

Wpływ wybranych czynników na wyniki badania nasiąkliwości betonu

Jerzy Wawrzeńczyk¹, Agnieszka Molendowska³, Adam Klak³

Katedra Technologii i Organizacji Budownictwa, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska, e-mail: ¹ zmsjw@tu.kielce.pl, ² agam@tu.kielce.pl, ³ adamklak@tu.kielce.pl

Streszczenie: Badanie nasiąkliwości betonu, pomimo że jest oznaczeniem prostym technicznie budzi jednak dyskusje ze względu na poprawność uzyskiwanych wyników. Brak jednoznacznego opisu procedury badania powoduje, że wyniki uzyskiwane w różnych laboratoriach mogą nie być porównywalne.

W referacie przedstawiono wyniki badania nasiąkliwości 5 serii betonów wykonanych z trzema różnymi cementami, o trzech różnych stosunkach W/C. Badania prowadzono na kostkach sześciennych o boku 10 i 15 cm, które były długotrwale nasycane i suszone. Z przeprowadzonych badań wynika, że decydujący wpływ na wyniki oznaczeń nasiąkliwości wagowej ma wielkość badanej próbki oraz czas suszenia próbek, który znacznie przekracza minimalny czas określony w normie dla prefabrykatów betonowych.

Słowa kluczowe: nasiąkliwość, czas nasycania, czas suszenia.

1. Wprowadzenie

Niektóre normy przedmiotowe nakazują ograniczenie nasiąkliwości wagowej betonu do pewnego poziomu np. $n_w \leq 4\%$ wg Zaleceń GDDPiA [1]. Jest to warunek często trudny do uzyskania w warunkach produkcji przemysłowej, co wynikać może z nieodpowiedniego składu betonu. Wiadomo, że nasiąkliwość zaczynu cementowego (zakładając brak nasiąkliwości kruszywa) jest zależna od ilości cementu, stosunku W/C oraz stopnia hydratacji cementu (czasu i warunków dojrzewania).

W wielu przypadkach brak spełnienia warunku nasiąkliwości stanowić może podstawę do kwestionowania poprawności wykonania i odbioru robót oraz rozliczeń finansowych. Z tego też powodu dosyć często spotkać można opinie kwestionujące potrzebę brania pod uwagę nasiąkliwości jako istotnego i potrzebnego kryterium w ocenie jakości betonu.

Można przyjąć za poprawne założenie, że nasiąkliwość ma znaczenie drugorzędne w przypadku betonów napowietrzonych, gdzie odpowiednia struktura porów powietrznych decyduje o mrozoodporności (Amerykanie napowietrzają nawet betony BWW). W przypadku betonów nienapowietrzonych (dość często spotykane w Polsce) o mrozoodporności decyduje ograniczenie porowatości kapilarnej związane bezpośrednio z ograniczeniem porowatości otwartej a tym samym nasiąkliwości.

Badanie nasiąkliwości jest oznaczeniem prostym technicznie, a jednak często dyskutowanym biorąc pod uwagę poprawność uzyskanych wyników [2][3][4][5]. Nasiąkliwość wagowa n_w definiowana jest jako stosunek masy wody m_w wnikałej do nasyconego materiału do jego masy suchej m_s , co jest równoważne stosunkowi nasiąkliwości objętościowej n_o do gęstości pozornej g_s . Opis sposobu oznaczania nasiąkliwości zawiera norma PN-88/B-06250 [6]. Dopuszcza ona stosowanie próbek różnej wielkości i kształtu: próbki regularnych kształtów o objętości min. 1 dm^3 lub nieregularne o objętości min. 2 dm^3 . W praktyce stosuje się najczęściej próbki-kostki formowane o boku 10 cm lub 15 cm. Próbki te nasycy się w wodzie do „stałej masy”, a następnie suszy w temperaturze $105 \text{ }^\circ\text{C}$ do „stałej masy”. Uzyskanie stałej masy występuje w momencie, gdy kolejne ważenia wykazują różnicę poniżej 0,2% masy próbek. Dyskusyjną kwestią jest czy taki opis można uznać za jednoznaczny i czy badania nasiąkliwości przeprowadzane w ten sposób są zawsze wiarygodne oraz gwarantują powtarzalność wyników w różnych laboratoriach.

W normie PN-EN 13369:2005 [7] dotyczącej prefabrykatów betonowych przyjmuje się, że okres nasycania próbek wodą wynosi minimum 3 dni oraz czas ich suszenia również minimum 3 dni. Przyjmuje się, że próbka osiągnęła stałą masę, jeżeli dwa kolejne wyniki ważenia nie wykazują różnicy większej niż 0,1%.

W niniejszej pracy analizowano wpływ wybranych czynników: wielkości kostek (10 i 15 cm), 3 rodzaje cementu, 3 różne stosunki W/C, długie czasy nasycania a następnie suszenia próbek na wyniki oznaczeń nasiąkliwości.

Przedstawione w pracy wyniki badań stanowią przyczynek do dyskusji na temat potrzeby wprowadzenia zmian (jednoznacznego opisu procedury) co gwarantowałyby większą wiarygodność i powtarzalność wyników oznaczeń nasiąkliwości.

2. Cel i zakres badań własnych

Celem badań własnych było określenie wpływu wybranych czynników, takich jak: rodzaj cementu, stosunek W/C, wielkość badanej próbki oraz długość czasu nasycania i suszenia na wyniki oznaczeń nasiąkliwości wagowej. Program badań obejmował wykonanie 5 serii betonów, różniących się składem jakościowym i ilościowym:

- cement - CEM I 42,5, CEM II/B-V 32,5, CEM III/A HSR/LH/NA 42,5;
- stosunek W/C - 0,38, 0,44, 0,50;
- wielkość próbki – kostka o boku 10 cm, kostka o boku 15 cm.

Skład i wybrane właściwości betonów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład i wybrane właściwości mieszanek betonowych

Seria	Cement	W/C	Cement [kg/m ³]	Kruszywo [kg/m ³]	SPL [% m.cem.]	ρ_b [kg/m ³]
A1		0,50	343	2014	0,43	2530
A2	CEM I 42,5	0,44	367	1997	0,40	2526
A3		0,38	412	2025	0,57	2596
B1	CEM II /B-V 32,5	0,50	331	1941	0,41	2438
C1	CEM III/A 42,5 HSR/LH/NA	0,50	314	1849	0,58	2322

3. Opis badań

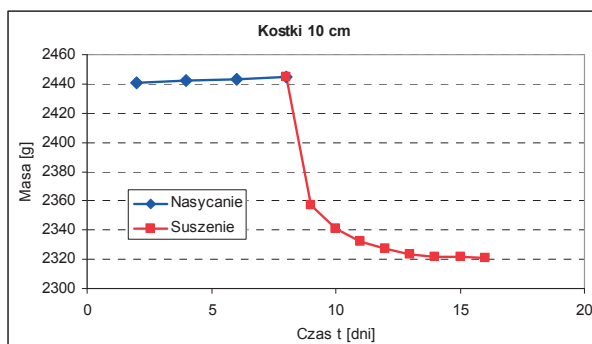
Badanie nasiąkliwości wykonano w oparciu o normę PN-88/B-06250 na próbkach sześciennych o boku 10 cm i 15 cm. Badania przeprowadzono po 28 dniach dojrzewania próbek. Próbki rozformowano po 24 godzinach i do 7 dni przechowywano w wodzie, a następnie przez 21 dni próbki znajdowały się w powietrzu. Badane kostki układano w naczyniu wannowym, tak aby odległość między próbkami wynosiła co najmniej 15 mm i ich podstawa nie stykała się z dnem naczynia. Naczynie wypełniano wodą o temperaturze około 20°C do poziomu równego połowie wysokości próbek. Po 24 godzinach próbki zalewano wodą do takiego poziomu, aby lustro wody znajdowało się minimum 20 mm nad górną powierzchnią próbek. Co drugi dzień próbki były wyjmowane z naczynia, osuszone i ważone na wadze laboratoryjnej o dokładności 1g. Nasycanie próbek trwało tak długo, aż kolejne wyniki ważenia nie wykazywały zmian masy. Po zakończeniu nasycania próbki umieszczano w suszarce laboratoryjnej Pol-Eko SLW 400 o parametrach:

Parametr	Wartość
Obieg powietrza	wymuszony
Pojemność komory [l]	424
Drzwi	pełne
Zakres temperatury pracy [°C]	5 powyżej temp. otoczenia +250
Moc znamionowa [W]	3900
Regulacja temperatury [°C]	co 0,1
Stabilność temperatury w +105°C [°C]	±0,5
Ilość półek standard/max	3/14

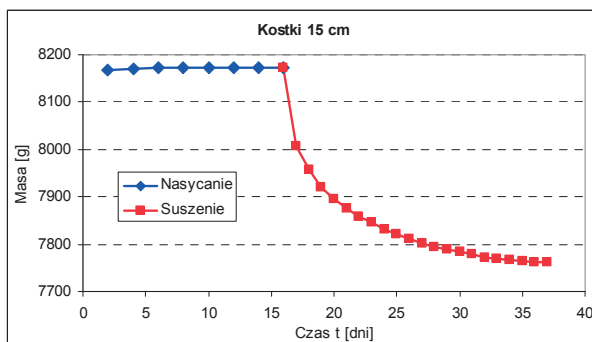
Próbki suszono w stałej temperaturze 105°C aż do uzyskania stałej masy. W przypadku znacznego przekroczenia założonego czasu suszenia badanie przerywano, gdy różnica kolejnych pomiarów masy wynosiła około 3-4 g. Kostki o boku 10 cm suszone były w ilości do 16 sztuk a kostki o boku 15 cm – 9 sztuk.

4. Wyniki badań i ich analiza

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przebieg procesu nasycania oraz suszenia kostek o boku 10 cm i 15 cm. Przyrost masy próbki 10 cm podczas nasycania w czasie między 2 a 8 dniem badania jest niewielki i wynosi 3-5 g. W przypadku kostek 15 cm przyrost masy pomiędzy 2 a 15 dniem nasycania wynosi 5-10 g. Ubytek masy przy suszeniu kostek 10 cm pomiędzy 2 a 8 dniem suszenia jest znaczny i wynosi 20-35 g, zaś ubytek masy kostek 15 cm pomiędzy 2 a 20 dniem suszenia wynosi 140-196 g.



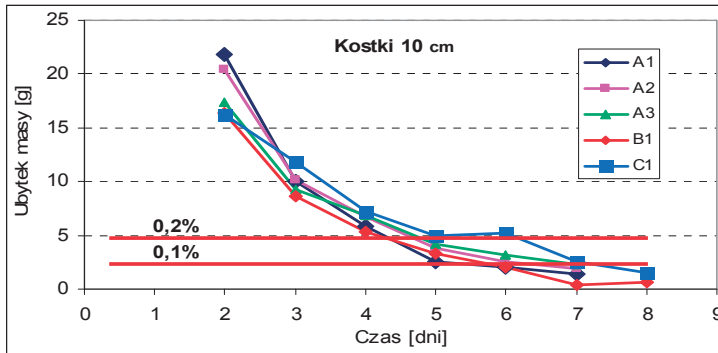
Rys. 1. Przebieg procesu nasycania i suszenia kostek o boku 10 cm



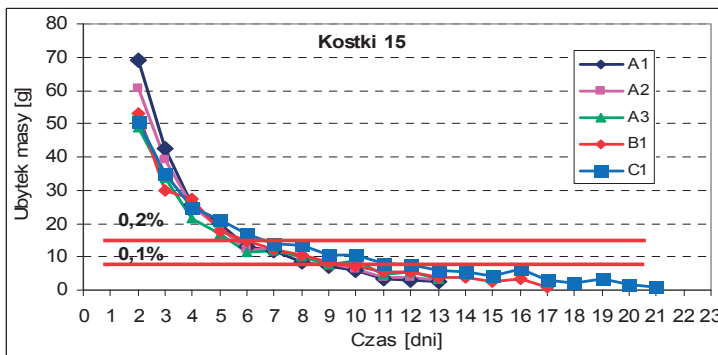
Rys. 2. Przebieg procesu nasycania i suszenia kostek o boku 15 cm

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono ubytki masy kostek 10 cm i 15 cm poddanych procesowi suszenia. Pomiar masy próbek wykonywano codziennie. Na wykresach zaznaczono czas, w którym zmiana masy próbek spełniała warunki normowe. Ponadto kostki suszono do momentu, aż nie wykazywały w ogóle ubytków masy, czyli 7-8 dni w przypadku kostek 10 cm oraz 13-21 dni w przypadku kostek 15 cm.

W tabeli 2 przedstawiono długość czasu nasycania oraz suszenia próbek, aby spełnić kryterium normy PN-88/B-06250, czyli zmiana masy próbki mniejsza niż dokładność wagi = 0,2% oraz kryterium normy PN-EN 13369:2005, czyli zmiana masy próbki poniżej 0,1%.



Rys. 3. Ubytek masy kostek o boku 10 cm poddanych procesowi suszenia



Rys. 4. Ubytek masy kostek o boku 15 cm poddanych procesowi suszenia

Tabela 2. Minimalny czas nasycania i suszenia kostek

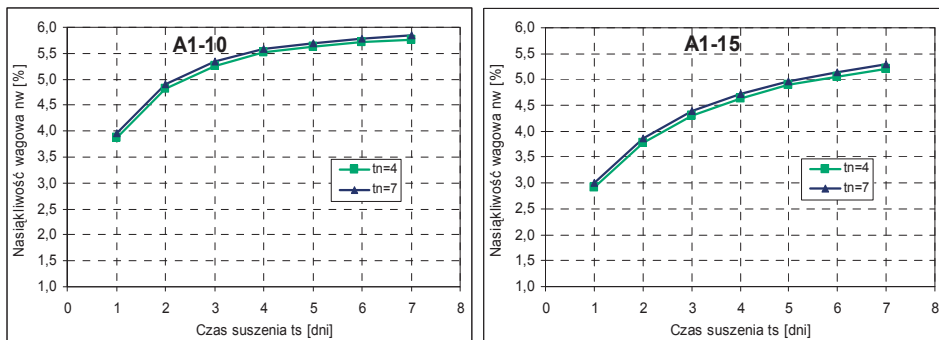
Seria	Czas nasycania [dni] zmiana masy < 0,2 % zmiana masy < 0,1 %		Czas suszenia [dni] zmiana masy < 0,2 %		Czas suszenia [dni] zmiana masy < 0,1 %	
	Kostki 10	Kostki 15	Kostki 10	Kostki 15	Kostki 10	Kostki 15
A1	4	4	5	6	6	8
A2	4	4	5	6	7	9
A3	4	4	5	6	7	9
B1	4	4	5	6	6	9
C1	4	4	6	7	8	11

Na rysunkach 5, 6, 7, przedstawiono wpływ czasu suszenia kostek 10 cm i 15 cm na wyniki oznaczeń nasiakliwości wagowej po czasie nasycania t_n wynoszącym 4 i 7 dni dla betonów o różnym stosunku W/C, wykonanych z cementem CEM I.

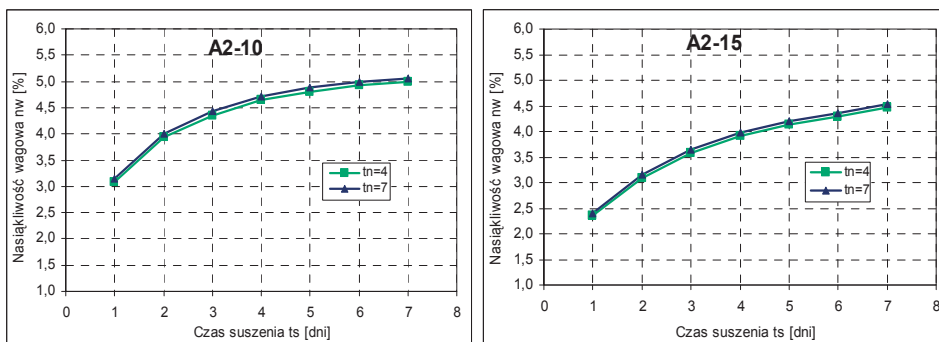
Rysunek 8 pokazuje wpływ czasu suszenia na wyniki nasiakliwości wagowej próbek A1, B1, C1 o stosunku W/C=0,50 wykonanych z trzema różnymi cementami.

Z przeprowadzonych badań wynika, że nasycanie próbek można zakończyć po 4 dniach, zarówno w przypadku kostek 10 cm i 15 cm. Nie zaobserwowano wpływu rodzaju cementu, stosunku W/C ani wielkości próbki na długość czasu nasycania kostek betonowych. Decydujący wpływ na wyniki oznaczeń nasiakliwości wagowej ma czas suszenia próbek, który znacznie przekracza minimalny czas określony w normie na prefabrykaty, czyli 3 dni. Czas suszenia kostek betonowych 10x10x10 cm, aby spełnić kryterium zmiany masy poniżej 0,2% wynosi od 5 do 6 dni a kostek 15x15x15 cm 6-7 dni. W przypadku stosowania kryterium zakończenia badania według normy dla prefabrykatów, czyli zmiana masy poniżej 0,1%, próbki o boku 10 cm należało suszyć 6-8 dni a kostki o boku 15 cm 8-11 dni.

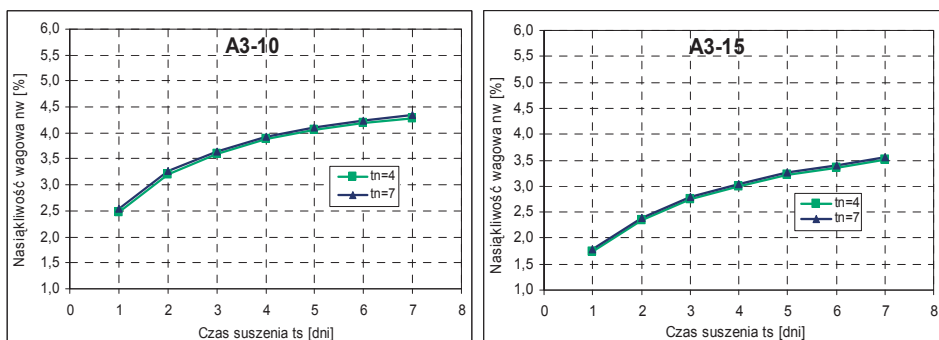
Z badań wynika więc, że na długość czasu suszenia wpływ ma wielkość badanej próbki. Nie zaobserwowano natomiast znaczącego wpływu stosunku W/C na przebieg procesu suszenia próbek. W przypadku betonu C1 wykonanego z cementem CEM III zaobserwowano wydłużenie czasu suszenia kostek o 1-2 dni.



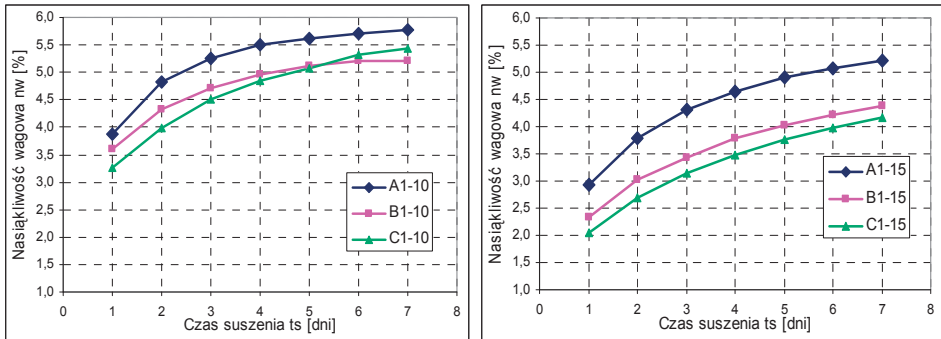
Rys. 5. Wpływ czasu suszenia na wyniki nasiąkliwości wagowej próbek serii A1 przy różnych czasach nasycania



Rys. 6. Wpływ czasu suszenia na wyniki nasiąkliwości wagowej próbek serii A2 przy różnych czasach nasycania



Rys. 7. Wpływ czasu suszenia na wyniki nasiąkliwości wagowej próbek serii A3 przy różnych czasach nasycania



Rys. 8. Wpływ czasu suszenia na wyniki nasiąkliwości wagowej próbek A1, B1, C1 o stosunku W/C=0,50

Na rysunkach 9-13 porównano wyniki oznaczeń nasiąkliwości przy następujących kryteriach zakończenia czasu badania:

- 3 dni nasycania próbek i 3 dni suszenia próbek;
- nasycanie i suszenie próbek do czasu, aż zmiana masy między kolejnymi pomiarami (co 24h) wyniesie $< 0,2\%$;
- nasycanie i suszenie próbek do czasu, aż zmiana masy między kolejnymi pomiarami (co 24h) wyniesie $< 0,1\%$.

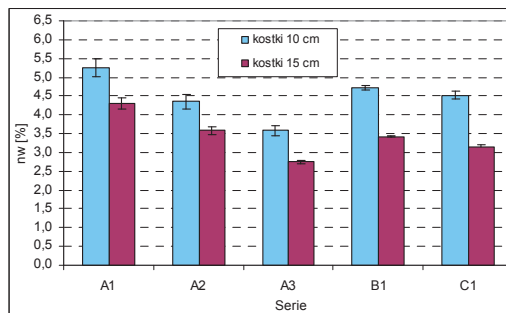
W przypadku wszystkich serii betonów uzyskano niższe nasiąkliwości wagowe na kostkach 15 w porównaniu z wynikami dla kostek 10 cm (rys. 9- 11). Różnice sięgają:

- 18-30% w przypadku kryterium zakończenia badania po 3 dniach nasycania i 3 dniach suszenia;
- 10-22% w przypadku kryterium zakończenia badania $< 0,2\%$ zmiany masy próbek;
- 5-14% w przypadku kryterium zakończenia badania $< 0,1\%$ zmiany masy próbek.

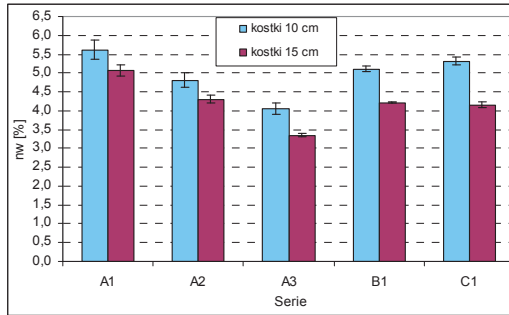
Najmniejsze różnice zaobserwowano dla betonu A1 wykonanego z cementem CEM I o stosunku W/C=0,50, zaś największe dla betonu C1 wykonanego z cementem CEM III.

Wykresy 12 i 13 pokazują, że różnica w wynikach nasiąkliwości w zależności od czasu nasycania i suszenia (przyjętego kryterium) jest znacznie większa dla kostek 15 cm niż w przypadku kostek o boku 10 cm. W przypadku kostek 10 cm wyniki nasiąkliwości przy przyjęciu kryterium zakończenia badania 0,2 % są 2-5% niższe niż w przypadku kryterium 0,1%. Dla kostek 15 cm analogiczna różnica w wynikach nasiąkliwości wynosi 7-12%.

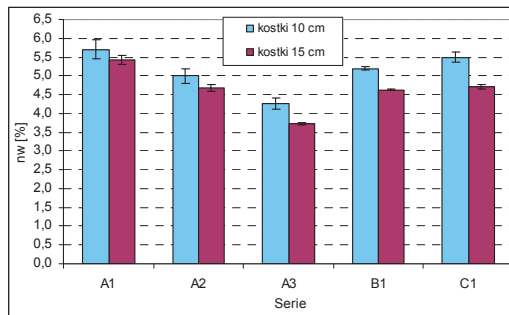
Na rysunkach zaznaczono także odchylenie standardowe oznaczeń nasiąkliwości, które wynosi od 0,04 do 0,28 % w przypadku kostek 10 cm oraz od 0,01 do 0,15 % dla kostek o boku 15 cm.



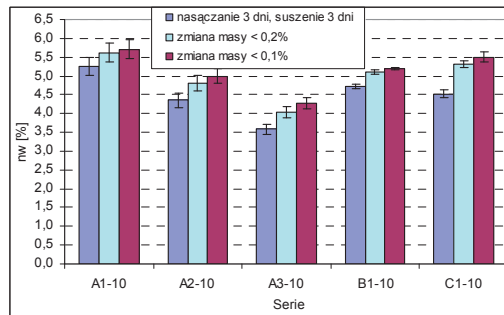
Rys. 9. Porównanie nasiąkliwości wagowej kostek 10 cm i 15 cm po 3 dniach nasycania i 3 dniach suszenia próbek



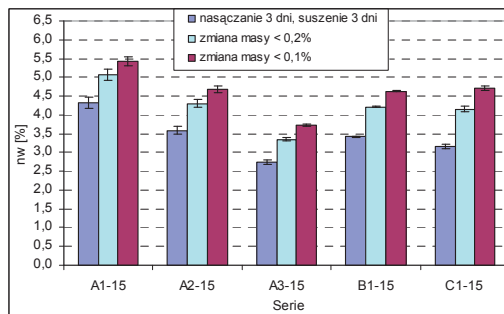
Rys. 10. Porównanie nasiąkliwości wagowej kostek 10 cm i 15 cm przy kryterium zakończenia badania: zmiana masy próbki $< 0,2\%$



Rys. 11. Porównanie nasiąkliwości wagowej kostek 10 cm i 15 cm przy kryterium zakończenia badania: zmiana masy próbki $< 0,1\%$



Rys. 12. Porównanie nasiąkliwości wagowej kostek 10 cm dla trzech kryteriów zakończenia badania



Rys. 13. Porównanie nasiąkliwości wagowej kostek 15 cm dla trzech kryteriów zakończenia badania

5. Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań wynika, że nasycanie próbek można zakończyć po 4 dniach, zarówno w przypadku kostek 10 cm i 15 cm. Nie zaobserwowano wpływu rodzaju cementu, stosunku W/C (dla cementu CEM I) ani wielkości próbki na długość czasu nasycania kostek betonowych.

Decydujący wpływ na wyniki oznaczeń nasiąkliwości wagowej ma czas suszenia próbek, który znacznie przekracza minimalny czas określony w normie na prefabrykaty, czyli 3 dni. Próbki o boku 10 cm należy suszyć od 5 do 8 dni, w zależności od przyjętego kryterium zakończenia badania, zaś kostki 15 cm od 6 do 11 dni. W przypadku betonu wykonanego z cementem CEM III czas suszenia kostek należy wydłużyć o 1-2 dni, co związane jest z drobniejszą strukturą porów kapilarnych.

Dla wszystkich serii betonów uzyskano niższe nasiąkliwości wagowe na kostkach 15 w porównaniu z wynikami dla kostek 10. Różnice wynoszą od 5 do 22% w zależności od przyjętego kryterium zakończenia badania (zmiana masy $< 0,2\%$ lub $< 0,1\%$). Największe różnice zaobserwowano dla próbek z cementem CEM III.

W przypadku kostek o boku 10 cm wyniki nasiąkliwości przy przyjęciu kryterium zakończenia badania $0,2\%$ są 2-5% niższe niż w przypadku kryterium $0,1\%$. Dla kostek 15 cm analogiczna różnica w wynikach nasiąkliwości wynosi 7-12%.

Literatura

- 1 Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie.
- 2 Glinicki M.A. Widmo nasiąkliwości. Budownictwo Technologia Architektura nr 3/2007, s. 50-53.
- 3 Glinicki M.A. Zagadnienia trwałości mostów betonowych w normach europejskich. Międzynarodowa konferencja EKO-MOST 2006, s.115-124.
- 4 Tracz T., Śliwiński J. Wpływ zawartości zaczynu cementowego i wskaźnika w/c na nasiąkliwość betonu. Cement Wapno Beton 3/2012, s.131-137.
- 5 Golda A., Kaszuba S. Nasiąkliwość betonu – wymagania a metody badawcze. Cement Wapno Beton 6/2009, s. 308-313.
- 6 PN-88/B-06250 Beton zwykły.
- 7 PN-EN 13369:2005 Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu.

Results of concrete absorption test related to some particular factors

Jerzy Wawrzeńczyk¹, Agnieszka Molendowska², Adam Kłak³

Department of Building Engineering Technologies and Organization, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology,

*e-mail:*¹ zmsjw@tu.kielce.pl, ² agam@tu.kielce.pl, ³ adamklak@tu.kielce.pl

Abstract: In spite of the fact that common concrete absorption tests are technically simple, the correctness of received results is still very disputable. The lack of unequivocal procedures makes it impossible to compare the results obtained in various laboratories. The paper presents the research results received in 5 series of concrete with three different cements and various w/c ratios. The investigations were conducted on cube specimens with dimensions of 10cm and 15cm, all cubes were soaked and dried in long terms. The object of the research was to identify the effect of specimens dimensions and soaking time on the concrete absorption. Soaking time applied to investigations vastly exceeds the common soaking time described in standards concerning precast concrete elements.

Keywords: absorption, soaking time, drying time.