

Bożena ORLIK-KOŹDOŃ\*  
Politechnika Śląska

## BADANIE WPŁYWU PAROPRZEPUSZCZALNOŚCI STYROPIANU NA KINETYKĘ PROCESÓW TRANSPORTOWYCH W PRZEGRODZIE BUDOWLANEJ

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono wyniki badań prowadzonych nad materiałem izolacyjnym o zmodyfikowanej strukturze. Przedstawiają one zmiany w rozkładzie wilgotności i temperatury w płaszczyznach ściany wielowarstwowej, izolowanej materiałem badawczym.

## THE EXAMINATION OF THE INFLUENCE OF THE COMPONENT STRUCTURE DIFFERENTIATION ON THE KINETICS TRANSPORTING PROCESSES IN THE BUILDING PARTITION

**Summary.** The results of the further research on the insulating material with a modified structure are presented in this study. They show changes in the distribution of moisture and temperature in the layers of a multilayer wall insulated by the examined material.

### 1. Wprowadzenie

Warstwowa budowa ściany, w niesprzyjających warunkach lub przy nieodpowiednim doborze materiałów, może powodować zawilgocenie konstrukcji przegrody. Dlatego tak ważny jest rodzaj zastosowanego materiału izolacyjnego. W artykule do izolacji cieplnej przegrody autorka proponuje materiał w postaci perforowanych płyt izolacyjnych o niskim współczynniku oporu dyfuzyjnego  $\mu=8$  i współczynniku przewodności cieplnej (wartość deklarowana)  $\lambda = 0,04$  [W/mK] [5]. W przegrodzie prowadzony był ciągły pomiar temperatury i wilgotności. Analiza pomierzonych wielkości pozwoli odpowiedzieć na pytanie

---

\* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jan Ślusarek, prof. w Politechnice Śląskiej.

czy przyjęty sposób badań, w rzeczywistych warunkach pogodowych, prawidłowo odzwierciedla przebieg zjawisk transportowych w przegrodzie i jaki charakter mają one dla dwóch przegród o zróżnicowanej strukturze?

## 2. Wstępny model matematyczny transportu ciepła i wilgoci w przegrodzie budowlanej

W przegrodzie budowlanej może wystąpić strefa, gdzie para wodna staje się nasycona i następuje jej kondensacja objętościowa. Strefę tę nazywa się strefą wilgotną, a jej położenie i wielkość zależą od temperatur i wilgotności względnych powietrza, po obu stronach przegrody. Pozostałą część przegrody zajmują strefy suche, przy czym pomija się ich zawilgocenie, związane z adsorpcją pary wodnej, jako pomijalnie małe w porównaniu z zawilgoceniem spowodowanym przez kondensującą w strefie wilgotnej nasyconą parę wodną (wyjątek stanowią mogą niektóre materiały, np. betony absorbujące znaczne ilości wilgoci). Kondensująca para wodna stanowi upust pary, źródło kondensatu i źródło ciepła, a procesy: dyfuzji pary wodnej, migracji wody i przepływu ciepła stają się sprzężone przez szybkość kondensacji [1]. Rozkład temperatury, koncentracji pary wodnej i wilgotności, w rozważanej przegrodzie, można otrzymać na drodze rozwiązania sprzężonego układu równań [2]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + LR \quad (1)$$

$$\rho_w \frac{\partial W}{\partial t} = \nabla \cdot (\rho_w D_w \nabla W) + R \quad (2)$$

$$\rho_a (\varepsilon - W) \frac{\partial C}{\partial t} = \nabla \cdot (\rho_a D_v \nabla C) - R, \quad (3)$$

gdzie:  $T$  - temperatura [K],  $W$  - wilgotność materiału [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ],  $C$  - koncentracja pary wodnej [ $\text{kg}/\text{kg}$ ],  $\rho$  - gęstość materiału [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $c$  - ciepło właściwe [ $\text{J}/(\text{kgK})$ ],  $\lambda$  - efektywny współczynnik przewodności cieplnej [ $\text{W}/\text{mK}$ ],  $L$  - ciepło kondensacji pary wodnej [ $\text{J}/\text{kg}$ ],  $R$  - prędkość koncentracji pary wodnej [ $\text{kg}/(\text{m}^3\text{s})$ ],  $\rho_w$  - gęstość wody [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $D_w$  - współczynnik przepływu wilgoci [ $\text{m}^2/\text{s}$ ],  $\rho_a$  - gęstość powietrza [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $\varepsilon$  - porowatość materiału [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ],  $D_v$  - efektywny współczynnik dyfuzji pary wodnej [ $\text{m}^2/\text{s}$ ].

Równanie (1) przedstawia zmiany temperatury materiału, spowodowane przepływem ciepła przez przewodzenie i wydzielanie ciepła w wyniku przemiany fazowej. Równanie (2) opisuje zmiany wilgotności materiału, spowodowane przepływem wilgoci pod wpływem sił kapilarnych i kondensacji pary wodnej. Równanie (3) wyraża zmiany koncentracji pary wodnej, spowodowane dyfuzją i kondensacją. Ograniczając powyższe równania do przypadku jednowymiarowego otrzymujemy [1],[2]:

$$\rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] + LR \quad (4)$$

$$\rho_w \frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \rho_w D_w \frac{\partial W}{\partial x} \right] + R \quad (5)$$

$$\rho_a [\varepsilon - W] \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \rho_a D_v \frac{\partial C}{\partial x} \right] - R, \quad (6)$$

gdzie  $\theta$  - temperatura materiału [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Eliminując z równań (4-6) prędkość kondensacji pary wodnej oraz korzystając ze znanych zależności fizycznych, otrzymujemy ostateczną postać równań cząstkowych, opisujących przepływ ciepła i wilgoci w materiale porowatym:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] = \rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} + L \left[ (\varepsilon - W) D' \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{D' \partial p}{\mu \partial x} \right) \right] \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \rho_w D_w \frac{\partial W}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{D' \partial p}{\mu \partial x} \right] = \rho_w \frac{\partial W}{\partial t} + (\varepsilon - W) D' \frac{\partial p}{\partial t}, \quad (8)$$

gdzie:  $p$  - ciśnienie cząstkowe pary wodnej [Pa],  $D'$  - współczynnik wyznaczony ze wzoru  $D' = \frac{D}{R_v T}$ ,  $R_v$  - stała gazowa pary wodnej [J/(kgK)],  $\mu$  - współczynnik oporu dyfuzyjnego [-]

Równanie (7) jest równaniem przewodnictwa cieplnego, uzupełnionym o człon źródłowy, uwzględniający zmiany temperatury materiału spowodowane przemianami fazowymi woda – para wodna. Równanie (8) uwzględnia fakt, że wilgoc jest transportowana w przegrodzie zarówno w postaci pary wodnej, jak i wody.

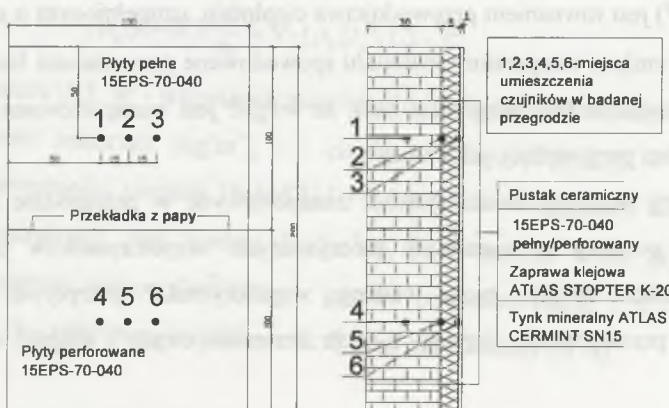
Przedstawiony wstępny model zjawisk transportowych w przegrodzie zweryfikowany zostanie przez pomiary w warunkach rzeczywistych: współczynników przepływowych, tj.: współczynnika dyfuzji pary wodnej, współczynnika przepływu wilgoci oraz współczynnika przewodności cieplnej, a także strumieni ciepła i wilgoci w analizowanej ścianie.

### 3. Stanowisko pomiarowe

Na rysunku nr 2 przedstawiono stanowisko badawcze w Laboratorium Utylizacji Energii Słonecznej. Budynek składa się z trzech odrębnych komór, jedna z nich (na potrzeby badania) została zmodernizowana, tj. na wybranej ścianie komory położono izolację z materiału badawczego, tj. pełnego i perforowanego. Perforacje w płycie styropianu 15EPS-070-040 wykonano na siatce 2 cm x 2 cm i o średnicy oczek 5 mm [4]. Zastosowano system pomiarowy pozwalający na rejestrację danych, tj. wilgotności względnej i rozkładu temperatury w poszczególnych płaszczyznach przegrody i w komorze. Dodatkowa aparatura pomiarowa, zainstalowana na budynku, pozwala na pomiar wielkości charakteryzujących środowisko zewnętrzne: prędkość wiatru, nasłonecznienie, ilość opadów, wilgotność względną i temperaturę powietrza zewnętrznego.



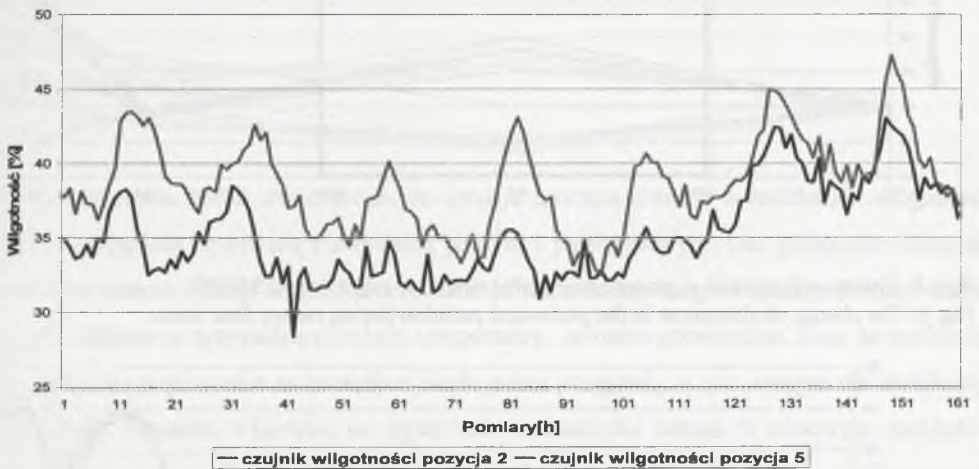
Rys.1. Stanowisko badawcze w Laboratorium Utylizacji Energii Słonecznej  
Fig.1. The research area in the Laboratory of Solar Energy Utilization



Rys. 2. Schemat umieszczenia czujników w przegrodzie  
Fig. 2. The scheme of detectors location in the wall

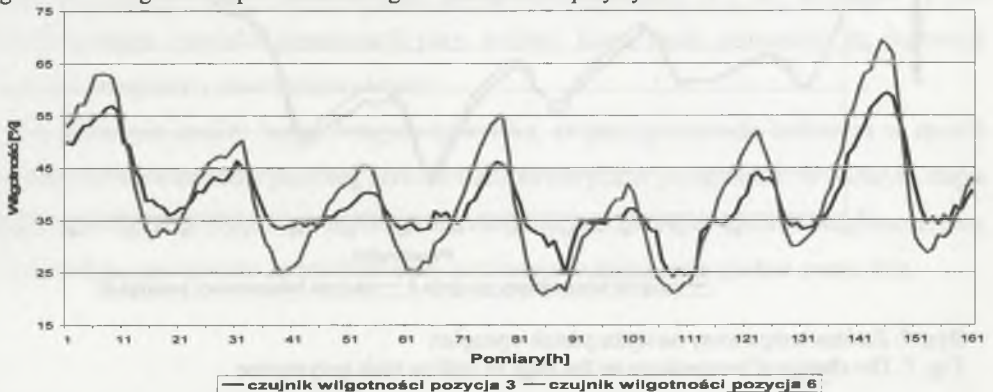
## 4. Wyniki badań

Badania prowadzone były od 15.03.2007 r. Do analizy wzięto pod uwagę tydzień pomiarowy 19.04-25.04.2007 r. W pomieszczeniu panowały zmienne warunki ciepłno – wilgotnościowe, na zewnątrz temperatura była w granicach od 5-20°C. Nie prowadzono nawilżania powietrza wewnętrznego i ogrzewania komory. Celem badania były pomiary parametrów: temperatury i wilgotności w przegrodzie, w naturalnych warunkach. Analiza pomierzonych wielkości pozwoli odpowiedzieć na pytanie: jaki wpływ ma zastosowana modyfikacja mechaniczna płyt styropianowych, w odniesieniu do materiału pełnego, na procesy transportowe w przegrodzie? Poniżej prezentowane są wyniki rejestrowane co 1 godzinę, w 7-dobowych cyklach badawczych: wykres zmienności wilgotności i temperatury w poszczególnych warstwach przegrody, izolowanej materiałem pełnym i perforowanym.



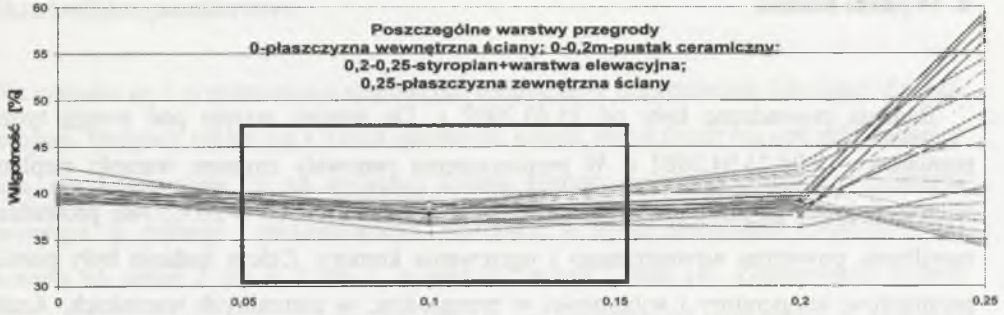
Rys. 3. Zmiana wilgotności na styku pustak-styropian

Fig. 3. The change of dampness on the edge of hollow trick-polystyrene

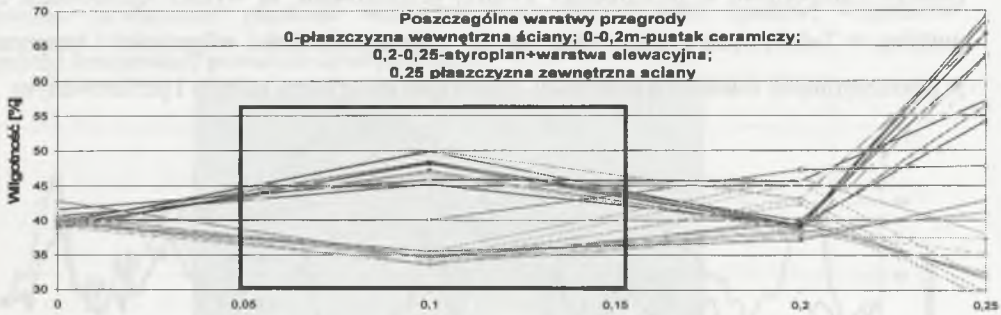


Rys. 4. Zmiana wilgotności na styku styropian-warstwa elewacyjna

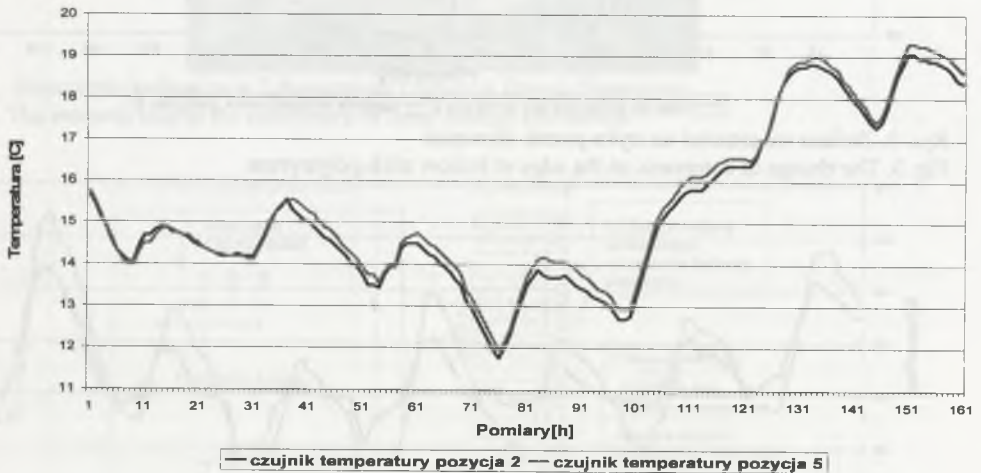
Fig. 4. The change of dampness on the edge of polystyrene-elevation layer



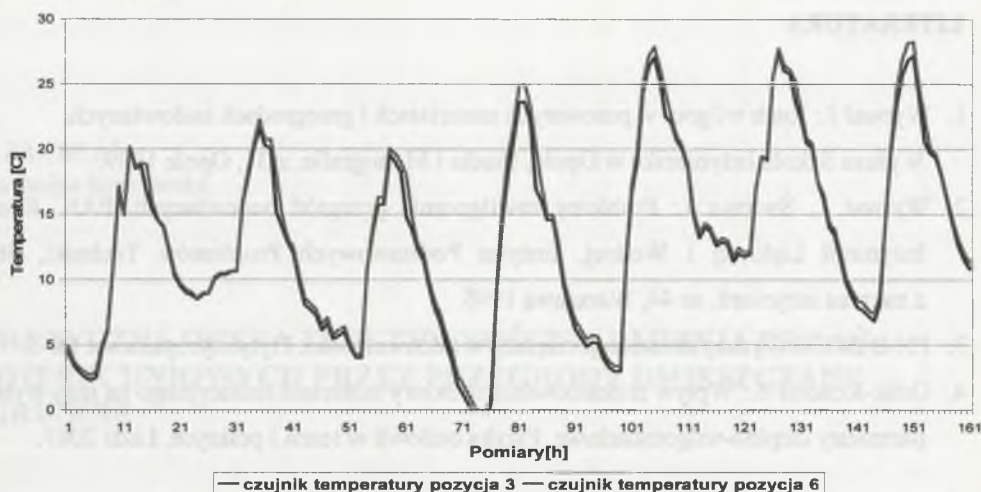
Rys. 5. Zmiana wilgotności w przegrodzie pełnej w ciągu doby 25.04.07  
 Fig. 5. The change oh dampness in the partition during twenty four hours



Rys. 6. Zmiana wilgotności w przegrodzie perforowanej w ciągu doby 25.04.07  
 Fig. 6. The change oh dampness in the perforated partition during twenty four hours



Rys. 7. Zmiana temperatury na styku pustak-styropian  
 Fig. 7. The change of temperature on the edge of hollow trick-polystyrene



Rys. 8. Zmiana temperatury na styku styropian-warstwa elewacyjna  
 Fig. 8. The change of temperature on the edge of polystyrene-elevation layers

## 5. Podsumowanie

Na podstawie badań stwierdzono, że istnieje znaczna różnica w rozkładzie wilgotności między przegrodą izolowaną materiałem pełnym i perforowanym, tzn. perforacje materiału powodują wzrost dyfuzji wilgoci w stosunku do materiału pełnego. Podobnych rozbieżności nie stwierdzono w przypadku rozkładu temperatury, co może potwierdzać tezę, że perforacje nie wpływają negatywnie na przepływ ciepła przez przegrodę, a tym samym nie zwiększają strat ciepła. Ponadto, widoczne na wykresach przesunięcia wahań w dobowym rozkładzie wilgotności (rys. 5, 6) dowodzą, iż w przypadku zastosowania materiału perforowanego mamy do czynienia ze wzrostem jego paroprzepuszczalności [5], co eliminuje ryzyko niebezpiecznego zjawiska kondensacji pary wodnej, która może prowadzić do destrukcji materiału przegrody i przemarzania ściany.

Na podstawie analizy badań wstępnych wynika, że przyjęta metoda badawcza w sposób prawidłowy odzwierciedla przebieg zjawisk transportowych w przegrodzie. W dalszym etapie badań, w komorze wytworzone zostaną kontrolowane, niekorzystne warunki wilgotnościowe, co pozwoli na rzeczywiste sprawdzenie czy perforacja w styropianie spełnia swoją rolę.

**LITERATURA**

1. Wyrwał J.: Ruch wilgoci w porowatych materiałach i przegrodach budowlanych, Wyższa Szkoła Inżynierska w Opolu, Studia i Monografie, z.31, Opole 1989.
2. Wyrwał J., Świrska J.: Problemy zawilgocenia przegród budowlanych, PAN, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Studia z zakresu inżynierii, nr 44, Warszawa 1998.
3. PN-B 20130:Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie, Płyty styropianowe PS-E.
4. Orlik-Koźdoń B.: Wpływ zróżnicowania struktury materiału izolacyjnego na jego wybrane parametry cieplno-wilgotnościowe, Fizyka budowli w teorii i praktyce, Łódź 2007.

Recenzent: Dr hab. inż. Dariusz Gawlin, prof. Politechniki Łódzkiej