Oryginalny artykuł naukowy

dr inż. Katarzyna Łaskawiec[1)*)]
mgr inż. Ewelina Górecka[1)]
mgr inż. Lech Misiewicz[2)]

Kształtowanie przewodności cieplnej betonu komórkowego w zależności od stopnia zawilgocenia

Formation of the thermal conductivity of autoclaved aerated concrete, depending on the degree of moisture

DOI: 10.15199/33.2016.03.11

Streszczenie. Przewodność cieplna λ autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) ma bardzo duże znaczenie, ponieważ jest to jeden z podstawowych materiałów do wykonywania ścian. Zależy od gęstości, zawartości wilgoci oraz składników użytych w procesie produkcji. W artykule przedstawiono badania wybranych właściwości fizykotechnicznych (gęstość, wytrzymałość na ściskanie, współczynnik przewodzenia ciepła λ, sorpcja wilgoci, paroprzepuszczalność oraz absorpcja wody) autoklawizowanego betonu komórkowego o gęstości 300 ÷ 700 kg/m^3. Badania współczynnika przewodzenia ciepła próbek ABK przeprowadzono w stanie zawilgocenia od 0 do 20%.

Słowa kluczowe: autoklawizowany beton komórkowy, przewodność cieplna, zawilgocenie.

Abstract. The thermal conductivity of AAC is very important because it is the one of a basic material for building walls. Thermal conductivity of AAC depends on its density, moisture content and components used in the production process.The article present selected physical properties of AAC (density, compressive strenght, thermal conductivity λ, sorption, water vapor permeability and water absorption) – densities in the range of 300 ÷ 700 kg/m^3. Research of thermal conductivity AAC where done on the samples with moisture content from 0 to 20%.

Keywords: autoclaved aerated concrete, thermal conductivity, moisture content.

Przegrody budynków powinny spełniać nie tylko wymagania trwałości, ale również muszą charakteryzować się odpowiednimi właściwościami cieplno-wilgotnościowymi, akustycznymi i ogniowymi. Spełnienie wymagań cieplnych stawianych przegrodom zewnętrznym budynku sprowadza się przede wszystkim do zapewnienia właściwej izolacyjności oraz pojemności cieplnej [2, 4, 5, 7, 9], która wiąże się m.in. z zapisami zawartymi w § 328 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 6 listopada 2008 r. [12]. Miarą izolacyjności cieplnej jest współczynnik przewodzenia ciepła λ zależny od gęstości, porowatości, wilgotności i składu surowcowego materiału ściennego.

Budynki z betonu komórkowego charakteryzują się niewielką wilgotnością murów w warunkach eksploatacji. Ściany odsychają do wilgotności ustabilizowanej w ciągu 1 – 2 lat. W przypadku wilgotności powietrza wewnętrznego 40 – 60%, wilgotność ustabilizowana przegród z betonu komórkowego wynosi zwykle 1,5 – 5% masy, a w warunkach niekorzystnych 5 – 8% masy [3, 6, 10, 11]. W materiałach porowatych przewodzenie ciepła odbywa się głównie przez szkielet materiału i powietrze w porach. Wraz ze wzrostem gęstości maleje objętość porów. Inaczej mówiąc, współczynnik przewodzenia ciepła betonu komórkowego wzrasta proporcjonalnie do wzrostu gęstości. Im mniejsza wartość współczynnika przewodzenia ciepła betonu λ, tym jest on cieplejszy. Dążenie do uzyskiwania małej wartości współczynnika przenikania ciepła przegród U jest zasadne, gdyż do produkcji materiałów budowlanych wykorzystuje się znacznie mniej energii w porównaniu z ilością energii zużywanej do ogrzewania budynków [3, 10, 11].

Obecnie w Unii Europejskiej pomiary przewodności cieplnej wykonuje się zgodnie z normą PN-EN ISO 8301 *Izolacja cieplna – Określanie oporu cieplnego materiałów i właściwości z nim związanych w stanie ustalonym – Aparat płytowy z czujnikami gęstości strumienia cieplnego*. Zawarta w niej metoda nie nadaje się jednak do badania materiałów wilgotnych, dlatego też w celu poznania ich przewodności cieplnej, wartości uzyskane wg wymienionej normy poddaje się konwersji wg PN-EN ISO 10456 *Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplno-wilgotnościowe – Tabelaryczne wartości obliczeniowe i procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych*, uwzględniając właściwości sorpcyjne materiałów wyznaczone zgodnie z PN-EN ISO 12571 *Cieplno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych – Określanie właściwości sorpcyjnych*.

Cel i zakres badań

Omawiane badania autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) o gęstości 300 – 700 kg/m^3 miały na celu ustalenie wpływu zawilgocenia na współczynnik przewodzenia ciepła λ. Współczynnik przewodzenia ciepła próbek ABK określono w laboratorium zgodnie z PN-EN 8301. Z elementów murowych z ABK różnej gęstości wycięto po 15 próbek o wymiarach 240 x 240 x 40 mm w taki sposób, aby po umieszczeniu ich w urządzeniu kierunek przenikania ciepła był zgodny z kierunkiem przenikania w murze. Próbki ABK badano w stanie zawilgocenia 0 ÷ 20% w temperaturze 10 °C.

Ze względu na ilość porów dochodzącą do 80% objętości, beton komórkowy ma zdolność wiązania w swojej strukturze

[1)] Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych
[2)] SOLBET Sp. z o.o.
[*)] Autor do korespondencji; e-mail: k.laskawiec@icimb.pl

dużej ilości wilgoci. W trakcie wbudowywania wilgotność poprodukcyjna kształtuje się zwykle na poziomie ok. 20%, dlatego takie zawilgocenie przyjęto jako maksymalne podczas badań. Na każdy stopień zawilgocenia przewidziano po 3 próbki. W pierwszym etapie wysuszono je do stałej masy i obliczono masę próbek o odpowiedniej gęstości w przypadku poszczególnych stopni zawilgocenia. W celu uzyskania odpowiedniego stopnia zawilgocenia próbki namaczano w wodzie, a następnie ważono, aż do uzyskania odpowiedniej masy. Podczas badania wpływu zawilgocenia ABK na współczynnik przewodzenia ciepła λ zbadano też jego właściwości fizyczne, m.in. gęstość, wytrzymałość na ściskanie, paroprzepuszczalność oraz absorpcję wody.

Ocena wpływu wilgotności na współczynnik przewodzenia ciepła betonu komórkowego

Badania właściwości fizycznych przeprowadzono wg następujących norm:

- **gęstość** wg PN-EN 772-13 *Metody badań elementów murowych – Część 13: Określenie gęstości netto i gęstości brutto elementów murowych w stanie suchym (z wyjątkiem kamienia naturalnego)*;
- **wytrzymałość na ściskanie** wg PN-EN 771-1 *Metody badań elementów murowych – Część 1: Określenie wytrzymałości na ściskanie*;
- **paroprzepuszczalność** wg PN-EN ISO 12572 *Cieplno-wilgotnościowe właściwości użytkowe materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie właściwości związanych z transportem pary wodnej* i PN-EN 772-15 *Metody badań elementów murowych – Część 15: Oznaczanie współczynnika przepuszczania pary wodnej elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego*;
- **absorpcję** wg PN-EN 772-11 *Metody badań elementów murowych – Część 11: Określenie absorpcji wody elementów murowych z betonu kruszywowego, kamienia sztucznego i kamienia naturalnego spowodowanej podciąganiem kapilarnym oraz początkowej absorpcji wody elementów murowych ceramicznych*.

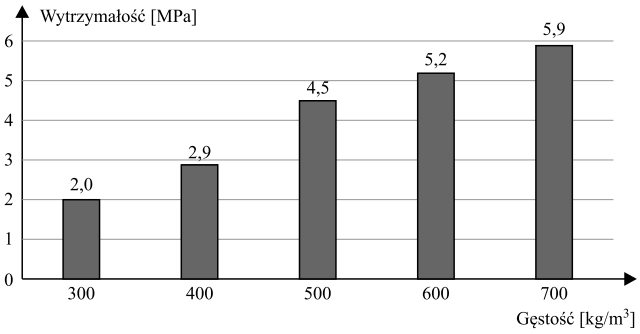
Tabela 1. Właściwości użytkowe badanych betonów komórkowych
Table 1. The performance of the research autoclaved aerated concrete (AAC)

ρ [kg/m³]	$R_{k\perp}$ [MPa]	μ współczynnik oporu dyfuzyjnego pary wodnej
300 ± 10	2,0 ± 0,1	6 ± 0,5
400 ± 10	2,8 ± 0,1	7 ± 0,5
500 ± 10	4,5 ± 0,1	9 ± 0,5
600 ± 10	5,2 ± 0,1	10 ± 0,5
700 ± 10	5,9 ± 0,1	11 ± 0,5

Wyniki badań przedstawiono w tabelach 1 i 2. Dane zestawione w tabeli 1 i na rysunku 1 świadczą, że wraz ze wzrostem gęstości betonu komórkowego zwiększa się jego wytrzymałość na ściskanie oraz współczynnik oporu dyfuzyjnego pary wodnej. Jak wiadomo ma to związek ze zmianą struktury porowatości. Wraz ze wzrostem gęstości wzrasta stosunek makroporowatości do mikroporowatości (pory o promieniu 0,002 – 7,5 μm).

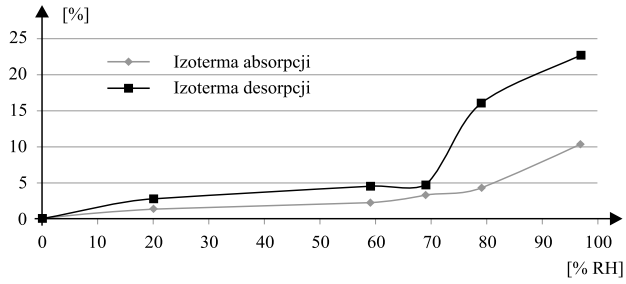
Tabela 2. Oznaczanie absorpcji wody wg PN-EN 772-11:2002
Table 2. Determination of water absorption acc. PN-EN 772-11:2002

Gęstość ABK [kg/m³]	Średnia absorpcja wody $c_{w,s}$ [g/(m² × s^0,5)]		
	po 10 min	po 30 min	po 90 min
300	110	88	71
400	111	90	76
500	103	86	75
600	124	108	96
700	205	190	173



Rys. 1. Zależność wytrzymałości od gęstości badanych próbek ABK
Fig. 1. The density dependence of compressive strength AAC

Wyznaczenie izoterm sorpcji wilgoci próbek ABK prowadzono zgodnie z PN-EN ISO 12571:2002 *Cieplno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie właściwości sorpcyjnych*. Próbki umieszczono w eksykatorach, na dnie których znajdowały się roztwory pozwalające osiągnąć założone wartości wilgotności względnej powietrza. W trakcie wyznaczania krzywej absorpcji próbki przekładano kolejno do eksykatorów o coraz wyższej wilgotności, natomiast przy wyznaczaniu krzywej desorpcji – odwrotnie. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy wykres izoterm sorpcji wilgoci betonu komórkowego.



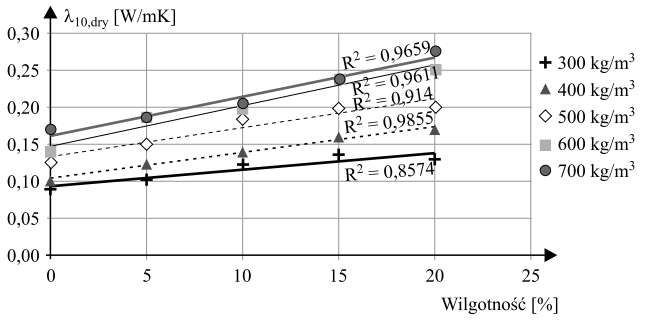
Rys. 2. Izotermy sorpcji wilgoci ABK o gęstości 500 kg/m³
Fig. 2. Sorption isotherm for autoclaved aerated concrete (AAC--density 500 kg/m³)

Na podstawie opracowanej procedury, z zastosowaniem jednolitych kryteriów typu:

- pomiary współczynnika λ wykonane na tym samym urządzeniu, aparat Fox 314;
- wartości deklarowane z uwzględnieniem typowych warunków eksploatacji betonu komórkowego w murze;

określono wartości deklarowane $\lambda_{10,\ dry}$ betonu komórkowego o gęstości 300, 400, 500, 600, 700 kg/m³. Ustalono korelacje pomiędzy współczynnikami przewodzenia ciepła i zmianą wilgotności betonu komórkowego o różnej gęstości (rysunek 3).

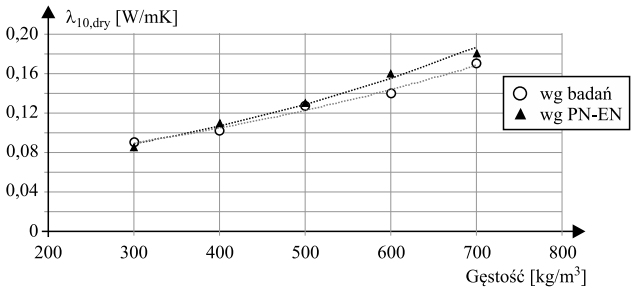
Z rysunku 3 wynika, że współczynnik przewodzenia ciepła λ betonu komórkowego zwiększa się wraz ze wzrostem gęstości. Większa gęstość oznacza, że w materiale zmniejszyła się zawartość porów powietrznych. Współczynnik przewodzenia ciepła zwiększył się także wskutek zawilgocenia materiału. Z literatury [4, 8] wynika, że pogorszenie właściwości izolacyjnych wskutek zawilgocenia związane jest z dużo większym współczynnikiem przewodzenia ciepła wody w stosunku do powietrza (λ_{H20} = 0,6 W/mK, $\lambda_{powietrza}$ = 0,025 W/mK).



Rys. 3 Wykres zależności współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda_{10,dry}$ od stopnia zawilgocenia próbek ABK
Fig. 3. Moisture dependent thermal conductivity $\lambda_{10,dry}$ of AAC

Badania wykazały, że **współczynnik $\lambda_{10,dry}$ wzrasta co najwyżej dwukrotnie w przypadku maksymalnego zawilgocenia 20%**. W przypadku gęstości 400 ÷ 700 kg/m^3 wzrost przewodności cieplnej ABK, spowodowany zawartością wilgoci, można opisać zależnością liniową. Niewielki rozrzut pomiarów wskazuje na zachowanie odpowiednich warunków brzegowych badań. Jedynie w przypadku gęstości 300 kg/m^3 współczynnik korelacji R^2 wynosi 0,86, czyli nastąpił większy rozrzut wyników.

Deklarowane wartości współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda_{10,dry}$ służące kontroli jakości wyrobów u producenta są na ogół korzystniejsze od wartości podanych w PN-EN 1745, co wynika z rysunku 4. W przypadku ABK o gęstości 300 – 500 kg/m^3 wartości średnie $\lambda_{10,dry}$ pokrywają się z wartościami podanymi w normie, natomiast w przypadku gęstości 600 – 700 kg/m^3 mają niższe wartości $\lambda_{10,dry}$ od zawartych w PN-EN 1745.



Rys. 4. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda_{10,dry}$ od gęstości ABK – porównanie wartości zbadanych z wartościami deklarowanymi wg PN-EN 1745
Fig. 4. The density dependence of thermal conductivity $\lambda_{10,dry}$ (AAC) – difference between the declared value (EN 1745) and the research value(s)

Podsumowanie

Podczas badań potwierdzono, że należy uwzględniać wilgotność w obliczeniach cieplno-wilgotnościowych przegród budynków. Porównując współczynnik λ próbek suchych i próbek o zawilgoceniu 20% zaobserwowano dwukrotne zwiększenie współczynnika przewodzenia ciepła. Uzyskane wyniki wskazują na liniową zależność między współczynnikiem ciepła a zawilgoceniem materiału, co potwierdzają duże wartości współczynnika korelacji R^2 będącego miarą stopnia dopasowania linii regresji do danych doświadczalnych.

W początkowej fazie eksploatacji budynku wilgotność przegród budowlanych jest podwyższona, niezależnie od użytych materiałów. Mają na to wpływ m.in. ciągle jeszcze powszechne „mokre" technologie robót budowlanych oraz prac wykończeniowych. Beton komórkowy jest materiałem porowatym, co zwiększa jego zdolności absorpcyjne. W związku z tym, w trakcie budowy, ściany z betonu komórkowego powinny być zabezpieczane przed nadmiernym długotrwałym zawilgacaniem. Wilgotność przygotowanego do sprzedaży betonu komórkowego wynosi najczęściej ok. 20%, ale już samo zastosowanie zaprawy cienkowarstwowej powoduje obniżenie zawartości wody w murze. Zabezpieczenie powierzchni zewnętrznych, np. przez ich otynkowanie, uniemożliwia wnikanie wilgoci w głąb ściany podczas użytkowania budynku.

Z wieloletnich badań polskich i zagranicznych wynika, że wilgotność ścian z ABK, już po pierwszym sezonie grzewczym i systematycznym wietrzeniu pomieszczeń, jest zbliżona do wilgotności ustabilizowanej (5 – 8%). Doskonałym potwierdzeniem stosunkowo szybkiego wysychania ścian z betonu komórkowego są badania i obserwacje budynków zalanych podczas powodzi. Ekstremalnie przesiąknięte wodą ściany (wilgotność 30 – 60%), przy zapewnieniu możliwości odsychania, już po 3 miesiącach wykazały wilgotność poniżej 20%, a po roku osiągały poziom wilgotności ustabilizowanej (1,6 – 9,3%) [1].

Literatura

[1] Bodzak Juliusz, Mariusz Dragan, Maria Łaś, Genowefa Zapotoczna-Sytek. 1999. „Zachowanie się betonu komórkowego w ścianach budynków po powodzi w lipcu. *Przegląd Budowlany* (1): 4 – 6.

[2] Gawin Dariusz J., Jan Kosny, Kenneth Wilkes. 2004. „Thermal conductivity of moist cellular concrete – experimental and numerical study". ASHRAE Thermal IX Conference Clearwater Beach: 1 – 10.

[3] Hums D. 1992. „Ecological aspect for the production and use for autoclaved aerated concrete". Proceedings of the 3RD Rilem International Symposium on Autoclaved Aerated Concrete Switzerland: 271 – 275.

[4] Kaviany M. 1995. „Principles of Heat Transfer in Porous Media". Springer Verlag. New York.

[5] Laurent J. P., C. Guerre-Chaley. 1995. „Influence of water content and temperature on the thermal conductivity of autoclaved aerated concrete". *Materials and Structures* 28: 464 – 472.

[6] Łaś Maria, Genowefa Zapotoczna-Sytek. 2002. „Deklarowanie wartości cieplnych autoklawizowanych betonów komórkowych". Poradnik SPB dla budujących dom z betonu komórkowego, nr 1 (5): 5 – 6.

[7] Narayanan N., K. Ramamurthy. 2000. „Structure and properties of aerated concrete: a review". *Cement & Concrete Composites 22* (5): 321-329. DOI: 10.1016/S0958-9465 (00) 00016-0.

[8] Schoch Torsten, Oliver Kreft. 2012. „Wpływ wilgotności na przewodność cieplną ABK". *Materiały Budowlane* 478 (6): 46 – 48.

[9] Zapotoczna-Sytek Genowefa, Janusz Zmywaczyk, Piotr Koniorczyk. 2002. „Thickness effect curve in autoclaved aerated concrete". 16th European Conference on Thermophysical Properties, Londyn. Materiały Konferencyjne: 1 – 18.

[10] Zapotoczna-Sytek Genowefa. 2007. „Rola autoklawizowanego betonu komórkowego w budownictwie mieszkaniowym". *Materiały Budowlane* 421 (9): 100 – 104.

[11] Zapotoczna-Sytek Genowefa, Jan Małolepszy. 2008. „Zrównoważony rozwój a proces wytwarzania i stosowania elementów z betonu komórkowego". Materiały z V Konferencji Dni Betonu – Tradycja i Nowoczesność: 867 – 878.

[12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej [Dz. U. 2008 nr 201 poz. 1240].

Przyjęto do druku: 07.01.2016 r.