

prof. dr hab. inż. Halina Garbalińska¹⁾
inż. Linda Cederholm²⁾

Przewodność cieplna betonu komórkowego różnych klas gęstości wyznaczana w różnym stanie zawilgocenia

Thermal conductivity of autoclaved aerated concrete of different density classes measured at different moisture states

DOI: 10.15199/33.2019.01.11.

Streszczenie. Artykuł prezentuje badania współczynników przewodzenia ciepła betonów komórkowych czterech klas gęstości 400, 500, 600 i 700, pochodzących z jednej wytwórni. W badaniach zasymulowano sytuację, w jakiej mogą znaleźć się ściany budynku narażone na działanie wody, np. powodziowej. Woda rozprzestrzenia się na grubości przegrody wykonanej z poszczególnych betonów w różnym tempie. W każdym przypadku dochodzi jednak do pogorszenia ich izolacyjności cieplnej. Celem przeprowadzonych prac badawczych była ocena skali tej zmienności. Eksperyment przeprowadzono na dwóch grupach próbek – suszonych i niesuszonych. Wykazano, że proces suszenia próbek może istotnie oddziaływać na uzyskiwane wyniki.

Słowa kluczowe: beton komórkowy; transport kapilarny; współczynnik sorpcji kapilarnej; współczynnik przewodzenia ciepła; proces suszenia.

Abstract. The article presents the research of the thermal conductivity coefficients referring to autoclaved aerated concretes 400, 500, 600 and 700 density class, produced by one manufacturer. The research simulated a situation in which walls of a building can be exposed to the impact of water, e.g. flood water. Water penetrates walls made of different sorts of concrete at different speed. However, in each case, their thermal insulation worsens. The aim of the research conducted was to assess the scale of the changes. The experiment was performed on two groups of samples: the dried ones and the not dried ones. It was proved that the drying process of the samples can considerably influence the results obtained.

Keywords: autoclaved aerated concrete; capillary transport; capillary sorption coefficient; thermal conductivity coefficient; drying process.

Beton komórkowy był i nadal pozostaje materiałem bardzo chętnie stosowanym do wznoszenia ścian zewnętrznych. W Polsce jego udział w rynku materiałów ściennych jest dominujący i od lat sięga lub przekracza 40%. Przez dekady wznoszono z bloczków z betonu komórkowego ściany zewnętrzne jednowarstwowe. Z czasem wprowadzono dodatkową izolację termiczną oraz poprawiono termoizolacyjność samego betonu komórkowego. W każdym z tych rozwiązań, a szczególnie w przypadku przegród jednowarstwowych, podstawową kwestią jest zapewnienie możliwie niskiej przewodności cieplnej zastosowanego betonu komórkowego. Najczęściej uzyskuje się to przez obniżenie jego gęstości, przy równoczesnym założeniu, że materiał w przegrodzie, w trakcie wieloletniej eksploatacji, nie będzie narażony na podwyższone zawilgocenie. Dane literaturowe wskazują, że przy typowych zakresach wilgotności względnej powietrza ($40\% < RH < 60\%$) współczynnik przewodzenia ciepła betonu komórkowego praktycznie nie zmienia swojej wartości. Dotyczy to także najlepszych betonów komórkowych, o czym świadczą chociażby wyniki zaprezentowane w pracy [7], w której badano betony komórkowe o gęstości 300, 350 i 400 kg/m^3 , wyznaczając ich współczynnik przewodności cieplnej przy różnych poziomach zawilgocenia. Podobnie jak w innych pracach badawczych (np. [11, 13, 15, 16]),

także w [7], zaproponowano liniową zależność przewodności cieplnej od zawartości wilgoci w materiale. Należy podkreślić, że w przypadku zawilgocenia higroskopijnego, utrzymującego się w betonach komórkowych na stosunkowo niskim poziomie, zmiany te są stosunkowo niewielkie. Zestawienie wyników dotyczących betonów komórkowych (piaskowych i popiołowych) o różnej gęstości można znaleźć np. w pracach [1, 2]. Opublikowane dane wskazują m.in., że przy względnej wilgotności powietrza 80% średni wzrost współczynnika przewodzenia ciepła λ wynosił 14,7%, a przy wilgotności względnej powietrza 100% nawet 45,8% (por. [3]). Podczas projektowania zmiany wartości λ są uwzględniane w wystarczającym stopniu przez stosowanie obliczeniowych wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ . Inaczej sytuacja wygląda w zakresie ponadhigroskopijnym, gdy przegroda narażona jest na działanie wody w fazie ciekłej. Ze względu na silnie porowatą strukturę wewnętrzną, beton komórkowy stanowi materiał, który jest w stanie wchłonąć bardzo dużą ilość wody, której obecność bardzo wyraźnie obniża lub wręcz niweczy jego walory termoizolacyjne [4, 5, 9, 14]. Tak się dzieje w przypadku braku lub złego wykonania hydroizolacji w strefie przyziemia, pojawienia się awarii instalacji wodnej, czy obciążenia przegrody wodami powodziowymi, czyli w wyjątkowej sytuacji, spowodowanej poważnymi błędami projektowymi, wykonawczymi lub podczas użytkowania budynku.

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących kapilarnego transportu wody oraz badań parametrów cieplnych, szerzej opisane w pracy [6]. W eksperymencie zastosowano

¹⁾ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury

²⁾ Absolwentka Wydziału Budownictwa i Architektury ZUT

* Adres do korespondencji: Halina.Garbalińska@zut.edu.pl

beton komórkowy czterech klas gęstości, pochodzący od tego samego producenta i wyprodukowany z wykorzystaniem tych samych surowców. Przed rozpoczęciem badań podciągania kapilarnego połowa próbek została poddana wstępnemu procesowi suszenia, natomiast druga połowa nie podlegała obróbce termicznej. Uzyskane wyniki pozwoliły wyznaczyć poszczególne współczynniki sorpcji kapilarnej A i ocenić, czy suszenie próbek (podejmowane rutynowo przed tego typu pomiarami) wpływa na mierzoną prędkość transportu wody w materiale, a tym samym na wyznaczone wartości współczynnika A . W zasadniczej części artykułu przedstawiono przebieg pomiarów parametrów cieplnych betonu komórkowego czterech testowanych klas gęstości. Głównym celem tych badań było zdiagnozowanie, w jakim stopniu proces podciągania kapilarnego wody może zwiększyć wartość współczynnika przewodzenia ciepła, a tym samym pogorszyć termoizolacyjność betonów różnych klas gęstości.

Opis badań

Przebieg suszenia. W badaniach wykorzystano próbki betonu komórkowego o wymiarach ok. 12 x 12 x 24 cm, czterech klas gęstości: 400, 500, 600 oraz 700 kg/m³. Wszystkie wycinane były z fabrycznych bloczków w jednakowym kierunku, a mianowicie takim, w jakim woda wnikałaby przez przegrodę, rozprzestrzeniając się na jej grubości. Próbki betonu komórkowego podzielono na dwie grupy. W pierwszej znalazło się 16 próbek (po 4 z każdej klasy gęstości), które poddano procesowi suszenia do stałej masy, natomiast pozostałe 16 (po 4 z każdej klasy gęstości) przechowywano w warunkach laboratoryjnych i do dalszych badań trafiały w stanie powietrzno-suchym. Próbki z pierwszej grupy suszono zgodnie ze schematem: przez pierwsze 16 h próbki przebywały w suszarkach, w których temperatura wynosiła 40°C; w okresie między 17 h a 27 h temperaturę utrzymywano na poziomie 70°C; od 28 h temperatura w suszarkach została ustawiona na 105°C. Po dziewięciu dniach suszenia, gdy próbki wykazały stabilizację masy – suszarki wyłączono, a próbki po ostygnięciu zważono.

Przebieg badań podciągania kapilarnego. Zarówno próbki suszone, jak i niesuszone ustawiono na rusztach z tworzywa sztucznego, w kuwetach z wodą destylowaną, w której wszystkie próbki zagłębione były na ok. 2 mm. Wykorzystano 4 kuwety, z których każda przeznaczona była na próbki danej klasy gęstości.

Badania podciągania kapilarnego prowadzono przez 28 dni, przy czym przez cały ten czas monitorowano poziom wody w pojemnikach i regularnie ważono próbki, zgodnie z przyjętym harmonogramem, opisanym w pracy [6]. Schemat ważenia został dostosowany do przewidywanego przebiegu procesu podciągania kapilarnego, który w początkowym stadium charakteryzuje się znacznym tempem wchłaniania wody przez próbki, a w miarę upływu czasu traci na intensywności. Ważenie wszystkich 32 próbek prostopadłościennych, w każdym z ustalonych punktów czasowych, przeprowadzono wykorzystując wagę o dokładności 0,01g.

Przebieg badań parametrów cieplnych. Bezpośrednio przed rozpoczęciem badań podciągania kapilarnego przeprowadzono badania cieplne, wykorzystując metodę niestacjo-

narą, która zapewnia w miarę szybkie pomiary. Do badań wykorzystano aparat ISOMET 2104, wyposażony w odpowiednio dobraną sondę powierzchniową, o zakresie pomiarowym 0,04 ÷ 0,3 W/(mK). Poprawność działania sprzętu wstępnie przetestowano, badając współczynnik przewodzenia ciepła na płytkach wzorcowych. W przypadku niektórych betonów komórkowych zachodziła potrzeba, aby wyrównać powierzchnię próbek przed rozpoczęciem badania. W miejscu przewidywanego przyłożenia sondy delikatnie szlifowano strefę kontaktu, aby zapewnić jak najlepsze przyleganie sondy do powierzchni próbki.

Po zakończeniu badań procesu podciągania kapilarnego przeprowadzono ponowne pomiary przewodności cieplnej na próbkach wstępnie suszonych oraz niesuszonych każdej klasy gęstości, wykonując je dwukrotnie w trzech miejscach pomiarowych: na dole próbki, czyli od tej strony, gdzie próbka stykała się z wodą, w środku oraz w strefie górnej. Do badań wykorzystano ten sam aparat ISOMET 2104 oraz sondy powierzchniowe o zakresach 0,04 ÷ 0,3 oraz 0,3 ÷ 2,0 W/(mK).

Wyniki badań

Podciąganie kapilarne. Przeprowadzone pomiary umożliwiły wykonanie wykresów zmieniającej się masy próbek, odniesionej do pola powierzchni będącej w kontakcie z wodą, w funkcji pierwiastka czasu. Zależności te zostały zaprezentowane w pracy [10] w postaci wykresów zbiorczych, odnoszących się do betonów komórkowych poszczególnych klas gęstości. W przypadku każdej badanej próbki wyznaczono współczynnik sorpcji kapilarnej A ze wzoru [8]:

$$A = \Delta m_l / F \Delta \sqrt{t} \quad (1)$$

gdzie:

A – współczynnik sorpcji kapilarnej [kg/(m²h^{0,5})];

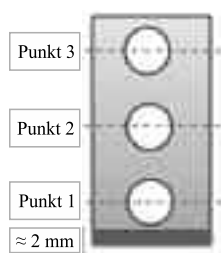
Δm_l – przyrost masy próbki [kg];

F – powierzchnia ssania [m²]; $\Delta \sqrt{t}$ – przyrost pierwiastka z czasu [h^{0,5}].

Każdy pojedynczy współczynnik sorpcji wyznaczano, przyjmując minimalnie 8 punktów pomiarowych, przy czym przedział czasowy dobierany był tak, aby zapewnić jak najwyższy stopień dopasowania (R^2) prostoliniowych odcinków do poszczególnych wykresów [10]. Wyznaczone wypadkowe współczynniki sorpcji kapilarnej nie wskazują, aby suszenie w jednoznaczny sposób oddziaływało na ten parametr. W przypadku klasy gęstości 700, współczynnik A próbek niesuszonych uzyskuje mniejszą wartość $A(700/N) = 2,21$ kg/(m²h^{0,5}) niż próbek wstępnie suszonych $A(700/S) = 2,67$ kg/(m²h^{0,5}). Natomiast w przypadku próbek suszonych klasy gęstości 600 obserwuje się niższą sorpcyjność $A(600/S) = 1,99$ kg/(m²h^{0,5}) niż niesuszonych $A(600/N) = 2,72$ kg/(m²h^{0,5}). Z kolei w próbkach klasy 500, parametr ten w obu przypadkach uzyskuje zbliżoną wartość ok. 2,6 kg/(m²h^{0,5}), natomiast próbki suszone klasy 400 wykazują mniejszy współczynnik sorpcji kapilarnej $A(400/S) = 1,49$ kg/(m²h^{0,5}) niż próbki badane w stanie powietrzno-suchym $A(400/N) = 2,29$ kg/(m²h^{0,5}). Wyniki nie wskazują na zależność szybkości podciągania kapilarnego od stanu wysuszenia próbek przyjętą techniką suszenia.

Przewodność cieplna. Na rysunku przedstawiono schemat badań próbki wraz z oznaczonymi punktami pomiarowymi w których dokonano pomiaru λ . Zmienność współczynników

przewodzenia ciepła λ próbek poszczególnych klas gęstości suszonych i niesuszonych obrazują dane zawarte w tabelach 1÷4. W przypadku betonu klasy 700, porównanie wartości przewodności cieplnej wyznaczonej na próbkach suszonych 700S i niesuszonych 700N wskazuje na największą dysproporcję w środkowym punkcie



Próbka z oznaczonymi punktami pomiarowymi
Sample with measuring points

Próbka z oznaczonymi punktami pomiarowymi. Widać w tym przypadku, iż współczynnik λ osiągnął znacznie większą wartość w przypadku próbki niesuszonej. Wyraźnie mniejszą różnicę stwierdzono w punkcie pomiarowym 3. Natomiast w punkcie 1 różnica jest stosunkowo niewielka. We wszystkich jednak przypadkach większą wartość przewodności cieplnej odnotowano w badaniach prowadzonych na próbkach niesuszonych. Z danych zestawionych w tabeli 1 wynika, że w przypadku próbek zarówno suszonych, jak i niesuszonych wzrost wartości przewodności cieplnej spowodowany nasyceniem wodą jest przeszło trzykrotny. Analizując przewodność cieplną uzyskaną w przypadku klasy gęstości 600, stwierdzono dużą rozbieżność wyników próbek suszonych i niesuszonych, szczególnie silną w punkcie 2. Wyraźne zróżnicowanie występuje także w punkcie 3, natomiast w 1 jest ono niewielkie. W każdym jednak przypadku współczynnik przewodzenia ciepła próbek niesuszonych jest większy niż suszonych.

Z tabeli 2 wynika, że w przypadku klasy 600 wystąpił prawie 3-krotny wzrost współczynnika przewodzenia ciepła, zarówno próbek suszonych, jak i niesuszonych wraz z wilgotnością. Stwierdzono także najwyraźniejsze zróżnicowanie wartości λ między próbkami niesuszonymi i suszonymi, w punkcie pomiarowym 2.

Tabela 1. Zmienność współczynnika przewodzenia ciepła λ próbek suszonych S oraz niesuszonych N względem próbek kontrolnych 700/S/1-0 i 700/N/1-0

Table 1. The changeability of the thermal conductivity coefficient λ of dried samples S and not dried samples N in comparison with the control samples 700/S/1-0 and 700/N/1-0

Pomiar S	λ [W/(mK)]	Relacja λ/λ_0	Pomiar N	λ [W/(mK)]	Relacja λ/λ_0
700/S/1-0	0,182	1,0	700/N/1-0	0,180	1,0
700/S/1-3	0,180	1,0	700/N/1-3	0,251	1,4
700/S/1-2	0,267	1,5	700/N/1-2	0,556	3,1
700/S/1-1	0,574	3,2	700/N/1-1	0,593	3,3

Tabela 2. Zmienność współczynnika przewodzenia ciepła λ próbek suszonych S oraz niesuszonych N w porównaniu z próbkami kontrolnymi 600/S/3-0 i 600/N/3-0

Table 2. The changeability of the thermal conductivity coefficient λ of dried samples S and not dried samples N in comparison with the control samples 600/S/3-0 and 600/N/3-0

Pomiar S	λ [W/(mK)]	Relacja λ/λ_0	Pomiar N	λ [W/(mK)]	Relacja λ/λ_0
600/S/3-0	0,147	1,0	600/N/3-0	0,163	1,0
600/S/3-3	0,153	1,0	600/N/3-3	0,255	1,6
600/S/3-2	0,172	1,2	600/N/3-2	0,387	2,4
600/S/3-1	0,423	2,9	600/N/3-1	0,450	2,8

Tabela 3. Zmienność współczynnika przewodzenia ciepła λ próbek suszonych S oraz niesuszonych N względem próbek kontrolnych 500/S/1-0 i 500/N/4-0

Table 3. The changeability of the thermal conductivity coefficient λ of dried samples S and not dried samples N in comparison with the control samples 500/S/1-0 and 500/N/4-0

Pomiar S	λ [W/(mK)]	Relacja λ/λ_0	Pomiar N	λ [W/(mK)]	Relacja λ/λ_0
500/S/1-0	0,131	1,0	500/N/4-0	0,133	1,0
500/S/1-3	0,130	1,0	500/N/4-3	0,140	1,1
500/S/1-2	0,200	1,5	500/N/4-2	0,339	2,5
500/S/1-1	0,380	2,9	500/N/4-1	0,379	2,8

Tabela 4. Zmienność współczynnika przewodzenia ciepła λ próbek suszonych S oraz niesuszonych N względem próbek kontrolnych 400/S/4-0 i 400/N/1-0

Table 4. Changeability of the thermal conductivity coefficient λ of dried samples S and not dried samples N in comparison with the control samples 400/S/4-0 and 400/N/1-0

Pomiar S	λ [W/(mK)]	Relacja λ/λ_0	Pomiar N	λ [W/(mK)]	Relacja λ/λ_0
400/S/4-0	0,114	1,0	400/N/1-0	0,114	1,0
400/S/4-3	0,115	1,0	400/N/1-3	0,118	1,0
400/S/4-2	0,159	1,4	400/N/1-2	0,305	2,7
400/S/4-1	0,302	2,6	400/N/1-1	0,335	2,9

Dane uzyskane z badań próbek klasy gęstości 500 wskazują na największe zróżnicowanie wartości współczynnika przewodzenia ciepła w punkcie pomiarowym 2. W przypadku dwóch pozostałych punktów pomiarowych różnice te są bardzo małe. Zestawione w tabeli 3 dane wskazują na prawie 3-krotny wzrost przewodności cieplnej próbek suszonych i niesuszonych wraz z wilgotnością. Podobnie jak w wyższych klasach gęstości stwierdzono, że w punkcie pomiarowym 2 próbki niesuszone charakteryzują się znacznie większymi niż próbki suszone wartościami λ .

W przypadku betonu komórkowego o najniższej klasie gęstości 400 zauważono podobne tendencje dotyczące współczynnika przewodzenia ciepła, jak we wszystkich pozostałych klasach. Największe różnice zauważa się w punkcie pomiarowym 2, nieznaczne zróżnicowanie w punkcie 1, natomiast w punkcie 3 wartości te są praktycznie jednakowe. W przypadku próbek klasy gęstości 400 obserwuje się zwiększenie przewodności cieplnej próbek suszonych oraz niesuszonych wraz z wilgotnością od 2,7 do 2,9 razy (tabela 4). Podobnie jak we wszystkich pozostałych badanych klasach, największe zróżnicowanie wyznaczonych wartości λ wystąpiło w punkcie pomiarowym 2, z dużo większą wartością przewodności cieplnej w przypadku próbek niesuszonych.

Podsumowanie

Szczegółowy opis przeprowadzonych badań podciągania kapilarnego wraz z wnikliwą analizą uzyskanych wyników przedstawiono w pracy [10]. Nie stwierdzono, aby stopniowe wygrzewanie próbek wpłynęło wyraźnie na przebieg badanych procesów transportu wilgoci i spowodowało jednoznaczne zmiany współczynnika sorpcji kapilarnej. Okazuje się jednak, że odmienna technika przygotowania próbek do badań w jednoznaczny sposób daje o sobie znać w przeprowadzonych badaniach parametrów cieplnych. Wynika

z nich, że woda wprowadzana do wnętrza próbek mechanizmem podciągania kapilarnego daje w efekcie inny stopień zawilgocenia próbek suszonych i niesuszonych, przekładający się na pomierzone w ramach pracy [6] przewodność cieplną i pojemność cieplną. Wykazano, że wartości parametrów cieplnych wszystkich betonów komórkowych, wyznaczone na próbkach niesuszonych, są zawsze większe niż w przypadku próbek wstępnie wysuszonych do stałej masy w temperaturze 105°C. Prawidłowość ta ze szczególną intensywnością ujawnia się w strefach środkowych wszystkich próbek, tj. w badaniach dotyczących stanu pośredniego zawilgocenia. Różnice te były wyraźnie mniejsze lub wręcz znikome w badaniach dotyczących niskiego lub zerowego poziomu zawilgocenia oraz w badaniach odnoszących się do stanu bliskiego nasycenia. Sposób termicznej obróbki próbek lub jej brak ujawnia się więc w sytuacji, gdy wilgoć dystrybuowana jest w sieci porów jedynie częściowo wypełnionych fazą ciekłą. Wówczas różnice w strukturze wewnętrznej między dwiema grupami próbek przekładają się wyraźnie na wartość wyznaczanych w pomiarach współczynników λ . Fakt ten powinien skłaniać do dużej ostrożności przy porównywaniu wyników uzyskanych na próbkach różnie przygotowywanych do badań.

Niezależnie od różnic dotyczących pośrednich poziomów zawilgocenia, we wszystkich badanych betonach komórkowych wystąpiła tendencja zwiększenia współczynników przewodzenia ciepła λ wraz ze wzrostem wilgotności. Największy wzrost współczynnika λ w porównaniu z próbkami w stanie suchym odnotowano w przypadku betonu klasy 700 – na poziomie od 3,2 (S) do 3,3 (N). W przypadku betonów pozostałych klas wzrost był nieco mniej intensywny i wynosił w przypadku klasy gęstości 600 oraz 500: 2,9 (S) ÷ 2,8 (N), natomiast przy klasie 400: 2,6 (S) ÷ 2,9 (N). Przy analogicznym poziomie zawilgocenia współczynnik przewodzenia ciepła osiągał tym korzystniejsze wartości, im mniejsza była gęstość materiału. W przypadku betonów badanych w stanie suchym relacje w odniesieniu do poszczególnych klas kształtowały się następująco: $\lambda_{700} = 0,180 \div 0,182 > \lambda_{600} = 0,147 \div 0,163 > \lambda_{500} = 0,131 \div 0,133 > \lambda_{400} = 0,114$ W/(mK). Natomiast w betonach poszczególnych klas badanych w stanie nasycenia wodą relacje były analogiczne, tyle że wartości były ok. 3-krotnie większe i wykazywały większe rozrzuty między próbkami typu S i typu N, a kształtowały się następująco: $\lambda_{700} = 0,574 \div 0,593 > \lambda_{600} = 0,423 \div 0,450 > \lambda_{500} = 0,380 \div 0,379 > \lambda_{400} = 0,302 \div 0,335$ W/(mK).

Wyniki badań wskazują na to, jak niezwykle istotne jest zabezpieczenie przegród z betonu komórkowego przed pojawieniem się w nich wody w fazie ciekłej, aby nie zniweczyć ich wysokich walorów termoizolacyjnych, którymi cechuje się ta grupa materiałów w szerokim zakresie wilgotności higroskopijnych $0\% < RH < 60 \div 70\%$. Na potrzebę

wprowadzenia takich zabezpieczeń wskazuje się w [12], w rozdziale czwartym poświęconym ochronie przed zawilgoceniem. Należy jednocześnie podkreślić, że opisane w artykule zjawiska występują w sytuacjach wyjątkowych i dlatego nie należy ich uwzględniać w standardowych obliczeniach cieplno-wilgotnościowych.

Literatura

- [1] Bobociński Andrzej. „Wpływ wilgotności sorpcyjnej na przewodność cieplną betonów komórkowych”. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej* 4/128: 35 – 47.
- [2] Bobociński Andrzej. „Wpływ wilgotności ponadsorpcyjnej na przewodność cieplną betonów komórkowych”. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej* 4/132: 3 – 12.
- [3] Bochenek Magdalena. 2016. „Ocena zmienności parametrów higrotermicznych betonu komórkowego o zróżnicowanej gęstości”. Rozprawa doktorska. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.
- [4] Bochenek Magdalena, Halina Garbalińska. 2013. „Zmiany parametrów cieplnych betonu komórkowego wywołane zawilgoceniem przegrody”. *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*: 9 – 12.
- [5] *Budownictwo ogólne. Fizyka budowli*. T. 2. 2005. Praca zbiorowa przygotowana pod kierunkiem Klemma Piotra. Warszawa. Arkady.
- [6] Cederholm Linda. 2014. „Obliczeniowa diagnoza wpływu warunków klimatycznych na możliwość spełnienia wymogów cieplno-wilgotnościowych w przegrodach wykonanych z betonu komórkowego”. Praca dyplomowa inżynierska. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.
- [7] Drochytka Rostislav, Jiri Zach, Jitka Hroudova. 2011. „Non-destructive testing of influence of moisture on properties of autoclaved aerated concrete”. *E-Journal of Nondestructive Testing*.
- [8] Garbalińska Halina. 2002. „Izotermiczne współczynniki transportu wilgoci porowatego materiału budowlanego”. Szczecin. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej.
- [9] Garbalińska Halina, Magdalena Bochenek. 2014. „The deterioration of strength and thermal properties of autoclaved aerated concrete as a result of capillary moisture”. *Czasopismo Techniczne* 8 – A (15): 137-144.
- [10] Garbalińska Halina, Linda Cederholm. 2014. „Współczynnik sorpcji betonu komórkowego badany na próbkach suszonych i niesuszonych”. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury* JCEEA t. XXXI, z. 61 (3/II/14): 163-172
- [11] Gawin Dariusz, Jan Kośny, A. Desjarlais. 2000. „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): 3149 – 3160.
- [12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z 14 listopada 2017 r., zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2017 r. poz. 2285).
- [13] Schoch Torsten, Oliver Kreft. 2012. „Wpływ wilgotności na przewodność cieplną ABK”. *Materiały Budowlane* 478 (6): 46 – 48.
- [14] Siwińska Agata, Halina Garbalińska. 2006. „Zawilgocenie ścian zewnętrznych z betonu komórkowego, cegły ceramicznej i wapienno-piaskowej, a bilans cieplny budynku”. *Czasopismo Techniczne „Budownictwo”* z. 5-B: 555 – 562.
- [15] Suchorab Zbigniew, Danuta Barnat-Hunek. 2011. „Analiza przewodności cieplnej przegród z betonu komórkowego w zależności od zmian wilgotności”. *Budownictwo i Architektura* (8): 107 – 116.
- [16] Suchorab Zbigniew, Danuta Barnat-Hunek, Henryk Sobczuk. 2011. „Influence of moisture on heat conductivity coefficient of aerated concrete”. *Ecological Chemistry and Engineering* 18/1: 111 – 120.

Przyjęto do druku: 20.12.2018 r.

**Zamów prenumeratę
miesięcznika „Materiały Budowlane” na 2019 r.**

Więcej na str. 103