

## **OCHRONA PRZECIWWILGOCIOWA BUDYNKU**

### **Wybrane zagadnienia**

#### **1. WYMAGANIA W ZAKRESIE OCHRONY PRZECIWWILGOCIOWEJ PRZEGRÓD**

Wymagania w zakresie ochrony przeciwwilgociowej zostały sprecyzowane w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3] – dział VIII rozdział 4. Zgodnie z nimi „Budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby opady atmosferyczne, woda w gruncie i na jego powierzchni, woda użytkowana w budynku oraz para wodna w powietrzu w tym budynku nie powodowały zagrożenia zdrowia i higieny użytkowania”.

Zostały tutaj zdefiniowane różne poziomy zabezpieczeń zarówno od wody gruntowej jak i opadowej:

- ściany piwnic oraz stykające się z gruntem inne elementy budynku należy zabezpieczyć przed działaniem wody znajdującej się w gruncie (§ 316.1, (§ 317.1)
- części budynku od zewnątrz narażone na przenikanie wody rozbryzgowej i z topniejącego śniegu (cokoły budynków, ściany i attyki przy balkonach, tarasach, dachach, stropodachach) powinny być odpowiednio zabezpieczone – (§ 316.2, § 317.2),

Oprócz wymagań dotyczących oczywistych zabezpieczeń przeciwwilgociowych, zwrócono szczególną uwagę na rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe przegród zewnętrznych, warunki ciepłno-wilgotnościowe, a także intensywność wymiany powietrza w pomieszczeniach, które powinny uniemożliwiać:

- przenikanie wody opadowej do wnętrza budynków (§ 318),
- narastające w kolejnych latach zawilgocenie spowodowane kondensacją pary wodnej
- powstanie zagrzybienia (§ 322.1 i 2 )

Spełnienie wymienionych, dwóch pierwszych warunków wiąże się ze szczegółową analizą zastosowanych układów materiałowych przegród pod kątem ochrony przed zawilgoceniem.

Należy rozpatrzyć:

- warstwy elewacyjne pod kątem przenikania deszczu
- układ warstwowy przegród zewnętrznych, który powinien zostać obliczeniowo sprawdzony w celu wykluczenia kondensacji międzywarstwowej (jeżeli wewnątrz znajdują się materiały wrażliwe na wilgoć: drewno, materiały drewnopochodne, wełny mineralne) lub ograniczenia możliwości nadmiernej kondensacji wewnętrznej, powodującej ciągłe przyrosty wilgoci wewnętrznej w miarę upływu lat eksploatacji budynku.

Powstanie zagrzybienia jest przede wszystkim związane z jakością ciepłno-wilgotnościową elementów budowlanych i ich węzłów. Obowiązujące wymagania ochrony cieplnej

praktycznie wykluczają ryzyko rozwoju pleśni na powierzchniach poszczególnych przegród budowlanych. Problem mogą stanowić złącza elementów budowlanych. Prawdłowo wykonstruowane złącza powinny w projektowanych warunkach eksploatacji budynku wykluczyć ryzyko rozwoju pleśni na ich powierzchniach wewnętrznych. Wadliwie wykonane złącza generują mostki termiczne, których funkcjonowanie wywołuje przede wszystkim obniżenie temperatury na powierzchniach wewnętrznych w zasięgu złącza, stwarzając warunki do kondensacji powierzchniowej a w konsekwencji do rozwoju pleśni.

## 2. ANALITYCZNE METODY OCENY JAKOŚCI PRZEGRÓD W ZAKRESIE ZAWILGOCENIA

### 2.1. Procedury normowe określania ryzyka rozwoju pleśni

Zgodnie z normą ISO 13788 [2], 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:

$\theta_{si}$  – temperatura powierzchni wewnętrznej [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$\theta_e$  – temperatura powietrza wewnętrznego [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$\theta_i$  – temperatura powietrza zewnętrznego [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Współczynnik ten charakteryzuje jakość cieplną komponentu budowlanego (przegrody, mostka termicznego), niezależniąc się od przyjętych do obliczeń temperatur powietrza wewnętrznego i zewnętrznego.

W przypadku przegrody pełnej, jednowarstwowej lub z warstwami jednorodnymi cieplnie oraz miejscach poza wpływem mostków termicznych, znając wartość współczynnika przenikania ciepła  $U$  oraz oporu przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej  $R_{si}$ , można skorzystać z prostej zależności:

$$f_{Rsi} = (U^{-1} - R_{si}) \cdot U \quad (2)$$

Dla komponentu z warstwami niejednorodnymi cieplnie wartość  $f_{Rsi}$  oblicza się wg wzoru:

$$f_{Rsi} = 1 - \frac{R_{si,min}}{R_{T,min}} \quad (3)$$

Przy czym  $R_{T, min}$  – jest najniższym oporem cieplnym sekcji, wydzielonej z komponentu budowlanego.

Przy szacowaniu ryzyka wzrostu pleśni należy przyjmować wartość  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Dla obliczeniowych wartości temperatur, zakres wartości współczynnika zmienia się od 0÷1, przy czym im jest on wyższy, tym jest korzystniejsze pod względem cieplnym rozwiązanie.

Należy jednak zauważyć, że jest on pochodną temperatury na powierzchni, a więc jego wartość dla danej przegrody nie jest stała. W przypadku mostków termicznych występują zmiany temperatury  $\theta_{si}$ , a w konsekwencji również zmiany tego współczynnika.

Mostek termiczny powoduje obniżenie temperatury na powierzchni, stąd pierwszym krokiem przy ocenie przegrody powinna być identyfikacja mostków i określenie minimalnej wartości  $f_{Rsi}$ . Tak wyznaczony  $f_{Rsi}$  powinien być większy od wartości krytycznej  $f_{Rsi,min}$ .

W przypadku analizowania mostków termicznych, do określenia najniższej temperatury na powierzchni złącza można posłużyć się wartościami katalogowymi lub wykonać szczegółowe obliczenia. W dostępnym w Polsce katalogu mostków cieplnych [11] nie uwzględniono wartości  $R_{si}$  wymaganej przy szacowaniu ryzyka rozwoju pleśni. W związku z tym temperatury minimalne mostków są obciążone pewnymi błędami.

Jeżeli ocenia się budynek istniejący to pomocne mogą być badania termowizyjne węzłów, przeprowadzone od strony pomieszczenia. Niezbędne są wówczas pomiary kontrolne temperatury zewnętrznej i wewnętrznej. Właściwie wykonany raport z badań zawiera niezbędne informacje dotyczące parametrów powietrza oraz wskazuje miejsca występowania najniższych temperatur.

Wymaganą wartość krytyczną współczynnika temperaturowego  $f_{Rsi,kryt}$  oblicza się w zależności od przyjętej lokalizacji budynku. Poniżej przedstawiona jest szczegółowa procedura postępowania

**Krok 1:** ustalenie danych klimatycznych (średnich miesięcznych wartości temperatur ( $\theta_e$ ) i wilgotności względnych powietrza zewnętrznego ( $\varphi_e$ )).

Niezbędne dane można wyszukać na stronie Ministerstwa Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej [http://www.transport.gov.pl/2-48203f1e24e2f-1787735-p\\_1.htm](http://www.transport.gov.pl/2-48203f1e24e2f-1787735-p_1.htm).

Przykładowe dane dla Bydgoszczy przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Dane klimatyczne dla miejscowości Bydgoszcz

miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\theta_e, ^\circ\text{C}$	-0,7	0,0	0,0	+6,6	+14,2	+14,5	+17,3	+16,4	+11,0	+8,1	+5,2	+1,9
$\varphi_e$	0,88	0,87	0,77	0,69	0,68	0,71	0,76	0,78	0,79	0,84	0,87	0,89

**Krok 2:** określenie ciśnienia pary wodnej nasyconej  $p_{sat}$

$$\text{dla } \theta \geq 0^\circ\text{C} \quad p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,26 \cdot \theta}{237,5 + \theta}} \quad (4)$$

$$\text{dla } \theta < 0^\circ\text{C} \quad p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}}, \quad (5)$$

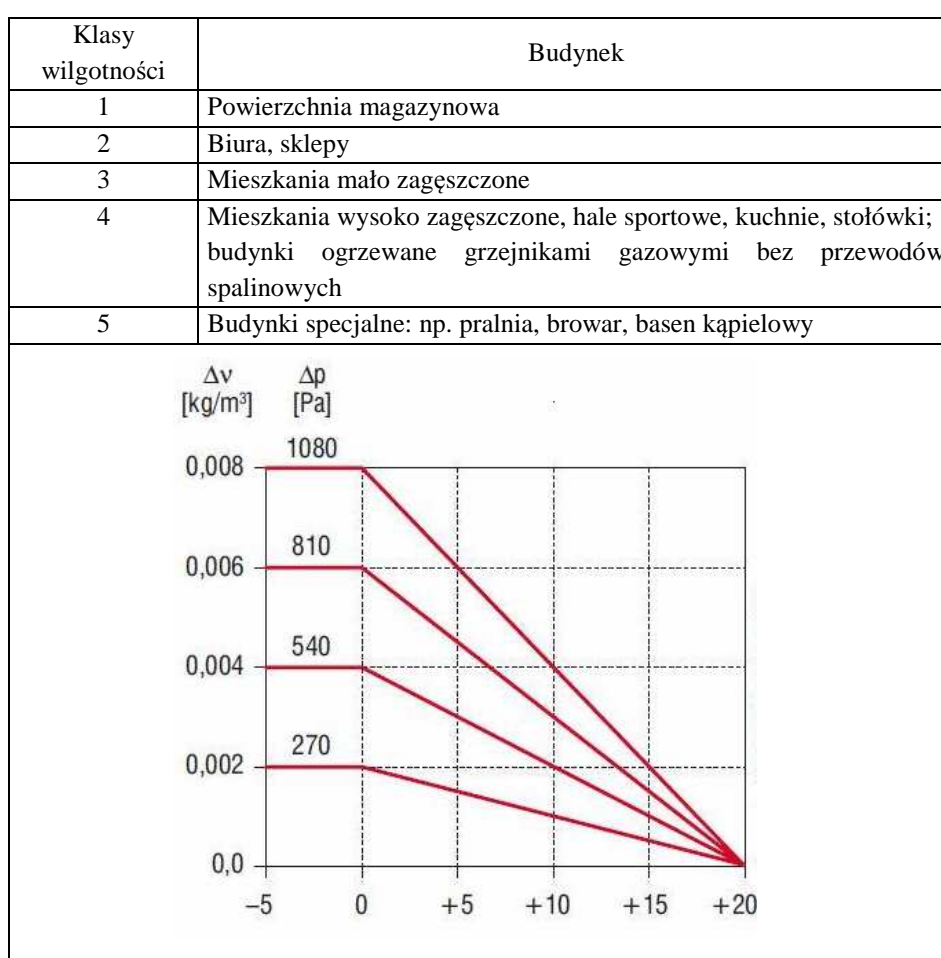
**Krok 2:** określenie ciśnienia rzeczywistego pary wodnej  $p_e$

$$p_e = \varphi_e \cdot p_{sat} \quad (6)$$

**Krok 3:** określenie nadwyżki ciśnienia wewnętrznego

Na tym etapie norma dopuszcza stosowanie wartości krajowych nadwyżki ciśnienia  $\Delta p$ , ewentualnie przyjęcie wilgotności względnej powietrza wewnętrznego jako stałej, ale tylko wówczas, gdy jest ona utrzymywana na stałym poziomie, np. dzięki klimatyzacji.

Pomieszczenia mieszkalne w Polsce w zdecydowanej większości są wentylowane grawitacyjnie. W takich przypadkach, norma ISO 13788 wskazuje za właściwe posługiwanie się klasami wilgotności wewnętrzej, definiującymi rodzaj eksploatacji pomieszczeń (rys.1).



Rys. 1. Zmiana klas wilgotności wewnętrznej w zależności od temperatury zewnętrznej

Np.:

Dla miesiąca IV (temperatura zewnętrzna +6,6°C) i 3 klasy wilgotności wewnętrznej  $\Delta p = 551 \text{ Pa}$

**Krok 4:** określenie średniej miesięcznej wartości ciśnienia pary wodnej na powierzchni wewnętrznej  $p_i$

$$p_i = p_e + 1,1 \cdot \Delta p \quad (7)$$

Przyjęta wartość 1,1 jest marginesem bezpieczeństwa dla przypadku korzystania z klas wilgotności wewnętrznej. Jeżeli w pomieszczeniach są zainstalowane urządzenia zapewniające stałą wilgotność wówczas wartość nadwyżki jest pomnożona przez 1,05.

**Krok 5:** określenie ciśnienia kondensacji  $p_{sat}(\theta_{si,min})$

Aby uniknąć rozwoju pleśni, wilgotność względna na powierzchni nie powinna przekraczać wartości 0,8.

$$p_{sat}(\theta_{si,min}) = \frac{p_i}{0,8} \quad (8)$$

**Krok 6:** określenie minimalnej temperatury  $\theta_{si,min}$

Minimalna dopuszczalna temperatura jest to najniższa temperatura powierzchni wewnętrznej. Poniżej tej wartości zaczyna się rozwijać pleśń.

$$\text{dla } p_{sat} \geq 610,5 \text{ Pa} \quad \theta = \frac{237,3 \log_e \left( \frac{p_{sat}}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left( \frac{p_{sat}}{610,5} \right)} \quad (9)$$

$$\text{dla } p_{sat} < 610,5 \text{ Pa} \quad \theta = \frac{265,5 \cdot \log_e \left( \frac{p_{sat}}{610,5} \right)}{21,875 - \log_e \left( \frac{p_{sat}}{610,5} \right)} \quad (10)$$

**Krok 7:** określenie współczynnika temperaturowego  $f_{Rsi,min}$

$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (11)$$

Zgodnie ze wskazaną procedurą normową, współczynnik  $f_{Rsi,min}$  wyznacza się dla każdego miesiąca w roku. Krytycznym miesiącem jest ten, w którym wymagana wartości  $f_{Rsi,min}$  jest największa. Współczynnik temperaturowy dla miesiąca krytycznego oznaczony jest symbolem,  $f_{Rsi,kryt}$ , a budynek należy zaprojektować tak, aby wyliczona dla przegrody wartość  $f_{Rsi}$  spełniała zawsze warunek:

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,kryt}$$

## Przykład 1

Określenie wartości krytycznej współczynnika temperaturowego dla miejscowości Bydgoszcz.

Dane klimatyczne zgodnie z tab. 1

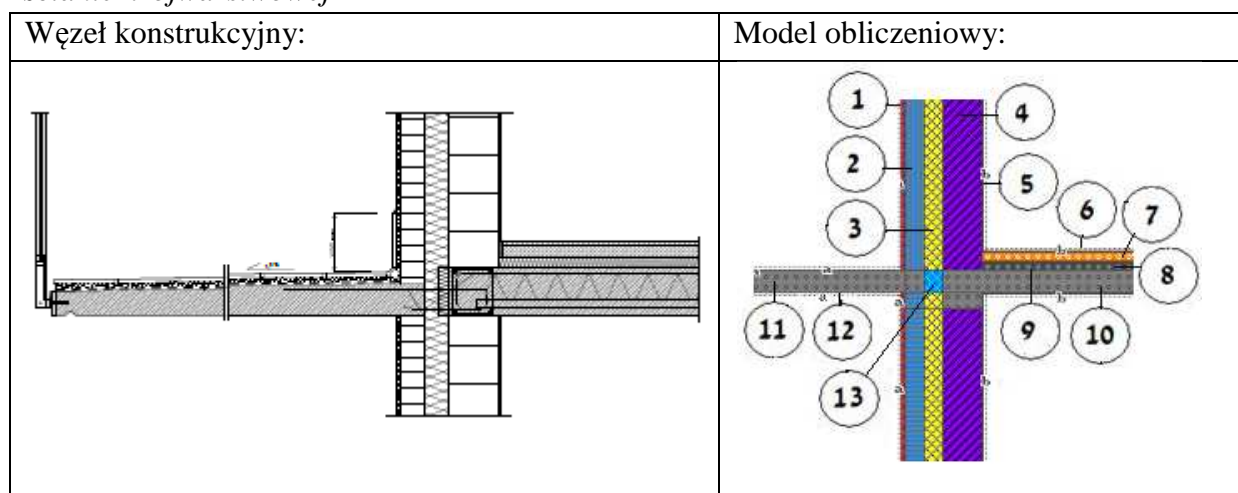
Wartość krytyczna współczynnika temperaturowego wg PN EN ISO 13788 dla Bydgoszczy i 3 klasy warunków wilgotnościowych										
Miesiąc	$\theta_e$	$\phi_e$	Psat,e	Pe	$\Delta p$	pi	Psat ( $\theta_{si,min}$ )	$\theta_i$	$\theta_{si}$	$f_{Rsi}$
Styczeń	-0,7	0,88	576	507	810	1398	1748	20	15,39	0,777
luty	0	0,87	611	531	810	1422	1778	20	15,66	0,783
Marzec	0	0,77	611	470	810	1361	1701	20	14,97	0,749
kwiecień	6,4	0,69	961	663	551	1269	1586	20	13,89	0,551
Maj	14,2	0,68	1619	1101	235	1359	1699	20	14,95	0,129
Czerwiec	14,5	0,71	1650	1172	223	1417	1771	20	15,60	0,199
Lipiec	17,3	0,76	1974	1500	109	1620	2025	20	17,71	0,152
Sierpień	16,4	0,78	1864	1454	146	1614	2018	20	17,65	0,348
Wrzesień	11	0,79	1312	1036	365	1437	1797	20	15,82	0,536
październik	8,1	0,84	1080	907	482	1437	1796	20	15,82	0,649
Listopad	5,2	0,87	884	769	599	1429	1786	20	15,73	0,711
Grudzień	1,9	0,89	700	623	733	1430	1787	20	15,74	0,764
$f_{Rsi,kryt} =$										<b>0,783</b>

Wartość krytyczna współczynnika temperaturowego wg PN EN ISO 13788 Dla Bydgoszczy i 4 klasy warunków wilgotnościowych										
Miesiąc	$\theta_e$	$\phi_e$	Psat,e	Pe	$\Delta p$	pi	Psat ( $\theta_{si,min}$ )	$\theta_i$	$\theta_{si}$	$f_{Rsi}$
Styczeń	-0,7	0,88	576	507	1080	1695	2119	20	18,43	0,924
luty	0	0,87	611	531	1080	1719	2149	20	18,65	0,933
Marzec	0	0,77	611	470	1080	1658	2073	20	18,08	0,904
kwiecień	6,4	0,69	961	663	734	1471	1839	20	16,18	0,719
Maj	14,2	0,68	1619	1101	313	1445	1806	20	15,91	0,294
Czerwiec	14,5	0,71	1650	1172	297	1498	1873	20	16,47	0,359
Lipiec	17,3	0,76	1974	1500	146	1660	2076	20	18,10	0,296
Sierpień	16,4	0,78	1864	1454	194	1668	2085	20	18,17	0,492
Wrzesień	11	0,79	1312	1036	486	1571	1964	20	17,22	0,691
październik	8,1	0,84	1080	907	643	1614	2017	20	17,64	0,802
Listopad	5,2	0,87	884	769	799	1648	2060	20	17,98	0,864
Grudzień	1,9	0,89	700	623	977	1698	2123	20	18,46	0,915
$f_{Rsi,kryt} =$										<b>0,933</b>

**Przykład 2:** Ocena ryzyka rozwoju pleśni na mostkach termicznych na etapie projektowania przy zastosowaniu obliczeń numerycznych

W dostępnej ofercie są komercyjne programy do analizy przepływu ciepła w polu dwu- i trójwymiarowym (często oznaczane rozszerzeniem 2D i 3D). Algorytmy tych programów są oparte na postanowieniach PN-EN ISO 10211[12], stąd przed skorzystaniem z programu czy też modułu programowego niezbędne jest zapoznanie się z podstawowymi założeniami normy dotyczącymi tworzenia modelu obliczeniowego. Należy zdefiniować geometrię węzła, warunki brzegowe i własności materiałów:

*Ocena ryzyka rozwoju pleśni dla balkonu wspornikowego żelbetowego z termo-łącznikiem w ścianie trójwarstwowej*



Warunki brzegowe:

$$\theta_e = -18^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_i = +20^{\circ}\text{C}$$

$$R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Właściwości cieplne wbudowanych materiałów:

Nr	Nazwa materiału	d [cm]	$\lambda$ [W/(m·K)]	Nr	Nazwa materiału	d [cm]	$\lambda$ [W/(m·K)]
1	Tynk cementowo-wapienny	2,0	0,820	7	Wylewka cementowa	6,0	1,000
2	Cegła kratówka	12,0	0,560	8	Styropian dźwiękochłonny	5,0	0,036
3	Wełna mineralna	12,0	0,045	9	Folia polietylenowa	0,01	0,038
4	Cegła silikatowa drażona	25,0	0,800	10	Strop Teriva	24,0	0,650
5	Tynk cementowo-wapienny	1,0	0,820	11	Żelbet	16,0	1,700
6	Panele podłogowe	0,5	1,050	12	Tynk cementowo-wapienny	1,0	0,820

Rozkład temperatur:	Wyniki:
	$\theta_k = +17,6^\circ\text{C}$ $\theta_i = +17,3^\circ\text{C}$ Ocena ryzyka rozwoju pleśni: $f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{17,6 - (-18)}{20 - (-18)} = 0,937 > f_{Rsi,kryt}$ $f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{17,3 - (-18)}{20 - (-18)} = 0,933 > f_{Rsi,kryt}$ Dla analizowanego węzła nie ma ryzyka rozwoju pleśni zarówno dla 3 jak i 4 klasy warunków wilgotnościowych

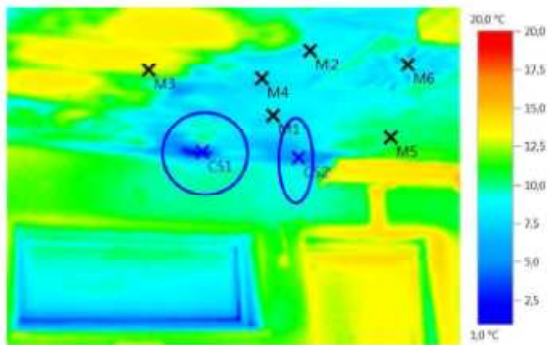
**Przykład 3:** Ocena ryzyka rozwoju pleśni na mostkach termicznych na etapie projektowania katalogu mostków termicznych

*Ocena ryzyka rozwoju pleśni dla połączenia ściany z oknem w przekroju przez nadproże i wieniec*

Węzeł konstrukcyjny	Węzeł konstrukcyjny wg Katalogu mostków cieplnych [11]	$\theta_{si,min}$ [°C]	$f_{Rsi}$ [-]	Spełnienie wymagań $f_{Rsi} > f_{Rsi,kryt}$	
				3 klasa wilgotn.	4 klasa wilgotn.
<p>1-pustak POROTHERM 25P+W (gr. 25cm),</p> <p>2-Styropian EPS 70-040 (gr. 12 cm), 3-cegła silikatowa (gr. 11,5cm), 4-stołarka okienna, 5-tynk gipsowy (gr. ok. 1cm), 6-silikon sanitarny, 7-kotew typu L300, 8-piana montażowa, 9-płytkę elewacyjną przyklejana na klej, 10-silikon akrylowy, 11-strop gęstożebrowy TERIVA, 12-nadproże typu L, 13-zbrojenie nadproża, 14-wieniec żelbetowy, 15-dylatacja, 16-styropian EPS 100-040 (gr.2cm), 17-szlachta betonowa z prowadzeniem instalacji (gr.4cm), 18-folia budowlana TYP 300, 19-piana montażowa, 20-kołek rozporowy, 21-listwa montażowa</p>	<p>1-cegła klinkierowa, 2-izolacja cieplna, 3- cegła kratówka, 4-tynk gipsowy, 5- parkiet dębowy, 6-gładź cementowa, 7- płyty styropianowe elastyczne, 8-żelbet, 9-ościeznica drewniana</p> <p><b>Katalogowe warunki brzegowe:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\theta_e = -20^\circ\text{C}</math></li> <li>- <math>\theta_i = +20^\circ\text{C}</math></li> </ul>	16,3	0,903	TAK	NIE



**Przykład 4:** Ocena ryzyka rozwoju pleśni na mostkach termicznych budynku istniejącego przy wykorzystaniu obrazów termowizyjnych



Dane dotyczące zdjęć:	Data:	2011-02-02	Emisyjność:	0,95
	Godzina:	05:50:03	Odb. temp. [°C]:	20,0
	Plik:	IV_00033.BMT		

**Zaznaczenia na zdjęciach:**

Obiekty pomiarowe	Temp. [°C]	Emisyjność	Odb. temp. [°C]	Uwagi
Punkt pomiaru 1	7,7	0,95	20,0	-
Punkt pomiaru 2	8,1	0,95	20,0	-
Punkt pomiaru 3	12,7	0,95	20,0	-
Punkt pomiaru 4	7,9	0,95	20,0	-
Punkt pomiaru 5	10,3	0,95	20,0	-
Punkt pomiaru 6	8,6	0,95	20,0	-
Najzimniejszy punkt 1	2,1	0,95	20,0	-
Najzimniejszy punkt 2	4,2	0,95	20,0	-

Temperatury otoczenia w trakcie badania:

$$\theta_e = -14^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_i = +20^{\circ}\text{C}$$

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{2,1 - (-14)}{20 - (-14)} = 0,473 < f_{Rsi, kryt}$$

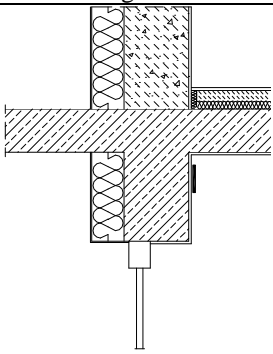
Na wewnętrznej powierzchni przegrody występuje na znacznym obszarze ryzyko rozwoju pleśni, niezależnie od panujących warunków wilgotnościowych, obejmujące miesiące od września do kwietnia.

**Komentarz:**

W ostatniej nowelizacji WT zastosowano nowy parametr - bezwymiarowy współczynnik temperaturowy. Jego zaletą jest ocena parametryczna zależna od geometrii i parametrów cieplnych, niezależna od temperatur obliczeniowych (lokalizacji), co daje możliwość korzystania z katalogów opracowanych dla dowolnej strefy. Jest on podstawą do wiarygodnej oceny, jeżeli zastosuje się pełną procedurę normową. W rozporządzeniu zaś proponuje się wyliczenie wymaganej wartości współczynnika temperaturowego w pomieszczeniach ogrzewanych do temperatury co najmniej 20°C w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej przy założeniu, że średnia miesięczna wartość

wilgotności względnej powietrza wewnętrznego jest równa  $\varphi_i = 50\%$ , przy czym dopuszcza się przyjmowanie wymaganej wartości tego współczynnika równej 0,72.

Tabela 2. Ocena ryzyka rozwoju grzybów pleśniowych w ścianie dwuwarstwowej [4]

Metoda oceny	Rozwiązania dla ściany dwuwarstwowej	Zagrożenie rozwojem grzybów pleśniowych
		
PN 13788	3 klasa warunków wilgotnościowych	Tak
	4 klasa warunków wilgotnościowych	Tak
WT	$\varphi_i = 0,5+0,05$ $\theta_i = 20C$	Nie
	$f_{Rsi, min} = 0,72$	Nie

Na przykładzie analizy wybranego złącza (Tab. 2) można stwierdzić, że sformułowane w WT wymagania są zaniżone. Złącze, które nie spełnia dotychczasowego kryterium kondensacji powierzchniowej, wobec nowego warunku jest prawidłowe. Dopiero pełna analiza wg normy potwierdza zagrożenie rozwojem pleśni.

## 2.2.Procedura określania kondensacji międzywarstwowej

### Krok 1:

- Określenie danych klimatycznych temperatury i ciśnienia, zgodnie z lokalizacją budynku
- Określenie ciśnienia rzeczywistego  $p_i$  jak w przykładzie 1
- Określenie właściwości materiałów, rozpatrywanego komponentu budowlanego (grubość materiału  $d$ , współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$ , współczynnik oporu dyfuzyjnego  $\mu$ ), a następnie obliczyć opór cieplny dla każdej warstwy  $R$  oraz określić opory cieplne  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ ,  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$\mu$  – współczynnik oporu dyfuzyjnego, wielkość bez miana, która wskazuje ile razy opór stawiany przez dany materiał przepływowi pary wodnej jest większy od oporu powietrza

$$\mu = \frac{\delta_o}{\delta} \quad (12)$$

gdzie:

$\delta_o = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s})$  i oznacza paroprzepuszczalność powietrza

- Wyznaczenie równoważnej grubości warstwy materiału  $S_d$ :

$$s_{d,j} = \mu_j \cdot d_j. \quad (13)$$

Każda warstwa powinna spełniać warunek:

$$R \leq 0,25 \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right],$$

jeśli opór cieplny warstwy jest większy, to należy podzielić go na odpowiednią ilość warstw o takim samym oporze cieplnym spełniającym powyższy warunek. W obliczeniach ten podział jest traktowany jako układ oddzielnych warstw.

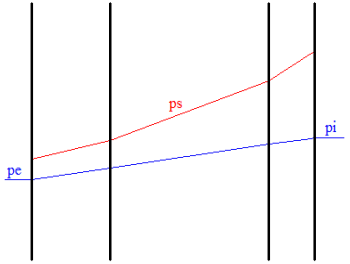
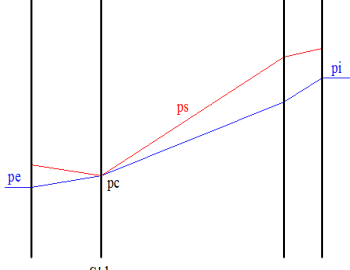
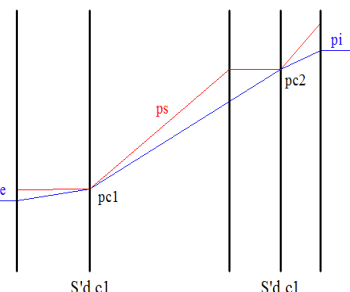
### Krok 2:

- Obliczyć rozkład ciśnienia pary nasyconej i ciśnienia rzeczywistego w danym komponencie.
- Aby zinterpretować wynik, oceny kondensacji międzywarstwowej należy:
  - narysować przekrój elementu budowlanego o dyfuzyjnie równoważnej grubości warstwy powietrza,  $s_d$ ,
  - narysować linie proste łączące wartości ciśnienia pary nasyconej na każdej powierzchni styku materiału,
  - narysować wartość ciśnienia pary wodnej jako linię prostą łączącą zewnętrzną  $p_e$  i wewnętrzną  $p_i$  wartość ciśnienia pary, jeżeli w elemencie budowlanym nie ma zakumulowanej wilgoci z poprzedniego miesiąca,
  - wykreślić ciśnienie pary wodnej w postaci szeregu linii, które stykają się w tak wielu punktach, jak to tylko możliwe, z profilem ciśnienia pary nasyconej, ale go nie przekraczając, jeżeli ciśnienie pary wodnej przekracza wartość ciśnienia pary nasyconej na którejkolwiek powierzchni styku.

### Krok 3:

- Ocenic komponent pod kątem ryzyka kondensacji międzywarstwowej:
  - jeżeli do płaszczyzny kondensacji lub strefy kondensacji przylegają materiały wrażliwe na wilgoć to ocena jest negatywna
  - jeżeli do płaszczyzny kondensacji lub strefy kondensacji przylegają materiały nie wrażliwe na wilgoć to należy sporządzić bilans wilgoci. Ilość wilgoci wyparowanej lub skondensowanej podczas danego miesiąca należy dodać do zakumulowanej ilości wilgoci  $M_a$  w komponencie podczas poprzednich miesięcy. Jeśli strumień kondensacji staje się ujemny (pojawia się parowanie), a wilgoć zakumulowana spada do wartości równej zero oznacza to, że cała wilgoć budowlana wyschła. Natomiast, jeśli wilgoć nie wyschnie, oznacza to, iż dana przegroda jest zaprojektowana niepoprawnie.

Tabela 3. Rozkład ciśnienia pary wodnej oraz strumień pary wodnej przepływający przez element budowlany.

Wykres	strumień pary wodnej, przepływający przez komponent budowlany, $\left[\frac{kg}{m^2}\right]$
<p>Brak kondensacji wewnętrznej - na żadnej z powierzchni styku wartość ciśnienia pary wodnej nie przekracza wartości pary nasyconej</p>	
	$g = \delta_0 \cdot \frac{p_i - p_e}{s'_{d,T}}$
<p>Kondensacja wewnętrzna na jednej płaszczyźnie stykowej - wartość ciśnienia pary wodnej przekracza wartość ciśnienia pary nasyconej na jednej z powierzchni styku</p>	
	$g_c = \delta_0 \cdot \left( \frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right)$
<p>Kondensacja wewnętrzna na dwóch płaszczyznach stykowych - wartość ciśnienia pary wodnej przekracza wartość ciśnienia pary nasyconej na dwóch powierzchniach styku</p>	
	<p>Powierzchnia stykowa c1:</p> $g_{c1} = \delta_0 \cdot \left( \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right)$ <p>Powierzchnia stykowa c1:</p> $g_{c2} = \delta_0 \cdot \left( \frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{e1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right)$
<p><math>s'_{d,T}</math> - dyfuzyjnie równoważna całkowita grubość warstwy powietrza komponentu [m],  <math>s'_{d,c}</math> - dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza komponentu, mierzona od wewnętrznej powierzchni komponentu budowlanego do powierzchni styku (miejsca kondensacji) [m],  <math>s'_{d,c1}</math> - dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza komponentu, mierzona od pierwszej powierzchni styku <math>p_{c1}</math> (miejsca kondensacji) do zewnętrznej powierzchni komponentu budowlanego [m],  <math>s'_{d,c2}</math> - dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza komponentu, mierzona od drugiej powierzchni styku <math>p_{c2}</math> (miejsca kondensacji) do pierwszej powierzchni styku <math>p_{c1}</math> (miejsca kondensacji) w komponencie budowlanym [m],  <math>\delta_0</math> - paroprzepuszczalność powietrza w odniesieniu do ciśnienia cząstkowego pary wodnej równa: <math>2 \times 10^{-10} \left[ \frac{kg}{m \cdot s \cdot Pa} \right]</math></p>	

### 3. WYBRANE PRZYKŁADY OCHRONY PRZECIWWILGOCIOWEJ PRZEGRÓD

W związku z tym, że sprawy typowych zabezpieczeń przeciwwilgociowych są powszechnie znane w tej części skupiono się wyłącznie na analizie przypadków kondensacji powierzchniowej i międzywarstwowej. Żeby zrozumieć istotę tych rozwiązań należy mieć na uwadze, że wilgotność pomieszczeń jest następstwem nałożenia się kilku czynników:

- Wilgoci eksploatacyjnej, związanej z funkcjonowaniem człowieka (w zależności od stopnia wysiłku fizycznego i parametrów otoczenia człowiek może emitować  $50 \div 150$  g wody na godzinę) i procesami bytowymi (gotowanie, pranie).
- Wilgoci technologicznej, związanej z wysychaniem przegród (np.: współczesne budynki jednorodzinne są często wznoszone w ciągu 3 kwartałów wiosna-jesień i zasiedlane zazwyczaj w sezonie zimowym)
- Emisji pary wodnej, powstającej w wyniku procesów technologicznych w budynkach przemysłowych,

Powietrze, w zależności od temperatury, pochłania określony nadmiar wilgoci, który w wyniku wentylacji pomieszczenia zostaje usunięty na zewnątrz. W niskich temperaturach ilość pochłoniętej wilgoci jest niewielka, (dla  $t = -12^{\circ}\text{C}$  wynosi  $1,8$  g/kg suchego powietrza). Wraz ze wzrostem zwiększa się (dla  $t = 40^{\circ}\text{C}$  wynosi  $50$  g/kg). Stąd w definiowaniu parametrów klimatu określa się tzw. wilgotność względną. Kolejnym parametrem jest ciśnienie cząstkowe prężności pary wodnej  $p$ , które również zmienia się w funkcji temperatury. W konsekwencji powstaje rozbudowana klasyfikacja pomieszczeń w funkcji warunków ciepło-wilgotnościowych (tab. 4)

Tabela 4. Klasyfikacja pomieszczeń z uwagi na warunki ciepło-wilgotnościowe[10]

I.p.	Rodzaj pomieszczeń	Wilgotność [%]	Ciśnienie cząstkowe prężności pary wodnej, $p$ [Pa]	Przykłady pomieszczeń
Pomieszczenia z podwyższoną temperaturą $\geq 23^{\circ}\text{C}$				
1	Pomieszczenia suche	<40	<1060	Kotłownie, hale pieców, koksownie
2	Pomieszczenia średniowilgotne	$40 \div 60$	$1060 \div 1600$	Siłownie, odlewnie
3	Pomieszczenia wilgotne	$61 \div 75$	$1601 \div 2130$	Farbiarnie, pralnie, pływalnie kryte, hale przemysłu celulozowo-papierniczego i tytoniowego, garbarnie rzeźnie, sauny, pieczkarnie
4	Pomieszczenia mokre	>75	>2130	
Pomieszczenia z normalną temperaturą $18 \div 22^{\circ}\text{C}$				
1	Pomieszczenia suche	<40	<1060	Sale widowiskowe, biura, pomieszczenia handlowe, szkoły, budynki przemysłowe z suchą produkcją bez dowilżania powietrza i otwartych zbiorników wodnych
2	Pomieszczenia średniowilgotne	$40 \div 60$	$1060 \div 1330$	Pomieszczenia mieszkalne, pokoje chorych w szpitalach i sanatoriach, pokoje dziecięce w żłobkach i przedszkolach, budynki produkcyjne o niewielkiej ilości wydzielanej wilgoci

l.p.	Rodzaj pomieszczeń	Wilgotność [%]	Ciśnienie cząstkowe prężności pary wodnej, p [Pa]	Przykłady pomieszczeń
3	Pomieszczenia wilgotne	61÷75	1331÷1860	Pomieszczenia sanitarne, kuchnie, kuchnie zbiorowego żywienia, mleczarnie, niektóre obiekty przemysłu włókienniczego
4	Pomieszczenia mokre	>75	1861÷2400	Umywalnie, naparzalnie, różne obiekty z moką produkcją
Pomieszczenia z obniżoną temperaturą 12÷16°C				
1	Pomieszczenia suche	<50	<930	Hale montażowe i obróbki mechanicznej
2	Pomieszczenia średniwilgotne	50÷75	931÷1330	Różne obiekty przemysłowe
3	Pomieszczenia wilgotne	>75	1060÷1600	Betoniarnie, naparzalnie, różne budynki inwentarskie
Pomieszczenia z niską temperaturą ≤8°C				
1	Pomieszczenia suche	<50	<530	Magazyny, garaże
2	Pomieszczenia średniwilgotne	50÷75	<800	-
3	Pomieszczenia wilgotne	>75	<1060	Przechowalnie produktów rolnych

W celu uniknięcia zawilgocenia przegród należy stosować odpowiednie rozwiązania (zarówno blokujące dyfuzję jak i zapewniające odprowadzanie pary wodnej ze struktury przegród) – tab. 5 i 6

*Tabela 5. Zalecenia dotyczące stosowania stropodachów i paroizolacji[9]*

Rodzaj pomieszczenia	Wymagane warunki wilgotnościowe		Rodzaj stropodachu	Zalecenia dotyczące paroizolacji
	Wilgotność względna [%]	Ciśnienie cząstkowe pary wodnej p [Pa]		
Pomieszczenia o niskiej wilgotności	<50	<1200	Stropodach pełny	Bez paroizolacji W przypadku stropodachu drewnianego konieczna paroizolacja
Pomieszczenia o normalnej wilgotności	50÷60	1200÷1600	Stropodach pełny	Wg warunku 1 <sup>*)</sup>
			Stropodach odpowietrzany lub wentylowany	Bez paroizolacji W przypadku stropodachu drewnianego konieczna paroizolacja
	60÷75	1600÷2100	Stropodach odpowietrzany lub wentylowany	Paroizolacja typu lekkiego (folie paroizolacyjne)

Pomieszczenia o dużej wilgotności	>75	>2100	Stropodach dwudzielny, wentylowany <sup>**)</sup>	Paroizolacja typu ciężkiego (np.: papa na folii aluminiowej)
<sup>*)</sup> 1. Konstrukcja nośna stropodachu wykonana z: <ul style="list-style-type: none"> <li>– monolitycznej płyty żelbetowej lub prefabrykowanych płyt żelbetowych z wypełnieniem zamków i uszczelnionych na stykach (np. paskami papy lub folii)</li> <li>– blachy fałdowej z uszczelnionymi materiałem elastycznym stykami</li> </ul> Izolacja termiczna z wyrobów utrudniających dyfuzję pary wodnej (np. styropian bitumizowany obustronnie, polistyren ekstrudowany - XPS, szkło piankowe)				
<sup>**) Nie należy stosować stropodachów w postaci lekkiej obudowy  Nie należy stosować przekryć z elementów z betonu lekkiego, zbrojonego (keramzytobetonu, ABK)   Nad pomieszczeniami z atmosferą agresywną należy stosować stropodach z przestrzenią przełazową, wentylowaną ogrzanym powietrzem </sup>				

W budynkach mieszkalnych zaleca się stosowanie stropodachów dwudzielnych. Występująca, wentylowana, przestrzeń dachowa nie tylko zabezpiecza przed zawilgoceniem spowodowanym kondensacją ale również przed przegrzewaniem pomieszczeń w okresie letnim. W przypadkach pomieszczeń wilgotnych i mokrych należy zwrócić uwagę, że grubość izolacji termicznej powinna uwzględniać zarówno wymagania w zakresie ochrony cieplnej budynku jak i ochrony przed kondensacją na podniebieniu pokrycia – im wyższe ciśnienie pary wodnej w pomieszczeniu tym większa powinna być izolacyjność termiczna stropodachu.

Tabela 6. Zalecenia dotyczące stosowania ścian[1]

l.p.	Rodzaj pomieszczenia	Ściany			
		jednowarstwowe	dwuwarstwowe z izolacją termiczną od strony powietrza wewnętrznego	dwuwarstwowe z izolacją termiczną od strony powietrza zewnętrznego lub wentylowanej warstwy powietrza	trójwarstwowe
1	Pomieszczenia Suche	Bez ograniczeń			
2	Pomieszczenia średniowilgotne	Bez ograniczeń, ale należy stosować otwarte dyfuzyjnie zewnętrzne wyprawy tynkarskie i malarskie	Rozwiązanie można stosować tylko przy wykonywaniu dociepleń ścian z cegły lub betonu komórkowego w istniejących budynkach, przy zastosowaniu rozwiązań o $S_d$ wyższym od warstwy konstrukcyjnej lub	W przypadku przegród dwuwarstwowych zasadnicze wymagania wynikają ze względów ochrony przed zawilgoceniem wodą z opadów atmosferycznych W ścianach ciągłe szczeliny powietrza wentylowane powinny mieć grubość co najmniej 25 mm; dopuszcza się wentylację w kanałach, np. w przypadku okładzin z blachy fałdowej lub falistej.	$S_d$ warstwy konstrukcji lub okładziny wewnętrznej powinna być równa lub większa od $S_d$ warstwy (okładziny) zewnętrznej
3	Pomieszczenia wilgotne	Nie zaleca się stosować	Nie należy stosować	$S_d$ warstwy konstrukcyjnej lub okładziny wewnętrznej powinna wynosić co najmniej 5m (warunek ten spełnia np. warstwa betonu zwykłego o grubości co najmniej 0,035 m)	dopuszcza się izolacje termiczne z materiałów otwartych dyfuzyjnie (np. płyty z wełny mineralnej) jeśli okładzina (warstwa) zewnętrzna jest z

l.p.	Rodzaj pomieszczenia	Ściany			
		jednowarstwowe	dwuwarstwowe z izolacją termiczną od strony powietrza wewnętrznego	dwuwarstwowe z izolacją termiczną od strony powietrza zewnętrznego lub wentylowanej warstwy powietrza	trójwarstwowe
					materiału mogącego podciągać kapilarnie wykroploną parę wodną bez spływania i gromadzenia się kondensatu (np. cegła ceramiczna) i w ścianie zastosowano system drenażowy
4	Pomieszczenia Mokre	Nie należy stosować		Należy projektować uwzględniając analizę kondensacji międzywarstwowej przy użyciu programów symulacyjnych (np.: WUFI) lub procedur omówionych w normie ISO 13788	

**Przykład 5:** Sprawdzenie poprawności układu materiałowego ściany zewnętrznej trójwarstwowej

- tynk c-w 1,5cm
- Porotherm 25 P+W
- EPS 50-040 15cm
- Cegła silikatowa D12P

Ocena wstępna przegrody polega na sprawdzeniu  $S_d$  warstw leżących po wewnętrznej i zewnętrznej stronie termoizolacji i porównaniu tych wartości ze sobą. Jeżeli  $S_{di} < S_{de}$  to pojawia się zagrożenie kondensacji wewnętrznej w przegrodzie.

warstwa	d [m]	$\mu$ [-]	$S_d = \sum \mu_i \cdot d_i$ [m]
Tynk c-w	0,015	10	2,75
Porotherm 25 P+W	0,25	5	
EPS 50-040 15cm	0,15	50	2,4
Cegła silikatowa D12P	0,12	20	
$S_{di} > S_{de}$ układ materiałowy poprawny			

Materiały, których wilgotność początkowa może być wysoka (np. ABK), nie powinny być osłaniane szczelnymi warstwami okładzinowymi. Należy umożliwić wysychanie materiałów na zewnątrz lub do szczeliny powietrznej wentylowanej. Na zewnętrznych ścianach jednowarstwowych, murowanych z ABK i ceramiki poryzowanej nie należy wykonywać przylegającej bezpośrednio do muru szczelnej faktury zewnętrznej, np. z płytek ceramicznych, mozaiki szklanej lub płyt kamiennych. Zawilgoconych murów nie należy ocieplać przed ich wysuszeniem. Ocieplenie zamiast poprawić warunki spowoduje rozprzestrzenienie się zasięgu zawilgocenia i podwyższenie wilgotności w pomieszczeniu, co w konsekwencji prowadzi do zagrzybienia.



## **Uwzględnienie możliwości zawilgocenia wodą z opadów atmosferycznych**

Ściany murowane warstwowe szczelinowe należy projektować z pozostawieniem szczeliny powietrznej po zewnętrznej stronie izolacji termicznej (szerokość min. 1cm przy szczelinie zamkniętej i min. 2,5cm przy szczelinie wentylowanej) i możliwością ewakuacji wody ze szczeliny na zewnątrz.

### **Literatura:**

- [1] PN-91/B-02020 Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.
- [2] PN-EN ISO 13788:2003 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU nr 75, poz. 690, z późniejszymi zmianami).
- [4] M. Wesołowska, P. Hołownia: „O konsekwencjach stosowania zabudowy meblowej na ścianach zewnętrznych w budynkach mieszkalnych wznoszonych metodami przemysłowymi” Miesięcznik SITPC Ochrona przed korozją nr 10s/A/2003
- [5] M. Wesołowska, P. Hołownia, K. Pawłowski: „Zagrożenia rozwojem grzybów pleśniowych na jednowarstwowych ścianach z betonu komórkowego” Miesięcznik SITPC Ochrona przed korozją nr 10s/A/2003
- [6] M. Wesołowska, P. Hołownia: „Niektóre problemy adaptacji budynków zabytkowych na przykładzie spichrzów na Wyspie Młyńskiej w Bydgoszczy”. Zagadnienia konstrukcyjne, materiałowe i ciepłno-wilgotnościowe w budownictwie, wydawnictwo uczelniane ATR Bydgoszcz 2005 r.
- [7] M. Wesołowska, P. Hołownia: „Wybrane problemy eksploatacji budynków z jednowarstwowymi ścianami z autoklawizowanego betonu komórkowego”. Zagadnienia konstrukcyjne, materiałowe i ciepłno-wilgotnościowe w budownictwie, wydawnictwo uczelniane ATR Bydgoszcz 2005 r.
- [8] M. Wesołowska, P. Hołownia: „Nowe wymagania w ocenie wilgotnościowej przegród”. Zagadnienia konstrukcyjne, materiałowe i ciepłno-wilgotnościowe w budownictwie, wydawnictwo uczelniane UTP Bydgoszcz 2009 r
- [9] B. Sokołowska, M. Krajczyński: Stropodachy. Projektowanie i wykonawstwo. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej 2004
- [10] Płoński W., Pogorzelski J.A.: Fizyka budowli. Arkady, Warszawa 1979
- [11] Katalog mostków cieplnych. Budownictwo tradycyjne. Instrukcja ITB 389/2003 Wydawnictwo: ITB, 2003
- [12] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach - Strumienie ciepła i temperatury powierzchni - Obliczenia szczegółowe.