



dr inż. Kazimierz Marszałek¹⁾
dr inż. Jacek Boroń^{1)*}

Ochrona przegród budowlanych przed rozwojem pleśni

Selected aspect of the building envelope protection against mould growth

DOI: 10.15199/33.2015.10.17

(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. W artykule podjęto próbę zdefiniowania kryterium ochrony przegród budowlanych przed rozwojem grzybów pleśniowych. Do oceny zagrożenia przyjęto wartości czynnika temperaturowego f_{Rsi} z uwzględnieniem różnej klasy wilgotności pomieszczeń. Obliczenia dotyczyły miesiąca krytycznego w tych miejscach w Polsce, dla których dane meteorologiczne są dostępne na stronie internetowej Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju. Zaproponowano zilustrowanie wyników izoliniami stref sporządzonymi dla całego obszaru Polski.

Słowa kluczowe: czynnik temperaturowy, izolinie, pleśń, przegroda budowlana.

Abstract. his paper describes the criterion for the protection of building envelopes against the growth of mould. For assessing the risk for envelopes, the f_{Rsi} temperature factor has been adopted. While calculating the temperature factor various room humidity classes have been taken into account. The calculations were performed for the critical month in these areas in Poland, for which typical meteorological year data are available on the website of the Ministry of Infrastructure and Development. The results of calculations have been illustrated with isolines drawn for the whole area of Poland.

Keywords: building envelopes, isolines, mould, temperature factor.

Szczególną uwagę na niepokojącą obecność pleśni na ścianach zwrócono w Europie Zachodniej dopiero na początku drugiej połowy lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku [1]. Wówczas takie kraje, jak Belgia, Holandia, Włochy, Niemcy i Wielka Brytania podjęły prace nad zjawiskami kondensacji powierzchniowej wilgoci oraz związanym z nią powstawaniem i rozwojem pleśni na powierzchniach przegród budowlanych [2]. W wyniku wspomnianych badań zwrócono uwagę na problem pojawiania się pleśni na powierzchniach przegród nie tylko wtedy, gdy są one zawilgocone w wyniku kondensacji pary wodnej. Zauważono, że grzyby pleśniowe pojawiają się i rozwijają również na powierzchniach przegród budowlanych stykających się z powietrzem o wilgotności względnej mniejszej niż 100% i ustalono, że ryzyko rozwoju pleśni istnieje już w przypadku wystąpienia wilgotności względnej ok. 80% (w pobliżu materiałów wrażliwych na wilgoć), jeśli utrzymuje się przez co najmniej kilka dni. W konsekwencji wilgotność względną powietrza na poziomie 80% uznano za krytyczną [3] i sformułowano następujący warunek możliwości rozwoju pleśni:

$$p_i \geq 0,8 \cdot p_{sat}(\theta_{si}) \quad (1)$$

gdzie:

p_i – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu, w pomieszczeniu,
 $p_{sat}(\theta_{si})$ – ciśnienie pary nasyconej.

Zgodnie z przepisami obowiązującymi w Polsce do końca 2008 r. wystarczyło ograniczyć się do wykazania, że temperatura powierzchni przegrody jest wyższa przynajmniej o 1 K od punktu rosy powietrza w pomieszczeniu (w tzw. warunkach obliczeniowych), aby można było uznać, że nie dojdzie tam do kondensacji pary wodnej sprzyjającej rozwojowi grzybów pleśniowych. Szczegółowe przepisy w tym zakresie sformułowano w rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [4]. Obecnie wiemy, że wspomniany warunek okazał się niewystarczający do zapewnienia ochrony mieszkań przed występowaniem grzybów pleśniowych.

Chcąc skorzystać z warunku podanego we wzorze (1), należy wykonać obliczenia minimalnej, dopuszczalnej temperatury powierzchni $\theta_{si, min}$, tj. najniższej temperatury powierzchni wewnętrznej przegrody zewnętrznej, poniżej której rozpoczyna się rozwój pleśni. Znając tę wartość, temperaturę powietrza w pomieszczeniu θ_i oraz temperaturę na zewnątrz budynku θ_e można obliczyć (dla każdego miesiąca w roku) minimalną wartość bezwymiarowej tempe-

ratury wewnętrznej powierzchni $f_{Rsi, min}$, nazywanej także minimalnym czynnikiem (lub współczynnikiem) temperaturowym. Krytycznym miesiącem jest ten, w którym wymagana wartość $f_{Rsi, min}$ jest największa [5]. Czynnikiem temperaturowym dla tego miesiąca przyjmuje wartość $f_{Rsi, max}$. Aby uniknąć pojawiania się pleśni, należy projektować obudowy zewnętrzne budynków tak, aby wartość $f_{Rsi, max}$ była zawsze mniejsza od wartości czynnika temperaturowego f_{Rsi} charakteryzującego jakość cieplną obudowy budynku, tj.:

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e) > f_{Rsi, max} \quad (2)$$

co w przypadku płaskich przegród zewnętrznych, tj. przy jednowymiarowym układzie przepływu ciepła, pozwala wyznaczyć czynnik temperaturowy f_{Rsi} ze wzoru

$$f_{Rsi} = 1 - (U/R_{si}^{-1}) \quad (3)$$

gdzie:

U – współczynnik przenikania ciepła, wyznaczony wg [6];

R_{si} – opór przejmowania ciepła (jego wartość przyjmowana do obliczeń wynosi 0,25 m²K/W).

Natomiast w przypadkach, kiedy przepływ ciepła zachodzi w układzie dwu- lub trójwymiarowym, f_{Rsi} można wyznaczyć, korzystając z metody podanej np. w normie [7].

Stosowanie w Polsce kryterium czynnika temperaturowego f_{Rsi} do oceny zagrożenia pojawieniem się i rozwojem pleśni

¹⁾ Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

* Autor do korespondencji:

e-mail: jacek.boron@pwr.edu.pl

rozpoczęło się w 2009 r., kiedy minister infrastruktury zmienił rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [8]. Przyczyną tego opóźnienia był, naszym zdaniem, brak powszechnego dostępu do danych z typowych lat meteorologicznych dla dużej liczby miejsc na obszarze Polski. Przygotowane przez Ministerstwo Infrastruktury pliki z danymi dotyczącymi typowych lat meteorologicznych dla 61 miejsc w Polsce i udostępnione na jego stronie internetowej [9] w lipcu 2008 r. (głównie na potrzeby sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynków), umożliwiły stosowanie czynnika temperaturowego jako kryterium ryzyka występowania pleśni na powierzchniach wewnętrznych przegród zewnętrznych. Więcej informacji na temat typowych lat meteorologicznych w Polsce można znaleźć w publikacji [10].

W artykule pokazano, za pomocą izolinii, na podstawie danych dotyczących typowych lat meteorologicznych, zamieszczonych na stronie internetowej Ministerstwa Infrastruktury [9], rozkład wartości czynnika temperaturowego $f_{Rsi, max}$ dla krytycznego miesiąca na obszarze Polski, zróżnicowanych w zależności od klas wilgotności pomieszczeń. Taka forma obliczeń czynnika temperaturowego $f_{Rsi, max}$ pozwoli na szybsze określanie jego wartości na potrzeby projektowe.

Problem wilgotności powietrza w pomieszczeniu

Definiując warunki wilgotności powietrza w pomieszczeniu, posługujemy się ciśnieniem cząstkowym pary wodnej lub wilgotnością objętościową. Ciśnienie cząstkowe pary wodnej w pomieszczeniu zależy od:

- ciśnienia cząstkowego pary wodnej w powietrzu zewnętrznym p_e lub od stężenia pary wodnej w powietrzu zewnętrznym c_e ;
- krotności wymiany powietrza w pomieszczeniu n ;
- objętości (kubatury) pomieszczenia V ;
- produkcji pary wodnej w pomieszczeniu (strumień wewnętrzny wytwarzania wilgoci) G .

Dopóki nie występuje powierzchniowa kondensacja pary wodnej i nie ma zjawiska higroskopijnego przejmowania i przechowywania wilgoci przez materiały przegród,

możemy zapisać bilans wilgoci pomieszczenia w następującej postaci [11]:

$$\Phi_{in} + G = \Phi_{out} \quad (4)$$

gdzie:

Φ_{in} – wilgość wpływająca do pomieszczenia z otoczenia budynku;

G – wewnętrzny strumień wytwarzania wilgoci;

Φ_{out} – wilgość opuszczająca pomieszczenie.

Przyjmując założenie, że nie ma różnicy temperatury powietrza na zewnątrz budynku i w pomieszczeniu, ilość wilgoci wpływającej do pomieszczenia z otoczenia budynku wynosi:

$$\Phi_{in} = n \cdot V \cdot c_e \quad (5)$$

gdzie:

n – krotność wymiany powietrza;

V – kubatura pomieszczenia;

c_e – stężenie pary wodnej w pomieszczeniu.

Natomiast ilość wilgoci opuszczającej pomieszczenie można zapisać jako:

$$\Phi_{out} = n \cdot V \cdot c_i \quad (6)$$

gdzie:

c_i – stężenie pary wodnej w powietrzu wewnątrz pomieszczenia.

Uwzględniając bilans wilgoci określony wzorem (4) oraz wykorzystując prawo Boyle'a – Gay Lussaca [2] i wyrażając stężenie pary wodnej przez jej ciśnienie cząstkowe jako:

$$p = c \cdot R \cdot T \quad (7)$$

gdzie:

R – stała gazowa pary wodnej, wynosząca 462 J/kg·K

możemy zapisać różnicę ciśnień cząstkowych pary wodnej w powietrzu w pomieszczeniu i na zewnątrz jako:

$$\Delta p = p_i - p_e = [462 \cdot (\theta_i + 273) \cdot G] / n \cdot V \quad (8)$$

Nadwyżka wewnętrznego ciśnienia pary wodnej Δp zależy od temperatury powietrza w pomieszczeniu oraz rodzaju, wielkości i sposobu jego eksploatacji. W związku z brakiem polskich badań w budynkach o różnym przeznaczeniu i sposobie użytkowania, na potrzeby obliczeń czynnika temperaturowego f_{Rsi} przyjęto takie wartości nadwyżki wewnętrznego ciśnienia Δp podane w [5], jak w przypadku budynków znajdujących się w Europie Zachodniej (wartości nadwyżki Δp uzależnione są od tzw. klasy wilgotności pomieszczenia). Do obliczeń czynnika temperaturowego $f_{Rsi, max}$ uwzględniano trzy (tj. drugą, trzecią i czwartą) spośród pięciu klas wilgotności pomieszczenia. W obliczeniach $f_{Rsi, max}$ przyjmowano górne wartości graniczne w odniesieniu do każdej z klas. W tabeli pokazano przykładowe pomieszczenia, przypisane do jednej z pięciu klas wilgotności.

Klasy wilgotności pomieszczeń wg [5]
Room humidity classes according to [5]

Klasa wilgotności pomieszczenia	Przykładowe pomieszczenia i budynki	$\Delta p^{*)}$ [Pa]
1	pomieszczenia magazynowe, zakłady z suchą produkcją	≤ 270
2	biura, sklepy	> 270 ≤ 540
3	mieszkania mało zagęszczone	> 540 ≤ 810
4	mieszkania zagęszczone, hale sportowe, kuchnie, stołówki, pomieszczenia w budynkach ogrzewanych grzejnikami gazowymi bez przewodów spalinowych	> 810 ≤ 1080
5	pomieszczenia w budynkach specjalnych, np. pralnie, browary, baseny kąpielowe	> 1080

*) podane wartości dotyczą nadwyżki ciśnienia wewnętrznego Δp przy temperaturze powietrza $\theta_e \leq 0^\circ\text{C}$

Czynnik temperaturowy dla krytycznego miesiąca

Korzystając z umieszczonych na stronie internetowej ministerstwa plików, zawierających dane dotyczące typowych lat meteorologicznych [9], obliczono średniomiesięczne wartości temperatury powietrza θ_e oraz średniomiesięczne wartości wilgotności względnej powietrza ϕ_e dla 61 wybranych polskich stacji meteorologicznych. Przyjmując obliczone średniomiesięczne wartości temperatury i wilgotności powietrza na zewnątrz budynku, definiując temperaturę powietrza wewnątrz pomieszczenia $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ oraz przyjmując nadwyżki wewnętrznego ciśnienia pary wodnej Δp dla trzech klas wilgotności pomieszczenia i maksymalną dopuszczalną wilgotność względną powietrza przy powierzchni $\phi_{si} = 0,8$, obliczono minimalne dopuszczalne ciśnienie pary nasyconej $p_{sat}(\theta_{si})$ dla każdego z 12 miesięcy w roku i dla wspomnianych 61 stacji meteorologicznych.

Na podstawie wyliczonego minimalnego, dopuszczalnego ciśnienia w stanie nasylenia, określono dla każdego miesiąca minimalną dopuszczalną temperaturę powierzchni $\theta_{si, min}$, tj. najniższą temperaturę powierzchni wewnętrznej przegrody, poniżej której rozpoczyna się rozwój pleśni. Następnie obliczono minimalną wartość czynnika temperaturowego $f_{Rsi, min}$ i ustalone krytyczne miesiące oraz odpowiadające im czynniki temperaturowe $f_{Rsi, max}$ porządkowane 61 stacjom meteorologicznym. Analizując wyniki, stwierdzono, że **największe wartości czynnika temperaturowego $f_{Rsi, max}$ występują w Chojnicach i Suwałkach**. W Chojnicach w przy-

padku 2. klasy wilgotności pomieszczenia $f_{Rsi, max}$ wynosi on 0,618, a w Suwałkach 0,616. W przypadku 3. klasy wilgotności największa wartość czynnika $f_{Rsi, max}$ występuje także w Chojnicach i Suwałkach (wynosi 0,793), natomiast dla 4. klasy wilgotności 0,942 w Suwałkach i 0,939 w Chojnicach. Miesiącem krytycznym w Chojnicach jest grudzień, natomiast w Suwałkach listopad. Najmniejsza wartość czynnika temperaturowego występuje w Zakopanem, gdzie dla 2. klasy wilgotności pomieszczenia $f_{Rsi, max} = 0,566$, dla 3. klasy wilgotności $f_{Rsi, max} = 0,741$, a dla 4. klasy wilgotności $f_{Rsi, max} = 0,891$.

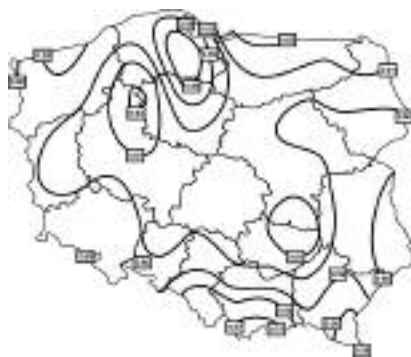
Podsumowanie

Na podstawie wyników obliczeń czynnika temperaturowego $f_{Rsi, max}$ można wysnuć hipotezę, że istotny wpływ na jego wartość ma klasa wilgotności pomieszczenia, która zależy od wewnętrznego strumienia wytwarzania wilgoci oraz od rodzaju i sposobu użytkowania pomieszczenia (związanej z nimi wentylacji pomieszczenia, wyrażonej krotnością wymiany powietrza). W Polsce konieczne są badania mieszkań i pomieszczeń w budynkach niemieszkalnych, w celu właściwego ich przyporządkowania do odpowiedniej klasy wilgotności.

Obliczone przez nas różnice pomiędzy średnimi wartościami $f_{Rsi, max}$ dla całej Polski, wyznaczonymi dla 2. i 3. klasy wilgotności pomieszczenia wynoszą 0,178, a dla klas 3. i 4. odpowiednio 0,148. Średnia wartość maksymalnego czynnika temperaturowego $f_{Rsi, max}$ dla Polski (z wybranych stacji meteorologicznych) dla 2. klasy wilgotności pomieszczenia wynosi 0,597, dla 3. klasy wilgotności pomieszczenia 0,775, a dla 4. klasy wilgotności pomieszczenia 0,923.

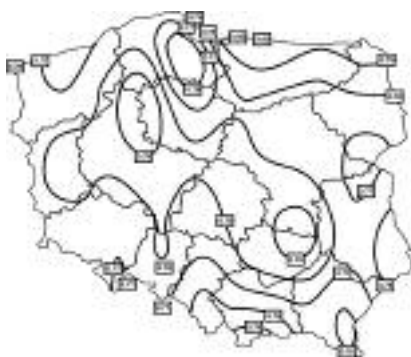
Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że wartości $f_{Rsi, max}$ zmieniają się w następujących przedziałach: 0,566 – 0,618 w przypadku 2. klasy wilgotności pomieszczenia, 0,741 – 0,793 w przypadku 3. klasy wilgotności pomieszczenia, oraz 0,891 – 0,942 w przypadku 4. klasy wilgotności pomieszczenia.

Zróznicowanie wartości czynnika temperaturowego $f_{Rsi, max}$ na obszarze całej Polski pokazano w formie izolinii na rysunkach 1, 2 i 3. Otrzymane wyniki analiz wskazują, że jeżeli ściany zewnętrzne spełniają wymagania dotyczące współczynnika przenikania ciepła U (podane w rozporządzeniu [5], dla warunku $U \leq U_{(max)} = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$), to wówczas w pomieszczeniach mieszkalnych i innych we wszystkich



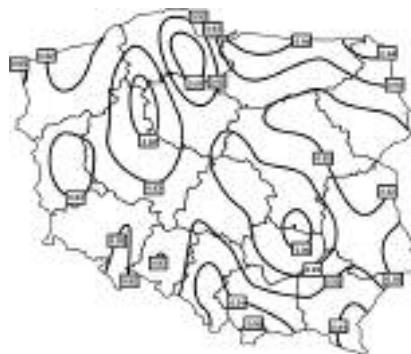
Rys. 1. Izolinie jako strefy czynnika temperaturowego $f_{Rsi, max}$ w przypadku 2. klasy wilgotności pomieszczeń

Fig. 1. Isolines of the temperature factor $f_{Rsi, max}$ for humidity class 2



Rys. 2. Izolinie jako strefy czynnika temperaturowego $f_{Rsi, max}$ w przypadku 3. klasy wilgotności pomieszczeń

Fig. 2. Isolines of the temperature factor $f_{Rsi, max}$ for humidity class 3



Rys. 3. Izolinie jako strefy czynnika temperaturowego $f_{Rsi, max}$ w przypadku 4. klasy wilgotności pomieszczeń

Fig. 3. Isolines of the temperature factor $f_{Rsi, max}$ for humidity class 4

miejscach w Polsce, zaliczonych do 3. klasy wilgotności, spełniony jest warunek, że wartość czynnika temperaturowego $f_{Rsi} > f_{Rsi, max}$. W takich przypadkach wykonywanie obliczeń sprawdzających, czy $f_{Rsi} > f_{Rsi, max}$ jest raczej zbędne. Podobnie jest w przypadku wszystkich ścian wewnętrznych, których współczynnik przenikania ciepła jest mniejszy od wartości

$U = 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$. Należy podkreślić, że wniosek ten sformułowano z wyłączeniem ścian zewnętrznych, w których występują mostki cieplne. Wówczas należy wyliczyć czynnika temperaturowego f_{Rsi} danej ściany w miejscu mostka cieplnego i otrzymany wynik porównać z wartościami $f_{Rsi, max}$ zamieszczonymi w artykule. Dodatkowym utrudnieniem zaburzającym zaproponowane podejście może być występowanie wad budowlanych i fizyczno-budowlanych powodujących bezpośrednio wprowadzenie nadmiernej wilgoci lub zła eksploatacja obiektów skutkująca niedostatecznym odprowadzeniem zwiększonej wilgotności powietrza z pomieszczeń.

Rysunki – opracowanie Autorów

Literatura

- [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] Schellen H., Thermal insulation and moisture problems, Eindhoven University of Technology. Text of the presentation at the Spring School of Building and Environmental Physics, Karpacz, Poland, 1991.
- [3] Klemm P. (red.), Budownictwo ogólne, tom 2. Warszawa, Arkady, 2005.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. (z późniejszymi zmianami) w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 690, poz. 75).
- [5] 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 obliczeń”.
- [6] PN-EN ISO 6946:2008, „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”.
- [7] PN-EN ISO 10211:2008, „Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe”.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 201, poz. 1238).
- [9] [www.mir.gov.pl](http://www.mir.gov.pl/budownictwo/rynek_budowlany_i_technika/efektywnosc_energetyczna_budynkow/typowe_lata_meteorologiczne/strony/start.aspx) (http://www.mir.gov.pl/budownictwo/rynek_budowlany_i_technika/efektywnosc_energetyczna_budynkow/typowe_lata_meteorologiczne/strony/start.aspx)
- [10] Narowski P., Dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków. Energia i budynek, 2008, 9 (18), s. 18 – 24.
- [11] Fischer H. M., Jenish R., Klopfer H., Freymuth H., Richter E. i Petzold K., Lehrbuch der Bauphysik, Stuttgart, B. G. Teubner, 1997.

Przyjęto do druku: 13.08.2015 r.