



Ocena mrozoodporności betonów modyfikowanych ceramiką odpadową

Jacek Halbiniak¹

STRESZCZENIE:

W artykule przedstawiono analizę wpływu ceramiki odpadowej, dokonując oceny jej wpływu na wytrzymałość na ściskanie oraz odporność na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie badanych kompozytów betonowych, wykonanych na bazie kruszywa łamanego. Badanie odporności na zamrażanie i rozmrażanie przeprowadzono tradycyjną metodą dla 150 cykli oraz przy wykorzystaniu urządzenia do automatycznej analizy obrazu, oznaczając strukturę porowatości betonu. Ceramika odpadowa była dozowana w postaci rozdrobnionego pyłu (tzw. mączki) w ilościach 5 i 10% masy cementu. Pozyskana do badań ceramika została rozdrobniona w młynie oraz dezintegratorze i pochodziła z recyklingu ceramiki sanitarnej, ściennych płytek ceramicznych oraz ceramicznych dachówek. Dodanie tak rozdrobnionej ceramiki wpłynęło na uzyskanie lepszej urabialności mieszanek betonowych.

SŁOWA KLUCZOWE:

beton modyfikowany; mrozoodporność; charakterystyka porów; ceramika

1. Wprowadzenie

W dobie wytwarzania coraz większej ilości odpadów, w tym odpadów poprodukcyjnych, konieczne stało się opracowanie metod ich zagospodarowania. Prowadzone w tym zakresie badania wskazały obszary, w których pozornie nieużyteczny materiał odpadowy może stać się bardzo przydatnym dodatkiem, który będzie modyfikował strukturę konkretnych materiałów, uzyskując w ten sposób wyrób o znacznie lepszych właściwościach. Sektor budowlany okazał się najbardziej chłonnym sektorem gospodarki, w którym z powodzeniem można wykorzystać odpady poprodukcyjne. Na dużą skalę prowadzone są badania, których celem jest możliwość modyfikacji kompozytów betonowych przy użyciu różnego rodzaju odpadów poprodukcyjnych. Beton to kompozyt, którego cechy można zmieniać, stosując dodatki w postaci mikrowypełniaczy, kruszywa pochodzącego z recyklingu, mączki itp. Dodatkowo, stosując te dodatki, można uzyskać betony o znacznie lepszych parametrach oraz wielokrotnie dodatki te mogą częściowo zastępować cement, który jest najdroższym składnikiem betonów.

Jak wynika z przeglądu literatury, próby stosowania różnego rodzaju odpadów poprodukcyjnych do wytwarzania betonów dają bardzo dobre efekty. Odpady pochodzące z wyrobów ceramiki stanowią od 3 do 7% produkowanych wyrobów ceramicznych [1–5]. Możliwość ich wykorzystania do kompozytów betonowych potwierdziło już wielu badaczy, niemniej coraz większa świadomość ekologiczna w krajach Unii Europejskiej wymusza na badaczach prowadzenie działań zmierzających do konkretnych rozwiązań. Produkcja mieszanek betonowych z udziałem rozdrobnionej ceramiki poprodukcyjnej nie wymaga drogich procesów technologicznych, co znacznie ułatwia ich wykorzystanie. Do wytwarzania kompozytów betonowych

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42–218 Częstochowa, e-mail: halbiniak@bud.pcz.pl, orcid id: 0000-0002-2299-5913

stosowano dodatki w postaci odpadów ceramiki sanitarnej oraz cegieł ceramicznych [6–9]. Dowiedziono, że dodatki te poprawiają cechy mechaniczne badanych betonów i z powodzeniem mogą pozytywnie wpłynąć na inne cechy betonów [1, 10].

Ważnym aspektem wykorzystania odpadów ceramicznych jest także ich wpływ na bardzo istotną cechę betonów, a mianowicie ich mrozoodporność. Napowietrzenie betonów do wartości 4–6% oraz zastosowanie kruszywa mrozoodpornego nie zawsze prowadzi do pełnej odporności kompozytów betonowych na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie. Istotą prawidłowego napowietrzenia mieszanki betonowej jest odpowiedni rozstaw pęcherzyków powietrza, który jest charakteryzowany współczynnikiem przestrzennego rozmieszczenia porów w betonie \bar{L} . Współczynnik ten określa największą odległość od dowolnego miejsca w zaczynie cementowym do najbliższej pory powietrznej. Ponadto istotne jest, aby była odpowiednia zawartość mikroporów w zaczynie cementowym o średnicy mniejszej niż 300 μm (tzw. klasa 18) A_{300} . Uznaje się, że betony mające wartość współczynnika $\bar{L} \leq 0,18$ mm oraz zawartość mikroporów $A_{300} > 1,8\%$ stanowią gwarancję uzyskania betonów mrozoodpornych [11–14].

2. Zakres badawczy, wyniki badań

Program badawczy miał na celu określenie wpływu ceramiki odpadowej (rozdrobnionej do postaci pyłu), pochodzącej z białej ceramiki sanitarnej (umywalki), ściennych płytek ceramicznych oraz ceramicznych dachówek, na wytrzymałość na ściskanie oraz mrozoodporność badanych kompozytów betonowych.

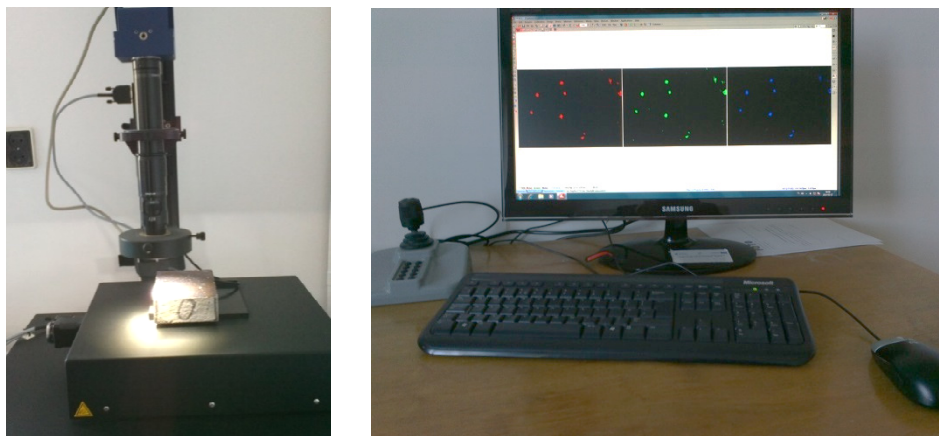
Do betonów zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5R, mieszankę kruszyw bazaltowych (mrozoodpornych, kategorii F1) o punkcie piaskowym PP = 38%, domieszkę upłynniającą SikaCem Superplast w ilości 1,2% masy cementu oraz domieszkę napowietrzającą SikaCem Plast w ilości 0,6% masy cementu. Zaprojektowany beton serii kontrolnej K zmodyfikowano poprzez wprowadzenie do jego składu dodatków w postaci rozdrobnionej odpadowej ceramiki w ilościach 5 oraz 10% w stosunku do masy cementu. Ceramika odpadowa była rozdrabniana w młynie, a następnie trzykrotnie w dezintegratorze. Składy badanych serii betonów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Składy badanych betonów w kg/m^3

Seria	Cement [kg/m^3]	Woda [dm^3/m^3]	Kruszywo [kg/m^3]	Domieszka upłynniająca [dm^3/m^3]	Domieszka napowietrzająca [dm^3/m^3]	Dodatek rozdrobnionej ceramiki [kg/ m^3]
K	344	178	2012	4,1	–	–
KN	344	178	2012	4,1	2,06	–
CB 5	344	178	1995	4,1	2,06	17,2 Rozdrobniona ceramika biała
CB10	344	178	1978	4,1	2,06	34,4 Rozdrobniona ceramika biała
CP 5	344	178	1995	4,1	2,06	17,2 Rozdrobniona ceramika z płytek ściennych
CP 10	344	178	1978	4,1	2,06	34,4 Rozdrobniona ceramika z płytek ściennych
CD 5	344	178	1995	4,1	2,06	17,2 Rozdrobniona dachówka ceramiczna
CD 10	344	178	1978	4,1	2,06	34,4 Rozdrobniona dachówka ceramiczna

Dla wszystkich serii kompozytów betonowych przeprowadzono następujące badania: zawartości powietrza w mieszance betonowej metodą ciśnieniową wg PN-EN12350-7, konsystencji metodą opadu stożka wg PN-EN12350-2, wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania wg PN-EN12390-3, mrozoodporności dla 150 cykli zamrożeń i rozmrożeń wg PN-88/B-06250 oraz badanie charakterystyki porowatości w stwardniałym betonie wg PN-EN 480-11. Badanie struktury porowatości przeprowadzono, stosując urządzenie do analizy obrazu z wykorzystaniem programu komputerowego Lucia Concrete. Za pomocą tego zestawu badawczego wyznaczono całkowitą zawartość powietrza w betonie A, wskaźnik rozmieszczenia porów \bar{L} oraz zawartość mikroporów A_{300} . Stanowisko do oznaczania charakterystyki porów przedstawiono na rysunku 1. Uzyskane wyniki badań zestawiono w tabelach 2-4.



Rys. 1. Stanowisko do pomiaru charakterystyki rozkładu porów w betonie

Tabela 2

Wyniki badań dla mieszanek betonowych

Badanie	Serie betonów							
	K	KN	CB 5	CB 10	CP 5	CP 10	CD 5	CD 10
Rozdrobniony dodatek; zawartość procentowa w stosunku do masy cementu	-	-	Ceramika biała 5,0	Ceramika biała 10,0	Płytki ścienne 5,0	Płytki ścienne 10,0	Dachówka ceramiczna 5,0	Dachówka ceramiczna 10,0
Opad stożka [mm]	105	150	150	140	150	160	165	170
Klasa konsystencji	S3	S3	S3	S3	S3	S4	S4	S4
Zawartość powietrza [%]	2,4	5,8	6,0	6,3	6,2	6,5	6,1	6,4

Mieszanka betonowa serii kontrolnej i mieszanki betonowe z dodatkiem rozdrobnionej ceramiki białej oraz ceramiki pochodzącej ze ściennych płytek ceramicznych zakwalifikowano do klasy konsystencji S3. Dodatek pochodzący z rozdrobnionej dachówki ceramicznej spowodował wzrost ciekości mieszanek betonowych do klasy konsystencji S4. Wszystkie mieszanki betonowe z dodatkiem rozdrobnionej ceramiki charakteryzowały się dobrą urabialnością i nie wykazywały także efektu bleedingu. Mieszanka betonowa serii kontrolnej uzyskała zawartość powietrza na poziomie 2,4%. Dodanie do betonu serii K domieszki napowietrzającej spowodowało wzrost napowietrzenia do wartości 5,8%. Wszystkie badane serie betonów

z dodatkiem rozdrobnionej ceramiki uzyskały wyższe wartości napowietrzenia w porównaniu do mieszanki betonowej bez ich udziału.

Tabela 3

Średnie wartości wytrzymałości na ściskanie oraz średnie spadki wytrzymałości i ubytki mas po 150 cyklach zamrożeń i rozmrożeń

Badanie	Serie betonów							
	K	KN	CB 5	CB 10	CP 5	CP 10	CD 5	CD 10
Rozdrobniony dodatek; zawartość procentowa w stosunku do masy cementu	-	-	Ceramika biała 5,0	Ceramika biała 10,0	Płytki ścienne 5,0	Płytki ścienne 10,0	Dachówka ceramiczna 5,0	Dachówka ceramiczna 10,0
Średnia wytrzymałość na ściskanie $f_{cm, cube}$ [MPa]	50,5	44,5	46,5	49,0	45,5	47,0	47,5	51,0
Klasa betonu	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Spadek wytrzymałości po 150 cyklach zamrożeń i rozmrożeń [%]	38,8	5,30	5,25	5,22	5,33	5,10	5,23	5,09
Ubytek masy po 150 cyklach zamrożeń i rozmrożeń [%]	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Beton serii kontrolnej K bez udziału domieszki napowietrzającej uzyskał średnią wytrzymałość na ściskanie $f_{cm} = 50,5$ MPa, co pozwoliło zakwalifikować go do klasy wytrzymałościowej C35/45. Dodanie domieszki napowietrzającej w serii KN spowodowało spadek wytrzymałości na ściskanie o 12%, co skutkowało zakwalifikowaniem tego betonu do klasy wytrzymałościowej C30/37. Było to spowodowane negatywnym działaniem domieszki napowietrzającej, która poprawia odporność na zamrażanie i rozmrażanie i równocześnie prowadzi do spadku wytrzymałości na ściskanie. Należy zwrócić uwagę, że wszystkie serie betonów z dodatkiem rozdrobnionej ceramiki uzyskały wyższe średnie wytrzymałości na ściskanie w stosunku do betonu serii KN, w której zastosowano jedynie domieszkę napowietrzającą. Dodanie rozdrobnionej dachówki ceramicznej w ilości 10% masy cementu w serii CD 10 umożliwiło zakwalifikowanie betonu tej serii do klasy C35/45, tej samej klasy co betonu serii K bez domieszki napowietrzającej.

Tabela 4

Wyniki badania charakterystyki porów powietrznych w stwardniałym betonie

Badanie	Serie betonów							
	K	KN	CB 5	CB 10	CP 5	CP 10	CD 5	CD 10
Rozdrobniony dodatek; zawartość procentowa w stosunku do masy cementu	-	-	Ceramika biała 5,0	Ceramika biała 10,0	Płytki ścienne 5,0	Płytki ścienne 10,0	Dachówka ceramiczna 5,0	Dachówka ceramiczna 10,0
Całkowita zawartość powietrza w stwardniałym betonie A [%]	2,5	6,4	6,3	7,0	6,6	7,2	6,5	6,9
Wskaźnik rozmieszczenia porów \bar{L} [mm]	0,45	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15
Zawartość mikroporów A_{300} [%]	1,1	2,2	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3

Dla betonu serii K bez domieszki napowietrzającej po 150 cyklach zamrożeń i rozmrożeń uzyskano średni spadek wytrzymałości równy 38,8%. Wszystkie serie betonów z udziałem domieszki napowietrzającej uzyskały spadek wytrzymałości poniżej 20%, co umożliwiło zakwalifikowanie ich do betonów mrozoodpornych na 150 cykli (F150). Należy zwrócić uwagę, że betony z dodatkiem rozdrobnionej ceramiki odpadowej charakteryzowały się bardzo niskim spadkiem wytrzymałości po cyklach zamrożeń i rozmrożeń. Najlepszy wynik odnotowano dla betonu z 10% dodatkiem ceramiki, pochodzącej z dachówek ceramicznych. Spadek wytrzymałości na ściskanie po 150 cyklach wyniósł 5,09% i był on niższy o 4% w stosunku do betonu serii KN, w którym zastosowano jedynie domieszkę napowietrzającą.

Badania charakterystyki rozkładu porów w stwardniałym betonie potwierdziły przydatność tej metody do oceny odporności na zamrażanie i rozmrażanie. Beton serii kontrolnej K, który w badaniu mrozoodporności nie został zakwalifikowany jako beton mrozoodporny, także w badaniu charakterystyki rozkładu porów nie uzyskał wyników pozwalających uznać tę serię za mrozoodporną. Dla betonu serii K wskaźnik rozmieszczenia porów \bar{L} wyniósł 0,45 mm, natomiast zawartość mikroporów w klasie A₃₀₀ wyniosła 1,1%. Wszystkie pozostałe serie betonów z domieszką napowietrzającą oraz dodatkiem rozdrobnionej ceramiki uzyskały wartości, pozwalające je uznać za betony mrozoodporne. Podobnie jak w badaniu mrozoodporności przeprowadzonym metodą zamrażania i rozmrażania, także w badaniu charakterystyki rozkładu porów, beton serii CD 10 z dodatkiem 10% ceramiki odpadowej pochodzącej z dachówki uzyskał najlepsze wartości, gwarantujące jego dużą mrozoodporność.

3. Wnioski

Przeprowadzone badania potwierdziły przydatność rozdrobnionej ceramiki odpadowej do produkcji kompozytów betonowych. Dodatek rozdrobnionej ceramiki odpadowej pochodzący z ceramiki białej, płytek ściennych oraz dachówek pozytywnie wpłynął na wszystkie badane cechy mieszanek betonowych i betonów. Dodanie rozdrobnionej ceramiki umożliwiło uzyskanie lepszej urabialnych mieszanek betonowych bez efektu bleedingu, zwiększyło też stopień ich ciekłości [14]. Wszystkie rodzaje rozdrobnionej ceramiki odpadowej zwiększyły wytrzymałość badanych betonów w stosunku do betonu kontrolnego. Największy przyrost wytrzymałości uzyskano dla betonu z dodatkiem 10% ceramiki pochodzącej z dachówek. Dodatek rozdrobnionej dachówki zniwelował spadek wytrzymałości na ściskanie spowodowany dodaniem domieszki napowietrzającej. Wytrzymałość na ściskanie betonu z domieszką napowietrzającą oraz 10% rozdrobnionej dachówki była taka sama jak w przypadku betonu kontrolnego bez domieszki napowietrzającej. Beton tej serii okazał się także betonem o najlepszych parametrach mrozoodpornych. Beton tej serii uzyskał najmniejszą wartość spadku wytrzymałości na ściskanie po 150 cyklach. Przeprowadzone badania dowodzą, że istnieje alternatywny sposób zagospodarowania odpadów poprodukcyjnych, które poprawiają cechy kompozytów o matrycy cementowej.

Badania mrozoodporności wykonane w oparciu o automatyczną analizę rozkładu porów w stwardniałym betonie potwierdzają ich przydatność w ocenie odporności na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie betonów. Jest to metoda równie skuteczna jak tradycyjna metoda zamrażania i rozmrażania. Na uwagę zasługuje fakt, że badania charakterystyki rozkładu porów w betonie można przeprowadzać po 14 dniach od daty wykonania betonu. Badanie mrozoodporności poprzez zamrażanie i rozmrażanie można rozpocząć nie wcześniej niż po 28 dniach od wykonania betonu i trwają one dla 150 cykli aż 50 dni. Metoda charakterystyki rozkładu porów daje możliwość uzyskania miarodajnego wyniku mrozoodporności już po kilkunastu dniach od pobrania próbek.

Literatura

- [1] Halicka A., Zegardło B., Odpady ceramiki sanitarnej jako kruszywo do betonu, *Przegląd Budowlany* 2011, 7–8, 50–55.
- [2] Garbalińska H., Marciniak B., Ocena wytrzymałości na ściskanie betonów różnego rodzaju wyznaczonej na próbkach prostopadłościennych, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej* 2017, seria Budownictwo 23, 78–85.
- [3] Garbalińska H., Koprowicz J., Waszak G., Strzałkowski J., Badania i analiza porównawcza współczynników przewodzenia ciepła napowietrzonych i nienapowietrzonych betonów lekkich i betonu zwykłego, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej* 2017, seria Budownictwo 23, 69–77.
- [4] Lukutsova N., Gornostaeva E., Degtyaryov E., Kondratova A., Kamoza E., Glushenkova A., Micro- and nanodispersed additions in wood-and-cement compositions, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej* 2015, seria Budownictwo 21, 190–197.
- [5] Zegardło B., Halicka A., Właściwości betonu z kruszywem uzyskanym z odpadów ceramiki sanitarnej 2012, 11, 24–28.
- [6] Sekar T., Ganesan N., Nampoothire N.V.N., Studies on strength characterization on utilization of waste materials as coarse aggregate in concrete, *Int. J. Eng. Sci. Techn.* 2011, 3, 5436–5440
- [7] De Brito J., Pereira A.S., Correia J.R., Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates, *Cem. Concr. Comp.* 2005, 27, 4, 429–433.
- [8] Guerra I., Vivar I., Liams B., Juan A., Moran J., Eco-efficient concretes: The effect of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete, *Waste Management* 2009, 29, 643–646.
- [9] Akhtaruzzaman A.A., Hasnat A., Properties of concrete using crushed brick as aggregate, *Concr. Int.* 1983, 5, 2, 58–63.
- [10] Medina C., Sanches de Rojas M.I., Frías M., Freeze-thaw durability of recycled concrete containing ceramic aggregate, *J. Cleaner Production* 2013, 40, 151–160.
- [11] Powers T.C., A working hypothesis for further studies of frost resistance, *Journal of the American Concrete Institute* 1945, 16(4), 245–272.
- [12] Wawrzeńczak J., Molendowska A., Struktura porów, a mrozoodporność betonów napowietrzanych za pomocą mikrosfer, *Cement Wapno Gips* 2011, 5, 278–287.
- [13] Nowak-Michta A., Identyfikacja porowatości napowietrzonych betonów z dodatkiem popiołu lotnego, [w:] *Dni Betonu: tradycja i nowoczesność*, red. P. Kijowski, J. Deja, Kraków 2008, 441–450.
- [14] Halbiniak J., Blukacz A., Recykling odpadów przemysłowych w kompozytach betonowych, *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym* 2016, 2(18), 29–34.

Evaluation of freeze resistance of concretes modified with waste ceramics

ABSTRACT:

The paper presents the analysis of the impact of waste ceramics on compressive strength and resistance to cyclic freezing and thawing of tested concrete composites, made on the basis of broken aggregate. The freeze-thaw test was carried out using the traditional method for 150 cycles and using an image automatic analysis device determining the porosity structure of the concrete. The waste ceramics were dosed in the form of ground dust (so-called flour) in quantities of 5 and 10% of the cement mass. The ceramics for testing were ground in a mill and disintegrator and were obtained from the recycling of sanitary ceramics, ceramic wall tiles and ceramic roof tiles. The addition of such shredded ceramics influenced obtaining better workability of concrete mixtures.

KEYWORDS:

modified concrete; freeze resistance; pore characteristics; ceramics