

Andrzej Bobociński*

DYSKUSJA CZYNNIKÓW KONWERSJI WSPÓŁCZYNNIKA PRZEWODZENIA CIEPŁA Z UWAGI NA ZAWARTOŚĆ WILGOCI

W artykule przedstawiono czynniki konwersji współczynnika przewodzenia ciepła z uwagi na zawartość wilgoci podane w PN-EN ISO 10456:2004. Przedstawiono również wartości czynników konwersji określone na podstawie wyników badań własnych współczynnika przewodzenia ciepła materiałów o sorpcyjnej i ponadsorpcyjnej zawartości wilgoci. Badania te objęły: piaskowe i popiołowe betony komórkowe, różne odmiany polistyrenu ekspandowanego (styropian EPS) oraz ekstrudowanego (XPS), sztywną piankę poliuretanową oraz dachową wełnę mineralną. Porównano wartości czynników konwersji określonych na podstawie wyników badań własnych z wartościami przyjętymi zgodnie z PN-ISO 10456. Stwierdzono, że czynniki konwersji określone według przedmiotowej normy są generalnie zawyżone w stosunku do wyników badań własnych w różnym stopniu, w zależności od rodzaju materiału, jego odmiany i gęstości.

1. Wprowadzenie

W ochronie cieplnej budynków operujemy współcześnie dwoma pojęciami związanymi z przewodnością cieplną: wartością deklarowaną i wartością obliczeniową.

Wartość deklarowana cechy jest to wartość oczekiwana w populacji generalnej wyrobu oszacowana na podstawie:

- wyników pomiarów,
- określonej frakcji rozkładu przy zadanym poziomie ufności.

Wartości deklarowane przewodności cieplnej wyrobów służą do kontroli jakości i stabilności cech produkcji; uzyskiwane są najczęściej z pomiarów wykonywanych na suchych próbkach przy temperaturze 10°C (materiały izolacji cieplnej) lub 23°C (inne materiały).

Wartość obliczeniowa cechy jest to jej wartość oczekiwana w warunkach uważanych za typowe w zastosowaniu materiału w budynku w zakresie temperatury (zwykle 10°C) i wilgotności (najczęściej odpowiadającej stanowi równowagi termodynamicznej z powietrzem o wilgotności względnej 80%), obliczana na podstawie konwersji wartości deklarowanej na warunki stosowania.

Z wrywkowych badań własnych Zakładu Fizyki Ciepłej wynikało, że rzeczywisty wpływ zawartości wilgoci na przewodność cieplną materiałów przegród różni się od war-

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

tości obliczonych zgodnie z PN-EN ISO 10456:2004. 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 rzeczywistych.

W symulacjach ciepłno-wilgotnościowych należy uwzględnić rzeczywistą zależność przewodności cieplnej od wilgotności, co wymaga w celu określenia tej zależności uwzględnienia wyników badań wykonanych planowo. Badania takie prowadził autor niniejszego artykułu w latach 2002-2005, w ramach realizacji tematu NF-39. Ich wyniki pozwoliły na dokładniejsze zweryfikowanie tej tezy poprzez porównanie wartości czynników konwersji określonych zgodnie z przedmiotową normą i na podstawie wyników badań.

Według PN-EN ISO 10456, przy znanej gęstości materiału, w pewnych określonych granicach zmian zawartości wilgoci, temperatury i wieku można dokonać konwersji przewodności cieplnej z jednego zestawu warunków na drugi, zgodnie z wyrażeniem

$$\lambda_2 = \lambda_1 F_T F_m F_a \quad (1)$$

gdzie: F_T, F_m, F_a – czynniki konwersji, z uwagi na: temperaturę, wilgotność, wiek,
 λ_1, λ_2 – przewodność cieplna, odpowiednio – dla pierwszego i drugiego zestawu warunków.

2. Określanie czynników konwersji z uwagi na zawartość wilgoci zgodnie z PN-EN ISO 10456:2004

W normie PN-EN ISO 10456 wartość obliczeniową współczynnika przewodzenia ciepła określa się w wyniku konwersji wartości deklarowanej tego współczynnika na warunki obliczeniowe.

Czynnik konwersji F_m z uwagi na zawartość wilgoci, podaną jako stosunek masy wilgoci zawartej w badanej próbce do masy próbki suchej, jest wyrażony wzorem

$$F_m = e^{f_u(u_2 - u_1)} \quad (2)$$

gdzie: f_u – współczynnik konwersji z uwagi na wilgotność odniesioną do masy,
 u_1 – masowa zawartość wilgoci: pierwszy zestaw warunków,
 u_2 – masowa zawartość wilgoci: drugi zestaw warunków.

Czynnik konwersji F_m z uwagi na zawartość wilgoci, podaną jako stosunek objętości wody w porach badanej próbki do objętości próbki, jest wyrażony wzorem

$$F_m = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)} \quad (3)$$

gdzie: f_ψ – współczynnik konwersji z uwagi na wilgotność odniesioną do objętości,
 ψ_1 – objętościowa zawartość wilgoci: pierwszy zestaw warunków,
 ψ_2 – objętościowa zawartość wilgoci: drugi zestaw warunków.

W niniejszych określeniach masową zawartość wilgoci należy rozumieć jako stosunek masy wody zawartej w próbce w określonych warunkach do masy próbki wysuszonej do stałej masy, a objętościową zawartość wilgoci jako stosunek objętości wody zawartej w próbce w określonych warunkach do objętości próbki.

Jak widać z powyższych wzorów, czynnik konwersji jest funkcją rosnącą różnicy zawartości wilgoci w próbce w warunkach badania i przyjętych warunkach eksploatacji. Jeżeli konwersja jest wykonywana w warunkach wyższej wilgotności, a tak jest z reguły, wówczas czynnik konwersji jest większy od jedności, czyli powiększa obliczeniową wartość współczynnika przewodzenia ciepła. Wielkość czynnika konwersji zależy ponadto od współczynnika konwersji f_{ψ} , którego wartość przedmiotowa norma podaje jako wartość specyficzną dla poszczególnych rodzajów materiałów (załącznik A do przedmiotowej normy, tablice od A.15 do A.23 łącznie).

Współczynnik konwersji należy interpretować jako miernik wrażliwości przewodności cieplnej danego wyrobu budowlanego na zmianę wilgotności materiału. Im większa jest wartość tego współczynnika, tym bardziej zwiększa się przewodność cieplna materiału w wyniku zawilgocenia. Ze zróżnicowania współczynników konwersji wynika także wniosek, że ta wrażliwość nie jest taka sama dla różnych materiałów przegród.

Odnosząc się do zakresu zmian współczynnika konwersji należy stwierdzić, że współczynnik konwersji ze względu na objętościową zmianę zawilgocenia zawiera się w przedziale od 1,8 (płyty z wełny drzewnej) do 6,0 (korek, poliuretan). Współczynnik konwersji z uwagi na masową zmianę zawilgocenia zawiera się natomiast w przedziale od 2,6 (elementy betonowe na kruszywie keramzytowym) do 10 (elementy ceramiczne wypalane i silikatowe).

W drugiej kolumnie tabel A.15 – A.23 podano ponadto wartość graniczną zawartości wilgoci w próbce, powyżej której nie można korzystać z podanych współczynników konwersji. Te graniczne zawartości wilgoci dla poszczególnych grup materiałów i wyrobów budowlanych wymienionych w przedmiotowej normie przyjęto w sposób zróżnicowany jako:

- 0,1 lub 0,15 w odniesieniu do objętościowej zawartości wilgoci,
- 0,02 – 0,25 w odniesieniu do masowej zawartości wilgoci.

Podane zawartości wilgoci określają zatem zakres stosowania wzorów normowych, który można uznać za umiarkowanie szeroki, gdyż w przypadku większości wyrobów znacznie wykraczający poza ich maksymalną wilgotność sorpcyjną.

Niektóre wyroby (perlit, keramzyt, wermikulit – w stanie luzem) mają ponadto stosunkowo małą zawartość wilgoci objętą konwersją współczynnika przewodzenia ciepła, gdyż wynoszącą zaledwie 2% masy materiału. Najwyraźniej autorom normy brakowało wyników badań, które pozwoliłyby określić współczynnik konwersji w zakresie szerszym, przynajmniej takim, jak dla pozostałych materiałów.

3. Charakterystyka badań własnych przewodności cieplnej materiałów o sorpcyjnej i ponadsorpcyjnej zawartości wilgoci

Badania przewodności cieplnej materiałów o zróżnicowanej zawartości wilgoci, wykonane w ramach tematu NF-39 [2–5], objęły następujące rodzaje materiałów:

- betony komórkowe piaskowe i popiołowe,
- styropiany zwykłe (EPS),
- styropiany EPS z dodatkiem pyłu grafitowego,
- styropiany EPS o obniżonej chłonności wilgoci,
- polistyren ekstrudowany (XPS),

- pianka poliuretanowa,
- wełna mineralna dachowa.

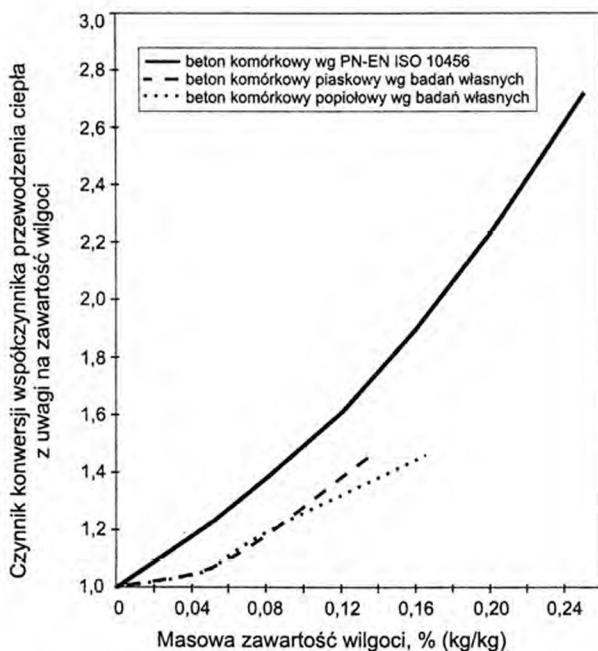
Określono przewodność cieplną betonów komórkowych przy wilgotności sorpcyjnej i ponadsorpcyjnej, natomiast w przypadku pozostałych materiałów – będących izolacjami cieplnymi – ograniczono się do wilgotności ponadsorpcyjnej, gdyż znikoma wilgotność sorpcyjna tych materiałów nie wpływa na ich przewodność cieplną.

Na potrzeby niniejszej publikacji wyniki omawianych badań zostały podane w formie czynników konwersji i przedstawione w dalszej części artykułu.

4. Porównanie czynników konwersji współczynnika przewodzenia ciepła z uwagi na zawartość wilgoci, określonych zgodnie z PN-EN ISO 10456 i na podstawie wyników badań własnych

Wielkości czynnika konwersji współczynnika przewodzenia ciepła na podstawie wyników badań własnych określone zostały jako iloraz wartości współczynnika przewodzenia ciepła przy określonej zawartości wilgoci w danym materiale przez wartość tego współczynnika dla materiału w stanie suchym.

Poniżej, na rysunkach 1–8 oraz w tablicy 1 przedstawiono porównanie czynników konwersji określonych zgodnie z PN-EN ISO 10456 i na podstawie wyników badań własnych.

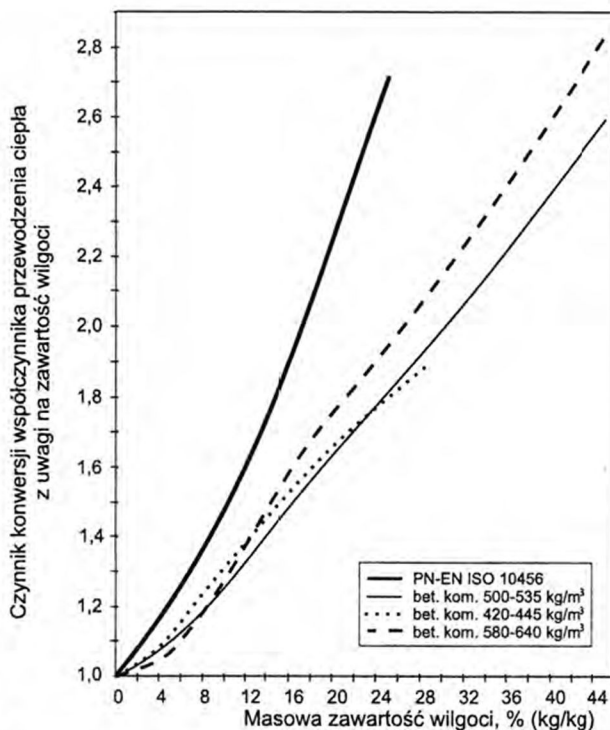


Rys. 1. Zależność czynnika konwersji F_m betonów komórkowych od masowej zawartości wilgoci, określona na podstawie PN-EN ISO 10456 i wyników badań własnych

Fig. 1. Dependence of conversion factor, F_m , on mass by mass moisture content, determined for cellular concretes based on PN-EN ISO 10456 and own test results

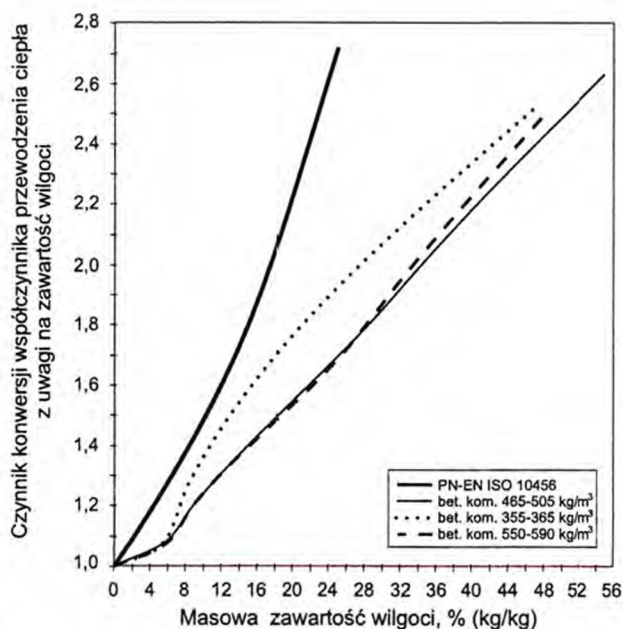
Rys. 2. Zależność czynnika konwersji F_m od masowej zawartości wilgoci, określona dla betonów komórkowych piaskowych o różnych gęstościach – na podstawie PN-EN ISO 10456 i wyników badań własnych

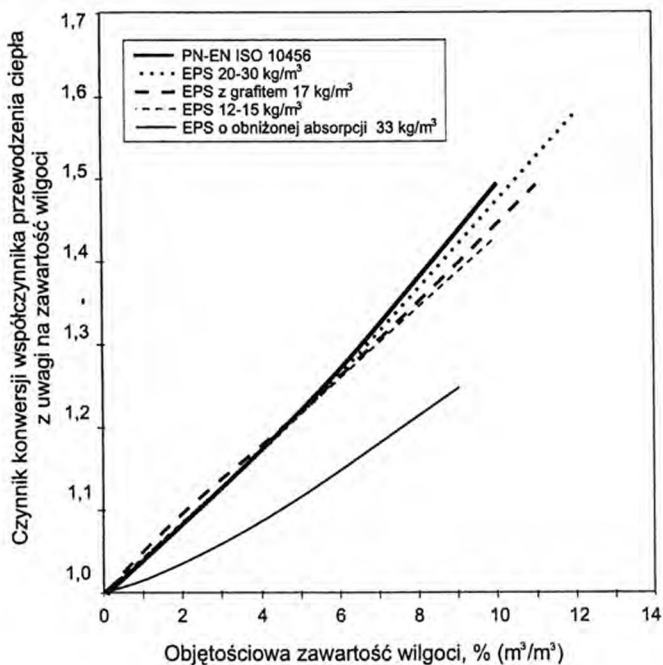
Fig. 2.. Dependence of conversion factor, F_m , on mass by mass moisture content, determined for sand cellular concretes – based on PN-EN ISO 10456 and own test results



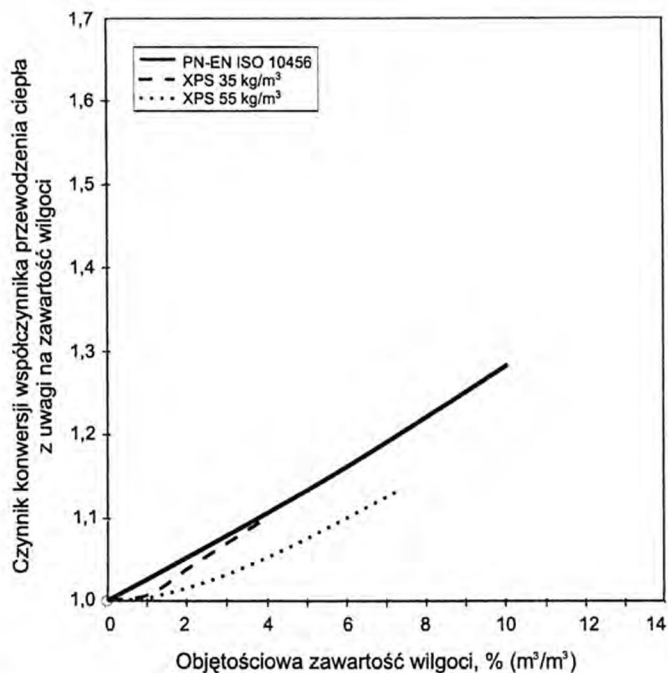
Rys. 3. Zależność czynnika konwersji F_m od masowej zawartości wilgoci, określona dla betonów komórkowych popiołowych o różnych gęstościach – na podstawie PN-EN ISO 10456 i wyników badań własnych

Fig. 3. Dependence of conversion factor F_m on mass by mass moisture content, determined for ash cellular concretes – based on PN-EN ISO 10456 and own test results



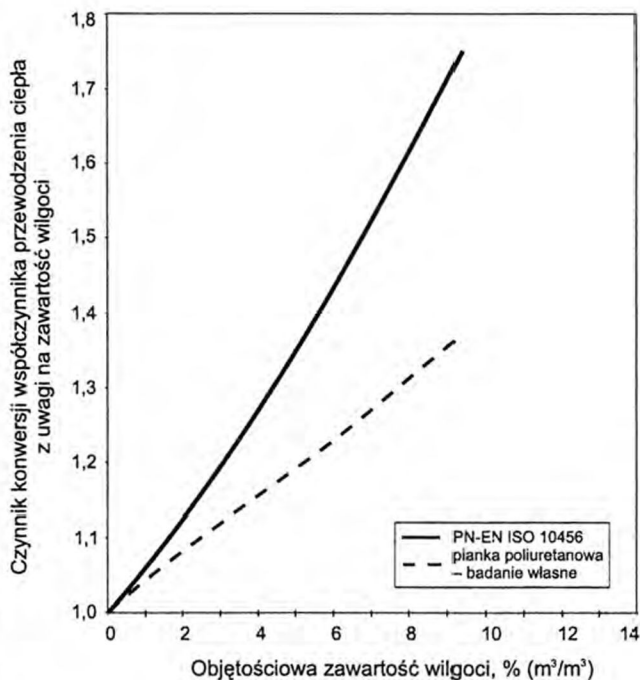


Rys. 4. Zależność czynnika konwersji F_m od objętościowej zawartości wilgoci, określona dla styropianów EPS o różnych gęstościach – na podstawie PN-EN ISO 10456 i wyników badań własnych Fig. 4. Dependence of conversion factor, F_m , on volume by volume moisture content, determined for expanded polystyrene (EPS) – based on PN-EN ISO 10456 and own test results

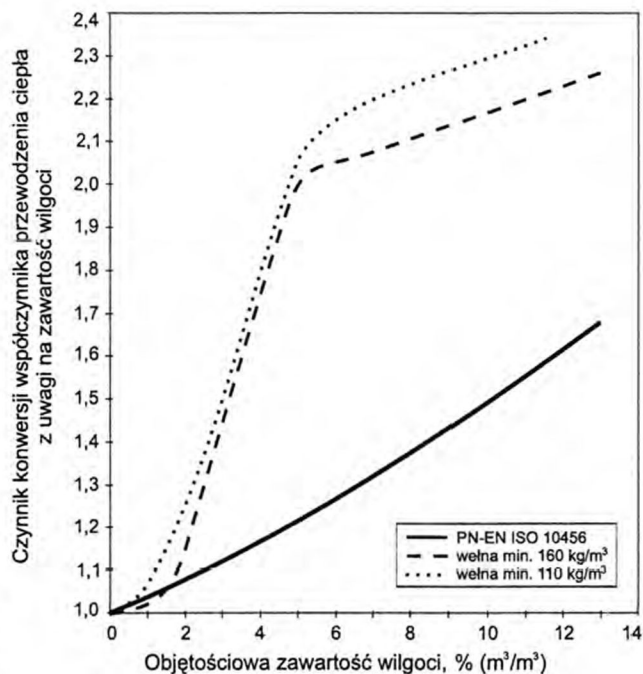


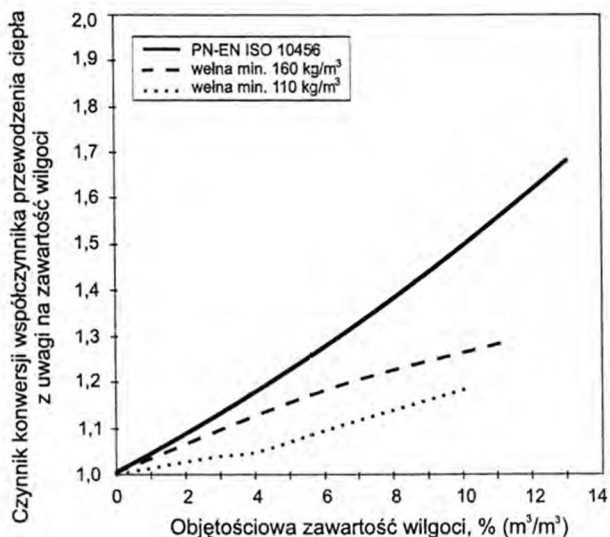
Rys. 5. Zależność czynnika konwersji F_m od objętościowej zawartości wilgoci, określona dla polistyrenu ekstrudowanego XPS o różnych gęstościach – na podstawie PN-EN ISO 10456 i wyników badań własnych Fig. 5. Dependence of conversion factor, F_m , on volume by volume moisture content, determined for extruded polystyrene (XPS) – based on PN-EN ISO 10456 and own test results

Rys. 6. Zależność czynnika konwersji F_m pianki poliuretanowej sztywnej od objętościowej zawartości wilgoci, określona na podstawie PN-EN ISO 10456 i wyników badań własnych
 Fig. 6. Dependence of conversion factor, F_m , on volume moisture content, determined for extruded polystyrene (XPS) – based on PN-EN ISO 10456 and own test results



Rys. 7. Zależność czynnika konwersji F_m wełny mineralnej dachowej od objętościowej zawartości wilgoci, określona na podstawie PN-EN ISO 10456 i wyników badań własnych (równomierne rozłożenie wilgoci w próbce)
 Fig. 7. Dependence of conversion factor, F_m , on volume moisture content, determined for roof mineral wool – based on PN-EN ISO 10456 and own test results (steady moisture lay out in a specimen)





Rys. 8. Zależność czynnika konwersji F_m od objętościowej zawartości wilgoci, określona dla wełny mineralnej dachowej na podstawie PN-EN ISO 10456 i wyników badań własnych (koncentracja wilgoci po zimnej stronie próbki)

Fig. 8. Dependence of conversion factor, F_m , on volume by volume moisture content, determined for roof mineral wool – based on PN-EN ISO 10456 and own test results (moisture concentration on cold side of specimen)

Porównanie wartości czynnika konwersji, określonego na podstawie PN-EN ISO 10456, z jego wartościami przyjętymi na podstawie wyników badań własnych wykonanych w latach 2002-2005 podczas realizacji tematu NF-39 wskazuje, że wartości te zachowują zróżnicowaną zgodność między sobą, a w szczególności:

- w przypadku betonów komórkowych, zarówno piaskowych jak i popiołowych, normowe czynniki konwersji są zawyżone dla wszystkich gęstości tych wyrobów, a wielkość tego zawyżenia zwiększa się wraz z zawartością wilgoci, dochodząc do 30–40% przy 10-procentowej zawartości wilgoci w materiale, zależąc ponadto od odmiany i gęstości,
- w przypadku płyt styropianowych EPS wartości normowe czynników konwersji są zawyżone dla odmian najlżejszych (12–15 kg/m³); styropiany o gęstości od 20 kg/m³ oraz z dodatkiem grafitu wykazują dobrą zbieżność z wielkościami normowymi – rozbieżności nie przekraczają 4% przy 10-procentowej zawartości wilgoci,
- w przypadku polistyrenu ekstrudowanego (XPS) o mniejszej gęstości (35 kg/m³) normowy czynnik konwersji jest zawyżony o 2–7% w zależności od zawartości wilgoci; XPS o gęstości 55 kg/m³ wykazuje znaczną zbieżność wyników badań z danymi PN-EN ISO 10456 w zakresie badanych wilgotności,
- w przypadku sztywnej pianki poliuretanowej rozbieżność między danymi PN-EN ISO 10456 a wynikami badań własnych narasta wraz ze wzrostem zawartości wilgoci; przy zawartości wilgoci wynoszącej 1% zawyżenie normowego czynnika konwersji wynosi 2%, a przy zawartości wilgoci 10% zawyżenie to wynosi już 30%,
- w przypadku wełny mineralnej o równomiernym rozkładzie wilgoci, tj. po krótkim, parogodzinnym czasie badania, występuje znaczne zaniżenie czynnika konwersji, dochodzące przy większych zawartościach wilgoci do 30–40%,

– w przypadku wełny mineralnej po długim, kilkusetgodzinnym czasie badania, prowadzącym do koncentracji wilgoci po zimnej stronie próbki, występuje zjawisko odwrotne, tj. zawyżanie normowego czynnika konwersji wraz ze wzrostem zawartości wilgoci, dochodzące do 25%, które jest silniejsze przy zastosowaniu wełny cięższej.

Tablica 1. Różnica czynników konwersji według PN-EN ISO 10456 i określonych na podstawie wyników badań własnych

Table 1. Difference between conversion factors determined in compliance with PN ISO 10456 and based on own tests results

Rodzaj materiału	Różnica, w %, wartości czynników konwersji wg PN-EN ISO 10456 i określonych na podstawie wyników badań własnych, przy zawartości wilgoci w próbce (% obj.):			
	1%	3%	6%	10%
Piaskowe betony komórkowe o gęstości 420–590 kg/m ³	+3	+15	+16	+30
Popiołowe betony komórkowe o gęstości 355–590 kg/m ³	+3	+13	+22	+40
Styropian (EPS):				
• o gęstości 12–15 kg/m ³	+2	+7	+9	+16
• o gęstości 20–30 kg/m ³	-2	-1	+1	+3
• o gęstości ok. 35 kg/m ³	0	0	+1	+4
i obniżonej absorpcji wody	0	0	+1	+4
• z dodatkiem pyłu grafitowego (100% granulek)	-1	0	+1	+1
Polistyren ekstrudowany (XPS) o gęstości:				
• 35 kg/m ³	+2	+4	+5	+7
• 55 kg/m ³	+1	+1	brak danych	brak danych
Pianka poliuretanowa sztywna o gęstości 50–70 kg/m ³	+2	+7	+16	+30
Dachowa wełna mineralna o równomiernym rozkładzie wilgoci i gęstości:				
• 110 kg/m ³	-3	-26	-41	-35
• 160 kg/m ³	+2	-24	-38	-31
Dachowa wełna mineralna o wilgoci skupionej po zimnej stronie próbki i gęstości:				
• 110 kg/m ³	+1	+3	+7	18
• 160 kg/m ³	+2	+9	+16	++25
Uwaga: znak „+” przy wielkości odchylenia oznacza, że wielkości czynnika konwersji określone zgodnie z PN-EN ISO 10456 są większe od wielkości określonych na podstawie wyników badań własnych, a znak „-”, że są mniejsze.				

5. Wnioski

Porównanie wartości czynników konwersji określonych na podstawie wyników badań własnych z wielkościami przyjętymi w PN-EN ISO 10456 prowadzi do następujących wniosków:

- w przypadku zdecydowanej większości materiałów przedmiotowa norma podaje zawyżone wielkości czynników konwersji, przy czym wielkość tego zawyżenia narasta z reguły wraz ze wzrostem zawartości wilgoci w badanej próbce i zależy ponadto w dużym stopniu od rodzaju materiału;
- czynnik konwersji zależy ponadto od gęstości danego materiału, a nawet od jego odmiany (np. piaskowy lub popiołowy beton komórkowy); stąd pomijanie gęstości i odmiany wyrobu przy określaniu czynnika konwersji w PN-EN ISO 10456 prowadzi do nieuniknionego zwiększania błędów przy ustalaniu tego czynnika;
- wartości obliczeniowe współczynnika przewodzenia ciepła określone zgodnie z PN-EN ISO 10456 należy zatem traktować jako pewne przybliżenie; wartości te służą do obliczeń umownych charakterystyk projektowych i są obarczone stosownym zapasem bezpieczeństwa, wskutek czego w obliczeniach symulacyjnych stanów termicznych budynków zawyżają na ogół człony związane z przenikaniem ciepła przez przegrody;
- do symulacji komputerowej stanów termicznych budynków postuluje się przyjęcie przewodności cieplnej materiałów odpowiadającej rzeczywistym warunkom wilgotnościowym ich użytkowania, a odpowiednie czynniki konwersji powinny zostać określone na podstawie wyników badań poszczególnych materiałów.

Bibliografia

- [1] PN-EN ISO 10456:2004 Materiały i wyroby budowlane. Procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych
- [2] Bobociński A: Ocena izolacyjności cieplnej zewnętrznych przegród budowlanych z uwagi na stan wilgotnościowy; temat badawczy NF-39, sprawozdanie końcowe za rok 2002, maszyn., biblioteka ITB
- [3] Bobociński A., Firkowicz-Pogorzelska K.: Metodyka badań i badania przewodności cieplnej materiałów o wilgotności ponadsorpcyjnej; temat badawczy NF-39, sprawozdanie końcowe za rok 2003, maszyn., biblioteka ITB
- [4] Bobociński A: Badania przewodności cieplnej materiałów termoizolacyjnych o ponadsorpcyjnej zawartości wilgoci; temat badawczy NF-39, sprawozdanie końcowe za rok 2004, maszyn., biblioteka ITB
- [5] Bobociński A: Obliczeniowa przewodność cieplna na potrzeby symulacji komputerowych stanów termicznych budynków; temat badawczy NF-39, sprawozdanie końcowe za rok 2005 oraz podsumowanie całości prac, maszyn., biblioteka ITB

CONVERSION FACTORS OF THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT IN VIEW OF MOISTURE CONTENT

Summary

This paper describes conversion factors of thermal conductivity coefficient in view of moisture content given in PN-EN ISO 10456. It presents also conversion factors based on own test results of thermal conductivity of materials with sorption and over sorption moisture content. These tests include the following materials: sand and ash cellular concretes, expanded and extruded polystyrene, rigid polyurethane foam and roof mineral wool. It has been found that conversion factors determines in compliance with PN-EN ISO 10456 are generally over estimated in relation to ones based on test results, but in different degree, depending on the type, variety and density of material.

Praca wpłynęła do Redakcji 13 V 2006