

dr inż. Krzysztof Pawłowski¹⁾

Projektowanie cieplno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy

Hygrothermal design of external walls and their joints

DOI: 10.15199/33.2018.06.14

Streszczenie. Zaprojektowanie przegród zewnętrznych spełniających kryterium cieplno-wilgotnościowe wymaga zastosowania innowacyjnych materiałów termoizolacyjnych. W artykule przedstawiono analizę przepisów prawnych, charakterystykę wybranych materiałów do izolacji cieplnej oraz wyniki obliczeń parametrów fizycznych wybranych ścian zewnętrznych i złączy budowlanych o zróżnicowanych układach materiałowych, z zastosowaniem programu komputerowego TRISCO. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz dokonano oceny jakości cieplno-wilgotnościowej w świetle wymagań cieplnych.

Słowa kluczowe: projektowanie cieplno-wilgotnościowe; ściany zewnętrzne; wymagania prawne.

Abstract. To design of external walls meeting the hygrothermal criterion requires the use of innovative thermal insulation materials. The paper presents legislation analysis, characteristics of selected materials for thermal insulation and results of calculations of physical parameters selected external walls and joints with different material systems using the TRISCO software. On the basis of calculations and analysis assesses the hygrothermal quality in relation to the legal requirements.

Keywords: hygrothermal design; external walls; legal requirements.

Zgodnie z krajowym planem wsparcia [10] **budynki o niskim zużyciu energii** to taki, który spełnia wymagania oszczędności energii i izolacyjności, zawarte w przepisach techniczno-użytkowych, o których mowa w art. 7 ust. 1 pkt 1 ustawy – Prawo budowlane [11] oraz załączniku 2 do rozporządzenia [8]. Schemat kryteriów oceny przegród zewnętrznych i złączy budynków o niskim zużyciu energii, opracowany na podstawie analizy przepisów prawnych, przedstawiono na rysunku 1. Maksymalne wartości współczynnika przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/(m²·K)] przegród zewnętrznych budynków (tabela 1) oraz wartości graniczne wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną $EP_{(max)}$ [kWh/(m²·r.)] podano w [8], natomiast procedurę określania charakterystyki energetycznej budynku lub jego części w [9].

Podane w rozporządzeniu [8] wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła $U_{c(max)}$ lub $U_{(max)}$ nie uwzględniają wpływu mostków cieplnych i w efekcie dopuszcza się większe straty ciepła przez przegrody budowlane i ich złącza. W związku z tym zasadne jest określenie

¹⁾ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska; krzypaw@utp.edu.pl

KRYTERIUM OSZCZĘDNOŚCI ENERGII I OCHRONY CIEPLNEJ wg WT	
• I – zaprojektowanie budynku o zapotrzebowaniu na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/(m ² ·rok)] o wartości spełniającej wymagania WT	
• II – zaprojektowanie przegród w budynku, aby wartości współczynników przenikania ciepła U_c [W/(m ² ·K)] przegród zewnętrznych, okien, drzwi oraz technika instalacyjna odpowiadały wymaganiom WT	
• III – wymagania w zakresie oporu cieplnego izolacji obwodowej przegrody stykającej się z gruntem R_{min} [(m ² ·K)/W]	
• IV – wymagania w zakresie ochrony przed przegrzewaniem pomieszczeń w okresie letnim g [-]	
KRYTERIUM WILGOTNOŚCIOWE wg WT	
• I – ryzyko rozwoju kondensacji powierzchniowej – obliczenie czynnika temperaturowego f_{Rsi} [-]	
• II – ryzyko rozwoju kondensacji międzywarstwowej	

Rys. 1. Schemat oceny przegród zewnętrznych i złączy budynków o niskim zużyciu energii – opracowanie własne

Fig. 1. The evaluation scheme of external walls and joints of low energy consumption buildings – own elaboration

Tabela 1. Maksymalne wartości współczynników przenikania ciepła ścian $U_{c(max)}$ [W/(m²·K)] [8]

Table 1. Heat-transfer coefficient maximum values $U_{c(max)}$ [W/(m²·K)] for walls [8]

Rodzaj przegrody	Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/(m ² ·K)]	
	od 1.01. 2017 r.	od 31.12. 2020 r. ¹⁾
Ściany zewnętrzne:		
a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,23	0,20
b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	0,45	0,45
c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,90	0,90

t_i – temperatura obliczeniowa ogrzewanego pomieszczenia

granicznych wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_{max} na poziomie 0,05 ÷ 0,10 W/(m·K) w zależności od specyfiki analizowanego złącza.

Charakterystyka wybranych materiałów termoizolacyjnych

Poprawne zaprojektowanie przegród zewnętrznych i ich złączy minimalizuje dodatkowe straty ciepła oraz ryzyko występowania kondensacji międzywarstwowej, również na wewnętrznej powierzchni przegrody. Projektowanie przegród zewnętrznych i złączy budynku niskoener-

getycznego odbywa się często intuicyjnie, bez przeprowadzania obiektywnych obliczeń, a dobór warstw przegrody jest przypadkowy i wynika np. ze względów ekonomiczno-finansowych.

Przykładowe materiały termoizolacyjne:

- **tradycyjne** – styropian (spieniony polistyren-EPS), wełna mineralna (skalna oraz szklana);

- **nowszej generacji**, m.in. polistyren ekstrudowany (XPS), styropian grafitowy, płyty z poliuretanu (PUR) i poliizocyanuratu (PIR), aerozele, płyty klimatyczne, płyty fenolowe, izolacje próżniowe itd.

Styropian grafitowy to zmodyfikowany tradycyjny styropian (EPS) w postaci srebrzystoszarych płyt o współczynniku $\lambda_D = 0,030 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Dodatek grafitu poprawia właściwości termoizolacyjne materiału, a w efekcie ciepło-wilgotnościowe przegrody zewnętrznej budynku.

Pianka poliuretanowa PUR i PIR to materiały chemoutwardzalne, w postaci sztywnej lub półsztywnej piany natryskowej o porach otwartych i zamkniętych lub zamkniętokomórkowych płyt. Dostępne są w wersji z osłonami lub bez. Sztywne płyty PUR i PIR (również tzw. sandwich panele czy płyty warstwowe) stosowane są jako izolacja ścian, dachów, stropodachów i cokołów budynków. Ich współczynnik przewodzenia ciepła λ_D wynosi $0,020 \div 0,023 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Za najbardziej efektywne materiały termoizolacyjne uważa się obecnie **aerozele i izolacje próżniowe**.

Przykłady zastosowania materiałów termoizolacyjnych w przegrodach:

- ściany zewnętrzne: styropian (EPS); styropian szary (grafitowy); płyty z pianki poliizocyanurowej PIR; wełna mineralna; maty aerożelowe; parogel; płyto-we elementy próżniowe (VIP);

- stropodachy dwudzielne: wełna celulozowa; wełna mineralna;

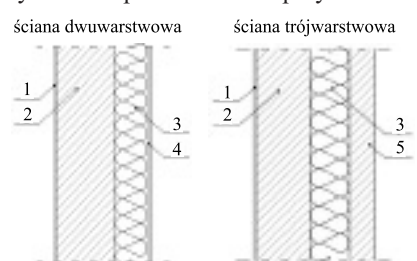
- dachy drewniane: płyty drzewne; płyty z wełny owczej; płyty z wełny mineralnej; pianka poliuretanowa (PUR/PIR) w postaci płyt i warstwy natryskowej; płyty korkowe;

- przegrody stykające się z gruntem: polistyren ekstrudowany (XPS); płyty z pianki poliizocyanurowej PIR; szkło piankowe (białe i czarne);

- od wewnątrz przegród: bloczki z betonu komórkowego (Multipor); płyty klimatyczne; tynki ciepłochronne (renowacyjne).

Parametry fizyczne ścian zewnętrznych

Poprawne zaprojektowanie budynku o niskim zużyciu energii wymaga przeprowadzenia szczegółowych obliczeń parametrów fizycznych przegród zewnętrznych i złączy budowlanych. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe



1 – tynk gipsowy; 2 – warstwa konstrukcyjna; 3 – izolacja cieplna; 4 – tynk cienkowarstwowy; 5 – warstwa elewacyjna

Rys. 2. Przykładowe rozwiązania materiałowe murowanych ścian zewnętrznych

Fig. 2. The example of material solutions of brick external walls

Tabela 2. Wyniki obliczeń wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ściany zewnętrznej dwuwarstwowej wg PN-EN ISO 6946:2008 [4]

Table 2. The results calculation of heat-transfer coefficient U_c based on PN-EN ISO 6946:2008 [4] with reference to external two-layer wall

Układ materiałów w przegrodzie	Grubość [m]	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)]	Współczynnik przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] w zależności od zastosowanego materiału termoizolacyjnego λ [W/(m·K)]			
			0,040 ¹⁾	0,038 ²⁾	0,031 ³⁾	0,024 ⁴⁾
Tynk gipsowy	0,01	0,40				
Bloczki z betonu komórkowego	0,24	0,21				
Izolacja cieplna	0,10	„	0,26	0,25	0,22	0,18
	0,12		0,23	0,22	0,19	0,16
	0,15		0,20	0,19	0,16	0,13
	0,20		0,16	0,15	0,13	0,09
Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76				
Tynk gipsowy	0,01	0,40				
Bloczki wapienno-piaskowe	0,24	0,56				
Izolacja cieplna	0,10	„	0,32	0,31	0,26	0,21
	0,12		0,28	0,26	0,22	0,18
	0,15		0,22	0,22	0,18	0,15
	0,20		0,18	0,17	0,14	0,11
Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76				
Tynk gipsowy	0,01	0,40				
Cegła pełna	0,25	0,77				
Izolacja cieplna	0,10	„	0,33	0,32	0,27	0,21
	0,12		0,28	0,27	0,23	0,18
	0,15		0,23	0,22	0,19	0,15
	0,20		0,18	0,17	0,14	0,11
Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76				

¹⁾ w zależności od rodzaju termoizolacji: ¹⁾ płyty styropianowe; ²⁾ płyty z wełny mineralnej; ³⁾ płyty ze stropianu grafitowego; ⁴⁾ płyty z pianki poliizocyanurowej PIR; do obliczeń U_c przyjęto $\Delta U = 0$; kolorem zielonym oznaczono wartości współczynnika przenikania ciepła ścian zewnętrznych U_c spełniające wymagania $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, zgodnie z wymaganiami wynikającymi z WT [8] i uchwały [10]

Tabela 3. Wyniki obliczeń wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ściany zewnętrznej trójwarstwowej wg PN-EN ISO 6946:2008 [4]

Table 3. The results calculation of heat-transfer coefficient U_c based on PN-EN ISO 6946:2008 [4] with reference to external three-layer wall

Układ materiałów w przegrodzie	Grubość d [m]	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)]	Współczynnik przenikania ciepła U_c [W/(m ² ·K)] w zależności od zastosowanego materiału termoizolacyjnego λ [W/(m·K)]			
			0,040 ¹⁾	0,038 ²⁾	0,031 ³⁾	0,024 ⁴⁾
Tynk gipsowy	0,01	0,40				
Bloczki z betonu komórkowego	0,24	0,21				
Izolacja cieplna	0,10	*)	0,26	0,25	0,22	0,19
	0,12		0,23	0,23	0,20	0,16
	0,15		0,20	0,19	0,17	0,14
	0,20		0,16	0,16	0,14	0,11
Bloczki wapienno-piaskowe	0,12	0,80				
Tynk gipsowy	0,01	0,40				
Bloczki wapienno-piaskowe	0,24	0,56				
Izolacja cieplna	0,10	*)	0,32	0,30	0,26	0,21
	0,12		0,28	0,26	0,23	0,18
	0,15		0,23	0,22	0,19	0,15
	0,20		0,18	0,18	0,15	0,12
Bloczek wapienno-piaskowy	0,12	0,80				
Tynk gipsowy	0,01	0,40				
Cegła pełna	0,24	0,77				
Izolacja cieplna	0,10	*)	0,33	0,32	0,27	0,22
	0,12		0,29	0,27	0,23	0,19
	0,15		0,24	0,23	0,19	0,16
	0,20		0,19	0,18	0,15	0,12
Cegła klinkierowa	0,12	1,05				

*) w zależności od rodzaju termoizolacji: ¹⁾ płyty styropianowe; ²⁾ płyty z wełny mineralnej; ³⁾ płyty ze stropianu grafitowego; ⁴⁾ płyty z pianki poliizocyanurowej PIR; do obliczeń U_c przyjęto $\Delta U = 0$; kolorem zielonym oznaczono wartości współczynnika przenikania ciepła ścian zewnętrznych U_c spełniające wymagania $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20$ W/(m²·K), zgodnie z wymaganiami wynikającymi z WT [8] i uchwały [10]

[2, 3] oraz na podstawie materiałów dostępnych na rynku.

Istotny wpływ na wartość współczynnika przenikania ciepła przegrody budowlanej U_c ma współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] materiału izolacyjnego oraz warstwy konstrukcyjnej. Współczynnik U_c jest podstawowym parametrem służącym do sprawdzenia kryterium cieplnego ($U_c \leq U_{c(max)}$). Jego wartość wykorzystywana jest do dalszej analizy cieplno-wilgotnościowej przegród i całego budynku, np. określenia współczynnika strat ciepła przez przenikanie H_{tr} [W/K], zapotrzebowania na energię użytkową **EU**, końcową **EK** i pierwotną **EP** [kWh/(m²·r.)]. Należy podkreślić, że przy doborze układu warstw materiałowych ścian zewnętrznych i ich złączy trzeba uwzględnić kryteria: izolacyjności cieplnej; kondensacji powierzchniowej i międzywarstwowej; izolacyjności akustycznej; ochrony przeciwpożarowej oraz nośności i trwałości konstrukcji.

Tabela 4. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej dwuwarstwowej ze stropem w przekroju przez wieniec – opracowano na podstawie [1]

Table 4. The results calculation of physical parameters of the external two-layer wall connection with a ceiling in cross-section through a tie beam – own elaboration based on [1]

Wariant obliczeniowy	$U_{(ID)}$ [W/(m ² ·K)]	Φ [W]	L^{2D} [W/(m·K)]	Ψ_i [W/(m·K)]	t_{min} [°C]	$f_{Rsi(2D)}$ [-]
Ocieplenie z płyt z pianki poliizocyanurowej PIR (wariant I)						
I(10)	0,16	16,03	0,40	0,08	17,94	0,95
I(12)	0,14	13,87	0,35	0,06	18,24	0,96
I(15)	0,12	11,53	0,29	0,05	18,55	0,96
Ocieplenie z płyt styropianowych (wariant II)						
II(10)	0,24	24,81	0,62	0,13	16,67	0,92
II(12)	0,22	21,88	0,55	0,11	17,10	0,93
II(15)	0,19	18,59	0,47	0,09	17,57	0,94

$U_{(ID)}$ – współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej; Φ – strumień ciepła przepływający przez złącze; L^{2D} – liniowy współczynnik szpieżenia cieplnego; Ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła, określony po wymiarach wewnętrznych; t_{min} – temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu występowania mostka cieplnego (2D); $f_{Rsi(2D)}$ – czynnik temperaturowy, określany na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu występowania mostka cieplnego (2D).

Analizowane ściany rozpatrywano przy zmiennej grubości materiału termoizolacyjnego, np. I (10) – wariant I przy grubości warstwy izolacyjnej 10 cm. Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20$ W/(m²·K), zgodnie z wymaganiami wynikającymi z WT [8] i uchwały [10]

Parametry fizyczne wybranego złącza ściany zewnętrznych dwuwarstwowych obliczono za pomocą programu komputerowego TRISCO, przyjmując następujące założenia:

■ modelowanie złączy wykonano zgodnie z PN-EN ISO 10211:2008 [6];

■ opór przejmowania ciepła (R_{si} , R_{se}) przyjęto wg PN-EN ISO 6946:2008 [4] przy obliczaniu strumienia cieplnego oraz wg PN-EN ISO 13788:2003 [7] przy obliczaniu rozkładu temperatury i czynnika temperaturowego $f_{Rsi(2D)}$;

■ temperatura powietrza wewnętrznej $t_i = 20^\circ\text{C}$ (pokój dzienny), natomiast powietrza zewnętrznego $t_e = -20^\circ\text{C}$ (III strefa);

■ współczynnik przewodzenia ciepła materiałów budowlanych λ [W/(m·K)] wg [2, 3];

■ wytypowane złącze budowlane – połączenie ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec;

■ ściana zewnętrzna dwuwarstwowa: bloczek z betonu komórkowego grubości 24 cm o $\lambda = 0,17$ W/(m·K); płyty z pianki poliuretanowej o $\lambda = 0,022$ W/(m·K) (wariant I) lub płyty styropianowe o $\lambda = 0,04$ W/(m·K) (wariant II).

Wyniki obliczeń analizowanego złącza przedstawiono w tabeli 4. Wynika z nich, że analizowane złącza generują dodatkowe straty ciepła określone m.in. w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)] oraz powodują obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody t_{min} [°C]. Nie występuje jednak ryzy-

ko kondensacji powierzchniowej, ponieważ spełniona jest nierówność: $f_{Rsi(2D)} \geq f_{Rsi(kryt.)}$. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego analizowanych złączy, po uwzględnieniu parametrów powietrza wew-





ARBOCEL® LIGNOCEL®

Idee prosto z natury

- Mniejszy spływ płytek (np. kleje)
- Wewnętrzne mikrozbrojenie (np. tynki, farby)
- Mniejszy skurcz (np. szpachle)
- Redukcja kosztów formulacji (np. systemy dociepleń)
- Rozwiązania bezpyłowe (np. kleje do płytek)



RETENMAIER POLSKA
SP. Z O.O.



Włókna prosto z natury
A Member of the IRS Group

www.jrs.pl

ul. Bitwy Warszawskiej 1920r. 7b, 02-366 Warszawa
tel. centrala: (22) 608 51 00, fax: (22) 608 51 51

nętrznego i zewnętrznego, wynosi $f_{Rsi(kryt)} = 0,79$.

Podsumowanie

Zaprojektowanie przegród spełniających wymagania oszczędności energii wymaga przeprowadzenia szczegółowych obliczeń z uwzględnieniem oddziaływania zmiennych parametrów powietrza zewnętrznego i wewnętrznego. Wartości parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych i ich złączy zależą od przyjętego układu materiałowego – przede wszystkim od współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] czy współczynnika oporu dyfuzyjnego μ [-].

Istnieje potrzeba prowadzenia dalszych badań w celu opracowania katalogu rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy spełniających wymagania cieplno-wilgotnościowe.

Literatura

- [1] Cichewicz Natalia. 2017. *Analiza porównawcza parametrów fizykalnych złączy ścian zewnętrznych dwuwarstwowych w świetle nowych wymagań cieplnych*. Praca dyplomowa magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Pawłowskiego. Bydgoszcz. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy.
- [2] Dylla Andrzej. 2015. *Fizyka ciepła budowli w praktyce. Obliczenia cieplno-wilgotnościowe*. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN S.A.
- [3] Pawłowski Krzysztof. 2016. *Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia cieplno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy*. Warszawa. Grupa Medium.
- [4] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [5] PN-EN 12831:2006 Instalacje grzewcze w budynkach – Metoda obliczania obciążenia cieplnego.
- [6] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.

[7] 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.

[8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2017 r. poz. 2285).

[9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej. (Dz.U. z 2015 r., poz. 376).

[10] Uchwała Rady Ministrów z 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”.

[11] Ustawa z 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. z 2013 r. poz. 1409, z późn. zm.).

Przyjęto do druku: 24.05.2018 r.