

Krzysztof PAWŁOWSKI (orcid id: 0000-000 2-6738-5764)

Magdalena NAKIELSKA (orcid id: 0000-000 1-6349-6988)

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

WYBRANE ASPEKTY PROJEKTOWE PRZEGRÓD I ZŁĄCZY BUDOWLANYCH BUDYNKÓW O NISKIM ZUŻYCIU ENERGII

Poruszono wybrane aspekty projektowe przegród i złączy budowlanych budynków o niskim zużyciu energii. Określono wymagania prawne w zakresie oszczędności energii i ochrony cieplnej oraz uniknięcia kondensacji powierzchniowej i międzywarstwowej. W celu wytypowania przegród zewnętrznych i złączy spełniających wymagania dla budynków o niskim zużyciu energii wykonano obliczenia parametrów fizykalnych przy zastosowaniu profesjonalnych programów komputerowych. Zastosowanie nowoczesnych materiałów termoizolacyjnych oraz poprawne kształtowanie układów w materiałach przegród zewnętrznych i ich złączy gwarantuje minimalizację strat ciepła przez przenikanie oraz osiągnięcie standardu niskoenergetycznego budynków.

Słowa kluczowe: budynek o niskim zużyciu energii, nowoczesne materiały termoizolacyjne, parametry fizykalne

WPROWADZENIE

Krajowy plan wsparcia [1] zawiera rekomendowaną do stosowania w praktyce krajową definicję: „budynek o niskim zużyciu energii” to budynek, który spełnia wymagania związane z oszczędnością energii i izolacyjnością zawarte w przepisach techniczno-użytkowych, o których mowa w art. 7 ust. 1 pkt 1 ustawy - Prawo budowlane [2], tj. w szczególności dział X oraz załącznik 2 do rozporządzenia [3], obowiązujące od 1 stycznia 2021 roku (w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością - od 1 stycznia 2019 r.).

Aby ilość energii cieplnej potrzebnej do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem można było utrzymać na racjonalnie niskim poziomie, przewidziano dwie metody pozwalające spełnić wymaganie w nowo projektowanych budynkach:

- pierwsza polega na zaprojektowaniu budynku pod kątem zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza w budynku, lokalu mieszkalnym lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową - EP [kWh/(m²·rok)],

- druga to zaprojektowanie przegród w budynku, aby wartości współczynników przenikania ciepła U [$W/(m^2 \cdot K)$] przegród zewnętrznych, okien, drzwi oraz technika instalacyjna odpowiadały wymaganiom izolacyjności cieplnej.

1. ANALIZA CZYNNIKÓW KSZTAŁTUJĄCYCH STANDARD BUDYNKÓW O NISKIM ZUŻYCIU ENERGII

Projektowanie i wykonywanie „budynków o niskim zużyciu energii” powinno opierać się na jasnych, precyzyjnych zasadach wynikających z projektowania architektonicznego i urbanistycznego, podstawowych zasad szeroko rozumianej fizyki budowli z zastosowaniem nowoczesnych i specjalistycznych narzędzi numerycznych.

Wartość maksymalna wskaźnika EP zależy od rodzaju budynku, np. w przypadku jednorodzinnego budynku mieszkalnego od 1 stycznia 2021 roku będzie wynosić $70 \text{ kWh}/(m^2 \cdot \text{rok})$, co gwarantuje zakwalifikowanie jego do grupy „budynków o niskim zużyciu energii” wg [1]. Osiągnięcie minimalnej wartości wskaźnika EP_{H+W} [$\text{kWh}/(m^2 \cdot \text{rok})$] jest możliwe po uwzględnieniu następujących czynników:

- architektura budynku: usytuowanie budynku względem stron świata, zwarta bryła budynku (minimalny współczynnik kształtu A/V), wielkość i usytuowanie przegród przezroczystych, rozmieszczenie pomieszczeń w budynku w zależności od obliczeniowych temperatur powietrza wewnętrznego, geometria dachu, roślinność na działce budowlanej,
- rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe przegród zewnętrznych i ich złączy (obudowa budynku): stosowanie materiałów wysokiej jakości, stosowanie nowoczesnych materiałów termoizolacyjnych (płyty z pianek poliuretanowych PIR, PUR, aerozele, izolacje próżniowe, izolacje transparentne), szkoła projektowania złączy budowlanych w aspekcie cieplno-wilgotnościowym przy zastosowaniu programów numerycznych, dobór materiałów do przegród nieprzezroczystych o minimalnej wartości współczynnika przenikania ciepła U [$W/(m^2 \cdot K)$], dobór przegród przezroczystych o maksymalnej wartości współczynnika przenikania ciepła $U \leq 0,90 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$ oraz w zakresie ograniczenia przegrzewania pomieszczeń w okresie letnim,
- rodzaj i sprawność systemu wentylacji: wentylacja hybrydowa lub mechaniczna z odzyskiem ciepła, wentylacja mechaniczna z gruntowym wymiennikiem ciepła, wspomaganie istniejących systemów wentylacji naturalnej - stosowanie kominów słonecznych, wysoka sprawność systemów powyżej 70%,
- rodzaj i sprawność systemów instalacji c.o. i c.w.u., zastosowanie odnawialnych źródeł energii: wysoka sprawność systemów powyżej 70%, wspomaganie systemów c.o. i c.w.u. odnawialnymi źródłami energii (energia słoneczna, energia wiatrowa, energia geotermalna),
- integralne zarządzanie budynkiem w zakresie produkcji energii.

Zasadniczą zmianą rozporządzenia w zakresie ochrony cieplnej przegród budynku [3] jest zmiana wartości maksymalnych współczynników przenikania ciepła $U_{c(\max)}$. Zaostreniu uległy wymagania cząstkowe w zakresie izolacyjności

ciepłej ścian zewnętrznych, dachów, podłóg oraz okien i drzwi. Ponadto nie ma już znaczenia typ przegrody (wielo- czy jednowarstwowa) oraz przeznaczenie obiektu (mieszkalny, użyteczności publicznej, magazynowy, gospodarczy itp.). Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła ścian, podłóg na gruncie, stropów, dachów i stropodachów przyjęto zgodnie z zał. 2 do rozporządzenia [3].

Od kilkunastu lat przepisy prawne związane z procesami projektowania, wznoszenia i eksploatacji „budynków o niskim zużyciu energii” wymuszają takie rozwiązania technologiczne i organizacyjne, w wyniku których nowo wznoszone budynki zużywają w trakcie eksploatacji coraz mniej energii na ogrzewanie, wentylację i przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Zmiany maksymalnej wartości współczynnika przenikania ciepła U_{\max} (dawniej k_{\max}) wpływają na wielkość zużycia energii w trakcie eksploatacji budynków. Niestety, przepisy prawne w tym zakresie nie regulują wymagań w zakresie ograniczenia strat ciepła przez złącza budowlane - mostki cieplne, ponieważ nie określono wartości maksymalnej np. w zakresie maksymalnej wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_{\max} [W/(m·K)]. W pracy przedstawiono przykłady obliczeniowe w zakresie kształtowania układów materiałowych przegród zewnętrznych i złączy budowlanych, spełniających wymagania w zakresie osiągnięcia standardu „budynku o niskim zużyciu energii”.

2. KSZTAŁTOWANIE UKŁADÓW MATERIAŁOWYCH PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH I ZŁĄCZY BUDYNKÓW O NISKIM ZUŻYCIU ENERGII

Zastosowanie odpowiedniego materiału termoizolacyjnego pozwala na osiągnięcie niskich wartości współczynnika przenikania ciepła U [W/(m²·K)] pełnej przegrody i liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)] oraz minimalizację ryzyka występowania kondensacji powierzchniowej i międzywarstwowej. Przed wyborem odpowiedniego materiału do izolacji cieplnej, w aspekcie modernizacji budynków istniejących, należy zwrócić uwagę na następujące właściwości: współczynnik przewodzenia ciepła (λ [W/(m·K)]), gęstość objętościowa, izolacyjność akustyczna, przepuszczalność pary wodnej, współczynnik oporu dyfuzyjnego μ [-], wrażliwość na czynniki biologiczne i chemiczne oraz ochronę przeciwpożarową. W tabeli 1 zestawiono przykładowe rozwiązania materiałów termoizolacyjnych przypisane do przegród zewnętrznych.

W ramach obliczeń własnych, w pierwszym etapie, określono wartości współczynnika przenikania U_C [W/(m²·K)] ścian trójwarstwowych jednorodnych cieplnie i niejednorodnych cieplnie (słupy żelbetowe w warstwie konstrukcyjnej ściany) przy zastosowaniu zróżnicowanych materiałów termoizolacyjnych - tabele 2 i 3.

Jednak należy podkreślić, że budynek stanowi strukturę przegród budowlanych i ich złączy o indywidualnym charakterze fizycznym i poddany jest oddziaływaniu środowiska zewnętrznego i wewnętrznego. W wielu przypadkach analiza przegród i złączy budowlanych w aspekcie konstrukcyjno-materiałowym i technologii wykonania nie budzi zwykle zastrzeżeń na etapie projektowania. Natomiast znajo-

mość parametrów fizykalnych związanych z wymianą ciepła i wilgoci pozwala na uniknięcie wielu wad projektowych i wykonawczych.

Tabela 1. Zestawienie materiałów termoizolacyjnych w zależności od rodzaju przegrody zewnętrznej

<p>Ocieplenie ścian zewnętrznych (od zewnątrz):</p> <ul style="list-style-type: none"> • styropian (EPS), • styropian szary (grafitowy), • płyty z piany fenolowej, • wełna mineralna, • inne innowacyjne materiały: maty aerożelowe, parogel, płytowe elementy próżniowe (VIP)
<p>Ocieplenie stropodachów dwudzielnych i stropów nad poddaszami nieużytkowanymi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • wełna celulozowa, • wełna mineralna
<p>Ocieplenie dachów drewnianych:</p> <ul style="list-style-type: none"> • płyty drzewne, • płyty z wełny owczej, • płyty z wełny mineralnej, • pianka poliuretanowa (PUR/PIR), • płyty korkowe
<p>Ocieplenie przegród stykających się z gruntem (izolacja obwodowa), cokołów i podłóg:</p> <ul style="list-style-type: none"> • polistyren ekstrudowany (XPS), • szkło piankowe
<p>Docieplenie od wewnątrz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • bloczki z betonu komórkowego (Multipor), • płyty klimatyczne, • tynki ciepłochronne (renowacyjne)
<p>Ocieplenie z zastosowaniem materiałów termoizolacyjnych „nowej generacji”:</p> <ul style="list-style-type: none"> • aerożel, • porogel, • izolacje refleksyjne, • izolacje próżniowe VIP, • izolacje transparentne, • pianosilikaty

W celu określenia rozkładu temperatur oraz dodatkowych strat ciepła wynikających z występowania niejednorodnej struktury materiałowej wykonano szczegółowe obliczenia przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO wybranych parametrów fizykalnych:

- strumienia cieplnego Φ [W],
- współczynnika przenikania ciepła pełnej przegrody U (U_{1D}) [W/(m²·K)],

- liniowego współczynnika przenikania ciepła (określający dodatkowe straty ciepła wynikające z występowania niejednorodnej cieplnie struktury materiałowej lub liniowych mostków cieplnych) Ψ [$W/(m \cdot K)$],
- temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego t_{\min} [$^{\circ}C$],
- czynnika temperaturowego, określanego na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego $f_{Rsi(2D)}$ [-].

Tabela 2. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_c [$W/(m^2 \cdot K)$] trójwarstwowych ścian zewnętrznych jednorodnych cieplnie wg PN-EN ISO 6946:2008 [4]

	Warstwy materiałowe	d [m]	λ [$W/(m \cdot K)$]	x [m]	U_c [$W/(m^2 \cdot K)$]		
					A	B	C
I	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,26	0,22	0,17
	Błoczek z bet. komórkowego	0,24	0,21	0,12	0,23	0,20	0,15
	Izolacja cieplna	x	*)				
	Błoczek wapienno-piaskowy	0,12	0,80	0,15	0,20	0,17	0,13
II	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,32	0,26	0,19
	Błoczek wapienno-piaskowy	0,24	0,56	0,12	0,28	0,23	0,16
	Izolacja cieplna	x	*)				
	Błoczek wapienno-piaskowy	0,12	0,80	0,15	0,23	0,19	0,14

*) Warianty izolacji cieplnej: A - płyty styropianowe $\lambda = 0,040$ $W/(m \cdot K)$, B - płyty ze styropianu grafitowego $\lambda = 0,031$ $W/(m \cdot K)$, C - płyty rezolowe $\lambda = 0,021$ $W/(m \cdot K)$, do obliczeń U_c przyjęto $\Delta U = 0,01$
W tabeli zaznaczono wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20$ $W/(m^2 \cdot K)$

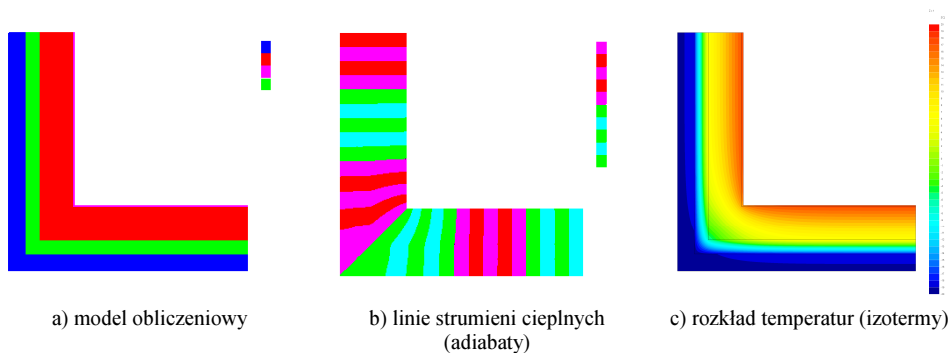
Tabela 3. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_c [$W/(m^2 \cdot K)$] trójwarstwowych ścian zewnętrznych niejednorodnych cieplnie metodą kresów wg PN-EN ISO 6946:2008 [4]

	Warstwy materiałowe	d [m]	λ [$W/(m \cdot K)$]	x [m]	U_c [$W/(m^2 \cdot K)$]		
					A	B	C
I	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,29	0,25	0,18
	Bl. z bet. komórkowego/ żelbet	0,24	0,21 / 2,00	0,12	0,26	0,21	0,16
	Izolacja cieplna	x	*)				
	Błoczek wapienno-piaskowy	0,12	0,80	0,15	0,22	0,18	0,13
II	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,33	0,27	0,19
	Bl. wapienno-piaskowe/ żelbet	0,24	0,56 / 2,00	0,12	0,28	0,23	0,17
	Izolacja cieplna	x	*)				
	Błoczek wapienno-piaskowy	0,12	0,80	0,15	0,24	0,19	0,14

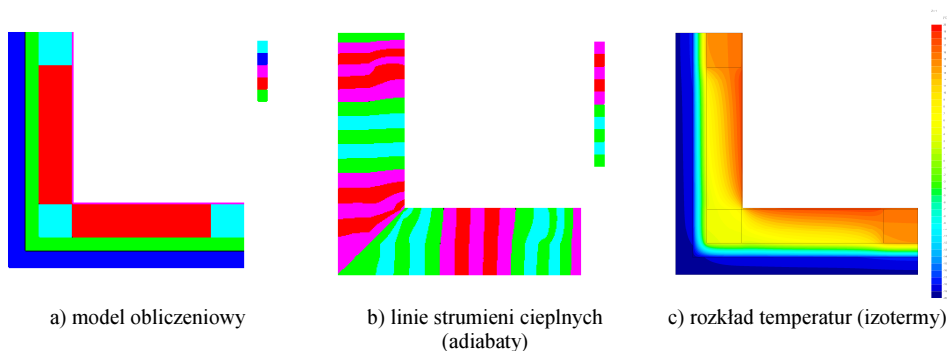
*) Warianty izolacji cieplnej: A - płyty styropianowe $\lambda = 0,040$ $W/(m \cdot K)$, B - płyty ze styropianu grafitowego $\lambda = 0,031$ $W/(m \cdot K)$, C - płyty rezolowe $\lambda = 0,021$ $W/(m \cdot K)$, przyjęto $\Delta U = 0,01$
W tabeli zaznaczono wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20$ $W/(m^2 \cdot K)$

Do obliczeń przy zastosowaniu programu komputerowego TRSCO przyjmuje się następujące założenia:

- modelowanie złączy wykonano zgodnie z zasadami przedstawionymi w PN-EN ISO 10211:2008 [5] oraz w pracach [6] i [7],
- opory przejmowania ciepła (R_{si} , R_{se}) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [4] przy obliczeniach strumieni ciepłych oraz wg PN-EN ISO 13788:2003 [8] przy obliczeniach rozkładu temperatur i czynnika temperaturowego $f_{Rsi(2D)}$,
- temperatura powietrza wewnętrznego $t_i = 20^\circ\text{C}$ (pokój dzienny), temperatura powietrza zewnętrznego $t_e = -20^\circ\text{C}$ (III strefa),
- wartości współczynnika przewodzenia ciepła materiałów budowlanych λ [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] przyjęto na podstawie tabel w pracy [7],
- wytypowane przypadki obliczeniowe: narożnik trójwarstwowej ściany zewnętrznej (jednorodnie i niejednorodnie cieplnie). Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono graficzne wyniki symulacji komputerowej dla ściany trójwarstwowej jednorodnej i niejednorodnej cieplnie przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO, a wyniki obliczeń parametrów fizykalnych zestawiono w tabelach 4 i 5.



Rys. 1. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla zewnętrznej ściany trójwarstwowej jednorodnej cieplnie [opracowanie własne]



Rys. 2. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla zewnętrznej ściany trójwarstwowej niejednorodnej cieplnie [opracowanie własne]

Tabela 4. Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych narożnika zewnętrznej ściany trójwarstwowej jednorodnej cieplnie przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO [opracowanie własne]

Warianty obliczeniowe		Parametry fizykalne narożnika zewnętrznej ściany trójwarstwowej jednorodnej cieplnie					
		U [W/(m ² ·K)]	Φ [W]	L ^{2D} [W/(m·K)]	Ψ [W/(m·K)]	t _{min} [°C]	f _{Rsi(2D)} [-]
I A	x = 0,10	0,25	27,94	0,70	0,08	14,20	0,86
	x = 0,12	0,22	25,93	0,65	0,08	14,69	0,87
	x = 0,15	0,19	21,68	0,54	0,07	15,27	0,88
I B	x = 0,10	0,21	23,86	0,60	0,08	14,91	0,87
	x = 0,12	0,19	21,16	0,53	0,07	15,39	0,88
	x = 0,15	0,16	18,12	0,45	0,06	15,95	0,90
I C	x = 0,10	0,16	18,25	0,46	0,06	15,96	0,90
	x = 0,12	0,14	15,97	0,40	0,06	16,39	0,91
	x = 0,15	0,12	13,47	0,34	0,05	16,88	0,92
II A	x = 0,10	0,30	35,05	0,88	0,12	13,79	0,84
	x = 0,12	0,26	30,65	0,77	0,11	14,46	0,86
	x = 0,15	0,22	25,84	0,65	0,10	15,22	0,88
II B	x = 0,10	0,25	28,92	0,72	0,11	14,76	0,87
	x = 0,12	0,21	25,10	0,63	0,10	15,37	0,88
	x = 0,15	0,18	20,98	0,52	0,09	16,05	0,90
II C	x = 0,10	0,18	21,12	0,53	0,08	16,07	0,90
	x = 0,12	0,15	18,15	0,45	0,07	16,57	0,91
	x = 0,15	0,13	15,01	0,38	0,06	17,11	0,93

U - współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej, Φ - strumień ciepły przepływający przez fragment ściany dwuwarstwowej niejednorodnej cieplnie, L^{2D} - liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego (L^{2D} = Φ/Δt·l), Ψ - liniowy współczynnik przenikania ciepła (Ψ = L^{2D} - ΣU_i·l_i), t_{min} - temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni ściany zewnętrznej, f_{Rsi(2D)} - czynnik temperaturowy określony na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody (f_{Rsi} = (t_{min} - t_e)/(t_i - t_e)), x - grubość materiału termoizolacyjnego [m]
W tabeli zaznaczono wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymagania: U_c ≤ U_{c(max)} = 0,20 W/(m²·K)

Tabela 5. Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych narożnika zewnętrznej ściany trójwarstwowej niejednorodnej cieplnie przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO [opracowanie własne]

Warianty obliczeniowe		Parametry fizykalne narożnika zewnętrznej ściany trójwarstwowej niejednorodnej cieplnie					
		U ₁ /U ₂ [W/(m ² ·K)]	Φ [W]	L ^{2D} [W/(m·K)]	Ψ [W/(m·K)]	t _{min} [°C]	f _{Rsi(2D)} [-]
I A	x = 0,10	0,25/0,34	31,76	0,79	0,14	10,93	0,79
	x = 0,12	0,22/0,29	28,09	0,70	0,12	11,79	0,79
	x = 0,15	0,19/0,29	23,99	0,60	0,11	12,79	0,82

I B	x = 0,10	0,21/0,27	26,61	0,67	0,12	12,21	0,80
	x = 0,12	0,19/0,23	23,33	0,58	0,10	13,02	0,82
	x = 0,15	0,16/0,19	19,73	0,49	0,09	13,94	0,85
I C	x = 0,10	0,16/0,19	19,84	0,50	0,09	14,00	0,85
	x = 0,12	0,14/0,16	17,19	0,43	0,08	14,70	0,87
	x = 0,15	0,12/0,13	14,35	0,36	0,07	15,47	0,89
II A	x = 0,10	0,30/0,34	36,51	0,91	0,15	12,75	0,82
	x = 0,12	0,26/0,29	31,79	0,79	0,13	13,57	0,84
	x = 0,15	0,22/0,24	26,66	0,67	0,11	14,48	0,86
II B	x = 0,10	0,25/0,27	29,92	0,75	0,12	13,94	0,85
	x = 0,12	0,21/0,23	25,86	0,65	0,11	14,67	0,87
	x = 0,15	0,18/0,19	21,53	0,54	0,09	15,47	0,89
II C	x = 0,10	0,18/0,19	21,66	0,54	0,09	15,50	0,89
	x = 0,12	0,15/0,16	18,55	0,46	0,08	16,09	0,90
	x = 0,15	0,13/0,13	15,29	0,38	0,07	16,71	0,92

U_1 - współczynnik przenikania ciepła w przekroju przez materiał ścienny (bl. z betonu komórkowego lub bl. wapienno-piaskowy), U_2 - współczynnik przenikania ciepła w przekroju przez słup żelbetowy, Φ - strumień ciepły przepływający przez fragment ściany dwuwarstwowej niejednorodnej cieplnie, L^{2D} - liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego ($L^{2D} = \Phi/\Delta t \cdot l$), Ψ - liniowy współczynnik przenikania ciepła ($\Psi = L^{2D} - \sum U_i \cdot l_i$), t_{min} - temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni ściany zewnętrznej (w miejscu występowania słupa żelbetowego) $f_{Rsi(2D)}$ - czynnik temperaturowy określony na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody ($f_{Rsi} = (t_{min} - t_c)/(t_i - t_c)$), x - grubość materiału termoizolacyjnego [m]
 W tabeli zaznaczono wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymagania: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

PODSUMOWANIE

Efektywne kształtowanie układu materiałowego przegrody zewnętrznej i złączy budowlanych wymaga znajomości ich parametrów fizykalnych przy uwzględnieniu parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego. Ocena przegrody w aspekcie cieplno-wilgotnościowym nie powinna się tylko koncentrować w zakresie kryterium cieplnego wg rozporządzenia [3]: $U_c \leq U_{c(max)}$.

Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] w analizowanych wariantach obliczeniowych zależy od zastosowanego materiału murowego (warstwy konstrukcyjnej - wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]), od rozstawu słupów żelbetowych oraz rodzaju i grubości materiału termoizolacyjnego - tabele 2-5. Niestety, w rozporządzeniu [3] nie sformułowano wartości granicznych Ψ_{max} , co pozwoliłoby na wyeliminowanie błędnie (niepoprawnie) zaprojektowanych przegród i złączy budowlanych.

Wprowadzenie elementów (słupów) żelbetowych w warstwie konstrukcyjnej ściany powoduje dodatkowe straty ciepła, opisane wartością liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody (w miejscu osłabienia izolacyjności cieplnej przegrody) t_{min} [$^{\circ}\text{C}$].

W przegrodach i złączach niejednorodnych cieplnie następuje znaczne obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody t_{\min} [°C] oraz czynnika temperaturowego f_{Rsi} [-]. Spełnienie kryterium w zakresie uniknięcia występowania ryzyka kondensacji powierzchniowej (rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych): $f_{Rsi,(2D)} \geq f_{Rsi,(kryt.)}$, wymaga określenia wartości $f_{Rsi,(2D)}$ na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego (2D i 3D) t_{\min} [°C] oraz wartości $f_{Rsi,(kryt.)}$ uwzględniającej parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego (wilgotność i temperatura powietrza). Według normy PN-EN ISO 13788:2003 [8], czynnik temperaturowy $f_{Rsi,(kryt.)}$ oblicza się lub przyjmuje w zależności od zastosowanego w budynku rodzaju wentylacji (wentylacja grawitacyjna - dominująca w budownictwie mieszkaniowym lub wentylacja mechaniczna, będąca często składnikiem systemów klimatyzacyjnych, pozwalających w prawie dowolny sposób kształtować właściwości mikroklimatu wewnątrz). Wartość maksymalna z 12 miesięcy w odniesieniu do lokalizacji (Bydgoszcz) i 3 klasy wilgotności pomieszczeń w budynku wynosi $f_{Rsi,(max)} = f_{Rsi,(kryt.)} = 0,78$ (luty). Oznacza to, że w każdym miesiącu roku i dla każdego innych wartości temperatur brzegowych dla uniknięcia kondensacji powierzchniowej $f_{Rsi,(2D)}$ powinien być większy od 0,78. W analizowanych przypadkach (tab. 4 i 5) warunek: $f_{Rsi,(2D)} \geq f_{Rsi,(kryt.)}$ został spełniony, w związku z tym ryzyko występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody nie występuje.

Należy podkreślić, że przedstawione przykłady obliczeniowe nie wyczerpują wszystkich przypadków ścian zewnętrznych trójwarstwowych i złączy jednorodnych i niejednorodnych cieplnie. Jednak często pomija się wpływ słupów żelbetowych na parametry fizyczne analizowanych przegród i ich złączy. Po analizie cieplno-wilgotnościowej narożników ścian zewnętrznych jednorodnych i niejednorodnych cieplnie (tab. 4 i 5) można stwierdzić, że wyniki parametrów fizycznych są znacznie zróżnicowane.

Dążenie od osiągnięcia standardu „budynku o niskim zużyciu energii” wg [1-3] powinno się opierać na jasnych, precyzyjnych zasadach kształtowania układów materiałowych przegród zewnętrznych i złączy budowlanych z uwzględnieniem zasad szeroko rozumianej fizyki budowy z zastosowaniem narzędzi numerycznych uwzględniających specyficzne parametry powietrza zewnętrznego i wewnętrznego analizowanego budynku.

LITERATURA

- [1] Uchwała Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”.
- [2] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane, DzU z 2013 r., poz. 1409 z późn. zm.
- [3] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania (DzU z 2013 r., poz. 926). /Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2015, poz. 1422.

- [4] PN-EN ISO 6946:2008, Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [5] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [6] Dylla A., Fizyka cieplna budowli w praktyce. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.
- [7] Pawłowski K., Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych, dotyczących budynków. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy, GW Medium, Warszawa 2016.
- [8] PN-EN ISO 13788:2003 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania.

SELECTED DESIGN ASPECTS OF SECTIONS AND JOINTS IN LOW ENERGY BUILDINGS

In this article there were mentioned selected design aspects of sections and joints in low energy buildings. There were set legal requirements in energy saving and thermal insulation as well as for avoidance of surface and interlayer condensation. In order to select internal sections and joints which fulfil the requirements for low energy building, calculations of physical parameters were performed with professional computer programs. The usage of modern insulating materials and correct set of material systems in external partitions and their joints guarantees minimal heat loss through permeating and ensures reaching the low energy building standard.

Keywords: low energy building, modern thermal insulating materials, physical parameters