

dr inż. Bożena Orlik-Koźdoń<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-4905-3037

dr inż. Anita Pawlak-Jakubowska<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-6778-9750

# Szacowanie ryzyka rozwoju pleśni na przykładzie budynku jednorodzinnego

## *Estimating the risk of mould growth on the example of a single-family building*

DOI: 10.15199/33.2023.12.07

**Streszczenie.** Celem pracy było określenie przyczyn powstania ognisk pleśni na wewnętrznej powierzchni przegród ściennych i zaproponowanie środków zaradczych. Wykonano analizy ciepłno-wilgotnościowe na podstawie obliczeń numerycznych. W wyniku badań ustalono, że najistotniejszymi czynnikami determinującymi rozwój pleśni są wilgotność względna powietrza i jakość cieplna obudowy budynku. Ryzyko powstania pleśni należy prognozować już na etapie projektowania.

**Słowa kluczowe:** pleśń; wilgotność względna; kondensacja pary wodnej; czynnik temperaturowy.

**Abstract.** The aim of this study was to determine the causes of mould outbreaks on the internal surface of partitions wall and to propose preventive measures. Thermal and humidity analyses were carried out on the basis of numerical calculations. As a result of the research, it was established that the most important factors determining the development of mould are the relative humidity of the air and the thermal quality of the construction envelope. The risk of mould formation must be predicted early in the design stage.

**Keywords:** mould; relative humidity; condensation; temperature factor.

Szacuje się, że w Polsce co najmniej 25% budynków jest porażonych pleśnią [1] i ich liczba wciąż rośnie. Źródłem zagrzybienia jest duża wilgotność w pomieszczeniach oraz przegród budowlanych, czego przyczyną są błędy na etapie projektowania, budowy i eksploatacji budynków [1].

Negatywnym efektem zasiedlenia powierzchni materiałów budowlanych i elementów wykończeniowych budynku przez grzyby pleśniowe jest zjawisko określane jako biodeterioracja. Definiowane jest ono jako utrata właściwości użytkowych obiektu budowlanego na skutek aktywności czynników biologicznych oraz emisji do powietrza zarodników i fragmentów grzybni, a także metabolitów grzybów (mikotoksyn, związków lotnych) wytwarzanych w ognisku zagrzybienia. Zjawisko to powoduje duże straty ekonomiczne i zagrożenie dla zdrowia użytkowników obiektów [2]. Z tych względów konieczne jest prowadzenie wielokierunkowych działań mających na celu poznanie genety oraz warunków rozwoju grzybów pleśniowych, a w przypadku ich wzrostu – zdiagnozowanie przyczyn i określenie metod ich likwidacji.

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: anita.pawlak@polsl.pl

### Czynniki determinujące rozwój grzybów pleśniowych

Do takich czynników należą: temperatura; wilgotność; odczyn pH oraz rodzaj podłoża.

**Temperatura.** Większość grzybów strzępkowych to organizmy mezofilne rozwijające się w temperaturze 20 ÷ 35°C. Graniczna temperatura ich rozwoju wynosi od -10°C do 55°C. Grzyby są wrażliwe na temperaturę powyżej 60°C, w której giną praktycznie wszystkie formy morfologiczne [1 ÷ 3].

**Wilgotność.** Pleśnie rozwijają się przy różnej wilgotności podłoża, ale do aktywnego ich wzrostu wymagana wilgotność podłoża odpowiada aktywności wody  $a_w = 0,60 \div 0,99$ . Graniczna wilgotność masowa materiału, poniżej której wzrost pleśni ulega zahamowaniu, to 11 ÷ 14% [1, 2, 3].

**Odczyn pH.** Pleśnie preferują środowisko kwaśne. Optymalne pH do ich wzrostu wynosi 5 ÷ 6 (organizmy acidofilne), ale wykazują możliwości rozwoju w zakresie pH od 1,5 do 10. Grzyby chorobotwórcze (dermatofity) rozwijają się przy pH 7,2 ÷ 7,6.

**Rodzaj podłoża.** Rozwój grzybów strzępkowych zależy od budowy chemicznej materiałów, na których się znajdują, a także od ich właściwości fizycznych, szczególnie tych, które decydują o adsorpcji wody. Istotne znaczenie

mają składniki odżywcze zawierające węgiel i azot. Grzyby, za pomocą swoich enzymów, mogą rozkładać substraty i przekształcać je w materię nadającą się do wykorzystania. Drobnoustroje podczas wzrostu na nieorganicznych materiałach budowlanych ukierunkowują swój metabolizm na produkcję kwasów, które mogą być przyczyną korozji tych materiałów [1 ÷ 3].

### Metody szacowania ryzyka rozwoju pleśni

Wymagania dotyczące zapobiegania kondensacji powierzchniowej i rozwojowi pleśni znajdują się w *Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [4]. W rozdziale 4 działu VIII, *Ochrona przed zawilgoceciem i korozją biologiczną* w paragrafie § 322 czytamy: *Rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne zewnętrznych przegród budynku, warunki ciepłno-wilgotnościowe, a także intensywność wymiany powietrza w pomieszczeniach, powinny uniemożliwiać powstanie zagrzybienia...* W celu uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni, poniżej której prawdopodobny jest rozwój pleśni, określa się minimalną temperaturę powierzchni wewnętrznej wg normy PN-EN ISO 13788. Miarą ryzyka wzrostu pleśni i kondensacji powierzchniowej

wej jest obliczeniowy czynnik temperaturowy na powierzchni wewnętrznej  $f_{R_{si,min}}$  wyznaczany ze wzoru [5]:

$$f_{R_{si,min}} = \frac{T_{si,min} - T_e}{T_i - T_e} \quad (1)$$

gdzie:

$T_{si,min}$  – minimalna dopuszczalna temperatura powierzchni [°C];  
 $T_e$ ,  $T_i$  – odpowiednio temperatura środowiska zewnętrznego, wewnętrznego [°C].

Obliczenia prowadzi się w każdym miesiącu roku. Miesiącem krytycznym jest ten, w przypadku którego wartość  $f_{R_{si,min}}$  jest największa i stanowi wartość graniczną  $f_{R_{si,max}}$ . Zgodnie z Warunkami Technicznymi [4], wymaganą wartość graniczną czynnika temperaturowego  $f_{R_{si,max}}$  dla Polski można przyjąć na poziomie 0,72. Element budynku jest poprawnie zaprojektowany pod kątem uniknięcia rozwoju pleśni, gdy efektywna wartość czynnika  $f_{R_{si}}$  jest większa od wartości granicznej  $f_{R_{si,max}}$  [5]:

$$f_{R_{si}} > f_{R_{si,max}} \quad (2)$$

Efektywna wartość czynnika  $f_{R_{si}}$  jest miarą jakości cieplnej każdego elementu obudowy budynku i zależy od współczynnika przenikania ciepła  $U$  analizowanego układu oraz oporu przejmowania ciepła  $R_{si}$  na jego powierzchni wewnętrznej. W przypadku elementów wielowymiarowych obliczana jest wzor [5]:

$$f_{R_{si}} = \frac{T_{si} - T_e}{T_i - T_e} \quad (3)$$

Procedura prognozowania rozwoju pleśni przywołana w PN ISO 13788 [5], bazująca na czynniku  $f_{R_{si}}$  jest uproszczona. Nie uwzględnia ona wielu aspektów związanych z właściwościami cieplno-wilgotnościowymi materiałów, np. zawilgocenie sorpcyjne, zależność przewodności cieplnej od zawartości wilgoci i innych. Ponadto dotyczy działań na wartościach średnich parametrów klimatów środowiskowych i nie ujmuje istotnych fizycznych zjawisk pogodowych. Uzupełnieniem diagnostyki szacowania ryzyka rozwoju pleśni jest zastosowanie oceny bazującej na tzw. krzywych izopletowych, które uwzględniają wzajemną relację pomiędzy wilgotnością względną (lub aktywnością wody), temperaturą i czasem ekspozycji – czyli czynnikami, które

determinują rozwój zagrzybienia [3, 6]. Najniższe z izoplet, na których określone są czasy kiełkowania, dzieli diagram na region, w którym warunki otoczenia umożliwiają kiełkowanie zarodników, i region, gdzie kiełkowanie nie jest możliwe. W przypadku, gdy najniższe izoplety dotyczące różnych gatunków pleśni są zebrane w jeden schemat, wówczas dolna obwiednia tego zestawu krzywych jest ogólną najniższą izoplecą wzrostu pleśni (LIM – *Lowest Iso-pleth for Mould*). Poniżej tego limitu żaden z rozważanych gatunków nie może kiełkować, natomiast powyżej LIM możliwe jest kiełkowanie jednego lub kilku z tych gatunków.

Modele bazujące na krzywych izopletowych opracowane zostały m.in. przez Hensa [6]. Określił on wartość krytyczną wilgotności, przy której następuje rozwój pleśni *Aspergillus versicolor*. Ma ona najniższą izoplecę do kiełkowania wszystkich rodzajów pleśni, które są powszechnie spotykane w pomieszczeniach wewnętrznych [6]. Ta najniższa izopleca jest ściśle powiązana z następującą zależnością paraboliczną.

$$RH_{crit} = 0,033 T^2 - 1,5 T + 96 \quad (4)$$

gdzie:

$T$  – temperatura [°C];

$RH_{crit}$  – krytyczna wilgotność względna [%].

Wzór (4) odzwierciedla sytuację rozwoju pleśni na podłożu z agaru z ekstraktem pszenicznym. Jest to substrat o bogatszej wartości odżywczej niż większość materiałów budowlanych i wykończeniowych. Eksperymenty dotyczące różnych powierzchni wykończeniowych ścian rzadko wykazywały widoczny rozwój pleśni przy wilgotności względnej mniejszej niż 83% [6]. Z tego względu założono, że poziom 80% wilgotności względnej jest bezpiecznym progiem minimalizacji ryzyka widocznego wzrostu pleśni. Kryterium  $\phi_s = 0,8$  przyjęto w normie PN ISO 13788 przy obliczaniu granicznej wartości czynnika  $f_{R_{si}}$ .

### Przedmiot i zakres badań

Przedmiotem oceny jest budynek jednorodzinny zlokalizowany na Górnym Śląsku, podpiwniczony na całej powierzchni, z trzema kondygnacjami nadziemnymi (parter i dwie kondygnacje

powtarzalne). Wybudowany został w latach pięćdziesiątych XX w. w technologii tradycyjnej. Ściany wykonane są z cegły ceramicznej pełnej, o grubości 380 mm, na zaprawie cementowo-wapiennej (zewnętrzne bez izolacji termicznej) i grubości 250 mm (wewnętrzne), stropy żelbetowe, dach drewniany z pełnym deskowaniem kryty papą. W budynku wymieniono drewnianą stolarkę okienną na PVC bez nawiewników. Ma on ogrzewanie centralne kotłem węglowym i sprawnie działającą wentylację grawitacyjną pomieszczeń (kuchnia, łazienka).

Na podstawie przeprowadzonej wizji lokalnej (rysunek 1a) zdiagnozowano ogniska pleśni na wewnętrznej powierzchni przegród (węzły A, B i C) i ich połączeniach. Stało się to podstawą do przeprowadzenia oceny mającej na celu określenie przyczyn takiego stanu oraz zaproponowanie środków zaradczych. W tym celu przeprowadzono:

- badania in situ obejmujące: ciągły pomiar temperatury i wilgotności względnej powietrza w centralnej części pomieszczeń oraz przy narożach (w obszarach, dla których obserwowano rozwój pleśni);

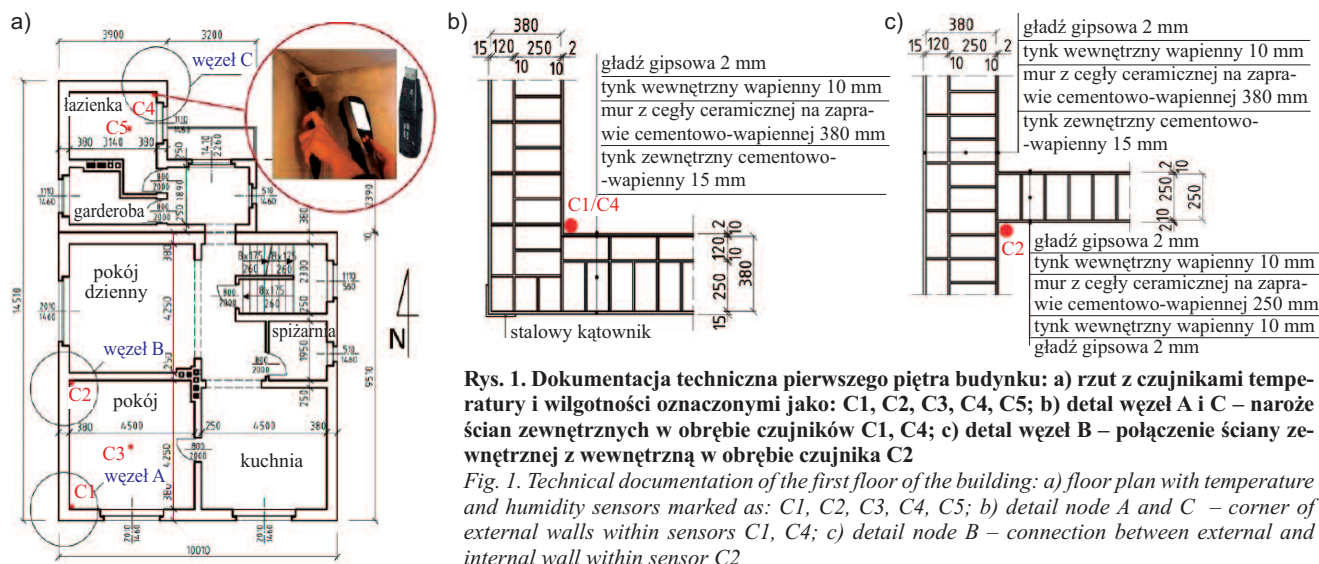
- analizy cieplno-wilgotnościowe na podstawie obliczeń numerycznych obejmujące:

- rozkład pola temperatury w płaszczyznach/węzłach przegrody oraz obliczenie czynnika temperaturowego  $f_{R_{si}}$  w wybranych miejscach w budynku;

- profile zmian temperatury w czasie na powierzchni węzłów oraz wyznaczenie krzywych izopletowych.

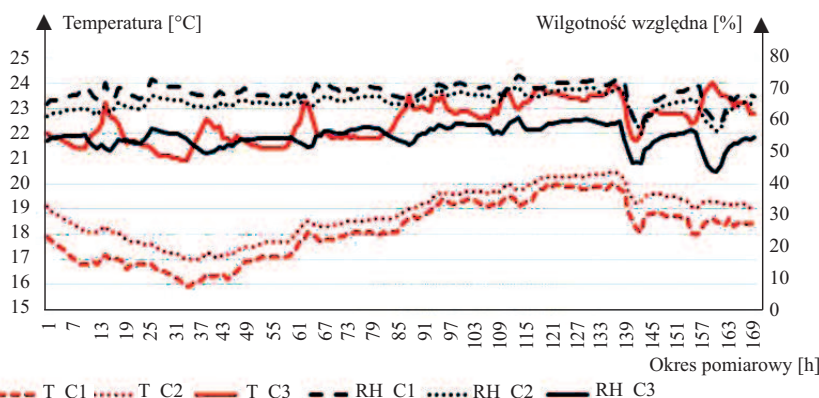
### Badania in situ

Pomiary temperatury i wilgotności względnej powietrza prowadzone były z wykorzystaniem rejestratorów typu Data Logger St-171 i zostały zrealizowane w marcu i kwietniu 2023 r. Profile godzinowe zmian temperatury i wilgotności względnej w reprezentatywnym okresie jednego tygodnia, z krokiem czasowym 1 h, przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Pomiary wykonano w sposób ciągły i jednocześnie we wszystkich punktach pomiarowych w węzłach połączeń ścian A, B, C (rysunek 1). Ocenie poddane zostały po-



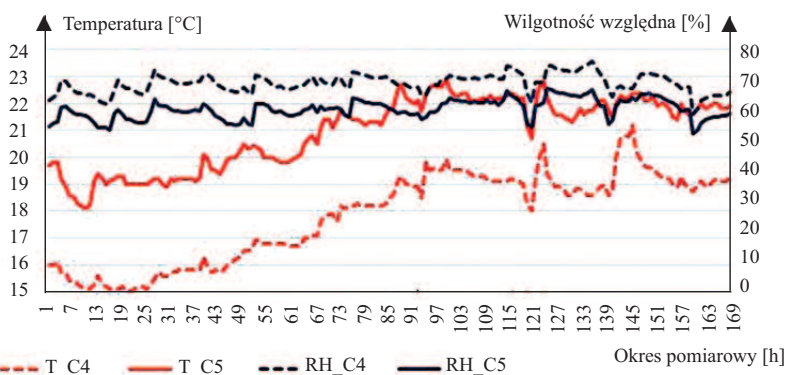
Rys. 1. Dokumentacja techniczna pierwszego piętra budynku: a) rzut z czujnikami temperatury i wilgotności oznaczonymi jako: C1, C2, C3, C4, C5; b) detal węzeł A i C – narożnie ścian zewnętrznych w obrębie czujników C1, C4; c) detal węzeł B – połączenie ściany zewnętrznej z wewnętrzną w obrębie czujnika C2

Fig. 1. Technical documentation of the first floor of the building: a) floor plan with temperature and humidity sensors marked as: C1, C2, C3, C4, C5; b) detail node A and C – corner of external walls within sensors C1, C4; c) detail node B – connection between external and internal wall within sensor C2



Rys. 2. Profil zmiany temperatury i wilgotności względnej powietrza w pokoju

Fig. 2. Profile of temperature and relative humidity variations in the room



Rys. 3. Profil zmiany temperatury i wilgotności względnej powietrza w łazience

Fig. 3. Profile of temperature and relative humidity variations in the bathroom

mieszkania znajdujące się na pierwszym piętrze budynku. W pokoju pomiary prowadzono w marcu (czujniki C1, C2, C3), a w łazience (czujniki C4, C5) w kwietniu. W przypadku narożni czujniki zamontowano na wysokości 1,20 m, w odległości ok. 20 mm od ściany. Wilgotność powierzchniowa w trakcie badań wynosiła 3,3%.

Na podstawie profili zmiany temperatury i wilgotności względnej w wybranych pomieszczeniach i obszarach stwierdzono:

■ pokój:

– średnia temperatura wewnątrz pomieszczenia wynosiła  $T_i = 22,5^{\circ}\text{C}$ ; w tym samym okresie jej wartość maksymalna osiągnęła  $T_{i\text{max}} = 24,1^{\circ}\text{C}$ , a wartość

najmniejsza  $T_{i\text{min}} = 20,9^{\circ}\text{C}$ ; w narożu C1/C2 (węzeł A/B) wartość średnia temperatury wynosiła  $18^{\circ}\text{C}/18,8^{\circ}\text{C}$ , a wartość minimalna  $15,9^{\circ}\text{C}/16,8^{\circ}\text{C}$ ;

– średnia wilgotność wewnątrz pomieszczenia wynosiła  $RH_i = 55,1\%$ ; w tym samym okresie jej wartość maksymalna osiągnęła poziom  $RH_{i\text{max}} = 60,9\%$ , a wartość najmniejsza  $RH_{i\text{min}} = 44\%$ ; w narożu C1/C2 wartość średnia wilgotności to  $69\%/65\%$ , a wartość maksymalna  $74,6\%/71,1\%$ .

■ łazienka:

– średnia temperatura wewnątrz pomieszczenia wynosiła  $T_i = 21,6^{\circ}\text{C}$ ; w tym samym okresie jej wartość maksymalna osiągnęła  $T_{i\text{max}} = 22,9^{\circ}\text{C}$ , a wartość najmniejsza  $T_{i\text{min}} = 18,1^{\circ}\text{C}$ ; w narożu (węzeł C) wartość średnia temperatury to  $17,8^{\circ}\text{C}$ , a wartość minimalna  $15,1^{\circ}\text{C}$ ;

– średnia wilgotność wewnątrz pomieszczenia wynosiła  $RH_i = 60,3\%$ ; w tym samym okresie jej wartość maksymalna osiągnęła  $RH_{i\text{max}} = 67,2\%$ , a wartość najmniejsza  $RH_{i\text{min}} = 52,3\%$ ; w narożu wartość średnia wilgotności to  $68,8\%$ , a wartość maksymalna  $76\%$ .

**Analizy numeryczne**

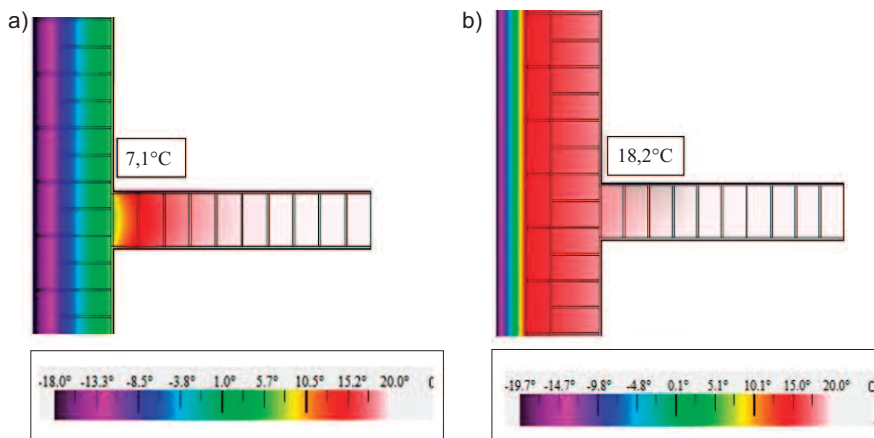
Analizy numeryczne zmian w polu temperatury na powierzchni wybranych połączeń (węzły A, B, C) wykonano z wykorzystaniem oprogramowania THERM. Poglądowo obliczenia przeprowadzono w przypadku wariantu podstawowego, tj. rzeczywistych istniejących układów ściennych oraz wariantu modyfikowanego/modernizowanego

obejmującego układy ściennie z izolacją termiczną 150 mm.

Przyjęte założenia: temperatura wewnętrzna stała  $T_i = 20^\circ\text{C}$ ; temperatura zewnętrzna stała  $T_e = (-20^\circ\text{C})$ ; współczynniki przejmowania ciepła na powierzchniach:  $h_i = 7,69$  [ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ];  $h_e = 25$  [ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ], przy kondensacji powierzchniowej  $h_i = 4,0$  [ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ]. Parametry cieplne składowych analizowanych węzłów podano w tabeli 1.

Na rysunkach 4 i 5 pokazano wybrane wyniki graficzne prezentujące rozkład izoterm w węźle oraz gęstość strumienia ciepła. W przypadku wybranych miejsc wyznaczono temperaturę powierzchni, na podstawie której obliczono czynnik temperaturowy  $f_{Rsi}$ . Uzyskane wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2.

Uzupełnieniem diagnostyki rozwoju pleśni była ocena prowadzona na podstawie krzywych izopletowych. Wyznaczono je w przypadku węzła A/C z wykorzystaniem oprogramowania WUFI 2D. W tym celu założono następujące warunki:



Rys. 5. Rozkład izoterm w przekroju węzła B: a) stan istniejący; b) stan modernizowany

Fig. 5. Distribution of isotherms in the B node cross-section: a) existing state; b) modernised state

- klimat wewnętrzny wg PN-EN 15026 wysokie obciążenie wilgocią [7];
- klimat zewnętrzny w lokalizacji Racibórz – TRM z bazy [8];
- obciążenie deszczem wg ASHRAE 160: kategoria ekspozycji na deszcz – średnia, wysokość budynku < 10 m;
- brak zewnętrznej i wewnętrznej powłoki ochronnej  $s_d = 0$  [m];

Tabela 2. Zestawienie wyników dotyczących analizowanych węzłów ścian

Table 2. Compilation of results for analysed the nodes of walls

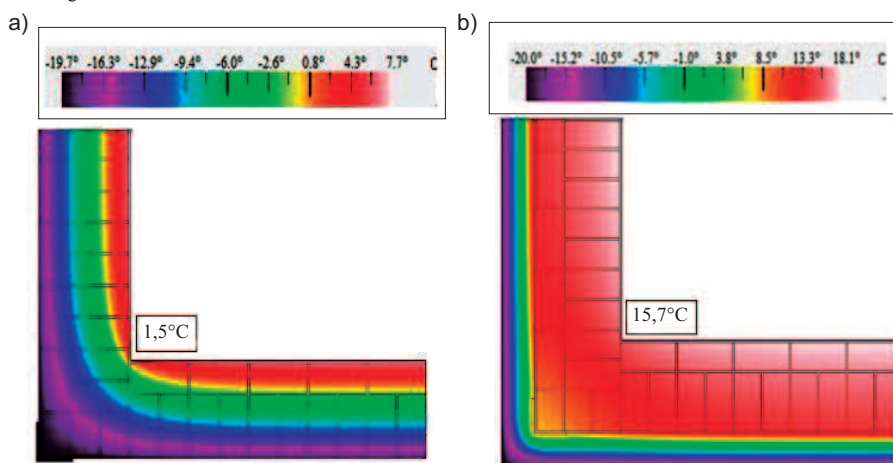
Schemat		Współczynnik przenikania ciepła U ściany zewnętrznej [ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ]	Temperatura w węźle [ $^\circ\text{C}$ ]	Czynnik temperaturowy $f_{Rsi}$ [-]
Istniejący	A/C	1,45	1,5	0,538
	B		7,1	0,678
Modernizowany	A/C	0,19	15,7	0,893
	B		18,2	0,955

Tabela 1. Zestawienie danych materiałowych poszczególnych składowych układu ściennego (węzły A, B, C)

Table 1. Compilation of material data of individual components of the wall system (nodes A, B, C)

Warstwa	Grubość [m]	Współczynnik przewodzenia ciepła [ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ]	Współczynnik oporu dyfuzyjnego [-]	Gęstość objętościowa [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Początkowa zawartość wilgoci [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
Mur z cegły ceramicznej pełnej na zaprawie cementowo-wapiennej <sup>*)</sup>	0,38	0,77	10	1900	18
Tynk zewnętrzny cementowo-wapienny	0,015	0,82	19	1900	45
Tynk wewnętrzny – wapienny	0,010	0,70	7	1600	30
Gładź gipsowa	0,002	0,40	8,3	850	6,3
Izolacja termiczna (EPS)	0,15	0,033	50	30	1,8

\*) wg PN-91/B-02020



Rys. 4. Rozkład izoterm w przekroju węzła A/C: a) stan istniejący; b) stan modernizowany

Fig. 4. Distribution of isotherms in the A/C node cross-section: a) existing state; b) modernised state

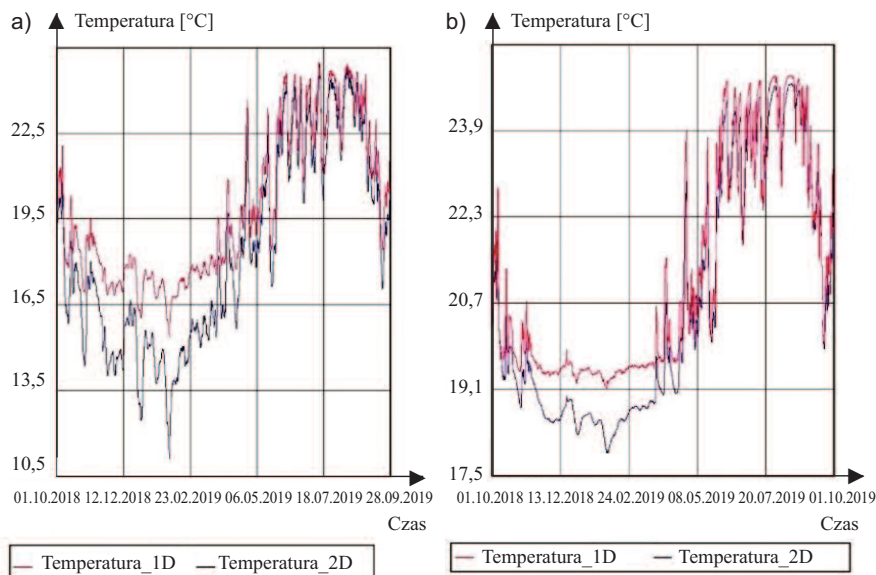
- orientacja ściany płaskiej – północna (ozn. N);

- okres analizy – jeden rok z krokiem czasowym 1 h.

Na rysunku 6 pokazano zmiany temperatury na powierzchni naroża (oznaczenie T2D) oraz ściany płaskiej (oznaczenie T1D) w przypadku stanu istniejącego oraz modernizowanego, a na rysunku 7 krzywe izopletowe dotyczące powierzchni naroża w stanie istniejącym oraz modernizowanym. Oznaczenia krzywych: LIM I – substrat nadający się do biożytku/organiczny; LIM II – podłoża o porowatej strukturze. W przypadku, gdy temperatura i wilgotność utrzymują się poniżej tych krzywych, zwykle nie należy spodziewać się rozwoju pleśni, natomiast jeżeli krzywe graniczne będą przekroczone przez dłuższy okres, wówczas ryzyko rozwoju pleśni zależy od czasu trwania i stopnia warunków sprzyjających pleśni.

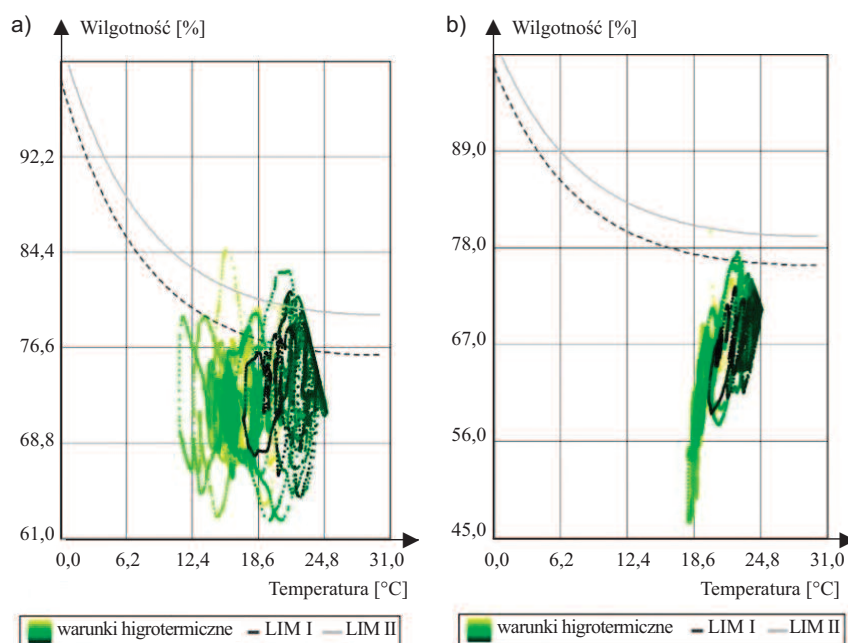
### Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w artykule wybrane narzędzia i metody diagnostyki węzłów budynku pod kątem szaco-



Rys. 6. Profil zmian temperatury w czasie w przypadku stanu: a) istniejącego; b) modernizowanego

Fig. 6. Profile of temperature changes over time for the condition: a) existing; b) modernised



Warunki higrotermiczne: początek [kolor] środek [kolor] koniec [kolor]

Rys. 7. Krzywe izopletowe w przypadku powierzchni naroża: a) stan istniejący; b) stan modernizowany

Fig. 7. Isopeleth curves for the corner surfaces: a) existing condition; b) modernised condition

wania ryzyka rozwoju pleśni wykazały:  
 ■ znaczny wzrost wilgotności względnej w obszarze naroży w porównaniu z centralną częścią pomieszczenia – maksymalna różnica w badanym okresie wynosiła 11%; w centralnej części pomieszczeń panowały warunki podwyższonej wilgotności  $RH_{sr}$ : 55% (pokój), 61% (łazienka) w stosunku do warunków normalnych w badanych mie-

siącach (średnia wilgotność względna w marcu, obliczona na podstawie [7] i lokalizacji Racibórz, wynosi 46%);  
 ■ analizy numeryczne wykonane w programie THERM wykazały, że w przypadku przegrody istniejącej o obliczeniowym współczynniku przenikania ciepła  $U = 1,45 [W (m^2K)]$  istnieje duże ryzyko rozwoju pleśni; wartość czynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$  wynosi 0,538/0,678 i jest mniejsza od ogólnej

przyjętej wartości dopuszczalnej 0,72 [4]; poprawa termoizolacyjności przegród zewnętrznych ( $U = 0,19 [W (m^2K)]$ ) spowodowała korzystne zmiany w rozkładzie temperatury na powierzchni i tym samym wzrost czynnika  $f_{Rsi}$ , którego wartość wyniosła 0,893/0,955;

■ prognoza rozwoju pleśni prowadzona w programie WUFI w warunkach niestacjonarnych pozwoliła na wyznaczenie krzywych izopletowych na powierzchni naroży; ich przebieg w przypadku stanu istniejącego potwierdza duże prawdopodobieństwo rozwoju korozji biologicznej (warunki powyżej izoplek granicznych LIM); poprawa termoizolacji ściany, a tym samym jej węzłów minimalizuje to ryzyko nawet przy takich samych warunkach wewnętrznych.

Wynika z tego, że najistotniejszym czynnikiem determinującym rozwój pleśni jest wilgotność względna powietrza i izolacyjność obudowy budynku oraz skutecznie działająca wentylacja pomieszczeń. W badanym obiekcie główną przyczyną wystąpienia ognisk pleśni był brak ocieplenia ścian zewnętrznych oraz niedostateczna wentylacja w wyniku braku nawiewników okiennych.

Literatura

[1] Karyś J. Ochrona przed wilgocią i korozją w budownictwie. Warszawa; 2014.  
 [2] Gutarowska B. Grzyby strzępkowe zasiedlające materiały budowlane. Wzrost oraz produkcja mykotoksyn i alergenów. Zeszyty Naukowe nr 1047, Politechnika Łódzka.  
 [3] Sedlbauer K. Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components. Dissertation Universität Stuttgart 2001.  
 [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie; Rozporządzenie z 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. z 2019 r. poz. 1065), Tekst ujednolicony – uwzględniający zmiany wprowadzone (Dz.U. z 16 września 2020 r. poz. 1608).  
 [5] PN-EN ISO 13788, Ciepno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa – Metody obliczania. 2013.  
 [6] Hens H. Fungal defacement in buildings: A performance related approach. HVAC and Research. 1999; <https://doi.org/10.1080/10789669.1999.10391237>.  
 [7] PN-EN 15026, 2008. Ciepno-wilgotnościowe właściwości użytkowe komponentów budowlanych i elementów budynku – Szacowanie przenoszenia wilgoci za pomocą symulacji komputerowej.  
 [8] Climate.OneBuilding.Org. <https://climate.onebuilding.org/> (dostęp 17 października 2023r).

Przyjęto do druku: 15.11.2023 r.