



STAN CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWY PRZEGRÓD BUDOWLANYCH W MODERNIZOWANYCH OBIEKTACH ZABYTKOWYCH

Agnieszka SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ *

* Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
Ul. Akademicka 2a, 44-100 Gliwice e-mail: agnieszka.szymanowska-gwizdz@polsl.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono problematykę dotyczącą zmian warunków cieplno-wilgotnościowych, występujących w ceglanych obiektach zabytkowych, na skutek działań adaptacyjnych w budynkach i przystosowywania ich do różnych funkcji użytkowych. Dokonano analizy rozwiązań istniejących przegród zewnętrznych oraz ich modyfikacji pod kątem zagrożenia możliwością powstania pleśni na powierzchni wewnętrznej przegrody.

Słowa kluczowe: Modernizacje obiektów zabytkowych, pleśnienie przegród budowlanych, czynnik temperaturowy.

WPROWADZENIE

Zgodnie z obowiązującymi wymaganiami, zawartymi w „Warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” [3], obiekty objęte zakresem ochrony konserwatorskiej nie podlegają ustawowym wymaganiom w zakresie oszczędności energii i izolacyjności cieplnej. W związku z powyższym, przy projektowaniu przebudowy lub remontu nie obowiązują graniczne współczynniki przenikania ciepła dla przegród budowlanych czy graniczne wartości zapotrzebowania na energię pierwotną. Jednakże poprawa warunków cieplno-wilgotnościowych w tego typu budynkach, z punktu widzenia jakości przyszłego użytkowania i trwałości obiektu, wydaje się być dość istotna, zwłaszcza, jeżeli projektowana funkcja przewiduje pomieszczenia o różnych warunkach klimatu wewnętrznego, np. ekspozycji obrazów olejnych.

Obniżenie współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych na drodze prac termomodernizacyjnych, w przypadku obiektów objętych ochroną konserwatorską lub posiadających bogaty wystrój architektoniczny elewacji, nie jest możliwe, lub jest mocno utrudnione. Czasami rozważana jest możliwość umiejscowienia materiału izolacyj-

nego po stronie wewnętrznej przegrody, jednak wymaga to przeprowadzenia szczegółowych badań z zakresu fizyki budowli a nierzadko wprowadzenia w modernizowanym obiekcie monitoringu warunków cieplnowilgotnościowych. Jak wykazuje praktyka budowlana izolacja wewnętrzna skutkować może negatywnymi efektami, takimi jak zawilgocenia ścian zewnętrznych, na skutek kondensacji wewnątrz przegrody. Na rynek wprowadzane są materiały o strukturze mającej umożliwić rozproszczenie i odparowanie powstałej wilgoci na powierzchnię (np. płyty krzemianowo-wapienne, tzw. płyty klimatyczne). Zastosowanie ich w każdym przypadku powinno być poparte dokładnymi obliczeniami. Nie można też obecnie jednoznacznie potwierdzić rzeczywistych skutków powodowanych poprzez działania takich rozwiązań na przestrzeni lat. Obecnie prowadzone są badania i analizy przegród, ocieplonych z zastosowaniem płyt klimatycznych [4].

W znacznej części obiektów zabytkowych, ściany zewnętrzne pozostawia się nieocieplone, a prace modernizacyjne wiążą się między innymi z wymianą drewnianych stropów belkowych na stropy gęstożebrowe, monolityczne lub oparte na belkach stalowych. W takich przypadkach można spodziewać się zmian warunków cieplno-wilgotnościowych, w miejscu połączeń stropów ze ścianą ceglana. Dodatkowo, wprowadzenie wieńca, powoduje powstanie mostka termicznego na długości obciążonej stropem przegrody.

W artykule przedstawiono próbę oceny rozwiązań i możliwości modernizacyjnych przegród zewnętrznych, i wewnętrznych z punktu widzenia zagadnień fizyki budowli, na przykładzie wybranych budynków zabytkowych Górnego Śląska.

PRZYJĘTA METODA OBLICZENIOWA

Obliczenia przeprowadzono w oparciu o normę PN-EN ISO 13788 [2]. Proponowana w niej procedura umożliwia sprawdzenie przegrody pod kątem uniknięcia rozwoju pleśni. W tym celu konieczne jest obliczenie czynnika temperaturowego f_{Rsi} , charakteryzującego tzw. jakość cieplną obudowy budynku, obliczanego dla dowolnego miejsca w budynku, zarówno dla przegród z mostkami cieplnymi jak i bez. Oznacza to, że dla danego budynku, o zadanej lokalizacji, można obliczyć krytyczne wartości czynnika temperaturowego f_{Rsi} dla najbardziej niekorzystnych warunków cieplno - wilgotnościowych, w miejscach szczególnie narażonych na wystąpienie ryzyka rozwoju pleśni. Dla projektanta powinna to być wartość, która przy prawidłowo zaprojektowanej przegrodzie musi zostać przekroczona. Metoda zakłada stan ustalony przepływu ciepła i masy, nie uwzględniając szeregu zjawisk fizycznych, które w rzeczywistości mają wpływ na warunki wilgotnościowe. Niedokładność tą w dużej części niweluje zakładany współczynnik bezpieczeństwa, przyjmowany na poziomie 5-10 % w zależności od uznania projektanta. Czynniki temperaturowe obliczane zgodnie z [2] wyrażony jest wzorem

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

gdzie :

$\theta_{si, \min}$ - minimalna dopuszczalna temperatura powierzchni [°C]
 θ_e - średnia miesięczna temperatura powietrza zewnętrznego [°C]
 θ_i - temperatura powietrza wewnętrznego [°C]

W artykule przedstawiono obliczenia, mające na celu:
 - sprawdzenie różnicy temperatur w węzłach konstrukcyjnych w układach pierwotnych oraz objętych zmianami modernizacyjnymi (połączenie stropów drewnianych, stalowych i żelbetowych ze ścianą zewnętrzną, murowaną),
 - sprawdzenie możliwości powstawania pleśni w wyżej wymienionych węzłach konstrukcyjnych ,
 - sprawdzenie wpływu przyjętych klas wilgotności na szacowane prawdopodobieństwo wystąpienia pleśni,
 - sprawdzenie wpływu izolacji wieńców żelbetowych w węzle połączenia stropu żelbetowego lub belek stalowych z nieocieploną ścianą ceglana na prawdopodobieństwo powstawania pleśni,

Do obliczeń przyjęto parametry klimatu wewnętrznego, odpowiadające wymaganiom dla pomieszczeń muzealnych - galerii obrazów olejnych [1], sali konferencyjnej oraz łazienek. Wyjściowe dane klimatyczne pomieszczeń zestawiono w tabeli 1.

Wilgotność wewnętrzną, potrzebną do określenia nadwyżki ciśnienia pary nasyconej, oszacowano zgodnie z normą, dla trzeciej (galeria obrazów i sala konferencyjna) oraz czwartej (łazienki) klasy wilgotności wewnętrznego, przy-

mując zgodnie z zaleceniami normy, górną wartość graniczną, w odniesieniu do każdej z klas.

Tabela 1. Przyjęte parametry mikroklimatu pomieszczeń.

Table 1. Adopted parameters of microclimate areas.

Pomieszczenie	Wilgotność względna powietrza ϕ_i [%]	Temperatura powietrza t_i [°C]
Obrazy olejne	55	16
Sala konferencyjna	55	20
Łazienki	85	24

Parametry klimatu zewnętrznego (średnie miesięczne temperatury i wilgotności powietrza zewnętrznego) przyjęto dla rejonu Górnego Śląska (dane stacji meteorologicznej Katowice).

Do obliczeń wytypowano węzły konstrukcyjne, typowe dla dziewiętnastowiecznych, ceglanych budynków wielorodzinnych oraz budownictwa typu pałacowego, zinventaryzowanych na terenie Górnego Śląska, wraz z ich możliwymi modyfikacjami:

- 1 - oparcie drewnianej belki stropowej o wysokości 26cm w gnieździe o głębokości 24cm,
- 2 - oparcie belki stropu gęstożebrowego o grubości 24cm, w wieńcu o głębokości 26cm i wysokości 27cm, bez ocieplenia wieńca,
- 3 - oparcie belki stropu gęstożebrowego o grubości 24cm, w wieńcu o głębokości 20cm i wysokości 7cm (wieńiec ocieplony styropianem o grubości 6cm),
- 4 - oparcie płyty żelbetowej, grubości 16cm, w wieńcu, o głębokości 26cm i wysokości 27cm (bez ocieplenia wieńca),
- 5 - oparcie płyty żelbetowej grubości 16cm w wieńcu, o głębokości 20cm i wysokości 27cm (wieńiec ocieplony styropianem o grubości 6cm),
- 6 - oparcie belki stalowej o wysokości 26cm, na poduszce cementowej, grubości 12cm i głębokości 26cm, (bez ocieplenia strefy oparcia)
- 7 - oparcie belki stalowej o wysokości 26cm, na poduszce cementowej, grubości 12cm i głębokości 20cm, (z ociepleniem grubości 6cm).

Szerokości ściany ceglanej przyjęto 51 i 37cm, układ warstw stropu pierwotnego jak dla typowego stropu z podsuftką i ślepym pułapem. W przypadku wymiany belek drewnianych na stalowe, przewidziano osłonięcie nowej konstrukcji płytami gipsowo-kartonowymi o podwyższonej odporności na działanie ognia. Warstwy nowych podłóg odpowiadają układom podłóg pływających z posadzka drewniana.

Schematy przyjętych rozwiązań przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Połączenie zewnętrznej ściany ceglanej ze stropem.
Table 2. Combination of the outer brick wall with the ceiling.

Ozn.	Schemat węzła	Ozn.	Schemat węzła
BD		BD - belka drewniana, BŻ - belka żelbetowa, PŻ - płyta żelbetowa, BS - belka stalowa, WO - węzeł ocieplony.	
BŻ		BŻWO	
PŻ		PŻWO	
BS		BSWO	

Na podstawie [2] obliczono czynniki temperaturowe dla wszystkich miesięcy, z uwzględnieniem temperatury wewnętrznej (dla każdej z przyjętych funkcji, wg tabeli), odpowiadającej minimalnemu dopuszczalnemu ciśnieniu pary wodnej nasyconej, a następnie dla parametrów klimatu dla miesięcy krytycznych (z najwyższą wartością f_{Rsi}) obliczono temperatury występujące na wewnętrznej powierzchni wytypowanych w przykładzie węzłów – mostków cieplnych. Temperatury na powierzchni w miejscu mostków otrzymano za pomocą programu komputerowego EUROKOBRA z pakietu PHISIBEL.

Kolejnym krokiem było sprawdzenie prawdopodobieństwa wystąpienia pleśni w miejscu oparcia stropu (dla każdego przypadku) poprzez porównanie czynników temperaturowych f_{Rsi} , obliczonych dla węzłów konstrukcyjnych z minimalnymi, wymaganymi czynnikami temperaturowymi f_{Rsimin} .

WYNIKI OBLICZEŃ

Poniżej zestawiono wymagane minimalne czynniki temperaturowe, dla obliczonych, krytycznych miesięcy oraz przyjętych temperatur powietrza wewnętrznego pomieszczeń (tabela 3).

W tabeli 4 przedstawione obliczone wartości temperatur w przyjętych węzłach konstrukcyjnych.

Tabela 3. Zestawienie minimalnych czynników temperaturowych dla krytycznych miesięcy
Table 3. Summary of minimum temperature factors for the critical months.

Temperatura powietrza wewnętrznego [°C]	Miesiąc krytyczny	Temperatura powietrza zewnętrznego [°C]	f_{Rsimin}
16	maj	13,4	1,44
20	luty	-2,4	0,900
24	grudzień	-2	0,804

Tabela 4. Temperatury w węzłach, w zależności od warunków klimatycznych i grubości ściany zewnętrznej
Table 4. Temperature at the nodes, depending on climatic conditions and the thickness of the outer wall

Węzeł	Grubość ściany [cm]	Temperatury [°C]		
		$t_i = 16$ $t_e = 13,4$	$t_i = 20$ $t_e = -2,4$	$t_i = 24$ $t_e = -2$
BD	51	15.4	16.2	18.4
	37	15.3	14.3	17.3
BŻ	51	15.3	14.1	17.2
	37	15.2	12.7	15.4
BŻWO	51	15.4	15.2	18.4
	37	15.3	14.1	17.2
PŻ	51	15.3	13.7	17.1
	37	15.2	11.9	15.4
PŻWO	51	15.4	15.2	18.5
	37	15.3	14.2	17.3
BS	51	15.5	15.4	18.7
	37	15.3	13.9	16.9
BSWO	51	15.6	16.8	20.3
	37	15,5	16.0	19.4

Oznaczenia węzłów: przyjęto zgodnie z tabelą 2.

Największe zmiany warunków cieplno-wilgotnościowych w stosunku do pierwotnych układów konstrukcyjnych występują w przypadku pomieszczeń sal konferencyjnych. Wartości temperatur na wewnętrznej powierzchni rozpatrywanych węzłów konstrukcyjnych są niższe o 0,1-2,8°C. Wprowadzenie dodatkowej izolacji wieńców powoduje wzrost tej temperatury na poziomie 0,1-1,5°C, co zbliża otrzymane wartości do poziomu temperatur w miejscu oparcia belki drewnianej. W przypadku belki stalowej, z ocieplonym wieńcem, osiągnięta zostaje temperatura wyższa od wartości odpowiadającej krytycznej wilgotności powierzchni.

Zastąpienie belek drewnianych stalowymi wydaje się być rozwiązaniem najbardziej korzystnym.

Tabela 5. Zestawienie czynników temperaturowych
Table 5. Summary of the factors of temperature

Gr. ściany [cm]	Numer węzła	$f_{R_{simin}}=1,44$	$f_{R_{simin}}=0,900$	$f_{R_{simin}}=0,804$
		Warunki klimatyczne		
		$t_e=13$ $t_i=16$	$t_e=-2,4$ $t_i=20$	$t_e=-2$ $t_i=24$
51	BD	0,796	0,830	0,785
37		0,731	0,745	0,742
51	BŻ	0,731	0,740	0,738
37		0,692	0,674	0,669
51	BŻWO	0,769	0,785	0,785
37		0,731	0,737	0,738
51	PŻ	0,731	0,719	0,735
37		0,762	0,638	0,669
51	PŻWO	0,769	0,786	0,788
37		0,731	0,741	0,742
51	BS	0,807	0,795	0,796
37		0,731	0,728	0,727
51	BSWO	0,846	0,857	0,858
37		0,807	0,821	0,823

Dla przyjętych parametrów klimatu wewnętrznego zjawisko powstania pleśni jest prawdopodobne zarówno w układzie pierwotnym, jak i w większości przypadków modyfikowanych. Jedynie dla stropu stalowego i pomieszczeń łazienek otrzymano odpowiednio wysoką wartość temperatury powierzchni wewnętrznej a co za tym idzie odpowiednio wysokiego czynnika temperaturowego. Duży wpływ na otrzymane wyniki ma wysokość nadwyżki wewnętrznego ciśnienia pary nasyconej Δp . Norma zaleca przyjmowanie do obliczeń wartości odpowiadającej górnej granicy dla danej klasy wilgotności, dopuszczając jednocześnie obniżenie jej do dowolnej, uzasadnionej wartości z danego zakresu. Dla analogicznych przypadków węzłów, temperatury 20°C w sali konferencyjnej i nieco niższej wartości Δp minimalny czynnik temperaturowy obniża się do wartości 0,73. Oznacza to w wówczas ograniczenie niebezpieczeństwa pleśnienia tylko do kilku przypadków. Warto zaznaczyć, że w obowiązujących Warunkach Technicznych [3], w pomieszczeniach ogrzewanych do temperatury co najmniej 20°C, przy założeniu średniej wilgotności względnej powietrza wewnętrznego $\varphi_i=50\%$, dopuszcza się przyjmowanie minimalnej wartości czynnika temperaturowego o wartości równej 0,72. Przypadek pomieszczenia muzealnego, ze względu na temperaturę pomieszczenia, oraz łazienki, z powodu wilgotności, narzuca projektantowi konieczność wykonania dokładnych obliczeń. W przypadku sal konferencyjnych, wymagany czynnik temperaturowy, określony dla parametrów lokalnego klimatu, przyjmuje wartość większą, stawiając tym samym ostrzejsze wymagania projektowe.

PODSUMOWANIE

Ochrona cieplna obiektów budowlanych powinna zapewnić niezbędny komfort użytkowania oraz ochronę i trwałość ich konstrukcji oraz formy. W przypadku obiektów zabytkowych zabiegi modernizacyjne wymagają kompromisowej racjonalizacji. Dla prawidłowego zastosowania dostępnych technologii i właściwych metod naprawczych, projektanci mają do dyspozycji metodologię obliczeniową (np. obliczenia prawdopodobieństwa powstania pleśni) wspomagane programami komputerowymi. Obliczenia takie powinny być jednak prowadzone w oparciu o lokalne, zewnętrzne warunki klimatyczne, gdyż ich pominięcie może doprowadzić do przyjęcia błędnych rozwiązań modernizacyjnych. Nie bez znaczenia jest także dokładne sprecyzowanie wymagań dotyczących parametrów klimatu pomieszczeń.

THERMAL AND HUMIDITY STATUS OF WALL BARRIERS IN THE MODERNIZED HISTORICAL BUILDINGS

Summary: The article presents problems concerning changes of the thermal and humidity conditions in brick historic objects, on result of adaptation in buildings and their adjustments for different utilitarian functions. The article also analyses the solutions of existing outer barriers and their modifications in terms of the possibility of mold formation on the inner surface.

Literatura

- [1] Charkowska A. *Optymalne warunki wystawiennicze i magazynowe w muzeach, galeriach, bibliotekach i archiwach*, Chłodnictwo-klimatyzacja, 2007.
- [2] PN-EN ISO 13788 *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, w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie Dz.U.Nr 75 z dnia 15.06.2002r, wraz z późniejszymi zmianami*.
- [4] Ruisinger U., Petzold H., Grunewald J., Haupl., P. *Energetische Bewertung von Gebäuden mit raumseitiger Wärmedämmung aus Calciumsilikat*. Dresden 2004