

## Fizyka Budowli – Projekt

### Obliczenie wartości współczynników przenikania ciepła $U_C$ dla przegród ograniczających ogrzewaną kubaturę budynku

Wartości współczynnika przenikania ciepła  $U_C$  ścian, dachów, stropów i stropodachów dla wszystkich rodzajów budynków, uwzględniające poprawki ze względu na pustki powietrzne w warstwie izolacji, łączniki mechaniczne przechodzące przez warstwę izolacyjną oraz opady na dach o odwróconym układzie warstw, obliczone zgodnie z Polskimi Normami dotyczącymi obliczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła oraz przenoszenia ciepła przez grunt, nie mogą być większe niż wartości  $U_{C(max)}$  [1].

$$U_C \leq U_{C(max)}$$

Patrz:

Tabela 1. Wymogi dla przegród nieprzezroczystych [1]

Tabela 2. Wymogi dla przegród przezroczystych [1]

**Tabela 1. Aktualne wymagania dla wartości  $U_{C(max)}$  dla budynków [1]**

Lp.	Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{C(max)}$ [W/(m <sup>2</sup> · K)]		
		od 1 stycznia 2014 r.	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021 r. <sup>9)</sup>
1	2	3		
1	Ściany zewnętrzne:			
	a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,25	0,23	0,20
	b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	0,45	0,45	0,45
	c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,90	0,90	0,90
2	Ściany wewnętrzne:			
	a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$ oraz oddzielające pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy	1,00	1,00	1,00
	b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
	c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	0,30	0,30	0,30
3	Ściany przyległe do szczelin dylatacyjnych o szerokości:			
	a) do 5 cm, trwale zamkniętych i wypełnionych izolacją cieplną na głębokości co najmniej 20 cm	1,00	1,00	1,00
	b) powyżej 5 cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	0,70	0,70	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 $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,20	0,18	0,15
	b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	0,30	0,30	0,30
	c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,70	0,70	0,70
6	Podłogi na gruncie:			
	a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,30	0,30	0,30
	b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	1,20	1,20	1,20
	c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	1,50	1,50	1,50
7	Stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi:			
	a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,25	0,25	0,25
	b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	0,30	0,30	0,30
	c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	1,00	1,00	1,00
8	Stropy nad ogrzewanymi pomieszczeniami podziemnymi i stropy międzykondygnacyjne:			
	a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$	1,00	1,00	1,00
	b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
	c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	0,25	0,25	0,25

Pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura, której wartość została określona w § 134 ust. 2 rozporządzenia.  
 $t_i$  – Temperatura pomieszczenia ogrzewanego zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia.  
<sup>9)</sup> Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

**Tabela 2. Wartości współczynnika przenikania ciepła U okien, drzwi balkonowych i drzwi zewnętrznych nie mogą być większe niż wartości  $U_{(max)}$  [1]**

Lp.	Okna, drzwi balkonowe i drzwi zewnętrzne	Współczynnik przenikania ciepła $U_{(max)}$ [W/(m <sup>2</sup> · K)]		
		od 1 stycznia 2014 r.	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021 r. *)
1	2	3		
1	Okna (z wyjątkiem okien połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $t_i < 16^\circ\text{C}$	1,3 1,8	1,1 1,6	0,9 1,4
2	Okna połaciowe: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $t_i < 16^\circ\text{C}$	1,5 1,8	1,3 1,6	1,1 1,4
3	Okna w ścianach wewnętrznych: a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$ b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$ 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
Pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura, której wartość została określona w § 134 ust. 2 rozporządzenia. $t_i$ – Temperatura pomieszczenia ogrzewanego zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia. *) Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.				

## Przykłady obliczenia wartości współczynników przenikania ciepła $U_C$

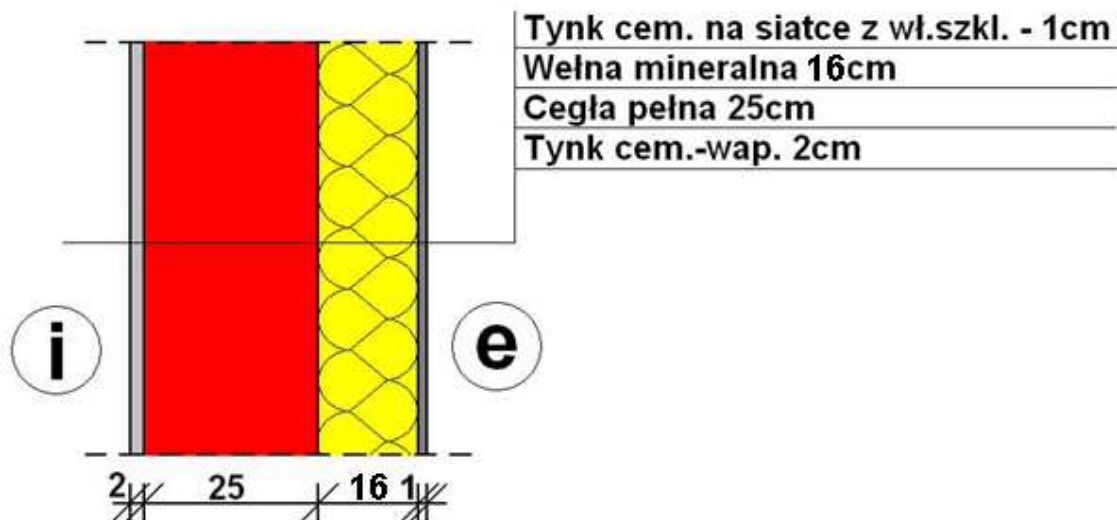
1. Ściana zewnętrzna dwuwarstwowa
2. Ściana wewnętrzna między częścią ogrzewaną a nieogrzewaną budynku
3. Połacie dachowa (przegroda niejednorodna)
4. Połacie dachowa z podbitką (przegroda niejednorodna)
5. Podłoga na gruncie (na parterze i w piwnicy)
6. Ściana w piwnicy (stykająca się z gruntem)

### Skąd wziąć współczynnik $\lambda$ ?

- Dane producenta (aprobata techniczna, certyfikat lub deklaracja zgodności dla wyrobu, strona www),
- Norma PN-EN 12524:2003 (norma wycofana, ale zawiera dane tabelaryczne dla różnych materiałów budowlanych),
- Norma PN-EN ISO 6946:1999 (norma wycofana, ale zawiera dane tabelaryczne dla różnych materiałów budowlanych).

# 1. Ściana zewnętrzna dwuwarstwowa

## 1.1. Schemat ściany zewnętrznej



Rys. 1. Schemat ściany zewnętrznej

## 1.2. Obliczenie całkowitego oporu cieplnego $R_T$ dla ściany zewnętrznej zgodnie z [2]

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Tabela 2. Obliczenie całkowitego oporu cieplnego  $R_T$  dla ściany zewnętrznej

Ściana zewnętrzna dwuwarstwowa				
Nr	Warstwa	$d_i$	$\lambda_i$	$R_i = d_i/\lambda_i$
		[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]
Środowisko wewnętrzne, ogrzewane				
-	Opór przejmowania od strony wewnętrznej, $R_{si}$	-	-	0,130
1	Tynk cementowo - wapienny	0,020	0,820	0,024
2	Cegła pełna	0,250	0,770	0,325
3	Wełna mineralna	0,160	0,036	4,444
4	Tynk cementowy na siatce z włókna szklanego	0,006	1,000	0,006
-	Opór przejmowania od strony zewnętrznej, $R_{se}$	-	-	0,040
Środowisko zewnętrzne				
$\Sigma R = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{se}$ , [m <sup>2</sup> K/W]				<b>4,970</b>

Opory cieplne zgodnie z PN-EN ISO 6946 obliczamy z dokładnością do trzech miejsc po przecinku

## 1.3. Obliczenie współczynnika przenikania ciepła $U$ zgodnie z [2]

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{4,970} = 0,201 \frac{W}{m^2 K}$$

## 1.4. Obliczenie poprawionego współczynnika przenikania ciepła $U_C$ zgodnie z [2]

$$U_C = U + \Delta U$$

1.5. Obliczenie członu korekcyjnego  $\Delta U$

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

gdzie:

$\Delta U_g$  – poprawka ze względu na pustki powietrzne (zakładamy brak pustek powietrznych tzn. szczelności), więc jest równa 0 dlatego, że warstwa izolacji jest wykonana w sposób ciągły z łączeniem na zakład),

$\Delta U_f$  – poprawka ze względu na łączniki mechaniczne (tą liczymy),

$\Delta U_r$  – poprawka ze względu na dach o odwróconym układzie warstw (nie dotyczy czyli równa 0).

1.6. Obliczenie wartości poprawki  $\Delta U_f$  zgodnie z [2]

$$\Delta U = \Delta U_f$$

gdzie:

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \left( \frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$



Rys. 2. Przyjęty łącznik mechaniczny – średnica całkowita łącznika 10 mm, średnica rdzenia ze stali ocynkowanej 8 mm, długość 200 mm, w tym 50 mm zakotwienia

- $\alpha$  – 0,8 (łącznik całkowicie przebija warstwę izolacji),
- $\lambda_f$  – 50 W/mK (dla stali),
- $A_f$  –  $5,03 \times 10^{-5} \text{ m}^2$  (dla średnicy rdzenia łącznika ze stali ocynkowanej  $\phi 8\text{mm}$ , koszulkę z polipropylenu można pominąć),
- $n_f$  – 4 szt/m<sup>2</sup> (wynika z typu, materiału rdzenia i średnicy łącznika),
- $d_0$  – 0,16 m (grubość przebijanej warstwy izolacji),
- $R_1$  – 4,444 m<sup>2</sup>K/W (opór cieplny przebijanej warstwy izolacji),
- $R_{T,h}$  – 4,970 m<sup>2</sup>K/W (opór cieplny całej przegrody).

$$\Delta U_f = 0,8 \times \frac{50 \times 5,03 \times 10^{-5} \times 4}{0,16} \times \left( \frac{4,444}{4,970} \right)^2 = 0,040 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

1.7. Podstawienie wartości  $U$  i  $\Delta U$  do wzoru na  $U_c$

$$U = 0,201 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \quad \Delta U = 0,040 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

$$U_c = U + \Delta U = 0,201 + 0,040 = 0,241 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

$$U_C = 0,24 \frac{W}{m^2 K} \leq U_{C(\max)} = 0,25 \frac{W}{m^2 K}$$

Współczynnik  $U_C$ , w celu porównania z wartością  $U_{C(\max)}$ , zaokrąglamy do dwóch miejsc po przecinku zgodnie z [2].

**Warunek spełniony. Przegroda jest poprawnie zaprojektowana pod względem aktualnych wymagań dotyczących izolacyjności cieplnej [1].**

### Uwaga!

Po pierwsze, dokładne wpasowywanie się z grubością materiału izolacyjnego tak, aby  $U_C$  przegrody było jak najbliższe wartości  $U_{C(\max)} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$  nie jest konieczne, gdyż może się okazać, że i tak trzeba będzie tą grubość zwiększyć (ze względu na wymaganą wartość wskaźnika EP, ale o tym będzie później).

Po drugie, w ścianie trójwarstwowej, warstwa licowa też jest połączona z warstwą konstrukcyjną, tylko nie łącznikami a kotwami, które spinając obie te warstwy, również przebijają warstwę izolacji. W tym wypadku, kotwy wykonuje się najczęściej ze stali gładkiej i przyjmuje się do obliczeń w ilości ok. 4 szt./m<sup>2</sup> dla średnicy 6 mm albo ok. 6 szt./m<sup>2</sup> dla średnicy pręta 4 mm (ale można zamiast stali budowlanej o  $\lambda = 50 \text{ W/mK}$  zaproponować stal nierdzewną o  $\lambda = 17 \text{ W/mK}$ ).

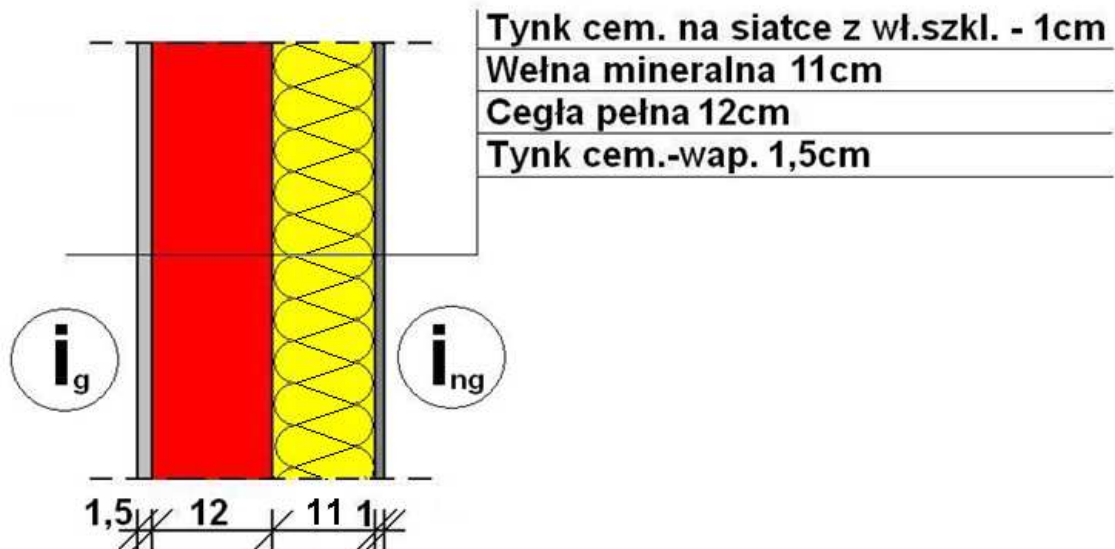
Po trzecie, można znaleźć łączniki do mocowania izolacji z rdzeniem z tworzywa sztucznego (z poliamidu modyfikowanego włóknem szklanym), Wtedy zgodnie z zapisem w normie PN-EN ISO 6946 [2], poprawki ze względu na łączniki mechaniczne nie stosuje się, jeśli współczynnik przewodzenia łącznika jest mniejszy niż 1 W/mK (dla poliamidu modyfikowanego włóknem szklanym  $\lambda = 0,30 \text{ W/mK}$ ).



**Rys. 3. Łącznik do mocowania izolacji z rdzeniem z tworzywa sztucznego**

## 2. Ściana wewnętrzna (np. między częścią ogrzewaną piwnicy a nieogrzewaną)

### 2.1. Schemat ściany wewnętrznej



Rys. 3. Schemat ściany wewnętrznej

### 2.2. Obliczenie całkowitego oporu cieplnego $R_T$ dla ściany wewnętrznej

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Tabela 3. Obliczenie całkowitego oporu cieplnego  $R_T$  dla ściany wewnętrznej

Ściana wewnętrzna między piwnicą ogrzewaną a nieogrzewaną				
Nr	Warstwa	$d_i$	$\lambda_i$	$R_i = d_i/\lambda_i$
		[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]
Środowisko wewnętrzne, ogrzewane				
-	Opór przejmowania od strony wewnętrznej, $R_{si}$	-	-	0,130
1	Tynk wapienno - piaskowy	0,015	0,800	0,019
2	Cegła pełna	0,120	0,770	0,156
3	Wełna mineralna	0,110	0,036	3,056
4	Tynk cementowy na siatce z włókna szklanego	0,006	1,000	0,006
-	Opór przejmowania od strony wewnętrznej, $R_{si}$	-	-	0,130
Środowisko wewnętrzne, nieogrzewane				
$\Sigma R = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{se}$ , [m <sup>2</sup> K/W]				<b>3,496</b>

### 2.3. Obliczenie współczynnika przenikania ciepła $U$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{3,496} = 0,286 \frac{W}{m^2 K}$$

### 2.4. Obliczenie poprawionego współczynnika przenikania ciepła $U_C$

$$U_C = U + \Delta U$$

### 2.5. Obliczenie członu korekcyjnego $\Delta U$

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

gdzie:

$\Delta U_g$  – poprawka ze względu na pustki powietrzne (zakładamy brak pustek powietrznych, więc jest równa 0, dlatego, że warstwa izolacji jest wykonana w sposób ciągły złączeniem na zakład),

$\Delta U_f$  – poprawka ze względu na łączniki mechaniczne (możemy pominąć – a dlaczego, to patrz poniżej),

$\Delta U_r$  – poprawka ze względu na dach o odwróconym układzie warstw (nie dotyczy czyli równa 0).

2.6. Obliczenie wartości poprawki  $\Delta U_f$

$$\Delta U = \Delta U_f$$

gdzie:

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \left( \frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

Przyjęto łącznik mechaniczny – średnica całkowita łącznika 10 mm, kolek rozporowy - polipropylen udaroodporny, gwóźdź rozpierający tworzywoy z poliamidu modyfikowanego włóknem szklanym, długość 180 mm, w tym 70 mm na zakotwienie.

Wg zapisu w normie PN-EN ISO 6946 [2], poprawki ze względu na łączniki mechaniczne nie stosuje się, jeśli współczynnik przewodzenia łącznika jest mniejszy niż 1 W/mK. Poniższe obliczenia są tylko w celu pokazania, że rzeczywiście wartość takiej poprawki w tym wypadku jest pomijalnie mała.

$\alpha$	–	0,8 (łącznik całkowicie przebija warstwę izolacji),
$\lambda_f$	–	0,30 W/mK (dla poliamidu modyfikowanego włóknem szklanym),
$A_f$	–	$7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ (dla średnicy całkowitej łącznika = 10mm),
$n_f$	–	4 szt/m <sup>2</sup> ,
$d_0$	–	0,11 m,
$R_1$	–	3,056 m <sup>2</sup> K/W,
$R_{T,h}$	–	3,496 m <sup>2</sup> K/W.

$$\Delta U_f = 0,8 \times \frac{0,2230 \times 7,85 \times 10^{-5} \times 4}{0,11} \times \left( \frac{3,056}{3,496} \right)^2 = 0,00052 \frac{W}{m^2 K}$$

Jak widać poprawka jest praktycznie równa 0 i do wzoru na  $U_C$  podstawiamy wartość poprawki równą 0.

2.7. Podstawienie wartości  $U$  i  $\Delta U$  do wzoru na  $U_C$

$$U = 0,286 \frac{W}{m^2 K} \quad \Delta U = 0,000 \frac{W}{m^2 K}$$

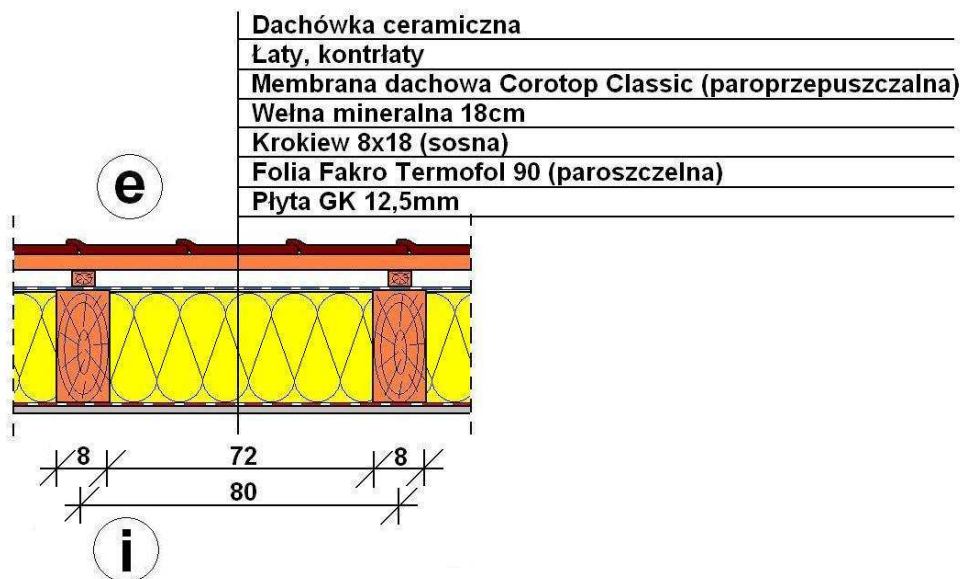
$$U_C = U + \Delta U = 0,286 + 0,000 = 0,286 \frac{W}{m^2 K}$$

$$U_C = 0,29 \frac{W}{m^2 K} \leq U_{C(\max)} = 0,30 \frac{W}{m^2 K}$$

**Warunek spełniony. Przegroda jest poprawnie zaprojektowana pod względem aktualnych wymagań dotyczących izolacyjności cieplnej [1].**

### 3. Połączenie dachowe

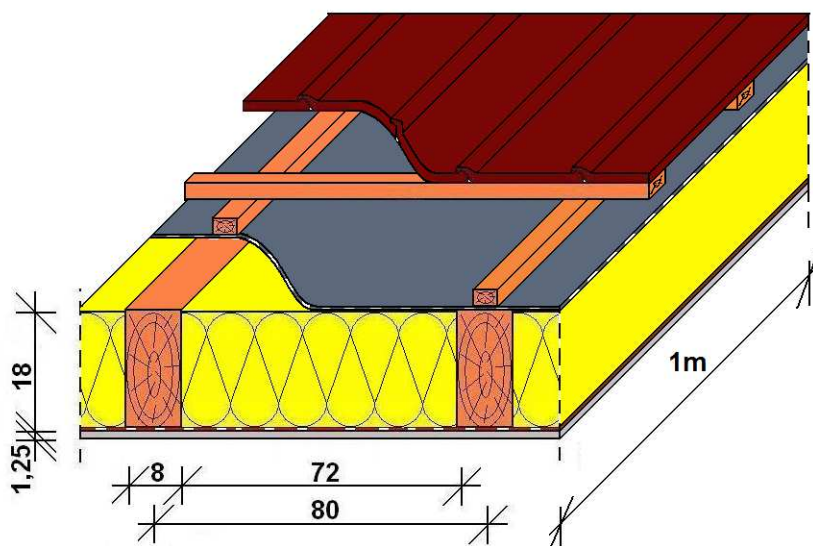
#### 3.1. Schemat połączenia dachowej



Rys. 5. Schemat połączenia dachowej

Przyjęto  $\lambda = 0,180 \text{ W/mK}$  dla drewna sosnowego wg PN-EN 12524 jak dla tarcicy  $700 \text{ kg/m}^3$  oraz  $\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$  dla wełny mineralnej (np. Isover Uni-Mata).

Pamiętamy, że połączenie dachowe jest przegrodą niejednorodną, więc należy obliczyć kresy górny i dolny całkowitego oporu cieplnego dla całej przegrody lub dla powtarzalnego wycinka przegrody (tzw. komponentu). W przypadku połączenia dachowej, tym powtarzalnym wycinkiem jest komponent o szerokości równej rozstawowi osiowemu krokwi i jednostkowej długości czyli 1m, co przedstawia Rys.6. Po obliczeniu kresu górnego  $R_T'$  i dolnego  $R_T''$  oraz uśrednieniu ich czyli  $R_T = (R_T' + R_T'')/2$  dalsze obliczenia cieplne są identyczne jak dla przegród jednorodnych.



Rys. 6. Schemat komponentu połączenia dachowej



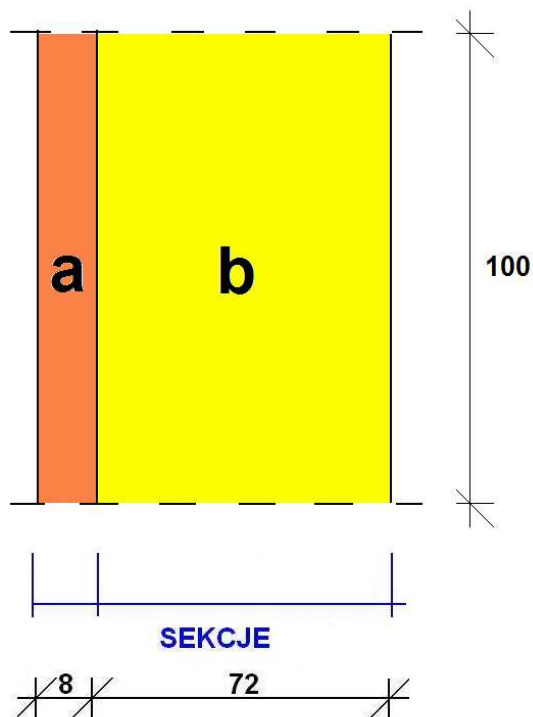
**Tabela 4. Połączenie dachowe – przekrój przez krokiew**

<b>Połączenie dachowe - przekrój przez krokiew</b>				
Nr	Warstwa	$d_i$	$\lambda_i$	$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i}$
		[m]	[W/mK]	[W/m <sup>2</sup> K]
Środowisko wewnętrzne, ogrzewane				
1	Opór przyjmowania od strony wewnętrznej, $R_{si}$	-	-	0,100
2	Płyta GK 12,5mm	0,0125	0,250	0,050
3	Folia Fakro Termofol 90 (paroszczelna)	-	-	0,000
4	Krokiew 8x18 w rozstawie co 80cm (sosna)	0,18	0,180	1,000
5	Membrana dachowa Corotop Classic (paroprzepuszczalna)	-	-	0,000
6	Kontrłaty	-	-	0,000
7	Łaty	-	-	0,000
8	Dachówka ceramiczna	-	-	0,000
9	Opór przyjmowania od strony zewnętrznej, $R_{se}$	-	-	0,040
Środowisko zewnętrzne				
<b><math>\Sigma R = R_{si} + R_1 + R_2 + R_4 + R_{se}</math> , [W/m<sup>2</sup>K]</b>				<b>1,190</b>

**Tabela 5. Połączenie dachowe – przekrój przez wełnę mineralną**

<b>Połączenie dachowe - przekrój przez wełnę mineralną</b>				
Nr	Warstwa	$d_i$	$\lambda_i$	$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i}$
		[m]	[W/mK]	[W/m <sup>2</sup> K]
Środowisko wewnętrzne, ogrzewane				
1	Opór przyjmowania od strony wewnętrznej, $R_{si}$	-	-	0,100
2	Płyta GK 12,5mm	0,0125	0,250	0,050
3	Folia Fakro Termofol 90 (paroszczelna)	-	-	0,000
4	Wełna mineralna dachowa Isover Uni-Mata	0,18	0,039	4,615
5	Membrana dachowa Corotop Classic (paroprzepuszczalna)	-	-	0,000
6	Kontrłaty	-	-	0,000
7	Łaty	-	-	0,000
8	Dachówka ceramiczna	-	-	0,000
9	Opór przyjmowania od strony zewnętrznej, $R_{se}$	-	-	0,040
Środowisko zewnętrzne				
<b><math>\Sigma R = R_{si} + R_1 + R_2 + R_4 + R_{se}</math> , [W/m<sup>2</sup>K]</b>				<b>4,805</b>

### 3.2. Podział połaci dachowej na sekcje



Rys. 7. Podział komponentu połaci dachowej na sekcje

### 3.3. Obliczenie całkowitego oporu cieplnego $R_T$ dla połaci dachowej zgodnie z [2]

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

gdzie:

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}}$$

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

### 3.4. Obliczenie kresu górnego całkowitego oporu cieplnego $R_T'$ dla połaci dachowej (zgodnie z podziałem na sekcje a i b) zgodnie z [2]

w naszym przypadku kres górny ma postać:

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

a więc:

$$R_{Ta} = 0,10 + \frac{0,0125}{0,250} + \frac{0,18}{0,180} + 0,04 = 1,190 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{Tb} = 0,10 + \frac{0,0125}{0,250} + \frac{0,18}{0,039} + 0,04 = 4,805 \frac{m^2 K}{W}$$

$$A_{przekroju} = 0,80 \times 1,00 = 0,80 m^2$$

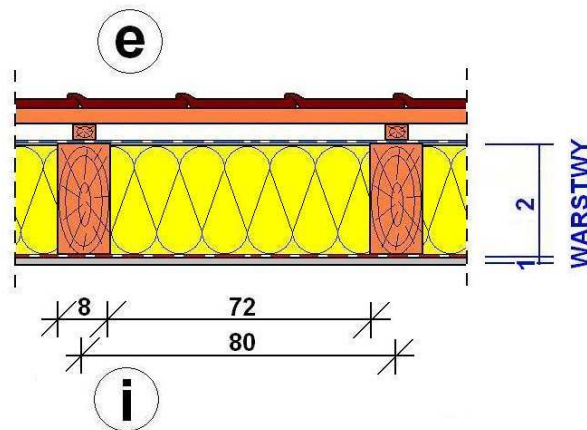
$$f_a = \frac{0,08 \times 1,00}{0,80} = 0,10$$

$$f_b = \frac{0,72 \times 1,00}{0,80} = 0,90$$

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{0,10}{1,190} + \frac{0,90}{4,805} = 0,084 + 0,187 = 0,271 \frac{W}{m^2 K}$$

$$R_T' = 3,686 \frac{m^2 K}{W}$$

### 3.5. Podział połaci dachowej na warstwy



Rys. 9. Podział komponentu połaci dachowej na warstwy

### 3.6. Obliczenie kresu dolnego całkowitego oporu cieplnego $R_T''$ dla połaci dachowej (zgodnie z podziałem na warstwy 1 i 2) zgodnie z [2]

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

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j''}$$

$$\lambda_j'' = \lambda_{aj} f_a + \lambda_{bj} f_b + \dots + \lambda_{qj} f_q$$

w naszym przypadku kres dolny ma postać:

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

a więc:

$$\lambda_1'' = 0,250 \times (0,10 + 0,90) = 0,250 \frac{W}{mK}$$

$$\lambda_2'' = 0,180 \times 0,10 + 0,039 \times 0,90 = 0,053 \frac{W}{mK}$$

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

$$R_T'' = 0,10 + \frac{0,0125}{0,250} + \frac{0,18}{0,053} + 0,04 = 3,580 \frac{m^2 K}{W}$$

3.7. Obliczenie całkowitego oporu cieplnego  $R_T$  dla połaci dachowej

$$R_T = \frac{3,686 + 3,580}{2} = 3,633 \frac{m^2 K}{W}$$

3.8. Obliczenie współczynnika przenikania ciepła  $U$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{3,636} = 0,275 \frac{W}{m^2 K}$$

3.9. Obliczenie poprawionego współczynnika przenikania ciepła  $U_C$

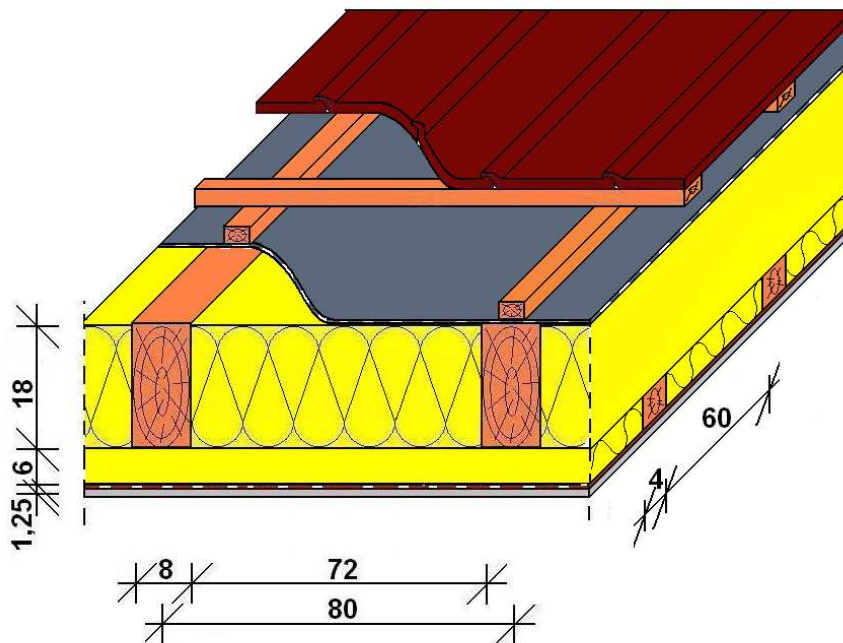
$$U_C = 0,28 \frac{W}{m^2 K} > U_{C(\max)} = 0,20 \frac{W}{m^2 K}$$

**Warunek niespełniony !!! Należy przeprojektować przegrodę i przeliczyć ponownie.**

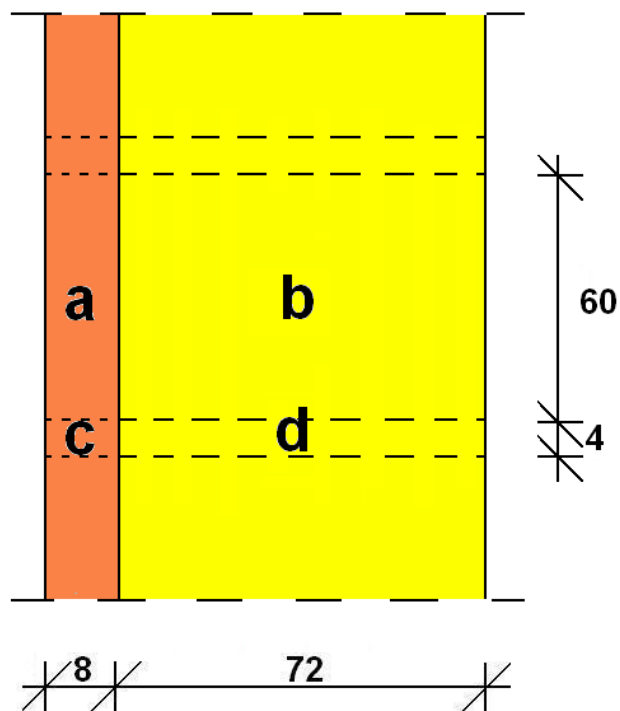
Ponieważ grubości izolacji w połaci dachowej spełniającej wymogi wg WT 2014 wychodzą zwykle  $> 20$  cm, to należy zastosować podbitkę od spodu krokwi (patrz rysunek poniżej), i/lub lepszy materiał termoizolacyjny o mniejszym  $\lambda$ . Nie zwiększamy wysokości krokwi (w domkach jednorodzinnych zwykle nie więcej niż 18 cm), gdyż jest to nieopłacalne – lepiej coś dobić do krokwi od spodu, aby zwiększyć grubość połaci dachowej w celu zmieszczenia wymaganej izolacji cieplnej.

#### 4. Połączenie dachowe z podbitką (pozostałe warstwy jak poprzednio)

##### 4.1. Schemat połączenia dachowej z podbitką



Rys. 8. Przekrój przez połączenie dachowe z podbitką



Rys. 9. Podział komponentu połączenia dachowej z podbitką na sekcje

**Tabela 6. Połac dachowa – przekrój przez krokiew i wełnę w podbitce**

<b>Połac dachowa - sekcja a</b>				
Nr	Warstwa	$d_i$	$\lambda_i$	$R_i = d_i/\lambda_i$
		[m]	[W/mK]	[W/m <sup>2</sup> K]
Środowisko wewnętrzne, ogrzewane				
1	Opór przejmowania od strony wewnętrznej, $R_{si}$	-	-	0,100
2	Płyta GK 12,5mm	0,0125	0,25	0,050
3	Folia Fakro Termofol 90 (paroszczelna)	-	-	0,000
4	Wełna mineralna	0,06	0,039	1,538
5	Krokiew 8x18 w rozstawie co 80cm (sosna)	0,18	0,180	1,000
6	Membrana dachowa Corotop Classic (paroprzepuszczalna)	-	-	0,000
7	Kontrłaty	-	-	0,000
8	Łaty	-	-	0,000
9	Dachówka ceramiczna	-	-	0,000
10	Opór przejmowania od strony zewnętrznej, $R_{se}$	-	-	0,040
Środowisko zewnętrzne				
$\Sigma R = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_5 + R_{se}$ , [W/m <sup>2</sup> K]				<b>2,728</b>

**Tabela 7. Połac dachowa – przekrój przez wełnę między krokiewiami i wełnę w podbitce**

<b>Połac dachowa - sekcja b</b>				
Nr	Warstwa	$d_i$	$\lambda_i$	$R_i = d_i/\lambda_i$
		[m]	[W/mK]	[W/m <sup>2</sup> K]
Środowisko wewnętrzne, ogrzewane				
1	Opór przejmowania od strony wewnętrznej, $R_{si}$	-	-	0,100
2	Płyta GK 12,5mm	0,0125	0,25	0,050
3	Folia Fakro Termofol 90 (paroszczelna)	-	-	0,000
4	Wełna mineralna	0,06	0,039	1,538
5	Wełna mineralna	0,18	0,039	4,615
6	Membrana dachowa Corotop Classic (paroprzepuszczalna)	-	-	0,000
7	Kontrłaty	-	-	0,000
8	Łaty	-	-	0,000
9	Dachówka ceramiczna	-	-	0,000
10	Opór przejmowania od strony zewnętrznej, $R_{se}$	-	-	0,040
Środowisko zewnętrzne				
$\Sigma R = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_5 + R_{se}$ , [W/m <sup>2</sup> K]				<b>6,344</b>

**Tabela 8. Połac dachowa – krokiew i kantówkę w podbitce**

Połac dachowa - sekcja c				
Nr	Warstwa	$d_i$	$\lambda_i$	$R_i = d_i/\lambda_i$
		[m]	[W/mK]	[W/m <sup>2</sup> K]
Środowisko wewnętrzne, ogrzewane				
1	Opór przejmowania od strony wewnętrznej, $R_{si}$	-	-	0,100
2	Płyta GK 12,5mm	0,0125	0,25	0,050
3	Folia Fakro Termofol 90 (paroszczelna)	-	-	0,000
4	Kantówki drewniane w podbitce 4x6 w rozstawie co 60cm	0,06	0,180	0,333
5	Krokiew 8x18 w rozstawie co 80cm (sosna)	0,18	0,180	1,000
6	Membrana dachowa Corotop Classic (paroprzepuszczalna)	-	-	0,000
7	Kontrłaty	-	-	0,000
8	Łaty	-	-	0,000
9	Dachówka ceramiczna	-	-	0,000
10	Opór przejmowania od strony zewnętrznej, $R_{se}$	-	-	0,040
Środowisko zewnętrzne				
$\Sigma R = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_5 + R_{se}$ , [W/m <sup>2</sup> K]				<b>1,523</b>

**Tabela 9. Połac dachowa – przekrój przez wełnę między krokiewiami i wełnę w podbitce**

Połac dachowa - sekcja d				
Nr	Warstwa	$d_i$	$\lambda_i$	$R_i = d_i/\lambda_i$
		[m]	[W/mK]	[W/m <sup>2</sup> K]
Środowisko wewnętrzne, ogrzewane				
1	Opór przejmowania od strony wewnętrznej, $R_{si}$	-	-	0,100
2	Płyta GK 12,5mm	0,0125	0,25	0,050
3	Folia Fakro Termofol 90 (paroszczelna)	-	-	0,000
4	Kantówki drewniane w podbitce 4x4 w rozstawie co 60cm	0,06	0,180	0,333
5	Wełna mineralna	0,18	0,039	4,615
6	Membrana dachowa Corotop Classic (paroprzepuszczalna)	-	-	0,000
7	Kontrłaty	-	-	0,000
8	Łaty	-	-	0,000
9	Dachówka ceramiczna	-	-	0,000
10	Opór przejmowania od strony zewnętrznej, $R_{se}$	-	-	0,040
Środowisko zewnętrzne				
$\Sigma R = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_5 + R_{se}$ , [W/m <sup>2</sup> K]				<b>5,139</b>

4.2. Obliczenie całkowitego oporu cieplnego  $R_T$  dla połaci dachowej z podbitką

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

gdzie:

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}}$$

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

4.3. Obliczenie kresu górnego całkowitego oporu cieplnego  $R_T'$  dla połączenia dachowej z podbitką (zgodnie z podziałem na sekcje a, b, c i d)

w tym przypadku kres górny ma postać:

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}} + \frac{f_d}{R_{Td}}$$

więc:

$$R_{Ta} = 0,10 + \frac{0,0125}{0,250} + \frac{0,18}{0,180} + \frac{0,06}{0,039} + 0,04 = 2,728 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{Tb} = 0,10 + \frac{0,0125}{0,250} + \frac{0,18}{0,039} + \frac{0,06}{0,039} + 0,04 = 6,344 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{Tc} = 0,10 + \frac{0,0125}{0,250} + \frac{0,18}{0,180} + \frac{0,06}{0,180} + 0,04 = 1,523 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{Td} = 0,10 + \frac{0,0125}{0,250} + \frac{0,18}{0,039} + \frac{0,06}{0,180} + 0,04 = 5,139 \frac{m^2 K}{W}$$

$$A_{przekroju} = 0,80 \times 0,64 = 0,51 m^2$$

$$f_a = \frac{0,08 \times 0,60}{0,51} = 0,0938$$

$$f_b = \frac{0,72 \times 0,60}{0,51} = 0,8438$$

$$f_a = \frac{0,08 \times 0,04}{0,51} = 0,0062$$

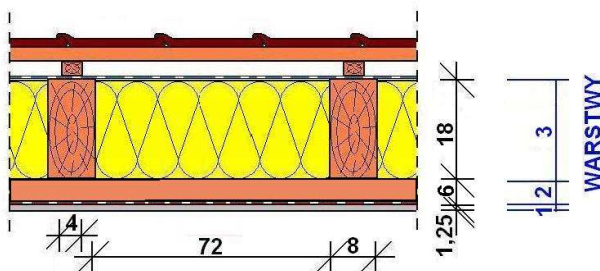
$$f_b = \frac{0,72 \times 0,04}{0,51} = 0,0562$$

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{0,0938}{2,728} + \frac{0,8438}{6,344} + \frac{0,0062}{1,523} + \frac{0,0562}{5,139} = 0,182 \frac{W}{m^2 K}$$

$$R_T' = 5,482 \frac{m^2 K}{W}$$



#### 4.4. Podział połaci dachowej na warstwy



Rys. 10. Podział komponentu połaci dachowej na warstwy

4.5. Obliczenie kresu dolnego całkowitego oporu cieplnego  $R_T''$  dla połaci dachowej (zgodnie z podziałem na warstwy 1, 2 i 3)

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

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j''}$$

$$\lambda_j'' = \lambda_{aj} f_a + \lambda_{bj} f_b + \dots + \lambda_{qj} f_q$$

w naszym przypadku kres dolny ma postać:

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se}$$

a więc:

$$\lambda_1'' = 0,250 \times (0,0938 + 0,8438 + 0,0062 + 0,0562) = 0,250 \frac{W}{mK}$$

$$\lambda_2'' = 0,180 \times (0,0062 + 0,0562) + 0,039 \times (0,0938 + 0,8438) = 0,048 \frac{W}{mK}$$

$$\lambda_3'' = 0,180 \times (0,0938 + 0,0062) + 0,039 \times (0,8438 + 0,0562) = 0,053 \frac{W}{mK}$$

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se}$$

$$R_T'' = 0,10 + \frac{0,0125}{0,250} + \frac{0,06}{0,048} + \frac{0,18}{0,053} + 0,04 = 4,835 \frac{m^2 K}{W}$$

4.6. Obliczenie całkowitego oporu cieplnego  $R_T$  dla połaci dachowej

$$R_T = \frac{5,482 + 4,835}{2} = 5,158 \frac{m^2 K}{W}$$

4.7. Obliczenie współczynnika przenikania ciepła  $U$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{5,158} = 0,194 \frac{W}{m^2 K}$$

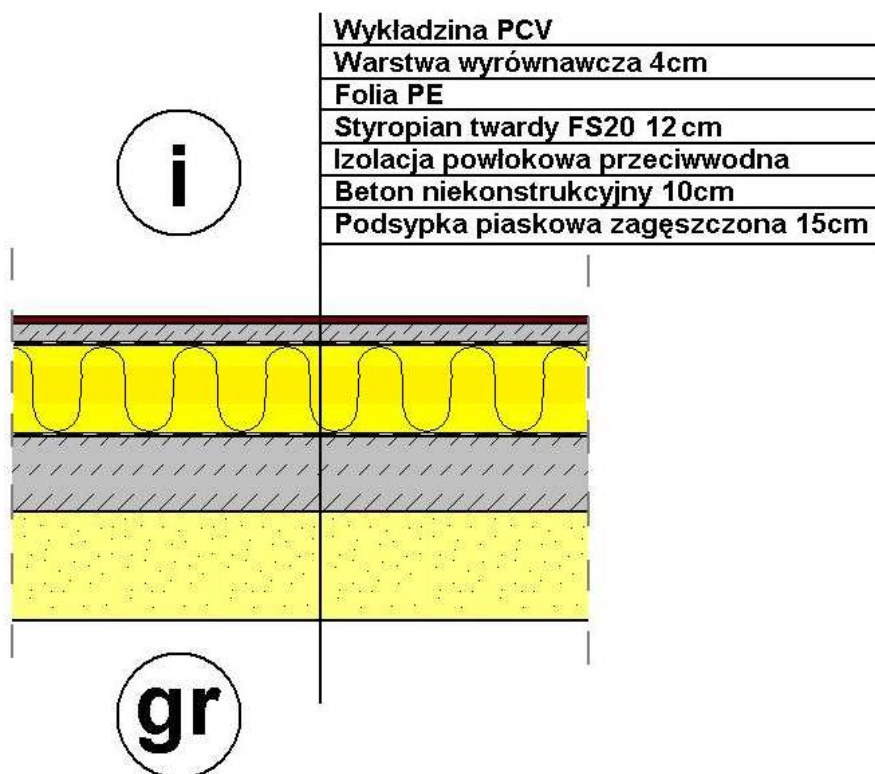
4.8. Obliczenie poprawionego współczynnika przenikania ciepła  $U_C$

$$U_C = 0,19 \frac{W}{m^2 K} \leq U_{C(\max)} = 0,20 \frac{W}{m^2 K}$$

**Warunek spełniony. Przegroda jest poprawnie zaprojektowana pod względem aktualnych wymagań dotyczących izolacyjności cieplnej [1].**

5. Podłoga na gruncie na parterze (poziom posadzki z=0,0 m) oraz w piwnicy (poziom posadzki z=3,0 m)

5.1. Schemat podłogi na gruncie (taki sam na parterze i w piwnicy)



Rys. 11. Schemat podłogi na gruncie

5.2. Obliczenie całkowitego oporu cieplnego  $R_T$  dla podłogi na gruncie zgodnie z [2]

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Tabela 10. Obliczenie całkowitego oporu cieplnego  $R_T$  dla podłogi na gruncie

Podłoga na gruncie				
Nr	Warstwa	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$R_i = d_i/\lambda_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
Środowisko wewnętrzne, ogrzewane				
-	Opór przyjmowania od strony wewnętrznej, $R_{si}$	-	-	0,170
1	Wykładzina PCV	-	-	-
2	Warstwa wyrównawcza	0,040	1,000	0,040
3	Folia PE	-	-	-
4	Styropian twardy EPS 20	0,120	0,042	2,857
5	Izolacja przeciwwodna powłokowa	-	-	-
6	Beton niekonstrukcyjny	0,100	1,000	0,100
7	Podsypka piaskowa zagęszczona	0,150	0,400	0,375
Grunt				
$\Sigma R = R_{si} + R_1 + R_2 + R_4 + R_6 + R_7$ , [m <sup>2</sup> K/W]				3,542

5.3. Obliczenie współczynnika przenikania ciepła  $U$  zgodnie z [2]

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{3,542} = 0,282 \frac{W}{m^2 K}$$

- 5.4. Porównanie z wartością  $U_{C(\max)}$  wg WT 2014 (jest to najbardziej niekorzystny schemat czyli nasza przegroda ma spełniać wymagania wg rozporządzenia, bez uwzględnienia dodatkowego oporu cieplnego gruntu)

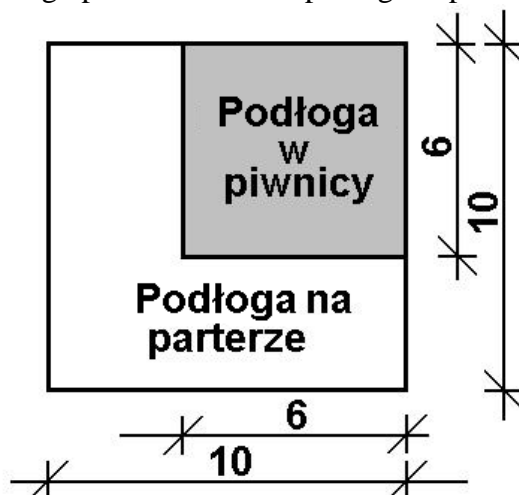
$$U_C = 0,28 \frac{W}{m^2 K} < U_{C(\max)} = 0,30 \frac{W}{m^2 K}$$

**Warunek spełniony. Przegroda jest poprawnie zaprojektowana pod względem aktualnych wymagań dotyczących izolacyjności cieplnej [1].**

**Uwaga!**

**O ile sama przegroda spełnia nam wymagania dotyczące  $U_{C(\max)}$ , to powinniśmy w tym miejscu obliczyć wartości  $U_{\text{equiv,bf}}$ , uwzględniające obecność gruntu po stronie zewnętrznej. Obliczone  $U_{\text{equiv}}$  dla podłóg na gruncie (czyli  $U_{\text{equiv,bf}}$ ) są nam potrzebne w celu określenia ilości strat ciepła przez te przegrody w pkt 3 i 4 projektu.**

- 5.5. Obliczenie charakterystycznego parametru  $B'$  dla podłogi na parterze i dla piwnicy zgodnie z [3]



Rys. 12. Wymiary podłogi na gruncie na parterze i w piwnicy

$$\text{dla parteru} \quad B'_{\text{parter}} = \frac{A_g}{0,5P} = \frac{4m \times 6m + 4m \times 10m}{0,5 \times (4m + 10m + 10m + 4m)} = \frac{64m^2}{14m} = 4,6m$$

$$\text{dla piwnicy} \quad B'_{\text{piwnica}} = \frac{A_g}{0,5P} = \frac{6m \times 6m}{0,5 \times (4 \times 6m)} = \frac{36m^2}{12m} = 3,0m$$

- 5.6. Odczytanie wartości  $U_{\text{equiv,bf}}$  z Tablic 4÷6 w PN EN 12831: 2006 [3] i interpolowanie liniowo dla parteru czyli  $z = 0,0$  m,  $B' = 4,6$  m,  $U_C = 0,282$  W/m<sup>2</sup>K wartość  $U_{\text{equiv,bf}}$  wynosi:

$$U_{\text{equiv,bf}} \cong 0,185 \frac{W}{m^2 K}$$

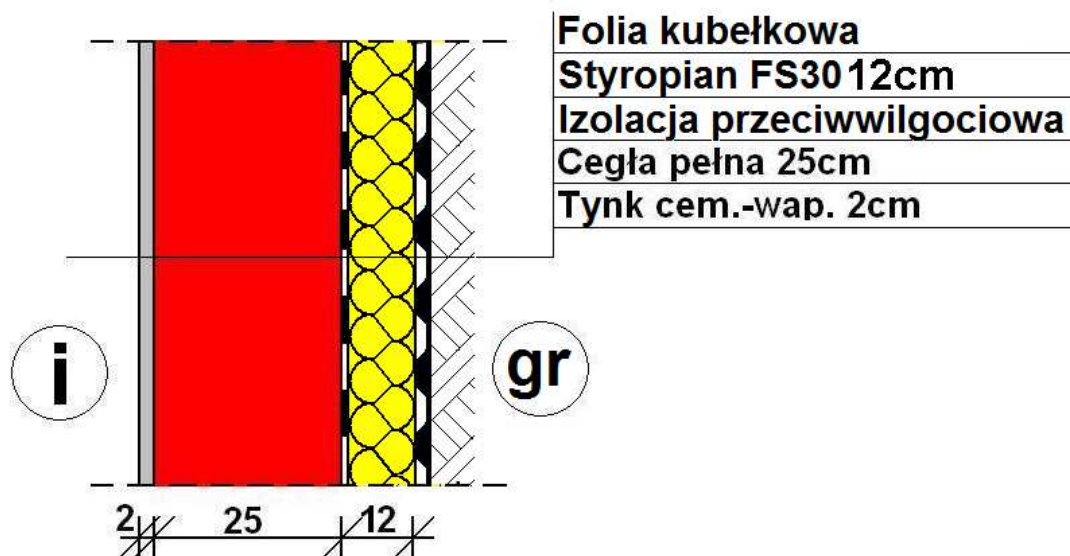
- dla piwnicy czyli  $z = 3,0$  m,  $B' = 3,0$  m,  $U_C = 0,282$  W/m<sup>2</sup>K wartość  $U_{\text{equiv,bf}}$  wynosi:

$$U_{\text{equiv,bf}} \cong 0,153 \frac{W}{m^2 K}$$

**Można zauważyć, że podłoga posadowiona głębiej w stosunku do poziomu terenu (w piwnicy) ma niższe wartości  $U_{\text{equiv,bf}}$  od posadzki mniej zagłębionej (na parterze).**

## 6. Ściana piwnic (stykająca się z gruntem)

### 6.1. Schemat ściany piwnic (z = 3,0 m – zagłębienie ściany w gruncie)



Rys. 13. Schemat ściany piwnic

### 6.2. Obliczenie całkowitego oporu cieplnego $R_T$ dla ściany piwnic zgodnie z [2]

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Tabela 11. Obliczenie całkowitego oporu cieplnego  $R_T$  dla ściany piwnic

Ściana zewnętrzna dwuwarstwowa				
Nr	Warstwa	$d_i$	$\lambda_i$	$R_i = d_i/\lambda_i$
		[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]
Środowisko wewnętrzne, ogrzewane				
-	Opór przyjmowania od strony wewnętrznej, $R_{si}$	-	-	0,130
1	Tynk cementowo - wapienny	0,020	0,820	0,024
2	Cegła pełna	0,250	0,770	0,325
3	Izolacja przeciwwilgociowa	-	-	-
4	Styropian FS30	0,120	0,040	3,000
Grunt				
$\Sigma R = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3$ [m <sup>2</sup> K/W]				3,479

### 6.3. Obliczenie współczynnika przenikania ciepła U zgodnie z [2]

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{3,479} = 0,287 \frac{W}{m^2 K}$$

- 6.4. Porównanie z wartością  $U_{(\max)}$  wg WT (jest to najbardziej niekorzystny schemat czyli nasza przegroda ma spełniać wymagania wg rozporządzenia nawet bez uwzględnienia oporu cieplnego gruntu)

$$U_c = 0,29 \frac{W}{m^2 K} < U_{c(\max)} = 0,30 \frac{W}{m^2 K}$$

**Warunek spełniony. Przegroda jest poprawnie zaprojektowana pod względem aktualnych wymagań dotyczących izolacyjności cieplnej [1].**

**Uwaga!**

**Podobne jak dla posadzki na gruncie powinniśmy w tym miejscu obliczyć wartości  $U_{equiv,bw}$ , uwzględniające obecność gruntu po stronie zewnętrznej w celu określenia ilości strat ciepła przez tę przegrodę w pkt 3 i 4 projektu.**

- 6.5. Odczytanie wartości  $U_{equiv,bw}$  z Tablicy 7 w PN EN 12831: 2006 [3] i interpolowanie liniowo

dla  $z = 3,0$  m,  $U = 0,287$  W/m<sup>2</sup>K wartość  $U_{equiv,bw}$  wynosi:

$$U_{equiv,bw} \cong 0,184 \frac{W}{m^2 K}$$

## 7. Literatura

- [1] Dz. U. 2015, poz. 1422 – Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [2] PN-EN ISO 6946: 2008 - Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [3] PN-EN 12831: 2006 - Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.