

Tomasz MUZYCZUK*
Politechnika Śląska

ANALIZA ZAWILGOCENIA PRZEGRÓD BUDOWLANYCH W OPARCIU O DANE KLIMATYCZNE DLA REGIONU KATOWIC

Streszczenie. Opracowanie zawiera wyniki symulacji zawilgocenia wielowarstwowych przegród budowlanych w zależności od sposobu zabezpieczenia warstwy izolacji termicznej z wełny mineralnej. Symulacja została przeprowadzona przy użyciu programu WUFI, wykorzystując bazę klimatyczną charakterystyczną dla regionu Katowic.

THE MOISTURE ANALYSIS OF BUILDING PARTITIONS ON THE BASIS ON CLIMAT DATA FOR KATOWICE REGION

Summary. The paper includes building partitions results of moisture simulations which depends on a protection way of thermal insulations of mineral wool layer. The simulation has been carried out using WUFI software and climate data for Silesian region in Katowice.

1. Wstęp

Jedną z głównych przyczyn powodujących obniżenie wartości izolacyjności termicznej i trwałości przegród budowlanych jest zawilgocenie materiałów, z których zostały wykonane.

W naturalnych warunkach użytkowania przegrody budowlane wykazują okresowy stopień zawilgocenia. Rozkład zawartości wilgoci w przegrodzie nie jest stały, lecz ulega ciągłym zmianom.

W praktyce można spotkać rozmaite stany zawilgocenia materiału (wilgoć sorpcyjna, kapilarna i kondensacyjna), spowodowane różnorodnym mechanizmem migracji wilgoci [6].

W przegrodach budowlanych wilgoć migruje w postaci wody (pod wpływem sił kapilarnych, sił grawitacji i różnicy ciśnień) oraz w postaci pary wodnej (w wyniku dyfuzji pary zawartej w powietrzu). Migracji wilgoci w kapilarno-porowatej strukturze materiału towarzyszą

*Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Henryk Krause, prof. Politechniki Śląskiej

przemiany fazowe, jak parowanie i zamarzanie wody, kondensacja pary wodnej, topnienie i sublimacja lodu. Współdział tych wszystkich czynników w procesie migracji wilgoci w przegrodach zależy od: struktury materiałów przegrody, stopnia ich zawilgocenia oraz warunków otoczenia.

Z ruchem wilgoci związany jest nierozdzielnie przepływ ciepła, co sprawia, że zagadnienie to jest jeszcze bardziej złożone. Zbudowanie praktycznie przydatnego modelu migracji wilgoci w przegrodach budowlanych jest zadaniem trudnym.

Mimo istnienia wielu modeli matematyczno-fizycznych, prezentujących sprzężone przepływy ciepła i wilgoci w ośrodkach kapilarno-porowatych, brak jest nadal prostych rozwiązań do wykorzystania w praktycznych zagadnieniach fizyki budowli [8]. Klasyczne modele opisujące ruch wilgoci w przegrodach budowlanych (metoda: Fokina i Gläsera), oparte tylko na pierwszym prawie dyfuzji Ficka, nie opisują rzeczywistego procesu. Pozwalają one, dla ustalonego przepływu, na wskazanie ewentualnych miejsc wykroplenia pary wodnej w składowych materiałach przegrody [7].

2. Narzędzie symulacji

Do symulacji zawilgocenia składowych elementów przegrody budowlanej wykorzystano niemiecki program komputerowy WUFI (*Wärme- Und Feuchte-transport Instationaer*) opracowany przez *Franhofer Institut für Bauphysik*.

Program ten modeluje przepływ wilgoci i ciepła przy użyciu danych klimatycznych, określonych na podstawie czasowych odczytów temperatury, wilgotności względnej powietrza, ilości opadów atmosferycznych, nasłonecznienia i ciśnienia atmosferycznego [4].

Wpływ klimatu wewnętrznego uwzględnia się przez określenie wartości temperatury i wilgotności powietrza z możliwością wprowadzenia ich sinusoidalnej zmienności w ciągu roku.

Algorytm obliczeniowy programu bazuje na układach równań różniczkowych opisujących transport ciepła i wilgoci [1], [5]:

$$\frac{\partial w}{\partial \tau} = -\nabla \cdot (g_w + g_v) + S_w, \quad (1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial \tau} = -\nabla \cdot q + S_h, \quad (2)$$

gdzie:

- q - gęstość strumienia ciepła,
- S_h - wydajność źródła lub upustu ciepła,

- w - wilgotność,
 g_w - gęstość strumienia cieczy,
 g_v - gęstość strumienia pary,
 S_w - wydajność źródła lub upustu wilgoci.

Równania (1) i (2) dopełniają związki fizyczne opisane następującymi zależnościami:

- Gęstość strumienia ciepła:

$$q = -\lambda \nabla v. \quad (3)$$

- Źródło ciepła przemiany fazowej H_2O :

$$S_h = -h_v \nabla g_v. \quad (4)$$

- Gęstość strumienia cieczy:

$$g_w = -D_\varphi \nabla \varphi. \quad (5)$$

- Gęstość strumienia pary wodnej:

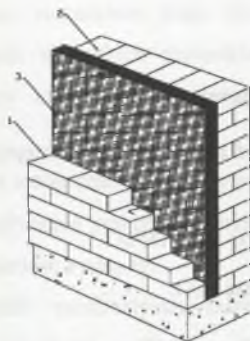
$$g_v = -\delta_p \nabla p, \quad (6)$$

gdzie:

- λ - współczynnik przewodzenia ciepła wilgotnego materiału,
 v - temperatura,
 h_v - utajone ciepło przemiany fazowej,
 D_φ - współczynnik dyfuzji cieczy,
 φ - wilgotność względna,
 δ_p - współczynnik przepuszczalności pary wodnej,
 p - ciśnienie cząstkowe pary wodnej.

3. Charakterystyka analizowanych przegród

Analizie poddano wielowarstwowe ściany zewnętrzne, ocieplone płytami z wełny mineralnej o grubości 12 cm, wykonane w technologii obmurowania izolacji termicznej ceramiczną warstwą fakturową z cegły pełnej (rys. 1.).

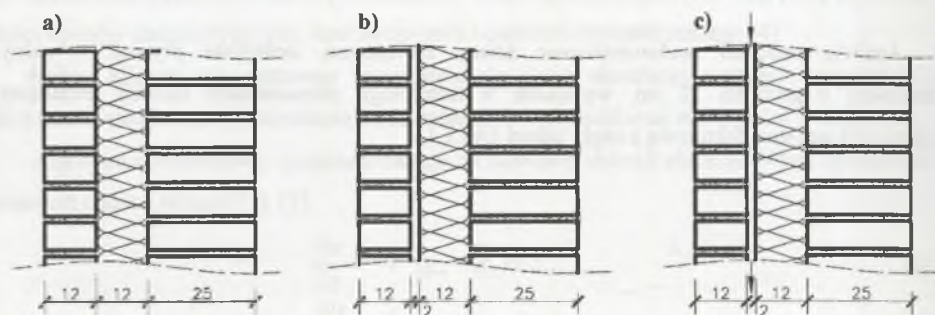


Rys. 1. Ocieplenie obmurowane ścianką fakturową: 1 – warstwa fakturowa; 2 – warstwa konstrukcyjna; 3 – materiał izolacyjny (wełna mineralna)

Fig. 1. Warming bricked with surface quality wall: 1 – quality surface; 2 – constructional surface; 3 – heat-insulating material (mineral wool)

Powyższe przegrody zostały wykonane z tych samych materiałów. Różnica polegała na sposobie zabezpieczenia izolacji termicznej poprzez wprowadzenie pustki powietrza, uzyskując:

- ścianę bez pustki powietrza (*przegroda I*), składająca się z bezpośrednio przyległych do siebie materiałów składowych przegrody (rys. 2a.),
- ścianę z pustką powietrza niewentylowaną (*przegroda II*). Pomiędzy warstwą wełny mineralnej a fakturą z cegły została umieszczona 2 – centymetrowa pustka zamkniętego powietrza (rys.2b.),
- ścianę z pustką powietrza wentylowaną (*przegroda III*). Wprowadzenie odpowiednich wlotów i wylotów w warstwie fakturowej (np. niepełne wypełnienie spoiny między cegłami) umożliwia cyrkulację powietrza i jego wymianę z otoczeniem (rys. 2c.).



Rys. 2. Przekrój poprzeczny przegrod: a) przegroda I – bez pustki powietrza; b) przegroda II – z pustką powietrza niewentylowaną; c) przegroda III – z pustką powietrza wentylowaną

Fig. 2. Cross section of partitions: a) partition I – without a cavity; b) partition II – not ventilated cavity; c) partition III – ventilated cavity

Do obliczeń przyjęto wspólne dla wszystkich przegród zawilgocenie początkowe (w_p) poszczególnych materiałów przegrody, wyrażone jako procentowa zawartość wody w stosunku do masy w stanie suchym:

- ❖ warstwa fakturowa z cegły ceramicznej pełnej, gr. 12cm $\Rightarrow w_p=12\%$,
- ❖ izolacja z wełny mineralnej, gr. 12cm $\Rightarrow w_p=5\%$,
- ❖ warstwa konstrukcyjna z cegły ceramicznej pełnej, gr. 25cm $\Rightarrow w_p=8\%$.

4. Dane klimatyczne

Program WUFI podczas symulacji standardowo wykorzystuje bazę klimatyczną, charakterystyczną dla miejscowości Holzkirchen z rejonu środkowych Niemiec.

Aby wyeliminować różnice związane z klimatem, podjęto działania zmierzające do opracowania własnej bazy charakterystycznej dla regionu Katowic.

Dzięki udostępnieniu przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Katowicach danych meteorologicznych za rok 2000 została opracowana baza klimatyczna, która zawiera godzinne odczyty temperatury i wilgotności względnej powietrza, wielkości opadów atmosferycznych oraz dobowe odczyty nasłonecznienia i ciśnienia atmosferycznego.

Dane klimatyczne charakterystyczne dla regionu Katowic, aby mogły być wykorzystane podczas symulacji, zostały zapisane w formacie właściwym dla programu WUFI (rys.3).

```

SWUFIS 1.1.2000_1.00 - 1.1.2001_1.00
Azimut : 90, Neigung : 90 Abgeleitet von KAT2000.WET
D:\DYPLOMA\DAANEKL-1\KAT2000.WET
47.9 11.7 680.0 90 90 1 0 21 1 0.45 0.15
1 3.06_12.0 16.08_12.0 0 0 0 0
9.83620000000000E+0004
1 0.00 0.0 -11.1 0.87 20.1 0.34
2 0.00 0.0 -11.7 0.86 20.1 0.34
3 0.00 0.0 -11.3 0.80 20.1 0.34
4 0.00 0.0 -8.5 0.92 20.1 0.34
5 0.00 0.0 -8.5 0.92 20.1 0.34
6 0.00 0.0 -8.7 0.92 20.1 0.34
7 0.00 0.0 -9.9 0.91 20.1 0.34
8 0.00 0.0 -10.5 0.87 20.1 0.34
. . . . .
. . . . .
. . . . .

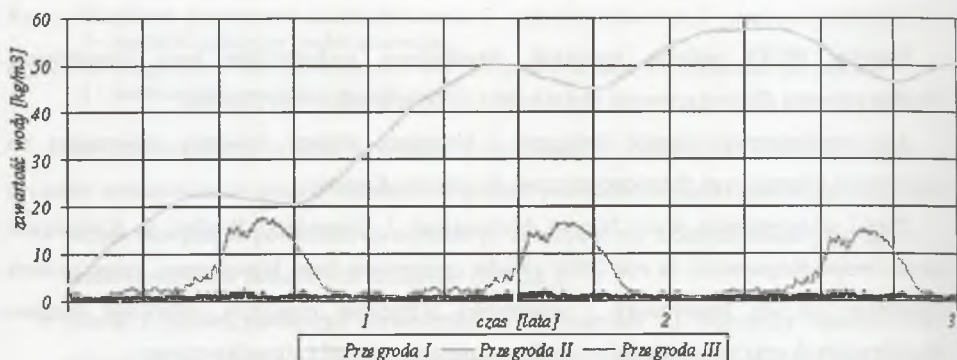
```

Rys. 3. Dane klimatyczne zestawione w pliku charakterystycznym dla programu WUFI
Fig. 3. Climate data collected together in a characteristic file of WUFI software programme

5. Analiza wyników symulacji

Wyniki obliczeń przedstawiono na wykresach, gdzie na osi poziomej podano okres działania czynników atmosferycznych (3 lata), a na osi pionowej zawartość wody w zastosowanym materiale, w kilogramach na metr sześcienny.

Rozkład zawartości wody w materiale termoizolacyjnym - wełna mineralna - w zadanym czasie przedstawia rys. 4.



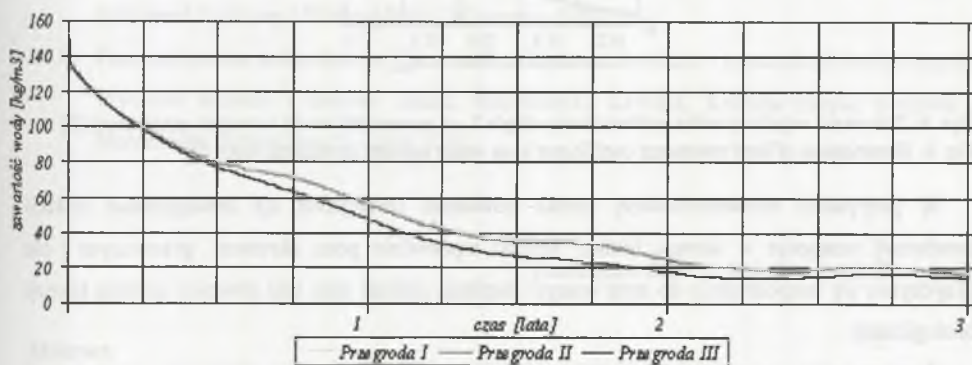
Rys. 4. Zawartość wody w wełnie mineralnej

Fig. 4. Amount of water in a mineral wool

- **Prze groda I** - bez pustki powietrza - w ciągu dwóch lat następuje całkowite zawilgocenie izolacji cieplnej z płyt wełny mineralnej, głównie w okresie zimowym i jesienno-wiosennym. Jest to spowodowane faktem, że na wewnętrznej stronie fakturowej warstwy cegły następuje kondensacja pary wodnej. Wełna mineralna wykazuje słabą zdolność do sorpcji wilgoci z powietrza, natomiast znakomicie podciąga wodę kapilarnie w przypadku bezpośredniego z nią kontaktu.
- **Prze groda II** - posiadająca pustkę powietrza niewentylowaną - rozkład zawartości wody w wełnie mineralnej każdego roku przebiega bardzo podobnie. Widać wyraźny wzrost zawartości wody w okresie letnim do wartości 18% i jej spadek w okresie zimowym na poziomie 4-6%. Dyfuzja pary wodnej, spowodowana różnicą ciśnień parcyjnych po obu stronach, w okresie letnim odbywa się do wewnątrz budynku, co w następstwie powoduje kondensację pary wodnej po wewnętrznej stronie warstwy konstrukcyjnej z cegły ceramicznej.

- **Przegroda III** - najmniejszą zawartością wilgoci w izolacji termicznej charakteryzuje się przegroda posiadająca wentylowaną szczelinę. Powietrze w pustce ma zbliżone właściwości do powietrza na zewnątrz oraz jego cyrkulacja eliminuje powstanie ewentualnych miejsc kondensacji pary wodnej. Izolacja termiczna charakteryzuje się stabilizacją zawartości wody w całym zadanim okresie na poziomie 1-2%.

Przebieg wysychania wilgotnej części konstrukcyjnej przegrody wielowarstwowej, wykonanej z cegły ceramicznej pełnej grubości 25 cm, przedstawiono na rys. 5. Już w pierwszym roku dla wszystkich trzech przypadków ściana wysychała szybko, niezależnie od stanu zawilgocenia materiału izolacyjnego. Po trzech latach zawartość wody była jednakowa dla każdej z analizowanych ścian i wahała się w granicach 1-2%.



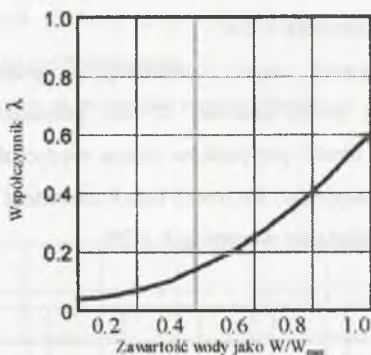
Rys. 5. Zawartość wody w cegle ceramicznej pełnej warstwy konstrukcyjnej
Fig. 5. Amount of water in a ceramic shed brick of structural surface

6. Wnioski

Przedstawione wyniki symulacji komputerowej programem WUFI, przy użyciu bazy klimatycznej dla regionu Katowic, obrazują zjawiska zawilgocenia, jakie mogą nastąpić w różnych okresach roku, w wyniku różnego zabezpieczenia izolacji termicznej wykonanej z płyt wełny mineralnej.

W przegrodzie bez pustki powietrza (przegroda I) widać zwiększenie początkowej zawartości wody aż do wartości maksymalnej chłonności wełny mineralnej. Biorąc pod uwagę zależność współczynnika przewodności cieplnej od zawartości wody w wełnie mineralnej (rys.6), można stwierdzić, że pominięcie pustki powietrza znacznie zmniejsza izolacyjność

cieplną oraz przyspiesza zjawiska korozji biologicznej. Środek hydrofobizujący włókna wełny mineralnej w występującym zawilgoceniu nie zapewnia trwałej osłony, co może doprowadzić do rozwarstwienia włókien i zmienności struktury płyt z wełny mineralnej [3].



Rys. 6. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła λ od zawartości wody w wełnie mineralnej [2]
Fig. 6. Dependence of heat resistance coefficient λ on water amount in mineral wool [2]

W przypadku niewentylowanej pustki powietrza (przegroda II) zawilgocenie izolacji termicznej następuje w okresie letnim. Jest to wprawdzie poza okresem grzewczym i nie przyczynia się bezpośrednio do strat energii cieplnej, jednak stan taki również sprzyja korozji biologicznej.

Zastosowanie wentylowanej pustki powietrza (przegroda III) eliminuje zawilgocenia materiału izolacyjnego wraz z jego skutkami i jest optymalnym rozwiązaniem przy zastosowaniu izolacji z płyt wełny mineralnej.

LITERATURA

1. Bobociński A.: Symulacja stanu wilgotnościowego – program komputerowy WUFI, Izolacje 3/2001.
2. Holm A., Künzeli H.M.: Non-isothermal moisture transfer in porous building materials, Fraunhofer-Institut for Building Physics, Holzkirchen, Germany. Materialsweek-Munich, September 2000.
3. Krause H., Kosmala-Klimek E.: Destrukcja wełny mineralnej w stropodachu pełnym, Materiały Konferencyjne – Fizyka budowy w teorii i praktyce, Łódź 1999.

4. Künzel H.M.: Moisture risk assessment of roof constructions by computer simulation in comparison to the standard Glaser-method, Eindhoven International Building Physics Conference, September 2000.
5. Krus M., Holm A.: Simple methods to approximate the liquid transport coefficients describing the absorption and drying, International Building Physics Conference, September 2000.
6. Płoński W.: Problem wilgoci w przegrodach budowlanych., Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1968.
7. Wyrwał J., Świrska J.: Problemy zawilgocenia przegród budowlanych., Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa 1998.
8. Praca zbiorowa pod redakcją Klemma P.: Fizyka materiałów i konstrukcji budowlanych. Wybrane modele i metody badań, Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, Łódź 1993.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Lech Śliwowski

Abstract

Inside an external wall without a cavity (partition I), an increasing of water volume from initial to final value of sorptivity in mineral wool. A lack of cavity in wall can cause, a strong decreasing of thermal insulation and accelerated biological corrosion process. In that situation a hydrophobic agent of mineral wool can't protect it. Because of this delimitation of wool fibres and variation of its structure.

When wall cavity is not ventilated (partition II) moisturing of thermal insulation can happen during summer season.

Appliance of ventilated cavity wall (partition III) can eliminate periodical moisture of insulation. This solution is the best in appliance of mineral sheets.