

BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Krzysztof Kasperkiewicz*

PROJEKTOWANIE OBUDOWY BUDYNKU ZE WZGLĘDU NA ZAPOBIEGANIE POWSTAWANIU ZAGRZYBIENIA

Zagrzybenie mieszkań staje się w Polsce istotnym problemem. Warunkiem niezbędnym do wyeliminowania lub ograniczenia tego problemu jest zapewnienie właściwej jakości cieplnej przegród zewnętrznych budynków. W artykule przedstawiono metodę określania jakości cieplnej przegród zewnętrznych i ich połączeń za pomocą bezwymiarowego współczynnika temperaturowego f_{RSI} , przy zastosowaniu procedur obliczeniowych podanych w ustanowionych ostatnio normach PN-EN ISO 13788:2003 i PN-EN ISO 10211-2:2002. Podano przykład obliczeniowy oraz przeanalizowano wpływ podwyższenia wilgotności względnej powietrza wewnętrznego, przzerwania ciągłości warstwy izolacji cieplnej lub zmniejszenia jej grubości na powstanie warunków ciepłno-wilgotnościowych na powierzchni przegrody, sprzyjających rozwojowi grzybów pleśniowych.

1. Wprowadzenie

Rozwój grzybów pleśniowych na wewnętrznych powierzchniach przegród budowlanych jest zjawiskiem niepożądanym, przede wszystkim dlatego, że zarodniki grzybów pleśniowych stanowią zagrożenie dla zdrowia ludzi, a ich grzybnia powoduje destrukcję materiałów budowlanych.

Zagrzybenie przegród wewnętrznych występuje dość powszechnie w wielu krajach, także w tych, które charakteryzują się wysokim stopniem rozwoju gospodarczego, i dotyczy w znacznej mierze budynków mieszkalnych. Według najnowszych danych EHCS (*English House Condition Survey*) w Zjednoczonym Królestwie zagrzybeniem dotknięte jest 18% zasobów mieszkaniowych, czyli około 4 milionów mieszkań [1]. W Niemczech szacuje się, że zagrzybenie występuje w 10–35% zasobów mieszkaniowych [2]. W Polsce nie ma oficjalnych danych statystycznych dotyczących liczby mieszkań, w których stwierdzono występowanie zagrzybenia.

Z wykonywanych w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB ekspertyz (np. ekspertyz [3] i [4]) wynika, że grzyby pleśniowe pojawiają się przede wszystkim w nowych budynkach oraz

* dr inż. – adiunkt w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB

w budynkach poddanych termomodernizacji, w których wymieniono stolarkę okienną i wprowadzono indywidualny system rozliczeń za ciepło. Liczba takich budynków wzrasta, a zatem jeśli nie będą podjęte wielokierunkowe działania przeciwdziałające powstawaniu zagrzybenia, należy się spodziewać wzrostu liczby przypadków zagrzybenia mieszkań.

Powstawanie zagrzybenia na wewnętrznych powierzchniach przegród budowlanych zależy od następujących czynników:

- niezależnych od projektanta budynku, jakimi są parametry klimatu zewnętrznego,
- ukształtowanych przez projektanta, do których zalicza się jakość cieplną elementów obudowy budynku oraz system ogrzewania i wentylacji pomieszczeń,
- kształtowanych w dużej mierze przez użytkowników pomieszczeń, tzn. zależnych od parametrów klimatu wewnętrznego.

Projektowanie przegród zewnętrznych budynków ze względu na zapobieganie powstawaniu zagrzybenia polega na zapewnieniu takiego rozwiązania przegród oraz ich połączeń, które zabezpiecza przed powstaniem na ich powierzchniach wewnętrznych zagrzybenia, przy założonym w projekcie sposobie eksploatacji pomieszczeń. W celu zapewnienia w ten sposób rozumianej jakości cieplnej obudowy budynku nie wystarczy zaprojektowanie przegród zewnętrznych tak, aby były spełnione wymagania dotyczące maksymalnych wartości współczynnika przenikania ciepła, lecz konieczne jest prawidłowe ocieplenie węzłów konstrukcyjnych powstających w miejscach połączeń tych przegród, polegające przede wszystkim na zachowaniu ciągłości warstwy izolacji cieplnej.

2. Określanie jakości cieplnej przegród zewnętrznych

Tradycyjnie przyjmuje się, że jakość cieplną przegrody określa się za pomocą oporu cieplnego lub współczynnika przenikania ciepła. Wielkości te odnoszą się do całej powierzchni przegrody, natomiast zagrzybenie występuje z reguły tylko na części przegrody, w związku z czym ani współczynnik przenikania ciepła, ani opór cieplny nie wystarczają do oceny jakości cieplnej przegrody ze względu na zagrożenie wystąpieniem zagrzybenia.

Obecnie w większości krajów europejskich jakość cieplną przegrody określa się za pomocą bezwymiarowego współczynnika temperaturowego f_{Rsi} , obliczanego z zależności

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si\ min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (1)$$

gdzie: $\theta_{si\ min}$ – minimalna temperatura wewnętrznej powierzchni przegrody zewnętrznej, °C,

θ_i – temperatura środowiska wewnętrznego, °C,

θ_e – temperatura środowiska zewnętrznego, °C.

Pojęcie współczynnika temperaturowego zostało zdefiniowane w PN-EN ISO 10211-1:1998 [5]. Najistotniejszą właściwością tego współczynnika jest to, że można go stosować do oceny całej powierzchni wewnętrznej obudowy budynku, a zatem także do połączeń dwu lub więcej przegród.

Im wyższa wartość temperatury θ_{si} , tym większa jest wartość współczynnika temperaturowego f_{Rsi} , a ryzyko wystąpienia zagrzybienia lub kondensacji powierzchniowej mniejsze. Wymaganie dotyczące zabezpieczenia przed wystąpieniem tych zjawisk jest spełnione, jeśli wartość współczynnika f_{Rsi} jest większa od jego minimalnej wartości $f_{Rsi\ min}$ podanej w przepisach budowlanych lub normie narodowej. Taki sposób formułowania wymagań został przyjęty w wielu krajach europejskich, między innymi w Belgii, Zjednoczonym Królestwie, Francji, Niemczech, Holandii i Austrii.

3. Obliczanie minimalnej wartości współczynnika temperaturowego ze względu na niedopuszczenie do powstania zagrzybienia – według PN-EN ISO 13788:2003

Powszechność problemu zagrzybienia pomieszczeń w krajach wysoko rozwiniętych stała się przyczyną opracowania nowej metody obliczania wymaganej temperatury wewnętrznej powierzchni przegrody budowlanej w celu zabezpieczenia jej przed rozwojem grzybów pleśniowych. Metoda ta została podana w EN ISO 13788:2001, przetłumaczonej na język polski i ustanowionej jako norma polska w 2003 r. [6].

Według tej metody czynnikiem powodującym powstanie zagrzybienia jest wysoka, przekraczająca 80% wilgotność powietrza stykającego się z powierzchnią przegrody, utrzymująca się przez dłuższy czas, tzn. przez co najmniej kilka dni. Z analiz teoretycznych wynika, że rozwój pleśni następuje w efekcie wystąpienia kondensacji kapilarnej w materiale, co ma miejsce przy wilgotności względnej otaczającego powietrza około 80% [7]. Z tego względu do obliczeń przyjmuje się średnie miesięczne wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza środowiska zewnętrznego i wewnętrznego.

Procedura określania minimalnej dopuszczalnej temperatury wewnętrznej powierzchni przegrody $\theta_{si, \min\ wym}$ przy której wilgotność względna powietrza stykająca się z przegrodą osiągnie 80%, została przedstawiona i zilustrowana przykładami w normie [6]. Dodatkowego omówienia wymaga jedynie sposób przyjmowania w obliczeniach danych, które powinny odpowiadać polskiemu warunkom klimatycznym oraz warunkom eksploatacji pomieszczeń.

Wielkościami charakteryzującymi klimat zewnętrzny są średnie miesięczne wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza zewnętrznego, reprezentatywne dla lokalizacji budynku. Wartości średniej miesięcznej temperatury w odniesieniu do 59 stacji meteorologicznych na terenie Polski zostały podane w załączniku B do PN-B-02025:2001 [8]. Wartości średniej miesięcznej wilgotności względnej powietrza zewnętrznego są obliczane w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej, lecz dotychczas nie zostały opublikowane ani w normie, ani w innej publikacji. Stanowi to istotne ograniczenie praktycznego zastosowania normy [6]. Z analizy dostępnych danych [9] wynika, że dla większości obszaru Polski średnią wilgotność względną powietrza zewnętrznego w miesiącach, w których występują najniższe wartości temperatury zewnętrznej, miarodajne do obliczeń $\theta_{si, \min\ wym}$ tzn. w listopadzie, grudniu, styczniu i lutym, można przyjmować na poziomie 90%.

Wartości średniomiesięcznej temperatury wewnętrznej w pomieszczeniach ogrzewanych przyjmuje się jako równe obliczeniowym wartościom tej temperatury podanym w prze-

pisach budowlanych [10], a w pomieszczeniach klimatyzowanych o specjalnych wymaganiach w odniesieniu do komfortu cieplnego wartości te należy przyjmować na podstawie projektu klimatyzacji.

W normie [6] podano kilka sposobów określania obciążenia wilgotnościowego pomieszczeń:

- z zastosowaniem klas wilgotności wewnętrznej,
- przy założeniu stałej wilgotności względnej w pomieszczeniu,
- przy zadanej emisji wilgoci do powietrza wewnętrznego oraz założeniu stałej lub zmieniającej się – w funkcji temperatury zewnętrznej – intensywności wentylacji.

W odniesieniu do budynków mieszkalnych racjonalne jest wykonywanie obliczeń przy założeniu maksymalnej wilgotności względnej powietrza φ_{\max} w pomieszczeniach. Wynika to z następujących powodów:

- wilgotność względna powietrza wewnętrznego – w odróżnieniu do pozostałych wielkości lub wskaźników – jest łatwo mierzalna, a w związku z tym może być utrzymywana na zadanym poziomie przez użytkowników pomieszczeń dzięki dostosowaniu intensywności wentylacji do emisji wilgoci,
- w obliczeniach wykonywanych przy założeniu określonej wartości wilgotności względnej w pomieszczeniach nie jest potrzebna znajomość średniej miesięcznej wilgotności względnej powietrza zewnętrznego.

W mieszkaniach dostosowanie intensywności wentylacji do emisji wilgoci odbywa się przez zmianę stopnia otwarcia nawiewników powietrza zewnętrznego lub okresowe przewietrzanie przez otwieranie okien. W przypadku mieszkania o kubaturze 150 m^3 , reprezentatywnego dla warunków polskich, intensywność wentylacji wymagana w okresie zimowym do utrzymania wilgotności względnej powietrza wewnętrznego na poziomie $\varphi_{\max} = 50\%$ przy emisji wilgoci 7 kg na dobę, co jest wartością przeciętną według danych niemieckich [2], wynosi od $0,5$ do $0,6$ wymiany powietrza na godzinę. Przy większej emisji wilgoci intensywność wentylacji powinna być zwiększona, co jest możliwe, ponieważ moc cieplną grzejników projektuje się przyjmując 1 wymianę powietrza w mieszkaniu [11]. Oznacza to, że emisja wilgoci w mieszkaniu o przeciętnej wielkości – bez ryzyka wystąpienia zagrzybienia i obniżenia temperatury wewnętrznej – może osiągnąć aż 14 kg na dobę.

Wynikiem obliczeń przeprowadzanych zgodnie z procedurami podanymi w normie [6] są minimalne wymagane wartości współczynnika temperaturowego $f_{Rsi \text{ wym}}$ w odniesieniu do poszczególnych miesięcy. Do projektowania lub oceny przegród budynku ze względu na zapobieganie powstawaniu zagrzybienia należy przyjąć największą wartość współczynnika temperaturowego $f_{Rsi \text{ wym max}}$.

4. Obliczanie minimalnej wartości współczynnika temperaturowego w węzłach konstrukcyjnych według PN-EN ISO 10211-2:2002 [12]

Z doświadczeń eksploatacyjnych potwierdzonych analizami obliczeniowymi wynika, że zagrzybienie powstaje w obszarach wspólnego oddziaływania dwu lub trzech linio-

wych mostków cieplnych, tzn. w miejscach połączenia dwu lub trzech przegród, na przykład stropodachu z dwiema ścianami zewnętrznymi w narożu wypukłym budynku (rys. 1).

Określenie wartości współczynnika temperaturowego w takim obszarze wymaga przeprowadzenia symulacyjnych obliczeń przepływu ciepła w obszarze trójwymiarowym [13]. Obliczenia takie wymagają zastosowania specjalnych programów komputerowych, przystosowanych do badania stacjonarnego przepływu ciepła w obiektach trójwymiarowych oraz znacznego nakładu pracy związanej z opracowaniem modelu geometryczno-materiałowego węzła konstrukcyjnego, w związku z czym nie są możliwe do wykonania w standardowym projekcie budynku.

Do zastosowań praktycznych nadaje się uproszczona metoda obliczania współczynnika temperaturowego w obszarze trójwymiarowym f_{Rsi}^{3D} , na podstawie współczynników temperaturowych f_{Rsi}^{1D} , charakteryzujących przegrody tworzące dany węzeł konstrukcyjny, i f_{Rsi}^{2D} , charakteryzujących liniowe mostki cieplne powstające na połączeniach tych przegród [12].

Obliczenia współczynnika temperaturowego f_{Rsi}^{3D} przeprowadza się według następujących zależności:

- w przypadku trzech przecinających się mostków liniowych (rys. 1)

$$f_{Rsi}^{3D} = \frac{1}{\frac{1}{f_{Rsi}^{2D,x}} + \frac{1}{f_{Rsi}^{2D,y}} + \frac{1}{f_{Rsi}^{2D,z}} - \frac{2}{f_{Rsi}^{1D}}} \quad (2)$$

- w przypadku dwóch przecinających się mostków liniowych, na przykład nadproża okiennego z boczną ścianą otworu okiennego

$$f_{Rsi}^{3D} = \frac{1}{\frac{1}{f_{Rsi}^{2D,x}} + \frac{1}{f_{Rsi}^{2D,y}} - \frac{1}{f_{Rsi}^{1D}}} \quad (3)$$

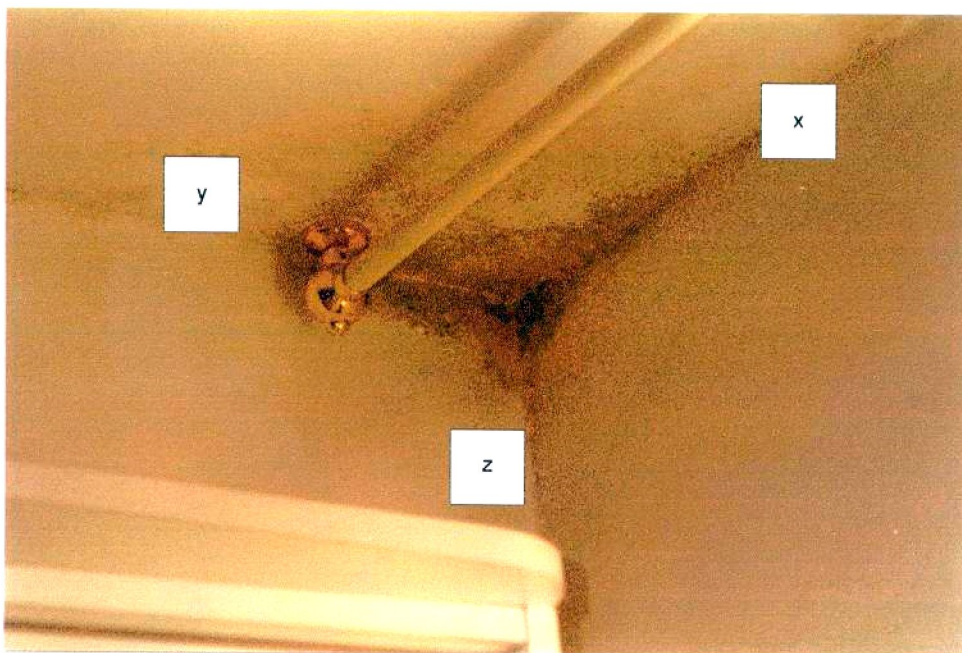
Symbole zastosowane we wzorach (2) i (3) oznaczają:

- $f_{Rsi}^{2D,x}$ – wartość współczynnika temperaturowego charakteryzującego liniowy mostek cieplny wzdłuż osi x – połączenie ściany zewnętrznej ze stropem (rys. 1),
- $f_{Rsi}^{2D,y}$ – wartość współczynnika temperaturowego charakteryzującego liniowy mostek cieplny wzdłuż osi y – połączenie drugiej ściany zewnętrznej ze stropem (rys. 1),
- $f_{Rsi}^{2D,z}$ – wartość współczynnika temperaturowego charakteryzującego liniowy mostek cieplny wzdłuż osi z – połączenie dwu ścian zewnętrznych ze sobą (rys. 1),
- f_{Rsi}^{1D} – średnia arytmetyczna współczynników temperaturowych przegród tworzących węzeł konstrukcyjny $f_{Rsi,j}^{1D}$:

$$f_{Rsi}^{1D} = \frac{\sum_{j=1}^n f_{Rsi,j}^{1D}}{n} \quad (4)$$

gdzie $n = 3$ w przypadku stosowania wzoru (2) lub $n = 2$, kiedy stosowany jest wzór (3).

Wartości f_{Rsi}^{2D} , charakteryzujące poszczególne liniowe mostki cieplne, oraz wartości f_{Rsi}^{1D} , charakteryzujące poszczególne przegrody, wyznacza się korzystając z katalogu mostków cieplnych, na przykład komputerowego katalogu EUROKOBRA [14].



Rys. 1. Przykład zagrzybienia występującego w narożniku wypukłym ścian zewnętrznych i stropodachu
Fig. 1. Example of moulds occurring in the convex corner formed by exterior walls and roof

Współczynnik temperaturowy przegród jednorodnych cieplnie można także obliczyć ze wzoru

$$f_{Rsi}^{1D} = \frac{R_t + R_{se}}{R_t + R_{se} + R_{si}} \quad (5)$$

w którym: R_t – opór cieplny przegrody, $m^2 \cdot K/W$,

R_{se} – opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody, $m^2 \cdot K/W$, $R_{se} = 0,04 m^2 \cdot K/W$,

R_{si} – opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody, $m^2 \cdot K/W$, $R_{si} = 0,25 m^2 \cdot K/W$.

Należy zaznaczyć, że wartość oporu przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody przyjmowana w obliczeniach cieplnych przegród wykonywanych ze wzglę-

du na zabezpieczenie ich powierzchni przed zagrzybieniem jest większa niż wartość tego oporu przyjmowana w obliczeniach strat ciepła przez przenikanie. W tym ostatnim przypadku do obliczeń przyjmuje się, w zależności od kierunku strumienia ciepłego, wartości R_{si} równe [15]:

- 0,10 m²·K/W w przypadku przepływu ciepła w górę,
- 0,13 m²·K/W w przypadku poziomego przepływu ciepła,
- 0,17 m²·K/W w przypadku przepływu ciepła w dół.

Węzeł konstrukcyjny jest prawidłowo zaprojektowany ze względu na powstawanie zagrzybienia, jeśli spełniony jest warunek

$$f_{Rsi\ wym}^{3D} \leq f_{Rsi\ obl}^{3D} \quad (6)$$

gdzie: $f_{Rsi\ wym}^{3D}$ – wymagana wartość współczynnika temperaturowego obliczona według PN-EN ISO 13788:2003 [6],

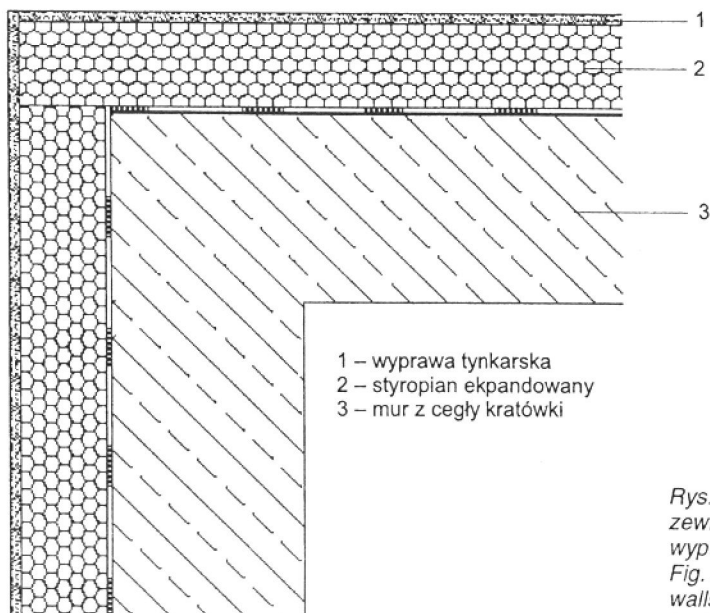
$f_{Rsi\ obl}^{3D}$ – wartość współczynnika temperaturowego obliczona w odniesieniu do konkretnego węzła konstrukcyjnego według PN-EN ISO 10211-2:2002 [12] przy wykorzystaniu katalogu liniowych mostków cieplnych.

5. Przykład obliczeniowy

Zaprojektowanie izolacji cieplnej ścian zewnętrznych i stropodachu pełnego, tak aby spełniony był warunek $f_{Rsi\ wym} \leq f_{Rsi\ obl}$ w narożu wypukłym utworzonym przez połączenie dwu ścian zewnętrznych ze stropodachem.

5.1. Dane wyjściowe do projektu

- Lokalizacja budynku – Warszawa.
- Przeznaczenie budynku – budynek mieszkalny.
- Przegląd:
 - ściana zewnętrzna warstwowa: mur z cegły kratówki o grubości 25 cm ocieplony od zewnątrz styropianem FS odmiany 20 (rys. 2),
 - stropodach pełny z żelbetowych płyt stropowych o grubości 20 cm ocieplony od zewnątrz styropianem ekstrudowanym (system odwrócony według zaleceń [16] – rys. 3).
- Izolacja cieplna:
 - przyjęto jednakową grubość warstw ocieplenia na ścianach zewnętrznych i stropodachu równą 15 cm,
 - górną powierzchnię ściany atykowej ocieplono warstwą styropianu ekstrudowanego grubości 10 cm,
 - boczną wewnętrzną powierzchnię ściany atykowej ocieplono warstwą styropianu ekstrudowanego grubości 5 cm.
 - Współczynniki przewodzenia ciepła materiałów zastosowanych do konstrukcji przegród określono na podstawie PN-EN ISO 6946:1999 [15]. W obliczeniach cieplnych pominięto opór cieplny warstw balastu ułożonych na powierzchni styropianu.



Rys. 2. Połączenie ścian zewnętrznych w narożu wypukłym – przekrój poziomy
Fig. 2. Connection of external walls in the outer corner – horizontal section

5.2. Obliczenie wymaganej wartości współczynnika temperaturowego f_{Rsi}^{3D} wym

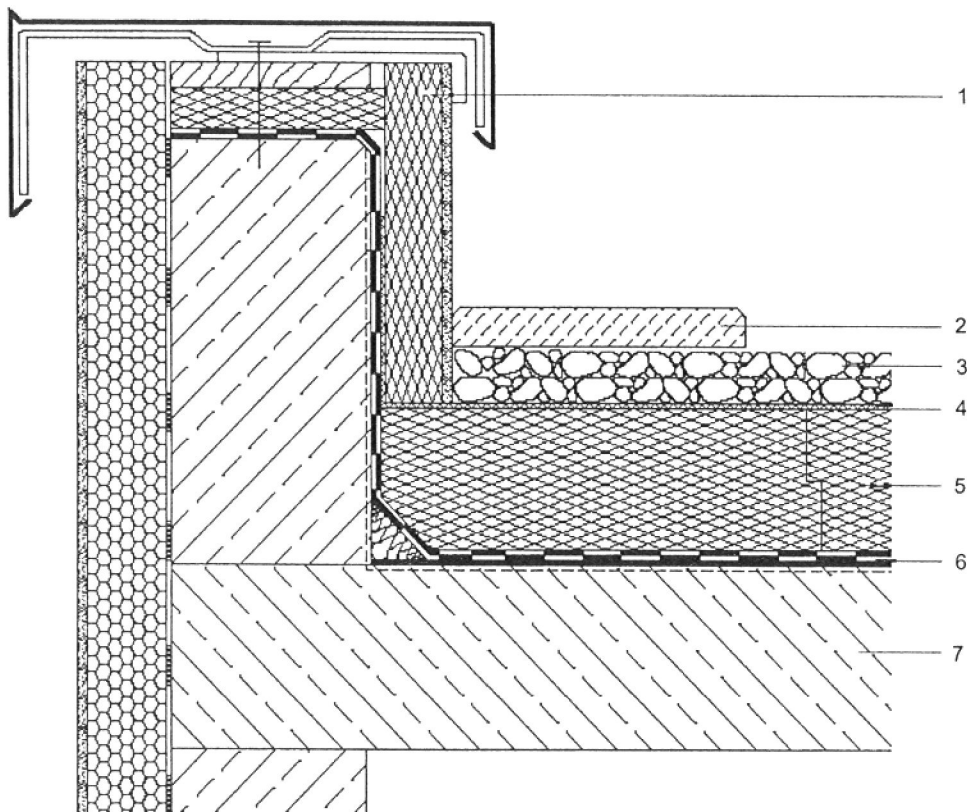
Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza zewnętrznego w miesiącach jesienno-zimowych $\theta_{e\ \acute{s}r}$ dla Warszawy zestawiono w tablicy 1 (kolumna 2).

Tablica 1. Zestawienie $\theta_{e\ \acute{s}r}$, f_{Rsi}^{3D} wym i f_{Rsi}^{3D} obl

Table 1. Specification of $\theta_{e\ \acute{s}r}$, f_{Rsi}^{3D} wym and f_{Rsi}^{3D} obl

Miesiąc	$\theta_{e\ \acute{s}r}$, °C	f_{Rsi}^{3D} wym	f_{Rsi}^{3D} wym
1	2	3	4
Październik	8,4	0,362	0,720
Listopad	3,3	0,557	
Grudzień	-0,8	0,644	
Styczeń	-3,4	0,684	
Luty	-2,6	0,676	
Marzec	1,4	0,602	

- Parametry powietrza wewnętrznego:
 $\theta_i = 20$ °C, według rozporządzenia [10],
 $\varphi_{i\ dop} = 50\%$, według założeń projektowych.



- 1 – styropian ekstrudowany
- 2 – płyta chodnikowa
- 3 – warstwa żwiru
- 4 – dyfuzyjna, odporna na gnicie warstwa geowłókniny polimerowej, 110 + 140 g/m² układana luzem z 200 mm zakładem
- 5 – styropian ekstrudowany
- 6 – polimerowo-bitumiczna izolacja przeciwwilgociowa
- 7 – płyta konstrukcyjna

Rys. 3. Połączenie stropodachu odwróconego ze ścianą zewnętrzną budynku według [16] – przekrój pionowy

Fig. 3. Connection of inverted roof with external wall of the building according to [16] – vertical section

- Dopuszczalna wartość cząstkowego ciśnienia pary wodnej w powietrzu wewnętrznym:

$$p_{i\,dop} = \frac{\varphi_{i\,dop} \cdot p_{i\,sat}}{100}$$

gdzie $p_{i\,sat}$ – ciśnienie pary nasyconej w temperaturze 20 °C.

- Wartość $p_{i\,sat}$ odczytana z tablicy E.1 w normie [6] jest równa 2337 Pa, zatem:

$$p_{i\,dop} = 0,5 \cdot 2337 = 1169 \text{ Pa}$$

- Wartość ciśnienia pary nasyconej, przy której wilgotność względna powietrza wewnętrznego osiąga 80%, jest równa

$$p_{sat} = \frac{p_{i dop}}{0,8} = 1461 \text{ Pa}$$

- Najniższa dopuszczalna temperatura powierzchni wewnętrznej przegrody odpowiadająca ciśnieniu p_{sat} , obliczona ze wzoru E.9 w normie [6] lub określona metodą interpolacji z tabelicy E.1 w tej normie, jest równa

$$\theta_{si, min wym} = 12,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Obliczone ze wzoru (1) wartości współczynnika temperaturowego f_{Rsi}^{3D} w poszczególnych miesiącach podano w tabelicy 1 (kolumna 3). Miarodajna do oceny jakości cieplnej węzła konstrukcyjnego jest największa wartość $f_{Rsi}^{3D}{}_{wym max} = 0,684$, wymagana do zabezpieczenia wewnętrznej powierzchni przegrody przed zagrzybieniem w styczniu.

5.3. Ocena jakości cieplnej węzła konstrukcyjnego

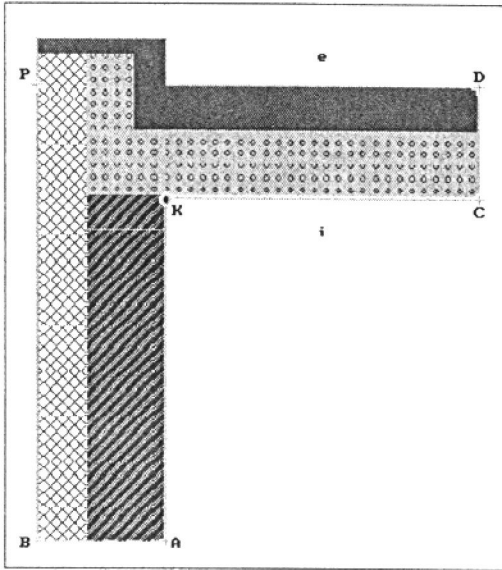
- W węźle konstrukcyjnym, jaki tworzy się w miejscu połączenia dwu ścian zewnętrznych ze stropodachem, występują trzy przecinające się liniowe mostki cieplne: na połączeniu każdej ze ścian ze stropodachem i na połączeniu ścian ze sobą. Wartość współczynnika temperaturowego $f_{Rsi obl} = f_{Rsi}^{3D}$, charakteryzującego jakość cieplną węzła konstrukcyjnego, oblicza się ze wzoru (2). Wartościami niezbędnymi do wykonania obliczeń są współczynniki temperaturowe charakteryzujące jakość cieplną połączeń przegród f_{Rsi}^{2D} , obliczone za pomocą komputerowego katalogu mostków cieplnych EUROKOBRA (rys. 4 i 5) oraz współczynniki temperaturowe samych przegród f_{Rsi}^{1D} , obliczone jak wyżej (rys. 6 i 7). Wartości współczynników temperaturowych f_{Rsi}^{2D} i f_{Rsi}^{1D} zestawiono w tabelicy 2.

Tabela 2. Zestawienie wartości współczynników temperaturowych f_{Rsi}^{2D} i f_{Rsi}^{1D}
 Table 2. Specification of values of the temperature coefficients f_{Rsi}^{2D} and f_{Rsi}^{1D}

Przegroda lub połączenie przegród	f_{Rsi}^{1D}	f_{Rsi}^{2D}
Ściana zewnętrzna	0,94	–
Stropodach	0,94	–
Połączenie ściany zewnętrznej ze stropodachu	–	0,84
Wzajemne połączenie ścian zewnętrznych	–	0,88

- Obliczona według wzoru (2) wartość współczynnika temperaturowego f_{Rsi}^{3D} , będąca zarazem wartością $f_{Rsi obl}$, charakteryzującą jakość cieplną węzła konstrukcyjnego, jest równa 0,720 (kolumna 4 tabelicy 1).

grupa: _1 - węzeł: _1_16
p.44-16



WYNIKI	
$R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$	$h_i = 4.0 \text{ W/m}^2\text{K}$
$\theta_i = 20.0 \text{ }^\circ\text{C}$	$\theta_w = -20.0 \text{ }^\circ\text{C}$
TEMPERATURA	
wstaw $h_i = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$	
K: $f(0.25) = 0.94$	$\theta = 13.5 \text{ }^\circ\text{C}$
zmniejszone ryzyko kondensacji	
O: $f(0.25) = 0.84$	$\theta = 13.5 \text{ }^\circ\text{C}$
zmniejszone ryzyko kondensacji	
U Q L PSI	
wstaw $h_i = 7.7 \text{ W/m}^2\text{K}$	
U [$\text{W/m}^2\text{K}$]	
A-B: 0.22	C-D: 0.24
strumień $Q(B-D) = 27.5 \text{ W/m}$	
wsp. sprzez. ciepl. $L_{ie} = 0.7 \text{ W/mK}$	
$\psi_{si-e} = L_{ie} - U(AB) \cdot BP - U(CD) \cdot DP$	
$= 0.02 \text{ W/mK}$	
$\psi_{si-i} = L_{ie} - U(AB) \cdot AK - U(CD) \cdot CK$	
$= 0.20 \text{ W/mK}$	

Rys. 4. Obliczenie wartości współczynnika f_{Rsi}^{2D} w odniesieniu do połączenia ściany zewnętrznej ze stropodachem

Fig 4. Calculation of the coefficient f_{Rsi}^{2D} value referring to the connection of the external wall and roof

• Z porównania tej wartości z obliczoną wcześniej wartością $f_{Rsi \text{ wym}}^{3D}$ wynika, że $f_{Rsi \text{ wym}}^{3D} < f_{Rsi \text{ obl}}^{3D}$, a zatem przy średniej wartości wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu w styczniu, nie przekraczającej 50%, spełnione są warunki zabezpieczenia węzła konstrukcyjnego przed powstaniem zagrzybienia na jego powierzchni.

Zabezpieczenie węzła konstrukcyjnego przed wystąpieniem zagrzybienia uzyskano dzięki:

- zastosowaniu dobrej izolacji cieplnej przegród zewnętrznych – współczynnik przenikania ciepła przegrody liczony dla jej jednorodnego obszaru U_c nie przekraczał $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,
- zastosowaniu dobrej izolacji cieplnej obszaru węzła konstrukcyjnego, bez przerywania warstwy izolacji cieplnej,
- utrzymywaniu na średnim poziomie wilgotności względnej powietrza wewnętrznego.

O tym, który z wyżej wymienionych czynników ma większe znaczenie od pozostałych, można się łatwo przekonać na podstawie obliczeń analogicznych do wyżej podanych – zmieniając każdorazowo tylko jedną daną do obliczeń:

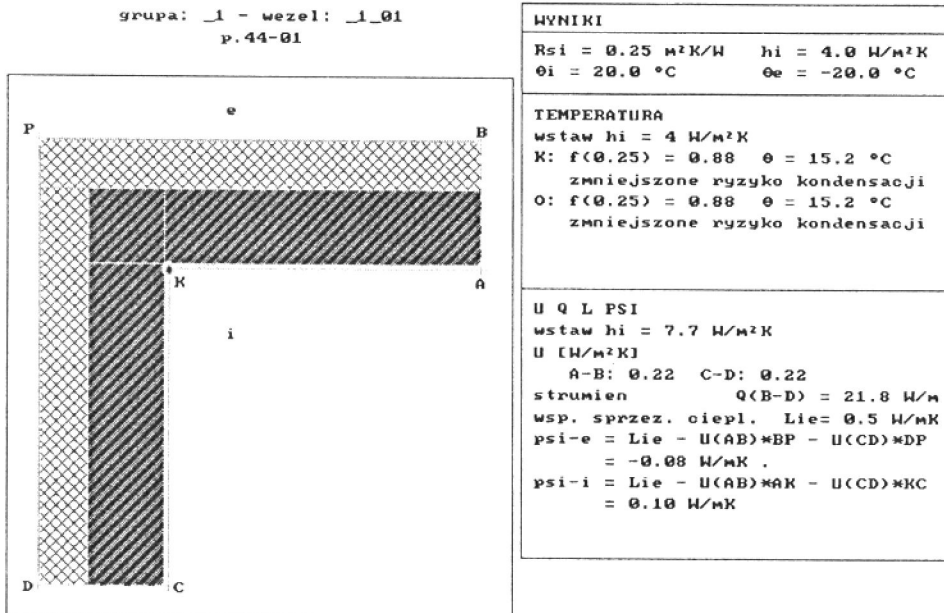
- a) przyjmując $\varphi_{\text{max}} = 55\%$ zamiast 50% ,
- b) przyjmując 10-centymetrową grubość warstwy izolacji cieplnej ścian zewnętrznych i stropodachu zamiast 15-centymetrowej,
- c) pozostawiając przerwę w warstwie izolacyjnej na wierzchu ściany atykowej – zamiast czapy styropianowej zastosowano czapę żelbetową (rys. 3).

Wyniki obliczeń wartości współczynników $f_{Rsi\ wym}^{3D}$ i $f_{Rsi\ obl}^{3D}$ w każdym z podanych wyżej przypadków podano w tablicy 3.

Tablica 3. Porównanie wartości $f_{Rsi\ wym}^{3D}$ i $f_{Rsi\ obl}^{3D}$ przy założeniu osłabionej izolacji cieplnej przegród lub zwiększonego obciążenia wilgotnościowego pomieszczenia
 Table 3. Comparison of $f_{Rsi\ wym}^{3D}$ and $f_{Rsi\ obl}^{3D}$ values assuming the reduced thermal insulation of partitions or increased humidity load in the room

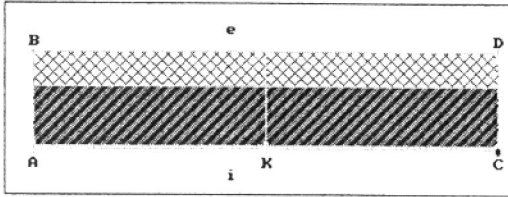
Przypadek obliczeniowy	$f_{Rsi\ wym}^{3D}$	$f_{Rsi\ obl}^{3D}$	Ocena spełnienia wymagania
a	0,748	0,720	niespełnione
b	0,684	0,698	spełnione
c	0,684	0,597	niespełnione

Z porównania wartości obydwu współczynników wynika, że w przypadkach a) i c) $f_{Rsi\ wym}^{3D} > f_{Rsi\ obl}^{3D}$, a zatem warunek zabezpieczenia przegrody przed powstaniem zarzybienia nie został spełniony, natomiast w przypadku b) warunek ten jest spełniony, aczkolwiek z bardzo małym zapasem.



Rys. 5. Obliczenie wartości współczynnika f_{Rsi}^{2D} w odniesieniu do połączenia dwu ścian zewnętrznych
 Fig 5. Calculation of the coefficient f_{Rsi}^{2D} value referring to the connection of two external walls

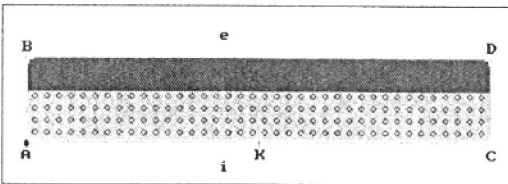
grupa: 2 - wezel: 2_01
p. 45-01



WYNIKI	
Rsi = 0.25 m ² K/W	hi = 4.0 W/m ² K
θi = 20.0 °C	θe = -20.0 °C
TEMPERATURA	
wstaw hi = 4 W/m ² K	
K: f(0.25) = 0.94	θ = 17.8 °C
zmniejszone ryzyko kondensacji	
O: f(0.25) = 0.94	θ = 17.8 °C
zmniejszone ryzyko kondensacji	
U Q L PSI	
wstaw hi = 7.7 W/m ² K	
U [W/m ² K]	
A-B: 0.22	
strumien	Q(B-D) = 17.70 W/m
wsp. sprzez. ciepl.	Lie = 0.4 W/mK
psi-e = Lie - U(AB)*BD	
	= 0.00 W/mK
psi-i = Lie - U(AB)*AC	
	= 0.00 W/mK
Um = Lie/AC = 0.22 W/m ² K	

Rys. 6. Obliczenie wartości współczynnika f_{Rsi}^{1D} w odniesieniu do ściany zewnętrznej
Fig. 6. Calculation of the coefficient f_{Rsi}^{1D} value referring to the external wall

grupa: 2 - wezel: 2_04
p. 45-04



WYNIKI	
Rsi = 0.25 m ² K/W	hi = 4.0 W/m ² K
θi = 20.0 °C	θe = -20.0 °C
TEMPERATURA	
wstaw hi = 4 W/m ² K	
K: f(0.25) = 0.94	θ = 17.6 °C
zmniejszone ryzyko kondensacji	
O: f(0.25) = 0.94	θ = 17.6 °C
zmniejszone ryzyko kondensacji	
U Q L PSI	
wstaw hi = 7.7 W/m ² K	
U [W/m ² K]	
A-B: 0.24	
strumien	Q(B-D) = 19.11 W/m
wsp. sprzez. ciepl.	Lie = 0.5 W/mK
psi-e = Lie - U(AB)*BD	
	= 0.00 W/mK
psi-i = Lie - U(AB)*AC	
	= 0.00 W/mK
Um = Lie/AC = 0.24 W/m ² K	

Rys. 7. Obliczenie wartości współczynnika f_{Rsi}^{1D} w odniesieniu do stropodachu
Fig. 7. Calculation of the coefficient f_{Rsi}^{1D} value referring to the roof

6. Wnioski

- Wprowadzone ostatnio do zbioru Polskich Norm normy PN-EN ISO 13788:2003 [6] oraz PN-EN ISO 10211-2: 2002 [12] umożliwiają projektowanie przegród zewnętrznych ze względu na zapobieganie zagrzybieniu ich powierzchni wewnętrznych bez konieczności wykonywania symulacyjnych obliczeń przepływu ciepła w obszarze trójwymiarowym.
- Z przeprowadzonej analizy można wyciągnąć wniosek uogólniający, że dla zabezpieczenia powierzchni przegród przed zagrzybieniem największe znaczenie ma zapewnienie ciągłości i grubości izolacji cieplnej w obszarze węzła konstrukcyjnego oraz utrzymywanie wilgotności względnej powietrza wewnętrznego na poziomie przyjętym w projekcie.

Bibliografia

- [1] Sanders C.: Thermal Bridges at Junctions and Openings, UK conference on thermal bridging „Part L & Thermal Bridging – Getting in Right” , BRE Garston UK, 24th May 2002
- [2] 17. Tagung der Arbeitsgruppe der mittel- und südosteuropäischen Staaten (MOE) „Instandsetzung und Modernisierung des Gebäudebestandes in der Grottafelbauweise” zum Thema „Richtig sanieren – Schimmelpilz vermeiden – gesundes Mikroklima schaffen” Hygienisch-gesundheitliche und bautenschutztechnische Probleme bei der Instandsetzung /Modernisierung von Wohnungen. November 2000, Berlin
- [3] NF-0523/P/03 Ekspertyza dotycząca kondensacji powierzchniowej i zagrzybienia ścian w lokalach mieszkalnych przy ul. Turkusowej 7a/7 i ul. Płk. Dąbka 201c/8 w Gdyni Obstuze
- [4] NF-0514/P/03 Ekspertyza w celu ustalenia przyczyn zawilgocenia ścian i powstawania pleśni w lokalu nr 24 w budynku przy ul. Domaniewskiej 22a w Warszawie
- [5] PN-EN ISO 10211-1:1998 Mostki cieplne w budynkach. Strumień cieplny i temperatura powierzchni. Ogólne metody 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. Metoda obliczania
- [7] Pogorzelski J. A.: Kryterium kondensacji pary wodnej na powierzchni przegród według prEN ISO 13788. II Konferencja Naukowo-Techniczna „Budownictwo ogólne”, Bydgoszcz – Wenecja, 17–19 maja 2001 r.
- [8] PN-B-02025:2001 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego
- [9] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Atlas klimatyczny Polski. PPWK, Warszawa 1973
- [10] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. z 2002 r., nr 75, poz. 690
- [11] PN-B-03406 Ogrzewnictwo. Obliczanie zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń o kubaturze do 600 m³

- [12] PN-EN ISO 10211-2:2002 Mostki cieplne w budynkach. Obliczanie strumieni cieplnych i temperatury powierzchni. Część 2: Liniowe mostki cieplne
- [13] Kasperkiewicz K., Geryło R.: Diagnostyka przyczyn kondensacji pary wodnej na wewnętrznych powierzchniach przegród zewnętrznych. II Konferencja Naukowo-Techniczna „Budownictwo ogólne”. Bydgoszcz – Wenecja, 17–19 maja 2001 r.
- [14] Komputerowy katalog mostków cieplnych EUROKOBRA
- [15] PN-EN ISO 6946:1999 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania
- [16] Rozwiązania STYROFOAM. Izolacja dachów płaskich w systemie odwróconym. www.dow.com/styrofoam/europe/pl/

DESIGNING OF BUILDING ENVELOPE FOR AVOIDANCE OF MOULD GROWTH

Summary

Mould growth in dwellings becomes a significant problem in Poland. To remove or to reduce this problem it is necessary to ensure an appropriate thermal quality of building envelope elements. The paper describes a method for assesment of thermal quality of external walls and roofs, elaborated on the basis of the undimensional temperature coefficient f_{Rsi} , using calculation procedures given in the recently established standards PN-EN ISO 13788:2003 and PN-EN ISO 10211:2002. The influence of the internal humidity increase, insulation layer interruption or decreasing of its thickness on the creation of favourable conditions for development of mould growth is analysed. The paper is completed by calculation example.

Praca wpłynęła do Redakcji 27 II 2004