

Andrzej Bobociński*

WPLYW WILGOTNOŚCI SORPCYJNEJ NA PRZEWODNOŚĆ CIEPLNĄ BETONÓW KOMÓRKOWYCH

W artykule przedstawiono wyniki badań sorpcji i przewodności cieplnej w funkcji zawartości wilgoci betonów komórkowych piaskowych i popiołowych o różnych gęstościach. Stwierdzono, że wilgotność sorpcyjna betonów komórkowych wyraźnie rośnie i zbliża się do 15% dopiero przy wilgotności względnej powietrza dochodzącej do 100%. Wzrost przewodności cieplnej betonów komórkowych w wyniku sorpcji w powietrzu o wilgotności względnej do 80% jest nieduży i nie przekracza 15%. Znaczny wzrost przewodności cieplnej, w przybliżeniu do 45%, następuje wskutek kondensacji kapilarnej przy wilgotności względnej powietrza powyżej 80%.

1. Wprowadzenie

Wilgoć w przegrodach budowlanych może występować jako:

- wilgoć technologiczna w materiałach związana z ich wytwarzaniem,
- wilgoć budowlana z procesów wykonawstwa, takich jak transport, składowanie, scalanie komponentów zaprawą lub betonem,
- skutek oddziaływania czynników eksploatacyjnych (kondensacja pary wodnej na powierzchni wewnętrznej lub wewnątrz przegrody),
- skutek zawilgocenia od opadów atmosferycznych,
- skutek podciągania kapilarnego wilgoci z gruntu.

Ten ostatni czynnik we współczesnym budownictwie przeważnie eliminujemy, stosując izolacje przeciwwilgociowe, chroniące ściany fundamentowe oraz ściany i podłogi przed podciąganiem kapilarnym lub naporem wody gruntowej. Również przy zastosowaniu dobrych materiałów i przy dobrym wykonawstwie pomijalne są możliwości zawilgacania ścian i dachów od opadów atmosferycznych.

Materiały budowlane w przegrodach zewnętrznych charakteryzują się jednak zawsze pewną wilgotnością sorpcyjną – często nawet przez kilka lat utrzymuje się ponadsorpcyjna wilgotność początkowa; przy niektórych rozwiązaniach przegród i w określonych warunkach eksploatacji może wystąpić okresowa kondensacja pary wodnej w przegrodzie.

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

W czasie eksploatacji budynków podstawowym czynnikiem wpływającym na wilgotność materiałów jest sorpcja wilgoci z otaczającego powietrza.

Wpływ wilgotności materiałów na ich przewodność cieplną uwzględnia się przez określenie wartości obliczeniowej współczynnika przewodzenia ciepła zgodnie z PN ISO-EN 10456:2001 [1]. Wartość obliczeniową uzyskuje się wychodząc od wartości deklarowanej, mnożonej przez współczynniki przeliczeniowe, jednakowe dla szerokich przedziałów wilgotności materiałów.

Takie podejście jest zrozumiałe przy projektowaniu, gdyż uzyskuje się w ten sposób pewien dodatkowy zapas bezpieczeństwa, jednak określone tą metodą wartości obliczeniowe są wykorzystywane nie tylko na potrzeby projektowania, ale również w obliczeniach symulacyjnych przegród budowlanych [2].

Z dotychczasowych wrywkowych badań Zakładu Fizyki Ciepłej ITB wynika, że rzeczywisty wpływ zawartości wilgoci na przewodność cieplną różni się od ujętego wartościami obliczeniowymi zgodnymi z PN ISO 10456:1999. Wartości obliczeniowe zgodne z tą normą należy traktować jako pewne przybliżenie, wystarczające przy ocenie spełniania wymagań izolacyjności cieplnej przegród i świadomie przyjęte z zapasem.

W celu dokładniejszego określenia rzeczywistego wpływu zawartości wilgoci na przewodność cieplną materiałów, w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB postanowiono podjąć badania przewodności cieplnej wybranych materiałów w szerokim przedziale wilgotności, rozpoczynając je od betonu komórkowego.

Beton komórkowy jest jedynym materiałem stosowanym na dużą skalę w przegrodach zewnętrznych, którego wilgotność sorpcyjna może wzrastać o kilkanaście procent w stosunku do stanu suchego (w powietrzu o wilgotności zbliżonej do 100%), co wpływa znacząco na przewodność cieplną.

W artykule przedstawiono wyniki badań przewodności cieplnej betonów komórkowych, piaskowych i popiołowych, o wilgotności sorpcyjnej odpowiadającej wilgotności względnej otaczającego powietrza 50%, 80% i 100% [3].

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

2. Zakres badań i wyniki oznaczenia wilgotności sorpcyjnej betonów komórkowych

Przedmiotowymi badaniami objęto próbki betonów komórkowych piaskowych i popiołowych o różnej gęstości, pochodzące od kilku producentów polskich. W przypadku betonów piaskowych ich gęstość zawierała się w granicach 420 kg/m^3 – 640 kg/m^3 , a w przypadku betonów popiołowych w granicach 355 kg/m^3 – 590 kg/m^3 . Łącznie zbadano 39 próbek tych betonów. Wilgotność sorpcyjną oznaczano przy wilgotności względnej powietrza równej 50%, 80% i 100%. Współczynnik przewodzenia ciepła beto-

nów komórkowych o wilgotności sorpcyjnej oznaczano jak wyżej, a ponadto, w celu porównania, oznaczano również współczynnik przewodzenia ciepła betonów wysuszonych do stałej masy.

W tabelicy 1 przedstawiono wyniki oznaczenia wilgotności sorpcyjnej piaskowych betonów komórkowych, a w tabelicy 2 betonów popiołowych. Graficzną prezentację wyników oznaczenia sorpcji przedstawiono na rysunku 1.

Tablica 1. Wyniki badań wilgotności sorpcyjnej piaskowych betonów komórkowych
Table 1. Test results of sorption for sand cellular concretes

Oznaczenie próbki	Gęstość kg/m ³	Wilgotność sorpcyjna, % (kg/kg) przy wilgotności względnej powietrza:		
		50%	80%	100%
5-1	430	3,1	3,9	9,6
5-2	432	3,1	4,0	10,8
5-3	431	3,0	3,8	11,0
5-4	443	2,8	3,6	9,9
8-1	580	5,5	7,2	13,0
8-2	580	5,4	7,6	15,4
8-3	594	5,3	7,5	15,0
9-1	627	5,9	7,4	16,4
9-2	638	5,5	8,6	15,1
9-3	628	5,9	7,5	14,2
10,1	576	6,0	8,2	16,8
10,2	568	6,2	8,3	15,8
11-1	523	5,4	6,6	10,9
11-2	523	5,6	7,0	12,2
11-3	520	5,2	6,6	12,2
12-3	534	6,7	8,6	16,1
13-1	423	3,6	4,4	8,3
13-2	435	3,9	4,7	8,8
13-3	426	4,0	4,8	9,1
15-1	509	4,1	5,5	13,1
15-2	506	4,3	5,3	12,7
17-1	508	8,2	10,0	19,2
17-2	500	7,7	9,5	18,8
17-3	503	7,6	9,5	19,8
Średnio		5,2	6,7	13,5

Tablica 2. Wyniki badań wilgotności sorpcyjnej popiołowych betonów komórkowych
Table 2. Test results of sorption for cellular concretes

Oznaczenie próbki	Gęstość kg/m ³	Wilgotność sorpcyjna, % (kg/kg) przy wilgotności względnej powietrza:		
		50%	80%	100%
1-1	553	5,0	6,3	12,3
1-2	556	4,8	6,2	12,3
1-3	551	4,7	5,8	12,1
2-1	465	4,1	5,5	13,5
2-2	468	3,8	5,0	12,9
3-1	574	5,2	6,5	14,0
3-3	591	4,7	6,5	13,6
4-1	354	3,9	5,3	12,4
4-3	363	3,7	5,3	18,6
6-1	505	5,7	8,3	26,3
6-2	500	5,3	7,7	19,0
6-3	501	5,8	8,0	19,0
7-1	550	6,6	9,7	21,9
7-2	579	4,9	7,0	19,3
7-3	573	4,4	7,1	20,3
Średnio		4,8	6,7	16,5

Średnia wilgotność sorpcyjna badanych betonów komórkowych wynosiła:

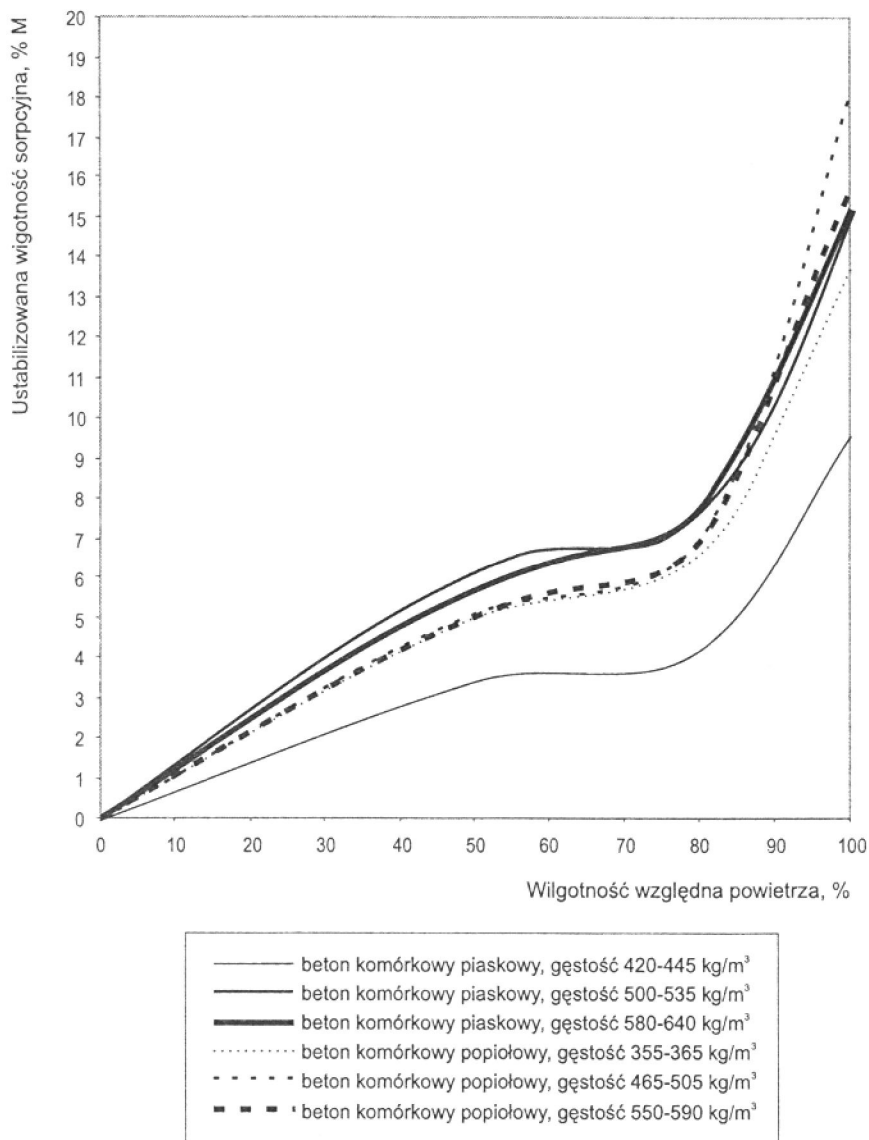
- przy 50% wilgotności względnej powietrza – 5,0% (od 2,8% do 8,2%),
- przy 80% wilgotności względnej powietrza – 6,7% (od 3,6% do 10,0%),
- przy 100% wilgotności względnej powietrza – 14,7% (od 8,3 % do 26,3%).

W nawiasach podano ekstremalne wartości oznaczeń dla poszczególnych próbek.

Analiza wyników oznaczenia wilgotności sorpcyjnej betonów komórkowych piaskowych i popiołowych prowadzi do następujących stwierdzeń:

- nie występuje wyraźna zależność między gęstością betonu komórkowego a jego wilgotnością sorpcyjną; wyjątkiem jest beton komórkowy piaskowy o najmniejszej gęstości, który charakteryzuje się wyraźnie najmniejszą wilgotnością sorpcyjną,
- średnie wilgotności sorpcyjne betonów komórkowych piaskowych i popiołowych przy 50% i 80% wilgotności względnej powietrza są zbliżone; przy wilgotności 100% betony popiołowe mają o około 20% wyższą średnią wilgotność sorpcyjną (16,5% wobec 13,5%),
- przy zwiększeniu wilgotności względnej powietrza z 50% do 80% występuje umiarkowany przyrost wilgotności sorpcyjnej betonów komórkowych (zwiększenie wilgotności o 30% w przypadku betonów piaskowych i o 40% w przypadku betonów popiołowych),

- względnie duży przyrost wilgotności sorpcyjnej występuje przy wzroście wilgotności powietrza z 80% na 100% (zwiększenie zawartości wilgoci o 100% w przypadku betonów piaskowych i o 150% w przypadku betonów popiołowych).



Rys. 1. Wilgotność sorpcyjna betonów komórkowych w funkcji wilgotności względnej powietrza
 Fig. 1. Sorption moisture content of cellular concretes as function of air RH

3. Współczynnik przewodzenia ciepła betonów komórkowych o zróżnicowanej wilgotności sorpcyjnej

W tabelicy 3 przedstawiono wyniki oznaczania współczynnika przewodzenia ciepła betonów komórkowych piaskowych, a w tabelicy 4 betonów komórkowych popiołowych. Graficzną prezentację wyników badań przedstawiono na rysunkach 2 i 3.

Tablica 3. Wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła piaskowych betonów komórkowych o różnej wilgotności sorpcyjnej

Table 3. Test results of thermal conductivity for sand cellular concretes with different sorption moisture content

Oznaczenie próbki	Gęstość kg/m ³	Współczynnik przewodzenia ciepła próbki, λ o zróżnicowanej sorpcyjnej zawartości wilgoci, W/(m·K)			
		próbka wysuszona do stałej masy	próbka o ustabilizowanej wilgotności sorpcyjnej w powietrzu o wilgotności względnej:		
			50%	80%	100%
5-1	430	0,1043	0,1077	0,1108	0,1351
5-2	432	0,1028	0,1092	0,1121	0,1373
5-3	431	0,1021	0,1057	0,1102	0,1370
5-4	443	0,1039	0,1102	0,1139	0,13,76
8-1	580	0,1217	0,1288	0,1406	0,1747
8-2	580	0,1197	0,1271	0,1411	0,1915
8-3	594	0,1221	0,1314	0,1418	0,1942
9-1	627	0,1366	0,1498	0,1591	0,2208
9-2	638	0,1427	0,1516	0,1627	0,2181
9-3	628	0,1387	0,1508	0,1628	0,2163
10-1	576	0,1195	0,1305	0,1446	0,2000
10-2	568	0,1127	0,1252	0,1362	0,1820
11-1	523	0,1120	0,1251	0,1322	0,1570
11-2	523	0,1125	0,1238	0,1311	0,1563
11-3	520	0,1128	0,1233	0,1297	0,1581
12-3	534	0,1023	0,1260	0,1337	0,1674
13-1	423	0,1025	0,1088	0,1126	0,1294
13-2	435	0,1039	0,1108	0,1155	0,1330
13-3	426	0,1016	0,1090	0,1133	0,1304
15-1	509	0,1346	0,1416	0,1480	0,1840
15-2	506	0,1334	0,1405	0,1464	0,1780
17-1	508	0,1076	0,1228	0,1298	0,1685
17-2	500	0,1086	0,1225	0,1291	0,1665
17-3	503	0,1070	0,1197	0,1262	0,1720

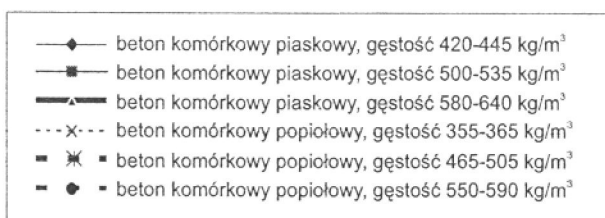
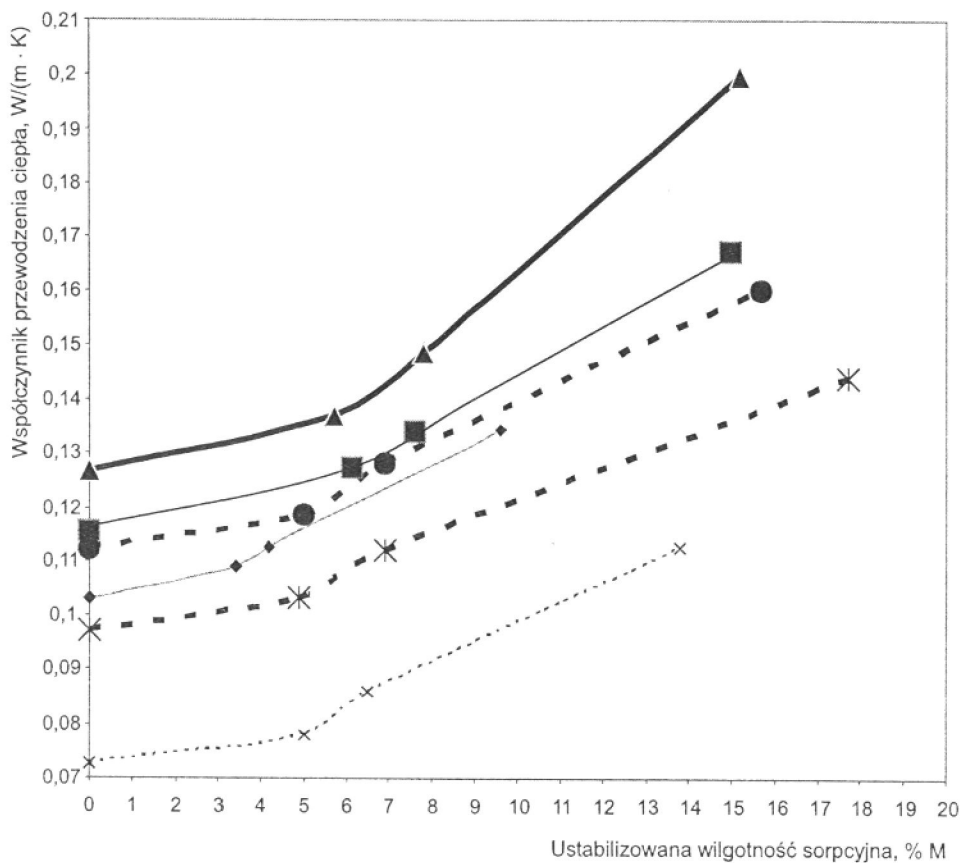
Tablica 4. Wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła popiołowych betonów komórkowych o różnej wilgotności sorpcyjnej

Table 4. Test results of thermal conductivity for ash cellular concretes with different sorption moisture content

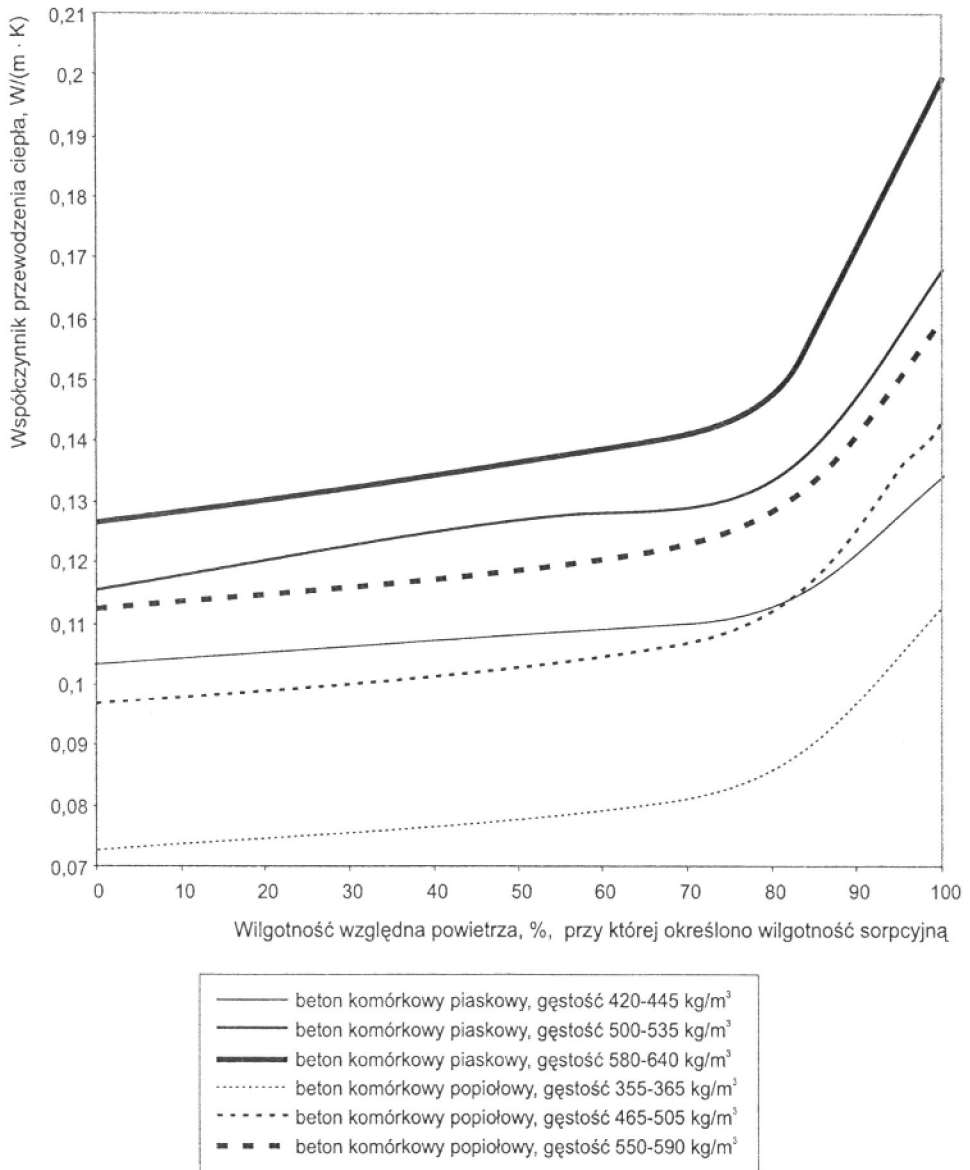
Oznaczenie próbki	Gęstość kg/m ³	Współczynnik przewodzenia ciepła próbki, λ o zróżnicowanej sorpcyjnej zawartości wilgoci, W/(m·K)			
		próbka wysuszona do stałej masy	próbka o ustabilizowanej wilgotności sorpcyjnej w powietrzu o wilgotności względnej:		
			50%	80%	100%
1-1	553	0,1094	0,1166	0,1250	0,1492
1-2	556	0,1107	0,1175	0,1262	0,1492
1-3	551	0,1090	0,1144	0,1231	0,1458
2-1	465	0,0928	0,0978	0,1056	0,1240
2-2	468	0,0894	0,0955	0,1015	0,1238
3-1	574	0,1147	0,1198	0,1279	0,1590
3-3	591	0,1145	0,1208	0,1318	0,1614
4-1	354	0,0728	0,0772	0,0848	0,1025
4-3	363	0,0727	0,0784	0,0865	0,1228
6-1	505	0,1042	0,1114	0,1220	0,1789
6-2	500	0,0966	0,1037	0,1131	0,1483
6-3	501	0,1022	0,1068	0,1168	0,1500
7-1	550	0,1134	0,1199	0,1316	0,1734
7-2	579	0,1136	0,1203	0,1307	0,1733
7-3	573	0,1123	0,1198	0,1281	0,1701

Analiza wyników oznaczenia współczynnika przewodzenia ciepła betonów komórkowych popiołowych i piaskowych o różnej wilgotności sorpcyjnej prowadzi do następujących stwierdzeń:

- Średni wzrost współczynnika przewodzenia ciepła λ , określonego dla próbek wysuszonych do stałej masy, przy sorpcji w powietrzu o 50% wilgotności względnej, wyniósł:
 - 8,1% w przypadku betonów piaskowych,
 - 6,0% w przypadku betonów popiołowych,
 - 7,3% w przypadku wszystkich badanych próbek.
- Przy sorpcji w powietrzu o 80% wilgotności względnej średni wzrost współczynnika λ wyniósł:
 - 14,6% w przypadku betonów piaskowych,
 - 14,8% w przypadku betonów popiołowych,
 - 14,7% w przypadku wszystkich badanych próbek.
- Przy sorpcji w powietrzu o 100% wilgotności względnej średni wzrost współczynnika λ wyniósł:
 - 45,7% w przypadku betonów piaskowych,
 - 46,0% w przypadku betonów popiołowych,
 - 45,8% w przypadku wszystkich badanych próbek.



Rys. 2. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła betonów komórkowych od ich wilgotności sorpcyjnej
 Fig. 2. Relationship between thermal conductivity for cellular concretes and their sorption moisture content



Rys. 3. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła betonów komórkowych od wilgotności względnej powietrza, przy której określono wilgotność sorpcyjną

Fig. 3. Relationship between thermal conductivity of cellular concretes on air RH at which sorption moisture content was determined

Wyniki badań wskazują, że zależność między wzrostem wilgotności sorpcyjnej a odpowiadającym wzrostem współczynnika przewodzenia ciepła poszczególnych odmian betonów komórkowych można w przybliżeniu przedstawić jako łamaną składającą się z dwóch odcinków. Pierwszy z nich, odpowiadający małej sorpcji, tj. przy wilgotności względnej powietrza do 50%, charakteryzuje się mniejszym kątem nachylenia do osi odciętych, natomiast odcinek odpowiadający sorpcji przy wilgotności względnej powietrza od 50% do 100% – znacznie większym.

Większy kąt nachylenia wykresu oznacza w tym przypadku silniejszą zależność (wzrost) współczynnika przewodzenia ciepła od wilgotności sorpcyjnej.

Występuje zauważalna zależność przewodności cieplnej od rodzaju betonu komórkowego (piaskowy, popiołowy). Przy wilgotności sorpcyjnej określonej w powietrzu o takiej samej wilgotności betony popiołowe charakteryzują się mniejszym współczynnikiem przewodzenia ciepła niż betony piaskowe o porównywalnej gęstości – na przykład betony popiołowe o średniej gęstości około 570 kg/m^3 mają mniejszy współczynnik przewodzenia ciepła od betonów piaskowych o średniej gęstości około 520 kg/m^3 .

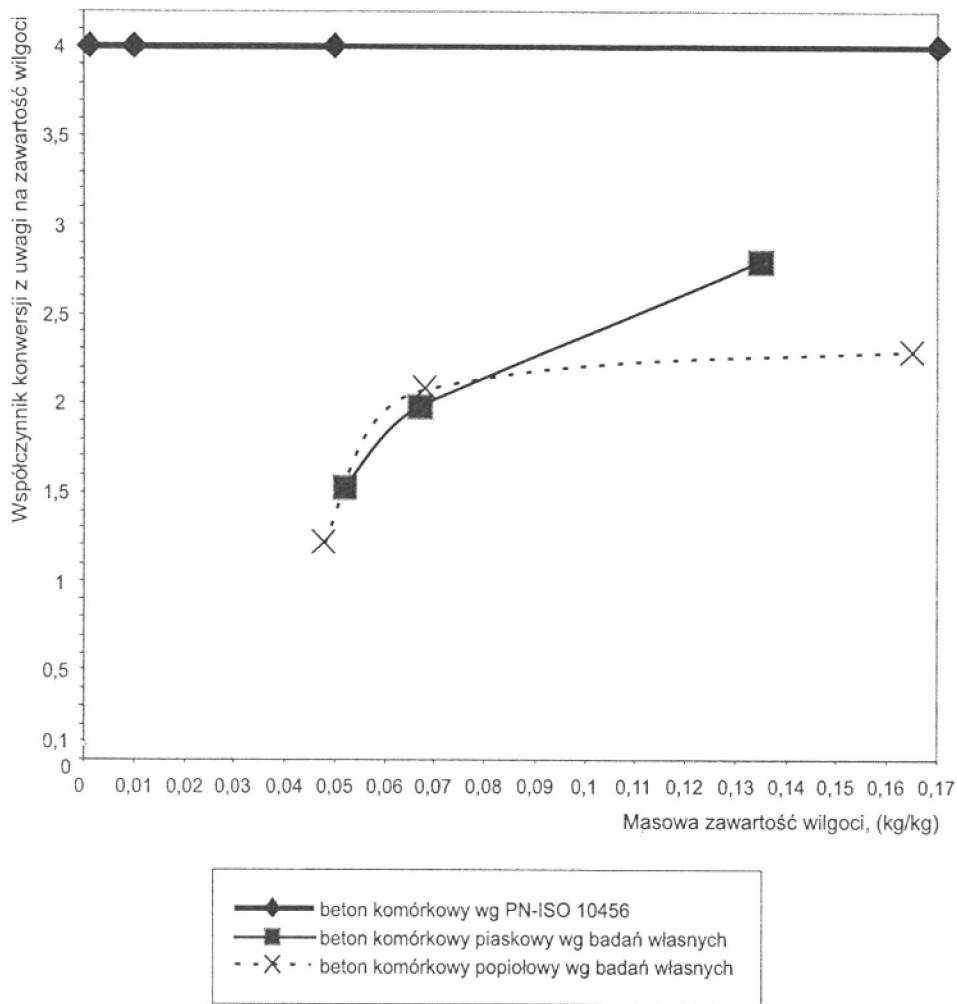
4. Porównanie wyników badań własnych betonów komórkowych z danymi PN-ISO 10456 odnośnie do czynnika konwersji z uwagi na zawartość wilgoci

Norma PN-ISO 10456 [1] określa zasady wyliczania tzw. czynników konwersji, w tym interesującego nas czynnika konwersji z uwagi na zawartość wilgoci w materiale, przy uwzględnieniu podanych w normie współczynników konwersji. Po wykonaniu omówionych wyżej badań, na podstawie uzyskanych wyników stało się możliwe określenie współczynnika konwersji oraz czynnika konwersji betonu komórkowego. Podanie danych do konwersji współczynnika przewodzenia ciepła z uwagi na zawartość wilgoci wydaje się zasadne ze względu na objęcie badaniami wielu próbek stanowiących szereg odmian betonów komórkowych – co pozwala uznać uzyskane wyniki za reprezentatywne.

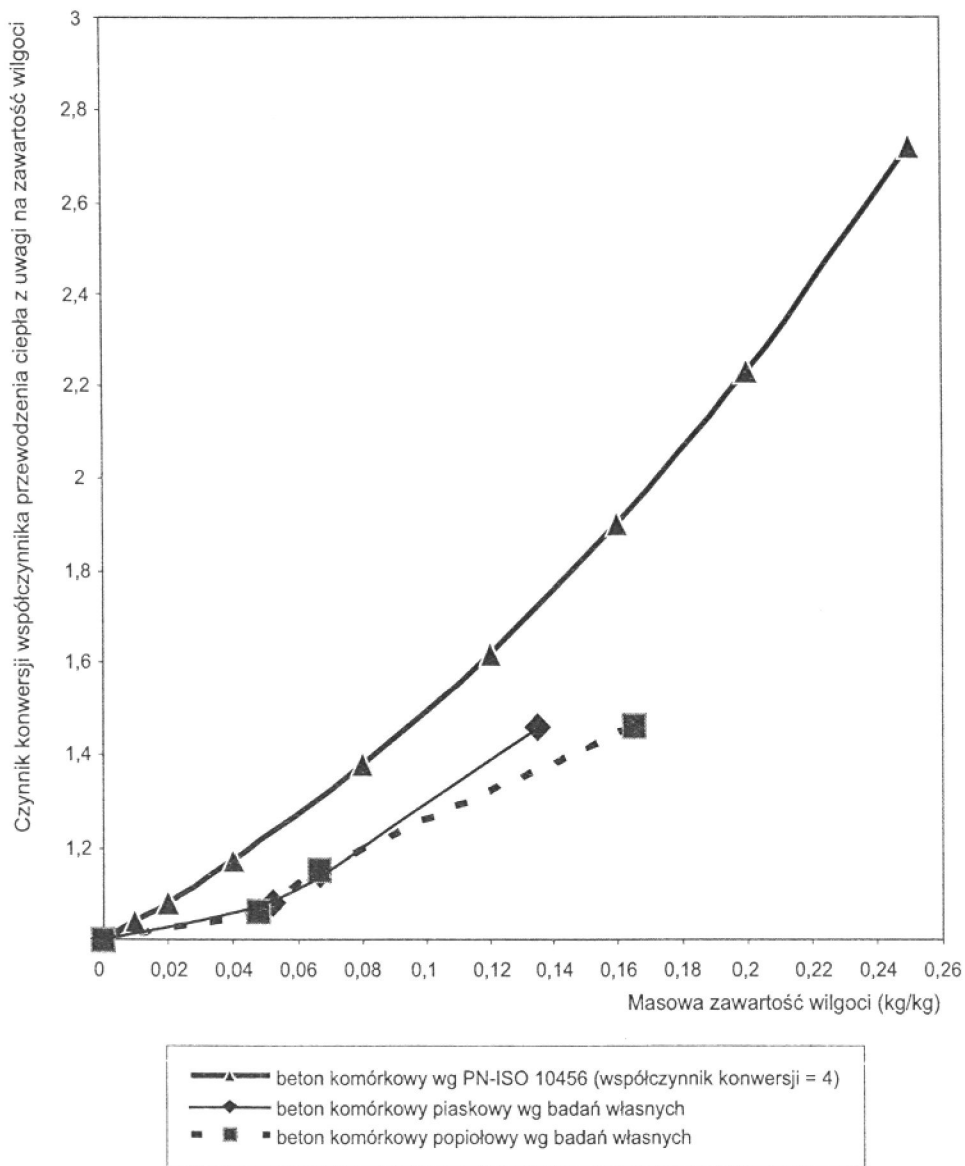
Na rysunku 4 przedstawiono porównanie współczynnika konwersji z uwagi na zawartość wilgoci, obliczonego na podstawie badań własnych, ze stałą wartością podaną w PN-ISO 10456, wynoszącą 4,0; przywołana norma nie wprowadza przy tym żadnych dodatkowych rozróżnień związanych z gęstością lub składem betonów komórkowych.

Krzywe charakteryzujące współczynnik konwersji na podstawie wyników badań omówionych w niniejszym artykule są wyznaczone przez 3 punkty, w zakresie zawartości wilgoci odpowiadających wilgotnościom sorpcyjnym przy 50%, 80% i 100% wilgotności względnej powietrza.

Na rysunku 5 została przedstawiona zależność czynnika konwersji od zawartości wilgoci w betonie komórkowym. Przy obliczaniu wartości tego czynnika uwzględniono oczywiście zróżnicowane zależnie od poszczególnych wilgotności sorpcyjnych wartości współczynnika konwersji, tak jak jest to widoczne na rysunku 4.



Rys. 4. Zależność współczynnika konwersji z uwagi na zawartość wilgoci od zawartości wilgoci w popiołowych i piaskowych betonach komórkowych
 Fig. 4. Conversion coefficient with respect to moisture content, as a function of moisture content, for ash and sand cellular concretes



Rys. 5. Wartości czynnika konwersji, F_m , współczynnika przewodzenia ciepła betonu komórkowego w funkcji masowej zawartości wilgoci
 Fig 5. Values of conversion factor, F_m , of thermal conductivity coefficient for cellular concrete – as function of moisture content

5. Wnioski

Wartości współczynnika przewodzenia ciepła określone dla betonu komórkowego na podstawie normy [1] są większe w całym zakresie sorpcyjnej zawartości wilgoci od wartości określonych na podstawie omawianych badań. W szczególności wartość obliczeniowa współczynnika przewodzenia ciepła betonu komórkowego, określana zwykle przy wilgotności sorpcyjnej ustalonej w 80% wilgotności względnej powietrza, jest około 15% większa od wartości określonej w wyniku badań przy tej wilgotności. Wynika to z zawyżenia w normie wartości współczynnika konwersji, szczególnie wyraźnego w przypadku nieznacznych sorpcyjnych zawartości wilgoci.

Przy symulacjach komputerowych stanu cieplno-wilgotnościowego ścian zewnętrznych z betonu komórkowego powinno się zatem uwzględnić rzeczywistą zależność współczynnika przewodzenia ciepła od sorpcyjnej zawartości wilgoci, określoną na podstawie badań, co wpłynie na zwiększenie dokładności obliczeń.

Bibliografia

- [1] PN-ISO 10456 Izolacja cieplna. Materiały i wyroby budowlane. Określanie deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych, 1999
- [2] Kossecka E., Gawin D. i in.: Typowy rok meteorologiczny do symulacji wymiany ciepła i masy w budynkach. Politechnika Łódzka, 2002
- [3] Bobociński A.: Ocena izolacyjności cieplnej zewnętrznych przegród budowlanych z uwagi na stan wilgotnościowy; praca badawcza ITB 15/3597/NF-39/02, Zakład Fizyki Ciepłej, 2002, maszyn., biblioteka ITB

INFLUENCE OF SORPTION MOISTURE CONTENT ON THERMAL CONDUCTIVITY OF CELLULAR CONCRETES

Summary

The paper describes test results of sorption and thermal conductivity of sand and ash cellular concretes of different densities in function of moisture content. It has been found that sorption moisture content of cellular concretes distinctly increases and approaches 15% with RH of air reaching 100%. The rise of thermal conductivity of cellular concretes as result of sorption to 80% air RH is not large and does not exceed 15%. Significant rise of thermal conductivity, approximately to 45%, takes place due to capillary condensation with RH over 80%.

Praca wpłynęła do Redakcji 23 VI 2003