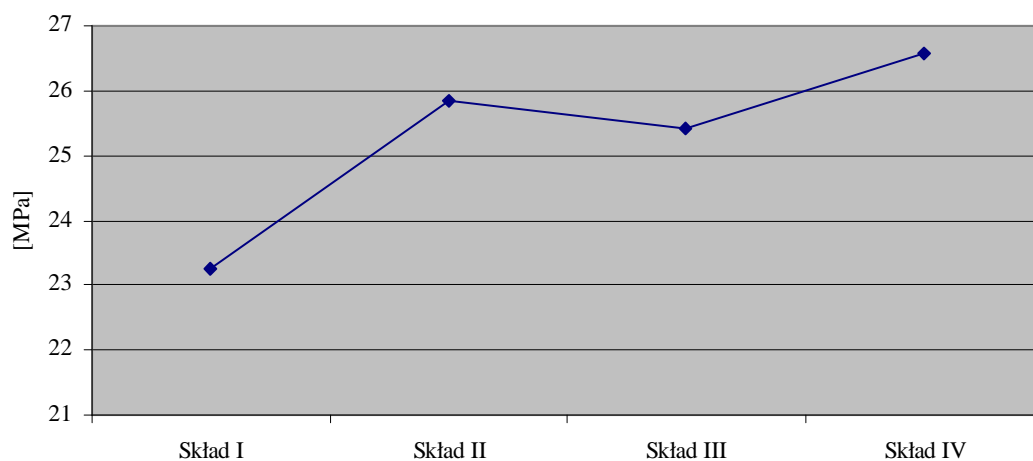
Tabela 4 przedstawia zawartości wybranych składników w przykładowych zaczynach cementowych

wyseparowanych z kruszywa wtórnego oraz z betonu na kruszywie wtórnym (Dworzańczyk, 2006 i 2010). Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy derywatogram wykonany na próbkach z zaczynu wyseparowanego z betonu na kruszywie z recyklingu. W separatach z kruszywa wtórnego wykazano duże zawartości wodorotlenku węgla wapnia.

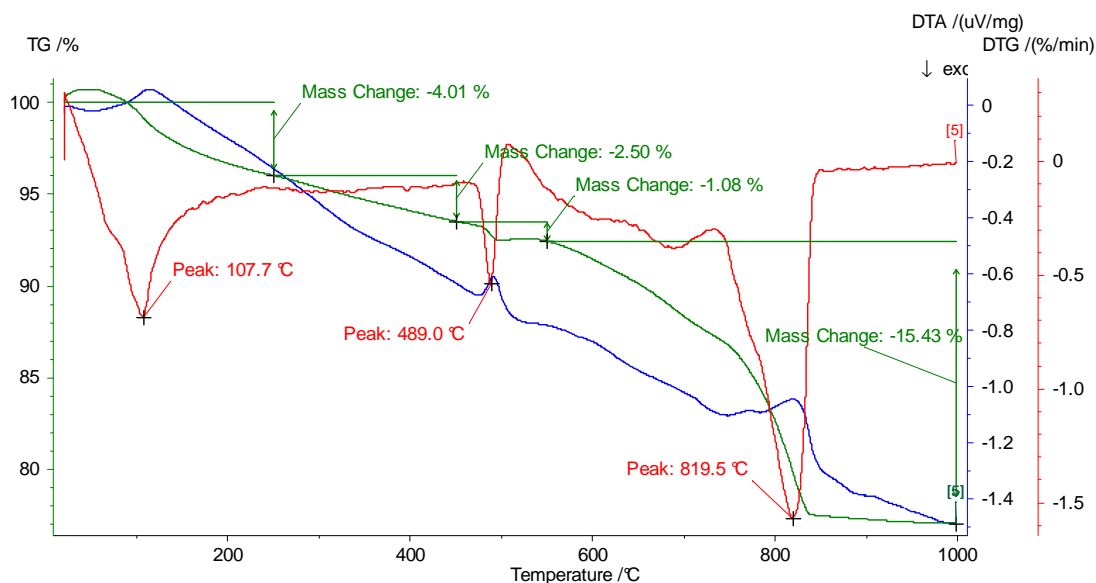
Tab. 4. Zawartość wybranych składników w zaczynach cementowych wyseparowanych z kruszywa wtórnego oraz z betonu na kruszywie wtórnym

| Nazwa | w/c | Składniki zaczynu [%] | | | | |
|---|----------|-----------------------|-----------------|------|---------------------|-------------------|
| | | Woda związana | | | Ca(OH) ₂ | CaCO ₃ |
| | | H _I | H _{CH} | Σ | | |
| Separat zaczynu cementowego | Nieznany | 4,31 | 2,99 | 7,03 | 30 | 29,90 |
| Separat zaczynu cementowego z betonu na kruszywie wtórnym | 0,52 | 4,47 | 1,87 | 6,34 | 26,08 | 16,65 |

Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa]



Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie



Rys. 2. Derywatogram zaczynu cementowego w betonie na kruszywie z recyklingu

4. Wnioski

Stosowanie gruzu betonowego może rozwiązać jeden z podstawowych problemów środowiskowych – ograniczyć wydobycie nieodnawialnych zasobów naturalnych Ziemi. W niniejszym artykule zaproponowano zastosowanie kruszywa z recyklingu pochodzącego z rozbiórki obiektów budowlanych, po odpowiednim przetworzeniu, jako substytutu kruszywa naturalnego w mieszankach betonowych.

Analiza przeprowadzonych badań pozwala stwierdzić, że:

- procedura przygotowania mieszanki betonowej zawierającej kruszywo wtórne jest zbliżona do mieszanki zawierającej kruszywo naturalne; niezbędne jest jednak skorygowanie ilości wody dla uzyskania właściwej urabialności;
- uzyskane wyniki badań w zakresie właściwości kruszywa wtórnego jak też cech technicznych betonów zwykłych na tym kruszywie potwierdzają możliwość uzyskania betonów cementowych o trwałości porównywalnej do trwałości betonu na kruszywie naturalnym;
- wytrzymałość na ścislenie betonu, w którym w różnym stopniu zastępowano kruszywo naturalne frakcji od 2-16 mm kruszywem wtórnym jest porównywalna z wytrzymałością betonu wykonanego w 100% na kruszywie naturalnym (Bołtryk i Pawluczuk, 2007);
- nasiąkliwość betonu na kruszywie wtórnym jest większa niż betonu wykonanego na kruszywie naturalnym.

Podsumowując powyższe można stwierdzić, że kruszywo wtórne uzyskane z rozkruszenia betonu o średniej wytrzymałości na ścislenie może stanowić pełnowartościowy składnik nowego betonu cementowego.

Literatura

- Bołtryk M., Pawluczuk E. (2007). Ocena przydatności kruszywa wtórnego do betonów zwykłych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej*. Budownictwo, Zeszyt 31, Białystok.
- Bołtryk M., Pawluczuk E., Dworzańczyk D. (2007). Kruszywo wtórne – właściwości i zastosowanie do betonów zwykłych. W: *Problemy naukowo-badawcze budownictwa*. Tom III. Materiały, technologie i organizacja w budownictwie. PAN, Białystok.
- Dworzańczyk D. (2006). Analiza wpływu domieszki upłynniającej na wybrane cechy zapraw cementowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej*. Budownictwo, Zeszyt 27, Białystok.
- Dworzańczyk D. (2010). Zaprawy i betony na kruszywie recyklingowym stosowane w budynkach inwentarskich. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Vol. 1, No. 4.
- Golda A., Giergiczny Z. (2009). Wpływ dodatku kruszywa z recyklingu na konsystencję mieszanek betonowych. W: *Reologia w technologii betonu*. Janusz Szwabowski (red.). *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice.
- RILEM Recommendation. Specifications for concrete with recycled aggregates. *Materials and Structures*. 1994, No. 27, 557-559.

THE INFLUENCE OF RECYCLED AGGREGATE CONTENT UPON SELECTED CONCRETE PROPERTIES

Abstract: The paper presents problems related to production of recycled aggregate and devices for production of this type of aggregate. Determination of the influence of recycled aggregate content upon selected properties of concrete was the aim of this work. Four concrete mixes with different content of recycled aggregate in two granulations were designed. The following features were tested: concrete mix consistency and volume density, concrete compressive strength and freeze resistance. Derivatographic examinations of hardened cement pastes separated from concretes were made and calcium hydroxide, bound water and calcium carbonate contents were determined. The influence of recycled aggregate content upon selected concrete properties is considered in the conclusions.