

Hanna Jędrzejuk, dr hab. inż.
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa
Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Warszawa
Piotr Kowalewski
Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Warszawa

O PEWNYCH ASPEKTACH PROJEKTOWANIA ZEWNĘTRZNYCH PRZEGRÓD PEŁNYCH

Abstract

In this paper, a design problem of external envelope partitions is explicitly formulated, taking into account present regulatory requirements. The considered structural elements are external wall, flat roof and two- and three dimensional construction nodes. Auxiliary data are determined numerically.

Streszczenie

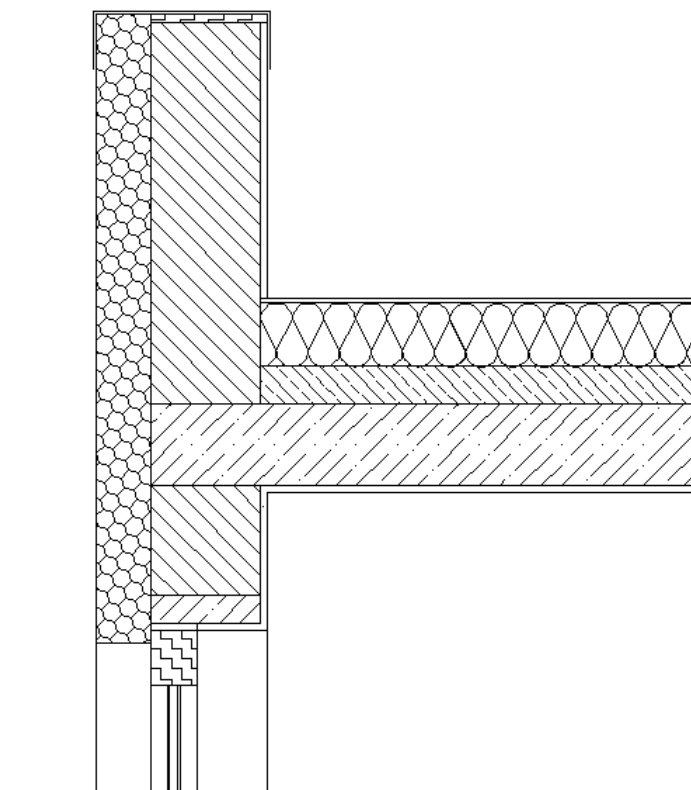
W artykule przeanalizowano pod kątem zgodności z aktualnymi wymaganiami przykładową konstrukcję ściany zewnętrznej, stropodachu pełnego oraz rozwiązania dwóch węzłów konstrukcyjnych. W rozważaniach uwzględniono: izolacyjność cieplną oraz warunki wilgotnościowe. Obliczenia przeprowadzono metodami numerycznymi.

1. OPIS ANALIZOWANYCH ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH

Rozważono następujące wybrane przegrody pełne, o zadanej poniżej konstrukcji pod względem zgodności z aktualnymi wymaganiami sformułowanymi w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie ([10]):

- ścianę zewnętrzną (tynk wapienny, mur z cegły wapienno-piaskowej, warstwa styropian, tynk cienkowarstwowy),
- stropach pełny (tynk wapienny, płyta żelbetowa, beton chudy, folia paroizolacyjna, wełna mineralna, papa termozgrzewalna) oraz następujące rozwiązania węzłów konstrukcyjnych:

- powstałego w strefie oddziaływania nadproża, drewnianej ramy okiennej oraz połączenia ściany ze stropodachem pełnym dwuwymiarowego mostka termicznego (rys.1),
- powstałego w narożu wypukłym, przy połączeniu dwóch ścian zewnętrznych ze stropodachem pełnym, trójwymiarowego mostka termicznego.



Rys. 1. Przekrój przez ścianę zewnętrzną, stropodach pełny i drzwi balkonowe (opis warstw w tekście).

2. IZOLACYJNOŚĆ TERMICZNA PRZEGRÓD NIEPRZEZROCZYSTYCH

Wymagania dotyczące izolacyjności termicznej przegród budowlanych formułowane są w postaci ograniczenia maksymalnej wartości współczynnika przenikania ciepła. Wartość ta zależy od rodzaju budynku oraz rodzaju przegrody, a w niektórych przypadkach także od strefy klimatycznej. Warunek ten podawany jest w znanej postaci: $U \leq U_{max}$.

Obie przegrody spełniają wymagania, bowiem obliczeniowe wartości współczynników przenikania ciepła, wyznaczone zgodnie z [5], są nie wyższe od wartości maksymalnych i wynoszą w przypadku:

- ściany zewnętrznej $U_{sz} = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, przy maksymalnej dopuszczalnej wartości wynoszącej $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,

- stropodachu pełnego $U_{str} = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, przy maksymalnej dopuszczalnej wartości wynoszącej $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

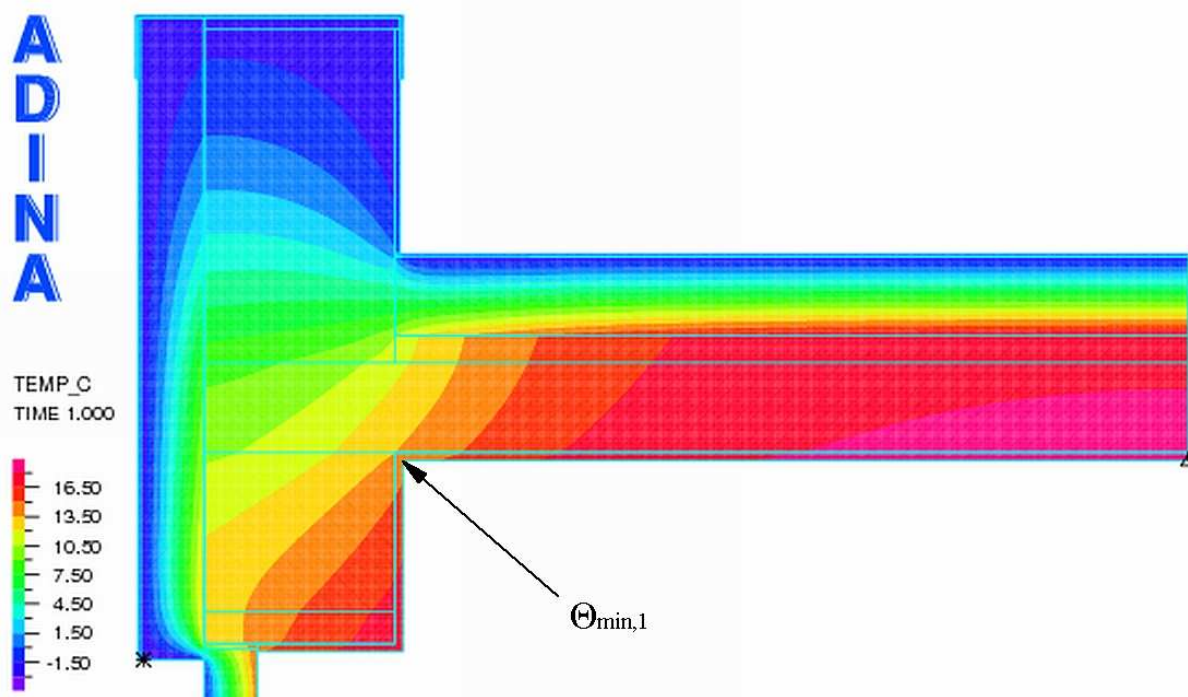
3. RYZYKO POWIERZCHNIOWEJ KONDENSACJI PARY WODNEJ I ROZWOJU GRZYBÓW PLEŚNIOWYCH

W obowiązującym rozporządzeniu Ministra Infrastruktury [10] nałożono obowiązek uniknięcia:

- kondensacji na wewnętrznej powierzchni nieprzezroczystej przegrody zewnętrznej pary wodnej umożliwiającej rozwój grzybów pleśniowych,
- narastającego w kolejnych latach zawilgocenia, spowodowanego kondensacją pary wodnej.

W rozważanym przypadku założono lokalizację budynku w Zakopanem. Miesięczne średnie wartości temperatury powietrza zewnętrznego przyjęto za [11], natomiast reprezentatywne wartości wilgotności powietrza zewnętrznego według [4]. Wyznaczona, zgodnie z [6], minimalna wymagana wartość bezwymiarowego czynnika temperaturowego w miesiącu grudniu wyniosła $f_{Rsi, min} = 0,826$.

Na rysunkach 2 oraz 3 przedstawiono w formie graficznej stosowne wyniki obliczeń numerycznych dokonane za pomocą programu ADINA [8].

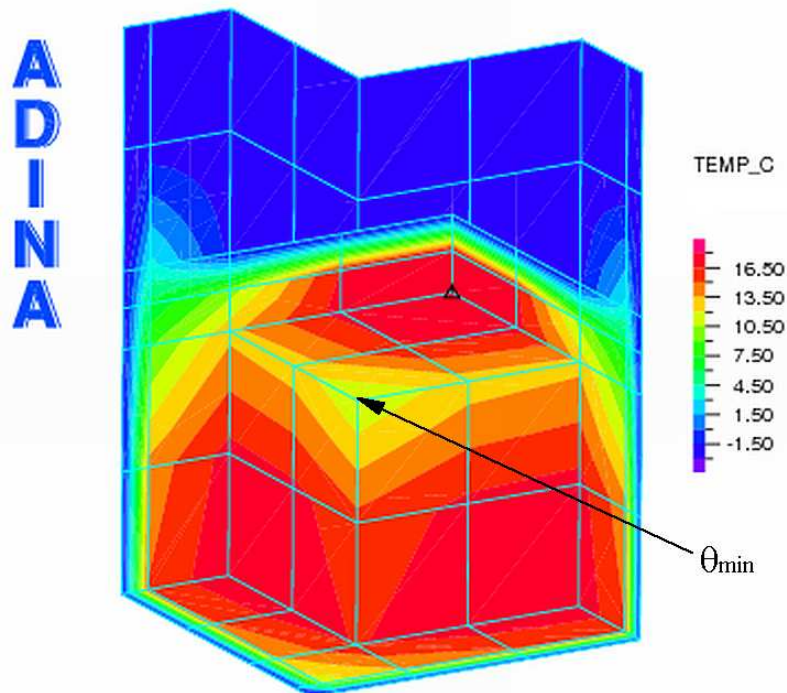


Rys. 2. Rozkład temperatury w przekroju przez nadproże i drewniane drzwi balkonowe w pobliżu połączenia stropodachu pełnego ze ścianą zewnętrzną.

Wartość bezwymiarowego czynnika temperaturowego odniesionego do najniższej temperatury na powierzchni wewnętrznej w pobliżu dwuwymiarowego mostka termicznego wynosi:

$$f_{Rsi} = \frac{\Theta_{\min,1} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e} = \frac{14,14 - (-3,0)}{20,0 - (-3,0)} = 0,745 < 0,826.$$

Można zatem stwierdzić, że wymagania sformułowane w rozporządzeniu [10] nie zostały spełnione.



Rys. 3. Rozkład temperatury na powierzchni wewnętrznej węzła wypukłego, na styku dwóch ścian zewnętrznych i stropodachu pełnego.

Wartość bezwymiarowego czynnika temperaturowego odniesionego do najniższej temperatury na powierzchni wewnętrznej trójwymiarowego mostka termicznego wynosi:

$$f_{Rsi} = \frac{\Theta_{\min} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e} = \frac{10,67 - (-3,0)}{20,0 - (-3,0)} = 0,594 < 0,826.$$

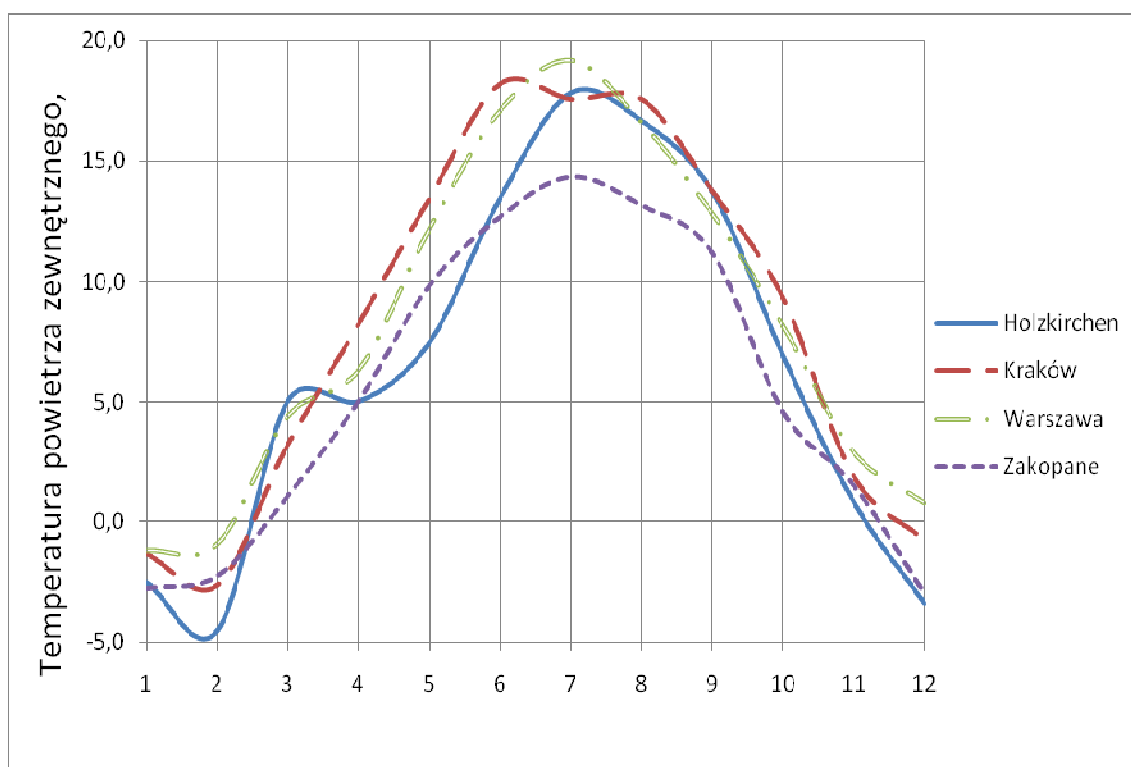
Również i w tym przypadku nie został spełniony warunek dotyczący ograniczenia ryzyka rozwoju grzybów pleśniowych.

Oba rozwiązania konstrukcyjne węzłów należy zmienić.

4. OBLICZENIA WILGOTNOŚCIOWE W WARUNKACH NIESTACJONARNYCH

Złożona wymiana ciepła i masy, jaka zachodzi w przegrodach w warunkach rzeczywistej ich eksploatacji, jest bardzo skomplikowana.

Na potrzeby niniejszego artykułu posłużono się uznanym programem WUFI®Light ([3, 9]) opracowanym w Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) ([1]). Do przeprowadzenia obliczeń wilgotnościowych w warunkach niestacjonarnych niezbędne są reprezentatywne dane specjalnie do tego celu opracowane [2, 3]. W dostępnej wersji programu WUFI zawarto tylko dane meteorologiczne położonej na południu Niemiec miejscowości Holzkirchen. Na podstawie dostępnych danych (rys.4) można stwierdzić, że klimat w Holzkirchen charakteryzuje się najwyższą roczną sumą opadów, najniższą temperaturą w miesiącach zimowych oraz przejściowych. W porównaniu do polskich miast: Krakowa i Warszawy, latem i wiosną w Holzkirchen powietrze zewnętrzne ma większą wilgotność względną, w przeciwieństwie do wczesnej jesieni, która jest bardziej wilgotna w Polsce. Dlatego też, sprawdzone pod względem wilgotnościowym przegrody, powinny być poprawne również w Polsce.



Rys. 4. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza zewnętrznego w wybranych lokalizacjach [1, 9, 11]

Obliczenia przeprowadzono w maksymalnym dopuszczalnym w tej wersji programu okresie dwóch lat, uwzględniając:

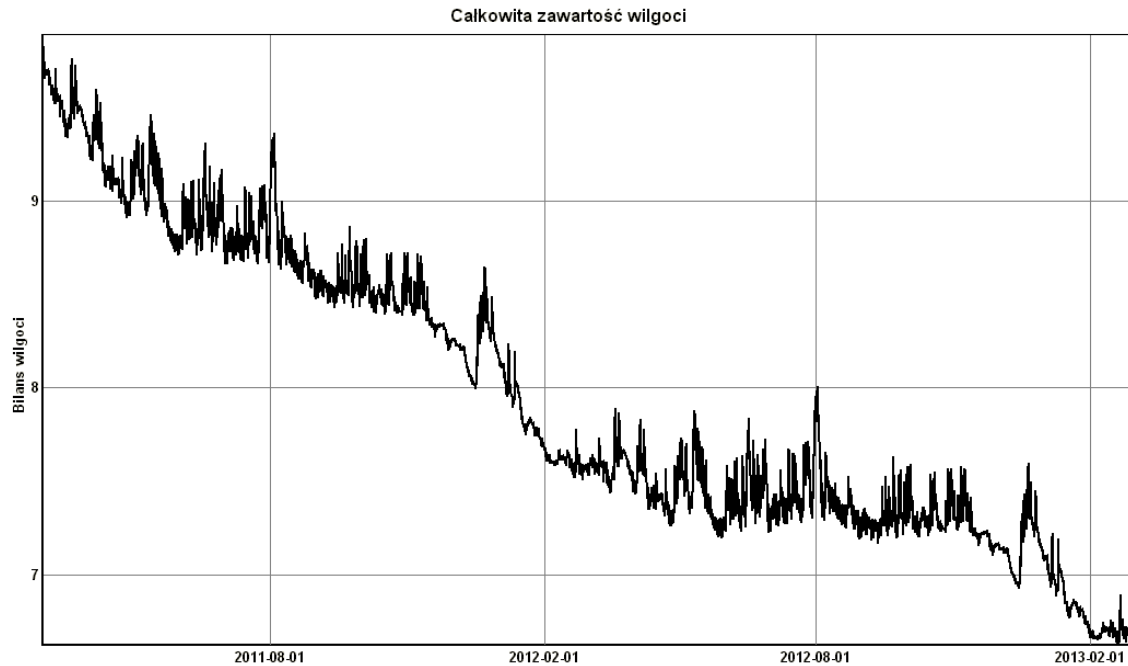
- obciążenie zacinającym deszczem,
- zawartość typowej wilgoci technologicznej,
- oddziaływanie promieniowania słonecznego.

Analizę zmiennych warunków wilgotnościowych panujących w ścianie zewnętrznej przeprowadzono zakładając zachodnią orientację

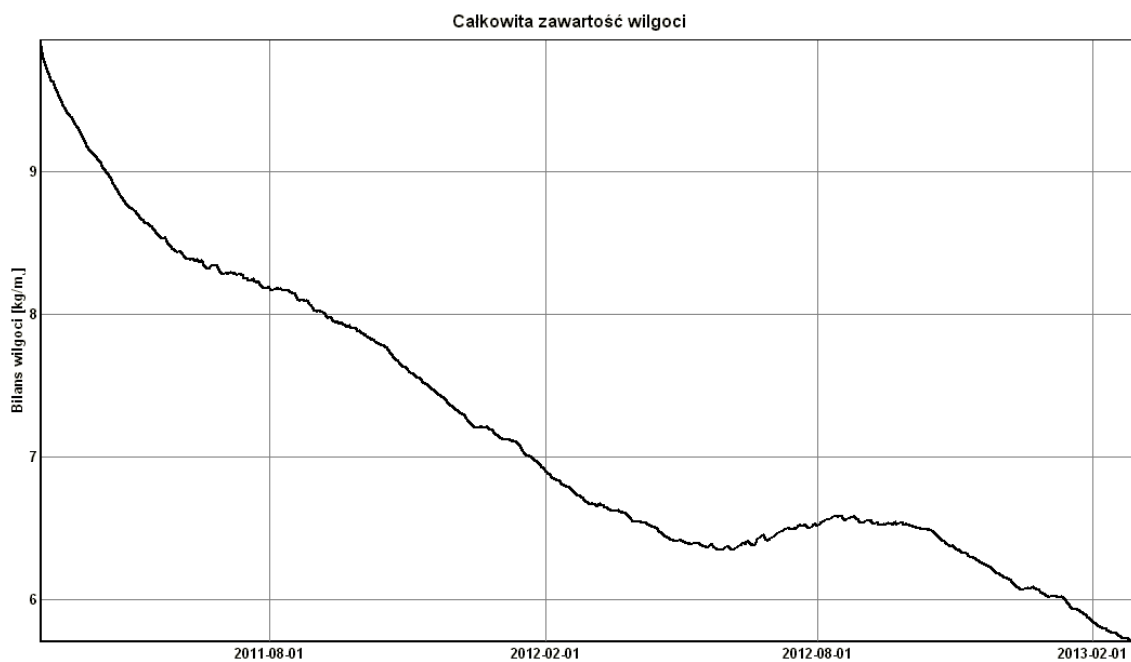
ściany, ponieważ jest to najczęstszy kierunek wiatru oraz właśnie z tego kierunku notuje się największe obciążenie zacinającym deszczem.

Przyjęto też, że budynek o zadanych przegrodach jest niski.

Wyniki obliczeń symulacyjnych, przedstawiające całkowitą zawartość wilgoci w ścianie zewnętrznej oraz stropodachu zamieszczono na kolejnych rysunkach 5 oraz 6.



Rys. 5. Całkowita zawartość wilgoci w ścianie zewnętrznej, orientacja zachodnia, kg/m^2 , [WUFI®Light]



Rys. 6. Całkowita zawartość wilgoci w stropodachu, kg/m^3 , [WUFI®Light]

W ciągu dwóch lat eksploatacji obserwuje się spadek całkowitej zawartości wilgoci, co oznacza, że nie występuje narastające w czasie zawilgocenie przegród.

5. WNIOSKI

W rozporządzeniu Ministra Infrastruktury ([10], z późniejszymi zmianami) sformułowano również wymagania mające zapobiegać:

- powierzchniowej kondensacji pary wodnej na wewnętrznych powierzchniach przegród,
- wystąpieniu i rozwojowi grzybów pleśniowych,
- narastającemu w kolejnych latach eksploatacji zawilgoceniu przegród budowlanych.

Zaproponowane algorytmy obliczeń (poprzez powołanie odpowiednich norm) uwzględniają warunki stacjonarne, a przecież procesy wymiany ciepła i masy, jakie zachodzą w przegrodach, są niestacjonarne, zależą od warunków zewnętrznych i wewnętrznych, które są zmienne w czasie.

Pojemność cieplna przegrody, sposób ogrzewania i jakość wentylacji mogą mieć wpływ na analizowane procesy.

Ponadto na rozwój grzybów pleśniowych mają wpływ właściwości chemiczne i higroskopijne powierzchniowej warstwy przegród, a także warunki mikrobiologiczne panujące w pomieszczeniu [3].

Pominięcie przy wyznaczaniu obliczeniowej wartości współczynnika przenikania ciepła wpływu liniowych mostków termicznych, na skutek aktualizacji normy [5], przyczyniło się bezpośrednio do złagodzenia sformułowanych w rozporządzeniu [10] wymagań względem izolacyjności termicznej przegród budowlanych. Zaostrzono za to wymagania odnośnie warunków wilgotnościowych.

W niektórych przypadkach, szczególnie w strefie oddziaływania wielowymiarowych mostków termicznych o grubości izolacji termicznej mogą decydować warunki wilgotnościowe, a nie tylko wymagana izolacyjność termiczna przegród.

Wprowadzanie coraz bardziej szczegółowych wymagań znacznie rozszerza zakres niezbędnych danych, które niestety nie zawsze są powszechnie dostępne.

Prawidłowe zaprojektowanie przegród zewnętrznych i rozwiązań konstrukcyjnych wymaga przeprowadzenia analizy cieplno-wilgotnościowej. Weryfikacja rozwiązań pod względem wilgotnościowym wymaga przeprowadzenia zaawansowanych obliczeń numerycznych. Nie ma aktualnie dostępnych programów służących weryfikacji węzłów konstrukcyjnych, choć usystematyzowano podstawy obliczeń ([7]).

Wykorzystanie metod numerycznych już obecnie pozwala na szczegółową weryfikację pod względem izolacyjności termicznej skomplikowanych rozwiązań przegród zewnętrznych oraz węzłów konstrukcyjnych (np. metodą elementów skończonych).

Konieczne jest udostępnienie zweryfikowanych programów komputerowych lub katalogów sprawdzonych rozwiązań do celów projektowych.

Literatura

1. Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP):
www.ibp.fraunhofer.de
2. Gawin, D., Kossecka, E. (red), *Typowy rok meteorologiczny do symulacji wymiany ciepła i masy w budynkach, Komputerowa fizyka budowli*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2002.
3. Gawin, D., Kossecka, E. (red), *Program komputerowy WUFI i jego zastosowanie w analizach cieplno-wilgotnościowych przegród budowlanych, Komputerowa fizyka budowli*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2007.
4. Laskowski, L., *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*, OWPW, Warszawa, 2008.
5. PN_EN ISO 6946: 2008 Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła - Metoda obliczania.
6. PN-EN ISO 13788: 2003 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku -- Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa -- Metody obliczania.
7. PN-EN 15026: 2008 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe komponentów budowlanych i elementów budynku – Szacowanie przenoszenia wilgoci za pomocą symulacji komputerowej.
8. Program ADINA: www.adina.com
9. Program WUFI: www.wufi-pro.com
10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2008 nr 201 poz. 1238)
11. Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków, źródło: www.mi.gov.pl