

Halina GARBALIŃSKA¹
Magdalena BOCHENEK²

POPOWODZIOWE WYSYCHANIE PRZEGRÓD WYKONANYCH Z BETONU KOMÓRKOWEGO I ZACHODZĄCE ZMIANY PRZEWODNOŚCI CIEPLNEJ

W niniejszym referacie przedstawiono wyniki dwóch kilkietapowych eksperymentów przeprowadzonych na próbkach z betonu komórkowego o klasie gęstości 400 kg/m³. W obu eksperymentach próbki najpierw poddano intensywnemu działaniu ciekłej wody, następnie w pierwszym pomierzono parametry cieplne, zaś w drugim suszono próbki w warunkach laboratoryjnych, tj. w temperaturze ok. 20⁰C i wilgotności względnej ok. 30%. Głównym celem badań było wyznaczenie współczynnika przewodności cieplnej λ dla próbek będących w różnym stanie zawilgocenia oraz określenie funkcji opisującej zależność λ od stopnia zawilgocenia materiału w . Następnie przy użyciu funkcji $\lambda = f(w)$ odwzorowano zmiany zachodzące w parametrach cieplnych betonu komórkowego wysychającego z zawilgocenia powodziowego. Zmienne rozkłady wilgotności oraz przewodności cieplnej po grubości przegrody odtworzono w trzech punktach czasowych – po upływie 1, 2, a następnie 3 miesięcy trwania procesu wysychania. Stwierdzono silne zróżnicowanie w rozkładzie badanych wielkości fizycznych (λ oraz w) po miesięcznym, ale także i dwumiesięcznym okresie wysychania oraz powrót do stanu akceptowalnego pod względem wilgotnościowym i cieplnym po 3 miesiącach wysychania. Uzyskane rezultaty świadczą o bezdyskusyjnej konieczności uwzględniania – przy sporządzaniu bilansów energetycznych budynków – sytuacji związanych ze stanem wilgotnościowym przegród, gdyż procesy wilgotnościowe mogą bardzo silnie pogorszyć ich parametry cieplne na długi okres czasu, jako że wysychanie trwa miesiącami nawet przy sprzyjających warunkach zewnętrznych.

Słowa kluczowe: beton komórkowy, przepływ kapilarny, przewodność cieplna, wilgotność

¹ Autor do korespondencji: dr hab. inż. prof. nadzw. ZUT Halina Garbalińska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, Al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, tel. 91 449 48 29, e-mail: Halina.Garbalińska@zut.edu.pl

² mgr inż. Magdalena Bochenek, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, Al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, tel. 91 449 45 14, e-mail: Magdalena.Bochenek@zut.edu.pl

1. Wstęp

Obiekty budowlane są narażone na działanie wilgoci nie tylko w trakcie budowy, ale również w całym okresie użytkowania budynku. Najważniejszymi źródłami wilgoci są: woda znajdująca się w gruncie, wilgoć technologiczna, opady atmosferyczne, woda pochodząca z awarii instalacji wodociągowej, woda popowodziowa [11]. Największe szkody może wyrządzić woda popowodziowa. Aby umieć odpowiednio zareagować w sytuacji jej wystąpienia, należy dysponować wiedzą nt. zachowania się materiałów poddanych tak specyficznym działaniom środowiskowym. Przy czym istotne jest nie tylko zdefiniowanie zmienności parametrów materiałowych w wyniku zawilgocenia, ale również tempo powrotu do stanu wyjściowego, związane z kinetyką procesu wysychania przegród.

Woda, zgromadzona w przegrodzie, stwarza niekorzystny klimat w pomieszczeniach i może doprowadzić do rozwoju pleśni i grzybów. Wilgoć w materiale powoduje jego destrukcję oraz korozję biologiczną i chemiczną [9,10].

Woda, wnikająca w materiał, wypełnia jego pory i tym samym usuwa z nich powietrze. Przewodność cieplna dla wody w temperaturze 20°C wynosi ok. 0,58 W/(m·K), zaś dla nieruchomego powietrza w tej samej temperaturze ok. 0,025 W/(m·K). Zatem jest ok. dwudziestokrotnie wyższa [3].

Właściwości cieplne porowatych materiałów budowlanych mogą ulegać silnym wahaniom w zależności od nasilenia działających na nie różnych czynników, np. zawilgocenia. Wpływ różnych czynników badano m.in. w pracach [1,2,5,6,7,8].

Proces wysychania zawilgoconych przegród jest długotrwały, w rezultacie czego również powrót parametrów cieplnych do stanu pierwotnego jest rozciągnięty w czasie. Według [8] czas wysychania zawilgoconych elementów zwykle nie przekracza 3 lat i zależy od konstrukcji przegrody i warunków otoczenia. W niniejszym referacie dokonano symulacji zachowania się przegród jednowarstwowych wykonanych z betonu komórkowego, poddanych najpierw intensywnemu działaniu ciekłej wody, a później długotrwałemu suszeniu. Testowano jak zmienia się stan wilgotnościowy po grubości przegrody oraz związana z nim bezpośrednio przewodność cieplna, decydująca o termoizolacyjności przegrody.

2. Eksperyment

2.1. Parametry cieplne przegród zawilgoconych kapilarnie

W pierwszym eksperymencie przeprowadzono symulacje sytuacji, w której przegrody wykonane z betonu komórkowego o klasie gęstości 400 kg/m³ zostają narażone na działanie ciekłej wody, wnikającej w głąb danego materiału w wyniku działania sił kapilarnych. Po 1-miesięcznym okresie symulacyjnym, w trakcie którego woda rozprzestrzeniała się po grubości przegrody, przepro-

wadzono badania testujące. Stanowiły one zasadniczy etap tej części eksperymentu, w ramach którego przebadano, jak woda rozprzestrzeniająca się po grubości przegrody zmieniała rozkład jej parametrów cieplnych.

Eksperyment przeprowadzono na prostopadłościennych próbkach z betonu komórkowego o początkowych wymiarach 12x12x24 cm. Próbki były pobrane z bloczka w takim kierunku, w jakim wilgoć migrowałaby przez nie po grubości przegrody. Pobocznicze próbki zaizolowano, zaś powierzchnie czołowe:

- dolna – pozostawała w ciągłym kontakcie z wodą,
- górna – wyprowadzała powietrze wypychane z porów materiału przez wnikałą wodę.

Badanie rozpoczęto od wyznaczenia masy początkowej próbek oraz ich wymiarów geometrycznych i wyjściowej gęstości objętościowej. Następnie próbki wstawiono do wcześniej przygotowanych kuwet z wodą destylowaną, gdzie pozostawiono je na okres jednego miesiąca. Przez cały ten czas utrzymywano jednakową głębokość zanurzenia próbek (ok. 2 mm).

W drugiej części tego eksperymentu, po upływie miesiąca, wytypowano trzy próbki prostopadłościenne 12x12x24 cm i pocięto je na sześć próbek o jednakowej grubości (ok 4 cm).

Na tak przygotowanych próbkach przeprowadzono metodą niestacjonarną badania współczynnika przewodzenia ciepła λ . Do pomiarów wykorzystano przenośny aparat pomiarowy ISOMET 2104. W każdym punkcie pomiarowym badanie przeprowadzano dwukrotnie.

Po zakończeniu pomiarów λ umieszczono wszystkie próbki w suszarce w temperaturze 105⁰C i po wysuszeniu do stałej masy ponownie zmierzono współczynnik przewodzenia ciepła – tym razem dla próbek o zerowej zawartości wilgoci.



Rys. 1. Pomiaru parametrów cieplnych próbek składowych

Fig. 1. Measurements of thermal parameters of component samples

2.2. Popowodziowe wysychanie przegród i zachodzące zmiany w ich parametrach cieplnych

Drugi eksperyment rozpoczęto tak samo jak pierwszy – od poddania próbek z betonu komórkowego o klasie gęstości 400 kg/m³ badaniu podciągania

kapilarnego, które trwało przez okres jednego miesiąca. Tym razem próbek nie izolowano na pobocznicach. Pierwsze kroki, tj. przygotowanie kuwet z wodą destylowaną, ustalenie masy wyjściowej próbek, wyglądały tak samo jak w eksperymencie pierwszym opisanym w p. 2.1.

Po upływie miesiąca próbki zanurzone w wodzie, aż do całkowitego nasycenia. Próbki nasycone wodą najpierw docięto na wymiar 10x10x24 cm, a następnie przecięto na 2 połowy (każda o wymiarze 10x10x12 cm).

Każdy bloczek zaizolowano z pięciu stron oraz dodatkowo owinięto folią, tak aby wysychaniu podlegała tylko jedna powierzchnia (10x10 cm).



Rys. 2. Jednokierunkowy proces wysychania próbek prostopadłościennych 10x10x12 cm

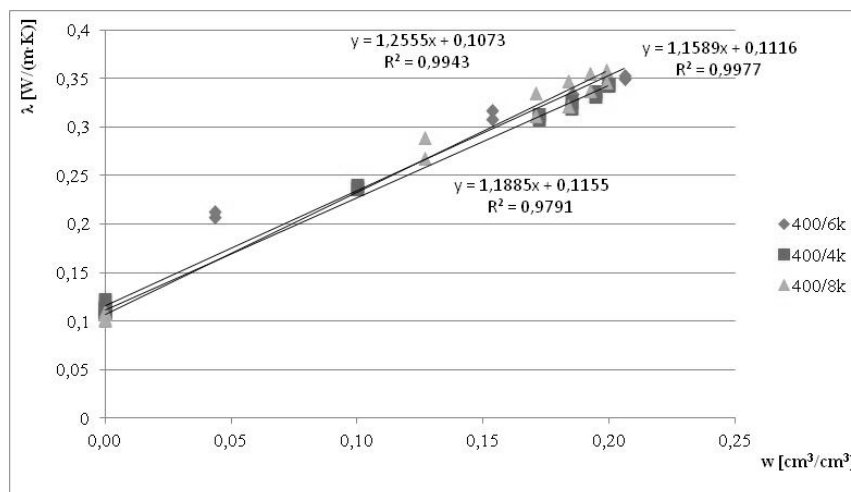
Fig. 2. One-dimensional process of drying of cuboid samples 10x10x12cm

Systematycznie mierzono masę wysychających próbek, a po upływie 30 dni wytypowano 4 próbki, które pocięto po długości na 10 jednakowych plastrów. Po zinventaryzowaniu wszystkie plastry umieszczono w suszarce w temperaturze 105°C i suszono je aż do uzyskania stałej masy. Następnie obliczono wilgotność objętościową każdego z plastrów. Po 60 dniach wytypowano kolejne 4 próbki i tak jak poprzednio pocięto je na 10 jednakowych plastrów i wysuszono do stałej masy. Następnie po 90 dniach pocięto na plastry kolejne cztery bloczki.

2.3. Wyniki przeprowadzonych badań

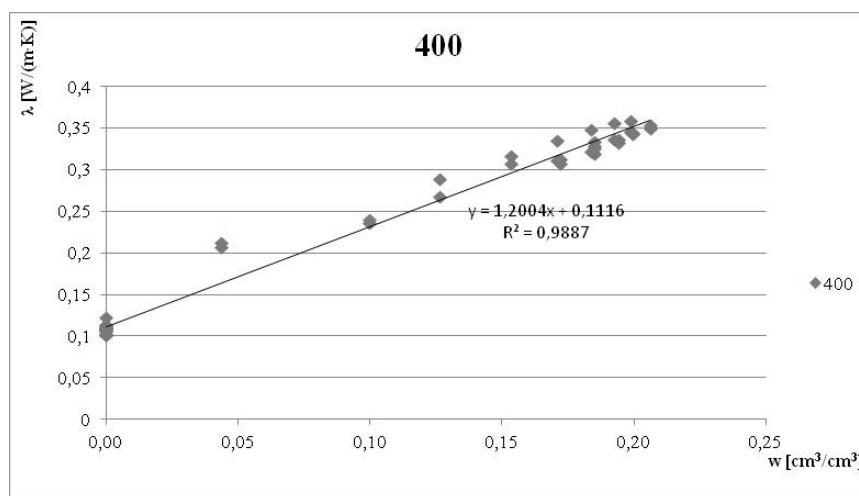
Badania przeprowadzone w pierwszym eksperymencie pozwoliły na ocenę wpływu zawilgocenia kapilarnego na przewodność cieplną materiału. Wyniki badań uzyskane dla poszczególnych próbek przedstawiono na rysunku 3, zaś średnią dla wszystkich trzech próbek na rysunku 4.

Na podstawie uzyskanych danych wyznaczono równania linii prostych opisujących zależność przewodności cieplnej od zawilgocenia dla pojedynczych próbek oraz dla całkowitego zbioru wyników składowych.



Rys. 3. Wykresy zależności λ od wilgotności w uzyskane dla 3 próbek 12x12x24 cm pociętych na 6 próbek składowych o gr. 4 cm

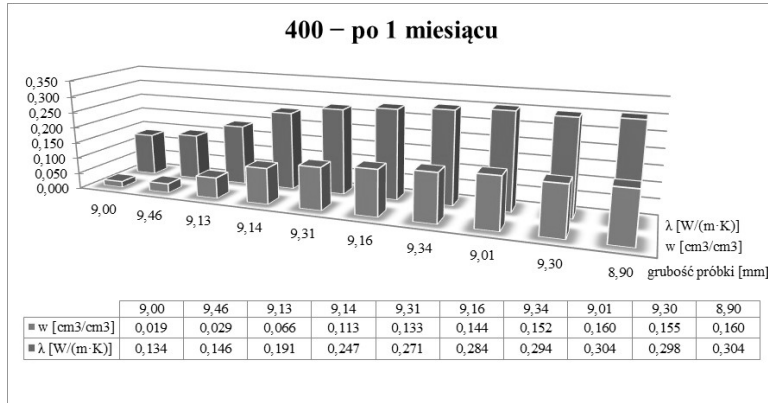
Fig. 3. Graphs illustrating dependence of λ on moisture w , achieved for the 3 samples 12x12x24 cm, cut into 6 component samples, 4cm wide each



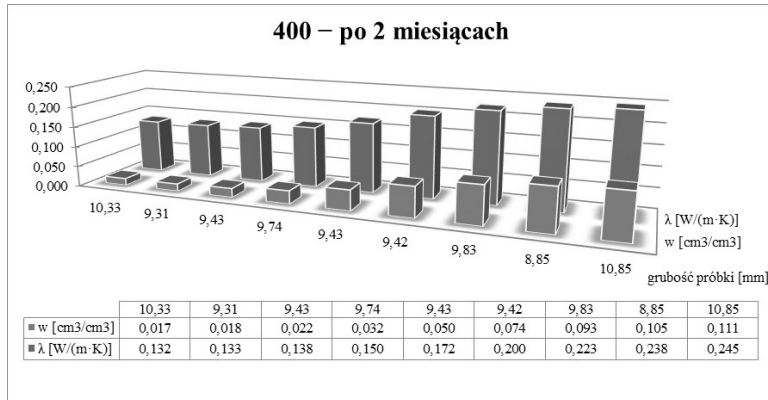
Rys. 4. Wykres zależności λ od wilgotności w uzyskany na bazie wszystkich wyników zestawionych na rys. 3.

Fig.4. Graph illustrating dependence of λ on moisture w achieved on the basis of compilation of all results gathered in Fig. 3

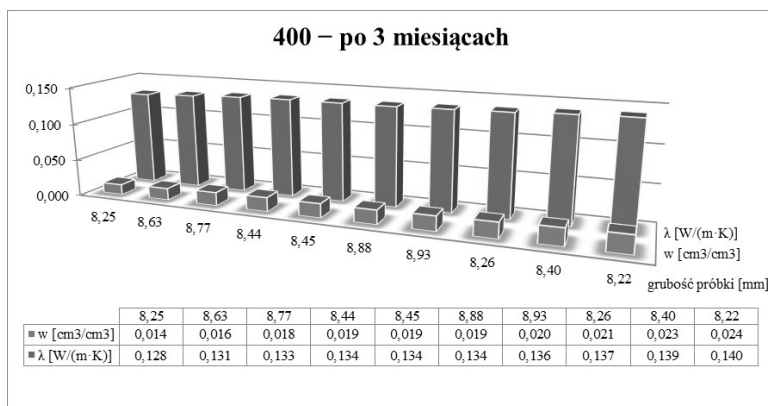
Na podstawie uzyskanej zależności wypadkowej, pokazanej na rysunku 4, obliczono współczynnik przewodzenia ciepła dla plastrów pociętych po 1, 2 i 3 miesięcznym procesie wysychania. Uzyskane wartości przedstawiono na rysunkach 5, 6 i 7.



Rys. 5. Zawartość wilgoci w i przewodność cieplna λ po 1-miesięcznym wysychaniu
 Fig. 5. Moisture content w and thermal conductivity λ after 1 month period of drying



Rys. 6. Zawartość wilgoci w i przewodność cieplna λ po 2-miesięcznym wysychaniu
 Fig. 6. Moisture content w and thermal conductivity λ after 2 month period of drying



Rys. 7. Zawartość wilgoci w i przewodność cieplna λ po 3-miesięcznym wysychaniu
 Fig. 7. Moisture content w and thermal conductivity λ after 3 month period of drying

3. Podsumowanie

Wyniki uzyskane w przeprowadzonych badaniach pozwalają ocenić skalę zmian parametrów cieplnych, wywołanych po pierwsze działaniem ciekłej wody rozprzestrzeniającej się w obrębie przegrody, a po drugie zachodzących w trakcie postępującego procesu wysychania. Proste obliczenia pozwalają stwierdzić, że sucha ściana wykonana z badanego betonu komórkowego 400 kg/cm³ o współczynniku $\lambda = 0,11$ W/(m·K), spełni aktualne wymagania [4] dotyczące wartości granicznej współczynnika przenikania ciepła $U = 0,25$ W/(m²·K) – przy grubości minimalnej wynoszącej 42 cm. Ta sama przegroda w stanie nasycenia wodą, tj. przy współczynniku λ rzędu 0,30 W/(m·K), będzie cechowała się współczynnikiem $U = 0,64$ W/(m²·K), czyli wykaże 2,5-krotne przekroczenie dopuszczalnej wartości $U_{C(max)}$.

Aby przegrody z wysychającego betonu komórkowego 400 kg/cm³, o parametrach zaprezentowanych na rysunkach 5, 6 i 7, spełniły wymagania [4] musiałyby mieć odpowiednio grubość: ok. 95 cm – przy średnim $\lambda \approx 0,247$ W/(m·K), ok. 70 cm – przy średnim $\lambda \approx 0,181$ W/(m·K) oraz około 52 cm – przy średnim $\lambda \approx 0,135$ W/(m·K).

Zrealizowane badania dowodzą silnego zróżnicowania w rozkładzie badanych wielkości fizycznych (λ oraz w) zarówno po miesięcznym, jak i dwumiesięcznym okresie wysychania oraz powrót do stanu zbliżonego do wyjściowego pod względem wilgotnościowym i cieplnym po upływie przynajmniej 3-miesięcznego okresu wysychania.

Literatura

- [1] Garbalińska H., Siwińska A.: Badania wpływu zawilgocenia materiałów ściennych na ich współczynnik przewodzenia ciepła, *Inżynieria i Budownictwo*, nr 11/2011, s. 611-614.
- [2] Garbalińska H., Siwińska A.: Warunki pomiaru a wartość współczynnika przewodzenia ciepła, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, Kwartalnik – Zeszyt 57, nr 4/2010, Rzeszów 2010*, s. 161-166.
- [3] Ickiewicz I., Sarosiek W., Ickiewicz J.: *Fizyka budowli. Wybrane zagadnienia, Dział Wydawnictw i Poligrafii Politechniki Białostockiej, Białystok 2000*.
- [4] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. *Dz.U. 2013 poz. 926*.
- [5] Siwińska A.: Związek między izotermą sorpcji a współczynnikiem przewodzenia ciepła porowatego materiału budowlanego, praca doktorska, Politechnika Szczecińska, Szczecin, 2008.
- [6] Siwińska A., Garbalińska H.: Thermal conductivity coefficient of cement-based mortars as air relative humidity function, *Heat and Mass Transfer 47, Springer-Verlag 9/2011*, s. 1077-1087.

- [7] Siwińska A., Garbalińska H.: Zależność współczynnika przewodzenia ciepła betonu komórkowego od warunków wilgotnościowych, *Inżynieria i Budownictwo*, nr 5/2009, s. 283-285.
- [8] Siwińska A., Garbalińska H.: Wpływ zawilgocenia na przewodność cieplną materiałów budowlanych. *Polsko-Niemieckie Seminarium Naukowe Katedry Dróg, Mostów i Materiałów Budowlanych oraz Hochschule Neubrandenburg, Szczecin 2006*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, s. 121-129.
- [9] Suchorab Z., Barnat-Hunek D.: Analiza przewodności cieplnej przegród z betonu komórkowego w zależności od zmian wilgotności, *Budownictwo i Architektura* 8 (2011), s. 107-116.
- [10] Trochonowicz M., Witek B., Chwiej M.: Analiza wpływu wilgotności i temperatury powietrza na wartość współczynnika przewodności cieplnej λ materiałów termoizolacyjnych stosowanych wewnątrz pomieszczeń, *Budownictwo i Architektura* 12(4) (2013), s. 165-176.
- [11] Trochonowicz M.: Wilgoć w obiektach budowlanych. Problematyka badań wilgotnościowych, *Budownictwo i Architektura* 7 (2010), s. 131-144.

POST FLOOD DRYING OF PARTITION WALLS MADE OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE AND THE CHANGES IN THERMAL CONDUCTIVITY

Summary

This paper presents the results of two multistage experiments which were conducted on the samples of aerated concrete of density class 400 kg/m³. In the both experiments the samples were initially exposed to a strong effect of liquid water. Next the first experiment, thermal parameters were measured and in the other, the samples were dried in laboratory conditions, i.e. at the temperature of approximately 20°C and at the relative humidity of approximately 30%. The main goal of the study was to determine the coefficient of thermal conductivity λ for the samples of various degree of moisture, and to establish a function that characterises the dependence of λ on a degree of the material moisture w . Next, the changes taking place in the thermal parameters of the aerated concrete that was drying out of post flood moisture were recreated by use of a function $\lambda = f(w)$. The variables of moisture distribution and thermal conductivity across the width of wall were reconstructed at three time points – after 1, 2 and finally 3 months of drying process. A strong diversity of the tested physical quantities' distribution (λ and w) was recognised after a month, and also after two months of drying period, as well as a return to acceptable moisture and thermal condition was noted after the third month of drying process. The achieved results confirm the unquestionable necessity of considering the circumstances related to moisture condition of the partitions during preparation of building's energy rate balance sheets, as the capillary processes can deteriorate dramatically thermal parameters of the partitions for a long period of time due to the fact that drying process lasts for several months even at favourable external conditions.

Keywords: autoclaved aerated concrete, capillary transport, thermal conductivity, moisture

DOI:10.7862/rb.2014.83

Przesłano do redakcji: 01.12.2014 r.

Przyjęto do druku: 18.12.2014 r.