Krzysztof Pawłowski
dr inż.
Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

Materiały szkoleniowe

Kujawsko-Pomorska Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa

„PROJEKTOWANIE PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH W ŚWIETLE NOWYCH WYMAGAŃ CIEPLNYCH (Dz.U.2013.926 z dnia 13.08.2013 r.)"

SPIS TREŚCI

CZĘŚĆ 1.

*Wyciąg z Rozporządzenia „*W.T.-2013*" w zakresie ochrony cieplno-wilgotnościowej przegród zewnętrznych* 3

Kształtowanie zmian w zakresie ochrony cieplno-wilgotnościowej 9

CZĘŚĆ 2.

Metody obliczeń cieplno-wilgotnościowych przegród zewnętrznych i ich złączy według przepisów prawnych i norm przedmiotowych

Projektowanie cieplne zewnętrznych przegród budowlanych – wprowadzenie 11

Parametry powietrza zewnętrznego i wewnętrznego 11

Procedury obliczeniowe według PN-EN ISO 6946:2008 13

Procedury obliczeniowe strat ciepła przez grunt według PN-EN ISO 13370:2008

*Wybrane ściany zewnętrzne budynków w świetle wymagań „*W.T.-2013*"* 17

*Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego wg wymagań „*W.T. – 2013*" oraz metody prezentowanej w* PN-EN ISO 13788:2003 23

Analiza cieplno-wilgotnościowa przegród stykających się z gruntem według PN-EN ISO 13370:2008 i PN-EN ISO 10211:2008 26

Określenie współczynnika przenikania ciepła stropu nad przejazdem (lub pomieszczeniem nieogrzewanym) 29

*Zalecenia projektowe w zakresie projektowania cieplnego stropodachów według „*W.T.-2013*"* 32

Literatura 34

CZĘŚĆ 1.

Wyciąg z Rozporządzenia „W.T.-2013" [1] w zakresie ochrony cieplno-wilgotnościowej przegród zewnętrznych

Dział X. Oszczędność energii i izolacyjność cieplna

§328. 1. Budynek i jego instalacje grzewcze, wentylacyjne, klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej, a w przypadku użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych gospodarczych i magazynowych – również oświetlenia wbudowanego, powinno być zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający spełnienia następujących wymagań minimalnych:

1) **wartość wskaźnika EP** [kWh/(m² ·rok)] określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych – również do oświetlenia wbudowanego, obliczana według przepisów dotyczących metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków, jest mniejsza od wartości obliczonej zgodnie ze wzorem, o którym mowa w § 329 ust. 1 lub 3, przy uwzględnieniu cząstkowych maksymalnych wartości wskaźnika EP, o którym mowa w § 329 ust. 2;

$$\mathbf{EP}_{(obliczeniowe)} \leq \mathbf{EP}_{(maksymalne)}$$

2) **przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku** odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w załączniku 2 do rozporządzenia oraz powierzchnia okien odpowiada wymaganiom określonym w pkt. 2.1 załącznika nr 2 do rozporządzenia.

$$\mathbf{U_c} \leq \mathbf{U_{c(maksymalne)}}$$

1a. Wymagania minimalne, o których mowa w ust. 1, uznaje się za spełnione dla budynku podlegającego przebudowie, jeżeli przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku podlegające przebudowie odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w załączniku nr 2 do rozporządzenia oraz powierzchnia okien odpowiada wymaganiom określonym w pkt. 2.1. załącznika nr 2 do rozporządzenia.

2. Budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby ograniczyć ryzyko przegrzewania budynku w okresie letnim.

§329. 1. Maksymalną wartość wskaźnika EP określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz oświetlenia oblicza się zgodnie z poniższym wzorem:

$$\mathbf{EP} = \mathbf{EP_{H+W}} + \mathbf{\Delta EP_c} + \mathbf{\Delta EP_L} \text{ [kWh/(m}^2\text{ ·rok)]}$$

gdzie:

$\mathbf{EP_{H+W}}$ – *cząstkowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej określona zgodnie z tabelą 1,* [kWh/(m² ·rok)],

$\mathbf{\Delta EP_c}$ – *cząstkowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby chłodzenia określony zgodnie z tabelą 4,* [kWh/(m² ·rok)],

$\mathbf{\Delta EP_L}$ – *cząstkowa maksymalna wartość wskaźnika na potrzeby oświetlenia,* [kWh/(m² ·rok)].

2. Cząstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP wynoszą:

1) na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej (tabela 1):

Tabela 1. *Wartości maksymalne wskaźnika na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej* $\mathbf{EP_{H+W}}$

Lp.	Rodzaj budynku	Maksymalne wartości wskaźnika $\mathbf{EP_{H+W}}$ na potrzeby ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej[kWh/(m² ·rok)]		
		od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 1.01.2012 r.*)
1	Budynek mieszkalny a) jednorodzinny b) wielorodzinny	 120 105	 95 85	 70 65
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	95	85	75
3	Budynek użyteczności publicznej: a) opieki zdrowotnej b) pozostałe	 390 65	 290 60	 190 45
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny	110	90	70

*) od 1.01.2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

2) na potrzeby chłodzenia (tabela 2):

3) na potrzeby oświetlenia (tabela 2):

Tabela 2. *Wartości wskaźników* ΔEP_c i ΔEP_L

Lp.	Rodzaj budynku*)	Wartości wskaźników ΔEP_c i ΔEP_L [kWh/(m² ·rok)]		
		od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 1.01.2012 r.**)
1	Budynek mieszkalny a) jednorodzinny b) wielorodzinny	$\Delta EP_c = 10 \cdot A_{f,C}/A_f$ $\Delta EP_L = 0$	$\Delta EP_c = 10 \cdot A_{f,C}/A_f$ $\Delta EP_L = 0$	$\Delta EP_c = 5 \cdot A_{f,C}/A_f$ $\Delta EP_L = 0$
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	$\Delta EP_c = 25 \cdot A_{f,C}/A_f$	$\Delta EP_c = 25 \cdot A_{f,C}/A_f$	$\Delta EP_c = 25 \cdot A_{f,C}/A_f$
3	Budynek użyteczności publicznej: a) opieki zdrowotnej b) pozostałe	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 25$ dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 50$
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny			

A_f – *powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku,* [m²],
$A_{f,C}$ – *powierzchnia użytkowa chłodzona budynku,*[m²],
t_0 – czas działania oświetlenia wbudowanego
*) jeżeli budynek posiada instalację chłodzenia, w przeciwnym przypadku $\Delta EP_c = 0$, jeżeli w budynku należy uwzględnić oświetlenie wbudowane, w przeciwnym przypadku $\Delta EP_L = 0$
**) od 1.01.2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

3. W przypadku budynków o różnych funkcjach użytkowych maksymalne wartości wskaźnika EP określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, przygotowania wody użytkowej i oświetlenia wbudowanego w ciągu roku:

$$\mathbf{EP_m = \sum_i (EP_i \cdot A_{f,i}) / \sum_i A_{f,i}} \text{ [kWh/(m}^2\text{ ·rok)]}$$

gdzie:

$\mathbf{EP_i}$ – *maksymalna wartość wskaźnika EP określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej, chłodzenia oraz oświetlenia wbudowanego, dla części budynku o jednolitej funkcji użytkowej o powierzchni* $A_{f,i}$, [kWh/(m² ·rok)], obliczona zgodnie ze wzorem $EP = EP_{H+W} + \Delta EP_c + \Delta EP_L$ [kWh/(m² ·rok)], przy uwzględnieniu cząstkowych wskaźników wartości EP,

$\mathbf{A_{f,i}}$ – *powierzchnia użytkowa ogrzewana (chłodzona) części budynku o jednolitej funkcji użytkowej,* [m²],

4. Wymagania określone w § 328 ust. 2 uznaje się za spełnione, jeżeli okna oraz inne przegrody przeszklone i przeźroczyste odpowiadają przynajmniej wymaganiom określonym w pkt. 2.1.4. załącznika nr 2 do rozporządzenia.

Załącznik 2. Wymagania izolacyjności cieplnej i inne wymagania związane z oszczędnością energii

1. Izolacyjność cieplna przegród i podłóg na gruncie

1.1. Wartości współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_c}$ ścian, dachów, stropów i stropodachów dla wszystkich rodzajów budynków, uwzględniając poprawki ze względu na pustki powietrzne w warstwie izolacji **(ΔU_g)**, łączniki mechaniczne przechodzące przez warstwę izolacyjną **(ΔU_f)** oraz opady na dach o odwróconym układzie warstw **(ΔU_r)**, obliczone zgodnie z Polskimi Normami dotyczącymi obliczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła oraz przenoszenia ciepła przez grunt (PN-EN ISO 6946:2008 [N-1], PN-EN ISO 13370:2008 [N-2]), nie mogą być większe niż wartości $\mathbf{U_{c(max)}}$ określone w tabeli 3.

1.2. Wartości współczynnika przenikania ciepła **U** okien, drzwi balkonowych i drzwi zewnętrznych nie mogą być większe niż wartości $\mathbf{U_{(max)}}$ określone w tabeli 4.

Tabela 3. *Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła* $\mathbf{U_{c(max)}}$ [W/(m² ·K)] *dla ścian, dachów, stropów, i stropodachów, podłóg na gruncie*

Lp.	Rodzaj przegrody temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $\mathbf{U_{c(max)}}$ [W/(m² ·K)]		
		od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 1.01.2021 r.*)
1	2	3	5	6
1	Ściany zewnętrzne: a) przy $t_i \geq 16°C$ b) przy $8°C \leq t_i < 16°C$ c) przy $t_i < 8°C$	 0,25 0,45 0,90	 0,23 0,45 0,90	 0,20 0,45 0,90
2	Ściany wewnętrzne: a) przy $\Delta t_i \geq 8°C$ oraz oddzielające pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy b) przy $\Delta t_i < 8°C$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	 1,00 bez wymagań 0,30	 1,00 bez wymagań 0,30	 1,00 bez wymagań 0,30
3	Ściany przyległe do szczelin dylatacyjnych o szerokości: a) 5 cm, trwale zamkniętych i wypełnionych izolacją cieplną na głębokości co najmniej 20 cm, b) powyżej 5 cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	 1,00 0,70	 1,00 0,70	 1,00 0,70
4	Ściany nieogrzewanych kondygnacji podziemnych	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
5	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i \geq 16°C$ b) przy $8°C \leq t_i < 16°C$ c) przy $t_i < 8°C$	 0,20 0,30 0,70	 0,18 0,30 0,70	 0,15 0,30 0,70
6	Podłogi na gruncie: a) przy $t_i \geq 16°C$ b) przy $8°C \leq t_i < 16°C$ c) przy $t_i < 8°C$	 0,30 1,20 1,50	 0,30 1,20 1,50	 0,30 1,20 1,50
7	Stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podłogowymi: a) przy $t_i \geq 16°C$ b) przy $8°C \leq t_i < 16°C$ c) przy $t_i < 8°C$	 0,25 0,30 1,00	 0,25 0,30 1,00	 0,25 0,30 1,00
8	Stropy nad ogrzewanymi pomieszczeniami podziemnymi i stropy międzykondygnacyjne: a) przy $\Delta t_i \geq 8°C$ b) przy $\Delta t_i < 8°C$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	 1,00 bez wymagań 0,25	 1,00 bez wymagań 0,25	 1,00 bez wymagań 0,25

- pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura wewnętrzna, której wartość określona w §134 ust. 2 rozporządzenia
- t_i – temperatura obliczeniowa ogrzewanego pomieszczenia zgodnie z §134 ust. 2 rozporządzenia
*) od 1.01.2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

Tabela 4. *Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła* $\mathbf{U_{(max)}}$ [W/(m² ·K)] *dla okien, drzwi balkonowych i drzwi zewnętrznych*

Lp.	Rodzaj przegrody temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $\mathbf{U_{(max)}}$ [W/(m² ·K)]		
		od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 1.01.2021 r.*)
1	2	4	5	6
1	Okna (za wyjątkiem okien połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne: a) przy $t_i \geq 16°C$ b) przy $t_i < 16°C$	 1,3 1,8	 1,1 1,6	 0,9 1,4
2	Okna połaciowe: a) przy $t_i \geq 16°C$ b) przy $t_i < 16°C$	 1,5 1,8	 1,3 1,6	 1,1 1,4
3	Okna w ścianach wewnętrznych: a) przy $\Delta t_i \geq 8°C$ b) przy $\Delta t_i < 8°C$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	 1,5 bez wymagań 1,5	 1,3 bez wymagań 1,3	 1,1 bez wymagań 1,1
4	Drzwi w przegrodach zewnętrznych lub w przegrodach między pomieszczeniami ogrzewanymi i nieogrzewanymi	1,7	1,5	1,3
5	Okna i drzwi zewnętrzne w przegrodach zewnętrznych pomieszczeń nieogrzewanych	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań

- t_i – temperatura obliczeniowa ogrzewanego pomieszczenia zgodnie z §134 ust. 2 rozporządzenia
*) od 1.01.2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

1.3. Dopuszcza się dla budynku produkcyjnego, magazynowego i gospodarczego większe wartości współczynnika **U** niż $\mathbf{U_{c(max)}}$ oraz $\mathbf{U_{(max)}}$ określone w pkt 1.1. i 1.2. (tabele 3, 4), jeżeli uzasadnia to rachunek efektywności ekonomicznej inwestycji, obejmujący koszty budowy i eksploatacji budynku.

1.4. W budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej, produkcyjnym, magazynowym i gospodarczym podłoga na gruncie w ogrzewanym pomieszczeniu powinna mieć izolację cieplną obwodową z materiału izolacyjnego w postaci warstwy o oporze cieplnym co najmniej $\mathbf{R_{min.}}$ = **2,0** ($m^2 \cdot K$)/W, przy czym opór cieplny warstw podłogowych oblicza się zgodnie z Polskimi Normami, o których mowa w pkt 1.1. (PN-EN ISO 13370:2008 [N-3])

1.5. Izolacja cieplna przewodów rozdzielczych i komponentów w instalacjach centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej (w tym przewodów cyrkulujących), instalacji chłodu i ogrzewania powietrznego powinna spełniać następujące wymagania minimalne określone w tabeli 5.

Tabela 5. *Wymagania minimalne dotyczące izolacyjności przewodów*

Lp.	Rodzaj przewodu lub komponentu	Minimalna grubość izolacji cieplnej (materiał o współczynniku przewodzenia ciepła λ=0,035 W/(m·K)[1)]
1	Średnica wewnętrzna do 22 mm	20 mm
2	Średnica wewnętrzna od 22 do 35 mm	30 mm
3	Średnica wewnętrzna od 35 do 100 mm	równa średnicy wewnętrznej rury
4	Średnica wewnętrzna ponad 100 mm	100 mm
5	Przewody i armatura wg 1-4 przechodzące przez ściany lub stropy, skrzyżowania przewodów	50% wymagań z lp. 1-4
6	Przewody ogrzewań centralnych, przewody wody ciepłej i cyrkulacji instalacji ciepłej wody użytkowej wg lp. 1-4, ułożone w komponentach budowlanych między ogrzewanymi pomieszczeniami różnych użytkowników	50% wymagań z lp. 1-4
7	Przewody wg lp. 6 ułożone w podłodze	6 mm
8	Przewody ogrzewania powietrznego (ułożone w części ogrzewanej budynku)	40 mm
9	Przewody ogrzewania powietrznego (ułożone w części nieogrzewanej budynku)	80 mm
10	Przewody instalacji wody lodowej prowadzone wewnątrz budynku[2)]	50% wymagań z lp. 1-4
11	Przewody instalacji wody lodowej prowadzone na zewnątrz budynku[2)]	100% wymagań z lp. 1-4

[1)] Przy zastosowaniu materiału izolacyjnego o innym współczynniku przewodzenia ciepła niż podano w tabeli – należy odpowiednio skorygować grubość warstwy izolacyjnej
[2)] Izolacja cieplna wykonana jako powietrznoszczelna.

2. Inne wymagania związane z oszczędnością energii

2.1. Okna

2.1.1. W budynku mieszkalnym i zamieszkania zbiorowego pole powierzchni $\mathbf{A_0}$, wyrażone w m^2, okien oraz przegród szklanych i przeźroczystych o współczynniku przenikania ciepła nie mniejszym niż **0,9** W/($m^2 \cdot K$), obliczone według ich wymiarów modularnych, nie może być większe niż wartość $\mathbf{A_{0max}}$ obliczone według wzoru:

$$\mathbf{A_{0max} = 0{,}15 \cdot A_z + 0{,}03 \cdot A_w}$$

gdzie:
$\mathbf{A_z}$ – *jest sumą pól powierzchni rzutu poziomego wszystkich kondygnacji nadziemnych (w zewnętrznym obrysie budynku) w pasie o szerokości 5 m wzdłuż ścian zewnętrznych,*
$\mathbf{A_w}$ – *jest sumą pól powierzchni pozostałej części rzutu poziomego wszystkich kondygnacji po odjęciu* A_z.

2.1.2. W budynku użyteczności publicznej pole powierzchni $\mathbf{A_0}$, wyrażone w m^2, okien oraz przegród szklanych i przeźroczystych o współczynniku przenikania ciepła nie mniejszym niż **0,9** W/($m^2 \cdot K$), obliczone wg ich wymiarów modularnych, nie może być większe niż wartość $\mathbf{A_{0max}}$ obliczona według wzoru określonego w pkt 2.1.1., jeżeli nie jest to sprzeczne z warunkami dotyczącymi zapewnienia niezbędnego oświetlenia światłem dziennym, określonymi w § 57 rozporządzenia.

§57. 1. Pomieszczenia przeznaczone na pobyt ludzi powinno mieć zapewnione oświetlenie dzienne, dostosowane do jego przeznaczenia, kształtu i wielkości, z uwzględnieniem warunków określonych w § 13 oraz w ogólnych przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy.

2. W pomieszczeniu przeznaczonym na pobyt ludzi stosunek powierzchni okien, liczonej w świetle ościeżnic, o powierzchni podłogi powinien wynosić co najmniej 1:8, natomiast w innym pomieszczeniu, w którym oświetlenie dzienne jest wymagane ze względów na przeznaczenie – co najmniej 1:12.

2.1.3. W budynku produkcyjnym, magazynowym i gospodarczym łączne pole powierzchni okien i ścian szklanych w stosunku do powierzchni całej elewacji nie może być większe niż:
1) w budynku jednokondygnacyjnym (halowym) – **15%**;
2) w budynku wielokondygnacyjnym – **30%**.

2.1.4. We wszystkich rodzajach budynków współczynnik przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego okien oraz przegród szklanych i przezroczystych g liczony według wzoru: $\mathbf{g = f_c \cdot g_n}$
gdzie:
$\mathbf{g_n}$ – *współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla typu oszklenia,*
$\mathbf{f_c}$ – *współczynnik redukcji promieniowania ze względu na zastosowanie urządzenia przeciwsłoneczne,*
w okresie letnim nie może być większy niż **0,35**.
2.1.5. Wartości współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla typu oszklenia $\mathbf{g_n}$ należy przyjmować na podstawie deklaracji właściwości użytkowej okna. W przypadku braku danych wartość $\mathbf{g_n}$ określa tabela 6.

Tabela 6. *Wartości współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego* $\mathbf{g_n}$

lp.	Typ oszklenia	Współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego $\mathbf{g_n}$
1	Pojedynczo szklone	0,85
2	Podwójnie szklone	0,75
3	Podwójnie szklone z powłoką selektywną	0,67
4	Potrójnie szklone	0,70
5	Potrójnie szklone z powłoką selektywną	0,50
6	Okna podwójne	0,75

2.1.6. Wartości współczynnika redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne $\mathbf{f_c}$ określa tabela 7.

Tabela 7. *Wartości współczynnika redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne* $\mathbf{f_c}$

Lp.	Typ zasłon	Wartości optyczne		Współczynnik redukcji promieniowania $\mathbf{f_c}$	
		współczynnik absorcji	współczynnik przepuszczalności	osłona wewnętrzna	osłona zewnętrzna
1	Białe żaluzje o lamelach nastawnych	0,1	0,05 0,1 0,3	0,25 0,30 0,45	0,10 0,15 0,35
2	Zasłony białe	0,1	0,5 0,7 0,9	0,65 0,80 0,95	0,55 0,75 0,95
3	Zasłony kolorowe	0,3	0,1 0,3 0,5	0,42 0,57 0,77	0,17 0,37 0,57
4	Zasłony z powłoką aluminiową	0,2	0,05	0,20	0,08

2.1.7. Pkt 2.1.4. nie stosuje się w odniesieniu do powierzchni pionowych oraz powierzchni nachylonych więcej niż 60 stopni do poziomu, skierowanych w kierunkach od północno-zachodniego do północno-wschodniego (kierunek północy ± 45 stopni), okien chronionych przed promieniowaniem słonecznym elementem zacieniającym, spełniającym wymagania, o którym mowa w pkt. 2.1.4., oraz do okien o powierzchni mniejszej niż 0,5 m^2.

2.2. Warunki spełnienia wymagań dotyczących powierzchniowej kondensacji pary wodnej.

Sprawdzenie warunku ochrony wilgotnościowej – ryzyko występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody wynika z *§321.1. „Na wewnętrznej powierzchni nieprzezroczystej przegrody zewnętrznej nie może występować kondensacja pary wodnej umożliwiająca rozwój grzybów pleśniowych.*
2. We wnętrzu przegrody, o której mowa w ust. 1, nie może występować narastające w kolejnych latach zawilgocenie spowodowane kondensacją pary wodnej.
3. Warunki określone w ust. 1 i 2 uważa się za spełnione, jeśli przegrody odpowiadają wymaganiom określonym w pkt 2.2. załącznika nr 2 do rozporządzenia."
2.2.1. W celu zachowania warunku, o którym mowa w §321 ust. 1. rozporządzenia, w odniesieniu do przegród zewnętrznych budynków mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjnych, magazynowych i gospodarczych rozwiązania przegród zewnętrznych i ich węzłów konstrukcyjnych powinny charakteryzować się współczynnikiem temperaturowym f_{Rsi} o wartości nie mniejszej niż wymagana wartość krytyczna, obliczona zgodnie z Polską Normą (PN-EN ISO 13788:2003 [N-2])dotyczącą obliczania temperatury powierzchni wewnętrznej koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej.
2.2.2. Wymaganą wartość krytyczną współczynnika temperaturowego f_{Rsi} w pomieszczeniach ogrzewanych do temperatury co najmniej **20°C** w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej należy określać według rozdziału 5 Polskiej Normy, o której mowa w pkt 2.2.1., przy założeniu, że średnia miesięczna wartość wilgotności względnej powietrza wewnętrznego jest równa **φ= 50%**, przy czym dopuszcza się przyjmowanie wymaganej wartości tego współczynnika równej **0,72**.

2.2.3. Wartość współczynnika temperaturowego charakteryzującego zastosowane rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe należy obliczać:
1) dla przegrody – według Polskiej Normy (PN-EN ISO 13788:2003[N-2]);
2) dla mostków cieplnych przy zastosowaniu przestrzennego modelu przegrody – według Polskiej Normy dotyczącej obliczania strumieni cieplnych i temperatury powierzchni (PN-EN ISO 10211:2008 [N-4]).
2.2.4. Sprawdzenie warunku, o którym mowa w §321 ust. 1 i 2 rozporządzenia, należy przeprowadzić według rozdziału 5 i 6 Polskiej Normy (PN-EN ISO 13788:2003 [N-2]).
2.2.5. Dopuszcza się kondensację pary wodnej, o której mowa w §321 ust. 2 rozporządzenia, wewnątrz przegrody w okresie zimowym, o ile struktura przegrody umożliwi wyparowanie kondensatu w okresie letnim i nie nastąpi przy tym degradacja materiałów budowlanych przegrody na skutek tej kondensacji.

Rozdział 4. Ochrona przed zawilgoceniem i korozją biologiczną

§315. Budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby opady atmosferyczne, woda w gruncie i na jego powierzchni, woda użytkowa w budynkach oraz para wodna w powietrzu w tym budynku nie powodowały zagrożenia zdrowia i higieny użytkowania.
§316.1. Budynek posadowiony na gruncie, na którym poziom wód gruntowych może spowodować przenikanie wody do pomieszczeń, należy zabezpieczyć za pomocą drenażu zewnętrznego lub w inny sposób przed infiltracją wody do wnętrza oraz zawilgoceniem.
2. Ukształtowanie terenu wokół powinno zapewniać swobodny spływ wody opadowej od budynku.
§317.1. Ściany piwnic budynku oraz stykające się z gruntem inne elementy budynku, wykonane z materiałów podciągających wodę kapilarnie, powinny być zabezpieczone odpowiednią izolacją przeciwwilgociową.
2. Części ścian zewnętrznych, bezpośrednio nad otaczającym terenem, tarasami, balkonami i dachami, powinny być zabezpieczone przed przenikaniem wody opadowej i z topniejącego śniegu.
§318. Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe przegród zewnętrznych i ich uszczelnienie powinny uniemożliwiać przenikanie wody opadowej do wnętrza budynków.
§319.1. Dachy i tarasy powinny mieć spadki uniemożliwiające odpływ wód opadowych i z topniejącego śniegu do rynien i wewnętrznych lub zewnętrznych rur spustowych.
2. Dachy w budynkach o wysokości powyżej 15 m nad poziomem terenu powinny mieć spadki umożliwiające odpływ wody do wewnętrznych rur spustowych. Wymaganie to nie dotyczy budynków kultu religijnego, budynków widowiskowych, hal sportowych, a także produkcyjnych i magazynowych, w których taki sposób odprowadzenia wody jest niemożliwy ze względów technologicznych.
3. W budynku wolno stojących o wysokości do 4,5 m i powierzchni dachu do 100 m² dopuszcza się niewykonywanie rynien i rur spustowych, pod warunkiem ukształtowania okapów w sposób zabezpieczający przed zaciekaniem wody na ściany.
§320. Balkony, loggie i tarasy powinny mieć posadzki wykonane z materiałów nienasiąkliwych, mrozoodpornych i nieśliskich.

§321.1. Na wewnętrznej powierzchni nieprzezroczystej przegrody zewnętrznej nie może występować kondensacja pary wodnej umożliwiająca rozwój grzybów pleśniowych.
2. We wnętrzu przegrody, o której mowa w ust. 1, nie może występować narastające w kolejnych latach zawilgocenie spowodowane kondensacją pary wodnej.
3. Warunki określone w ust. 1 i 2 uważa się za spełnione, jeśli przegrody odpowiadają wymaganiom określonym w pkt 2.2. załącznika nr 2 do rozporządzenia."
§322.1. Rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne zewnętrznych przegród budynku, warunki cieplno-wilgotnościowe, a także intensywność wymiany powietrza w pomieszczeniach, powinny uniemożliwiać powstawanie zagrzybienia.
2. Do budowy należy stosować materiały, wyroby i elementy budowlane odporne lub uodpornione na zagrzybienie i inne formy biodegradacji, odpowiednio do stopnia zagrożenia korozją biologiczną.
3. Przed podjęciem przebudowy, rozbudowy lub zmiany przeznaczenia budynku, w przypadku stwierdzenia występowania zawilgocenia i oznak korozji biologicznej, należy wykonać ekspertyzę mykologiczną i na podstawie jej wyników – odpowiednie roboty zabezpieczające.

2.3. Szczelność na przenikanie powietrza.

2.3.1. W budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjnym przegrody zewnętrzne nieprzezroczyste, złącza między nimi przegrodami i częściami przegród (między innymi połączenia stropodachów lub dachów ze ścianami zewnętrznymi), przejście elementów instalacji (takie jak kanały instalacji wentylacyjnej i spalinowej przez przegrody zewnętrzne) oraz połączenia okien z ościeżami należy projektować i wykonywać pod kątem osiągnięcia ich całkowitej szczelności na przenikanie powietrza.
2.3.2. W budynkach niskich, średniowysokich i wysokich przepuszczalność powietrza dla okien i drzwi balkonowych przy ciśnieniu równym 100 Pa wynosi nie więcej niż 2,25 $m^3/(m \cdot h)$ w odniesieniu do długości linii stykowej lub 9 $m^3/(m^2 \cdot h)$ w odniesieniu do pola powierzchni, co odpowiada klasie 3 Polskiej Normy (PN-EN 12207:2001 [N-5]) dotyczącej przepuszczalności powietrza okien i drzwi. Dla okien i drzwi balkonowych w budynkach wysokościowych przepuszczalność powietrza przy ciśnieniu wynosi nie więcej niż 0,75 $m^3/(m \cdot h)$ w odniesieniu do długości linii stykowej lub 3 $m^3/(m^2 \cdot h)$ w odniesieniu do pola powierzchni, co odpowiada klasie 4 Polskiej Normy (PN-EN 12207:2001[N-5]) dotyczącej przepuszczalności powietrza okien i drzwi.
2.3.3. Zalecana szczelność powietrza budynków wynosi:
1) w budynkach z wentylacją grawitacyjną lub wentylacją hybrydową – $\mathbf{n_{50} < 3{,}0}$ [1/h],

2) w budynkach z wentylacją mechaniczną lub klimatyzacją – $\mathbf{n_{50} < 1,5}$ [1/h].
2.3.4. Zalecane jest, by po zakończeniu budowy budynek mieszkalny, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjny został poddany próbie szczelności przeprowadzonej zgodnie z Polską Normą (PN-EN 13829:2002 [N-6]) dotyczącą określania przepuszczalności powietrznej budynków w celu uzyskania zalecanej szczelności budynków określonej w pkt 2.3.3.

Poniżej zestawiono wykaz **Polskich Norm** przywołanych w rozporządzeniu dotyczących obliczeń w zakresie ochrony cieplno-wilgotnościowej:

- PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- PN-EN ISO 10077-1:2007 Cieplne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji – Obliczenie współczynnika przenikania ciepła – część 1: Postanowienia ogólne.
- PN-EN ISO 10077-2:2007 Cieplne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji – Obliczenie współczynnika przenikania ciepła – część 1: Metoda komputerowa dla ram.
- PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- PN-EN 12831:2006 Instalacje grzewcze w budynkach – Metoda obliczania obciążenia cieplnego.
- PN-EN ISO 13370:2008 Cieplne właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metoda obliczania.
- PN-EN ISO 13789:2001 Cieplne właściwości użytkowe budynków. Współczynnik strat ciepła przez przenikanie. Metoda obliczania.
- PN-EN ISO 14683:2008 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- PN-B-02403:1982 Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne.
- PN-EN ISO 13788:2003 Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania.
- PN-EN 12207:2001 Okna i drzwi – Przepuszczalność powietrza – Klasyfikacja.
- PN-EN 13829:2002 Właściwości cieplne budynków – Określenie przepuszczalności powietrznej budynków – Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora.

➢ **Kształtowanie zmian w zakresie ochrony cieplno-wilgotnościowej**

Od lat przepisy prawne związane z procesami projektowania, wznoszenia i eksploatacji budynków 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 $\mathbf{U_{max}}$. (dawniej $\mathbf{k_{max}}$) wpływają na wielkość zużycia energii w trakcie eksploatacji budynków (tabela 8).

Tabela 8. *Zmiany wartości współczynnika przenikania ciepła U_{max} dla budynków mieszkalnych* – opracowanie własne

Rodzaj przegrody	Wartość współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_{max}}$ [W/(m² ·K)] od roku						
	1957	1964	1974	1982	1991	2009	2014-2021
Ściany zewnętrzne	1,16	1,16	1,16	0,75	0,55	0,30	**0,25 ÷ 0,20**
Dachy, stropodachy	0,87	0,87	0,70	0,45	0,30	0,25	**0,20 ÷ 0,15**

Na rysunku 1 przedstawiono ewolucję wymagań w zakresie ochrony cieplnej budynków oraz przegród budowlanych.

1992 – 1997	PN – 91/B – 02020	• obliczanie współczynnika przenikania ciepła **k** dla pojedynczych przegród budowlanych i porównanie z wartościami maksymalnymi $\mathbf{k_{max.}}$
1997 – 1998	zmiana PN – 91/B – 02020	• obliczanie współczynnika przenikania ciepła **k** dla pojedynczych przegród budowlanych i porównanie z wartościami maksymalnymi $\mathbf{k_{max.}}$; zaostrzenie wartości maksymalnych do poziomu **0,30 W/(m² ·K)** – dla budynków mieszkalnych i **0,45 W/(m² ·K)** – dla budynków użyteczności publicznej
1998 – 2008	Rozporządzenie MSWiA z dnia 30.09.1997 r. Rozporządzenie MI z dnia 12.04.2002 r.	• określenie wartości maksymalnych współczynników przenikania ciepła U, np. dla ścian warstwowych $\mathbf{U_{max.}}$ **= 0,30 [**W/(m² ·K)] • określenie wartości maksymalnych wskaźnika **E** [kWh/(m³ ·a)] w zależności od **A/V**
	PN-EN ISO 6946 z 1998, 1999, 2004	• metoda obliczania współczynnika przenikania **U** [W/(m² ·K)]
	PN-99/B – 02025 z 1998, 1999, 2001	• metoda obliczania wskaźnika **E** [kWh/(m³ ·a)]
2008 – 2014	Rozporządzenie MI z dnia 6.11.2008 r.	• określenie wartości maksymalnych współczynników przenikania ciepła **U**, np. dla ścian zewnętrznych $\mathbf{U_{max.}}$ **= 0,30** W/(m² ·K), • określenie wartości maksymalnych wskaźnika **EP** [kWh/(m² ·rok] w zależności od **A/V**
	PN-EN ISO 6946:2008	• metoda obliczania współczynnika przenikania **U** [W/(m² ·K)]
	Rozporządzenie MI - metodyka obliczania wskaźnika EP **(zmiana od X 2014 r.)**	• metoda obliczania wskaźnika **EP** [kWh/(m² ·rok)]
	PN-EN ISO 13790:2008	• metoda obliczania wskaźnika **EP** [kWh/(m² ·rok)]
	PN-EN 15217:2008	• charakterystyka energetyczna budynków
	Dyrektywa PE i RE 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków	• budynki blisko zeroenergetyczne
	Rozporządzenie MT,BiGM 2013 r. **(wymagania obowiązujące od 1.01.2014 r.)**	• zmiany wartości maksymalnych współczynników przenikania ciepła $\mathbf{U_{c(max)}}$ [W/(m² ·K)] dla przegród zewnętrznych • zmiany wartości maksymalnych wskaźnika **EP** [kWh/(m² ·rok)] dla różnych budynków

Rysunek 1. *Rys historyczny wymagań cieplnych dla budynków i przegród zewnętrznych* – opracowanie własne

Wprowadzenie zmian w rozporządzeniu W.T. – 2013 [1] spowodują zwiększenie grubości powszechnie stosowanych izolacji cieplnych (styropian i wełna mineralna) oraz wprowadzenie nowych materiałów takich jak, m.in.: płyty z poliuretanu PIR, płyty izolacyjne o zamkniętej strukturze komórkowej z rdzeniem uzyskiwanym z żywicy fenolowo-formaldehydowej.

Wg wprowadzonych zmian w rozporządzeniu [1] wymagania cieplne dotyczą jednoczesnego spełnienia dwóch wymagań w zakresie współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_c}$ [W/(m² ·K)] dla pojedynczych przegród budynku oraz wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną **EP** [kWh/(m² ·rok)] dla całego budynku.

CZĘŚĆ 2.

Metody obliczeń cieplno-wilgotnościowych przegród zewnętrznych i ich złączy według przepisów prawnych i norm przedmiotowych

➢ Projektowanie cieplne zewnętrznych przegród budowlanych – wprowadzenie

Proces wymiany ciepła przez przegrody budowlane jest nieustalony w czasie, co wynika ze zmienności warunków klimatycznych na zewnątrz budynku oraz nierównomierności pracy urządzeń grzewczych. Opis matematyczny tego procesu jest bardzo złożony, dlatego w większości rozwiązań inżynierskich stosuje się uproszczony model ustalonego przepływu ciepła.

Wymiana ciepła przez przegrodę budowlaną składa się z poszczególnych etapów:

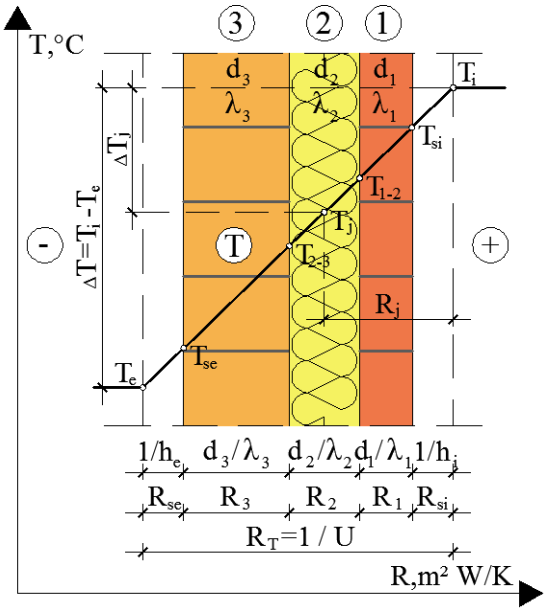
1. Napływu ciepła na powierzchnię przegrody od strony ośrodka o wyższej temperaturze.
2. Przewodzenia ciepła wewnątrz przegrody w kierunku ośrodka o niższej temperaturze.
3. Odpływu ciepła z powierzchni przegrody do ośrodka chłodniejszego.

W analizie przenikania ciepła przez przegrody budowlane przyjmujemy następujące założenia upraszczające:

- jest to proces ustalony w czasie,
- przepływ ciepła odbywa się w kierunku prostopadłym do powierzchni przegrody,
- długość i szerokość przegrody są nieograniczone,
- warstwy przegrody wykonane są z jednorodnych, izotropowych materiałów,
- wartości współczynników przenikania ciepła są stałe na całej powierzchni przegrody.

Przenikanie ciepła w budynkach może być przeprowadzone przy podziale struktury na typowe przegrody: ściany, okna, drzwi, podłogi, dachy, w odniesieniu do których straty ciepła można obliczać oddzielnie na podstawie jednowymiarowego modelu przepływu ciepła, przy założeniu jednorodnej struktury przegrody, złożonej z równoległych warstw, do których strumień cieplny jest prostopadły.

Starty ciepła przez pojedyncze elementy budynku, przy przyjęciu pewnych uproszczeń, można określić za pomocą **współczynnika przenikania ciepła U** [W/(m²·K)] (rysunek 2).



Rysunek 2. *Przenikanie ciepła przez przegrodę budowlaną* – opracowanie własne na podstawie [3]

➢ Parametry powietrza zewnętrznego i wewnętrznego

Projektowanie przegród budowlanych wymaga uwzględnienia klimatu miejscowego, jaki panuje w otoczeniu budynku oraz mikroklimatu pomieszczeń. Największy wpływ na kształtowanie właściwości cieplno-wilgotnościowych przegród mają:

- temperatura,
- wilgotność względna,
- natężenie promieniowania słonecznego.

Temperatury powietrza wewnętrznego przyjmuje się na podstawie rozporządzenia [1] – tabela 9. Natomiast temperatury obliczeniowe powietrza zewnętrznego przyjmuję się na podstawie PN-EN ISO 12831:2006 [N-7], PN-B-02403:1982 [N-8] – tabela 10.

Tabela 9. *Temperatury obliczeniowe powietrza wewnętrznego dla pomieszczeń w budynku*

Temperatury obliczeniowe [^{0}C]	Sposób wykorzystania pomieszczeń	Przykłady pomieszczeń
+5	pomieszczenia nie przeznaczone do stałego przebywania ludzi oraz pomieszczenia ogrzewane dyżurnie	- magazyny bez stałej obsługi, - garaże indywidualne, hale postojowe (bez remontów), - akumulatornie
+8	pomieszczenia nie przeznaczone do stałego przebywania ludzi, w których jednorazowy pobyt osób, znajdujących się w ruchu i w okryciach zewnętrznych, nie przekracza 1h, Pomieszczenia, w których moc cieplna zainstalowanych urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., odniesiona do 1 m^3 pomieszczenia, przekracza 25 W	- klatki schodowe w budynkach mieszkalnych, - hale sprężarek, pompownie, - kuźnie, hartownie, wydziały obróbki cieplnej
+12	pomieszczenia przeznaczone do stałego przebywania ludzi, znajdujących się w okryciach zewnętrznych lub wykonujących ciężką pracę fizyczną, w których moc cieplna zainstalowanych urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., odniesiona do 1 m^3 pomieszczenia, wynosi od 10 do 24 W	- magazyny i składy wymagające stałej obsługi, - westybule, poczekalnie przy salach widowiskowych bez szatni, - hale ciężkiej pracy, hale formierni, maszynownie chłodni, ładownie akumulatorów, - hale targowe, sklepy rybne i mięsne.
+16	pomieszczenia przeznaczone do przebywania ludzi w okryciach zewnętrznych w pozycji siedzącej, bez okryć zewnętrznych, znajdujących się w ruchu lub wykonujących lżejsze prace fizyczne, Pomieszczenia, w których moc cieplna zainstalowanych urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., odniesiona do 1 m^3 pomieszczenia, nie przekracza 10 W	- hale pracy lekkiej, - szatnie odzieży wierzchniej, - korytarze, klatki schodowe w budynkach biurowych i użyteczności publicznej, - sale widowiskowe bez szatni, - sale gimnastyczne, - bufety i sale konsumpcyjne, - sklepy spożywcze i przemysłowe, sale sprzedaży w domach towarowych, - kuchnie indywidualne wyposażone w paleniska węglowe, - ustępy publiczne, - zmywalnie i przygotowalnie wstępne w zakładach żywienia zbiorowego.
+20	pomieszczenia przeznaczone do przebywania ludzi bez okryć zewnętrznych nie wykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej	- pokoje mieszkalne, przedpokoje, kuchnie indywidualne wyposażone tylko w palenisko gazowe lub elektryczne, - hale pracy siedzącej lekkiej, - izby pomiarowe, - pokoje biurowe, sale posiedzeń, - pomieszczenia do nauki, biblioteki, czytelnie, - muzea i galerie sztuki z szatniami, - sale widowiskowe z szatniami, - bufety i sale konsumpcyjne z szatniami, - poczekalnie z szatniami, - kasy (np. teatralne, dworcowe itp.) - gabinety dentystyczne, gabinety lekarskie, gdzie nie przewiduje się rozbierania pacjentów, - sale chorych, - korytarze i klatki schodowe w zakładach leczniczych, - sale dziecięce w przedszkolach, - ustępy, z wyjątkiem ustępów publicznych.
+25	pomieszczenia przeznaczone do rozbierania lub przebywania ludzi bez odzieży	- rozbieralnie-szatnie, natryskownie, umywalnie, hale pływalni [1)], - gabinety lekarskie z rozbieraniem pacjentów, - sale niemowląt i sale dziecięce w żłobkach, - sale operacyjne.
+32	pomieszczenia wymagające podwyższonej temperatury, nie wyposażone w specjalne urządzenia technologiczne	- suszarnie bielizny, - suszarnie odzieży

[1)] dla pomieszczeń tych temperatury obliczeniowe należy przyjmować równe 23 ^{0}C wówczas, gdy centralna regulacja parametrów czynnika grzejnego prowadzona jest według temperatury tych pomieszczeń lub gdy pomieszczenia te mają indywidualną regulacje temperatury albo regulowaną temperaturę nawiewu powietrza.

Tabela 10. *Temperatury obliczeniowe powietrza zewnętrznego dla Polski*

Strefa	t_e [°C]	$t_e^{*)}$ [°C]
I	-16	7,7
II	-18	7,9
III	-20	7,6
IV	-22	6,9
V	-24	5,5

t_e – projektowana temperatura zewnętrzna [°C]
$t_e^{*)}$ – średnia roczna temperatura zewnętrzna [°C]

Warunkiem skuteczności i dokładności obliczeń cieplnych dla budynku jest korzystanie z dokładnych i uszczegółowionych danych wejściowych do projektowania z uwzględnieniem cech fizykalnych środowiska zewnętrznego. Do oceny energetycznej budynku (obliczenie współczynnika **EP** [kWh/(m² ·rok)] wg [2]) oraz do oceny ryzyka kondensacji powierzchniowej na wewnętrznej powierzchni przegród ciężkich należy korzystać z danych meteorologicznych – średnich miesięcznych temperatur powietrza zewnętrznego dla określonej lokalizacji budynku. Dane dostępne na stronie internetowej Ministerstwa Budownictwa, Transportu i Gospodarki Morskiej (www.mir.gov.pl/budownictwo/rynek_budowlany_i_technika/efektywnosc_energetyczna_budynkow/typowe_lata_meteorologiczne/strony/start.aspx [12]).

➢ **Procedury obliczeniowe według PN-EN ISO 6946:2008** [N-1]

Współczynnik przenikania ciepła U [W/(m²·K)] **określa stratę ciepła** odniesioną do jednostkowej różnicy temperatury wewnętrznej i zewnętrznej oraz jednostkowej powierzchni elementu budowlanego:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

gdzie:
R_T – *całkowity opór cieplny przegrody złożonej z płaskich warstw jednorodnych*, m² ·K/W, obliczony ze wzoru:

$$R_T = R_{si} + R_n + R_{se}$$

gdzie:
R_{si} – *opór przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej*, (m² ·K)/W, tabela 11,
R_n – *obliczeniowe opory cieplne każdej warstwy*, (m² ·K)/W,

$$R_n = \frac{d}{\lambda}$$

d – *grubość warstwy*, m,
λ – *obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła materiału*, W/(m ·K), przyjmuje się na podstawie norm przedmiotowych, tablic z literatury i danych producenta,
R_{se} – *opór przejmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej*, (m² ·K)/W, tabela 11.

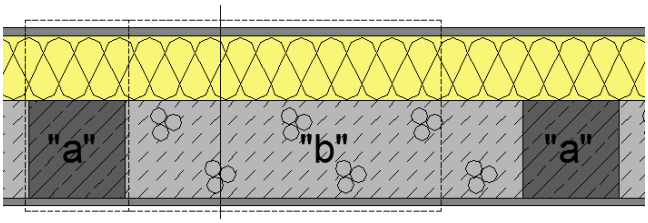
Tabela 11. *Opory przejmowania ciepła na powierzchni* na podstawie PN-EN ISO 6946:2008 [N-1]

Opór przejmowania ciepła	kierunek przepływu ciepła		
	poziomy	pionowy (w górę)	pionowy (w dół)
R_{si} [(m²·K)/W]	0,13	0,10	0,17
R_{se}[(m²·K)/W]	0,04		

Podane wartości są wartościami obliczeniowymi; w przypadku deklaracji współczynnika przenikania ciepła komponentów i w innych przypadkach, gdzie wymagane są wartości niezależne od kierunku strumienia ciepła lub gdy możliwa jest zmiana kierunku strumienia ciepła, zaleca się przyjmowanie wartości poziomego przepływu ciepła.
Opory przejmowania ciepła stosuje się do powierzchni w kontakcie z powietrzem. Nie stosuje się oporów przejmowania ciepła do powierzchni w kontakcie z innym materiałem.

Wiele przegród zewnętrznych ma budowę niejednorodną. W przypadku komponentu budowlanego składającego się z warstw cieplnie jednorodnych i niejednorodnych można stosować uproszczoną metodę obliczania

oporu cieplnego. Metoda posługuje się pojęciem kresu górnego i dolnego poru cieplnego, stąd określenie - metoda „kresów".



Rysunek 3. *Przegroda z warstwami niejednorodnie cieplnie* – opracowanie własne

Na użytek tej metody komponent dzielimy wzajemnie prostopadłymi płaszczyznami, adiabatycznymi i izotermicznymi na jednorodne cieplnie części (rysunek 3). Struktura wewnętrzna każdego wycinka jest jednakowa i posiada indywidualne dla niego opory cieplne. Przy podziale adiabatycznym otrzymuje się kres górny całkowitego oporu cieplnego, a przy podziale izotermicznym kres dolny.

- **Całkowity opór cieplny komponentu R_T** składającego się z warstw cieplnie jednorodnych i niejednorodnych oblicza się jako średnią arytmetyczną górnego i dolnego kresu oporu cieplnego, zgodnie ze wzorem:

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2}$$

gdzie:
R'_T – *kres górny całkowitego oporu cieplnego*, [(m²·K)/W],
R''_T – *kres dolny całkowitego oporu cieplnego*, [(m²·K)/W].

- **Kres górny całkowitego oporu cieplnego komponentu**, **R'_T** [(m²·K)/W], przy założeniu jednowymiarowego przepływu ciepła wzdłuż przebiegu adiabat, można określić na podstawie równania:

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \ldots + \frac{f_n}{R_{Tn}}$$

gdzie:
R_{Ta}, R_{Tb}, R_{Tn} – *całkowite opory cieplne od środowiska do środowiska, każdego wycinka*, [(m²·K)/W], obliczone ze wzoru:

$$R_T = R_{si} + R_n + R_{se}$$

f_a, f_b, f_n – *względne pola powierzchni każdego wycinka*, przy czym musi być spełnione równanie:

$$f_a + f_b + \ldots + f_n = 1$$

- **Kres dolny całkowitego oporu cieplnego komponentu**, **R''_T** [(m²·K)/W], wyznacza się zakładając, że powierzchnie warstw w przegrodzie są izotermiczne, ze wzoru:

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + \ldots + R_n + R_{se}$$

gdzie:
R_1, R_2, R_n – *opory cieplne poszczególnych warstw materiałowych przegrody*, [(m²·K)/W].
W przypadku warstwy niejednorodnej cieplnie określa się **zrównoważone (uśrednione) przewodności cieplne λ''_n** [W/(m·K)], określane według wzoru:

$$\lambda_n'' = f_1 \cdot \lambda_1 + f_2 \cdot \lambda_2 + \ldots + f_n \cdot \lambda_n$$

gdzie:
λ_1, λ_2, λ_n – *współczynnik przewodności cieplnej poszczególnych materiałów budowlanych występujących w warstwie niejednorodnej cieplnie*, [W/(m·K)],
f_1, f_2, f_2 – *względne pola powierzchni każdego materiału budowlanego.*

Nowoczesne konstrukcje ścian zewnętrznych, a także większość stropodachów i dachów posiadają wewnątrz szczeliny wentylowane, połączono z reguły przestrzałowo z powietrzem atmosferycznym, których rola polega na odprowadzeniu nadmiernej wilgoci poza przegrodę [3]. Wg normy PN-EN ISO 6946:2008 [N-1] ze względów obliczeniowych podzielono szczelny na trzy grupy:

- **szczelina z niewentylowaną** warstwą powietrza, nie połączona lub połączona z powietrzem atmosferycznym otworami o polu powierzchni nie przekraczającym 500 mm² na 1 m szczeliny pionowej i na 1m² powierzchni szczeliny poziomej,

- **szczelina ze słabo wentylowaną** warstwą powietrza, połączona z powietrzem atmosferycznym otworami o polu powierzchni > 500mm² i nie przekraczającym 1500mm² na 1 m szczeliny pionowej i na 1m² powierzchni szczeliny poziomej,
- **szczelina z dobrze wentylowaną** warstwą powietrza, połączona z powietrzem atmosferycznym otworami o polu powierzchni > 1500mm² na 1 m szczeliny pionowej i na 1m² powierzchni szczeliny poziomej.

Pole powierzchni otworów dotyczy zarówno otworów wlotowych, jak i wylotowych w szczelinie.
Opór cieplny szczelin przyjmuje się wg normy PN-EN ISO 6946:2008 [N-1] w następujący sposób:
- szczeliny z niewentylowaną warstwą powietrza, na podstawie tabeli 12.

Tabela 12. *Opór cieplny zamknie wentylowanych warstw powietrza według PN-EN ISO 6946:2008* [N-1]

Grubość warstwy powietrza [mm]*)	Opór cieplny [(m² ·K)/W] przy kierunku strumienia cieplnego		
	w górę	poziomym	w dół
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

- **szczeliny ze słabo wentylowaną** warstwą powietrza, opór cieplny obliczeniowy przyjmuje się zgodnie ze wzorem:

$$R_T = \frac{1500 - A_v}{1000} \cdot R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} \cdot R_{T,v}$$

gdzie:
A_v – *powierzchnia otworów wlotowych (i wylotowych)*, mm²,
$R_{T,u}$ – *całkowity opór cieplny z niewentylowaną warstwą powietrza (z uwzględnieniem wartości wg tabeli 9)*, (m² ·K)/W,
$R_{T,v}$ – *całkowity opór cieplny z dobrze wentylowaną warstwą powietrza*, (m² ·K)/W.

- **szczeliny z dobrze wentylowaną** warstwą powietrza, opór cieplny szczeliny i innych warstw znajdujących się miedzy nią a środowiskiem zewnętrznym pomija się, dodając zamiennie do oporu pozostałej części przegrody opór przejmowania ciepła, odpowiadający nieruchomemu powietrzu wnętrza szczeliny, można przyjmować wartości **R_{si}** z tabeli 8.

Do obliczonego **współczynnika przenikania ciepła U** [W/(m²·K)] należy stosować poprawki korygujące wpływ:
- nieszczelności w warstwie izolacji,
- łączników mechanicznych przechodzących przez warstwę izolacyjną,
- opadów na dach o odwróconym układzie warstw.

Skorygowany współczynnik przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] uzyskuje się wprowadzając trzon korekcyjny **ΔU**:

$$U_c = U + \Delta U$$

Człon korekcyjny **ΔU** [W/(m²·K)] wyraża następującym wzorem :

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r$$

gdzie:
ΔU_g – *poprawka na nieszczelności*,
ΔU_r– *poprawka na wpływ opadów dla dachów o odwróconym układzie warstw*,
ΔU_f – *poprawka na łączniki mechaniczne*.

Procedurę uwzględniania w/w poprawek podaje norma PN-EN ISO 6946:2008 [N-1]

Poprawka na nieszczelności **ΔU_g** [W/(m²·K)] określana na podstawie zależności:

$$\Delta U_g = \Delta U'' \cdot \left(\frac{R_1}{R_T}\right)^2$$

gdzie:
R_1 – *opór cieplny warstwy zawierającej nieszczelności*, [(m²·K)/W]
R_T – *całkowity opór cieplny przegrody*, [(m²·K)/W]
ΔU" – *poziom nieszczelności*:
- **ΔU" = 0** – *dla termoizolacji szczelnie ułożonej i bez możliwości cyrkulacji powietrza po cieplejszej stronie termoizolacji,*
- **ΔU" = 0,01** – *przy nieszczelności w płytowych termoizolacjach (otwory i szczeliny na przestrzał o szerokości powyżej 5 mm), lecz bez możliwości cyrkulacji powietrza po cieplejszej stronie termoizolacji (np. przegroda szkieletowa drewniana wypełniona między elementami konstrukcyjnymi warstwą termoizolacji),*

- **ΔU″ = 0,04** – *przy ryzyku cyrkulacji powietrza po cieplejszej stronie termoizolacji i nieszczelnościach przechodzących przez całą jej grubość (poprawka może dotyczyć ścian szczelinowych).*

Poprawka na łączniki mechaniczne ΔU_f [W/(m²·K)] poprawka ma zastosowanie, gdy warstwę termoizolacji przebijają metalowe łączniki mechanicznej; wyznacza się na podstawie zależności:

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_0} \cdot \left(\frac{R_1}{R_{T,h}}\right)^2 [W/(m^2 \cdot K)]$$

gdzie:
α = 0,8 ·d_1/d_0
λ_f – *współczynnik przewodności cieplnej łącznika mechanicznego; np. dla stali* **λ_f** *= 50 W/(m·K), dla stali nierdzewnej* **λ_f** *= 17 W/(m·K),*
n_f – *liczba łączników na 1m²,*
A_f – *pole przekroju poprzecznego jednego łącznika,* [m²],
d_0, d_1 – *grubość odpowiednio: termoizolacji oraz części metalowej łącznika zanurzonej w warstwie termoizolacyjnej,* [m],
R_1, $R_{T,h}$ – *opór cieplny odpowiedni: termoizolacji oraz całej przegrody (z pominięciem mostków cieplnych),* [(m² ·K)/W].

Poprawki ΔU_f nie uwzględnia się (nie stosuje się) w następujących sytuacjach):
- łącznik przechodzi przez pustą szczelinę,
- końce łącznika stykają się obustronnie z metalem,
- współczynnik przewodności cieplnej łącznika jest mniejsza od 1 W/(m ·K).

Poprawka ΔU_r [W/(m²·K)] na wpływ opadów dla dachów o odwróconym układzie warstw, wynika z przepływu wody deszczowej między termoizolacją a pokryciem wodochronnym stropodachu i ma zastosowanie tylko do termoizolacji wykonanej z polistyrenu ekstrudowanego (XPS); wyznacza się na podstawie zależności:

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \cdot \left(\frac{R_1}{R_T}\right)^2$$

gdzie:
p – *średnia wielkość opadu podczas sezonu grzewczego, na podstawie danych odpowiednich dla miejsca wykonania budynku uzyskanych z pomiarów stacji hydrologicznej lub publikacji meteorologicznych,* [mm/dzień],
f ·x – *iloczyn współczynnika filtracji oraz współczynnika zwiększającego straty ciepła przez wodę płynącą po pokryciu wodochronnym; iloczyn przyjmuje wartość:*
f ·x = 0,4 dla pojedynczej warstwy XPS z połączeniami stykowymi i otwartą osłoną żwirową; w szczególnych przypadkach połączeń, które wywołują mniejszą filtrację (należy ją udokumentować w niezależnych raportach) można zastosować wartość f ·x < 0,4 [(W ·dzień)/(m² ·K ·mm)]
R_1, R_T – *opór cieplny odpowiednio: warstwy izolacyjnej oraz całego stropodachu,* [(m² ·K)/W].

Zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [N-10] poprawkę korygującą ΔU stosuje się, jeżeli jej wartość jest równa lub wyższa niż 3% U.

Zgodnie z rozporządzeniem W.T.-2013 [1] skorygowana wartość współczynnika przenikania ciepła U_C [W/(m²K)] podlega wymogowi spełnienia odpowiedniego poziomu współczynnika $U_{C(max)}$ [W/(m²K)] – zestawione w rozdziale w części 1 materiałów szkoleniowych (tabela 3).

W technice grzewczej kluczowym zadaniem jest określenie strat ciepła pomieszczeń (budynku). Przegrody o niskich zdolnościach termoizolacyjnych generują znaczne straty ciepła.

Dla przegrody płaskiej, w warunkach ustalonych i w polu jednowymiarowym można określić ilość (strumień) ciepła **Φ** [W] przenikającego w ciągu 1 godziny przez powierzchnię przegrody **A** [m²]:

$$\Phi = U \cdot (t_i - t_e) \cdot A$$

gdzie:
U – *współczynnik przenikania ciepła przegrody w polu jednowymiarowym,* [W/(m² ·K)],
t_i, t_e – *temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego,* [°C],
A – *powierzchnia przegrody,* [m²].

$$\Phi = (t_{si} - t_{se}) \cdot A \cdot \frac{\lambda}{d} = \frac{(t_{si} - t_{se}) \cdot A}{R}$$

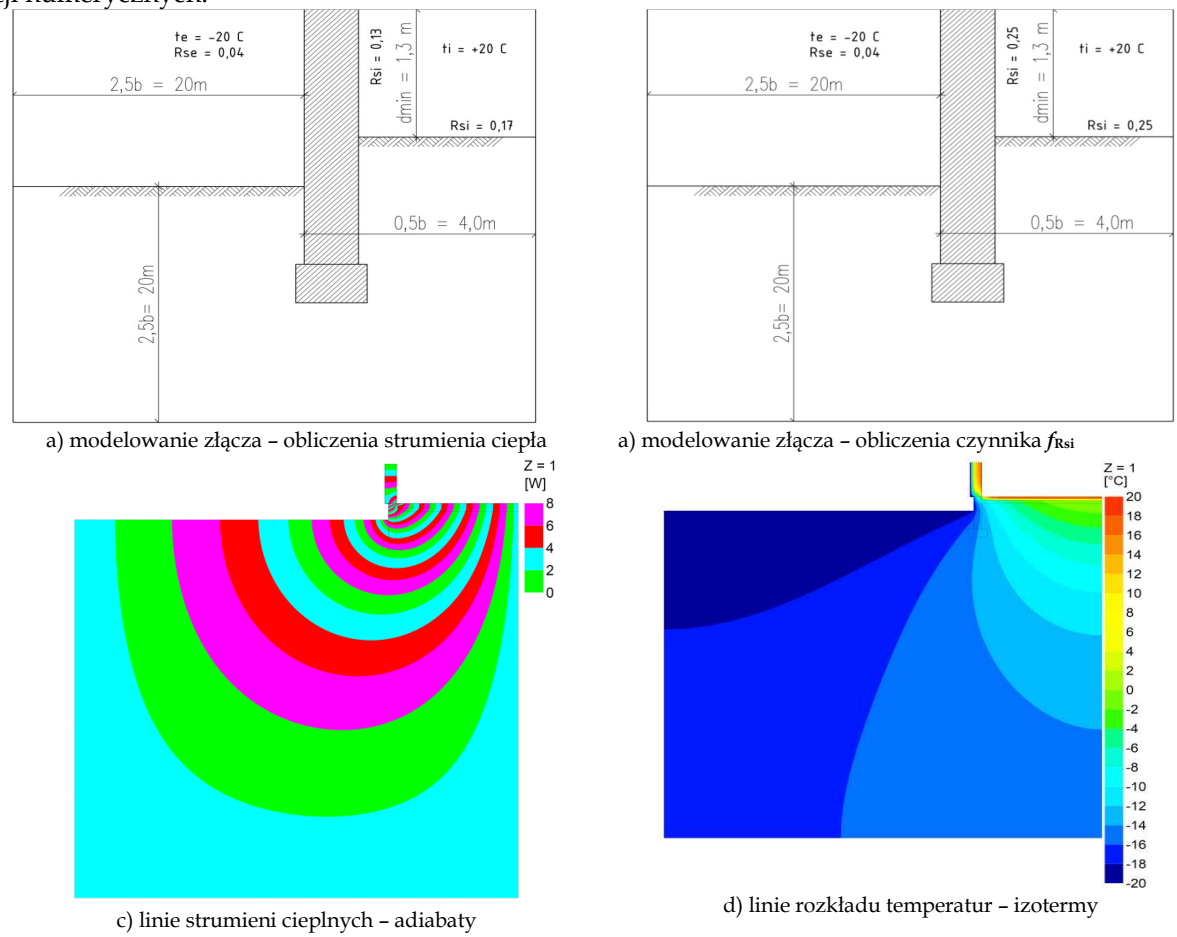
gdzie:
t_i, t_e – *temperatury, odpowiednio na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody,* [°C],
R – *opór cieplny przegrody (bez oporów przejmowania),* [(m² ·K)/W].

➢ **Procedury obliczeniowe strat ciepła przez grunt według PN-EN ISO 13370:2008** [N-3]

Straty ciepła przez przenikanie, dla przegród stykających się z gruntem, należą do trudniejszych w obliczeniu. Strumienie cieplne wypływające z ogrzewanego wnętrza mają swój udział w kształtowaniu rozkładu temperatur w gruncie pod budynkiem i jego otoczeniu. Zmiany w temperaturze gruntu obserwowane są na dość znacznym obszarze, rozciągającym się pod budynkiem i w jego sąsiedztwie. Na granicach tego obszaru pojawiają się płaszczyzny adiabatyczne świadczące o ustaniu przepływów ciepła w kierunkach prostopadłych do ich przebiegu [3].

Metody numeryczne (przy zastosowaniu programów komputerowych) są dokładną procedurą zapisu strat ciepła z budynku przez grunt, na którym jest posadowiony, do atmosfery w wyniku przenikania. Uzyskanie dokładnych wyników jest jednak możliwe tylko w warunkach numerycznych symulacji przestrzennych (rysunek 4), przy wydzielonych pionowymi płaszczyznami adiabatycznymi, fragmentów budynku z gruntem, składających się w strukturę całościową [3]. Szczegółową analizę numeryczną złącza przegród stykających się z gruntem przedstawiono w [4], [9], [10]. Zasadne jest opracowanie kart katalogowych mostków cieplnych w styku budynku z gruntem dla powszechnie stosowanych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych.

Metody przybliżone opierają się na zbliżonych i numerycznych procedurach obliczeniowych wg PN-EN ISO 13370:2008 [N-3], PN-EN 12831:2006 [N-9], rozporządzenia metodologia [2]. W obliczeniach wykorzystuje się opracowane algorytmy z zastosowaniem wzorów empirycznych, pozwalając na uniknięcie skomplikowanych symulacji numerycznych.



a) modelowanie złącza – obliczenia strumienia ciepła

a) modelowanie złącza – obliczenia czynnika f_{Rsi}

c) linie strumieni cieplnych – adiabaty

d) linie rozkładu temperatur – izotermy

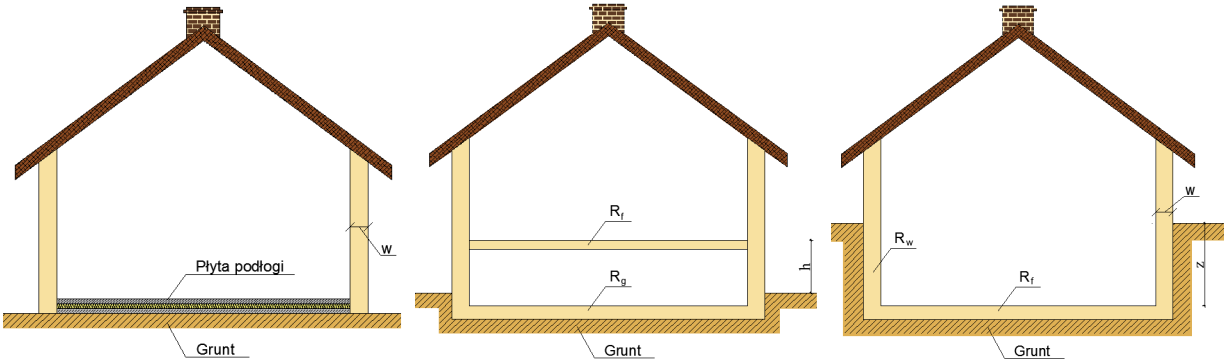
Rysunek 4. *Model przegrody stykającej się z gruntem – modelowanie, strumienie cieplne (adiabaty), linie rozkładu temperatur (izotermy)* – opracowanie własne

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na rozbieżności w nazewnictwie izolacji cieplnej występującej w złączu przegród stykających się z gruntem. Izolacja termiczna na ścianach fundamentowych w budynkach nie podpiwniczonych, określana w załączniku 2 (pkt. 1.4.) rozporządzenia „W.T. – 2013 ” [2] jako **izolacja obwodowa**, w normach określona jest następująco:

- wg PN-EN ISO 13370:2008 [N-3] – **izolacja krawędziowa** i jest obliczeniowo włączana do wartości współczynnika przenikania ciepła podłogi (rysunek 4),
- wg PN-EN 12831:2006 [N-9] – **izolacja boczna** i nie jest uwzględniana w wartości współczynnika przenikania ciepła podłogi.

W normie PN-EN ISO 13370:2008 [N-3] przedstawiono procedury obliczeniowe w zakresie następujących przypadków występujących w praktyce (rysunek 5):

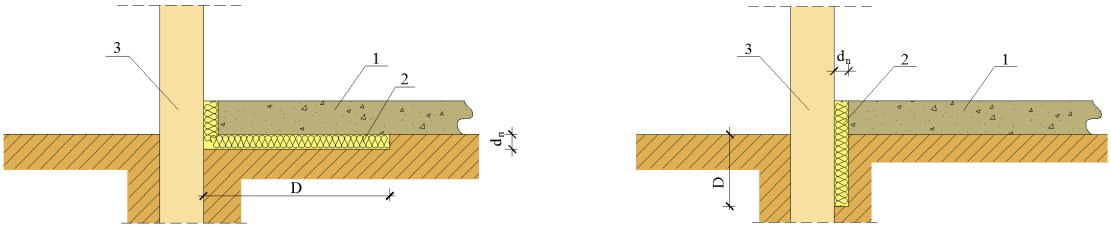
• podłoga typu płyta na gruncie,
• podłoga podniesiona,
• budynek z podziemiem ogrzewanym.



a) podłoga typu płyta na gruncie b) podłoga podniesiona c) budynek z podziemiem ogrzewanym

Rysunek 5. *Schematy podłóg analizowane w* PN-EN ISO 13370:2008 – opracowanie własne na podstawie [N-3]

Izolacja krawędziowa może być umieszczona poziomo, pionowo (rysunek 6) lub występować jako fundament o małej gęstości.



a) pozioma izolacja krawędziowa b) pionowa izolacja krawędziowa

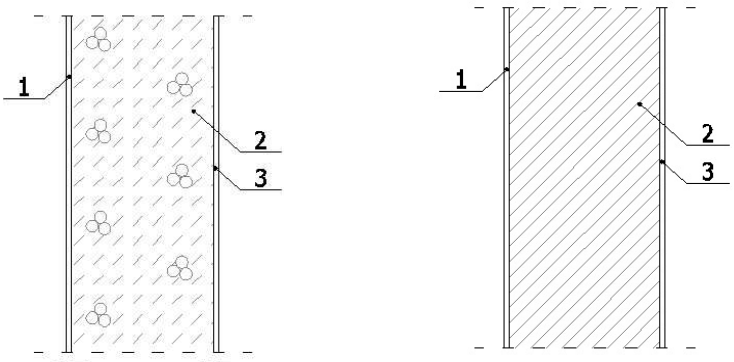
Rysunek 6. *Schematy izolacji krawędziowej wg* PN-EN ISO 13370:2008 – opracowanie własne [N-3]

Efekt izolacji krawędziowej jest traktowany jako liniowy współczynnik przenikania ciepła $\Psi_{g,e}$ [W/(m·K)]. Jeżeli złącze przegród stykających się z gruntem ma więcej niż jedną część izolacji krawędziowej (pionowej lub poziomej, wewnętrznej lub zewnętrznej), należy do dalszych obliczeń uwzględnić tę, która daje większą redukcję starty ciepła.

➢ **Wybrane ściany zewnętrzne budynków w świetle wymagań „W.T.-2013"** [2]

Ściana zewnętrzna jest pionową przegrodą budynku, która powinna spełniać wymagania w zakresie nośności, **izolacyjności termicznej**, izolacyjności akustycznej, bezpieczeństwa użytkowania i pożarowego, zapewnienia odpowiednich warunków higienicznych i zdrowotnych oraz ochrony środowiska.

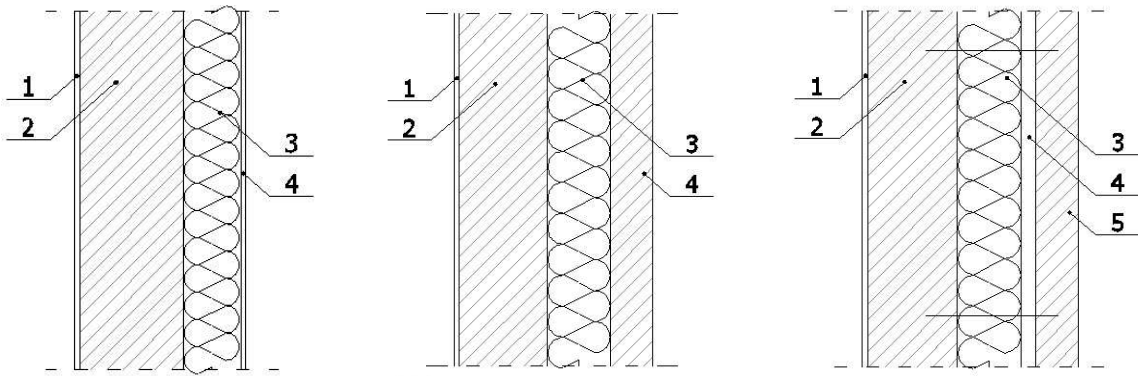
Układy konstrukcyjno-materiałowe ścian zewnętrznych budynku zmieniają się wraz ze zmianą wymagań, wprowadzenia nowych udoskonalonych materiałów lub technologii. Najczęściej stosowanymi technologiami wznoszenia ścian zewnętrznych budynków mieszkalnych w Polsce są technologia murowana lub drewniana. Przykładowe rozwiązania ścian zewnętrznych murowanych przedstawiono na rysunku 7, 8.



Rysunek 7. *Ściany murowane jednowarstwowe* – źródło [11]

1-*tynk gipsowy*, **2**-*bloczek z betonu komórkowego*, **3**-*tynk cementowo-wapienny*

1-*tynk gipsowy*, **2**-*pustak z ceramiki poryzowanej*, **3**-*tynk cementowo-wapienny*



Rysunek 8. *Ściany murowane warstwowe* – źródło [11]

a) dwuwarstwowa:
1-*tynk gipsowy,*
2-*warstwa konstrukcyjna**),
3-*izolacja cieplna***),
4-*tynk cementowo-wapienny*

b) trójwarstwowa:
1-*tynk gipsowy,*
2-*warstwa konstrukcyjna**),
3-*izolacja cieplna***),
4-*warstwa elewacyjna****)

c) szczelinowa:
1-*tynk gipsowy,*
2-*warstwa konstrukcyjna**),
3-*izolacja cieplna***),
4-*szczelna dobrze wentylowana,*
5-*warstwa elewacyjna****)

*) *warstwa konstrukcyjna*: cegła pełna 25 cm, cegła kratówka 25 cm, bloczek z betonu komórkowego 24 cm, bloczek wapienno-piaskowy (silikatowy) 18cm, 24 cm, pustak MAX 28,8 cm
**) *warstwa izolacji cieplnej*: styropian, wełna mineralna, płyty z pianki PIR
***) *warstwa elewacyjna*: cegła klinkierowa 12cm, bloczek wapienno-piaskowy 12 cm

W ramach obliczeń określono współczynnik przenikania ciepła $\mathbf{U_c}$ [W/(m^2·K)] wg PN-EN ISO 6946:2008 [N-1] wybranych ścian jednowarstwowych, dwuwarstwowych, trójwarstwowych i szczelinowych budynku mieszkalnego. Do obliczeń wybrano najczęściej stosowane rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe ścian zewnętrznych w budownictwie.

W przypadku ścian warstwowych (dwuwarstwowych, trójwarstwowych, szczelinowych) określono wartości współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_c}$ [W/(m^2·K)] dla zróżnicowanych grubości izolacji cieplnej (10, 12, 15, 20 cm). Do izolacji cieplnej zastosowano trzy materiały: wełna mineralna, styropian oraz płyty z pianki PIR i płyty izolacyjne o zamkniętej strukturze komórkowej z rdzeniem uzyskiwanym z żywicy fenolowo-formaldehydowej (zalecane do stosowania w przypadku ścian dwuwarstwowych, trójwarstwowych i szczelinowych). Wartości współczynnika przewodzenia ciepła **λ** [W/(m·K)] przyjęto na podstawie [3], [4] i udokumentowanych danych producentów.

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 13. Współczynnik przenikania ciepła $\mathbf{U_c}$ [W/(m^2·K)] jest podstawowym parametrem służącym do sprawdzenia kryterium cieplnego $\mathbf{U_c \leq U_{c(max)}}$. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dokonano oceny wg zmian w rozporządzeniu w zakresie wartości granicznej współczynnika $\mathbf{U_{C(max)}}$ [2] (tabela 14). Wraz ze zmieniającymi się wartościami $\mathbf{U_{C(max)}}$ niektóre rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe ścian zewnętrznych nie spełniają podstawowego kryterium (tabela 14). Szczególnie dotyczy to ścian jednowarstwowych. W przypadku ścian warstwowych minimalna grubość izolacji cieplnej wynosi 15 ÷ 20 cm (w przypadku izolacji w postaci styropianu i wełny mineralnej) oraz 10 cm (w przypadku izolacji cieplnej w postaci płyt z twardej pianki PIR). Określone wartości $\mathbf{U_c}$ wykorzystywane są do dalszych obliczeń w zakresie analizy cieplno-wilgotnościowej przegród i całego budynku (np. współczynnik strat ciepła przez przenikanie $\mathbf{H_{tr}}$ [W/K], zapotrzebowanie na energię końcową **EK** i pierwotną **EP** [kWh/(m^2·rok)]).

Ocena ścian zewnętrznych powinna dotyczyć nie tylko pełnej przegrody, ale także jej złączy. Niestety projektowane zmiany w rozporządzeniu [1], w zakresie ochrony cieplnej, nie precyzują wymagań w zakresie maksymalnych wartości strat ciepła przez mostki cieplne w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła **Ψ** [W/(m·K)].

Tabela 13. *Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła* **U_c** [W/(m² ·K)] ***wg*** PN-EN ISO 6946:2008 [N-1]

Rodzaj ściany zewnętrznej	**Symbol**	**Warstwy przegrody**	**d** [m]	**λ** [W/(m ·K)]	**U_c** [W/(m² ·K)]			
					x=0,36	x=0,38	x=0,40	x=0,48
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
ściany jednowarstwowe	I A	tynk gipsowy bloczek z betonu komórkowego tynk cementowo-wapienny	0,015 x 0,015	0,40 0,11 0,80	**0,29**	**0,27**	**0,26**	**0,22**
	I B	tynk gipsowy bloczek z betonu komórkowego tynk cementowo-wapienny	0,015 0,44 0,015	0,40 0,12 0,80	**0,26**			
ściany dwuwarstwowe					y=0,10	y=0,12	y=0,15	y=0,20
	II A	tynk gipsowy bloczek z betonu komórkowego styropian tynk cementowo-wapienny	0,015 0,24 y 0,015	0,40 0,20 0,04 0,80	**0,25**	**0,23**	**0,20**	**0,16**
	II B	tynk gipsowy pustak ceramiczny MAX styropian tynk cementowo-wapienny	0,015 0,288 y 0,015	0,40 0,225 0,04 0,80	**0,25**	**0,22**	**0,19**	**0,15**
	II C	tynk gipsowy cegła pełna styropian tynk cementowo-wapienny	0,015 0,25 y 0,015	0,40 0,77 0,04 0,80	**0,33**	**0,28**	**0,23**	**0,18**
	II D	tynk gipsowy bloczek wapienno-piaskowy styropian tynk cementowo-wapienny	0,015 0,24 y 0,015	0,40 0,56 0,04 0,80	**0,32**	**0,27**	**0,23**	**0,18**
	II E	tynk gipsowy bloczek z betonu komórkowego płyty z poliuretanu PIR tynk cementowo-wapienny	0,015 0,24 y 0,015	0,40 0,20 0,022 0,80	**0,17**	**0,15**	**0,12**	**0,10**
	II F	tynk gipsowy bloczek z betonu komórkowego płyty z o zamkniętej strukturze komórkowej z rdzeniem uzyskiwanym z żywicy fenolowo-formaldehydowej tynk cienkowarstwowy	0,015 0,24 y 0,005	0,40 0,20 0,021 0,67	**0,16**	**0,14**	**0,12**	**0,09**
ściany trójwarstwowe	III A	tynk gipsowy bloczek z betonu komórkowego styropian bloczek z betonu komórkowego tynk cementowo-wapienny	0,015 0,24 y 0,12 0,015	0,40 0,20 0,04 0,20 0,80	**0,23**	**0,21**	**0,18**	**0,15**
	III B	tynk gipsowy pustak ceramiczny MAX styropian cegła klinkierowa	0,015 0,288 y 0,12	0,40 0,225 0,04 1,05	**0,25**	**0,22**	**0,19**	**0,16**
	III C	tynk gipsowy cegła pełna styropian cegła klinkierowa	0,015 0,25 0,15 0,12	0,40 0,77 0,04 1,05	**0,32**	**0,28**	**0,23**	**0,18**
	III D	tynk gipsowy bloczek wapienno-piaskowy styropian bloczek wapienno-piaskowy	0,015 0,24 y 0,12	0,40 0,56 0,04 0,60	**0,31**	**0,27**	**0,22**	**0,18**
	III E	tynk gipsowy cegła pełna płyty z poliuretanu PIR bloczek wapienno-piaskowy	0,015 0,25 y 0,12	0,40 0,77 0,023 1,05	**0,21**	**0,18**	**0,14**	**0,12**

c.d. Tabela 13. *Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła* **U_c** [W/(m² ·K)] *wg* PN-EN ISO 6946:2008 [N-1]

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
ściany szczelinowe	IV A	tynk gipsowy bloczek z betonu komórkowego wełna mineralna szczelina dobrze wentylowana cegła klinkierowa	0,015 0,24 y 0,04 0,12	0,40 0,20 0,04 - 1,05	**0,26**	**0,23**	**0,20**	**0,16**
	IV B	tynk gipsowy pustak ceramiczny MAX wełna mineralna szczelina dobrze wentylowana cegła klinkierowa	0,015 0,288 y 0,04 0,12	0,40 0,225 0,04 - 1,05	**0,25**	**0,22**	**0,19**	**0,16**
	IV C	tynk gipsowy cegła pełna wełna mineralna szczelina dobrze wentylowana cegła klinkierowa	0,015 0,25 y 0,04 0,12	0,40 0,77 0,04 - 1,05	**0,33**	**0,28**	**0,23**	**0,18**
	IV D	tynk gipsowy bloczek wapienno-piaskowy wełna mineralna szczelina dobrze wentylowana bloczek wapienno-piaskowy	0,015 0,24 y 0,04 0,12	0,40 0,56 0,04 - 0,60	**0,32**	**0,27**	**0,23**	**0,18**
	IV E	tynk gipsowy cegła pełna płyty z poliuretanu PIR szczelina dobrze wentylowana bloczek wapienno-piaskowy	0,015 0,25 y 0,04 0,12	0,40 0,77 0,023 - 0,60	**0,21**	**0,18**	**0,15**	**0,12**

x – grubość pustaka ściany jednowarstwowej, **y** – grubość izolacji cieplnej w ścianach warstwowych

Tabela 14. *Ocena ścian zewnętrznych murowanych w zakresie wartości maksymalnych współczynnika przenikania ciepła* **U_c** [W/(m² ·K)]

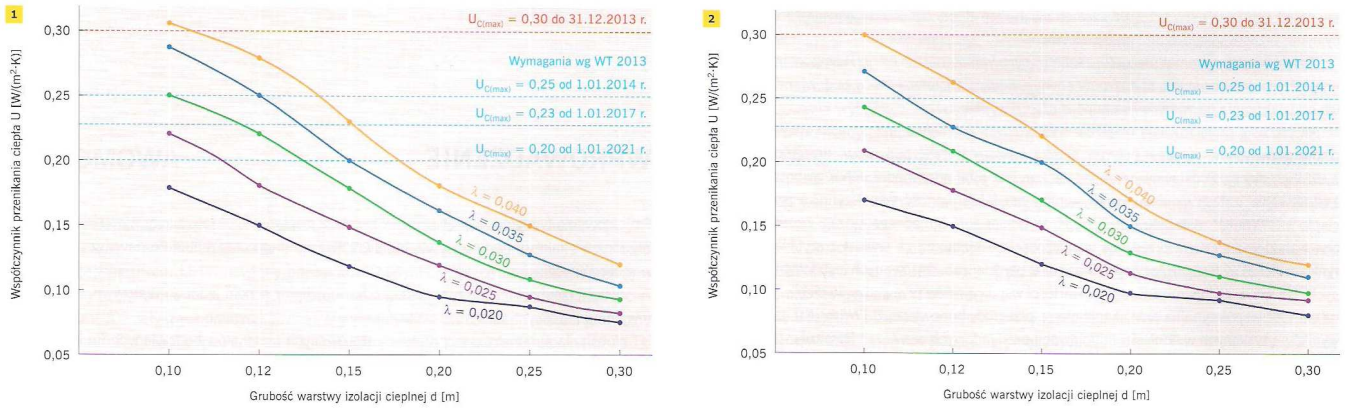
Analizowana ściana zewnętrzna		**U_c** [W/(m² ·K)]	**Wymaganie w zakresie ochrony cieplnej – współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$** [W/(m² ·K)]			
			2013 r.	2014 – 2017 r.	2017 – 2020 r.	2021 r.
			0,30	**0,25**	**0,23**	**0,20**
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
I A	x = 0,36 m	**0,29**	(+)	(-)	(-)	(-)
	x = 0,38 m	**0,27**	(+)	(-)	(-)	(-)
	x = 0,40 m	**0,26**	(+)	(-)	(-)	(-)
	x = 0,48 m	**0,22**	(+)	(+)	(+)	(-)
I B	0,44 m	**0,26**	(+)	(-)	(-)	(-)
II A	y=0,10 m	**0,25**	(+)	(+)	(-)	(-)
	y=0,12 m	**0,23**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,15 m	**0,19**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,20 m	**0,16**	(+)	(+)	(+)	(+)
II B	y=0,10 m	**0,25**	(+)	(+)	(-)	(-)
	y=0,12 m	**0,22**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,15 m	**0,19**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,20 m	**0,15**	(+)	(+)	(+)	(+)
II C	y=0,10 m	**0,33**	(-)	(-)	(-)	(-)
	y=0,12 m	**0,28**	(+)	(-)	(-)	(-)
	y=0,15 m	**0,23**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,20 m	**0,18**	(+)	(+)	(+)	(+)
II D	y=0,10 m	**0,32**	(-)	(-)	(-)	(-)
	y=0,12 m	**0,27**	(+)	(-)	(-)	(-)
	y=0,15 m	**0,23**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,20 m	**0,18**	(+)	(+)	(+)	(+)
II E	y=0,10 m	**0,17**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,12 m	**0,15**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,15 m	**0,12**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,20 m	**0,10**	(+)	(+)	(+)	(+)

c.d. Tabela 14. *Ocena ścian zewnętrznych murowanych w zakresie wartości maksymalnych współczynnika przenikania ciepła* **U_c** [W/(m² ·K)]

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
II F	y=0,10 m	**0,16**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,12 m	**0,14**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,15 m	**0,12**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,20 m	**0,09**	(+)	(+)	(+)	(+)
III A	y=0,10 m	**0,23**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,12 m	**0,21**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,15 m	**0,18**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,20 m	**0,15**	(+)	(+)	(+)	(+)
III B	y=0,10 m	**0,25**	(+)	(+)	(-)	(-)
	y=0,12 m	**0,22**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,15 m	**0,19**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,20 m	**0,16**	(+)	(+)	(+)	(+)
III C	y=0,10 m	**0,32**	(-)	(-)	(-)	(-)
	y=0,12 m	**0,28**	(+)	(-)	(-)	(-)
	y=0,15 m	**0,23**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,20 m	**0,18**	(+)	(+)	(+)	(+)
III D	y=0,10 m	**0,31**	(-)	(-)	(-)	(-)
	y=0,12 m	**0,27**	(+)	(-)	(-)	(-)
	y=0,15 m	**0,22**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,20 m	**0,18**	(+)	(+)	(+)	(+)
III E	y=0,10 m	**0,21**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,12 m	**0,18**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,15 m	**0,14**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,20 m	**0,12**	(+)	(+)	(+)	(+)
IVA	y=0,10 m	**0,26**	(+)	(-)	(-)	(-)
	y=0,12 m	**0,23**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,15 m	**0,20**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,20 m	**0,16**	(+)	(+)	(+)	(+)
IV B	y=0,10 m	**0,25**	(+)	(+)	(-)	(-)
	y=0,12 m	**0,22**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,15 m	**0,19**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,20 m	**0,16**	(+)	(+)	(+)	(+)
IV C	y=0,10 m	**0,33**	(-)	(-)	(-)	(-)
	y=0,12 m	**0,28**	(+)	(-)	(-)	(-)
	y=0,15 m	**0,23**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,20 m	**0,18**	(+)	(+)	(+)	(+)
IV D	y=0,10 m	**0,32**	(-)	(-)	(-)	(-)
	y=0,12 m	**0,27**	(+)	(-)	(-)	(-)
	y=0,15 m	**0,23**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,20 m	**0,18**	(+)	(+)	(+)	(+)
IV E	y=0,10 m	**0,21**	(+)	(+)	(+)	(-)
	y=0,12 m	**0,18**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,15 m	**0,15**	(+)	(+)	(+)	(+)
	y=0,20 m	**0,12**	(+)	(+)	(+)	(+)

(+) – spełnione kryterium $U_c \leq U_{c(max)}$, (-) – niespełnione kryterium $U_c \leq U_{max}$

Na rysunku 9 przedstawiono wpływ wartości współczynnika przewodzenia ciepła **λ** [W/(m ·K)] materiału termoizolacyjnego na wartość współczynnika przenikania ciepła **U** [W/(m² ·K)].



Rysunek 9. *Wpływ współczynnika przewodzenia ciepła materiału termoizolacyjnego na wartość współczynnika przenikania ciepła* **U** [W/(m² ·K)], **(1)** – w odniesieniu do ściany dwuwarstwowej, **(2)** – w odniesieniu do ściany trójwarstwowej – opracowanie własne [4]

- **Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego według wymagań „W.T. – 2013"** [1] **oraz metody prezentowanej w PN-EN ISO 13788:2003** [N-2]

Sprawdzenie ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych w miejscu mostka cieplnego.

Do analizy wybrano trzy złącza ściany zewnętrznej dwuwarstwowej (beton komórkowy 24 cm, styropian 15 cm):

- połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże,
- połączenie ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec,
- połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie.

Sprawdzenie ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych w miejscu mostka cieplnego przeprowadza się porównując wartość obliczeniową czynnika temperaturowego $f_{Rsi(obl.)}$ w miejscu mostka cieplnego z wartością graniczną (krytyczną) $f_{Rsi(kryt.)}$. Jeżeli spełniona jest nierówność $f_{Rsi(obl.)} \geq f_{Rsi(kryt.)}$ – nie występuje ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych na wewnętrznej powierzchni przegrody.

Czynnik temperaturowy (w miejscu mostka cieplnego), $f_{Rsi(obl)}$ określa się wg wzoru:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

gdzie:

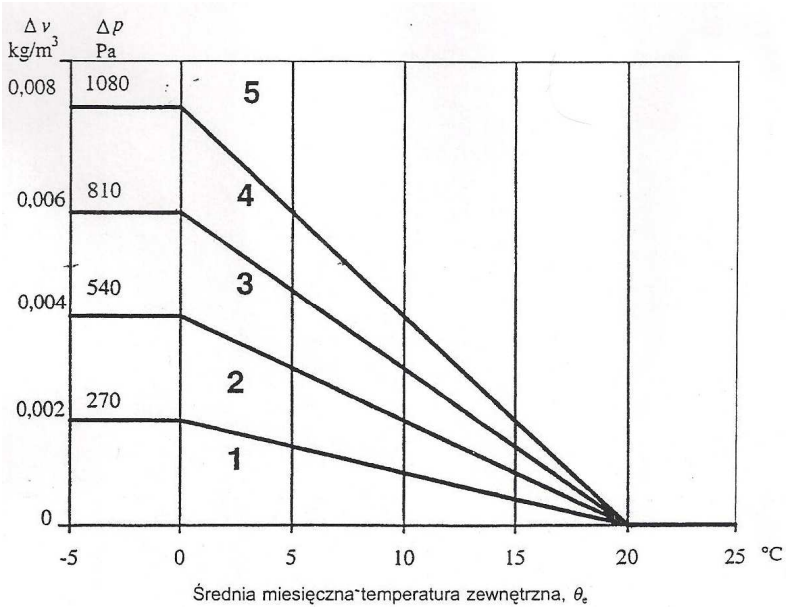
$\theta_{si,min.}$ – *temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody mostka cieplnego*, [°C],

θ_e – *temperatura powietrza zewnętrznego*, [°C],

θ_i – *temperatura powietrza wewnętrznego*, [°C].

Czynnik temperaturowy krytyczny $f_{Rsi(kryt.)}$ można określić:

- w sposób uproszczony dla t_i = 20°C, φ= 50%, $f_{Rsi(kryt.)}$ **= 0,72;**
- w sposób dokładny z uwzględnieniem położenia budynku, parametrów powietrza wewnętrznego, wg następującej procedury:
  a) określenie parametrów powietrza zewnętrznego: wartości średnich miesięcznych temperatur powietrza zewnętrznego θ_e oraz wilgotności powietrza zewnętrznego φ_e,
  b) określenie ciśnienia $p_{ni}(\theta_e)$ na podstawie średnich miesięcznych temperatur θ_e (przy zastosowaniu *Tablicy Ciśnienie cząstkowe pary wodnej nasyconej p_{sat} w powietrzu w funkcji temperatury)*,
  c) określenie ciśnienia powietrza zewnętrznego: $p_e = p_{ni}(\theta_e) \cdot \varphi_e$,
  d) określenie nadwyżki ciśnienia zgodnie z oczekiwanym sposobem eksploatacji budynku **Δp** na podstawie klas wilgotności oraz temperatury powietrza zewnętrznego, przyjmowanej na podstawie tabeli 15 oraz rysunku 10 wg PN-EN ISO 13788:2003 [N-2], (do obliczeń przyjęto 3 klasę wilgotności – mieszkania mało zamieszkane); można przyjąć wilgotność względną powietrza wewnętrznego jako wartość stała, ale tylko wtedy, gdy jest ona utrzymywana na stałym poziomie, np. klimatyzacja,



Rysunek 10. *Zmiana klas wilgotności wewnętrznej w zależności o temperatury wg* PN-EN ISO 13788:2003 [N-2]

Tabela 15. *Klasy wilgotności wewnętrznej na podstawie* [N-2]

Klasa wilgotności	Budynek
1	Powierzchnia magazynowa
2	Biura, sklepy
3	Mieszkania mało zagęszczone
4	Mieszkania mało zagęszczone, hale sportowe, kuchnie, stołówki; budynki ogrzewane grzejnikami gazowymi bez przewodów spalinowych
5	Budynki specjalne, np. pralnia, browar, basen kąpielowy

e) określenie ciśnienia powietrza wewnętrznego: $p_i = p_e + 1{,}1 \cdot \Delta p$,

f) określenie ciśnienia: $p_{sat}(\theta_{si}) = pi/0{,}8$ (aby uniknąć rozwoju pleśni, wilgotność względna na powierzchni nie powinna przekraczać wartości 0,8),

g) określenie temperatury $\theta_{si,min.}$ na podstawie ciśnienia p_{sat} (przy zastosowaniu *Tablicy Ciśnienie cząstkowe pary wodnej nasyconej p_{sat} w powietrzu w funkcji temperatury),*

h) określenie temperatury powietrza wewnętrznego θ_i,

i) określenie czynników temperaturowych f_{RSi} dla każdego miesiąca roku,

j) określenie wartości maksymalna z 12 miesięcy; dla Warszawy wynosi $f_{Rsi(kryt.)}$ **0,789** dla miesiąca grudnia; oznacza to, że w każdym miesiącu roku i dla każdych innych wartości temperatur brzegowych, dla uniknięcia rozwoju pleśni f_{Rsi} powinien być większy od **0,789**.

Wyniki obliczeń czynnika temperaturowego granicznego (krytycznego) $f_{Rsi(kryt.)}$ dla Warszawy, według procedury PN-EN ISO 13788:2003 [N-2] zestawiono w tabeli 16.

Tabela 16. *Wyznaczenie granicznej wartości czynnika temperaturowego f_{Rsi} dla Warszawy*

Miesiąc	θ_e [°C]	φ_e [%]	$p_{ni}(\theta_e)$ [hPa]	p_e [hPa]	Δp [hPa]	p_i [hPa]	$p_{sat}(\theta_{si})$ [hPa]	$\theta_{si,min}$ [°C]	θ_i [°C]	f_{Rsi} [-]
I	-5,9	88	3,72	3,27	8,10	12,18	15,23	13,2	20	0,737
II	-1,8	91	5,27	4,80	8,10	13,71	17,14	15,1		0,775
III	-0,4	79	5,92	4,68	8,10	13,59	16,99	14,9		0,750
IV	6,6	77	9,75	7,51	5,43	13,48	16,85	14,8		0,612
V	9,9	67	12,18	8,16	4,09	12,66	15,82	13,9		0,386
VI	15,6	81	17,73	14,36	1,78	16,32	20,40	17,8		0,500
VII	16,6	84	18,89	15,87	1,38	17,39	21,74	18,8		0,647
VIII	16,5	80	18,78	15,02	1,42	16,58	20,73	18,1		0,457
IX	12,6	85	14,60	12,41	2,00	15,71	19,64	17,2		0,622
X	8,4	87	11,03	9,60	4,70	14,77	18,46	16,2		0,672
XI	1,5	84	6,82	5,73	7,49	13,97	17,46	15,4		0,751
XII	-0,4	90	5,92	5,33	8,10	14,24	17,80	15,7		**0,789**

Wartość graniczną (krytyczną) czynnika temperaturowego $f_{Rsi(kryt.)}$ powinno obliczać się uwzględniając zmienne warunki powietrza zewnętrznego (położenie budynku) oraz powietrza wewnętrznego (w zależności od klasy wilgotności pomieszczeń). Dla województwa kujawsko-pomorskiego dla 3 klasy wilgotności wynosi $(f_{Rsi})_{max.}$ **0,778**

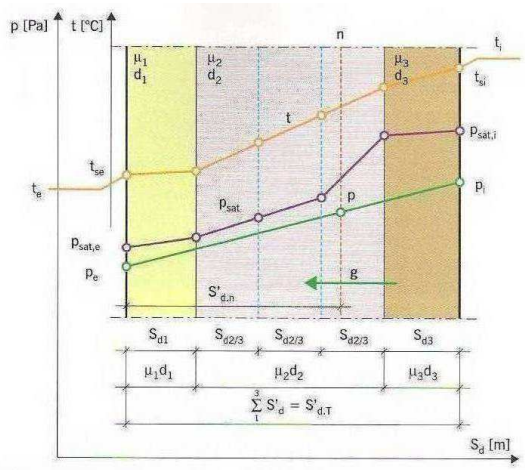
W tabeli 17 zestawiono wyniki analizy sprawdzenia występowania kondensacji powierzchniowej (ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych). Wartości temperatur minimalnych w wybranych mostkach cieplnych przyjęto na podstawie kart katalogowych prezentowanych w [4].

Tabela 17. *Sprawdzenie ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych w miejscu mostka cieplnego*

Mostek cieplny	Karta katalogowa	$\theta_{si,min}$ [°C]	$f_{Rsi(obl.)}$ [-]	$f_{Rsi(kryt.)}$ [-]	ocena
połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże	**ON-BK**	12,75	0,818	0,789 (0,778)	+
połączenie ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec	**ST-BK**	17,74	0,944		+
połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie	**PG-BK**	14,34	0,859		+
+ brak ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych					

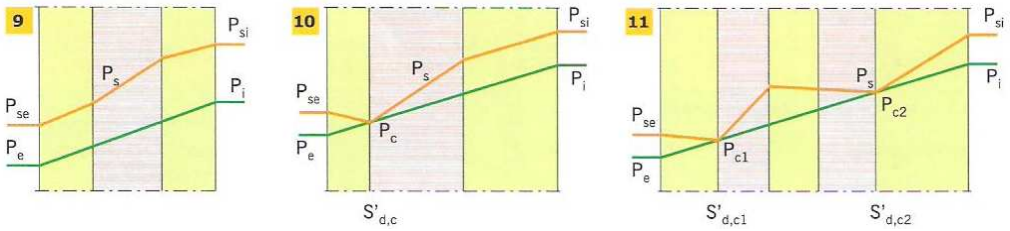
W zakresie sprawdzenia ryzyka kondensacji międzywarstwowej należy przeprowadzić obliczenia i analizy dla 12 miesięcy w roku z uwzględnieniem szczegółowych parametrów powietrza wewnętrznego pomieszczenia oraz otaczającego powietrza zewnętrznego wg PN-EN ISO 13788:2003 [N-2]. Procedura obliczeniowa obejmuje następujące etapy:

- ustalenie parametrów technicznych materiałów występujących w przegrodzie: współczynnik przewodzenia ciepła **λ** [W/(m·K)], współczynnik oporu dyfuzyjnego materiału **μ** [-], dyfuzyjnie równoważna warstwa powietrza $s_d = \mu \cdot d$ [m], opór cieplny warstw przegrody **R** [(m²·K)/W] (w przypadku, gdy opór cieplny warstwy przegrody przekracza wartość **R > 0,25** (m²·K)/W należy podzielić taką warstwę na pojedyncze mniejsze, aby **R < 0,25** (m²·K)/W),
- przyjęcie warunków brzegowych powietrza wewnętrznego: temperatura powietrza wewnętrznego t_i [°C] w zależności od przeznaczenia pomieszczenia, opór przejmowania ciepła R_{si} **= 0,13** (m²·K)/W) dla ram i oszkleń oraz R_{si} **= 0,25** (m²·K)/W) w pozostałych przypadkach, temperatura powietrza zewnętrznego t_e [°C] jako średnie miesięczne temperatury dla danej lokalizacji budynku, opór przejmowania ciepła R_{se} **= 0,04** (m²·K)/W),
- określenie rozkładu temperatury na stykach warstw materiałowych analizowanej przegrody,
- określenie wartości ciśnienia pary wodnej nasyconej ($p_{sat.}$) na stykach warstw materiałowych (na podstawie określonych temperatur na stykach warstw materiałowych),
- określenie wartości rzeczywistego ciśnienia pary wodnej (**p**) po uwzględnieniu wilgotności powietrza wewnętrznego (określenie **Δp** w zależności od klasy wilgotności pomieszczenia i t_e) i wilgotności powietrza zewnętrznego w poszczególnych miesiącach,
- zestawienie wyników obliczeń dla poszczególnych miesięcy w roku na wykresie (przykładowy rysunek 11),



Rysunek 11. *Parametry charakterystyczne przegrody w zakresie oceny ryzyka kondensacji międzywarstwowej* – źródło [3], [8]

- ocena ryzyka występowania kondensacji międzywarstwowej na podsatwie wykresów ($p_{sat.}$) i (**p**) – rysunek 12.



Rysunek 12. *Ocena ryzyka kondensacji międzywarstwowej w przegrodzie*

(9) - ryzyko nie występuje (wykresy nie przecinają się), **(10)**, **(11)** - ryzyko kondensacji występuje (wykresy przecinają się) – źródło [3], [8]

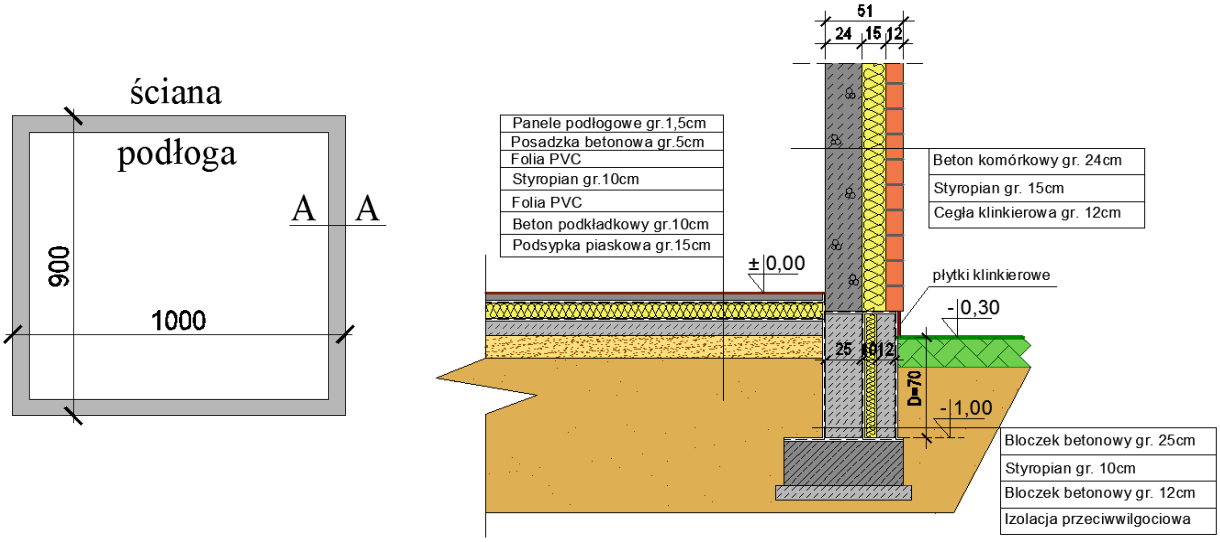
- **Analiza cieplno-wilgotnościowa przegród stykających się z gruntem według PN-EN ISO 13370:2008** [N-3] **i PN-EN ISO 10211:2008** [N-4]

Określenie parametrów cieplno-wilgotnościowych przegród stykających się z gruntem (rysunek 13). W ramach obliczeń określono następujące parametry:

- współczynnik przenikania ciepła **U** [W/(m² ·K)] podłogi na gruncie wg PN-EN ISO 13370:2008 [N-3],
- liniowy współczynnik przenikania ciepła **Ψ** [W/(m ·K)] dla złącza przegród stykających się z gruntem przy zastosowaniu programu komputerowego,
- czynnik temperaturowy $\mathbf{f_{Rsi}}$ [-] w miejscu mostka cieplnego.

W pierwszym etapie przeprowadzono obliczenia współczynnika przenikania ciepła **U** [W/(m² ·K)] wg PN-EN ISO 13370:2008 [N-3]. Przyjęto następujące założenia:

- budynek jednorodzinny – rzut ścian parteru budynku (rysunek 3),
- płyta podłogowa izolowana – styropianem gr. 10 cm o λ = 0,04 [W/(m ·K)],
- ściana zewnętrzna parteru trójwarstwowa: beton komórkowy 24 cm, styropian 15 cm, cegła klinkierowa 12 cm
- izolacja krawędziowa pionowa grubości d_n = 10 cm, z polistyrenu ekstrudowanego o λ_n = 0,035 [W/(m ·K)],
- budynek posadowiony na piasku zwykłym.



Rysunek 13. *Geometria przegrody stykającej się z gruntem* – opracowanie własne [8]

1. Określenie wymiaru charakterystycznego podłogi na gruncie B′

Wymiar charakterystyczny podłogi wprowadza się w celu uwzględnienia trójwymiarowej natury strumienia ciepła w obrębie gruntu; określa się wg wzoru:

$$B' = \frac{A}{0{,}5 \cdot P}$$

gdzie:

A – *pole powierzchni podłogi*, [m²]

P – *obwód podłogi*, [m].

- **A** = 9 ·10= 90 m², P = 2 ·10 + 2 ·9 = 38 m → $B' = \frac{A}{0{,}5 \cdot P} = \frac{90}{0{,}5 \cdot 38} = 4{,}74$ m

2. Określenie grubości ekwiwalentnej d_t

Koncepcja grubości ekwiwalentnej została wprowadzona w celu uproszczenia wyrażenia współczynnika przenikania ciepła. Opór cieplny jest reprezentowany przez jego grubość ekwiwalentną, będącą grubością gruntu, która ma ten sam opór cieplny. Grubość ekwiwalentna podłogi na gruncie określono wg wzoru:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se})$$

gdzie:

w – *całkowita grubość ścian, łącznie ze wszystkimi warstwami,* [m],

λ – *współczynnik przewodzenia ciepła gruntu* – tablica 1 PN-EN ISO 13370:2008 [N-3], [W/(m·K)],

R_f – *opór cieplny płyty podłogi, łącznie z każdą warstwą izolacyjną na całej powierzchni powyżej lub poniżej płyty podłogi i każdym pokryciem podłogi* [(m²·K)/W]; opór cieplny płyt z ciężkiego betonu i cienkich pokryć podłogi można pominąć; zakłada się, że chudy beton poniżej płyty ma taki sam współczynnik przewodzenia ciepła jak grunt i zaleca się jego pominięcie

R_{si} – *opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody* wg tabeli 1 PN-EN ISO 6946:2008 [N-1]; R_{si} = 0,17 (m²·K)/W – kierunek przepływu ciepła w dół

R_{se} – *opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody* wg tabeli 1 PN-EN ISO 6946:2008 [N-1]; R_{si} = 0 (m²·K)/W

Układ warstw podłogi na gruncie (rysunek 13):

- **panele podłogowe 1,5cm, λ = 0,18 W/(m·K)**
- posadzka betonowa 5 cm, λ = 1,0 W/(m·K)
- folia budowlana
- **styropian 10 cm, λ = 0,04 W/(m·K)**
- folia budowlana
- beton podkładowy 10 cm
- ubity grunt (podsypka piaskowa) 15 cm

- grubość ściany w = 0,51 m
- grunt piasek zwykły **λ** = 2,0 W/(m·K) – tablica 1 PN-EN ISO 13370:2008 [N-2]
- do obliczeń opór cieplnego **R_f** – uwzględniono deski drewniane, styropian) $R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \rightarrow R_f = \frac{0{,}015}{0{,}18} + \frac{0{,}10}{0{,}04} = 2{,}58$ (m²·K)/W
- grubość ekwiwalentna podłogi $d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se})$ = 0,51 + 2,0 (0,17 + 2,58 +0) = **6,01 m**

3. Określenie współczynnika przenikania ciepła U

Obliczenie współczynnika przenikania ciepła U zależy od izolacji cieplnej podłogi:

- jeżeli d_t < B′ (podłogi nieizolowane lub podłogi średnio izolowane) →

$$U = \frac{2\lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1\right) [W/(m^2 \cdot K)]$$

- jeżeli $d_t \geq B'$ (podłogi dobrze izolowane) → $U = \frac{\lambda}{0{,}457 \cdot B' + d_t}$ [W/(m²·K)]
- **d_t** = 6,01 m; **B′** = 4,74 m → **d_t > B′** podłoga dobrze izolowana
- współczynnik przenikania ciepła **U** → $U = \frac{\lambda}{0{,}457 \cdot B' + d_t} = \frac{2{,}00}{0{,}457 \cdot 4{,}74 + 6{,}01}$ = 0,24 [W/(m²·K)]

4. Uwzględnienie wpływu izolacji krawędziowej wg załącznika B PN-EN ISO 13370:2008 [N-3]

Izolacja krawędziowa (rysunek 6) może występować w postaci: izolacji poziomej, pionowej lub jako fundament o małej gęstości.

W przykładzie obliczeniowym zaprojektowano **pionową izolację krawędziową grubości 10 cm** jako **styropian** o współczynniku **λ = 0,035** W/(m·K).

- dodatkowa grubość ekwiwalentna wynikająca z izolacji krawędziowej: $d' = R' \cdot \lambda$

R′ – *dodatkowy opór cieplny wprowadzony przez izolację krawędziową (lub fundament) tzn. zastępuje ją różnica między oporem cieplnym izolacji krawędziowej i oporem cieplnym podłoża (lub płyty)*

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda}$$

gdzie:

R_n – *opór cieplny poziomej lub pionowej izolacji krawędziowej (lub fundamentu),* (m²·K)/W

d_n – *grubość izolacji krawędziowej (lub fundamentu),* m

- $R_n = \frac{d_n}{\lambda_n}$ = (opór cieplny styropianu gr. 10 cm)= $\frac{0{,}10}{0{,}035}$ = 2,86 (m²·K)/W
- $R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} = 2{,}86 - \frac{0{,}10}{2{,}00}$ = 2,81 (m²·K)/W

- $d' = R' \cdot \lambda$ = 2,81 ·2,00 = 5,62 m

- uwzględnienie izolacji krawędziowej (poniżej gruntu wzdłuż obwodu podłogi)

$$\boxed{\Psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi}\left[\ln\left(\frac{2D}{d_t}+1\right)-\ln\left(\frac{2D}{d_t+d'}+1\right)\right]}\ [W/(m\cdot K)]$$

D – *szerokość pionowej izolacji krawędziowej (lub fundamentu) poniżej poziomu gruntu*, m
d′ – *dodatkowa grubość ekwiwalentna*, m
- **D** = 0,7 m; **d′** = 5,62 m; $\mathbf{d_t}$ = 3,51 m; **λ** = 2,0 W/(m·K)

$$\Psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi}\left[\ln\left(\frac{2D}{d_t}+1\right)-\ln\left(\frac{2D}{d_t+d'}+1\right)\right] = -\frac{2{,}00}{3{,}14}\left[\ln\left(\frac{2\cdot 0{,}7}{6{,}02}+1\right)-\ln\left(\frac{2\cdot 0{,}7}{6{,}02+5{,}62}+1\right)\right] = -0{,}06\ W/(m\cdot K)$$

- uwzględnienie izolacji krawędziowej do obliczeń współczynnika przenikania ciepła U

$$\boxed{U = U + \frac{2\cdot\Psi_{g,e}}{B'}}\ [W/(m^2\cdot K)]$$

$$U = 0{,}24 + \frac{2\cdot(-0{,}06)}{4{,}74} = 0{,}21\ [W/(m^2\cdot K)]$$

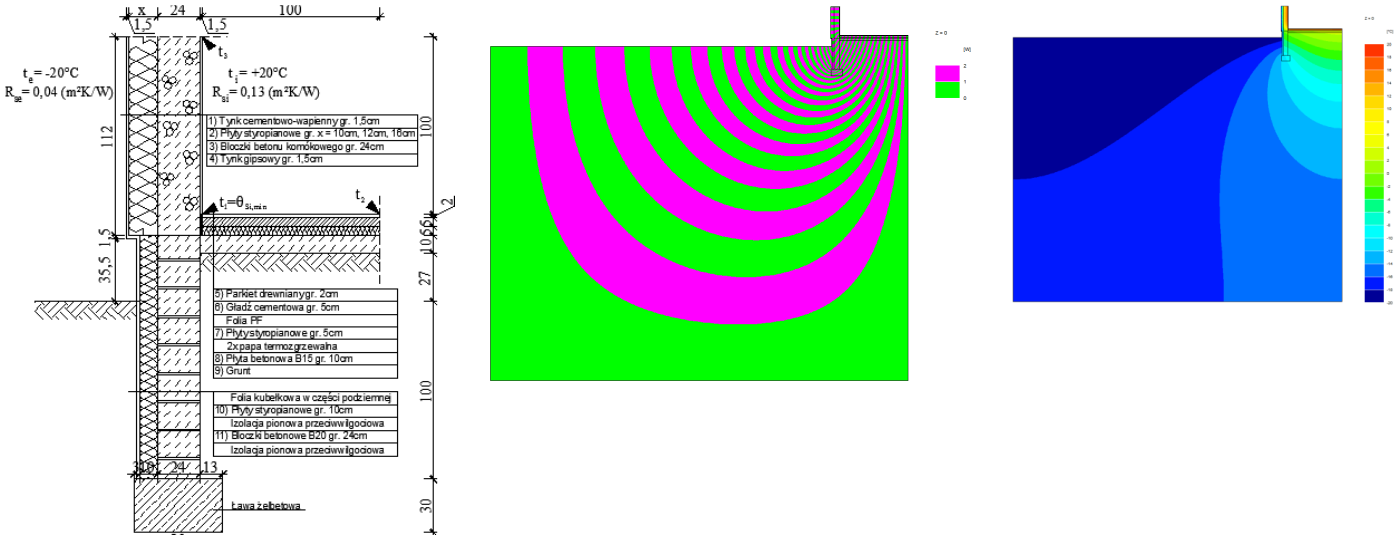
5. Współczynnik przenoszenia ciepła przez grunt w stanie ustalonym między środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym H_g [W/K]

$\boxed{H_g = (A\cdot U) + P\cdot(\Psi_g + \Psi_{g,e})}$ = (90 ·0,24) + 38(0,839 +(-0,06)) = 21,60 + 29,60 = **51,20** W/K

Ψ$_g$ – *liniowy współczynnik przenikania ciepła na styku ściana zewnętrzna – ściana fundamentowa*, przyjęto na podstawie obliczeń własnych **Ψ**$_g$ = 0,839 W/(m·K)

Analizowana przegroda spełnia wymagania wg rozporządzenia W.T. 2013 [1], w zakresie współczynnika przenikania ciepła **U < U**$_{c(max)}$ **= 0,3** W/(m^2·K) oraz oporu cieplnego izolacji cieplnej **R = 2,86** (m^2·K)/W > **R**$_{min.}$ **= 2,0** (m^2·K)/W.

Poniżej przedstawiono charakterystykę parametrów cieplno-wilgotnościowych przegród stykających się z gruntem. Obliczenia przeprowadzono zgodnie z procedurami przedstawionymi w PN-EN ISO 10211:2008 [N-4], opisanymi szczegółowo m.in. w [3] i [4]. Analiza numeryczna, przy zastosowaniu programu komputerowego, polega na określeniu strat ciepła przez złącze oraz rozkładu temperatur (rysunek 14).



a) model obliczeniowy b) linie strumieni cieplnych – adiabaty c) rozkład temperatur – izotermy

Rysunek 14. *Wyniki symulacji komputerowej złącza przegród stykających się z gruntem*

W tabeli 18 zestawiono wyniki obliczeń parametrów cieplno-wilgotnościowych złącza przegród stykających się z gruntem (w trzech przypadkach – zróżnicowana grubość izolacji cieplnej ściany zewnętrznej: 10cm, 12 cm, 16 cm)) przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO.

Tabela 18. *Wyniki obliczeń parametrów cieplno-wilgotnościowych złącza przegród stykających się z gruntem*

Karta katalogowa: POŁĄCZENIE ŚCIANY ZEWNĘTRZNEJ Z PODŁOGĄ NA GRUNCIE

Lp.	Układ warstw węzła	d_i [m]	λ_i [W/(m·K)]
1	Tynk cementowo-wapienny	0,015	1,00
2	Styropian EPS-70	x)	0,04
3	Bloczki betonu komórkowego	0,24	0,21
4	Tynk gipsowy	0,015	0,40
5	Parkiet drewniany	0,02	0,16
6	Gładź cementowa	0,05	1,00
7	Płyty styropianowe	0,05	0,04
8	Płyta betonowa B15	0,10	1,65
9	Grunt	-	2,00
10	Płyty styropianowe	0,10	0,04
11	Bloczki betonowe B20	0,24	1,65
12	Ława żelbetowa	0,30	2,5

x) Wyniki parametrów dla d_2=0,10m, d_2=0,12m i d_2=0,15cm

Parametry cieplne węzła				
d_2	[m]	**0,10**	**0,12**	**0,15**
U_s	[W/(m²·K)]	0,259	0,229	0,195
U_g	[W/(m²·K)]	0,280	0,280	0,279
$\Psi_{i,s}$	[W/(m·K)]	0,066	0,083	0,103
Ψ_g	[W/(m·K)]	0,841	0,839	0,837
Ψ_i	[W/(m·K)]	0,907	0,921	0,939
$\Psi_{e,s}$	[W/(m·K)]	0,034	0,055	0,079
Ψ_e	[W/(m·K)]	0,875	0,894	0,916
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury charakterystyczne przy: te=-20°C, ti=20°C)				
t_1	[°C]	14,05	14,20	14,34
t_2	[°C]	17,48	17,48	17,48
t_3	[°C]	17,49	17,77	18,09
Ocena ryzyka rozwoju pleśni wg PN-EN ISO 13788:2003				
$\theta_{si,min.}$	[°C]	14,05	14,20	14,34
f_{Rsi}	[-]	0,851	0,855	0,859

U_s – *współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej* [W/(m²·K)]
U_g – *współczynnik przenikania ciepła podłogi na gruncie* [W/(m²·K)]
$\Psi_{i,s}$ – *liniowy współczynnik przenikania ciepła według wymiarów wewnętrznych części ściany zewnętrznej* [W/(m·K)]
Ψ_g – *liniowy współczynnik przenikania ciepła części podłogi na gruncie* [W/(m·K)]
Ψ_i – *linowy współczynnik przenikania ciepła według wymiarów wewnętrznych dla całego złącza* [W/(m·K)]
$\Psi_{e,s}$ – *liniowy współczynnik przenikania ciepła według wymiarów zewnętrznych części ściany zewnętrznej* [W/(m·K)]
Ψ_e – *linowy współczynnik przenikania ciepła według wymiarów zewnętrznych dla całego złącza* [W/(m·K)]
t_1, t_2, t_3 – *temperatury na wewnętrznej powierzchni złącza w miejscach charakterystycznych* [°C]
$\theta_{si,min.}$ – *temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni złącza* [°C]
f_{Rsi} – *czynnik temperaturowy* [-]

Na podstawie wartości czynnika temperaturowego f_{Rsi} można stwierdzić, że w analizowanym złączu (tabela 14) nie występuje ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych. We wszystkich analizowanych złączach zachowany jest warunek uniknięcia kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody (ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych) $f_{Rsi} \geq f_{Rsi(kryt.)}$. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego, uwzględniając parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych, wynosi $f_{Rsi(kryt.)}$ = **0,778**.

- **Określenie współczynnika przenikania ciepła stropu nad przejazdem (lub pomieszczeniem nieogrzewanym)**

Do analizy wytypowano trzy podstawowe rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe powszechnie stosowane w praktyce inżynierskiej:
- strop nad pomieszczeniem nieogrzewanym (np. garaż) ocieplony od stropy pomieszczenia ogrzewanego – **wariant I** (tabela 19),
- strop nad pomieszczeniem nieogrzewanym (np. garaż) ocieplony od stropy pomieszczenia ogrzewanego oraz pomieszczenia nieogrzewanego – **wariant II** (tabel 20),
- strop nad przejazdem ocieplony dwustronnie – **wariant III** (tabela 21).

Tabela 19. *Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła* U_c [W/(m² ·K)] *stropu nad pomieszczeniem nieogrzewanym* – wariant I

l.p.	Warstwy przegrody	**d** [m]	**λ** [W/(m ·K)]	**R** [(m² ·K)/W]
1	powietrze wewnętrzne (pomieszczenie ogrzewane)			0,17
2	parkiet drewniany	0,02	0,18	0,11
3	gładź wyrównawcza	0,03	1,00	0,03
4	płyty styropianowe	0,10	0,035	2,86
5	strop Filigran	0,20	2,00	0,10
6	tynk cementowo-wapienny	0,015	0,80	0,02
7	powietrze zewnętrzne (pomieszczenie nieogrzewane)			0,04
	$R_T = R_{si} + R_n + R_{se}$ [(m² ·K)/W]			3,33
	$U = \frac{1}{R_T}$ [W/(m² ·K)]			0,30
	U_c [W/(m² ·K)]			0,30

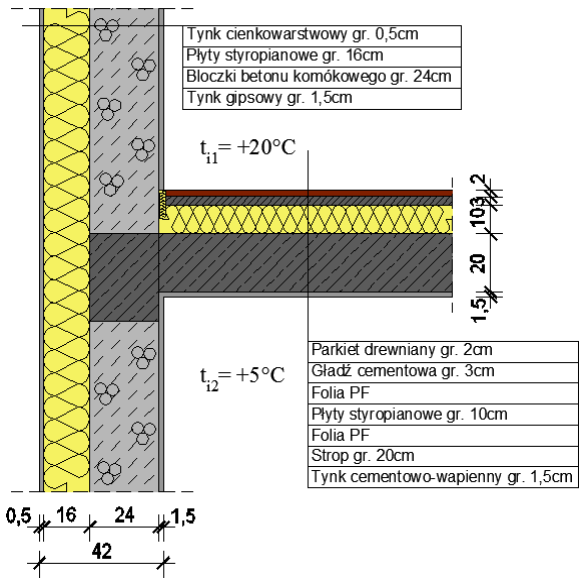


Tabela 20. *Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła* U_c [W/(m² ·K)] *stropu nad pomieszczeniem nieogrzewanym* – wariant II

l.p.	Warstwy przegrody	**d** [m]	**λ** [W/(m ·K)]	**R** [(m² ·K)/W]
1	powietrze wewnętrzne (pomieszczenie ogrzewane)			0,17
2	parkiet drewniany	0,02	0,18	0,11
3	gładź wyrównawcza	0,03	1,00	0,03
4	płyty styropianowe	0,10	0,035	2,86
5	strop Filigran	0,20	2,00	0,10
6	płyty z wełny mineralnej (sztywna, wodoodporna)	0,10	0,035	2,86
7	tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,01
8	powietrze zewnętrzne (pomieszczenie nieogrzewane)			0,04
	$R_T = R_{si} + R_n + R_{se}$ [(m² ·K)/W]			6,18
	$U = \frac{1}{R_T}$ [W/(m² ·K)]			0,16
	U_c [W/(m² ·K)]			0,16

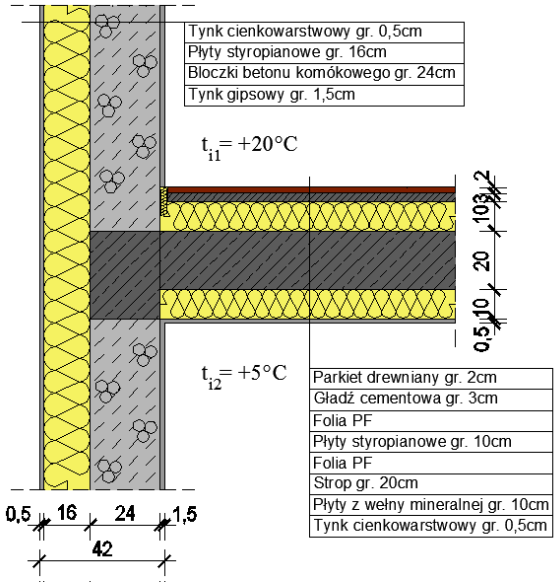
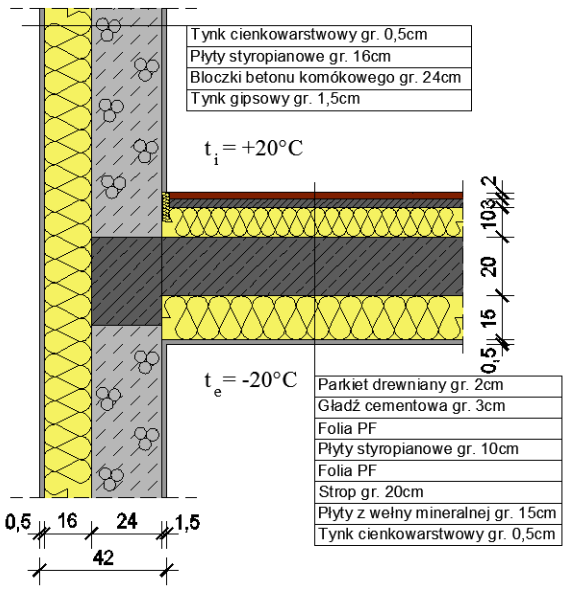


Tabela 21. *Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła* U_c [W/(m² ·K)] *stropu nad przejazdami* – wariant III

l.p.	Warstwy przegrody	**d** [m]	**λ** [W/(m ·K)]	**R** [(m² ·K)/W]
1	powietrze wewnętrzne (pomieszczenie ogrzewane)			0,17
2	parkiet drewniany	0,02	0,18	0,11
3	gładź wyrównawcza	0,03	1,00	0,03
4	płyty styropianowe	0,10	0,035	2,86
5	strop Filigran	0,20	2,00	0,10
6	płyty z wełny mineralnej (sztywna, wodoodporna)	0,15	0,035	4,29
7	tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,01
8	powietrze zewnętrzne (pomieszczenie nieogrzewane)			0,04
	$R_T = R_{si} + R_n + R_{se}$ [(m² ·K)/W]			7,61
	$U = \frac{1}{R_T}$ [W/(m² ·K)]			0,13
	U_c [W/(m² ·K)]			0,13



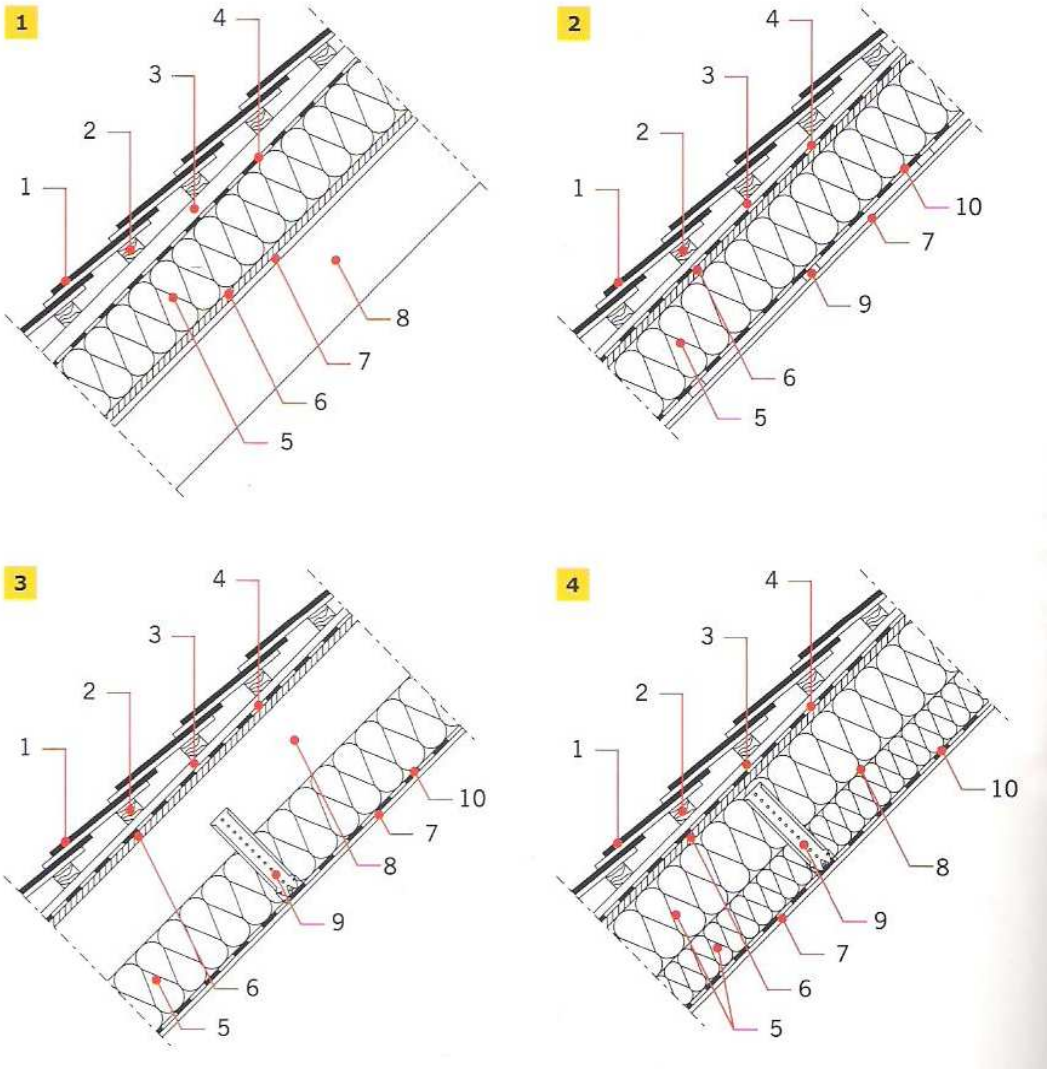
Na podstawie przeprowadzonych obliczeń (tabela 15, 16, 17) istnieje możliwość oceny przegród wg wymagań cieplnych sformułowanych w rozporządzeniu W.T.-2013 [2]:

- strop nad pomieszczeniem nieogrzewanym ocieplony od strony pomieszczenia ogrzewanego (wariant I) nie spełnia podstawowego kryterium cieplnego – $\mathbf{U_c}$ = 0,30 [W/(m² ·K)] > $\mathbf{U_{c(max)}}$ = 0,25 [W/(m² ·K)],
- wprowadzenie dodatkowej warstwy izolacji cieplnej (płyty z sztywnej i wodoodpornej wełny mineralnej gr. 10 cm) – wariant II, powoduje obniżenie wartości współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_c}$ = 0,16 [W/(m² ·K)], spełniając podstawowe kryterium izolacyjności cieplnej $\mathbf{U_c} < \mathbf{U_{c(max)}}$,
- analizowany strop nad przejazdem – wariant III spełnia podstawowe kryterium cieplne:

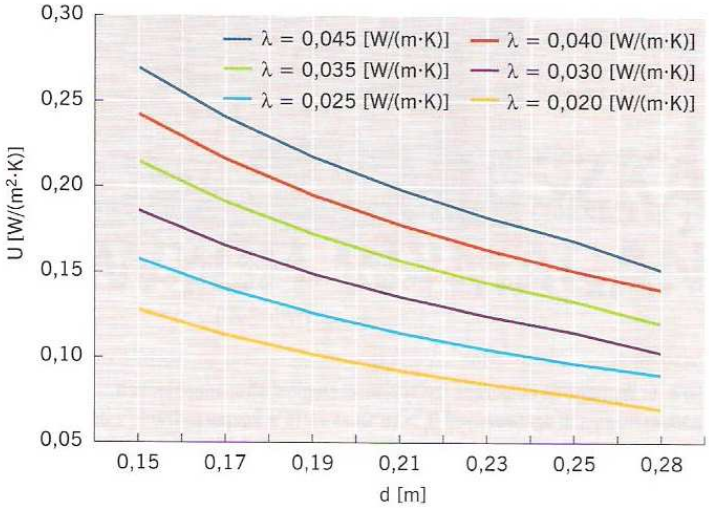
$\mathbf{U_c}$ = 0,13 [W/(m² ·K)] < $\mathbf{U_{c(max)}}$ = 0,20÷0,15 [W/(m² ·K)].

➢ **Zalecenia projektowe w zakresie projektowania cieplnego stropodachów według „W.T.-2013"** [5]

W związku z obniżeniem wartości maksymalnej współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_{c(max)}}$ [W/(m^2·K)] na rysunku 15 przedstawiono rozwiązania materiałowe przykładowych stropodachów o konstrukcji drewnianej. Dobór grubości izolacji cieplnej stropodachów zależy m.in. od współczynnika przewodzenia ciepła **λ** [W/(m·K)] – rysunek 16.



Rysunek 15. *Przekroje pionowe wzdłuż krokwi przykładowych rozwiązań stropodachów z różnym umiejscowieniu izolacji termicznej:*
(1) - termoizolacja ułożona nad krokwiami, (**2**) - termoizolacja między krokwiami, (**3**) - termoizolacja mocowana do krokwi od strony wewnętrznej, (**4**) - termoizolacja mocowana między i pod krokwiami – źródło [5]
1 – pokrycie dachowe, **2** – łaty, **3** – kontrłaty (szczelina wentylacyjna), **4** – membrana wierzchniego krycia (wiatroizolacja i druga płaszczyzna odwodnienia), **5** – izolacja termiczna, **6** – poszycie dachowe, **7** – płyty gipsowo-kartonowe, **8** – krokiew dachowa, **9** – wieszak



Rysunek 16. *Zależność między grubością termoizolacji o różnej wartości współczynnika przewodzenia ciepła* **λ** [W/(m·K)] *a uzyskaną obliczeniowo wartością współczynnika przenikania ciepła* **U** [W/(m²·K)] *w odniesieniu do stropodachów szczelinowych izolowanych nad lub pod krokwiami* – źródło [5]

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
2. 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.
3. Dylla A., Praktyczna fizyka cieplna budowli- Szkoła projektowania złączy budowlanych. Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2009.
4. Pawłowski K., Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle nowych warunków technicznych dotyczących budynków WT2013. Wydanie Specjalne IZOLACJE 2/2013. Warszawa 2013.
5. Byrdy A., Izolacje termiczne stropodachów poddaszy mieszkalnych w świetle nowych wymagań cieplnych. Czasopismo IZOLACJE 10/2013
6. Pawłowski K.: Wybrane aspekty dotyczące projektowania przegród zewnętrznych w świetle nowych wymagań cieplno-wilgotnościowych, Czasopismo IZOLACJE 9/2013
7. Pawłowski K.: Projektowanie podłóg w świetle nowych wymagań cieplnych, Czasopismo IZOLACJE Budownictwo Przemysł Ekologia 1/2014
8. Pawłowski K.: Ściany zewnętrzne – kryteria wyboru rozwiązań materiałowych, Czasopismo IZOLACJE Budownictwo Przemysł Ekologia 6/2014
9. Pawłowski K.: Kształtowanie przegród stykających się z gruntem w aspekcie cieplno-wilgotnościowym, Czasopismo Techniczne 9/2012
10. Pawłowski K., Olszar P.: Analiza parametrów fizykalnych przegród budowlanych stykających się z gruntem, Czasopismo IZOLACJE Budownictwo Przemysł Ekologia 5/2011
11. Józefiak K., Metody projektowania ścian zewnętrznych w aspekcie cieplno-wilgotnościowym. Praca dyplomowa inżynierska napisana pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Pawłowskiego, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy 2011.
12. www.mir.gov.pl

Normy przedmiotowe

[N-1] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

[N-2] PN-EN ISO 13788: 2003 Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania.

[N-3] PN-EN ISO 13370:2008 Cieplne właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metoda obliczania.

[N-4] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.

[N-5] PN-EN 12207:2001 Okna i drzwi – Przepuszczalność powietrza – Klasyfikacja.

[N-6] PN-EN 13829:2002 Właściwości cieplne budynków – Określenie przepuszczalności powietrznej budynków – Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora.

[N-7] PN-EN ISO 12831:2006 Instalacje grzewcze w budynkach – Metoda obliczania obciążenia cieplnego.

[N-8] PN-B-02403:1982 Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne.