

BADANIE ZMIENNOŚCI PARAMETRÓW CIEPLNYCH BETONU KOMÓRKOWEGO W PROCESIE JEGO WYSYCHANIA Z ZAWILGOCENIA POWODZIOWEGO

Magdalena BOCHENEK*, Halina GARBALIŃSKA

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, Al. Piastów 50, 70-311 Szczecin
e-mail: Magdalena.Bochenek@zut.edu.pl, Halina.Garbalinska@zut.edu.pl

Streszczenie: W artykule zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych na próbkach z betonu komórkowego o gęstości 400 kg/m^3 . W pierwszej kolejności próbki poddano działaniu ciekłej wody, która wprowadzana była do ich wnętrza siłami podciągania kapilarnego. Następnie przystąpiono do pomiarów podstawowych parametrów cieplnych, prowadzonych na próbkach o różnym poziomie zawilgocenia. Wyznaczano współczynnik przewodzenia ciepła λ oraz objętościową pojemność cieplną c_p . Równocześnie część próbek poddano nasyceniu wodą, aż do momentu ustabilizowania się ich masy. Następnie próbki poddano suszeniu w warunkach laboratoryjnych, rejestrując tempo tego procesu przez okres pół roku. Głównym celem przeprowadzonego eksperymentu było wyznaczenie obydwu parametrów cieplnych dla próbek o różnym stanie zawilgocenia, a następnie odwzorowanie czasowych zmian zachodzących w parametrach cieplnych betonu komórkowego w trakcie jego wysychania z zawilgocenia powodziowego. Zmienne rozkłady wilgotności oraz przewodności i pojemności cieplnej po grubości przegrody odtworzono po upływie 1, 2, 3, 4 oraz 6 miesięcy trwania procesu wysychania.

Słowa kluczowe: beton komórkowy, przewodność cieplna, objętościowa pojemność cieplna, zawilgocenie, wysychanie

1. WPROWADZENIE

Świadomy dobór właściwych materiałów do wznoszenia szczególnie trudnych w eksploatacji przegród zewnętrznych wymaga pełnej znajomości ich właściwości fizycznych i mechanicznych. Właściwości te mogą ulegać silnym wahaniom w zależności od nasilenia działających na nie czynników, np. zawilgocenia. Materiały w stanie suchym wykazują zupełnie inne właściwości, niż w przypadku, gdy poddane zostaną działaniu wody.

Wiedza na temat zachowania się materiału budowlanego w różnych warunkach jest istotna, gdyż jest on narażony na

działanie wilgoci nie tylko w trakcie budowy, ale również w całym okresie użytkowania budynku. Według [1] projektowanie przegród budowlanych powinno uwzględniać wysychanie z zawilgocenia początkowego oraz wyeliminowanie możliwości trwałego ich zawilgocenia w warunkach eksploatacji.

Najważniejszymi jego źródłami są: wilgoć technologiczna, woda znajdująca się w gruncie, opady atmosferyczne, kondensacja powierzchniowa i węglbna, jak również woda pochodząca z awarii instalacji wodociągowej oraz woda powodziowa [2, 3]. Ta ostatnia, najbardziej groźna, może dokonać olbrzymich zniszczeń. Badania stopnia zawilgocenia budynków bezpośrednio po powodzi wykazały, że wilgotność betonu komórkowego może osiągać poziom 50–60% [4]. Badaniami parametrów cieplnych betonu komórkowego w stanie zawilgocenia zajmowano się np. w pracach [5, 6, 7].

W niniejszym artykule opisano najpierw eksperymenty pozwalające oszacować wpływ zawilgocenia na podstawowe parametry cieplne (tj. przewodność cieplną i objętościową pojemność cieplną) betonu komórkowego o gęstości 400 kg/m^3 , a w dalszej kolejności eksperymenty pozwalające dokonać oceny zmienności przewodności cieplnej oraz pojemności cieplnej tego materiału w procesie jego wysychania z zawilgocenia powodziowego. Obszerny opis całości badań i uzyskanych w nich wyników podano w pracy [8]. Prezentowane w niniejszym artykule zestawienia są rozwinięciem wstępnych wyników zamieszczonych w [9]. Odnosiły się one wówczas jedynie do wybranych próbek (tu prezentowane są wyniki wypadkowe) i obejmowały jedynie pomiary zmienności współczynnika λ w okresie pierwszych trzech miesięcy wysychania.

* Autor korespondencyjny, e-mail: Magdalena.Bochenek@zut.edu.pl

2. BADANIE PARAMETRÓW CIEPLNYCH

Z bloczków betonu komórkowego wycięto po trzy próbki prostopadłościennie o wymiarach 12x12x24 cm. Po zinventaryzowaniu próbek przeprowadzono symulację sytuacji, w której przegroda wykonana z betonu komórkowego zostaje narażona na działanie ciekłej wody, wnikażącej w głąb danego materiału w wyniku działania sił kapilarnych. Do nasycenia próbek zastosowano metodę grawimetryczną. Próbki prostopadłościennie zostały wprowadzone w kontakt z wodą za pośrednictwem jednej z powierzchni czołowych.

Po upływie miesięcznego okresu trwania procesu podciągania kapilarnego rozpoczęto badania, pozwalające ustalić zależność parametrów cieplnych od zawilgocenia. Prostopadłościanny pocięto po wysokości na 6 próbek o jednakowej grubości, wynoszącej około 4 cm. Na tak pociętych próbkach przeprowadzono metodą niestacjonarną badania parametrów cieplnych. Zastosowano aparat pomiarowy ISOMET 2104.

3. ZMIENNOŚĆ PARAMETRÓW CIEPLNYCH W PROCESIE WYSYCHANIA

W kolejnym eksperymencie niez izolowane próbki o wymiarach 12x12x24 cm były wstępnie nasycające w procesie podciągania kapilarnego. Po upływie miesiąca próbki zanurzono całkowicie w wodzie i przechowywano w kąpielii aż do osiągnięcia stanu pełnego ich nasycenia. Następnie próbki te docięto na wymiar 10x10x24 cm i przecięto na dwie połowy (każda o wymiarze 10x10x12 cm).

Każdy bloczek zaizolowano na pięciu powierzchniach oraz dodatkowo owinięto folią – tak, aby proces wysychania odbywał się tylko przez jedną powierzchnię (10x10 cm).

Prowadzono systematyczne pomiary zmieniającej się masy wysychających próbek, a po upływie 30 dni wytypowano 4 próbki, które pocięto po długości na 10 plastrów, każdy o grubości h około 9÷10 mm.

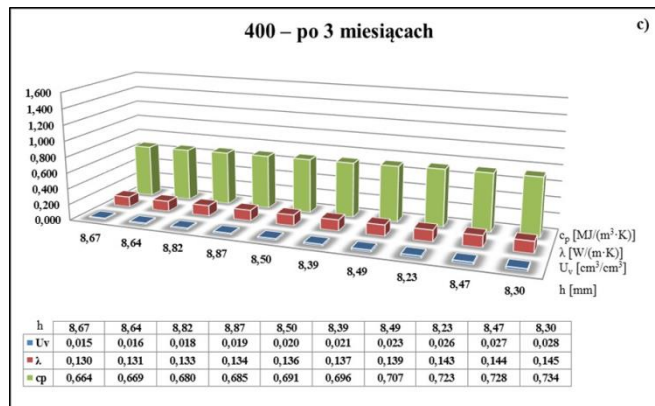
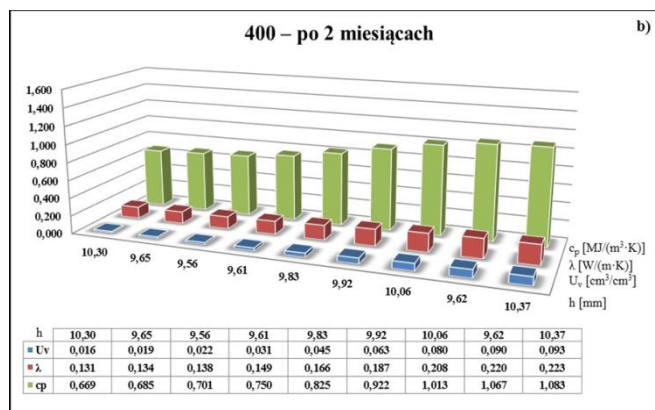
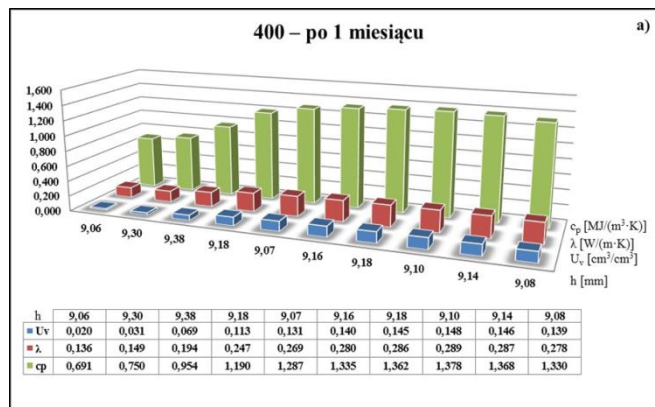
Po zinventaryzowaniu wszystkie plastry zostały umieszczone w suszarce w temperaturze 105°C i wysuszone do stałej masy. Umożliwiło to wyznaczenie wilgotności objętościowej każdego z plastrów.

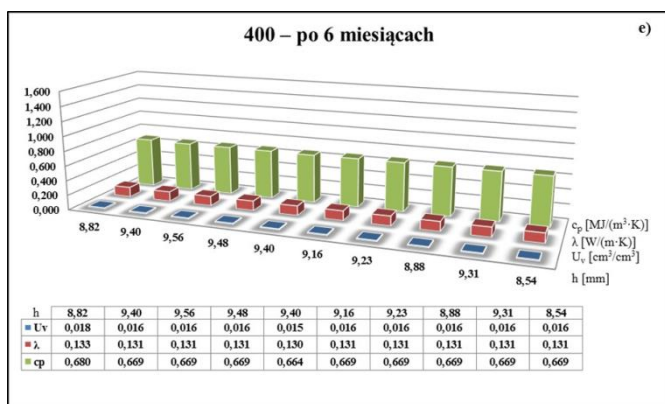
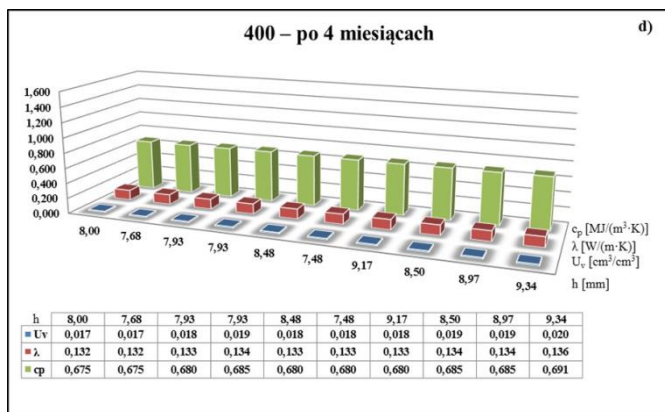
Po 60 dniach wytypowano kolejne 4 próbki prostopadłościennie i tak jak poprzednio pocięto je na 10 jednakowych plastrów, które następnie wysuszone do stałej masy. Po upływie 90 dni pocięto na plastry kolejne cztery bloczki. Po 120 dniach pocięto dwa bloczki na 10 jednakowych plastrów, a kolejne dwa bloczki pocięto po 180 dniach.

Analizie poddano przebieg zmian zawilgocenia w obrębie wysychającego elementu i zmian parametrów cieplnych w procesie jednokierunkowego wysychania badanego betonu komórkowego.

Na rysunku 1 zawarto zestawienia średnich wartości objętościowej zawartości wilgoci U_v , przewodności cieplnej λ oraz

objętościowej pojemności cieplnej c_p w trakcie wysychania betonu komórkowego klasy 400 kg/m³ – w odniesieniu do dziesięciu składowych plastrów o uśrednionych grubościach h . Kolejne zestawienia a) ÷ e) dotyczą poszczególnych okresów badawczych, obejmując łącznie okres ½ roku.





Rys. 1. Średnie wartości zawartości wilgoci U_v , przewodności cieplnej λ , objętościowej pojemności cieplnej c_p betonu komórkowego klasy 400 kg/m³ w trakcie wysychania trwającego: a) 1 miesiąc, b) 2 miesiące, c) 3 miesiące, d) 4 miesiące, e) 6 miesięcy.

Fig. 1. The mean moisture content of U_v , thermal conductivity λ , and heat capacity c_p of aerated concrete of density class 400 kg/m³ during the following drying periods: a) 1 month, b) 2 months c) 3 months, d) 4 months, e) 6 months

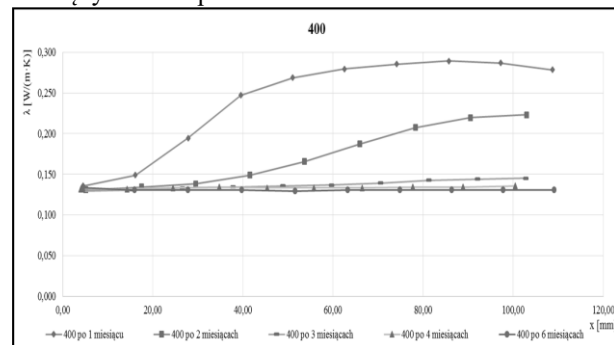
Dane zestawione na rysunkach 1a) ÷ 1e) każdorazowo odnoszą się (patrząc od lewej do prawej) do kolejnych dziesięciu plastrów pobieranych ze stref coraz bardziej oddalonych od wysychającej powierzchni elementu.

4. ANALIZY I WNIOSKI

Przeprowadzony eksperyment pozwolił ocenić skalę zmian parametrów cieplnych, wywołanych po pierwsze działaniem ciekłej wody rozprzestrzeniającej się w obrębie przegrody, a po drugie występujących w trakcie procesu wysychania.

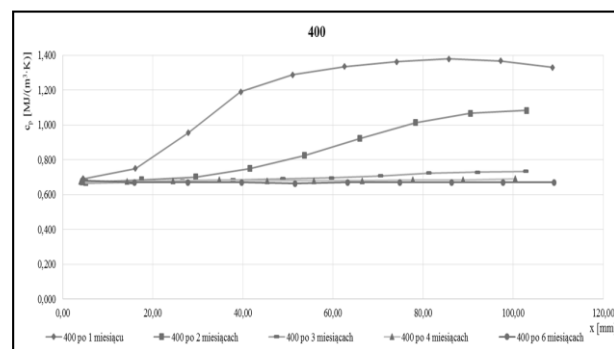
Aby lepiej odwzorować dane zebrane w trakcie ½ rocznego eksperymentu opracowano poniższe zestawienia zbiorcze, przy czym rys. 2 odnosi się do zmian przewodności cieplnej λ , a rys. 3 objętościowej pojemności cieplnej c_p . W każdym przypadku podano rozkłady zmienności danego parametru po

grubości wysychającej przegrody po upływie 1, 2, 3, 4 oraz 6 miesięcy trwania procesu.



Rys. 2. Średnie wartości przewodności cieplnej λ w procesie wysychania

Fig. 2. The mean thermal conductivity λ during drying process



Rys. 3. Średnie wartości objętościowej pojemności cieplnej c_p w procesie wysychania

Fig. 3. The mean heat capacity c_p during drying process

Bazując na uśrednionych danych można stwierdzić, że po 1 miesiącu wartości przewodności cieplnej λ oraz objętościowej pojemności cieplnej c_p , przypisane do skrajnych stref wysychającego elementu różnią się dwukrotnie. Po dwóch miesiącach różnice między wartościami badanych parametrów cieplnych we wnętrzu wysychającego elementu i w jego strefie brzegowej sięgają 70% w przypadku współczynnika λ oraz 60% w przypadku parametru c_p . Po upływie 3 miesięcy maksymalna skala zróżnicowania obydwu parametrów to około 10%. Kolejne przebiegi dotyczące 4 oraz 6 miesięcy dowodzą, że różnice w parametrach cieplnych oscylują na poziomie błędów pomiarowych.

Zatem w odniesieniu do betonu klasy 400 można stwierdzić, że zrealizowane badania dowiodły występowania silnego zróżnicowania w rozkładzie badanych wielkości fizycznych (λ , c_p oraz U_v) zarówno po 1-miesięcznym, jak i 2-miesięcznym okresie wysychania. Po trwającym 3 miesiące procesie następuje powolny powrót do stanu zbliżonego do wyjściowego pod względem wilgotnościowym oraz cieplnym. Całkowita stabilizacja wilgoci, jak również wartości

parametrów λ oraz c_p , nastąpiła w przypadku betonu klasy 400 po 4-miesięcznym okresie wysychania.

Powyższe relacje przekładają się w specyficzny sposób na walory energetyczne przegrody, w różnym stopniu zawilgoconej.

Proste obliczenia pozwalają stwierdzić, że sucha ściana wykonana z badanego betonu komórkowego 400 kg/m³ o współczynniku $\lambda = 0,11$ [W/(m·K)], spełni aktualne wymagania [10] dotyczące granicznej wartości współczynnika przenikania ciepła $U = 0,23$ [W/(m²·K)] – przy grubości wynoszącej 46 cm. Ta sama przegroda w stanie nasycenia wodą, tj. przy współczynniku λ rzędu 0,30 [W/(m·K)], będzie cechowała się współczynnikiem $U = 0,59$ [W/(m²·K)], czyli wykaże ponad 2,5-krotne przekroczenie dopuszczalnej wartości U_{max} .

Aby przegroda z betonu komórkowego klasy 400 kg/m³, będącego w stanie powietrzno-suchym, spełniła wymagania WT [10] musiałaby mieć grubość minimum 54 cm – przy średnim $\lambda \approx 0,13$ [W/(m·K)].

RESEARCH ON THERMAL PARAMETERS VARIABILITY OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE DURING THE PROCESS OF POST FLOOD DRYING

Summary: This paper presents the results of experimental studies which were conducted on the samples of aerated concrete of density class 400 kg/m³. First, the samples were exposed to a strong effect of liquid water which was introduced into their interior by capillary forces. Next, basic thermal parameters were measured and some tests were carried out on samples of various degree of moisture. The coefficient of thermal conductivity λ and the heat capacity c_p were determined. At the same time, a part of the samples was saturated with water until they stabilized. Next, the samples were dried under laboratory conditions, recording the rate of this process for a period of half a year. The main goal of the experiment was to determine both thermal parameters for the samples of various degree of moisture and then to map the temporal changes in the thermal parameters of the aerated concrete during the drying out of post flood moisture. The variables of moisture distribution, thermal conductivity and heat capacity across the width of wall were reconstructed after 1, 2, 3, 4 and finally 6 months of drying process.

Literatura

- [1] Grabarczyk S. *Fizyka budowli. Komputerowe wspomaganie projektowania budownictwa energooszczędnego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005
- [2] Pogorzelski J.A., Bobociński A. *Problemy z oceną stanu wilgotnościowego przegród budowlanych*. Konferencja Naukowo-Techniczna: Energooszczędne Budownictwo Mieszkaniowe, Mrągowo, 2001, s. 79-87
- [3] Trochonowicz M. *Wilgoć w obiektach budowlanych. Problematyka badań wilgotnościowych*. Budownictwo i Architektura, 7, 2010, s. 131-144

[4] Adamowski J. *Problemy zawilgoceń oraz osuszania budynków po powodzi*. Przegląd Komunalny, 7, 226, 2010, s. 1-9

[5] Drochytka R., Zach J., Hroudova J.: *Non-destructive testing of influence of moisture on properties of autoclaved aerated concrete*. E-Journal of Nondestructive Testing, 2011

[6] Gawin D., Košny J., Desjarlais A.: *Effect of moisture on thermal performance and energy efficiency of buildings with lightweight concrete walls*. Proceedings ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 3, 2000, s. 3149–3160

[7] Jerman M., Keppert M., Výborný J., Černý R.: *Hygric, thermal and durability properties of autoclaved aerated concrete*. Construction and Building Materials, 41, 2013, s. 352–359

[8] Bochenek M. *Ocena zmienności parametrów higrotermicznych betonu komórkowego o zróżnicowanej gęstości*. Praca doktorska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin 2016

[9] Garbalińska H., Bochenek M. *Popowodziowe wysychanie przegród wykonanych z betonu komórkowego i zachodzące zmiany przewodności cieplnej*. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury JCEEA, t. XXXI, z. 61 (3/II/14), lipiec-wrzesień 2014, s. 155-162

[10] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2004 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. Nr 75, poz. 690 (z późniejszymi zmianami)