CZASOPISMO TECHNICZNE B
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

z. 1-B/2007
ISSN 0011-4561
ISSN 1897-628X

JERZY A. POGORZELSKI, KATARZYNA FIRKOWICZ-POGORZELSKA*

OPÓR CIEPLNY SZCZELIN POWIETRZNYCH Z POWŁOKĄ NISKOEMISYJNĄ

THERMAL RESISTANCE OF AIRSPACES WITH SURFACE COATED BY LOW EMISSIVITY FILM

Streszczenie

Niniejszy artykuł dotyczy problemów związanych z określaniem oporu cieplnego szczelin powietrznych, których powierzchnie pokryte są powłoką niskoemisyjną. Obecnie nie ma ani badawczych, ani obliczeniowych znormalizowanych metod oceny izolacyjności cieplnej takich układów. W artykule zamieszczono porównanie wyników badań oporu cieplnego w aparacie płytowym z osłoniętą płytą grzejną oraz obliczeń według EN ISO 6946. Wobec znacznych rozbieżności stwierdzono potrzebę prowadzenia dalszych badań.

Słowa kluczowe: opór cieplny, szczelina powietrzna, powłoka niskoemisyjna, izolacja refleksyjna

Abstract

The paper deals with the problems connected with assessment of thermal resistance of airspaces with surface coated by low emissivity film. Actually there are no standardised test or calculation methods for such assessment. In the paper the results of measurements the thermal resistance in guarded hot plate apparatus and calculation according to EN ISO 6946 were compared. Because of significant differences of the results of tests and calculations further works should be carried on.

Keywords: thermal resistance, airspace, low emissivity film, reflective insulation

* Prof. dr hab. inż. Jerzy A. Pogorzelski, dr n.t. Katarzyna Firkowicz-Pogorzelska, Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Fizyki Cieplnej, Warszawa.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

W ostatnich latach obserwuje się coraz większe zainteresowanie tzw. izolacjami refleksyjnymi, charakteryzującymi się szczelinami powietrznymi z jedną lub dwiema powierzchniami odbijającymi promieniowanie cieplne. Są to najczęściej:
- cienkie folie aluminiowe lub folie z tworzyw sztucznych o powierzchniach aluminizowanych lub pokrytych innymi powłokami odbijającymi,
- warstwy folii pęcherzykowej lub pianki z tworzywa sztucznego (np. polietylenowej), pokryte jedno- lub obustronnie powłoką odbijającą.

Powłoki odbijające cechują się wysokimi wartościami współczynnika odbicia, a jednocześnie niskimi wartościami emisyjności w zakresie promieniowania podczerwonego (cieplnego). Należy podkreślić, że powierzchnie dobrze odbijające światło widzialne nie muszą być „refleksyjne" dla promieniowania podczerwonego i nie muszą mieć niskiej emisyjności w tym zakresie długości fali.

Izolacje refleksyjne występują w postaci rulonów, arkuszy lub płyt. Wyroby te bywają stosowane:
- jako zewnętrzne warstwy odbijające, poprawiające izolacyjność cieplną wyrobów znajdujących się pod nimi,
- w połączeniu ze szczelinami powietrznymi, znajdującymi się z jednej lub obu stron izolacji refleksyjnej,
- jako paroizolacje lub wiatroizolacje itp.

Do chwili obecnej brak znormalizowanych metod oceny izolacyjności cieplnej wielowarstwowych układów szczelin powietrznych i izolacji refleksyjnych. W celu wypracowania takich metod i stworzenia odpowiednich dokumentów normatywnych powołano, w ramach europejskiego Komitetu Technicznego CEN/TC 89, specjalną grupę roboczą – TC 89/AHG.

Według przeglądu istniejącego stanu wiedzy, dokonanego przez tę grupę, obecnie stosowane są głównie:
1. Metoda obliczeniowa, która bazuje na zmierzonej wartości emisyjności powierzchni izolacji refleksyjnej i wykorzystuje uproszczoną metodę określania oporu cieplnego szczeliny powietrznej, podaną w PN-EN-ISO 6946, Załącznik B, p. B.2 [1]. W ocenie ww. grupy roboczej dokładność tej metody jest niska.
2. Metody pomiarowe, wśród których najbardziej wiarygodne wyniki daje określanie oporu cieplnego wielowarstwowych układów szczelin powietrznych i powłok niskoemisyjnych w tzw. skrzynce grzejnej (HOT BOX) [2]. Jednak metoda ta jest czasochłonna i kosztowna (badanie jednej próbki trwa kilka dni).

2. Opór cieplny szczelin powietrznych według PN-EN ISO 6946

Zgodnie z PN-EN ISO 6946:1994 Załącznik B (normatywny), p. B.2, opór cieplny, R_g, niewentylowanej szczeliny powietrznej o długości i szerokości 10 razy większej niż grubość dany jest wzorem

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \tag{1}$$

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

gdzie:

h_a – współczynnik przejmowania ciepła przez przewodzenie/konwekcję,

h_r – współczynnik przejmowania ciepła przez promieniowanie.

Współczynnik przejmowania ciepła przez promieniowanie oblicza się ze wzoru

$$h_r = E \cdot h_{r0} \tag{2}$$

gdzie:

E – wynikowa emisyjność układu powierzchni,

h_{r0} – współczynnik przejmowania ciepła przez promieniowanie na powierzchni ciała czarnego, wg tablicy A.1 w normie PN-EN ISO 6946 [1].

Wynikowa emisyjność układu powierzchni

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \tag{3}$$

gdzie:

ε_1, ε_2 – emisyjności powierzchni ograniczających szczelinę powietrzną.

Współczynnik przejmowania ciepła przez przewodzenie i konwekcję zależy od kierunku przepływu ciepła (poziomo, pionowo w górę lub pionowo w dół) oraz od grubości szczeliny. Sposób jego obliczania, podany w normie [1], jest następujący:

– w przypadku poziomego przepływu ciepła – h_a [W/(m^2·K)] jest większą z dwóch wartości: 1,25 i 0,025/d,
– w przypadku przepływu ciepła pionowo w górę – h_a [W/(m^2·K)] jest większą z dwóch wartości: 1,95 i 0,025/d,
– w przypadku przepływu ciepła pionowo w dół – h_a [W/(m^2·K)] jest większą z dwóch wartości: 0,12 $d^{-0,44}$ i 0,025/d,

gdzie:

d – grubość szczeliny powietrznej.

3. Badania oporu cieplnego szczelin powietrznych z powłokami niskoemisyjnymi, wykonywane w Zakładzie Fizyki Cieplnej ITB

3.1. Obiekty badań i zastosowana aparatura

W Zakładzie Fizyki Cieplnej ITB wykonano serię badań mających na celu oszacowanie wpływu powłok niskoemisyjnych na opór cieplny niewentylowanych szczelin powietrznych i ich układów oraz dokonano oceny możliwości stosowania metody obliczeniowej zgodnej z PN-EN ISO 6946 [1] do określania ich izolacyjności cieplnej.

Opór cieplny szczelin i ich układów badano w stanie ustalonym, w aparacie płytowym z osłoniętą płytą grzejną, działającym na podobnej zasadzie jak skrzynka grzejna, ale charakteryzującym się mniejszymi rozmiarami i znacznie krótszym czasem badania.

Szczeliny powietrzne, w formie kwadratowych otworów wyciętych w cienkich płytach styropianowych, umieszczane były między płytą grzejną i płytą chłodzącą aparatu, a różnica temperatury na grubości szczeliny wynosiła 20 K. Aparat dawał możliwość wytworzenia zarówno pionowego, jak i poziomego strumienia cieplnego przez szczelinę.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Jako powłoki niskoemisyjne zastosowano:
- folię aluminiową o emisyjności $\varepsilon = 0{,}09$,
- matę z pianki polietylenowej o grubości 5 mm, obustronnie pokrytą aluminizowaną folią o emisyjności $\varepsilon = 0{,}25$.

Badane układy to:
- pojedyncza szczelina powietrzna bez powłoki niskoemisyjnej oraz z powłoką od strony płyty grzejnej,
- układ dwóch szczelin powietrznych przedzielonych folią lub matą,

w obu przypadkach przy dwóch kierunkach strumienia cieplnego: poziomym i pionowym w górę.

We wszystkich przypadkach drugą powierzchnię ograniczającą szczelinę powietrzną stanowiła płyta aparatu. Przyjęto, że emisyjność tej powierzchni wynosi 0,9.

3.2. Wyniki badań pojedynczych szczelin powietrznych

Porównanie wyników badań oporu cieplnego pojedynczej szczeliny powietrznej, której obie powierzchnie charakteryzują się emisyjnością 0,9 oraz takiej samej szczeliny, której jedną z powierzchni stanowi powłoka niskoemisyjna, przy dwóch kierunkach przepływu ciepła, podano w tablicach 1 i 2. Grubość szczeliny wynosiła 24 mm. Względną różnicę wartości oporu cieplnego określano w stosunku do oporu szczeliny bez powłoki niskoemisyjnej.

Tablica 1

Zmierzony opór cieplny szczeliny powietrznej bez powłoki i z powłoką niskoemisyjną o emisyjności $\varepsilon_2 = 0{,}09$

Kierunek ruchu ciepła	Opór cieplny [m^2·K/W] szczeliny przy emisyjności powierzchni		Stosunek oporu szczeliny z powłoką niskoemisyjną i bez powłoki
	$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0{,}9$	$\varepsilon_1 = 0{,}9$; $\varepsilon_2 = 0{,}09$	
Poziomy	0,21	0,60	2,9
Pionowy w górę	0,17	0,42	2,5

Tablica 2

Zmierzony opór cieplny szczeliny powietrznej bez powłoki i z powłoką niskoemisyjną o emisyjności $\varepsilon_2 = 0{,}25$

Kierunek ruchu ciepła	Opór cieplny [m^2·K/W] szczeliny przy emisyjności powierzchni		Stosunek oporu szczeliny z powłoką niskoemisyjną i bez powłoki
	$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0{,}9$	$\varepsilon_1 = 0{,}9$; $\varepsilon_2 = 0{,}25$	
Poziomy	0,21	0,39	1,9
Pionowy w górę	0,17	0,31	1,8

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Z analizy uzyskanych rezultatów wynikają następujące wnioski:

1. Opór cieplny szczelin powietrznych przy poziomym ruchu ciepła jest nieco większy niż przy ruchu ciepła pionowo w górę. Jest to zrozumiałe, ponieważ w poziomej szczelinie większą rolę odgrywa transport ciepła na drodze konwekcji.
2. Pokrycie jednej z powierzchni szczeliny, tej od strony ciepłej, powłoką niskoemisyjną powoduje znaczący wzrost oporu cieplnego szczeliny powietrznej – tym większy, im mniejsza jest emisyjność powłoki.

3.3. Wyniki badań układu dwóch szczelin powietrznych przedzielonych matą

Układ dwóch szczelin powietrznych, o grubości 24 mm każda, przedzielonych matą, której obie powierzchnie stanowiły powłoki niskoemisyjne o emisyjności 0,25, badano w aparacie płytowym przy różnicy temperatury na grubości układu wynoszącej 20 K.

Opór cieplny samej maty wyznaczono wcześniej, również w aparacie płytowym – jego wartość wynosiła 0,14 $m^2 \cdot K/W$.

Dla tego samego układu obliczono całkowity opór cieplny wg normy [1] – jako sumę oporów cieplnych dwóch szczelin oraz maty, stosując wzory (1)–(3) oraz normowe wartości współczynnika przejmowania ciepła przez przewodzenie/konwekcję. Wartość współczynnika przejmowania ciepła przez promieniowanie na powierzchni ciała czarnego przyjęto równą 5,1 $W/(m^2 \cdot K)$, odpowiadającą średniej temperaturze układu 10°C.

Porównanie wyników badań i obliczeń, zgodnie z normą [1], dla dwóch kierunków strumienia cieplnego, podano w tabl. 3. Względną różnicę określono w stosunku do wartości uzyskanych w badaniach.

Tablica 3

Porównanie wyników badań i obliczeń oporu cieplnego układu dwóch szczelin powietrznych przedzielonych matą o powierzchniach z powłokami niskoemisyjnymi

Kierunek ruchu ciepła	Opór cieplny [$m^2 \cdot K/W$] układu: szczelina – mata – szczelina		Względna różnica
	z badań	wg PN-EN ISO 6946	
Poziomy	0,95	0,94	1%
Pionowy w górę	0,64	0,77	20%

Wyniki badań i obliczeń są zgodne w przypadku przepływu ciepła w kierunku poziomym, jednak przy pionowym ruchu ciepła obliczenia normowe dają wynik znacznie większy.

Jeszcze większe różnice zaobserwowano w przypadku szczelin powietrznych przedzielonych folią aluminiową – zarówno przy poziomym, jak i pionowym ruchu ciepła, przy czym obliczenia wg normy również dawały większe wyniki.

Istnieje więc niebezpieczeństwo, że obliczeniowa ocena izolacyjności cieplnej układów szczelin powietrznych z powłokami niskoemisyjnymi da wynik zbyt optymistyczny, a uzyskane wartości oporu cieplnego będą zawyżone.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

4. Kilka uwag na temat metodyki określania właściwości cieplnych wyrobów budowlanych i problemów przy jej zastosowaniu do izolacji refleksyjnych

W normach i aprobatach technicznych krajów UE na konkretne wyroby podawane są dwie wartości podstawowych właściwości cieplnych, tzn. współczynnika przewodzenia ciepła lub oporu cieplnego materiałów i wyrobów:

– wartość deklarowana, służąca kontroli jakości produkcji, odpowiadająca warunkom laboratoryjnym,
– wartość obliczeniowa, służąca projektowaniu, odpowiadająca warunkom stosowania materiału w budynku.

W tak zwanych zharmonizowanych normach wyrobów i w normie EN ISO 10456 [3] podane są algorytmy obliczeń tych wartości oraz reguły zaokrąglania wyników.

Wartości deklarowane określane są na podstawie statystycznego opracowania wyników badań w laboratoryjnych warunkach odniesienia.

Wartości obliczeniowe otrzymuje się najczęściej przez konwersję wartości deklarowanych na warunki stosowania materiału lub wyrobu, chociaż norma [3] zaleca wykonywanie, w miarę możliwości, badań w warunkach zbliżonych do warunków eksploatacji.

W przypadku izolacji refleksyjnych podstawowym parametrem charakteryzującym wyrób, mającym decydujący wpływ na wynik obliczeń oporu cieplnego, jest emisyjność w podczerwieni. Wielkość ta powinna być określona na drodze wielokrotnych pomiarów, z uwzględnieniem rozrzutu statystycznego wyników.

Problemem może być sam pomiar emisyjności powierzchni, wymagający kosztownej, specjalistycznej aparatury – spektrometru. W Polsce wykonuje się właściwie tylko pomiary emisyjności powierzchni szyb, wg normy [4]. Brak jest doświadczenia z określaniem emisyjności powierzchni innych wyrobów.

Dalszym problemem jest starzenie się powłok niskoemisyjnych, tzn. zmiana ich emisyjności w czasie, na skutek utleniania. Zjawisko to powinno być uwzględnione przy określaniu wartości obliczeniowej emisyjności.

Statystyczna ocena wyników określania oporu cieplnego układu szczelin powietrznych z powłokami niskoemisyjnymi nie jest możliwa wówczas, gdy mamy do czynienia tylko z jednym rezultatem: obliczenia wg normy [1] lub badania w skrzynce grzejnej (ze względu na koszt). Na tym tle atrakcyjna wydaje się metoda badania takich układów w aparacie płytowym – niewielkie rozmiary próbek oraz relatywnie niski koszt i czas pojedynczego badania pozwoli na łatwe uzyskanie kilku, co najmniej pięciu, wyników.

5. Podsumowanie

Zarówno z badań, jak i z obliczeń wynika, że zastosowanie powłok niskoemisyjnych może mieć znaczący wpływ na opór cieplny szczelin powietrznych i ich układów. Pojawia się jednak cały szereg problemów, związanych z określeniem wielkości tego wpływu. Są to przede wszystkim:

– trudności z dobraniem właściwej metodyki szacowania oporu cieplnego takich obiektów, wobec braku znormalizowanych czy też nawet ogólnie przyjętych metod pomiarowych lub obliczeniowych,
– rozbieżności wyników w zależności od przyjętej metody,

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

– zależność wyników obliczeń od przyjętych danych, zwłaszcza emisyjności oraz trudności z jej pomiarem.

Wydaje się, że wartości oporu cieplnego uzyskiwane z obliczeń według EN ISO 6946 są zawyżone.

Postuluje się ocenę izolacyjności cieplnej szczelin powietrznych z powłokami niskoemisyjnymi na podstawie badań oporu cieplnego w aparacie płytowym. Są to badania w małej skali, pozwalające na stosunkowo szybkie określenie oporu cieplnego różnych, nawet kilkuwarstwowych układów szczelin i izolacji refleksyjnych. W Zakładzie Fizyki Cieplnej ITB jest możliwość prowadzenia badań oporu cieplnego przy różnym kierunku przepływu ciepła, a także różnych wartościach różnicy temperatury na grubości układu. Badania takie będą kontynuowane.

Literatura

[1] PN-EN ISO 6946:2004 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
[2] PN-EN ISO 8990:1998 Izolacja cieplna. Oznaczanie właściwości związanych z przenikaniem ciepła w stanie ustalonym. Kalibrowana i osłonięta skrzynka grzejna.
[3] PN-EN ISO 10456:2004 Materiały i wyroby budowlane. Procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych.
[4] PN-EN 12898:2004 Szkło w budownictwie. Określanie emisyjności.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ