

BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Andrzej Bobociński*

WPŁYW WILGOTNOŚCI PONADSORPCYJNEJ NA PRZEWODNOŚĆ CIEPLNĄ BETONÓW KOMÓRKOWYCH

W artykule przedstawiono wyniki badań przewodności cieplnej w funkcji ponadsorpcyjnej zawartości wilgoci w piaskowych i popiołowych betonach komórkowych o różnych gęstościach. Stwierdzono wzrost przewodności cieplnej badanych betonów wraz z rosnącą zawartością wody, silniejszy w przypadku betonów piaskowych, a ogólnie – betonów cięższych. Wymiar graficzny tej zależności był zbliżony do linii prostej. Stwierdzono zauważalny wpływ początkowego rozkładu wilgoci w próbce na jej przewodność cieplną, która była największa przy równomiernym rozkładzie wilgoci, a najmniejsza przy usytuowaniu całej wilgoci po zimnej stronie próbki. Przepływ wilgoci w próbce w czasie badania był ilościowo proporcjonalny do jej nierównomiernego rozkładu, największy przy początkowym usytuowaniu całej wilgoci po ciepłej stronie próbki.

1. Wprowadzenie

Zawartość wilgoci w materiale wpływa na wzrost jego przewodności cieplnej w stopniu zależnym od ilości wilgoci oraz rodzaju i struktury materiału. Wpływ ten jest uwzględniany przy określaniu wartości obliczeniowej współczynnika przewodzenia ciepła, zgodnie z PN ISO 10456:1999. Wartość obliczeniową określa się, wychodząc od wartości deklarowanej, mnożonej przez współczynniki przeliczeniowe. Tak określone wartości obliczeniowe są wykorzystywane nie tylko na potrzeby projektowania, ale z zasady również w obliczeniach symulacyjnych przegród budowlanych.

Z wrywkowych badań własnych Zakładu Fizyki Ciepłej wynika, że rzeczywisty wpływ zawartości wilgoci na przewodność cieplną materiałów przegród różni się od wartości obliczonych według normy [1]. Wartości obliczeniowe zgodne z tą normą należy zatem traktować jako pewne przybliżenie, wystarczające przy ocenie spełniania wymagań izolacyjności cieplnej przegród i świadomie przyjęte z zapasem, tj. większe od wartości rzeczywistych.

* mgr. inż. – st. specjalista w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB

W symulacjach ciepno-wilgotnościowych należy uwzględnić rzeczywistą zależność przewodności cieplnej od wilgotności, co wymaga uwzględnienia wyników badań, wykonanych planowo, w celu określenia tej zależności. Jest to szczególnie istotne w przypadku podstawowych materiałów przegród zewnętrznych, których opór cieplny stanowi znaczącą część całego oporu cieplnego przegrody.

Badań zależności przewodności cieplnej od wilgotności prowadzono w Polsce dotychczas niewiele i były to głównie badania wykonane wiele lat temu. Należy tu zwrócić uwagę na pracę Andrzeja Stefańskiego [2] oraz opracowania [3–5] dotyczące betonu komórkowego. Wszystkie te publikacje pochodzą sprzed 30–50 lat, a zatem opisują wyniki badań wykonanych aparaturą dającą mniej dokładne wyniki niż stosowana obecnie. Ponadto przedstawione w tych opracowaniach wyniki badań miały sporo poważnych mankamentów. Wyników nie przedstawiano w tablicach, a jedynie na rysunkach, same zaś zależności między zawartością wilgoci a przewodnością cieplną były zwykle przedstawiane jako idealnie prostoliniowe, co sugeruje pewne uogólnienie, a nie ścisłą prezentację wyników badań. Ocena korelacji między kształtem krzywej a konkretnymi wynikami badań była przy tym niemożliwa, gdyż tych ostatnich nie zaznaczano na rysunkach. Z powyższych przyczyn nie wydaje się możliwe wykorzystanie tak przedstawionych wyników badań w aktualnych obliczeniach cieplnych.

W artykule przedstawiono wyniki badań przewodności cieplnej betonów komórkowych, piaskowych i popiołowych, o wilgotnościach ponadsorpcyjnych [6]. Artykuł jest kontynuacją artykułu [7], w którym podano wyniki badania tych samych betonów komórkowych, jednak o zawilgoceniu nie przekraczającym maksymalnego zawilgocenia sorpcyjnego.

Kompleksowe wyniki badań pozwalają na uwzględnienie ciągłej zależności współczynnika przewodzenia ciepła betonu komórkowego od zawartości wilgoci, co można wykorzystać w symulacyjnych obliczeniach ciepno-wilgotnościowych przegród, zwiększając w ten sposób dokładność tych obliczeń.

2. Zakres badań i wyniki oznaczenia wilgotności ponadsorpcyjnej betonów komórkowych

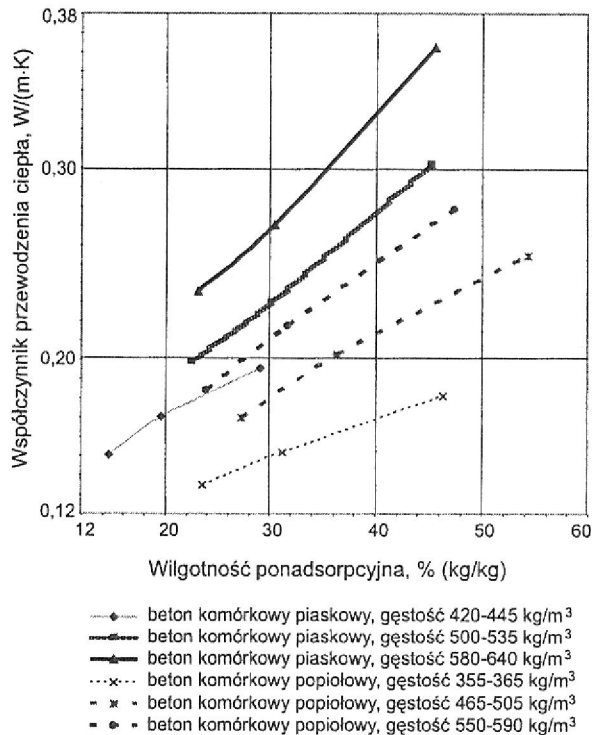
Badaniami objęto piaskowe i popiołowe betony komórkowe o różnej gęstości, pochodzące od kilku producentów polskich. W przypadku betonów piaskowych ich gęstość zawierała się w granicach od 420 kg/m^3 do 640 kg/m^3 , a w przypadku betonów popiołowych w granicach od 355 kg/m^3 do 590 kg/m^3 . Łącznie zbadano 39 próbek tych betonów.

Badania przewodności cieplnej każdej z próbek wykonano przy trzech ponadsorpcyjnych zawartościach wilgoci, wynoszących w przybliżeniu 150%, 200% i 300% maksymalnej wilgotności sorpcyjnej danej próbki. Wodę wprowadzano do próbek poprzez ich całkowite zanurzenie. Badania przewodności cieplnej wykonano aparatem płytowym z osłoniętą płytą grzejną produkcji ITB, przy różnicy temperatur $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ($+ 20 \text{ }^\circ\text{C}$ na płycie górnej, $0 \text{ }^\circ\text{C}$ na płycie dolnej).

Wyniki badań przedstawiono na rysunkach 1–4.

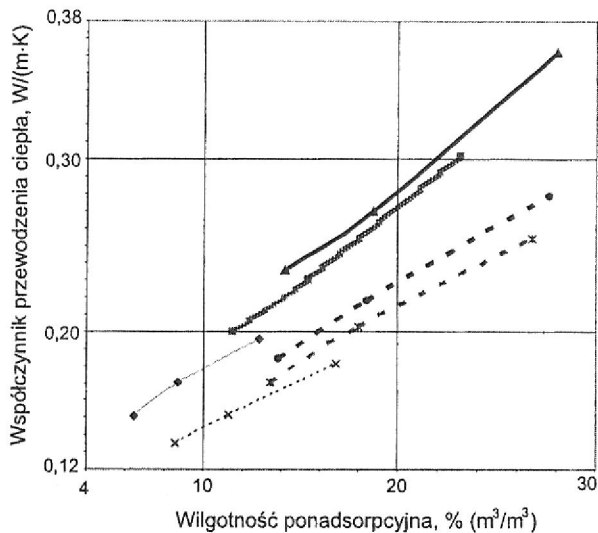
Rys. 1. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła betonów komórkowych od ich masowej wilgotności ponadsorpcyjnej – wartości średnie

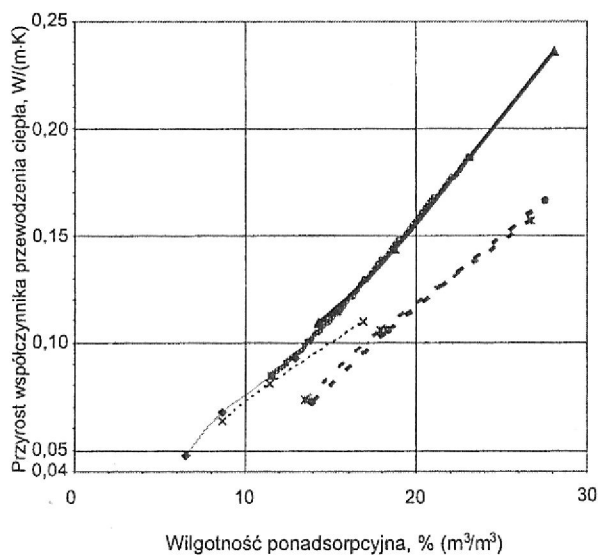
Fig. 1. Dependence of thermal conductivity of cellular concretes on their over sorption mass by mass moisture content – average values



Rys. 2. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła betonów komórkowych od ich objętościowej wilgotności ponadsorpcyjnej – wartości średnie; objaśnienia jak do rys. 1

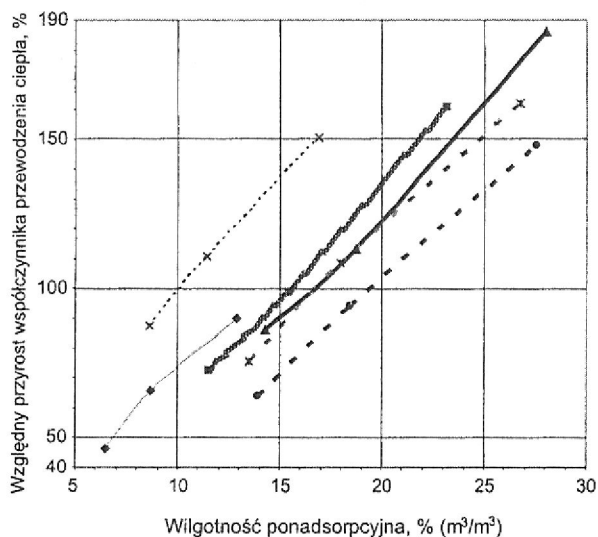
Fig. 2. Dependence of thermal conductivity of cellular concretes on their over sorption volume by volume moisture content – average values; description on fig. 1





Rys. 3. Zależność bezwzględnego przyrostu wartości współczynnika przewodzenia ciepła (w odniesieniu do wartości λ próbki suchej) od objętościowej wilgotności ponadsorpcyjnej – wartości średnie; objaśnienia jak do rys. 1

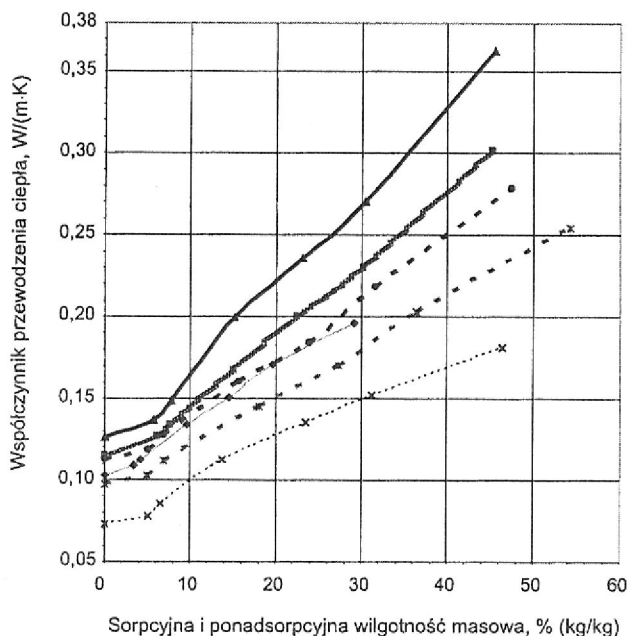
Fig. 3. Dependence of absolute growth of thermal conductivity (related to dry sample λ) on over sorption volume by volume moisture content – average values; description on fig. 1



Rys. 4. Zależność względnego przyrostu wartości współczynnika przewodzenia ciepła betonów komórkowych (w odniesieniu do wartości λ próbki suchej) od objętościowej wilgotności ponadsorpcyjnej – wartości średnie; objaśnienia jak do rys. 1

Fig. 4. Dependence of relative growth of thermal conductivity (related to dry sample λ) on over sorption volume by volume moisture content – average values; description on fig. 1

Ponadto na rysunku 5 przedstawiono graficzną zależność współczynnika przewodzenia ciepła betonów komórkowych łącznie od sorpcyjnej i ponadsorpcyjnej zawartości wilgoci.



Rys. 5. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła betonów komórkowych od ich wilgotności sorpcyjnej i ponadsorpcyjnej – wartości średnie; objaśnienia jak do rys. 1
 Fig. 5. Dependence of thermal conductivity of cellular concretes on their sorption and over sorption mass by mass moisture content – average values; description on fig. 1

Analiza przedstawionych wyników badań prowadzi do następujących wniosków:

1. W przypadku wszystkich badanych betonów komórkowych – niezależnie od ich gęstości oraz rodzaju (piaskowe, popiołowe) – występuje prostoliniowa zależność współczynnika przewodzenia ciepła od wilgotności masowej w zakresie ponadsorpcyjnym, zwana dalej zależnością przedmiotową.

2. Porównanie przedmiotowej zależności w przypadku betonów piaskowych i popiołowych o różnej gęstości wskazuje na jej zbliżony przebieg, jednak z łagodną tendencją do silniejszego wzrostu przewodności cieplnej betonów piaskowych w miarę wzrastania zawartości wilgoci. Graficznie odpowiada to większemu kątowi nachylenia wykresu do osi odciętych.

3. Porównanie wpływu objętościowej wilgotności ponadsorpcyjnej na bezwzględny przyrost przewodności cieplnej (rys. 3) wskazuje na bardzo zbliżony przebieg tej zależności w przypadku lekkich betonów piaskowych i popiołowych, podczas gdy w przypadku betonów o średniej i dużej gęstości bezwzględny przyrost współczynnika przewodzenia ciepła betonów piaskowych jest większy o ponad 30% od przyrostu współczynnika przewodzenia ciepła betonów popiołowych o takiej samej wilgotności objętościowej.

Przykładowo, przy tej samej wilgotności objętościowej (22%), betony piaskowe o średniej i dużej gęstości mają zwiększony współczynnik przewodzenia ciepła o 0,175 W/(m·K), podczas gdy betony popiołowe tylko o 0,13 W/(m·K).

Przykładowo, przy tej samej wilgotności objętościowej (22%), betony piaskowe o średniej i dużej gęstości mają zwiększony współczynnik przewodzenia ciepła o 0,175 W/(m·K), podczas gdy betony popiołowe tylko o 0,13 W/(m·K).

4. Porównanie wpływu zawartości wilgoci w betonie komórkowym na względny przyrost jego przewodności cieplnej (rys. 4) wskazuje na fakt, że ta sama ilość wody wprowadzona do próbek betonów popiołowych powoduje bardzo zróżnicowany względny wzrost przewodności cieplnej – zależnie od ich gęstości. Przykładowo, woda wprowadzona do suchego lekkiego betonu popiołowego w ilości określającej jego wilgotność objętościową na poziomie 17% powoduje wzrost współczynnika λ aż o około 150%, podczas gdy w przypadku ciężkiego betonu popiołowego o tej samej wilgotności wzrost ten wynosi 85%. Jest rzeczą ciekawą, że takie zróżnicowanie nie dotyczy betonów piaskowych, w przypadku których wpływ gęstości na względny przyrost współczynnika λ nie przekracza kilkunastu procent.

3. Badanie wpływu rozkładu wilgoci na wynik pomiaru przewodności cieplnej próbek betonu komórkowego

Przedmiotem badań była próbka warstwowa złożona z dwóch warstw piaskowego betonu komórkowego o gęstości około 500 kg/m³ i łącznej grubości 8 cm (2 cm × 4 cm). Poszczególne warstwy przylegały ściśle do siebie i nie były niczym rozdzielone.

Wykonano dwie serie badań: pierwszą przy łącznej zawartości wody w próbce warstwowej wynoszącej 300 g, drugą przy zawartości wody 150 g. W każdej z tych serii wykonano po 5 oznaczeń przy różnym, przedstawionym niżej rozkładzie zawartości wody między poszczególne warstwy.

badanie 1:	warstwa górna – 100% wody,	warstwa dolna – 0% wody
badanie 2:	warstwa górna – 75% wody,	warstwa dolna – 25% wody
badanie 3:	warstwa górna – 50% wody,	warstwa dolna – 5% wody
badanie 4:	warstwa górna – 25% wody,	warstwa dolna – 75% wody
badanie 5:	warstwa górna – 0% wody,	warstwa dolna – 100% wody

Za każdym razem mierzono przewodność cieplną próbki warstwowej i zmiany masy poszczególnych warstw podczas badania.

W tablicach 1 i 2 (ss.10–11) przedstawiono wyniki badań próbek warstwowych betonu komórkowego, przeprowadzonych zgodnie z wyżej podanym schematem.

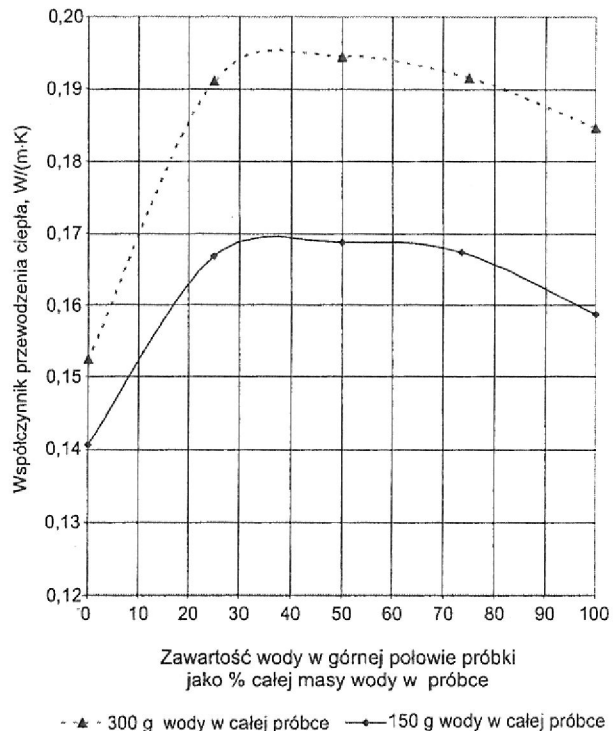
Wyniki badań przewodności cieplnej przedstawiono również graficznie na rysunku 6.

Analiza wyników badań wpływu początkowego rozkładu wilgoci między dwie próbki betonu komórkowego – przy swobodnym przepływie wilgoci między próbkami – prowadzi do następujących wniosków:

1. Największy przyrost przewodności cieplnej w stosunku do stanu suchego zaobserwowano przy jednakowej początkowej zawartości wilgoci w obu próbkach (o 44% przy większej i o 25% przy mniejszej wilgotności) – por. kolumnę 12 w obydwu tablicach.

3. Masę wilgoci (patrz kolumna 6 w obu tablicach) przemieszczającej się z jednej próbki do drugiej w czasie badania (około 4 h) można scharakteryzować następująco:

- największy przepływ wilgoci następował z warstwy górnej do dolnej wtedy, gdy cała wilgoć znajdowała się początkowo w warstwie górnej, tj. przy płycie ciepłej;
- trochę mniejszy przepływ zachodził wtedy, gdy cała wilgoć znajdowała się początkowo w warstwie dolnej, tj. przy płycie chłodzącej; kierunek przepływu był wtedy odwrotny, tj. z próbki dolnej do górnej;
- najmniejszy przepływ wody między próbkami miał miejsce przy jednakowej początkowej zawartości wilgoci w obu próbkach i wynosił 0,7% masy wilgoci początkowej w próbce, niezależnie od tego, czy w próbce było 75 g czy 150 g wody (por. kolumna 7 w obydwu tablicach).
- w wymiarze bezwzględny wielkość przepływu wilgoci była większa wtedy, gdy całkowita zawartość wilgoci w próbce złożonej była większa (300 g), a w wymiarze względny większy procent wody przemieszczał się wtedy, gdy było jej mniej (150 g).



Rys. 6. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła od początkowego rozkładu wilgoci w próbce warstwowej betonu komórkowego
 Fig. 6. Dependence of thermal conductivity on initial moisture distribution in laminar sample of cellular concrete

Tablica 1. Wpływ początkowego rozkładu wilgoci w betonie komórkowym na wartość jego współczynnika przewodzenia ciepła; całkowita zawartość wody w próbce warstwowej – 300 g

Table 1. Influence of initial moisture distribution in cellular concrete on its thermal conductivity; total moisture content in laminar sample – 300 g

Lp.	Rozkład wody w próbce warstwowej								Współczynnik przewodzenia ciepła, λ , próbki złożonej W/(m·K)	Względny przyrost, %, współczynnika λ próbki złożonej względem	
	przed badaniem				po badaniu					wartości najmniejszej	stanu suchego
	zawartość wody w warstwie				zmiana zawartości wody w warstwie						
	górnjej		dolnej		górnjej		dolnej				
	g	% całej masy wody	g	% całej masy wody	g	% masy wody przed badaniem	g	% masy wody przed badaniem			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	300	100	0	0	-15,8	5,3	+15,8	-	0,1847	21,1	36,8
2	225	75	75	25	-1,9	0,8	+1,9	2,5	0,1915	25,6	41,9
3	150	50	150	50	+1,1	0,7	-1,1	0,7	0,1945	27,5	44,1
4	75	25	225	75	+2,0	2,7	-2,0	0,9	0,1912	25,4	41,6
5	0	0	300	100	+11,7	-	-11,7	3,7	0,1525	0,0	13,0

Tablica 2. Wpływ początkowego rozkładu wilgoci w betonie komórkowym na wartość jego współczynnika przewodzenia ciepła; całkowita zawartość wody w próbce warstwowej – 150 g

Table 2. Influence of initial moisture distribution in cellular concrete on its thermal conductivity; total moisture content in laminar sample – 150 g

Lp.	Rozkład wody w próbce warstwowej								Współczynnik przewodzenia ciepła, λ , próbki złożonej W/(m·K)	Względny przyrost, %, współczynnika λ próbki złożonej względem	
	przed badaniem				po badaniu					wartości najmniejszej	stanu suchego
	zawartość wody w warstwie				zmiana zawartości wody w warstwie						
	górnjej		dolnej		górnjej		dolnej				
	g	% całej masy wody	g	% całej masy wody	g	% masy wody przed badaniem	g	% masy wody przed badaniem			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	150	100	0	0	-11,5	7,7	11,5	-	0,1587	13,0	17,6
2	112,5	75	37,5	25	-2,1	1,9	+2,1	5,6	0,1673	19,0	23,9
3	75	50	75	50	-0,5	0,7	+0,5	0,7	0,1687	20,1	25,0
4	37,5	25	112,5	75	+4,3	11,5	-4,3	3,8	0,1668	18,7	23,6
5	0	0	150	100	+9,5	-	-9,5	6,3	0,1405	0,0	4,1

4. Wnioski końcowe

Woda wprowadzona do betonu komórkowego w ilości ponadsorpcyjnej powoduje wzrost jego przewodności cieplnej, przy czym zależność między ilością wody a wzrostem przewodności cieplnej jest bardzo zbliżona do linii prostej. Jest ona silniejsza w przypadku betonów piaskowych, a w ramach danej grupy betonów (piaskowych, popiołowych) jest silniejsza w przypadku betonów cięższych.

Występuje zauważalny wpływ początkowego rozkładu wilgoci w próbce betonu komórkowego na jego przewodność cieplną. Największa przewodność cieplna występuje przy równomiernym rozkładzie wilgoci, maleje przy coraz bardziej nierównomiernym, a najmniejsza jest przy usytuowaniu całej wilgoci po zimnej stronie próbki. Przemieszczanie wilgoci w próbce w czasie badania było proporcjonalne do jej nierównomiernego rozkładu, a największe zachodziło przy początkowym usytuowaniu całej wilgoci po cieplej stronie próbki.

Bibliografia

- [1] PN-ISO 10456 Izolacja cieplna. Materiały i wyroby budowlane. Określanie deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych, 1999
- [2] Stefański A.: Przewodność cieplna materiałów budowlanych. PWN, Poznań 1965
- [3] Künzel H.: Gasbeton, wärme-und feuchtigkeitsverhalten. Bauverlag, Wiesbaden und Berlin 1971
- [4] Kaufman B. N.: Теплопроводность строительных материалов. Стройиздат, Moskwa 1955
- [5] Cammerer J. S.: Neuzzeitliche Schaumstoffe für Wärme und Kälteisolierungen. *Kältetechnik*, t. 9, nr 6, 1957
- [6] Bobociński A., Firkowicz-Pogorzelska K.: Metodyka badań i badania przewodności cieplnej materiałów o wilgotności ponadsorpcyjnej; praca badawcza ITB 103/3597/NF-39/03), Zakład Fizyki Ciepłej, 2002 r., maszyn., biblioteka ITB
- [7] Bobociński A.: Wpływ wilgotności sorpcyjnej na przewodność cieplną betonów komórkowych. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 4 (128), 2003

INFLUENCE OF OVER SORPTION MOISTURE CONTENT ON THERMAL CONDUCTIVITY OF CELLULAR CONCRETES

Summary

The paper describes test results of thermal conductivity of sand and ash cellular concretes of diverse densities in function of over sorption moisture content. It has been found that dependence of thermal conductivity on over sorption moisture content is, in graphic size, close to straight line. This dependence is stronger for sand cellular concretes and, generally, for heavier concretes. Initial moisture distribution in test sample affected its thermal conductivity, so that the maximum was observed for the steady moisture distribution and minimum for moisture located near cold side of sample. Moisture flow in sample during the test was proportional to unequal moisture distribution in it, maximum for moisture location near warm side of sample.

Praca wpłynęła do Redakcji 2 VII 2004