

MROZODPORNOŚĆ KOMPOZYTÓW CEMENTOWYCH Z WYPEŁNIACZAMI ORGANICZNYMI

Michał BOLTRYK^a, Anna KRUPA^{b*}

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

^b Wydział Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. prof. Edwarda F. Szczepanika w Suwałkach, ul. Noniewicza 10, 16-400 Suwałki

Streszczenie: W prezentowanym artykule przedstawiono wyniki badań nad modyfikacją kompozytów cementowych z wypełniaczami organicznymi domieszką napowietrzającą. W tym celu do zoptymalizowanego składu dodawano domieszkę w ilości od 0 do 4% w stosunku do masy cementu. Na podstawie badań przeprowadzonych na próbkach sześciennych o wymiarach 10×10×10 cm ustalono wpływ dodatku domieszki na wybrane właściwości fizyczno-mechaniczne kompozytów cementowych, to jest gęstość pozorną, wytrzymałość na ściskanie oraz mrozoodporność. Na podstawie uzyskanych wyników badań ustalono, że dla opracowanych wariantów recepturowych stopień mrozoodporności kompozytu cementowego wynosi F25.

Słowa kluczowe: kompozyty cementowe, wypełniacz organiczny, mrozoodporność, domieszka napowietrzająca.

1. Wprowadzenie

W obecnych czasach produkcja i przetwarzanie materiałów budowlanych w dużym stopniu obciąża środowisko naturalne poprzez: wydobywanie i zużycie surowców, zużycie wody, emisję zanieczyszczeń czy powstawanie odpadów między innymi w wyniku braku możliwości recyklingu po rozbiórce. Wypełniacze organiczne coraz częściej stanowią składnik kompozytowych materiałów stosowanych w budownictwie. Podstawowym argumentem przemawiającym za wykorzystywaniem tego rodzaju materiałów jest fakt, że stanowią one surowiec odnawialny. Wybierając materiały miejscowe zmniejsza się między innymi energię pierwotną czy emisję zanieczyszczeń z powodu ograniczonego transportu. Warto zauważyć, że wyroby na bazie wypełniaczy organicznych pozwalają na zmniejszenie ogólnych kosztów przy ich produkcji, stosowaniu czy utylizacji, co jest ważnym czynnikiem w dalszym rozwoju tego typu materiałów. Ponadto, w dobie powszechnego uświadomienia występowania problemów zdrowotnych wynikających z toksyczności otaczających nas substancji, materiały pochodzenia organicznego bardzo zyskują w oczach użytkowników (Golański, 2011).

Kruszywem organicznym stosowanym w przedstawionych badaniach jest oprócz trocin z drzew iglastych, znana powszechnie trzcina pospolita. Omawiana roślina znalazła zastosowanie w procesach budowlanych poprzez właściwości termoizolacyjne. Wśród zalet, dzięki którym

jest stosowana jako materiał budowlany znalazły się między innymi walory ekologiczne czy odporność na bardzo wysokie i niskie temperatury. Trzcina najczęściej wykorzystywana jest do krycia dachów, ale znajduje zastosowanie także jako płyty izolacyjne, maty trzcinowe pod tynkiem oraz elementy konstrukcyjne w budynkach (Bołtryk i Rutkowska, 2005).

Jedną z ważniejszych cech branych pod uwagę przy tworzeniu konstrukcji jest odporność na czynniki zewnętrzne materiałów budowlanych, a ich uszkodzenia często występują przy minusowych temperaturach. Mrozoodporność w polskich warunkach klimatycznych jest jedną z istotnych właściwości użytkowych kształtujących trwałość wyrobów. Istnieje wiele rozwiązań i czynników technologicznych wpływających na odporność na działanie mrozu. Można ją kształtować za pomocą stosowania: napowietrzania zaczynu cementowego, redukcji porów kapilarnych w wyniku obniżenia wskaźnika w/c, odpowiednio dobranego kruszywa i cementu oraz dodatków mineralnych (Rusin, 2002; Kalisty i Małaszkiwicz, 2010). Głównym zabiegiem zabezpieczającym beton przed mrozem jest modyfikacja struktury porowatości matrycy cementowej poprzez wprowadzenie domieszki napowietrzającej do mieszanki. Napowietrzanie wykonywane jest w celu zwiększenia odporności kompozytu na zamrażanie i odmrażanie. Z uwagi na to, że duże pory powietrzne podczas napowietrzania zostaną zastąpione przez większą ilość małych porów, droga transportu wody między porami jest krótsza i powoduje to również zmniejszenie

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: annairis@wp.pl

wewnętrznych naprężeń powstających przy wypychaniu nadmiaru wody (Jamroz, 2003; Neville, 2012).

Prezentowany artykuł ma na celu przedstawienie wyników badań nad kompozytami cementowymi na bazie wypełniaczy organicznych z wariantowaną ilością domieszki napowietrzającej, szczególnie w aspekcie mrozoodporności badanych materiałów. Ponadto ustalono wpływ dodatku domieszki na wybrane właściwości fizyczno-mechaniczne kompozytów cementowych.

2. Program i metoda prowadzenia badań

W ramach badań zaplanowano doświadczenie jednoczynnikowe, w którym składnikiem modyfikującym była domieszka napowietrzająca w zakresie 0, 1, 2, 3, 4% w stosunku do masy cementu. Zawartość zastosowanego cementu portlandzkiego CEM I 42,5R o wysokiej wytrzymałości w badanych kompozytach była stała i wynosiła 400 kg/m³. Do wykonania mieszanki użyto wypełniacza roślinnego w postaci trocin drzew iglastych (frakcja 0-2 mm) oraz trzciny pospolitej (frakcji 2-10 mm i 10-20 mm). Trzcinę ściętą w okresie zimowym w miejscowości Rosochaty Róg w gminie Krasnopol. Po wysuszeniu pocięto ją na odcinki odpowiednich długości i przesiano, aby uzyskać wyżej wymienione frakcje. W celu właściwego przygotowania kruszywa organicznego, uodpornienia go na procesy gnilne oraz zneutralizowania szkodliwych dla cementu związków, przeprowadzono proces mineralizacji siarczanem glinu Al₂(SO₄)₃ oraz wodorotlenkiem wapnia Ca(OH)₂ w stosunku 2:1. Do mineralizacji trzciny i trocin użyto 9% siarczanu glinu i 18% wapna hydratyzowanego w odniesieniu do całkowitej masy kruszywa pochodzenia organicznego. Receptury kompozytów cementowych z wypełniaczem organicznym ze zmienną zawartością domieszki napowietrzającej przedstawiono w tabeli 1.

Badania przeprowadzono na próbkach sześciennych o boku 10 cm. Po upływie 28 dni od zaformowania

z każdej serii pobrano po 3 próbki do badania gęstości pozornej (według PN-EN 12390-7:2011 *Badania betonu. Część 7: Gęstość betonu*), po 6 próbek do oznaczenia wytrzymałości na ściskanie (zgodnie z PN-EN 12390-3:2011 *Badanie betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań*) i po 6 próbek do analizy mrozoodporności (PN- 88/B-06250 *Beton zwykły*).

3. Wyniki badań i ich analiza

3.1. Analiza wyników badań gęstości pozornej

Jednorodność rzędu wariancji poszczególnych prób S_1^2 , S_2^2 , S_3^2 , ..., S_5^2 , sprawdzono za pomocą testu statystycznego Cochra (Polański, 1984; Mańczak, 1976), który sprowadza się do porównania wartości obliczeniowej kryterium Cochra G_{obl} z wartością krytyczną G_{kr} . Sprawdzenie jednorodności ocen wariancji powtórnych pomiarów wykazało, że przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ obliczeniowa wartość kryterium Cochra równa $G_{obl} = \max_{i=1} S_i^2 / \sum_{i=1} S_i^2 = 0,4023$

okazała się mniejsza od wartości krytycznej $G_{kr}^{\alpha, n-1, N} = G_{kr}^{0,05; 2, 5} = 0,6838$ (Zieliński R. i Zieliński W., 1990). Można więc stwierdzić, że wariancje prób są jednorodne. W związku z powyższym, wartość generalnej wariancji odtwarzania eksperymentu można obliczyć jako średnią wartość z wariancji poszczególnych prób. W związku z powyższym, $S_y^2 = \sum S_i^2 / N = 0,000459$

przy liczbie stopni swobody $f = N(n-1) = 5(3-1) = 10$. Tę ocenę wariancji przyjęto jako jednakową w całym obszarze oddziaływania czynnika. Poddano ocenie istotności czynnik X (zawartość domieszki napowietrzającej) na podstawie kryterium F Snedecora. Wyniki przeprowadzonej analizy wariancji przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 1. Receptury mieszanek kompozytów cementowych na 1m³ o różnej zawartości domieszki napowietrzającej

Seria	Cement CEM I 42,5R	Domieszka napowietrzająca	Woda	Kruszywo			Mineralizatory		
				Trociny 0-2 mm	Trzcina 2-10 mm	Trzcina 10-20 mm	Siarczan glinu Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	Wapno hydratyzowane Ca(OH) ₂	
				48,6%	25,4%	26%	9%	18%	
	[kg]	[%]	[kg]	[dm ³]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
1		0	0						
2		1	4						
3	400	2	8	439,56	84,62	44,03	45,36	30,49	31,32
4		3	12						
5		4	16						

Tab. 2. Analiza wariancji dla gęstości pozornej w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej

Zmienna zależna	SS	df	MS	F_{obl}	$F_{kr(\alpha, f_1, f_2)} = F_{kr(0,05; 3; 10)}$	η [%]
Czynnik X	0,010312	4	0,002578	5,611	3,48	69
Błąd modelu	0,004595	10	0,000459			31
Razem	0,014907	14				

Odrzucono hipotezę H_0 o braku istotnego wpływu czynnika X na gęstość pozorną z uwagi na zależność $F_{obl} < F_{kr}$. Analiza, przedstawiona w tabeli 2, wykazała, że rozpatrywany czynnik wywiera istotny wpływ na gęstość pozorną. Oddziaływanie czynnika X wynosi 69%. W następnej kolejności przystąpiono do analizy regresyjnej. Opracowano matematyczny opis obiektu badań w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej, który przyjęto jako wielomian 2-go stopnia postaci (1):

$$\hat{y} = b_0 + b_1X + b_2X^2 \quad (1)$$

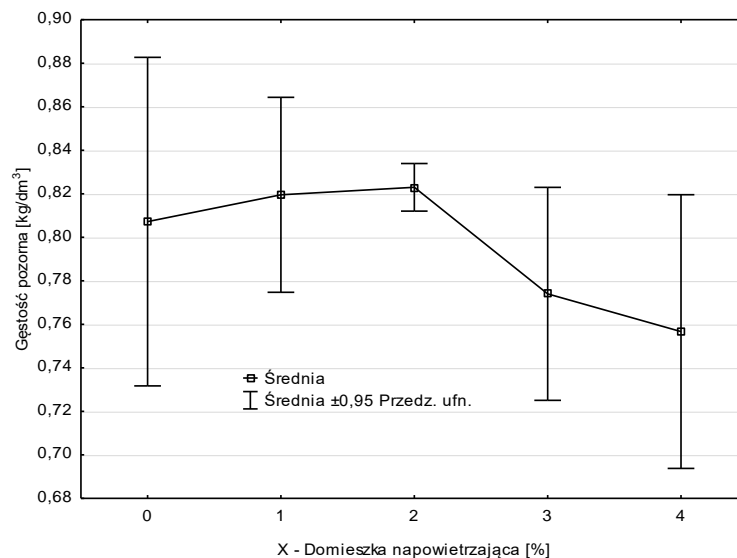
gdzie: X jest czynnikiem zmiennym, natomiast b_0 , b_1 , b_2 są współczynnikami równania regresji.

Po wyznaczeniu współczynników modelu, obliczonych za pomocą metody najmniejszych kwadratów uzyskano następującą postać (2) równania regresji gęstości pozornej:

$$\hat{y} = 0,820145 - 0,004012 X^2 \quad R^2 = 0,56 \quad (2)$$

Identyczność stworzonego modelu została sprawdzona za pomocą testu Fischera-Snedecora. Wartość F_{obl} porównano z wartością krytyczną F_{kr} . Ponieważ $F_{obl} = 9507,47 > F_{kr(0,05; 2; 13)} = 3,81$ z prawdopodobieństwem $p = 0,95$, przyjęto hipotezę o identyczności otrzymanego modelu matematycznego, wyznaczone równanie regresji jest adekwatne.

Na rysunku 1 przedstawiono interpretację graficzną otrzymanych wyników badań gęstości pozornej w funkcji procentowej zawartości domieszki napowietrzającej. Obserwuje się silną korelację pomiędzy badaną cechą a zawartością domieszki, co jest zgodne z oczekiwaniami, ponieważ wzrostowi zawartości środka napowietrzającego, a tym samym zawartości porów w świeżej mieszance, towarzyszy zwiększenie jej objętości. Wzrost pustek powietrznych w próbce wpływa na spadek jej gęstości pozornej, który jest różny w zależności od procentowej zawartości domieszki. Najniższą wartość gęstości pozornej $0,757 \text{ kg/dm}^3$ (seria 5) uzyskano przy maksymalnej rozpatrywanej zawartości czynnika X wynoszącej 4%.



Rys. 1. Zmiany gęstości pozornej w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej (czynnik X)

3.2. Analiza wyników badań wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania

Jednorodność rzędu wariancji poszczególnych prób sprawdzono za pomocą testu statystycznego Cochra. Przy liczbie powtórzeń w próbie $n = 6$ i liczbie porównywanych wariancji $N = 5$ obliczona wartość kryterium $G_{obl} = 0,3187$ jest mniejsza od wartości krytycznej $G_{kr}^{\alpha, n-1, N} = G_{kr}^{0,05; 5; 5} = 0,5063$ wyznaczonej na podstawie tablic testu F (Zieliński R. i Zieliński W., 1990). W związku z powyższym została spełniona zależność $G_{obl} < G_{kr}$. Wariancje prób są jednorodne a wartość generalnej wariancji odtwarzania eksperymentu, przy liczbie stopni swobody $f = N(n-1) = 5(6-1) = 25$ równą $S_y^2 = 0,440$ przyjęto jako jednakową dla całego obszaru oddziaływania czynnika. Następnie sprawdzono według kryterium F Snedecora hipotezę o istotności wpływu czynnika X, czyli zawartości domieszki napowietrzającej. Wyniki przeprowadzonej jedno-czynnikowej analizy wariancji zamieszczono w tabeli 3.

W wyniku wykonanej analizy wariancji otrzymana wartość statystyki wynosi $F_{obl} = 3,53$, natomiast dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ wartość krytyczna rozkładu F Snedecora jest równa $F_{kr(0,05; 4; 25)} = 2,76$. W związku z powyższym, wartość obliczeniowa statystyki F_{obl} przekracza wartość krytyczną F_{kr} co wskazuje na to, że z prawdopodobieństwem popełnienia błędu wynoszącym

0,05 można odrzucić hipotezę zerową H_0 o braku istotnego wpływu czynnika X na wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania na korzyść hipotezy alternatywnej. Aby zapewnić możliwość prognozowania wytrzymałości na ściskanie opracowano matematyczny opis obiektu badań w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej, który przyjęto jako wielomian 2-go stopnia (1). Istotność obliczonych współczynników regresji sprawdzono za pomocą najmniejszych kwadratów. Poszukiwane równanie regresji wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania ma postać (3):

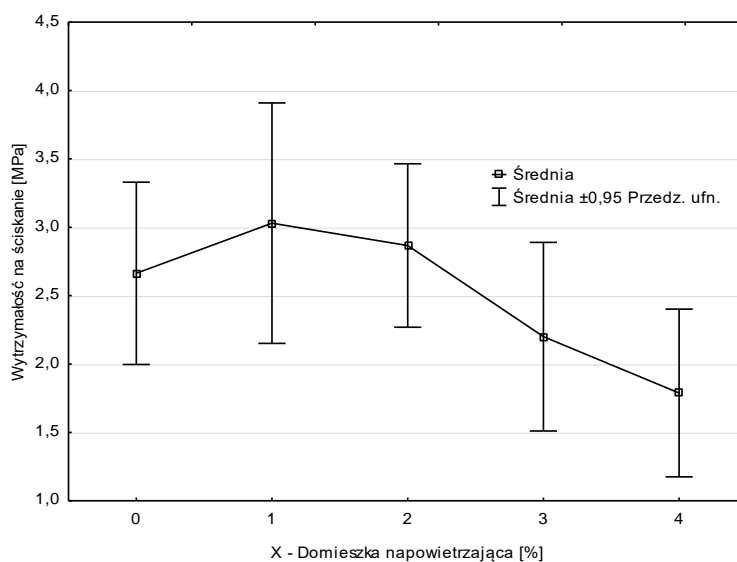
$$\hat{y} = 2,936563 - 0,071149 X^2 \quad R^2 = 0,31 \quad (3)$$

Za pomocą testu F przeprowadzono ocenę adekwatności funkcji (3). Otrzymany model matematyczny (3) adekwatnie opisuje dane doświadczalne stanowiące podstawę do jego formułowania, ponieważ $F_{obl} = 227,45 > F_{kr(0,05; 2; 28)} = 3,34$.

Na podstawie rysunku 2 przedstawiającego interpretację graficzną otrzymanych wyników badań wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania w funkcji procentowej zawartości domieszki napowietrzającej można stwierdzić, że wraz ze wzrostem zawartości domieszki zmniejsza się wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania, analogicznie jak w przypadku gęstości pozornej. Przy maksymalnej

Tab. 3. Analiza wariancji dla wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej

Zmienna zależna	SS	df	MS	F_{obl}	$F_{kr(\alpha, f_1, f_2)} = F_{kr(0,05; 3; 10)}$	η [%]
Czynnik X	6,228147	4	1,557037	3,5348	2,76	36
Błąd modelu	11,012350	25	0,440494			64
Razem	17,240497	29				



Rys. 2. Zmiany wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej (czynnik X)

zawartości czynnika X, to jest 4% w stosunku do masy cementu zaobserwowano najniższą wartość badanej cechy (1,79 MPa), która jest mniejsza o około 50% w odniesieniu do wartości wytrzymałości na ściskanie uzyskanej dla kontrolnego kompozytu cementowego bez zawartości domieszki napowietrzającej (2,66 MPa).

3.3. Analiza wyników badań mrozoodporności

Do badania odporności na działanie mrozu kompozytów cementowych z wypełniaczami organicznymi zastosowano metodę zwykłą według PN-88/B-06250. Oznaczenie wykonano na próbkach o kształcie sześciennym o boku 10 cm po upływie 28 dni dojrzewania w warunkach powietrzno-suchych. Pomiar wykonano dla każdej serii na 6 próbkach, z czego 3 próbki poddano 25 cyklom zamrażania i rozmrażania, w temp. odpowiednio $-18 \pm 2^\circ\text{C}$ i $+18 \pm 2^\circ\text{C}$ przez okres po 4 godziny (3 cykle na dobę) a pozostałe 3 stanowiły próbki porównawcze, przechowywane przez cały czas badania w wodzie. Każdorazowo oceniano ubytek masy, wynikający z ewentualnych zniszczeń narożników, krawędzi czy odprysków i spadek wytrzymałości w stosunku do próbek porównawczych. Ponadto próbki poddane badaniu mrozoodporności sprawdzano pod względem wystąpienia pęknięć i zarysowań na powierzchniach licowych.

3.3.1. Ubytek masy po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania

Na podstawie obliczonego G_{obl} i przyjętego z tablicy G_{kr} (Zieliński, 1990) testu Cochran'a: $G_{obl} = 0,6526 < G_{kr}^{\alpha, n-1, N} = G_{kr}^{0,05; 2,5} = 0,6838$ stwierdzono, że wariancje prób są jednorodne więc wartość generalnej wariancji odtwarzania eksperymentu $S_y^2 = 0,5856$ przyjęto jako jednakową dla całego obszaru oddziaływania analizowanych czynników, przy liczbie stopni swobody równej $f = N(n-1) = 5(3-1) = 10$. Ocenę istotności wpływu czynnika X na wielkość ubytku masy podczas badania mrozoodporności przy 25 cyklach zamrażania i rozmrażania przeprowadzono wykorzystując w tym celu kryterium F Snedecora, otrzymane wyniki zamieszczono w tablicy 4.

Z uwagi na zależność $F_{obl} < F_{kr}$ odrzucono hipotezę o braku istotnego wpływu czynnika X na ubytek masy podczas badania mrozoodporności. Analiza, przeprowadzona w tabeli 4 wykazała, że rozpatrywany czynnik wywiera istotny wpływ na ubytek masy. Oddziaływanie czynnika X wynosi 82%. W celu zapewnienia możliwości prognozowania ubytku masy kompozytu cementowego opracowano matematyczny opis obiektu badań w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej. Do opisu analizy ubytku masy przyjęto wielomian 2-go stopnia (1). Równanie opisujące przebieg zmiany ubytku masy, opracowane przy wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów na poziomie $\alpha = 0,05$, ma postać (4):

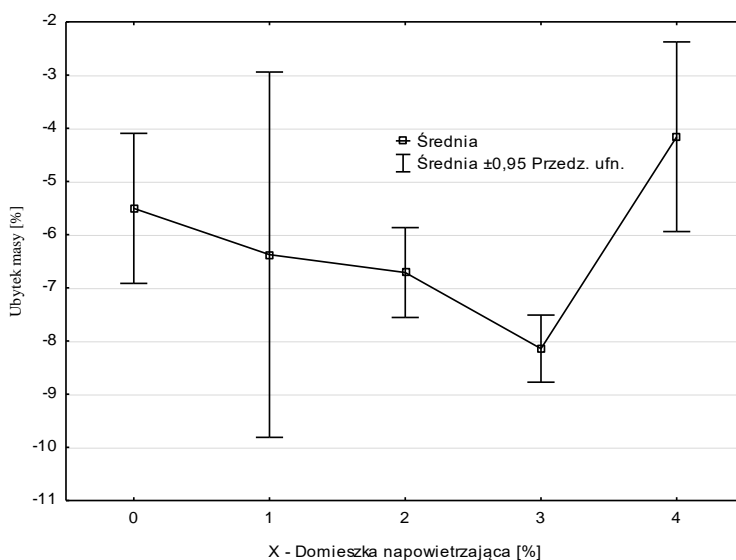
$$\hat{y} = -5,13486 - 2,36829 X + 0,61524 X^2 \quad R^2 = 0,50 \quad (4)$$

Sprawdzenia adekwatności otrzymanego modelu (4) dokonano za pomocą kryterium F Snedecora. Ustalono, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ model (4) adekwatnie opisuje dane doświadczalne stanowiące podstawę do jego formułowania, z uwagi na zależność $F_{obl} = 148,79 > F_{kr(0,05; 3; 12)} = 3,49$. Wykres zmienności ubytku masy po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania w zależności od analizowanego czynnika X, biorąc pod uwagę ich wartości rzeczywiste przedstawiono na rysunku 3.

Na podstawie rysunku 3 i modelu (4) można stwierdzić, że w rozpatrywanym eksperymencie odnotowano przyrost masy próbek a nie jej ubytek po 25 cyklach naprzemiennego zamrażania i rozmrażania. Można to tłumaczyć tym, iż na destrukcję mrozową istotny wpływ ma występowanie porów kapilarnych tworzących system wzajemnie połączonych pustek o nieregularnych i przypadkowych kształtach. Woda w porach ulega łatwo zamarzaniu i może swobodnie przemieszczać się w wyniku napięcia kapilarnego (Neville, 2012; Korycka-Kowalska i Woyciechowski, 2015). Ponadto, objętość zamarzniętej wody jest o około 9% większa niż w stanie ciekłym, co skutkuje stopniowym rozszerzaniem porów w wyniku naprzemiennego zamrażania i odmrażania (Rusin, 2002). Wzrost zawartości domieszki napowietrzającej do 3% powoduje zwiększenie masy badanych próbek o 67% w stosunku do próbek bez zawartości dodatku domieszki.

Tab. 4. Analiza wariancji dla ubytku masy po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej

Zmienna zależna	SS	df	MS	F_{obl}	$F_{kr(\alpha, f1, f2)} = F_{kr(0,05; 3; 10)}$	η [%]
Czynnik X	26,134733	4	6,533683	11,157	3,18	82
Błąd modelu	5,856267	10	0,585627			18
Razem	31,991000	14				



Rys. 3 Zmiany ubytku masy po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej (czynnik X)

3.3.2. Spadek wytrzymałości po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania

Na podstawie wyników badań wytrzymałości na ściskanie otrzymanych z próbek poddanych 25 cyklom cyklicznego zamrażania i rozmrażania oraz z próbek przechowywanych w wodzie określono spadek wytrzymałości kompozytów cementowych. W poszczególnych seriach inne próbki poddawano oznaczeniu wytrzymałości na ściskanie po cyklach zamrażania i rozmrażania a inne stanowiły próbki referencyjne. Ze względu na przypadkową kolejność badanych elementów w serii nie obliczano wariancji w poszczególnych seriach a tylko wariancję generalną równą $S_y^2 = 4,08577$ i przyjęto ją jako jednakową dla całego obszaru oddziaływania rozpatrywanego czynnika X. Uzyskane wyniki spadku wytrzymałości na ściskanie przedstawiono w tabeli 5.

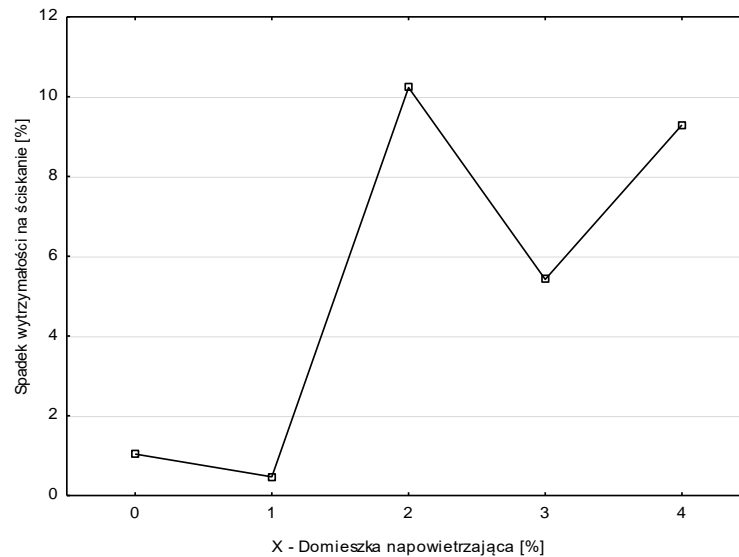
Wykres zmienności spadku wytrzymałości

na ściskanie po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania dla rzeczywistych wartości rozpatrywanego czynnika przedstawiono na rysunku 4.

Próbki kompozytów cementowych z wypełniaczami organicznymi po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania, przy oględzinach makroskopowych nie wykazały uszkodzeń zewnętrznych w postaci zarysowania powierzchni czy spękań. Spadek wytrzymałości na ściskanie próbek poddanych naprzemiennemu zamrażaniu i rozmrażaniu w odniesieniu do wytrzymałości próbek niezamrażanych wyniósł maksymalnie 10,23% w przypadku 2% zawartości domieszki napowietrzającej (seria 3). Natomiast najniższą wartość badanej cechy zaobserwowano przy 1% dodatku domieszki (seria 2). Zaobserwowano ponad 10-krotny (seria 3) spadek wytrzymałości na ściskanie kompozytów cementowych w porównaniu ze spadkiem odnotowanym dla kompozytu kontrolnego, bez dodatku domieszki (seria 1).

Tab. 5 Wyniki badań spadku wytrzymałości na ściskanie po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej

Seria	Domieszka napowietrzająca [%]	R1 – średnia wytrzymałość na ściskanie próbek porównawczych-niezamrażanych, nasyconych wodą [MPa]	R2 – średnia wytrzymałość na ściskanie próbek badanych, po ich ostatnim odmrażaniu, nasyconych wodą [MPa]	ΔR – średni spadek wytrzymałości [%]	Wariancja	Odchylenie. standartowe
1	0	1,93	1,91	1,04		
2	1	2,13	2,12	0,47		
3	2	2,15	1,93	10,23	20,42885	4,519829
4	3	1,66	1,57	5,42		
5	4	1,4	1,27	9,29		



Rys. 4 Zmiany spadku wytrzymałości na ściskanie po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej (czynnik X)

4. Podsumowanie

Na podstawie wyników badań, popartych analizą statystyczną, można ocenić kompozyty cementowe na bazie wypełniaczy organicznych jako mrozoodporne. Procedura badania mrozoodporności metodą zwykłą symuluje warunki pracy betonu narażonego na działanie wody przed zamarzaniem. Dodatek domieszki napowietrzającej znacznie ogranicza porowatość kapilarną (otwartą) w ogólnej porowatości kompozytów cementowych, zwiększając ilość porów zamkniętych i porów najdrobniejszych. Powyższy układ struktury porowatości pozwala uzyskać wysoką mrozoodporność. W przypadku rozpatrywanego materiału, dla opracowanych wariantów recepturowych, cykliczne zamrażanie i rozmrażanie próbek kompozytów cementowych nie spowodowało istotnego obniżenia ich wytrzymałości na ściskanie. Pomiar odporności na działanie mrozu pozwolił określić stopień mrozoodporności kompozytu jako F25.

Kompozyty cementowe na bazie wypełniaczy organicznych w postaci trzciny pospolitej i trocin z drzew iglastych stanowią ekologiczną alternatywę dla tradycyjnych materiałów używanych w budownictwie, należy więc prowadzić dalsze badania ukierunkowane w szczególności na zwiększenie wytrzymałości oraz zmniejszenie nasiąkliwości analizowanego materiału.

Literatura

- Boltryk M., Rutkowska W. (2005). Mineralizacja trzciny pospolitej (*Phragmites communis* Trin). *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Budownictwo*, Zeszyt 26, 7-16.
- Golański M. (2011). Potencjał zastosowania produktów organicznych w budownictwie. *Przegląd budowlany*, Nr 5, 80-87.

- Jamroży Z. (2003). *Beton i jego technologie*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kalisy M., Małaszkiwicz D. (2010). Metody badania mrozoodporności betonów. Ocena mrozoodporności betonu z cementem hutniczym. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Vol. 1, 293-300.
- Korycka-Kowalska J., Woyciechowski P. (2015). Analiza stanu wiedzy o współzależności pomiędzy destrukcją mrozową i karbonatyzacją betonu. *Materiały budowlane*, Nr 12, 20-23.
- Mańczak K. (1976). *Technika planowania eksperymentu*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1976.
- Neville A. M. (2012). Właściwości betonu. *Polski Cement*, Kraków.
- Polański R. (1984). *Planowanie doświadczeń w technice*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Rusin Z. (2002). *Technologia betonów mrozoodpornych*. Polski Cement, Kraków.
- Zieliński R., Zieliński W. (1990). *Tablice statystyczne*. wyd. II, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.

FROST RESISTANCE OF CEMENT COMPOSITES WITH ORGANIC FILLERS

Abstract: The paper presents the results of research on the modification of cement composites with organic fillers air entrainers. For this purpose an optimized composition of the admixture is added in an amount of from 0 to 4% of the weight of the cement. Based on research carried out on cubic samples of dimensions 10×10×10 cm determined the effect of adding admixture on selected physical and mechanical properties of cement composites: apparent density, compressive strength and frost resistance. Based on the obtained results it was established that the developed variants of prescription degree of frost resistance of the composite cement is F25