

Diagnozowanie stanów korozyjnych w złączach budowlanych

Dr hab. inż. prof. nadzw. UTP Andrzej Dylla, mgr inż. arch. Amabela Dylla, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

1. Wprowadzenie

Stany korozyjne łączą się z określonym poziomem wilgotności generowanym w przegrodzie. W budynkach, miejscami szczególnie narażonymi na nadmierne zawilgocenie są różnego rodzaju złącza elementów. Podatność na zawilgocenie jest parametryczną właściwością związaną z budową geometryczno-materiałową złącza. Stan zawilgocenia jest więc fizykalną odpowiedzią indywidualnie zaprojektowanego złącza na zmieniające się w czasie warunki makroklimatu zewnętrznego i mikroklimatu wnętrza. Istnieje bezpośrednia zależność, w określonych warunkach brzegowych, między poziomem zawilgocenia złącza i jego strukturą, kształtowaną w procesie projektowania.

Nadmierne zawilgocenie materiałów wywołuje negatywne skutki fizyczne i chemiczne oraz destrukcję biologiczną przegród i wewnątrz mieszkalnych. Jednym z podstawowych kryteriów dopuszczających do realizacji przegród i złączy jest kryterium wilgotnościowe określone w warunkach technicznych [1].

2. Kryterium wilgotnościowe

Kryterium wilgotnościowe polega na:

- wykluczeniu możliwości kondensacji wilgoci na wewnętrznych powierzchniach przegród i złączy,
- ograniczeniu międzywarstwowej kondensacji wilgoci wewnątrz przegrrody.

Ustalone zostały pewne progi wilgotności maksymalnej, których przekro-

czenie pociąga za sobą pojawienie się zagrożenia korozyjnego lub ryzyka rozwoju pleśni na powierzchni (korozyja biologiczna). Procedury obliczeniowe tych wymagań określa norma EN [2], wprowadzona jako obowiązująca w działalności projektowej od 2009 roku. Projekty budynków oraz detale architektoniczno-konstrukcyjne powinny zostać dostosowane do tych wymagań, które dodatkowo zostały w obowiązujących w Polsce warunkach [1] w nieuzasadniony sposób uproszczone, prowadząc do obniżenia bezpieczeństwa konstrukcji ze względu na korozję [3]. **Wykluczenie kondensacji powierzchniowej** polega na oszacowaniu temperatury punktu rosy i numerycznym sprawdzeniu czy rzeczywista temperatura na powierzchni przegrody nie opada poniżej tego progu. Sprawdzenie jest skuteczne, jeżeli zostanie wykonane dla wszystkich charakterystycznych złączy budynku. Drugi wymóg kryterium wilgotnościowego (**ograniczenie kondensacji międzywarstwowej**) sprawdzany jest dla przegrody w polu jednowymiarowym. Takie sprawdzenie jest niewystarczające, ponieważ nie obejmuje obszaru złączy, w których z reguły występują mostki cieplne obniżające temperatury wnętrza przegrody, co sprzyja dodatkowej kondensacji wilgoci. W złączach koncentrują się siły i naprężenia decydujące o statyce budowli. Korozja złączy wywołana dodatkowym zawilgoceniem może stać się przyczyną zagrożeń konstrukcji.

Propozycja diagnozowania stanów korozyjnych w złączach budowla-

nych, przedstawiona w artykule, polega na równoczesnym badaniu obu wymogów kryterium wilgotnościowego z uwzględnieniem zawilgocenia warstw wewnętrznych złączy. Jej ogólną procedurę opisano w autorskiej książce [3] jako element „szkoły projektowania złączy budowlanych”. Artykuł rozwija i dokumentuje przykładem tę ideę.

3. Powierzchniowa kondensacja wilgoci

Sprawdzenie pierwszego wymogu kryterium wilgotnościowego – wykluczenia kondensacji powierzchniowej, wymaga posiadania danych klimatycznych miejsca lokalizacji budynku, w postaci średnich temperatur miesięcznych i odpowiadających im wilgotności, dla wszystkich miesięcy w roku, ustalonych dla ekstremalnych warunków pogodowych Wilgotnościowego Projektowego Roku Odniesienia (WPRO wg Międzynarodowej Agencji Energii). Wymienione dane pozwalają oszacować rzeczywiste ciśnienie cząstkowe pary wodnej powietrza atmosferycznego p_e . Prezentowana metoda, zastosowana do budynków z wentylacją grawitacyjną, uzależnia wilgotność pomieszczeń od ich klasy wilgotności, powiązanej z funkcją i sposobem eksploatacji, Δp . Różnicowanie warunków środowiskowych jest jej podstawą merytoryczną, pomijaną w polskich warunkach technicznych [1]. W rezultacie obliczeń uzyskuje się wartość ciśnienia cząstkowego wewnątrz budynku:

$$p_i = p_e + 1,10 \cdot \Delta p \quad (1)$$

przy czym wartość Δp przyjęto z marginesem bezpieczeństwa 1,10 z uwagi na dużą zmienność klimatu.

Istotą metody [2] jest przesunięcie kryterium kondensacji do granicy strefy rozdzielającej II i III fazę sorpcji materiału przegrody, co dla większości materiałów kapilarno-porowatych ma miejsce przy wilgotności wnętrza:

$\varphi_i = 80\%$ (0,8) → przy rozważaniu ryzyka rozwoju pleśni,

$\varphi_i = 60\%$ (0,6) → **w przypadku zagrożenia korozją.**

Ważny staje się warunek obliczeniowy:

$$p_{sat}(t_{si}) = p_i / (0,8 + 0,6) \quad (2)$$

gdzie: $p_{sat}(t_{si})$ – dopuszczalna wilgotność w stanie nasycenia na powierzchni wewnętrznej przegrody (złącza), P_a , która stanowi podstawę do wyliczenia odpowiadającej jej temperatury powierzchni t_{si} .

Tak ustalona temperatura, konieczna dla uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej, jest łatwo przeliczana na wartość czynnika temperaturowego $f_{Rsi}(kr)$, który staje się dolnym ograniczeniem indywidualnego parametru przegrody (złącza), zależnym od jego struktury geometryczno-materiałowej. Należy zauważyć, że ustalenie tej wartości w wymiarze maksymalnym następuje ze zbioru wartości miesięcznych. Przyjęta w [1] w sposób arbitralny $f_{Rsi}(kr) = 0,72$, jest wyraźnie zaniżona i nie oddaje merytorycznych przesłanek metody.

Wykluczenie możliwości kondensacji powierzchniowej polega na spełnieniu nierówności:

$$f_{0,25}(min) > f_{Rsi}(kr) \quad (3)$$

gdzie jej lewa strona obliczana jest w wyniku symulacji numerycznej konkretnego złącza i reprezentuje jego „jakość termiczną”, niezależną od zmieniających się warunków brzegowych. Wysokie wartości czynnika temperaturowego $f_{0,25}(min)$ świadczą o małej wrażliwości złącza na lokalne obniżenia temperatury i zabezpieczają konstrukcję przed zawilgoceniem powierzchniowym.

4. Kondensacja międzywarstwowa. Mostki wilgoci w przegrodzie

Ogólne wymagania nakazują unikać nadmiernej koncentracji wilgoci we wnętrzu przegrody, takiej, która może naruszyć jej trwałość techniczną i „biologiczną”. Naturalną cezurą rozdzielającą fizyczne formy ujawniania się wilgoci jest trudna w ocenie ilościowej, granica między występowaniem wilgoci sorpcyjnej i wody w stanie ciekłym. Woda kapilarna zmienia charakter migracji wilgoci, współtworząc zagrożenia korozyjne konstrukcji. Zasady szacowania wilgoci międzywarstwowej opierają się zazwyczaj na metodach bilansowych pomijających specyfikę migracji wody kapilarnej (metody Fokina, Glasera). Można je uznać za wystarczające, jeżeli materiały w przegrodzie (złączu) są utrzymywane w zakresach wilgotności sorpcyjnej przez cały czas eksploatacji. Metody opracowano tylko dla przegród w polu jednowymiarowym.

Geometria złącza w powiązaniu z indywidualnymi właściwościami fizycznymi materiałów może przesądzać o uznaniu konstrukcji całej przegrody za prawidłową, jeżeli można wykazać, że lokalne stany zawilgoceń kondensacyjnych nie występują lub mają tendencję utrzymywania się tylko w krótkich przedziałach czasowych.

Wspomniana wyżej (rozdział 2), autorska procedura badania zawilgocenia złączy [3], opiera się na ogólnych założeniach metody dyfuzyjnej przystosowanej do obszaru 2D. W obszarze złącza zostaje wykreowany wykres rzeczywistego ciśnienia cząstkowego pary wodnej p (zgodnie z prawem Ficka), zmieniającego się z gradientem ciśnień rzeczywistych i proporcjonalnie do paroprzepuszczalności μ warstw materiałowych. Służy do tego program przygotowany przez autorów.

W złączu występuje mostek cieplny, którego parametrem uzyskanym w wyniku standardowej symulacji numerycznej [3] jest mapa izoterm. Temperatury poszczególnych punk-

tów złącza pozwalają na ustalenie właściwych, odpowiadających im, ciśnień cząstkowych stanu nasycenia p_{sat} .

Relacja $p > p_{sat}$ (badana dla poszczególnych punktów obszaru złącza) oznacza wytworzenie wewnętrznych miejsc z zanikającą dyfuzją molekularną i pojawienie się stref wilgoci kapilarnej, oznaczających niebezpieczeństwo korozji.

W pracy [3] zasygnalizowano (rys. 15.12) teoretyczną możliwość pojawienia się takich stref. Jednak dopiero w zamieszczonym poniżej przykładzie udowodniono praktyczną możliwość ich istnienia.

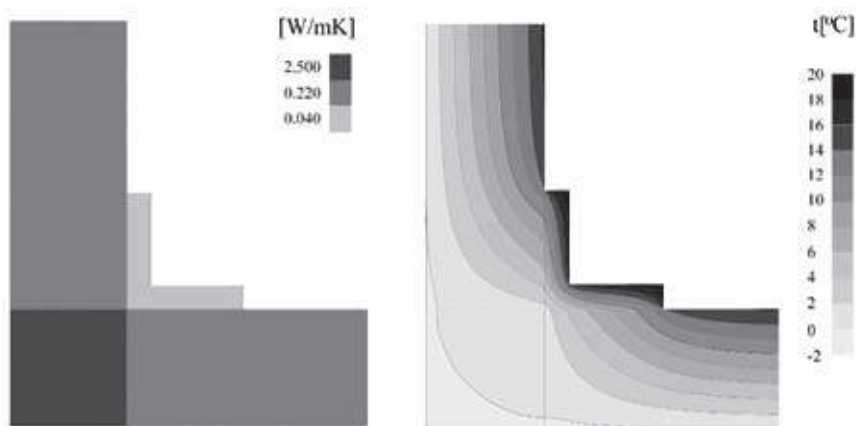
Autorzy zdecydowali się na nazwanie tych miejsc **mostkami wilgoci**.

Mostkiem wilgoci jest miejsce w złączu generujące, dla określonych warunków brzegowych, ograniczony geometrycznie obszar kondensacji wewnętrznej wilgoci. Tworzenie się mostka wilgoci jest bezpośrednio związane z jego strukturą wewnętrzną i zależy od charakteru mostka cieplnego występującego w złączu.

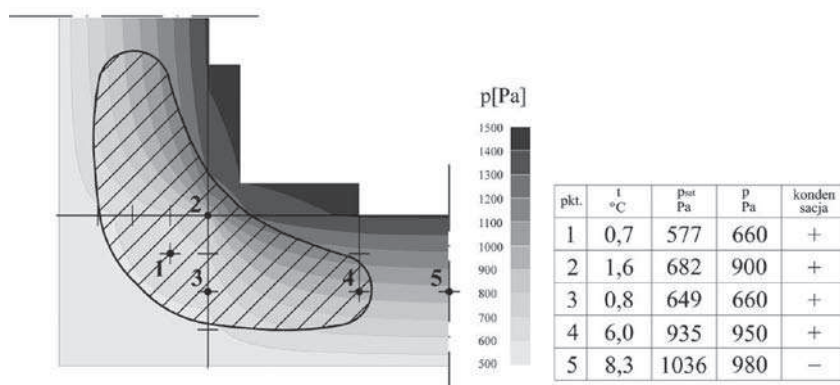
Tak więc w każdym złączu występuje mostek cieplny, który prowadzi do obniżenia miejscowych temperatur wewnętrznych. Nie zawsze jednak obniżenie temperatur jest na tyle duże, aby wywołać kondensację wewnętrzną (międzywarstwową) skutkującą pojawieniem się mostka wilgoci.

5. Przykład diagnozowania wilgoci w złączu

Rozpatrywany jest narożnik budynku złożony z trzech, różniących się parametrami (przewodnością cieplną i oporem dyfuzyjnym), materiałów o określonej geometrii (rys.1). Narożnik ocieplono wewnątrz styropianem grubości 5 cm. Złącze usytuowane jest w mieszkaniu 3 klasy wilgotności (mało zagęszczone) w Warszawie, dla której średnie temperatury i wilgotności zewnętrzne przyjęto z WPRO, dla grudnia $t_e = -0,4^\circ\text{C}$, $\varphi_e = 0,9$. Dla tych dwóch wartości $p_e = 533 \text{ Pa}$ oraz $\Delta p = 1,10 \cdot 810 = 891 \text{ Pa}$. Ciśnienie cząstkowe wynosi $p_i = 1424 \text{ Pa}$ (1).



Rys. 1. Schemat złącza oraz wykres izoterm w złączu



Rys. 2. Badanie kondensacji wewnętrznej

Warunek obliczeniowy (2) daje wartości $p_{sat}(t_{si})$:

- $p_i/0,8 = 1424/0,8 = 1780 = p_{sat}(15,7^{\circ}\text{C})$ – ryzyko rozwoju pleśni, $f_{Rsi}(kr) = 0,79$
 - $p_i/0,6 = 1424/0,6 = 12373 = p_{sat}(20,2^{\circ}\text{C})$ – korozja, $f_{Rsi}(kr) = 1,00$ co oznacza, że usunięcie zagrożeń korozyjnych wymaga utrzymania w narożniku wewnętrznym ścian temperatury zbliżonej do temperatury pomieszczenia.
- Złącze poddano symulacji standardowym programem numerycznym, obliczającym pole temperatur 2D dla przykładowych warunków brzegowych ($t_i = 20^{\circ}\text{C}$, $t_e = -0,4^{\circ}\text{C}$, $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$, $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Rezultatem symulacji jest wykres pola temperatur w złączu (mostek cieplny), pozwalający jednoznacznie przyporządkować temperaturę

określonego punktu obszaru złącza. Obliczony został również czynnik temperaturowy złącza $f_{0,25}(min) = 0,694$ (rys. 1).

Badanie złącza wykazuje, że jego struktura geometryczno-materiałowa generuje powierzchniową wilgoć kondensacyjną, jest bowiem: $f_{0,25}(min) < f_{Rsi}(kr)$.

W części ujawniającej ewentualną wilgoć wewnątrz złącza, w wyniku obliczeń numerycznych uzyskano wykres rzeczywistego ciśnienia cząsteczkowego pary wodnej p w jego obszarze, dla warunków brzegowych p_i , p_e (rys. 2). Dla jego ukształtowania istotną jest geometria warstw występujących w złączu i wartości ich oporów dyfuzyjnych μ . Współczynniki przemian wilgoci na powierzchniach złącza pominięto. Wykres izolinii ciśnienia rzeczywistych p pozwala jednoznacznie przyporządkować ciśnienie określonego punktu obszaru

złącza. W każdym z tych punktów można ustalić ciśnienie cząsteczkowe stanu nasycenia p_{sat} , zależne tylko od jego temperatury (rys. 2).

Na rysunku 2 zaznaczono kilka punktów złącza, dla których zbadano relacje p/p_{sat} . Wszędzie tam, gdzie $p > p_{sat}$ występuje kondensacja międzywarstwowa – mostek wilgoci, którego obszar zakreskowano.

Diagnozowanie złącza daje jednoznaczne wyniki – nie spełnia kryterium wilgotnościowego, generując wilgoć powierzchniową i międzywarstwową, tworząc zagrożenia korozyjne.

6. Wnioski

1. W złączach niewłaściwie zaprojektowanych przegród mogą się pojawiać mostki wilgoci: miejsca wywołujące kondensację międzywarstwową, powodującą zagrożenia korozyjne i biologiczne.

2. Metoda badania kondensacji międzywarstwowej, zaprezentowana w artykule, jest częścią kompleksowego programu sprawdzania jakości fizycznej przegród i złączy, pozwalającą w sposób obliczeniowy zapobiegać błędom projektowym.

3. Rygory uniknięcia groźby korozji, wyrażone współczynnikiem 0,6 we wzorze (2), przyjęte w normie [2], są zdaniem autorów zbyt ostre i niemożliwe do osiągnięcia w praktycznie realizowanych złączach. Wskazany wydaje się ujednoczenie współczynników na poziomie 0,8 przy badaniu korozji i zagrożenia pleśnią.

LITERATURA I WYKORZYSTANE MATERIAŁY

[1] Rozporządzenie ministra infrastruktury z 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

[2] PN-EN ISO 13788:2003 Ciepłota-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania

[3] Dylla A., Praktyczna fizyka ciepła budowli, Wydawnictwa Uczelniane UTP Bydgoszcz, Bydgoszcz 2009