

Sposób eksploatacji lokalu mieszkalnego przyczyną uszkodzeń ciepłno-wilgotnościowych

Usage of apartments as a cause of temperature- and moisture-related damage

[dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz, prof. uczelni](#) | [IZOLACJE 10/2017](#) | 2017-12-21

Powszechnie wiadomo, że błędy projektowe oraz wykonawcze wpływają negatywnie na bezpieczeństwo konstrukcji i bezpieczeństwo użytkowania obiektów budowlanych, w tym również budynków mieszkalnych [1]. Jednak eksploatacja pojedynczych lokali mieszkalnych, prowadzona niezgodnie z zasadami wiedzy technicznej, bardzo często jest powodem powstawania uciążliwości eksploatacyjnych, które nieusuwane przyczyniają się do istotnego pogorszenia stanu technicznego budynku jako całości, wpływając na postępującą dekapitalizację poszczególnych elementów konstrukcyjnych oraz wykończeniowych [2], [3], [4].

Abstrakt

W artykule przedstawiono opis uszkodzeń ciepłno-wilgotnościowych węzła stropowo-ściennego oraz ścian zewnętrznych lokalu mieszkalnego usytuowanego na ostatniej kondygnacji budynku zamieszkania zbiorowego. Opisano zakres zrealizowanych w okresie wcześniejszym prac remontowych mających za zadanie usunięcie występujących uszkodzeń. W pracy zamieszczono wieloparametryczną analizę ciepłno-wilgotnościową przeprowadzoną w celu jednoznacznego określenia przyczyn występujących uszkodzeń. Zaproponowano koncepcje rozwiązań mających za zadanie usunięcie uciążliwości eksploatacyjnych.

Usage of apartments as a cause of temperature- and moisture-related damage

The paper presents a description of thermal and moisture-related damage to the floor/wall unit and external walls of a flat located on the top floor of a multi-family residential building. There is a description of the scope of repairs carried out previously to rectify the existing damage. The paper presents a multi-parametric temperature and moisture analysis conducted to determine the exact causes of damage. Certain concepts for resolving usage-related problems are proposed.

Celem artykułu jest przedstawienie wpływu dotychczasowego, niewłaściwego sposobu eksploatacji **lokalu mieszkalnego** na stan techniczny budynku skutkujący powstaniem rozległych uszkodzeń ciepłno-wilgotnościowych. W artykule opisano zaproponowany sposób usunięcia występujących uszkodzeń.

Dane ogólne

Budynek zrealizowany został na przełomie lat 70. i 80. XX wieku w technologii tradycyjnej, uprzemysłowionej, jako całkowicie podpiwniczony, posiadający 2 kondygnacje usługowe oraz 11 kondygnacji mieszkalnych:

- układ konstrukcyjny stanowiły poprzeczne wielokondygnacyjne ramy żelbetowe, monolityczne rozmieszczone w rozstawie co 600 cm,
- stropy międzykondygnacyjne wykonano z zastosowaniem wielootworowych płyt kanałowych tzw. płyt żerańskich;
- stropodach wykonowano w sposób zróżnicowany, w obszarze części rzutu budynku jako wentylowany, na części rzutu jako niewentylowany.

W okresie eksploatacji budynek jako całość poddawany był licznym przebudowom oraz pracom o charakterze aranżacyjnym – dotyczy to zarówno lokali usługowych, jak i lokali mieszkalnych usytuowanych na różnych poziomach poszczególnych klatek schodowych.

Dla budynku prowadzona była **Książka Obiektu Budowlanego** oraz regularnie prowadzone były przeglądy techniczne, w tym branży budowlanej, w wyniku których sporządzane były:

- **Protokoły kontroli stanu sprawności technicznej obiektu budowlanego** (tzw. przeglądy roczne)
- oraz **Protokoły kontroli stanu sprawności technicznej i przydatności do użytkowania obiektu budowlanego, estetyki obiektu budowlanego oraz jego otoczenia** (tzw. przeglądy 5-letnie).

Na podstawie informacji ustnych uzyskanych od przedstawicieli administratora budynku ustalono, że w okresie minionym usunął on ślady uszkodzeń ciepłno-wilgotnościowych w lokalu mieszkalnym na poziomie XI p., w pokoju przy ścianie poprzecznej, zwanego w dalszej części opracowania pokojem szczytowym (PS): skuł tynk, odgrzybił mury oraz odtworzył tynk wraz z powłokami malarskimi.

Ponadto w okresie minionym przeprowadzono wymianę pokrycia papowego poprzedzoną wcześniejszym wykonaniem ocieplenia części górnej stropodachu (wykonanej z płyt panwiowych) wełną mineralną grubości 10 cm - powyższe prace przeprowadzone zostały w 2013 r.

W latach 2014 i 2015 użytkownik lokalu mieszkalnego nie zgłaszał jakichkolwiek zastrzeżeń co do występowania uszkodzeń ciepłno-wilgotnościowych w mieszkaniu - brak uszkodzeń dotyczył pokoju szczytowego (PS), pokoju pośredniego (PP), jak również kuchni (KU).



FOT. 1-3. Uszkodzenia ciepłno-wilgotnościowe w pokoju przyległym do ściany szczytowej (PS) w lokalu mieszkalnym w poziomie kondygnacji XI piętra budynku; fot.: archiwum autora

W 2016 r. użytkownik lokalu mieszkalnego ponownie zgłosił występowanie uszkodzeń ciepłno-wilgotnościowych, szczególnie intensywnych w pokoju szczytowym (PS) oraz o mniejszej intensywności w pokoju pośrednim (PP).

Opis usterek ciepłno-wilgotnościowych

W pokoju szczytowym (PS) stwierdzono występowanie zawilgocenie w narożniku budynku - lokalne ślady zawilgocenia widoczne były zarówno w strefie przysufitowej, jak również w strefie przypodłogowej (**FOT. 1-3**). Najbardziej intensywne uszkodzenia zidentyfikowano wzdłuż pasma nadprożowego, zarówno na odcinku nad otworem okiennym, jak również w części nad murem pełnościennym.



FOT. 4. Uszkodzenia ciepłno-wilgotnościowe w pokoju pomiędzy pokojem przyległym do ściany szczytowej a kuchnią (PP) w lokalu mieszkalnym w poziomie kondygnacji XI piętra budynku; fot.: archiwum autora

W pokoju pomiędzy pokojem przyległym do ściany szczytowej a kuchnią (PP) stwierdzono zawilgocenie pasma nadprożowego (**FOT. 4**). Nie zaobserwowano uszkodzeń ciepłno-wilgotnościowych na suficie.

W kuchni (K) nie stwierdzono występowania uszkodzeń ciepłno-wilgotnościowych wzdłuż pasma nadprożowego, jak również wzdłuż ścian zewnętrznych.

Analiza przyczyn uszkodzeń ciepłno-wilgotnościowych

W celu ustalenia przyczyn uszkodzeń występujących w lokalu mieszkalnym do szczegółowej analizy ciepłno-wilgotnościowej wytypowano wstępnie dwie przegrody [5-28]:

- **stropodach** (przegroda pozioma),
- **ścianę zewnętrzną** (przegroda pionowa).

Ze względu na konstrukcję stropodachu dalszej analizie poddano węzeł stropowo-ścienny bez uwzględnienia wpływu jako warstwy termoizolacyjnej przekrycia z płyt panwiowych z ociepleniem z wełny mineralnej (jasnoniebieski obszar na **RYS.**), zgodnie ze stosowaną w analizach inżynierskich praktyką przyjęto, że temperatura w obszarze pustki powietrznej (przestrzeń wentylowana) jest równa temperaturze obliczeniowej powietrza zewnętrznego.

Do dalszych obliczeń założono wartości dla I strefy klimatycznej:

- temperatura zewnętrzna (na zewnątrz budynku) $T_e = -16^{\circ}\text{C}$
- temperatura wewnętrzna (wewnątrz budynku, w mieszkaniu) $T_i = 20^{\circ}\text{C}$
- wilgotność wewnętrzna (wewnątrz budynku, w mieszkaniu) $\phi = 55\%$.

Do sprawdzających obliczeń ciepłno-wilgotnościowych przyjęto temperatury powietrza zewnętrznego T_e oraz wewnętrznego T_i na podstawie [28]. Do obliczenia współczynnika przenikania U ściany zewnętrznej i stropodachu przyjęto dane materiałowe według [21].

Ustalono, że w okresie eksploatacji obiektu, w latach 80. XX wieku mury zewnętrzne budynku zostały ocieplone warstwą styropianu grubości ~ 5 cm z wyprawą z tynku cementowego według rozwiązań niestosowanej już metody ciężkiej mokrej. W związku z tym współczynnik przenikania ciepła U dla ściany zewnętrznej wyznaczono w sposób przedstawiony w **TAB. 1** (linia fioletowa na **RYS.**).

Uwzględniając konstrukcję płyt stropowych, dalszej analizie poddano dwa przekroje przez strop nad XI piętrem (**RYS.**):

- przez żebro płyty stropowej,
- przez otwór w płycie stropowej.

Zgodnie z dokumentacją projektową stropodach nad stropem XI piętra zrealizowany został jako wentylowany. W związku z tym współczynnik przenikania ciepła U dla stropodachu wyznaczono w sposób następujący: założono, że warstwa powietrza jest dobrze wentylowana (powierzchnia otworów między powietrzem a otoczeniem zewnętrznym jest większa niż 1500 mm^2 na m^2 powierzchni).

W takiej sytuacji całkowity opór cieplny komponentu budowlanego z dobrze wentylowaną warstwą powietrza oblicza się, pomijając opór cieplny tej warstwy i innych warstw znajdujących się między warstwą powietrza a środowiskiem zewnętrznym i dodając wartość zewnętrznego oporu przejmowania ciepła, odpowiadającej nieruchomemu powietrzu.

Dla powyższych założeń współczynnik przenikania ciepła U dla stropodachu wentylowanego wyznaczono, przyjmując najbardziej niekorzystny przekrój, w sposób przedstawiony w **TAB. 2** (linia niebieska na **RYS.**).

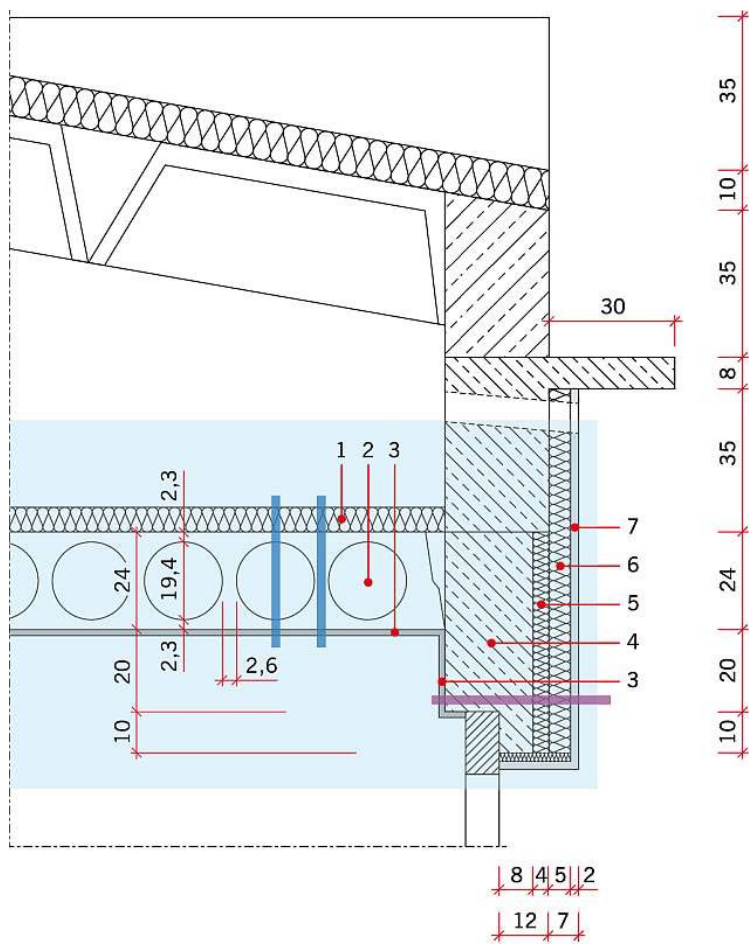
Na podstawie wartości współczynnika przenikania ciepła U wyznaczonego dla ściany zewnętrznej (0,60) i stropodachu (0,62) stwierdzono, że przegrody te mają porównywalne własności cieplne (termoizolacyjne).

Szczegółowa analiza stopnia porażenia korozją biologiczną elementów w obszarze lokalu mieszkalnego wskazała jednoznacznie, że największe uszkodzenia (pod względem jakościowym) występowały wzdłuż pasm nadprożowych, czyli na ścianie zewnętrznej, a nie na suficie, czyli w obszarze stropodachu. Dlatego do dalszej analizy przyjęto jedynie przekrój przez nadproże okienne, uwzględniając jego ocieplenie styropianem w latach 80. XX wieku za pomocą pocienionej warstwy styropianu (linia fioletowa na **RYS.**).

Z dalszej analizy wykluczono przypadek przekroju przez słup żelbetowej ramy w ścianie szczytowej - zakres występujących uszkodzeń w tym miejscu był zdecydowanie mniejszy niż wzdłuż pasm nadprożowych, co jednoznacznie wskazywało, że większe zaburzenia strumienia ciepła występują w obszarze nadproży okiennych.

Temperaturę powierzchni wewnętrznej koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej wyznaczono na podstawie [23]. Norma ta podaje uproszczone metody obliczenia temperatury wewnętrznej powierzchni komponentu budowlanego, poniżej której, przy danej temperaturze i wilgotności powietrza wewnętrznego, prawdopodobny jest rozwój pleśni oraz korozja lub kondensacja pary na powierzchniach nieprzepuszczalnych, np. oknach). Podaje również metody oszacowania ryzyka kondensacji wewnętrznej wskutek dyfuzji pary wodnej.





RYS. Szczegół węzła stropowo-ściennego w poziomie stropu nad XI pięciem budynku (rysunek schematyczny): 1 - płyty z wełny mineralnej gr. 6 cm klejone punktowo lepikiem, 2 - prefabrykowane płyty wielootworowe gr. 24 cm, 3 - tynk cementowo-wapienny gr. 1,5 cm, 4 - żelbet gr. 20 cm, 5 - suprema gr. 4 cm, 6 - styropian gr. 5 cm, 7 - tynk cementowy gr. 2 cm; rys.: archiwum autora

Układ warstw	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [m ² ·K/W]
Opór przejmowania ciepła			0,13
Tynk cementowo-wapienny	0,015	0,82	0,018
Żelbet	0,2	1,7	0,118
Suprema	0,04	0,15	0,267
Styropian	0,05	0,046	1,087
Tynk cementowy	0,02	1	0,020
Opór przejmowania ciepła			0,04

$$U = 1/R = 1/1,68 = 0,60 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

TABELA 1. Współczynnik przenikania ciepła U dla ściany zewnętrznej - stan istniejący

Układ warstw	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [m ² ·K/W]
Opór przejmowania ciepła			0,1
Tynk cementowo-wapienny	0,015	0,82	0,018
Płyta kanałowa	0,24	1,3	0,185
Wełna mineralna luzem	0,06	0,05	1,200
Opór przejmowania ciepła			0,100

$$U = 1/R = 1/1,603 = 0,62 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

TABELA 2. Współczynnik przenikania ciepła U dla stropodachu wentylowanego - stan istniejący

Przegroda budowlana stanowi barierę termiczną, która oddziela przestrzeń o regulowanej temperaturze od środowiska zewnętrznego. Wyniki przeprowadzonych dla ściany zewnętrznej obliczeń pokazały, że uwzględniając parametry normowe:

- temperatura zewnętrzna (na zewnątrz budynku) $T_e = -16^\circ\text{C}$
- temperatura wewnętrzna (wewnątrz budynku, w mieszkaniu) $T_i = +20^\circ\text{C}$
- wilgotność wewnętrzna (wewnątrz budynku, w mieszkaniu) $\phi = 55\%$,
- temperatura na powierzchni wewnętrznej muru zewnętrznego jest równa $T_w = +16,39^\circ\text{C}$, co oznacza, że w tym przypadku istniejącej konstrukcji jest ona wyższa od temperatury punktu rosy, jak również punktu pleśni. Punkt rosy to temperatura wynosząca dla analizowanego przypadku $T_r = +10,7^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C} = 11,7^\circ\text{C}$, przy której gaz osiąga maksymalne nasycenie. Poniżej temperatury punktu rosy następuje przemiana z postaci gazowej w postać ciekłą, czyli skraplanie. Teoretycznie więc dla ściany zewnętrznej w pasmach nadprożowych nie powinny występować uszkodzenia ciepłno-wilgotnościowe z uwagi na kryterium punktu rosy $T_w = +16,39^\circ\text{C} > T_r = +11,7^\circ\text{C}$.

Temperatura punktu **pleśni**, wynosząca dla analizowanego przypadku $T_{rp} = +14,1^\circ\text{C}$ to temperatura, powyżej której na powierzchni wewnętrznej muru zewnętrznego nie występuje ryzyko rozwoju pleśni (korozji biologicznej). Teoretycznie więc dla ściany zewnętrznej w pasmach nadprożowych nie powinny występować uszkodzenia ciepłno-wilgotnościowe z uwagi na kryterium punktu pleśni $T_w = +16,39^\circ\text{C} > T_{rp} = +14,1^\circ\text{C}$.

Zakres porażenia korozją biologiczną elementów pasm nadprożowych w obszarze lokalu mieszkalnego pozwolił na stwierdzenie, że w latach minionych parametry eksploatacyjne mieszkania znacznie odbiegały (w kierunku negatywnym) od warunków normowych.

Do najbardziej prawdopodobnych sytuacji, które mogły mieć miejsce w okresie minionym należą:

- **stan istniejący - przypadek 1-** temperatura wewnętrzna (w mieszkaniu) $T_i = +16^\circ\text{C}$ - wilgotność wewnętrzna (w mieszkaniu) $\phi = 65\%$
- **stan istniejący - przypadek 2**
- temperatura wewnętrzna (w mieszkaniu) $T_i = +17^\circ\text{C}$
- - wilgotność wewnętrzna (w mieszkaniu) $\phi = 67\%$
- **stan istniejący - przypadek 3**
- temperatura wewnętrzna (w mieszkaniu) $T_i = +18^\circ\text{C}$ - wilgotność wewnętrzna (w mieszkaniu) $\phi = 67\%$
- **stan istniejący - przypadek 4**



• temperatura wewnętrzna (w mieszkaniu) $T_i = +18^\circ\text{C}$ - wilgotność wewnętrzna (w mieszkaniu) $\phi = 60\%$.
Dla przywołanych powyżej przypadków temperatura na powierzchni wewnętrznej **murów zewnętrznych** T_w oraz odpowiadające jej temperatura punktu rosy T_r i temperatura punktu pleśni T_{rp} wynoszą odpowiednio:

• **stan istniejący - przypadek 1**
- temperatura wewnętrznej powierzchni muru zewnętrznego wynosi $T_w = +12,79^\circ\text{C}$
- temperatura punktu rosy wynosi $T_r = +9,7^\circ\text{C}$ $+1^\circ\text{C} = +10,7^\circ\text{C}$
- temperatura punktu pleśni wynosi $T_{rp} = +12,8^\circ\text{C}$

• **stan istniejący - przypadek 2**
- temperatura wewnętrznej powierzchni muru zewnętrznego wynosi $T_w = +13,69^\circ\text{C}$
- temperatura punktu rosy wynosi $T_r = +10,8^\circ\text{C}$ $+1^\circ\text{C} = +11,8^\circ\text{C}$
- temperatura punktu pleśni wynosi $T_{rp} = +14,2^\circ\text{C}$

• **stan istniejący - przypadek 3**
- temperatura wewnętrznej powierzchni muru zewnętrznego wynosi $T_w = +14,59^\circ\text{C}$
- temperatura punktu rosy wynosi $T_r = +11,8^\circ\text{C}$ $+1^\circ\text{C} = +12,8^\circ\text{C}$
- temperatura punktu pleśni wynosi $T_{rp} = +15,2^\circ\text{C}$

• **stan istniejący - przypadek 4**
- temperatura wewnętrznej powierzchni muru zewnętrznego wynosi $T_w = +14,59^\circ\text{C}$
- temperatura punktu rosy wynosi $T_r = +10,1^\circ\text{C}$ $+1^\circ\text{C} = +11,1^\circ\text{C}$
- temperatura punktu pleśni wynosi $T_{rp} = +13,5^\circ\text{C}$.

Jak zostało to wspomniane wcześniej najbardziej niebezpieczne są przypadki, w których temperatura wewnętrznej powierzchni muru zewnętrznego T_w zaczyna być niższa od temperatura punktu pleśni T_{rp} .

W przypadku analizowanego lokalu mieszkalnego taka sytuacja ma miejsce przy parametrach klimatu wewnętrznego typowego dla:

- **stan istniejący - przypadek 1**
- $T_w = +12,79^\circ\text{C} \ll T_{rp} = +12,8^\circ\text{C}$
- **stan istniejący - przypadek 2**
- $T_w = +13,69^\circ\text{C} \ll T_{rp} = +14,2^\circ\text{C}$
- **stan istniejący - przypadek 3**
- $T_w = +14,59^\circ\text{C} \ll T_{rp} = +15,2^\circ\text{C}$

Doświadczenie wskazuje, że z opisanych powyżej przypadków najbardziej prawdopodobny jest przypadek 3:

- temperatura wewnętrzna (w mieszkaniu) $T_i = +18^\circ\text{C}$
- wilgotność wewnętrzna (w mieszkaniu) $\phi = 67\%$.

Stan istniejący w zakresie występujących w obszarze pasm nadprożowych uszkodzeń ciepłno-wilgotnościowych potwierdził jednoznacznie, że sposób **eksploatacji mieszkani** a, określany jako stan istniejący (przypadki 1, 2 oraz 3) miał w rzeczywistości miejsce.

Jednocześnie należy zauważyć, że rozwój korozji biologicznej na powierzchni tynku następuje bardzo szybko, nawet w przypadku chwilowego pogorszenia, w kierunku negatywnym, warunków eksploatacyjnych mieszkania. W takiej sytuacji krótkotrwałe polepszenie komfortu wewnętrznego, np. poprzez nieznaczne obniżenie wilgotności, co odpowiada przypadkowi 4, nie spowoduje cofnięcia, jak również zatrzymania negatywnych skutków wcześniejszej nieprawidłowej eksploatacji **lokalu mieszkalnego**.

Udostępnione przez administratora budynku odczyty z podzielników c.o. w lokalu mieszkalnym jednoznacznie wskazały, że w sezonach grzewczych 2014-2015 oraz 2015-2016 nastąpiło drastyczne obniżenie zużycia czynnika grzewczego, co jednoznacznie świadczy o zmniejszeniu temperatury powietrza w lokalu mieszkalnym, w tym do wartości przyjętej w analizie w ramach przypadków 1, 2, 3 oraz 4.

W sezonie grzewczym 2014-2015 zużycie stanowiło zmniejszenie o ponad 70% jednostek pomierzonych na podzielnikach, natomiast w sezonie grzewczym 2015-2016 występowało zmniejszenie zużycia o ponad 62% w porównaniu do średniej wartości z lat 2006-2014.

Dodatkowo należy zauważyć, że również w **sezonach grzewczych** 2012-2013 oraz 2013-2014 wyniki odczytów zużycia czynnika grzewczego jednoznacznie wskazywały, że miało miejsce istotne obniżanie temperatury powietrza w lokalu mieszkalnym, co bezspornie przyczyniło się do rozwoju korozji biologicznej, której inicjacja nastąpiła wzdłuż pasm nadprożowych, czyli elementów, w których ze względu na konstrukcje najszybciej nastąpiło zaburzenie przepływu strumienia ciepła w postaci przemarzania.

W [27] zamieszczono zalecenie, że należy sprawdzić, czy przegroda spełnienia wymagania dotyczące powierzchniowej kondensacji pary wodnej. Oznacza to, że na wewnętrznej powierzchni nieprzezroczystej przegrody zewnętrznej nie może występować kondensacja pary wodnej umożliwiającą rozwój grzybów pleśniowych. Spełnienie tego warunku jest sprawdzane przy użyciu współczynnika temperaturowego f_{Rsi} , zdefiniowanego w [23].

Poniżej przedstawiono procedury normowe określania ryzyka rozwoju pleśni na podstawie współczynnika temperaturowego f_{Rsi} dla całego roku: zgodnie z [27] ocenianą wielkością jest współczynnik temperaturowy f_{Rsi} na wewnętrznej powierzchni przegrody:

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

gdzie:

θ_{si} - temperatura powierzchni wewnętrznej [°C],

θ_e - temperatura powietrza wewnętrznego [°C],

θ_i - temperatura powietrza zewnętrznego [°C].

Aby zdiagnozować możliwość rozwoju pleśni dla każdego miesiąca w roku z uwzględnieniem średnich miesięcznych parametrów powietrza zewnętrznego i warunków użytkowania pomieszczeń, wyznacza się współczynnik $f_{Rsi, min}$.

W **TAB. 3**

zamieszczono wyniki obliczeń pokazujące zmienność współczynnika temperaturowego $f_{Rsi, min}$ przez okres 12 miesięcy dla warunków eksploatacyjnych odpowiadających:

- warunki normowe:
- temperatura wewnętrzna (w mieszkaniu) $T_i = +20^\circ\text{C} = \theta_i$ - wilgotność wewnętrzna (w mieszkaniu) $\varphi = 55\%$



Miesiąc	θ_e	θ_i	φ	p_i	p_{sat}	$\theta_{si, min}$	$f_{Rsi, min}$
Styczeń	2	20	0,55	1287	1608,75	14,11	0,673
Luty	1,2						0,686
Marzec	3,5						0,643
Kwiecień	7,7						0,521
Maj	10,7						0,366
Czerwiec	15,5						-0,310
Lipiec	18,7						-3,534
Sierpień	16,3						-0,593
Wrzesień	14,5						-0,072
Październik	8,7						0,478
Listopad	4						0,632
Grudzień	1,9						0,674

TABELA 3. Zmiana współczynnika temperaturowego $f_{Rsi, min}$ przez okres 12 miesięcy dla parametrów klimatu wewnętrznego: $T_i = +20^\circ\text{C}$, $\varphi = 55\%$ (przypadek normowy)

Krytycznym miesiącem jest ten, w którym wartość $f_{Rsi, min}$ jest największa. W rozważanym przypadku jest to wartość przypadająca na luty (zaznaczona kolorem czerwonym), wówczas dla tego przypadku $f_{Rsi, min} = f_{Rsi, max} = 0,686$.

Możliwość wystąpienia pleśni występuje wówczas, gdy $f_{Rsi, max} > f_{Rsi, U}$. W związku z tym należy obliczyć $f_{Rsi, U}$ – współczynnik, który charakteryzuje jakość cieplną komponentu budowlanego. Wyznacza się go na podstawie:

$$f_{Rsi, U} = \left(\frac{1}{U} - R_{si} \right) \cdot \frac{1}{U} \quad (2)$$

gdzie:

U - wartość współczynnika przenikania dla przegrody

R - oporu przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej.

Przy szacowaniu ryzyka wzrostu pleśni należy przyjmować wartość $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$.

Dla powyższych normowych założeń warunek $f_{Rsi, max} > f_{Rsi, U}$ nie jest spełniony, ponieważ $f_{Rsi, max} = 0,686 < f_{Rsi, U} = 0,85$. Wartość $f_{Rsi, U}$ jest wyższa od $f_{Rsi, max}$, w związku z tym nie powinno pojawić się ryzyko wystąpienia warunków sprzyjających rozwojowi pleśni i grzybów przez cały rok kalendarzowy.

- stan istniejący - przypadek 3:
- temperatura wewnętrzna (w mieszkaniu) $T_i = +18^\circ\text{C}$
- wilgotność wewnętrzna (w mieszkaniu) $\varphi = 67\%$.

Wykonując podobną jak w przypadku a analizę współczynnika temperaturowego $f_{Rsi, min}$ przez okres 12 miesięcy dla warunków klimatu wewnętrznego, które mogą występować w analizowanym mieszkaniu (przypadek 3), otrzymano wartości zamieszczone w [TAB. 4.](#)



Miesiąc	θ_e	θ_i	φ	p_i	p_{sat}	$\theta_{si, min}$	$f_{Rsi, min}$
Styczeń	2	18	0,67	1385	1731,25	15,24	0,83
Luty	1,2						0,84
Marzec	3,5						0,81
Kwiecień	7,7						0,73
Maj	10,7						0,62
Czerwiec	15,5						-0,10
Lipiec	18,7						4,94
Sierpień	16,3						-0,62
Wrzesień	14,5						0,21
Październik	8,7						0,70
Listopad	4						0,80
Grudzień	1,9						0,83

TABELA 4. Zmiana współczynnika temperaturowego $f_{Rsi, min}$ przez okres 12 miesięcy dla parametrów klimatu wewnętrznego: $T_i = +18^\circ\text{C}$, $\varphi = 67\%$ (przypadek 3)

Na podstawie uzyskanych wyników można zauważyć, że ryzyko wystąpienia warunków sprzyjających **rozwojowi pleśni i grzybów** ma miejsce aż w 5 miesiącach. W zaznaczonych kolorem czerwonym miejscach w [TAB. 4](#) widać, że wartości $f_{Rsi, min}$ są zbliżone do wartości kryterialnej $f_{Rsi, U}$, co oznacza, że dla średnich miesięcznych parametrów powietrza zewnętrznego i warunków użytkowania pomieszczeń przez znaczną część roku istnieje możliwość powstawania życia biologicznego (rozwoju pleśni).

Dla stanu istniejącego - przypadek 4, w którym przedstawiono warunki **klimatu wewnętrznego**, w których nie powinien wystąpić rozwój pleśni, zmienność w czasie współczynnika temperaturowego $f_{Rsi, min}$ przez okres 12 miesięcy kształtuje się w sposób przedstawiony w [TAB. 5](#).

Miesiąc	θ_e	θ_i	φ	p_i	p_{sat}	$\theta_{si, min}$	$f_{Rsi, min}$
Styczeń	2	18	0,6	1240	1550	13,53	0,72
Luty	1,2						0,73
Marzec	3,5						0,69
Kwiecień	7,7						0,57
Maj	10,7						0,39
Czerwiec	15,5						-0,79
Lipiec	18,7						7,38
Sierpień	16,3						-1,63
Wrzesień	14,5						-0,28
Październik	8,7						0,52
Listopad	4						0,68
Grudzień	1,9						0,72

TABELA 5. Zmiana współczynnika temperaturowego $f_{Rsi, min}$ przez okres 12 miesięcy dla parametrów klimatu wewnętrznego: $T_i = +18^\circ\text{C}$, $\varphi = 60\%$ (metoda 1: stan istniejący - przypadek 4)

Dla powyższego przypadku warunek $f_{Rsi, max} > f_{Rsi, U}$ nie jest spełniony, ponieważ $f_{Rsi, max} = 0,73 < f_{Rsi, U} = 0,85$. Wartość $f_{Rsi, U}$ jest wyższa od $f_{Rsi, max}$, w związku z tym dla warunków eksploatacyjnych odpowiadających przypadkowi 4 nie powinno być ryzyka wystąpienia warunków sprzyjających rozwojowi pleśni i grzybów przez cały rok kalendarzowy.

W celu przeciwdziałania sytuacji mogącej sprzyjać w przyszłości rozwojowi uszkodzeń ciepłowo-wilgotnościowych przyjęto 2 metody:

- **metoda 1 - utrzymanie warunków eksploatacyjnych zbliżonych do normowych.**



Należy mieć jednak świadomość, że jest to działanie nie do końca doskonałe, ponieważ w praktyce bardzo trudno jest utrzymać w sposób ciągły założoną temperaturę oraz wilgotność. W związku z tym na potrzeby omawianego przypadku wyznaczono parametry klimatu, które z dużym prawdopodobieństwem pozwolą w przyszłości uniknąć korozji biologicznej przegród budowlanych, w tym muru zewnętrznego. Zalecane wartości odpowiadają omawianej wcześniej sytuacji: stan istniejący - przypadek 4:

- temperatura wewnętrzna (wewnątrz budynku, w mieszkaniu) $T_i \geq +18^\circ\text{C}$
- wilgotność wewnętrzna (wewnątrz budynku, w mieszkaniu) $\phi \leq 60\%$.

W przypadku 4 nie został spełniony warunek $f_{Rsi,max} > f_{Rsi,U}$, w związku z tym dla analizowanego przypadku wartość współczynnika temperaturowego przekracza wartości normowych określonych w [23], co powoduje, że przegroda w całym roku kalendarzowym jest w stanie pobrać i odprowadzić ilość pary wodnej bez ryzyka jej kondensacji powierzchniowej.

- **metoda 2 - ocieplenie murów zewnętrznych według rozwiązania technologii ETICS.**

Z inżynierskiego punktu widzenia najbardziej poprawny kierunek działania. W przypadku ocieplenia muru styropianem grubości 10 cm wartość współczynnika przenikania ciepła wynosi $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$ (TAB. 6) i nie przekracza wartości U_{max} wynoszącej $0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$.

Układ warstw	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [m ² ·K/W]
Opór przyjmowania ciepła			0,13
Tynk cementowo-wapienny	0,015	0,82	0,018
Żelbet	0,2	1,7	0,118
Suprema	0,04	0,15	0,267
Styropian	0,05	0,046	1,087
Styropian	0,1	0,036	2,778
Tynk cementowy	0,02	1	0,020
Opór przyjmowania ciepła			0,04

$$U = 1/R = 1/4,457 = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

TABELA 6. Współczynnik przenikania ciepła U dla stropodachu wentylowanego (stan projektowany - metoda 2)

Dla ocieplonej przegrody zmieniają się wartości temperatur. Do analizy temperatury punktu rosy i temperatury punktu pleśni przyjęto wartości normowe:

- temperatura zewnętrzna (na zewnątrz budynku) $T_e = -16^\circ\text{C}$
- temperatura wewnętrzna (wewnątrz budynku, w mieszkaniu) $T_i = +20^\circ\text{C}$
- wilgotność wewnętrzna (wewnątrz budynku, w mieszkaniu) $\phi = 55\%$.

Dla normowych parametrów klimatycznych uzyskano następujące temperatury:

- temperatura wewnętrznej powierzchni muru zewnętrznego wynosi $T_w = +18,69^\circ\text{C}$
- temperatura punktu rosy wynosi $T_r = +10,7^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C} = +11,7^\circ\text{C}$
- temperatura punktu pleśni wynosi $T_{rp} = +14,1^\circ\text{C}$.

Biorąc pod uwagę wysoce prawdopodobny sposób eksploatacji mieszkania obliczenia uwzględniające przepływ strumienia ciepła przez przegrodę po jej ociepleniu wykonano dla najbardziej negatywnie prawdopodobnych sytuacji:



- **stan projektowany** - **metoda 2: przypadek 1**
- temperatura wewnętrzna (w mieszkaniu) $T_i = +16^\circ\text{C}$
- wilgotność wewnętrzna (w mieszkaniu) $\phi = 65\%$
- **stan projektowany** - **metoda 2: przypadek 2**
- temperatura wewnętrzna (w mieszkaniu) $T_i = +17^\circ\text{C}$
- wilgotność wewnętrzna (w mieszkaniu) $\phi = 67\%$
- **stan projektowany** - **metoda 2: przypadek 3**
- temperatura wewnętrzna (w mieszkaniu) $T_i = +18^\circ\text{C}$
- wilgotność wewnętrzna (w mieszkaniu) $\phi = 67\%$.

Dla przywołanych powyżej przypadków temperatura na powierzchni wewnętrznej muru zewnętrznego T_w oraz odpowiadające jej temperatura punktu rosy T_r i temperatura punktu pleśni T_{rp} wynoszą odpowiednio:

- **stan projektowany** - **metoda 2: przypadek 1**
- temperatura wewnętrznej powierzchni muru zewnętrznego wynosi $T_w = +14,82^\circ\text{C}$
- temperatura punktu rosy wynosi $T_r = +9,7^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C} = +10,7^\circ\text{C}$
- temperatura punktu pleśni wynosi $T_{rp} = +12,8^\circ\text{C}$
- **stan projektowany** - **metoda 2: przypadek 2**
- temperatura wewnętrznej powierzchni muru zewnętrznego wynosi $T_w = +15,79^\circ\text{C}$
- temperatura punktu rosy wynosi $T_r = +10,8^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C} = +11,8^\circ\text{C}$.
- temperatura punktu pleśni wynosi $T_{rp} = +14,2^\circ\text{C}$
- **stan projektowany** - **metoda 2: przypadek 3**
- temperatura wewnętrznej powierzchni muru zewnętrznego wynosi $T_w = +16,75^\circ\text{C}$
- temperatura punktu rosy wynosi $T_r = +11,8^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C} = +12,8^\circ\text{C}$
- temperatura punktu pleśni wynosi $T_{rp} = +15,2^\circ\text{C}$.

Bazując na przeprowadzonych obliczeniach stwierdzono, że po ociepleniu ścian zewnętrznych nie ma ryzyka powstawania punktu pleśni, gdyż w żadnym z analizowanych przypadków temperatura wewnętrznej powierzchni muru zewnętrznego T_w nie osiągnęła wartości niższej od temperatura punktu pleśni T_{rp} :

- przypadek 1 $T_w = +14,82^\circ\text{C} > T_{rp} = +12,8^\circ\text{C}$
- przypadek 2 $T_w = +15,79^\circ\text{C} > T_{rp} = +14,2^\circ\text{C}$
- przypadek 3 $T_w = +16,75^\circ\text{C} > T_{rp} = +15,2^\circ\text{C}$

W **TAB. 7** zamieszczono wyniki obliczeń przedstawiające ryzyko rozwoju pleśni na podstawie współczynnika temperaturowego f_{Rsi} dla całego roku dla analizowanej przegrody dla warunków eksploatacyjnych odpowiadających metodzie 2: stan projektowany - przypadek 3.



Miesiąc	θ_e	θ_i	φ	p_i	p_{sat}	$\theta_{i, min}$	$f_{Rsi, min}$
Styczeń	2	18	0,67	1384	1730	15,23	0,83
Luty	1,2						0,84
Marzec	3,5						0,81
Kwiecień	7,7						0,73
Maj	10,7						0,62
Czerwiec	15,5						-0,11
Lipiec	18,7						4,95
Sierpień	16,3						-0,63
Wrzesień	14,5						0,21
Październik	8,7						0,70
Listopad	4						0,80
Grudzień	1,9						0,83

TABELA 7. Zmiana współczynnika temperaturowego $f_{Rsi, min}$ przez okres 12 miesięcy dla parametrów klimatu wewnętrznego: $Ti\varphi = 67\%$ (stan projektowany - metoda 2: przypadek 3)

Dla powyższych normowych założeń warunek $f_{Rsi, max} > f_{Rsi, U}$ nie jest spełniony, ponieważ pomimo wysokiego $f_{Rsi, max} = 0,84$, po ociepleniu przegrody zmianie ulegnie wartość współczynnika U , powodując tym samym zmianę wartości $f_{Rsi, U} = 0,94$.

Wartość $f_{Rsi, U}$ jest wyższa od $f_{Rsi, max}$, w związku z tym nie powinno być ryzyka wystąpienia warunków sprzyjających rozwojowi pleśni i grzybów przez cały rok kalendarzowy: $f_{Rsi, max} = 0,84 < f_{Rsi, U} = 0,94$.

Propozycja usunięcia usterek ciepłno-wilgotnościowych

Ze względu na stan techniczny lokalu mieszkalnego prace remontowe należało przeprowadzić w systemie etapowym, według następujących zaleceń ramowych:

Etap 1 - do realizacji w trybie pilnym:

- w pokoju szczytowym (PS) oraz w pokoju pośrednim (PP) usunąć ślady zawilgocenia i zagrzybienia poprzez skucie tynku wewnętrznego w pasmach nadprożowych oraz na fragmentach ścian zewnętrznych,
- po usunięciu tynku fragmenty muru oraz pasm nadprożowych zabezpieczyć preparatem do odkażania zagrzybionych ścian budynków,
- odsłonięte fragmenty muru oraz pasm nadprożowych zabezpieczyć przeciwegrybicznie przed wtórnym porażeniem grzybem i rozwojem pleśni,
- metodą przewietrzania naturalnego przeprowadzić osuszanie pokoi szczytowego (PS) oraz pośredniego (PP),
- w przypadku stwierdzenia obniżenia tempa osuszania murów zewnętrznych oraz pasma nadprożowego przewietrzanie należy wspomagać dogrzewaniem pomieszczeń stosując nagrzewnice elektryczne oraz obniżaniem wilgotności przy zastosowaniu osuszaczy,
- po zakończeniu osuszania przeprowadzić kontrolne pomiary wilgotności - proces osuszania należy uznać za zakończony jeżeli przez 3 kolejne dni pomierzona wilgotność masowa U_m tynku cementowo-wapiennego na ścianach będzie $\leq 0,8\%$,
- na odsłoniętych fragmentach muru oraz pasm nadprożowych wykonać porowaty tynk renowacyjny, tzw. przecierkę, nie zaleca się wykonywać gładzi gipsowych.

Etap 2 - do realizacji po zakończeniu prac etapu 1:



- po zakończeniu prac remontowych przeprowadzić szczegółową kontrolę krotności wymiany powietrza w obszarze całego lokalu mieszkalnego, tak żeby spełnione były wymagania co do wentylacji tego rodzaju pomieszczeń, zamieszczone między innymi w [26] oraz [28].

Etap 3 - do realizacji po zakończeniu prac etapu 1, równoległe z pracami etapu 2:

- podczas użytkowania lokalu mieszkalnego zapewnić następujące (graniczne) parametry eksploatacyjne:
temperatura wewnętrzna T_i $min=$ 18,0°C
wilgotność względna $\phi_{max} = 60\%$.

Etap 4 - do docelowej realizacji:

- wykonać ocieplenie murów zewnętrznych budynku jako całości według technologii ETICS z uwzględnieniem wymagań technicznych zamieszczonych w [16, 17],
- prace ociepleniowe należy przeprowadzić, uwzględniając konieczność ocieplenia części murów zagłębionych z zastosowaniem polistyrenu ekstrudowanego (styrodur - XPS) o wstępnej grubości 6 cm,
- należy rozważyć, czy prac ociepleniowych nie należy poprzedzić odtworzeniem izolacji pionowej i poziomej części murów zagłębionych w gruncie,
- po zakończeniu prac związanych z odtworzeniem izolacji przeciwwilgociowych części murów zagłębionych w gruncie oraz po ociepleniu murów zewnętrznych budynku ukształtować spadki terenu wokół budynku w kierunku na zewnątrz "od budynku".

Etap 5 - do realizacji po zakończeniu prac etapu 4:

- podczas użytkowania lokalu mieszkalnego zapewnić następujące parametry eksploatacyjne:
temperatura wewnętrzna T_i $min=$ (19–20)°C
wilgotność względna $\phi_{max} = 55\%$.

Wnioski

- Bezpośrednią przyczyną powstania uszkodzeń cieplno-wilgotnościowych w pomieszczeniach mieszkania było zaniżenie warunków eksploatacyjnych polegające na długoterminowym obniżeniu temperatury powietrza wewnątrz lokalu mieszkalnego T_i przy jednoczesnej zbyt dużej wilgotności wewnętrznej, szacunkowo powyżej $\phi = 67\%$.
- Ze względu na układ warstw ściany zewnętrznej, charakteryzujący się dużą przewodnością cieplną (niską termoizolacyjnością), nawet krótkotrwałe obniżenie w sezonie grzewczym temperatury w mieszkaniu do $\sim 16,0^\circ\text{C}$ powodowało, że temperatura na powierzchni wewnętrznej muru zewnętrznego była równa $\sim 12,79^\circ\text{C}$, co skutkowało tym, że była ona niższa od temperatury $T_{rp} = 12,8^\circ\text{C}$ będącej temperaturą tzw. punktu pleśni - przy tej temperaturze następuje rozwój korozji biologicznej, co miało miejsce w analizowanym przypadku.
- Odczyty z podzielników c.o. w lokalu mieszkalnym jednoznacznie wskazywały, że w minionych sezonach grzewczych (ostatnich dwóch latach) nastąpiło drastyczne obniżenie zużycia czynnika grzewczego, co jednoznacznie wskazuje na zmniejszenie temperatury powietrza w lokalu mieszkalnym.

Literatura

1. M. Gajzler, M. Puklińska, A. Dziadosz, "Wpływ rozwiązań projektowych na wielkość kosztów w cyklu życia inwestycji budowlanej", Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012, s. 123-130.



2. A. Dziadosz, O. Kapliński, M. Rejment, "Łączne koszty budynku w cyklu życia inwestycji budowlanej", Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2015, s. 127-134.
3. E. Kucharska-Stasiak, "Metody pomiaru zużycia obiektów budowlanych", "Materiały Budowlane", 2/1995, s. 29-38.
4. M. Substyk, "Utrzymanie i kontrola okresowa obiektów budowlanych", Wydawnictwo ODDK, Warszawa 2012.
5. R. Antczak-Jarząbska, "Influence of external climate on natural ventilation", PHD Interdisciplinary Journal, 2015.
6. T. Godycki-Ćwirko, Z. Łosicki, L. Niedostatkiwicz, J. Matyskiewicz, M. Kin, "Systemowa analiza rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych docieplonych zewnętrznych przegród budynków w aspekcie oszczędności energii", praca badawcza nr 917043, Politechnika Gdańska, Wydział Budownictwa Lądowego, Instytut Technologii i Materiałów Budowlanych, Gdańsk 1991.
7. J. Hoła, Z. Makowski, "Wybrane problemy dotyczące zabezpieczeń przeciwwilgociowych ścian w istniejących obiektach murowanych, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna "Awary Budowlane 2007", Szczecin-Międzyzdroje, s. 109-114.
8. J. Kwiatkowski, "Metody oceny ryzyka wystąpienia kondensacji pary wodnej na wewnętrznych powierzchniach przegród", "Building and Civil Engineering" 2010.
9. P. Markiewicz, "Detale projektowe dla architektów", Wydawnictwo Archiplus, Warszawa 2009.
10. A. Marszałek, K. Sołtyński, "Człowiek w warunkach obciążenia termicznego", CIOP-PIB, Warszawa 2001.
11. M. Niedostatkiwicz, "Błędy projektowe i wykonawcze systemów ociepleniowych w technologii BSO (Bezspoinowy System Ocieplania) jako przyczyny utrudnień eksploatacyjnych budynków mieszkalnych", [w:] "Wybrane zagadnienia z budownictwa ogólnego", Wydawnictwo Europejskiej Uczelni Społeczno-Technicznej, Radom 2014, s. 137-146.
12. M. Niedostatkiwicz, "Dachu stropodachy tarasy. Remonty i wzmacnianie", Polskie Centrum Budownictwa Difin i Muller, Warszawa 2015, s. 1-178.
13. W. Płoński, J.A. Pogorzelski, "Fizyka budowli - zasady projektowania przegród budowlanych w zakresie ciepło-wilgotnościowym", Wydawnictwo ARKADY, Warszawa 1979.
14. **M. Wesółowska, P. Szczepaniak, "Nowe wymagania w ocenie wilgotnościowej przegród", "IZOLACJE" 3/2009.**
15. Instrukcja ITB nr 334/1996, "Ocieplanie ścian zewnętrznych metodą lekką", Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 1996.
16. Instrukcja ITB nr 334/2002, "Bezspoinowy system ocieplania ścian zewnętrznych budynków", Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2002.
17. Instrukcja ITB nr 418/2006, "Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych, część C: Zabezpieczenia i izolacje, zeszyt 8: Bezspoinowy system ocieplania ścian zewnętrznych budynków", Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2006.
18. PN-B-02025:2001, "Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego".



19. PN-EN ISO 6946:2008, "Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania".
20. PN-EN ISO 10456:2008, "Materiały i wyroby budowlane. Procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych".
21. PN-EN 12524:2003, "Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabela wartości obliczeniowe".
22. PN-82/B-02403, "Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne".
23. PN-EN ISO 13788:2003, "Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania".
24. PN-B-02025:2001, "Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynkach mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego".
25. PN-EN ISO 14683, "Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne".
26. PN-EN ISO 7730:2006(U), "Ergonomia. Środowisko termiczne umiarkowane. Analityczne wyznaczenie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźnika PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego".
27. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 grudnia 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej ICH (DzU nr 201, poz. 1240).
28. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie **warunków technicznych**, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU nr 75 z 2002 r., poz. 690 wraz z późniejszymi zmianami).