

Katarzyna Firkowicz-Pogorzelska*

BADANIE ODPORNOŚCI NA CYKLICZNE ZAMRAŻANIE-ODMRAŻANIE MATERIAŁÓW DO IZOLACJI CIEPLNEJ STROPODACHÓW O ODWRÓCONYM UKŁADZIE WARSTW

Artykuł dotyczy metodyki badania materiałów stosowanych lub przeznaczonych do stosowania jako izolacja cieplna stropodachów o odwróconym układzie warstw. Podano wyniki badania odporności na zamrażanie-odmrażanie płyt z polistyrenu ekstrudowanego XPS. Sformułowano uwagi krytyczne odnośnie do warunków badania i procedury badawczej opisanej w PN-EN 12091.

1. Wprowadzenie

Stropodach o odwróconym układzie warstw (często nazywany krócej stropodachem odwróconym) to taki, w którym izolacja cieplna umieszczona jest nad izolacją przeciwwilgociową. Właściwy dobór materiału izolacji cieplnej do stropodachów odwróconych jest sprawą bardzo istotną, gdyż w stropodachach tych płyty materiału izolacyjnego są szczególnie narażone na zawilgocenie, na skutek przecieków wody pod płyty, a następnie przez dyfuzję pary wodnej, w wyniku której uzyskują znacznie wyższą wilgotność niż przy całkowitym zanurzeniu w wodzie. Do tego może się dołączyć destrukcyjne działanie niskiej temperatury, powodując zamarzanie wody zawartej w materiale termoizolacyjnym. Zjawiska te mogą wpływać na pogorszenie zarówno właściwości termoizolacyjnych, jak i mechanicznych materiału.

Tradycyjnie do izolacji cieplnej stropodachów odwróconych stosowany jest polistyren ekstrudowany (XPS), charakteryzujący się wysoką odpornością mechaniczną oraz niewielką nasiąkliwością wodą. W ostatnich latach niektórzy producenci styropianu „zwykłego” (EPS) zaczęli wprowadzać na rynek nowe odmiany płyt styropianowych, charakteryzujące się zwiększoną odpornością na działanie wilgoci. Wyroby te są zalecane przez producentów jako izolacja cieplna stropodachów odwróconych.

W 2008 roku w Zakładzie Fizyki Ciepłej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska, w ramach działalności statutowej podjęto pracę mającą na celu określenie wpływu ekstremalnych

* dr n.t. – Zakład Fizyki Ciepłej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska

warunków, polegających na cyklicznej, skokowej zmianie temperatury i wilgotności na właściwości materiałów przeznaczonych do izolacji cieplnej stropodachów odwróconych.

Ostatecznym efektem pracy ma być sformułowanie kryteriów właściwego doboru materiałów do tego celu oraz wytycznych projektowania i wykonywania stropodachów odwróconych.

2. Metodyka badania materiałów do izolacji cieplnej stropodachów odwróconych

Zgodnie z projektem wytycznych do europejskich aprobat technicznych ETAG 031 [1] na systemy izolacji cieplnej stropodachów odwróconych (Inverted Roofs Insulation Kits), podstawą do kwalifikacji materiału jako przydatnego do izolacji cieplnej stropodachów odwróconych jest wynik badania odporności na cykliczne zamrażanie-odmrażanie, przeprowadzonego w sposób ujęty w normie PN-EN 12091 [2]. Miarą odporności na zamrażanie-odmrażanie jest ilość wody wchłonięta przez wyrób podczas 300 cykli oraz zmiana wytrzymałości na ściskanie lub naprężenia ściskającego przy 10-procentowym odkształceniu względnym po odbyciu cykli.

W projekcie ETAG 031 [1] przewidziano dwa rodzaje materiałów do izolacji cieplnej stropodachów odwróconych:

- polistyren ekstrudowany (XPS),
- styropian (EPS).

Norma PN-EN 12091:2000 *Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Określanie odporności na zamrażanie-odmrażanie* [2] zawiera opis urządzeń i procedur do określania wpływu następujących po sobie cykli zamrażania w środowisku suchym, w powietrzu o temperaturze -20°C i odmrażania w środowisku mokrym, tj. w wodzie o temperaturze 20°C , na właściwości mechaniczne wyrobu i ilość zawartej w nim wilgoci.

Sprawdzanie odporności na cykliczne zamrażanie-odmrażanie poprzedzone jest przez jedno z podanych niżej badań:

- badanie absorpcji wody przy długotrwałej dyfuzji pary wodnej, według PN-EN 12088 [3],
- badanie nasiąkliwości wodą przy długotrwałym całkowitym zanurzeniu, według PN-EN 12087 [4].

W skład aparatury do badań wchodzi:

- komora mroźnicza o stałej temperaturze $(-20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$,
- pojemnik z wodą o stałej temperaturze $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, wyposażony w urządzenie utrzymujące badane próbki w określonej pozycji.

Przeznaczone do badań próbki należy umieścić w komorze mroźniczej i pozostawić przez jedną godzinę w temperaturze $(-20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. Następnie należy je wyjąć z komory i zanurzyć w wodzie, utrzymując temperaturę $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ przez jedną godzinę. Badanie należy kontynuować do osiągnięcia 300 cykli.

Na okres przerw dłuższych niż jedna godzina, na przykład w nocy lub podczas weekendu, próbki należy pozostawić w komorze mroźniczej.

Po zakończeniu badania należy określić absorpcję wody podczas 300 cykli oraz zmianę zachowania przy ścisaniu, według PN-EN 826 [5], dwóch zestawów próbek:

mokrych oraz wysuszonych do stałej masy, w stosunku do próbek oryginalnego wyrobu. Metodyka podana w normie [2] dopuszcza zarówno możliwość ręcznego przekładania próbek z komory zimnej do ciepłej i odwrotnie (z przerwami na dni wolne od pracy), jak i zastosowanie komory automatycznej, w której zmiany rodzaju i temperatury otoczenia próbki przebiegają w sposób ciągły, bez przerw. Zgodnie z informacją uzyskaną przez autorkę artykułu, obecnie większość laboratoriów stosuje komory automatyczne.

3. Przebieg badań odporności na cykliczne zamrażanie-odmrażanie w Laboratorium Fizyki Ciepłej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska

Celem pierwszego etapu pracy było porównanie absorpcji wody podczas cyklicznego zamrażania-odmrażania metodą automatyczną i ręczną.

Laboratorium Fizyki Ciepłej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska LFS (do końca 2008 r. Laboratorium Izolacji Termicznych LF) od kilku lat dysponuje automatyczną komorą do badań odporności na zamrażanie-odmrażanie materiałów do izolacji cieplnej.

Do badań mrozoodporności metodą ręczną potrzebne są dwa urządzenia: pojemnik z ciepłą wodą oraz komora mroźnicza. Oba urządzenia zostały wykonane na zlecenie w ramach realizacji tematu statutowego.

Po wykonaniu badania absorpcji wody przy długotrwałej dyfuzji pary wodnej – według PN-EN 12088 [4] – na dwóch próbkach płyt z polistyrenu ekstrudowanego XPS, jedną z tych próbek poddano 300 cyklom zamrażania-odmrażania w automatycznej komorze, a drugą – metodą ręczną. Badanie metodą ręczną polegało na przekładaniu próbki z wanny z wodą do komory mroźniczej i odwrotnie, z pozostawianiem próbki w mroźni na noc i weekendy, zgodnie z PN-EN 12091 [2]. Ten sposób postępowania powodował, że całkowity czas przebywania próbki w powietrzu o temperaturze -20°C był znacznie dłuższy od czasu przebywania próbki w wodzie o temperaturze 20°C .

Badanie metodą ręczną trwało około 15 tygodni. Po mniej więcej 20 cyklach obie próbki ważono. Pozwoliło to na zbadanie tempa i przebiegu zmian ilości zaabsorbowanej wody w funkcji czasu.

Następnym etapem było badanie odporności płyt z polistyrenu ekstrudowanego na cykliczne zamrażanie-odmrażanie (po badaniu absorpcji wody przy długotrwałej dyfuzji pary wodnej) metodą ręczną, ale nieco zmodyfikowaną w stosunku do warunków podanych w PN-EN 12091 [2]. Modyfikacja polegała na zrównaniu okresów przechowywania próbki w wodzie o temperaturze 20°C oraz w powietrzu o temperaturze -20°C . Również w tym przypadku po około 20 cyklach ważono próbkę w celu określenia dynamiki procesu absorpcji wody, a w szczególności, jaki wpływ na ten proces ma długość okresów zamrażania.

W ramach omawianej pracy zajmowano się głównie wpływem cyklicznego zamrażania-odmrażania na ilość zaabsorbowanej wody, od której zależy zmiana właściwości cieplnych materiału. Zmiana właściwości mechanicznych w wyniku cykli nie była przedmiotem badań, ponieważ – jak stwierdzono na podstawie badań wcześniejszych – wpływ ten jest niewielki.

4. Wyniki badań absorpcji wody podczas cyklicznego zamrażania-odmrażania metodą automatyczną i ręczną

Ze względu na to, że badania odporności na cykliczne zamrażanie-odmrażanie są długotrwałe, w niniejszym artykule można było zaprezentować jedynie wyniki badań polistyrenu ekstrudowanego XPS. Podczas pisania artykułu badania styropianu EPS jeszcze trwały, a ich wyniki będą, być może, przedmiotem kolejnej publikacji.

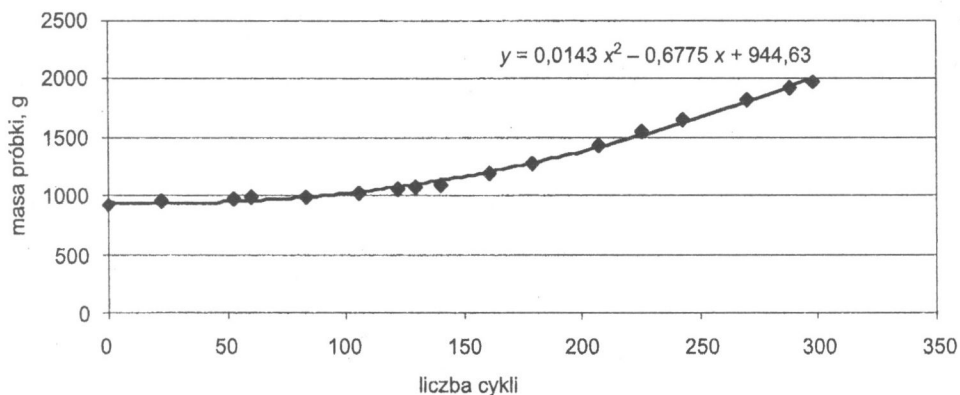
Wyniki badania absorpcji wody podczas 300 cykli zamrażania-odmrażania płyt z polistyrenu ekstrudowanego XPS, realizowanych w automatycznej komorze oraz przy ręcznym przekładaniu próbki, podano w tablicy 1.

Tablica 1. Absorpcja wody po 300 cyklach zamrażania-odmrażania
Table 1. Water absorption after 300 freeze-thaw cycles

| Metoda | Absorpcja wody | |
|-----------------------|---|--|
| | w stosunku do masy $W_m, \% (kg/kg)$ | w stosunku do objętości $W_v, \% (m^3/m^3)$ |
| Automatyczna | 115,0 | 4,23 |
| Ręczna wg PN-EN 12091 | 33,5 | 1,27 |

Z porównania obu metod wynika, że zastosowanie komory automatycznej powoduje około trzykrotnie większą absorpcję wody niż użycie metody ręcznej.

Na rysunku 1 pokazano przebieg zależności masy próbki poddanej cyklicznemu zamrażaniu-odmrażaniu w automatycznej komorze od liczby przebytych cykli, tzn. od czasu trwania badania.

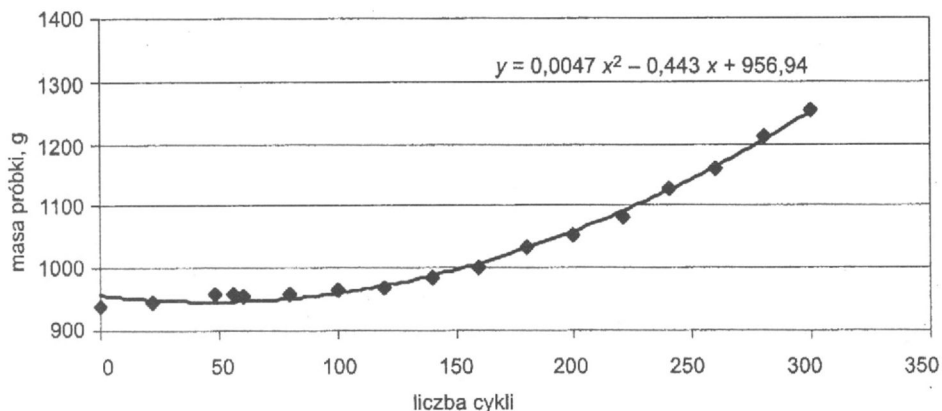


Rys. 1. Zależność masy próbki poddanej cyklicznemu zamrażaniu-odmrażaniu w automatycznej komorze od liczby cykli

Fig. 1. The dependence of mass of specimen exposed to cyclic freeze-thaw in automatic chamber on cycles number

Masa próbki, a więc również ilość zaabsorbowanej wody, rośnie w miarę upływu czasu, a zależność można opisać wielomianem stopnia drugiego.

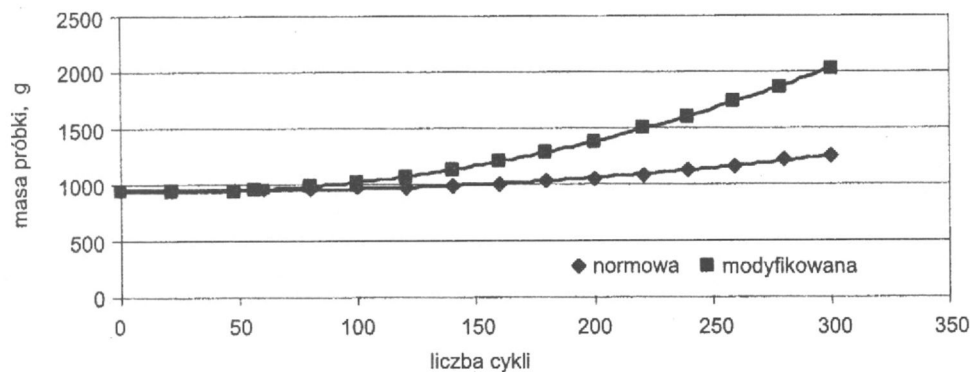
Analogiczną zależność w odniesieniu do próbki badanej metodą ręczną pokazano na rysunku 2. Również w tym przypadku zależność masy próbki od liczby cykli daje się opisać funkcją kwadratową.



Rys. 2. Zależność masy próbki poddanej cyklicznemu zamrażaniu-odmrażaniu metodą ręczną od liczby cykli

Fig. 2. The dependence of mass of specimen exposed to cyclic freeze-thaw by manual method on cycles number

Z zależności tych wynika, że podczas cyklicznego zamrażania-odmrażania nie obserwuje się zjawiska nasycenia, przynajmniej w obserwowanym zakresie liczby cykli; masa zaabsorbowanej wody cały czas rośnie nieograniczenie.



Rys 3. Porównanie zależności masy próbek od liczby cykli zamrażania-odmrażania realizowanych dwiema metodami: ręczną i automatyczną

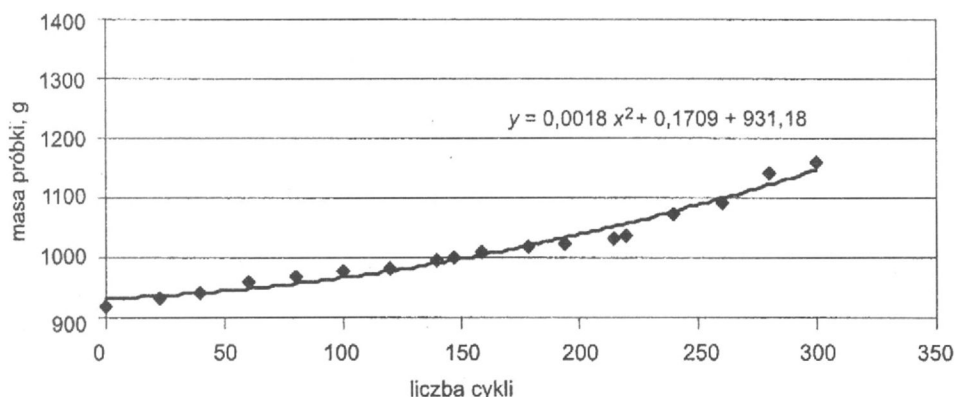
Fig. 3. Comparison of dependence of specimens' mass on freeze-thaw cycles number realized by two methods: manual and automatic

Porównanie tempa zmian masy próbek podczas cyklicznego zamrażania-odmrażania realizowanego dwiema omawianymi metodami pokazano na rysunku 3. Początkowo, przez kilkadziesiąt pierwszych cykli, ilość zaabsorbowanej wody przy badaniu obiema metodami jest zbliżona. Przy większej liczbie cykli (powyżej stu) ilość wody zaabsorbowanej w komorze automatycznej rośnie znacznie szybciej niż przy badaniu metodą ręczną.

Wyniki badania absorpcji wody przez próbkę poddaną procesowi zamrażania-odmrażania zmodyfikowaną metodą ręczną podano tablicy 2, natomiast na rysunku 4 przedstawiono dynamikę procesu absorpcji.

Tablica 2. Absorpcja wody po 300 cyklach zamrażania-odmrażania – metoda ręczna modyfikowana
Table 2. Water absorption after 300 freeze-thaw cycles – modified manual method

| Metoda | Absorpcja wody | |
|----------------------|---|--|
| | w stosunku do masy W_m , % (kg/kg) | w stosunku do objętości W_v , % (m ³ /m ³) |
| Ręczna zmodyfikowana | 26,0 | 0,96 |

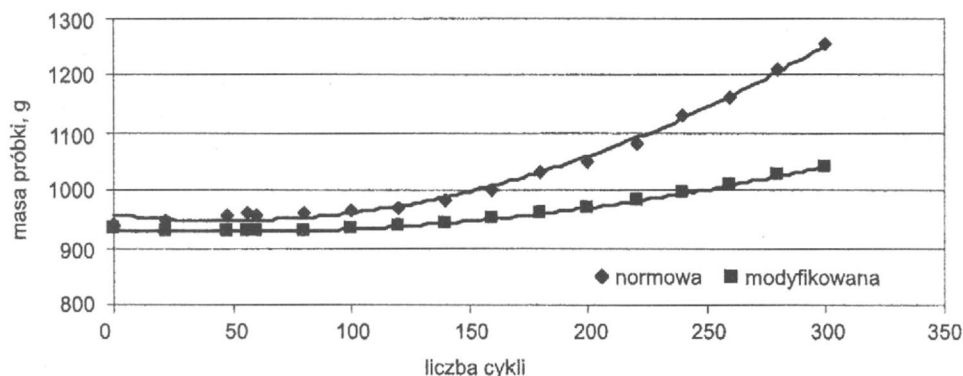


Rys. 4. Zależność masy próbki poddanej cyklicznemu zamrażaniu-odmrażaniu zmodyfikowaną metodą ręczną od liczby cykli

Fig. 4. The dependence of mass of specimen exposed to cyclic freeze-thaw by modified manual method on cycles number

Na wykresie pokazanym na rysunku 5 umieszczono krzywe zależności masy próbek od liczby przebytych cykli przy badaniu dwiema metodami ręcznymi. Jak widać, masa próbek rośnie szybciej wtedy, gdy okresy jej przebywania w wodzie są dłuższe niż okresy przechowywania w wodzie.

Z porównania obu wykresów wynika, że przewaga okresów przechowywania próbek w niskiej temperaturze skutkuje zwiększoną absorpcją wody podczas cyklicznego zamrażania-odmrażania.



Rys. 5. Porównanie zależności masy próbek od liczby cykli zamrażania-odmrażania realizowanych dwiema metodami ręcznymi

Fig. 5. Comparison of dependence of specimens' mass on freeze-thaw cycles number realized by two manual methods

Rezultaty przeprowadzonych badań dają podstawę do stwierdzenia, że istotne jest, czy cykle zamrażania-odmrażania następują z przerwami, czy bez, i co dzieje się z próbką podczas przerw w cyklach.

Pozostawienie próbki w temperaturze -20°C na jedną lub dwie doby powoduje, że wewnątrz próbki tworzy się lód, który podczas następných krótkich okresów przechowywania w wodzie nie topi się. Lód ten zaburza strukturę materiału, co skutkuje zwiększoną absorpcją wody.

Z kolei pozostawianie próbki w wodzie na noce i weekendy powoduje prawdopodobnie całkowite stopienie lodu wewnątrz próbki, co zmniejsza absorpcję wody.

5. Ocena metodyki badania odporności na cykliczne zamrażanie-odmrażanie według PN-EN 12091

Przytoczone powyżej rezultaty badań świadczą o tym, że wybór metody badania ręcznej lub automatycznej ma wpływ na ilość wody zaabsorbowanej podczas cyklicznego zamrażania-odmrażania.

Na podstawie opisanych wyników oraz innych badań można sformułować szereg uwag do treści normy PN-EN 12091 [2], wskazując na nieściśności zapisów i wynikającą z tego dowolność ich interpretacji:

1. Nieokreślone gabaryty komory oraz położenie próbek w komorze

W punkcie 5.2 normy znajduje się tylko sformułowanie „Pojemnik z wodą (...) wyposażony w urządzenie utrzymujące próbki w określonej pozycji”. Jakiej – pionowej czy poziomej?

2. Nieokreślony sposób zapewnienia wymaganej temperatury otoczenia próbki z dokładnością $\pm 2^{\circ}\text{C}$

W punkcie 5.2 normy zamieszczono uwagę: „Zazwyczaj nie stosuje się przyspieszonej wymiany ciepła na przykład za pomocą wentylatora w komorze chłodniczej lub burzliwej cyrkulacji wody w pojemniku z wodą”. Co to znaczy: zazwyczaj? Czy włożenie zamrożonej do -20°C próbki do niewielkiego pojemnika z wodą nie spowoduje znacznie większego spadku temperatury wody niż o 2°C ? Czy jednak nie jest konieczne mieszanie wody?

3. Zgodnie z normą, wytrzymałość na ściskanie próbek mokrych należy określić w ciągu 24 godzin od ostatniego cyklu zamrażania-odmrażania. Zapis ten jest nie do przyjęcia, ponieważ stan próbek mokrych tuż po zakończeniu cyklu jest zupełnie inny niż po 24 godzinach od tego momentu. Do badania zachowania się materiału przy ściskaniu stosuje się małe próbki, o wymiarach (100×100) mm w przypadku XPS i (50×50) mm w przypadku EPS. W ciągu 24 godzin ewentualny lód wewnątrz próbek stopnieje, a woda w znacznym stopniu wyparuje. Zapis dotyczący zmiany zachowania się próbek przy ściskaniu należałoby uściślić.

4. W normie nie sprecyzowano, z której części dużej próbki po zamrażaniu-odmrażaniu należy przygotować małe próbki do badania zachowania się przy ściskaniu. Jest to istotne, ponieważ zawartość wody w różnych częściach dużej próbki jest różna.

Ustalenie bardziej szczegółowych wymagań w stosunku do automatycznych komór do realizacji cykli zamrażania-odmrażania, prowadzące do ujednoczenia aparatury i metodyki badań, jest bardzo ważne. Wyniki tych badań służą bowiem do stwierdzenia przydatności płyt z polistyrenu ekstrudowanego XPS (i ewentualnie styropianu EPS) do zastosowania jako izolacja cieplna stropodachów o odwróconym układzie warstw.

6. Podsumowanie

Konstrukcja stropodachów o odwróconym układzie warstw, w których materiały termoizolacyjne znajdują się powyżej izolacji przeciwwilgociowej i narażone są na destrukcyjne działania czynników atmosferycznych, wymusza szczególnie ostre wymagania stawiane tym materiałom.

Sprawdzanie odporności na cykliczne zamrażanie-odmrażanie zostało przez międzynarodowe gremia uznane za to badanie, którego wynik ma przesądzać o przydatności materiału – polistyrenu ekstrudowanego XPS lub styropianu EPS – do stosowania jako izolacja cieplna w stropdachach odwróconych.

Norma badawcza PN-EN 12091:2000 [2] została uznana za podstawowy dokument, zgodnie z którym należy prowadzić badania odporności na zamrażanie-odmrażanie.

W wyniku badań tego samego materiału prowadzonych dwiema dopuszczonymi przez norm metodami okazało się, że rezultaty są rozbieżne.

Nasuwa się wniosek, że przedmiotowa norma zawiera na tyle ogólne zapisy, dotyczące zarówno stosowanej aparatury, jak i sposobu prowadzenia badania, że możliwa jest różna ich interpretacja. Konsekwencją tych nieścisłości są prawdopodobnie różnice w warunkach przeprowadzania badania w różnych laboratoriach, powodujące znaczny rozrzut wyników. Ponieważ wynik badania odgrywa rolę kwalifikującą (lub dyskwalifikującą) materiał, sprawa poprawienia normy badawczej ma zasadnicze znaczenie.

Autorka proponuje oficjalne wystąpienie ITB – poprzez KT 211 PKN ds. wyrobów do izolacji cieplnej w budownictwie – do Komitetu Technicznego CEN/TC 88 „Materiały i wyroby do izolacji cieplnej” w sprawie zmian w normie, polegających na uściśleniu zawartych w niej zapisów.

Bibliografia

- [1] Draft ETAG 031 Inverted Roof Insulation Kits. Part 1, EOTA, August 2007
- [2] PN-EN 12091:2000 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Określanie odporności na zamrażanie-odmrażanie
- [3] PN-EN 12088:2000 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Określanie absorpcji wody przy długotrwałej dyfuzji
- [4] PN-EN 12087:2000 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Określanie nasiąkliwości wodą przy długotrwałym zanurzeniu
- [5] PN-EN 826:1998 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Określanie zachowania przy ściskaniu

TESTING OF FREEZE-THAW RESISTANCE OF MATERIALS FOR THERMAL INSULATION OF INVERTED ROOFS

Summary

The paper deals with the methods of testing the materials applied as or declared to be a thermal insulation of inverted roofs. Some test results of the freeze-thaw resistance of extruded polystyrene foam XPS are presented. The critical remarks relating to the test conditions and procedure specified in PN-EN 12091 are given.

Praca wpłynęła do Redakcji 15 IV 2010 r.