

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Numeryczne projektowanie parametrów cieplno-wilgotnościowych złączy budowlanych

AMABELA DYLLA, ANDRZEJ DYLLA

UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

STRESZCZENIE

W artykule podano algorytm badania numerycznego złączy budowlanych w zakresie ich poprawności fizycznej. W szczególności określono dwa istotne dla oceny cieplno-wilgotnościowej złącza parametry – współczynnik jakości cieplnej oraz liniowy współczynnik przenikania ciepła. Dokonano próby normalizacji tych parametrów dla celów projektowania.

Wymienione procedury objaśnia przykład obliczeniowy.

Numeric design of thermal – humidity parameters in building connectors

ABSTRACT

In article is given an algorithm of numeric analysis of building connectors in range of their physical correctness. Particularly are defined two essential parameters for thermal-humidity estimation of connector – thermal quality factor and linear heat penetration factor. Test of parameters normalization for designing process is made. Calculation example explain mentioned procedures.

1. WPROWADZENIE

Jednym z ważniejszych problemów gospodarczych i politycznych świata jest racjonalizowanie zużycia energii. Ma to znaczący wpływ na różne dziedziny życia także na regulacje prawne w zakresie budownictwa i fizyki budowli. Zaistniały problem wymusza potrzebę doskonalenia metod poprawy izolacyjności przegród budowlanych oraz sposobów prowadzenia obliczeń ciepłno-wilgotnościowych.

W wyniku wstąpienia Polski do Unii Europejskiej pojawiło się wiele nowych norm dotyczących fizyki budowli. Część z nich ma zastosowanie przy ustalaniu warunków technicznych przy projektowaniu budynków, obligując projektantów do prowadzenia odpowiednich obliczeń. Jednak stosowane aktualnie w Polsce metody obliczeniowe nie zawsze w pełni uwzględniają standardy EN., co w konsekwencji może prowadzić do błędów projektowych [1], [2]. Każdy budynek tworzy określoną strukturę przestrzenną o indywidualnym charakterze fizycznym i jest poddany oddziaływaniu zmiennych warunków klimatycznych, związanych z jego lokalizacją. Nowoczesne narzędzia badawcze wykorzystujące techniki komputerowe pozwalają uwzględnić przestrzenną strukturę budynku, zastępując dawniej stosowane schematy jednowymiarowe. W ten sposób w obliczeniach można traktować budynek jako strukturę przestrzenną z indywidualnym systemem połączeń jego elementów – złączy oraz ocenić ich oddziaływanie w procesach migracji ciepła i wilgoci przez przegrody. Systemy złączy obejmują wszelkie połączenia elementów budowlanych występujących w budynku, zarówno w konstrukcjach prefabrykowanych jak i w zwykłych połączeniach murów.

Można powiedzieć, że sposób wykonania złączy (ilustrowany rysunkami szczegółów – detali architektonicznych) decyduje o jakości całej dokumentacji budynku. Straty ciepła są w takich miejscach większe w wyniku intensywniejszego przepływu ciepła i wilgoci. Zakrzywieniu ulegają linie kształtujące pole temperatur – izotermy i adiabaty a stopień powstałych imperfekcji zależy od właściwości termicznych i geometrii użytych w złączach materiałów.

2. ALGORYTM NUMERYCZNEGO PROJEKTOWANIA ZŁĄCZY

Niewłaściwa konstrukcja złącza budowlanego może spowodować negatywne skutki w pracy całej przegrody w aspekcie wytrzymałościowym i fizycznym. Struktura złącza, polegająca często na wypełnieniu jego obszaru materiałami o różnych właściwościach

fizycznych, powinna być przemyślana przez projektanta tak, by nie powodowała negatywnego oddziaływania na strukturę całego budynku, prowadząc w efekcie do skrócenia czasu jego eksploatacji.

Obecnie proces projektowania złączy przebiega w sposób **intuicyjny** i jest oparty głównie na wiedzy i doświadczeniu projektanta. Trudno jednak przewidzieć następstwa ewentualnych błędów projektowych, ponieważ ujawniają się one po pewnym czasie eksploatacji budynku. Zaawansowane współczesne metody obliczeniowe oraz dostępne programy numeryczne pozwalają obliczyć parametry niezbędne dla fizycznej oceny złącza. Taka metoda pozwala dokładnie zbadać dane złącze i w efekcie uniknąć ewentualnych błędów projektowych.

Proponowana przez autorów procedura, zastępująca stosowane dotychczas projektowanie intuicyjne obliczeniowym, została nazwana „**szkołą projektowania złączy budowlanych przy użyciu metod numerycznych i programów komputerowych**” [3]. Zasada **projektowania numerycznego złączy** polega na stopniowym przybliżaniu w drodze prób rozwiązania końcowego pozbawionego błędów fizycznych, co jest każdorazowo związane ze sprawdzeniem numerycznym korygowanego złącza. Efekt końcowy – prawidłowe złącze - może być osiągnięty w wyniku drobnych zmian, czasem jest jednak konieczna zmiana istoty pierwotnego rozwiązania. Algorytm szkoły projektowania złączy budowlanych obejmuje [2]:

- wstępny projekt geometrii złącza z określeniem parametrów ciepłno – wilgotnościowych jego materiałów,
- określenie warunków brzegowych: rodzaju, klimatycznych parametrów fizycznych środowisk przyległych do przegrody,
- symulację przepływów ciepła i wilgoci w złączu sprawdzonym programem komputerowym,
- zbadanie stopnia realizacji wymagań cieplnych i wilgotnościowych zgodnie z obowiązującymi warunkami technicznymi [4] lub wymaganiami ustalonymi przez autorów obliczeń,
- w przypadku niespełnienia wymagań dokonanie korekt w geometrii złącza oraz powtórna symulacja numeryczna.

Weryfikacja fizyczna złączy i przegród polegać może na sprawdzeniu stopnia spełnienia trzech podstawowych wymagań:

1. utrzymania minimalnych temperatur powierzchniowych powyżej progu kondensacji (oznaczającego ryzyko powstawania pleśni),
2. utrzymania kondensacji międzywarstwowej w przegrodzie ze złączem poniżej poziomu uznanego za dopuszczalny,

3. obniżenia dodatkowych strat ciepła w złączu poniżej rozsądnego poziomu, określanego wartością liniowego współczynnika przenikania ciepła.

Pierwsze z tych wymagań dotyczy złączy („słabych miejsc budynku”) a stopień jego realizacji określa wartość współczynnika „jakości cieplnej (również wilgotnościowej) złącza” f_{Rsi} [4]. Dyskusyjny jest poziom dolnego progu (wartości bez miana) tego współczynnika, decydującego o uznaniu złącza za prawidłowe ze względu na możliwość kondensacji na powierzchni wewnętrznej przegrody. Norma europejska wymaga ustalenia tego progu w odniesieniu do rzeczywistej lokalizacji obiektu w terenie, co zostało bez bliższego uzasadnienia zastąpione w [4] wartością zadekretowaną arbitralnie dla terenu Polski $f_{Rsi}(\min) = 0,72$

Drugie wymaganie obliczane jest dla przegrody jako całości w bilansowaniu rocznym najczęściej metodą Glasera [5].

Wymaganie trzecie nie zostało w Polsce znormalizowane, chociaż w niektórych krajach współuczestniczy w ocenie właściwości termicznych przegród [6].

Ocena każdego złącza wymaga ustalenia wartości progowych zarówno współczynnika jakości cieplnej $f_{Rsi}(\min)$ jak i liniowego współczynnika przenikania ciepła $\Psi(\max)$.

Niżej przedstawiono przykład zastosowania opisanej procedury projektowania numerycznego złącza.

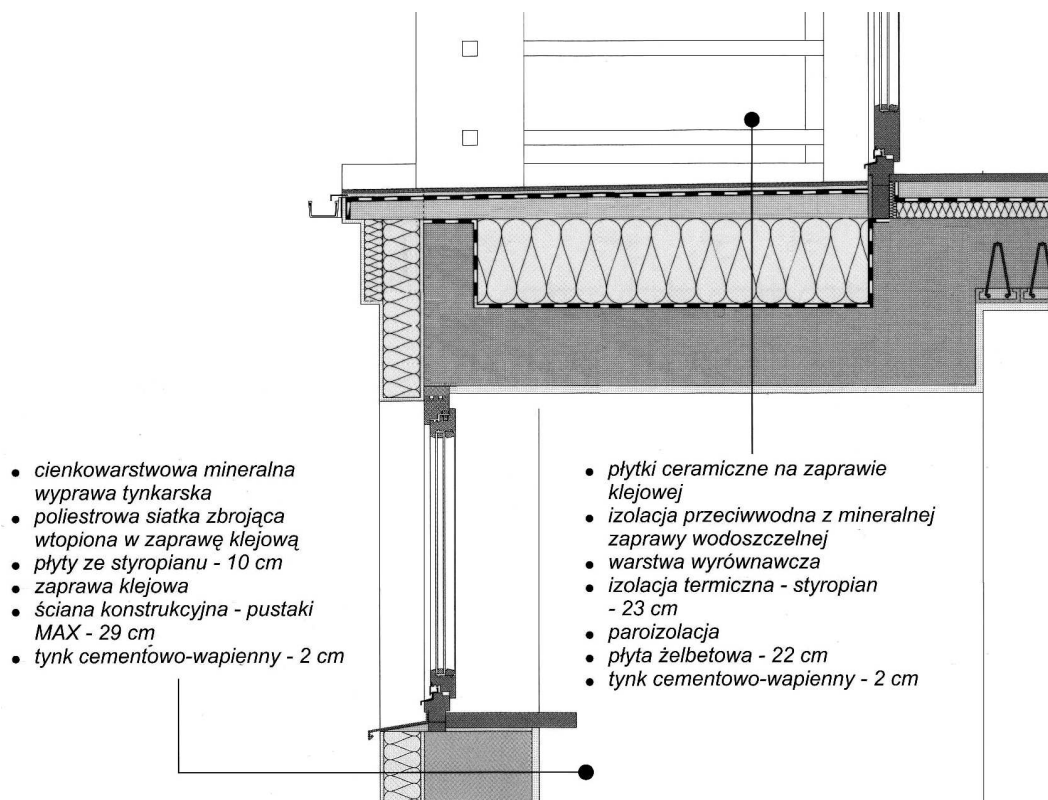
3. OBLICZENIE PARAMETRÓW FIZYCZNYCH PRZYKŁADOWEGO ZŁĄCZA

Przedmiotem rozważań jest szczegół połączenia stropodachu ze ścianą zewnętrzną dwuwarstwową, w której osadzono okno. Ściana jest ocieplona warstwą styropianu grubości 10 cm odgradzającą „wykusz” pokoju położonego na parterze budynku od powietrza atmosferycznego. Nad wykuszem zlokalizowano balkon (taras) oddzielony stropodachem pełnym z posadzką z płytek ceramicznych przyklejonych na warstwie wyrównawczej betonowej. Stropodach jest intensywnie ocieplony styropianem grubości 23 cm. Wzdłuż obwodu stropodachu wykonane zostało żebro żelbetowe przerywające na grubości 15 cm termoizolację. Rysunek detalu zaczerpnięto z popularnego wśród architektów poradnika [7].

Szczegół złącza pokazano na Rysunku 1.

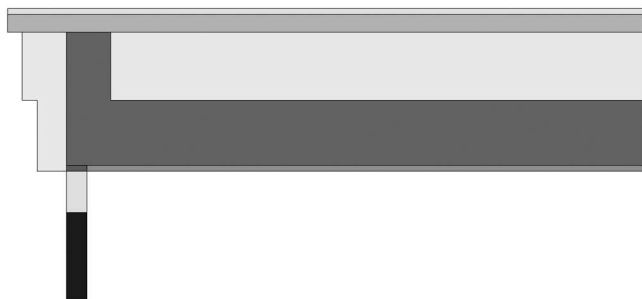
Pobieżna analiza złącza pozwala przypuszczać, że umieszczone w pobliżu narożnika budynku żebro żelbetowe istotnie narusza ciągłość termoizolacji, stając się typowym „słabym miejscem” budynku. Trudno jednak ocenić czy zaproponowana intuicyjnie geometria złącza generuje niedopuszczalne temperatury krytyczne na powierzchni wewnętrznej stropodachu.

Złącze poddano symulacji numerycznej w zgodzie z normą europejską [8]. Opory przejmowania ciepła



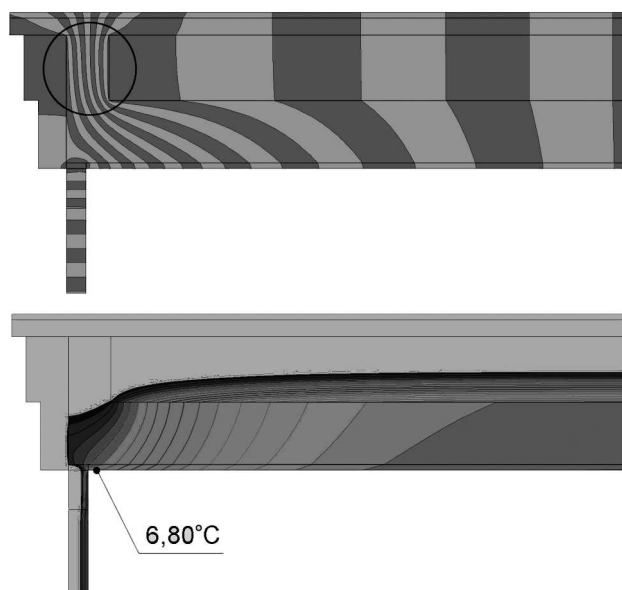
Rysunek 1. Detal przekroju parteru oraz stropodachu wykusza [7]

zróznicowano w zależności od celu obliczeń i kierunku przepływu strumieni ciepła. W celach poglądowych temperatury zróznicowano następująco: temperatura wewnętrzna $t_i = 20^\circ\text{C}$, temperatura zewnętrzna $t_e = -20^\circ\text{C}$. Schemat obliczeniowy złącza przedstawia Rysunek 2.



Rysunek 2. Schemat obliczeniowy złącza

Rezultaty symulacji numerycznej 2D programem Trisco [9] o sprawdzonej wysokiej dokładności zestawiono na Rysunku 3.



Rysunek 3. Strumienie ciepłe i temperatury w złączu obliczone programem [9]

Po prawej stronie rysunku widoczny jest rozkład temperatur w złączu w przedziale $0 \div 20^\circ\text{C}$. Szara część złącza pozostaje w strefie „mrozu” $< 0^\circ\text{C}$. Minimalna temperatura złącza $\vartheta_{\min} = 6,80^\circ\text{C}$, co oznacza $f_{0,25(\min)} = 0,67$.

Po lewej stronie rysunku zaprezentowano linie gęstości strumienia ciepła w złączu. Ich bardzo wyraźne zagęszczenie związane jest z błędem w konstrukcji złącza (niebieskie kółko) – przerwaniem ciągłości termoizolacji stropodachu.

Obliczone parametry badanego złącza zawiera Tabela 1.

4. WNIOSKI

Obliczenia numeryczne wskazały rzeczywisty poziom niespełnienia wymagań cieplno-wilgotnościowych w złączu. Złącze wymaga zasadniczego przeprojektowania. Nowa geometria złącza powinna być sprawdzona w kolejnym etapie obliczeń numerycznych.

Metoda numerycznego sprawdzania parametrów złączy budowlanych pozwala w sposób bezsporny (mierzalny) oceniać ich poprawność fizyczną.

Dokładniejszych wyników dostarcza symulacja przestrzenna 3D, związana ze znacznym nakładem pracy obliczeniowej, konieczna jednak w szczególnych przypadkach newralgicznych złączy występujących w strukturze budynku.

Autorzy przygotowali taką symulację dla badanego złącza, odnosząc ją do przypadku rozważanego w [7]. Narożnik przestrzenny powstał przy docięciu fragmentu ściany zewnętrznej bez okna. Wyniki pokazano na Rysunku 4.

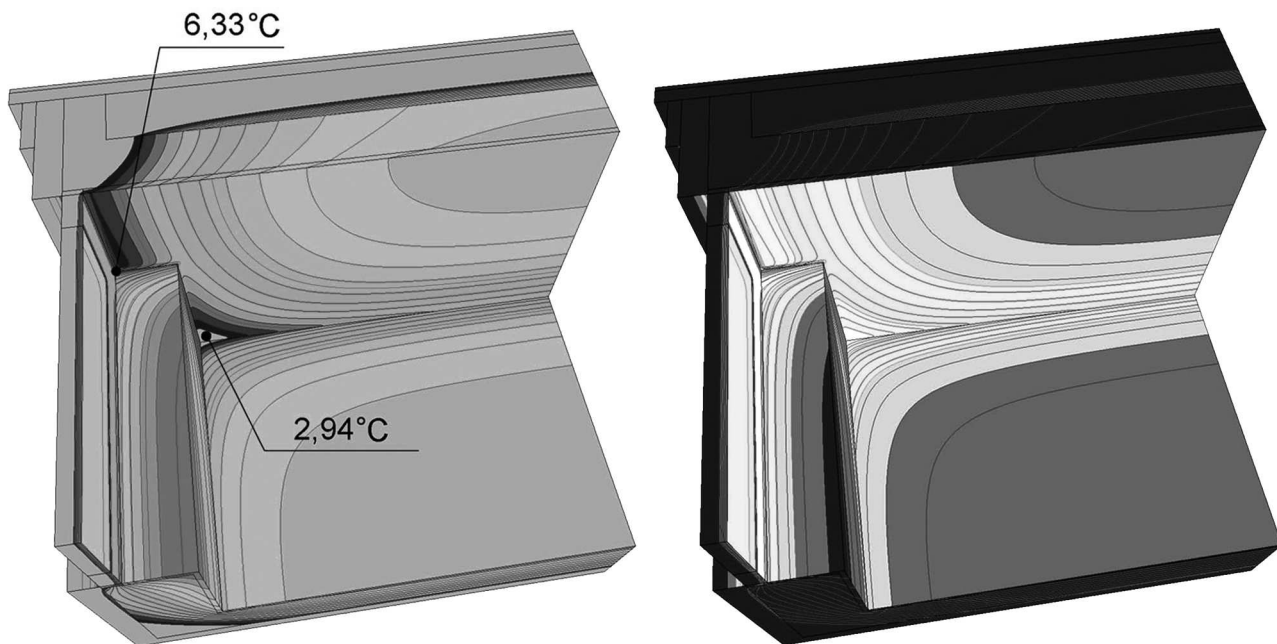
Temperatury na powierzchniach wewnętrznych ulegają dalszemu obniżeniu w porównaniu do przypadku złącza płaskiego. Temperatura krytyczna w narożniku sufitu i ścian zewnętrznych wynosi $\vartheta_{\min} = 2,94^\circ\text{C}$. Współczynnik temperaturowy $f_{0,25(\min)} = 0,57$.

Korekta badanego złącza płaskiego powinna więc uwzględnić pewną rezerwę związaną z kształtowaniem parametru $f_{Rsi(\min)}$.

Tabela 1. Parametry badanego złącza

| Nazwa parametru | Symbol | Wartość | Wymagania [4] / [5] | Spełnienie wymagań |
|---|------------------------------------|---------|---------------------|--------------------|
| – temperatura minimalna | $\vartheta_{\min}, ^\circ\text{C}$ | 6,80 | 11,6 / 8,8 | nie spełnia |
| – współczynnik temperaturowy | $f_{0,25(\min)}$ | 0,67 | 0,79 / 0,72* | nie spełnia |
| liniowy współczynnik przenikania ciepła | Ψ W/(m·K) | 0,632 | zalecana 0,25 | nie spełnia |

*Wartość 0,79 określono wg [5] dla przykładowej lokalizacji budynku w Warszawie z pomieszczeniami z 3 klasą wilgotności (mieszkania mało zagęszczone)



Rysunek 4. Temperatury i strumienie ciepłe w narożniku przestrzennym

LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 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 ich charakterystyki energetycznej.
- [2] Dylla A.: Praktyczna fizyka ciepła budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych. Wydawnictwa Uczelniane Bydgoszcz 2009, s. 418-419, 572-575.
- [3] Dylla A., Dylla Am.: Zagadnienia izolacyjności przeciwwilgociowej i termicznej budynków – naprawy konstrukcji żelbetonowych. Materiały szkoleniowe. Bydgoszcz-Toruń 2007. Wydawnictwo Kujawsko-Pomorskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa w Bydgoszczy, s.40-42.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [5] 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.
- [6] PN-EN ISO 14683:2008 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- [7] Markiewicz P.: Projekt jednego domu w pięciu technologiach. Kraków 2002. Wydawca ARCHI-PLUS, s.142.
- [8] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [9] Program TRISCO v 10.0 w Manual 11. 2002