

# Izolacje termiczne stropodachów

**Krajowe warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki w zakresie oszczędności energii i izolacyjności cieplnej są ustanawiane ze szczególnym uwzględnieniem regulacji europejskich.**

## Podstawy prawne

Podstawowe znaczenie dla wspomnianych wymagań mają obecnie:

- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 305/2011 z 9.03.2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG

- Dyrektywa 2010/31/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z 19.05.2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona Dyrektywy 2002/91/WE z 16.12.2002 r.).

Rozporządzenie harmonizuje zasady wyrażania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych, które odnoszą się do podstawowych wymagań dotyczących obiektów budowlanych. Wymaganie podstawowe nr 6 odnosi się do zagadnień oszczędności energii oraz izolacyjności cieplnej i zostało sformułowane następująco: „...Obiekty budowlane i ich instalacje grzewcze, chłodzące, oświetleniowe i wentylacyjne muszą być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby utrzymać na niskim poziomie ilość energii wymaganej do ich użytkowania, przy uwzględnieniu potrzeb zajmujących je osób i miejscowych warunków klimatycznych. Obiekty budowlane muszą być również energooszczędne i zużywać jak najmniej energii podczas ich budowy i rozbiórki...”.

Zgodnie z ustawą Prawo budowlane wymaga się, aby obiekt budowlany wraz ze związanymi z nim urządzeniami (biorąc pod uwagę przewidywany okres jego użytkowania), projektować i realizować w sposób określony w przepisach (także techniczno-budowlanych) oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając spełnienie wymagań podstawowych, w tym nr 6.

Dyrektywa 2010/31/UE wprowadza ogólne wymagania w odniesieniu do krajowych systemów oceny charakterystyki energetycznej budynków, regulujące m.in.:

- stosowanie wymagań w zakresie charakterystyki energetycznej dotyczących nowych budynków i podlegających znaczącym renowacjom
- zasady tworzenia krajowych planów mających na celu zwiększenie liczby budynków o niemal zerowym zużyciu energii.

Zgodnie z dyrektywą budynki o niemal zerowym wykorzystaniu energii powinny charakteryzować się na tyle małym zapotrzebowaniem na energię, aby mogło być ono zaspokojone w jak najwyższym stopniu ze źródeł odnawialnych.

Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dn. 5.07.2013 r., zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, wprowadziło stopniowe zaostrzenie przepisów na lata 2014-2021 w kierunku wprowadzenia wymagań odpowiadających standardowi budynków o niemal zerowym wykorzystaniu energii.

Zaostrzenie wymagań obejmuje zarówno stopniowe ograniczanie dopuszczalnych maksymalnych wartości wskaźnika zapotrzebowania budynków na nieodnawialną energię pierwotną w kWh/(m<sup>2</sup>rok), jak i szczegółowych wymagań dotyczących dopuszczalnych maksymalnych wartości współczynników przenikania ciepła przez poszczególne rodzaje przegród.

Podane w rozporządzeniu przepisy związane z wymaganiami podstawowym stanowią, że budynki i jego instalacje (grzewcze, wentylacyjne, klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych – również oświetlenia wbudowanego), powinny być zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający spełnienie wymagań minimalnych. Dotyczą one:

- wartość wskaźnika EP rocznego zapotrzebowania budynku na nieodnawialną energię pierwotną w kWh/(m<sup>2</sup>rok) jest mniejsza od dopuszczalnych wartości maksymalnych

- przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku odpowiadają wymaganiom izolacyjności cieplnej.

Zgodnie z wymogami, przepisy dotyczą również budynków podlegających przebudowie, przy czym wymagania minimalne ograniczone są w takim przypadku do izolacyjności cieplnej. Ograniczenie to wynika z konieczności dostosowania się do praktyki. Na ogół w Polsce przebudowy nie obejmują kompleksowych

prac dotyczących całego budynku, ale wykonuje się odrębnie roboty budowlane, które obejmują, np. wymianę okien, docieplenie ścian, dachów, wymianę instalacji. Zgodnie z przepisami, każdy taki etap prac należy prowadzić w sposób zapewniający osiągnięcie poziomu wymaganego w odniesieniu do nowych budynków.

Wymagane wartości współczynników przenikania ciepła (budynki nowe i budynki podlegające przebudowie) stosowane, gdy temperatura pomieszczenia ogrzewanego jest nie niższa niż 16°C, w odniesieniu do głównych rodzajów przegród nieprzezroczystych, przedstawiono w tabelicy 1.

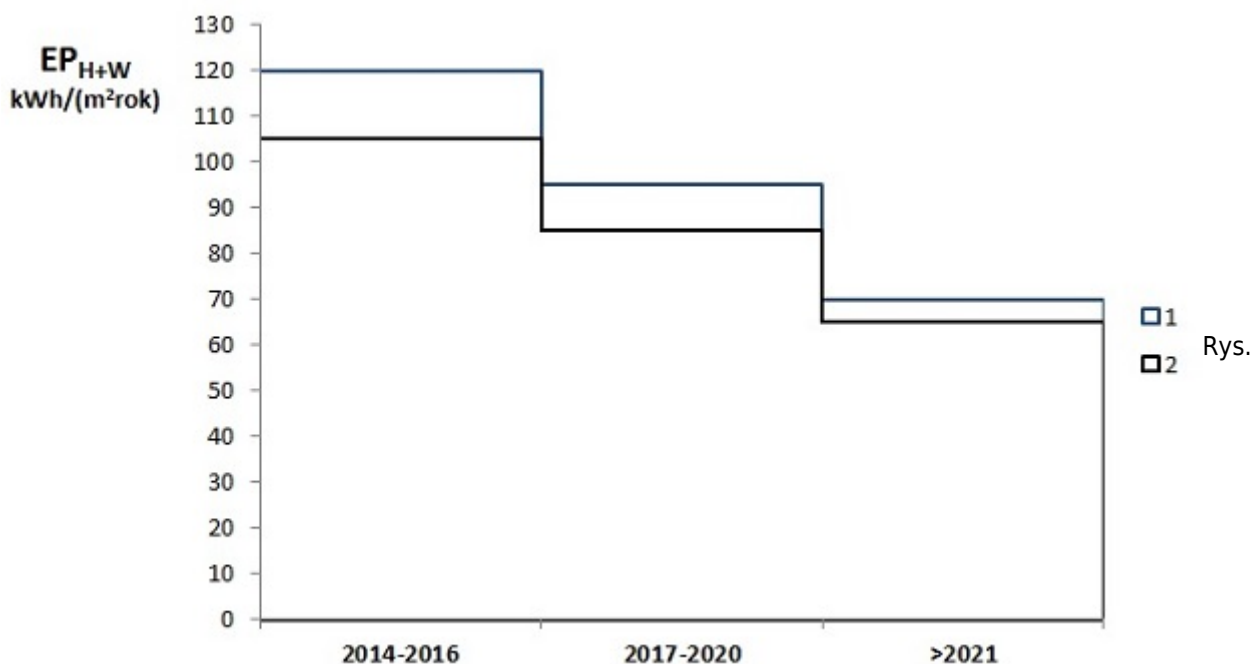
Tablica 1. Wymagane wartości współczynnika przenikania ciepła  $W/(m^2K)$

Rodzaj przegrody zewnętrznej <sup>1)</sup>	$U_{C(max)}$ $W/(m^2K)$		
	od 1 stycznia 2014 r.	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021 r. <sup>2)</sup>
Ściany zewnętrzne	0,25	0,23	0,20
Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami	0,20	0,18	0,15
Podłogi na gruncie	0,30		
Stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi	0,25		

<sup>1)</sup> podane wybrane wartości wymagań dotyczą przegród w pomieszczeniach o obliczeniowej temperaturze według warunków technicznych nie mniejszej niż 16°C

<sup>2)</sup> od 1 stycznia 2019 r. w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

Wymagane wartości wskaźników rocznego obliczeniowego zapotrzebowania budynków mieszkalnych na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej podano na rys. 1.



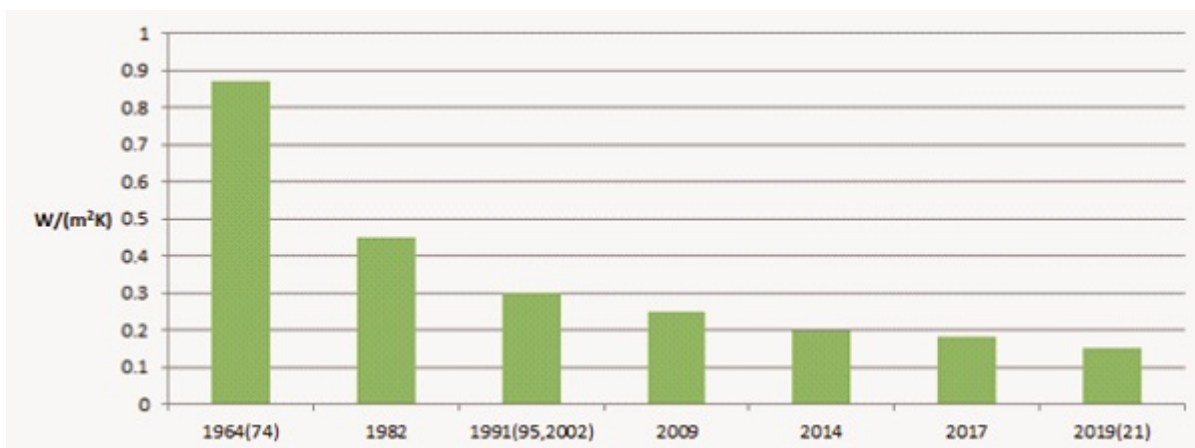
1. Wymagane wartości wskaźników rocznego obliczeniowego zapotrzebowania budynków mieszkalnych na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej: 1 - bud. jednorodzinne, 2 - bud. wielorodzinne

### Określanie izolacyjności cieplnej przegród dachowych

W budynkach stosuje się najczęściej następujące rodzaje przegród dachowych:

- stropodachy masywne, w tym dzielone
- szkieletowe drewniane (głównie budynki mieszkalne) lub metalowe (głównie budynki niemieszkalne).

Izolacyjność cieplna stropodachów (dachów) w budynkach użytkowanych odpowiada na ogół wymaganiom obowiązującym z czasów ich wznoszenia, które stopniowo zaostrzano w kolejnych wydaniach norm i przepisów technicznych (rys. 2).



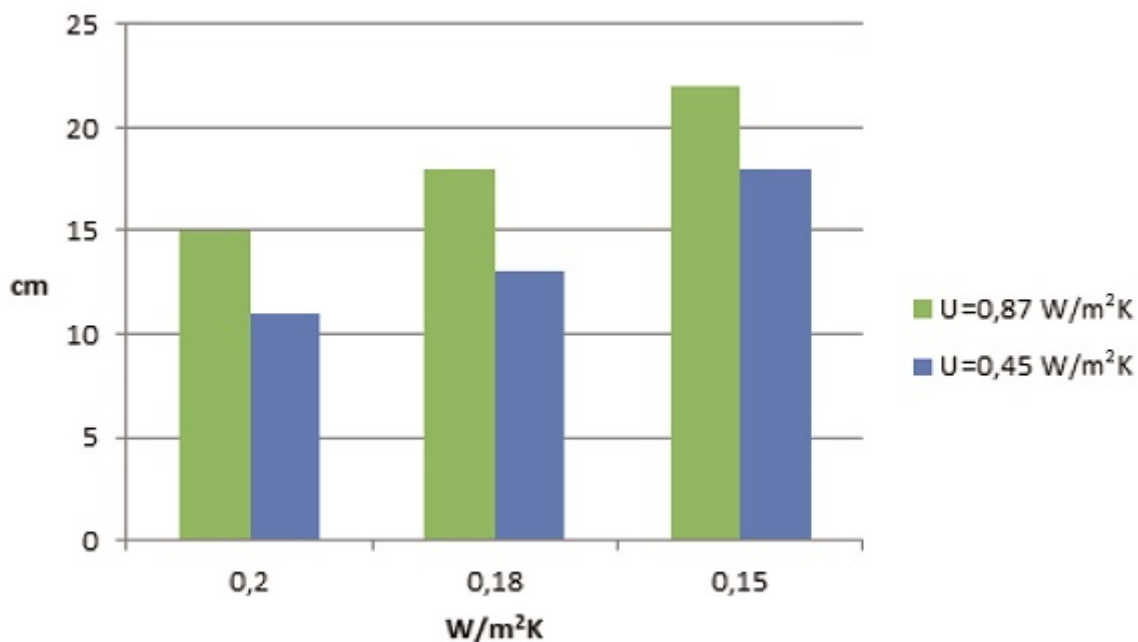
Rys.

2. Najniższe wymagane w Polsce wartości współczynnika przenikania ciepła dachów (stropodachów) w kolejnych wydaniach norm i przepisów

Na rys. 3 określono wartości grubości izolacji cieplnej o współczynniku przewodzenia ciepła 0,04 W/(mK), przy przyjęciu których uzyskuje się zmniejszenie wartości współczynnika przenikania ciepła stropodachu o współczynniku 0,87 W/(m²K) (budynki wzniesione z uwzględnieniem wymagań z przed 1982 r.) i 0,45 W/(m²K) (budynki wzniesione z uwzględnieniem wymagań z 1982 r.), do poziomu nowych wymagań w latach 2014-2021.

W celu uzyskania izolacji cieplnej o małej grubości, należy zastosować materiały o niskim współczynniku przewodzenia ciepła. Przykładowo, w przypadku często stosowanych w Polsce styropianów, dostępne są wyroby o wartości współczynnika od ok. 0,03 W/(mK). Najnowsze rozwiązania techniczne, nierozpowszechnione dotychczas na krajowym rynku, bazują natomiast na izolacjach cieplnych o współczynniku ok. 0,02 W/(mK), co pozwala na ok. 50% redukcję grubości warstwy izolacji.

W celu sprawdzenia spełnienia wymagań wartości współczynników przenikania ciepła przegród powinny być obliczone zgodnie z Polskimi Normami, dotyczącymi określania oporu cieplnego i współczynnika U oraz przenoszenia ciepła przez grunt. Zgodnie z wykazem norm przywołanych w warunkach technicznych, w odniesieniu do przegród niekontaktujących się z gruntem, stosuje się PN-EN ISO 6946:2008 [2].



Rys.

3. Minimalne grubości warstwy docieplenia o współczynniku przewodzenia ciepła 0,04 W/(mK), niezbędne do spełnienia nowych wymagań izolacyjności cieplnej w odniesieniu do stropodachu

Wymagania odniesiono do wartości współczynników przenikania ciepła, które uwzględniają normowe dodatki z uwagi na:

- pustki powietrzne w warstwie izolacji cieplnej
- wpływ opadów w dachu o odwróconym układzie warstw
- łączniki mechaniczne przechodzące przez warstwę izolacji cieplnej.

Zgodnie z normą współczynnik przenikania U przegrody określony z uwzględnieniem ww. dodatków oznacza się symbolem  $U_c$  i stąd wymaganą wartość tego współczynnika oznaczono w rozporządzeniu jako  $U_{c(max)}$ . Wartości współczynnika  $U_c$  oblicza się wg wzoru:

$$U_c = U + \Delta U \quad (1)$$

w którym:

$U$  – współczynnik przenikania ciepła przegrody [W/(m<sup>2</sup>K)]

$\Delta U$  – suma wartości dodatków do współczynnika  $U$ , jakie mają zastosowanie do tej przegrody [W/(m<sup>2</sup>K)].

Obliczenia wartości współczynników przenikania ciepła  $U$  przegród wykonuje się różnymi metodami, których wybór zależy od ich budowy. Jeżeli składa się ona z warstw jednomateriałowych współczynnik oblicza się jako odwrotność całkowitego oporu cieplnego przegrody. Jeżeli w przegrodzie znajdują się warstwy zawierające więcej niż jeden materiał, np. izolacja cieplna między krokiewmi dachu skośnego, stosuje się podaną w normie metodykę przybliżonego określania jej całkowitego oporu cieplnego. W celu przeprowadzenia dokładniejszych obliczeń lub jeżeli w warstwie izolacji cieplnej przegrody znajdują się metalowe elementy konstrukcyjne, np. stalowa lub aluminiowa konstrukcja mocująca warstwę elewacyjną tzw. fasad wentylowanych, obliczenia współczynnika  $U$  zgodnie z normą wykonuje się metodą komputerowego modelowania przenikania ciepła przez przegrodę.

Po określeniu wartości współczynnika  $U$ , oblicza się wartości dodatków jakie mają zastosowanie do tej przegrody.

Zgodnie z normą wartość dodatku uwzględniającego wpływ pustek i szczelin powietrznych w warstwie izolacji cieplnej nie przekracza 0,04 W/(m<sup>2</sup>K). Największą wartość dodatku stosuje się jeżeli zakłada się, że będzie występować przenikanie powietrza przez warstwę izolacji cieplnej, spowodowane pustkami i szczelinami w tej warstwie oraz szczelinami pomiędzy warstwami przegrody a warstwą izolacji cieplnej. Szczeliny takie powstają przede wszystkim z powodu nierówności powierzchni, do której mocuje się izolację cieplną. Dokładne ułożenie płyt na styk lub wypełnienie szczelin między nimi materiałem termoizolacyjnym lub zastosowanie wyrobów do izolacji z krawędziami bocznymi frezowanymi, eliminuje możliwość występowania niekorzystnego przepływu powietrza przez warstwę izolacji cieplnej. Takie wykonanie docieplenia przegród, pozwala przyjąć zgodnie z normą, że wartość dodatku nie przekracza 0,01 W/(m<sup>2</sup>K) czyli, że jest ona mniejsza od dokładności, z jaką (zgodnie z normą) określa się wartość współczynnika przenikania ciepła przegrody.

Dodatek z uwagi na łączniki mechaniczne przechodzące przez warstwę izolacji cieplnej, zależy głównie od współczynnika przewodzenia ciepła materiału, z którego są one wykonane oraz ich łącznej powierzchni przekroju porzecznego na 1 m<sup>2</sup>. Pojedynczy łącznik stalowy całkowicie przechodzący przez warstwę izolacji cieplnej przegrody może spowodować mostek cieplny o wartości punktowego współczynnika przenikania ciepła nawet do około 0,01 W/K.

W celu ograniczenia wpływu łączników mechanicznych do mocowania izolacji cieplnej, w zależności od zastosowanego materiału termoizolacyjnego i rodzaju przegrody, stosuje się łączniki tworzywowe, metalowo-tworzywowe oraz łączniki pozwalające na zagłębione mocowanie, w którym łącznik od zewnątrz zakryty jest izolacją cieplną.

Zgodnie z normą wartość dodatku oblicza się wg wzoru:

$$\Delta U_f = n_f \cdot \chi \quad (2)$$

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \left( \frac{R_1}{R_T} \right)^2 \quad (3)$$

w których:

$\chi$  – punktowy współczynnik przenikania ciepła spowodowany łącznikiem mechanicznym w warstwie izolacji cieplnej [W/K]

$n_f$  – liczba łączników mechanicznych na  $m^2$

$\lambda_f$  – współczynnik przewodzenia ciepła materiału, z którego wykonany jest łącznik mechaniczny [W/(mK)]

$A_f$  – powierzchnia przekroju łącznika mechanicznego [ $m^2$ ]

$d$  – grubość warstwy izolacji cieplnej [m]

$d_1$  – grubość warstwy izolacji cieplnej, przebijanej łącznikiem mechanicznym [m]

$R_1$  – opór cieplny warstwy izolacji cieplnej w części grubości z łącznikami mechanicznymi [ $m^2K/W$ ]

$R_T$  – całkowity opór cieplny przegrody, z pominięciem wpływu czynników uwzględnianych w dodatkach [ $m^2K/W$ ]

$\alpha$  – współczynnik równy  $0,8 d_1/d$ .

Dodatek uwzględniający wpływ opadów stosuje się w odniesieniu do dachów o odwróconym układzie warstw, w których warstwa izolacji cieplnej z materiału wodoodpornego, znajduje się powyżej izolacji wodochronnej. W takim układzie warstw, woda opadowa może przepływać pod izolacją termiczną, co powoduje okresowe zwiększenie przenikania ciepła. Wartość dodatku zależy od współczynnika przepuszczalności wody warstw znajdujących się powyżej izolacji cieplnej dachu oraz wielkości przeciętnych lokalnych opadów, wyrażonych w mm/dzień.

Wartość tego dodatku oblicza się zgodnie z normą wg wzorów:

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \cdot \left( \frac{R_{ins}}{R_T} \right)^2 \quad (4)$$

w którym:

$p$  – przeciętne lokalne opady w sezonie grzewczym [mm/dzień]

$f$  – udział wody opadowej przenikającej poniżej izolacji cieplnej

$x$  – współczynnik zwiększenia przenikania ciepła spowodowanego przepływem wody opadowej pod izolacją cieplną [W·dzień/( $m^2Kmm$ )]

$R_{ins}$  – opór cieplny warstwy izolacji cieplnej [ $m^2K/W$ ].

Wartość przeciętnych opadów w miesiącach sezonu grzewczego należy przyjmować na podstawie danych ze stacji klimatycznej, najbliższej lokalizacji budynku (np. w Warszawie wynoszą one około 1,2 mm/dzień).

W normie przyjęto, że maksymalna wartość iloczynu współczynnika  $x$  i przepuszczalności  $f$ , jaką przyjmuje się do obliczeń równa jest 0,04. Przyjmując, że opór cieplny warstwy izolacji stanowi np. 90% całkowitego oporu cieplnego przegrody uzyskuje się wartość dodatku około 0,039 W/( $m^2K$ ).

Przyjęty w nowych przepisach sposób sprawdzenia spełnienia wymagań w zakresie izolacyjności cieplnej przegród oparty został na najnowszym wydaniu normy międzynarodowej, która jednoznacznie określa metodykę obliczania wartości ich współczynnika przenikania ciepła. W obliczeniach współczynnika  $U_c$  przegrody uwzględnia się opory cieplne zastosowanych warstw materiałowych, wpływ strukturalnych mostków cieplnych oraz wartości opisanych powyżej dodatków, jakie mają zastosowanie do tej przegrody.

Wartości współczynników przenikania ciepła  $U$  przegród budynku określa się wg wzoru:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (5)$$

w którym:

$R_T$  - całkowity opór cieplny przegrody [ $m^2K/W$ ].

Całkowity opór cieplny przegrody składającej się z warstw jednomateriałowych oblicza się wg wzoru (6), a przegrody z warstwami zawierającymi więcej niż jeden materiał wg wzoru (8):

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1} R_i + R_{se} \quad (6)$$

w którym:

$R_{si}$  - opór przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej przegrody (ściany:  $R_{si} = 0,13 m^2K/W$ , dachu:  $R_{si} = 0,10 m^2K/W$ )

$R_i$  - opór cieplny warstwy jednomateriałowej [ $m^2K/W$ ]

$R_{se}$  - opór przejmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej przegrody,  $R_{se} = 0,10 m^2K/W$ .

Opór cieplny warstwy jednomateriałowej oblicza się wg wzoru:

w którym:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (7)$$

$d_i$  - grubość warstwy [m]

$\lambda_i$  - współczynnik przewodzenia ciepła materiału, z którego zbudowana jest warstwa przegrody [ $W/(mK)$ ]

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} \quad (8)$$

$$R_T' = \frac{1}{\sum_j \frac{f_j}{R_{T,j}}} \quad (8a)$$

$$R_T'' = R_{si} + \sum_{k=1} R_k + R_{se} \quad (8b)$$

w których:

$R_{T,j}$  - całkowity opór cieplny warstw w przekroju „j” przez przegrodę [ $m^2K/W$ ]

$f_j$  - udział powierzchni przegrody, do której ma zastosowanie wartość całkowitego oporu cieplnego  $R_{T,j}$

$R_k$  - opór cieplny warstwy jednomateriałowej obliczony według wzoru (7) lub warstwy zawierającej więcej niż jeden materiał obliczony wg wzoru (9) [ $m^2K/W$ ]

$$R_k = \frac{d_k}{\lambda_k} \quad (9)$$

$$\lambda_k = \sum_p \lambda_p f_p \quad (9a)$$

w którym:

$\lambda_k$  - współczynnik przewodzenia ciepła materiału „p”, z którego zbudowana jest warstwa „k” przegrody [ $W/(mK)$ ]

$f_p$  - udział powierzchni warstwy „k” przegrody, do którego ma zastosowanie współczynnik przewodzenia ciepła materiału „p”.

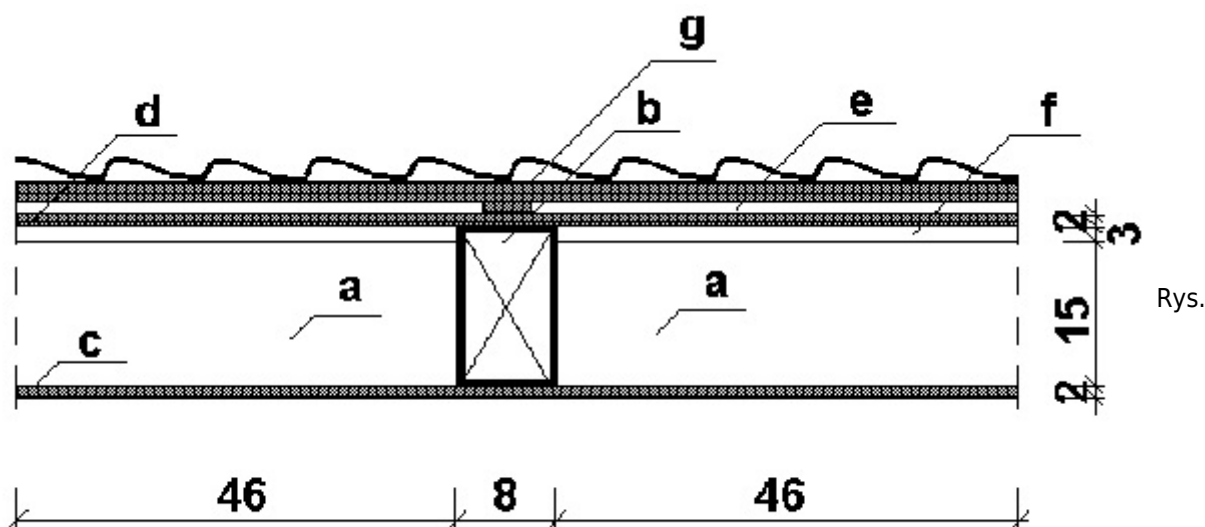
Wartości współczynników przewodzenia ciepła materiałów stosowanych w przegrodach przyjmuje się według PN-EN ISO 10456, a wyrobów do izolacji cieplnej – na podstawie deklaracji właściwości użytkowych sporządzonej wg normy danego wyrobu.

### Przykłady obliczeń przegród

W przegrodach o drewnianej konstrukcji szkieletowej najczęściej stosuje się izolację cieplną między elementami konstrukcyjnymi, w tym z dodatkową warstwą po stronie wewnętrznej lub zewnętrznej (przykład obliczeń nr 1) lub z dodatkową warstwą izolacji pod krokiewiami (przykład obliczeń nr 2). W dachach można również zastosować pojedynczą nadkrokwiovą warstwę izolacji cieplnej, mocowaną łącznikami mechanicznymi do krokwi (przykład obliczeń nr 3).

#### Przykład 1

Obliczenia współczynnika przenikania ciepła dla dachu o typowej budowie, jak na rys. 4.



4. Układ warstw izolacji cieplnej dachu: a – izolacja cieplna między krokiewiami, b – krokiew drewniana, c – okładzina wewnętrzna z folią paroizolacyjną, d – poszycie z izolacją wodochronną, e – szczelina wentylowana, f – szczelina wentylowana między krokiewiami, g – pokrycie, łąty i kontrłąty. Wymiary na rysunku w cm

W obliczeniach pominięto folię paroizolacyjną oraz warstwy powyżej szczeliny wentylowanej z uwagi na ich mały wpływ na izolacyjność cieplną przegrody.

Wartość współczynnika przewodzenia ciepła izolacji przyjęto równą 0,030 W/(mK), drewna 0,13 W/(mK), a okładziny wewnętrznej 0,2 W/(mK).

Całkowity opór cieplny w przekroju przez:

- warstwę izolacji i okładzinę wewnętrzną wynosi:

$$R_{T,1} = 0,1 + \frac{0,02}{0,2} + \frac{0,15}{0,03} + 0,04 = 5,24$$

- krokiew i okładzinę wewnętrzną wynosi:

$$R_{T,2} = 0,1 + \frac{0,02}{0,2} + \frac{0,15}{0,13} + 0,04 = 1,39$$

Udziały powierzchni przegrody, do których mają zastosowanie wartości całkowitego oporu cieplnego w ww.

przekrojach wynoszą kolejno:  $f_1 = 0,92$ ,  $f_2 = 0,08$ .

$$R_T' = \frac{1}{\frac{0,92}{5,24} + \frac{0,08}{1,39}} = 4,29$$

Opór cieplny obliczony w odniesieniu do warstwy z izolacją cieplną grubości 15 cm i krokwią:

$$\lambda_1' = 0,92 \cdot 0,03 + 0,08 \cdot 0,13 = 0,038$$

$$R_1 = \frac{0,15}{0,038} = 3,95$$

$$R_T'' = 0,1 + \frac{0,02}{0,2} + 3,95 + 0,04 = 4,19$$

Całkowity opór cieplny przegrody wynosi:

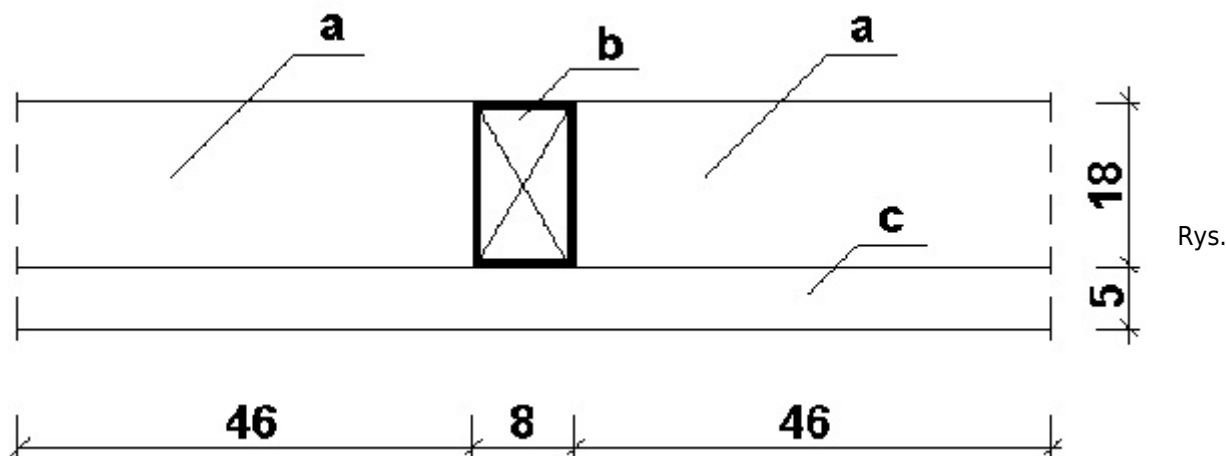
$$R_T = \frac{4,29 + 4,19}{2} = 4,24$$

Wartość współczynnika przenikania ciepła U przegrody jest równa:

$$U = \frac{1}{4,24} = 0,24$$

### Przykład 2

Obliczenia współczynnika przenikania ciepła dla dachu o budowie jak na rys. 5.



Rys.

5. Układ warstw izolacji cieplnej przegrody: a - izolacja cieplna między krokwią, b - krokiew drewniana, c - izolacja cieplna między łątami 2,5 x 5 cm o rozstawie 1 m. Wymiary na rysunku w cm

W obliczeniach pominięto wewnętrzne i zewnętrzne warstwy wykończeniowe z uwagi na ich mały wpływ na izolacyjność cieplną przegrody.

Wartość współczynnika przewodzenia ciepła izolacji przyjęto równą 0,030 W/(mK), a drewna 0,13 (W/mK).

Całkowity opór cieplny w przekroju przez:

- dwie warstwy izolacji wynosi:



$$R_{T,1} = 0,10 + \frac{0,05}{0,03} + \frac{0,18}{0,03} + 0,04 = 7,8$$

- warstwę 18 cm izolacji cieplnej i łątę drewnianą wynosi:

$$R_{T,2} = 0,10 + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,18}{0,03} + 0,04 = 6,52$$

- krokiew i warstwę 5 cm izolacji cieplnej wynosi:

$$R_{T,3} = 0,10 + \frac{0,05}{0,03} + \frac{0,18}{0,13} + 0,04 = 3,19$$

- krokiew i łątę wynosi:

$$R_{T,4} = 0,10 + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,18}{0,13} + 0,04 = 1,90$$

Udziały powierzchni przegrody, do których mają zastosowanie wartości całkowitego oporu cieplnego w ww. przekrojach wynoszą kolejno:  $f_1 = 0,897$ ,  $f_2 = 0,023$ ,  $f_3 = 0,078$ ,  $f_4 = 0,002$ .

$$R_T' = \frac{1}{\frac{0,897}{7,81} + \frac{0,023}{6,52} + \frac{0,078}{3,19} + \frac{0,002}{1,9}} = 6,95$$

Opory cieplne wynoszą:

- izolacja cieplna grubości 18 cm i krokiew:

$$\lambda_1 = 0,92 \cdot 0,03 + 0,08 \cdot 0,13 = 0,038$$

$$R_1 = \frac{0,18}{0,038} = 4,74$$

- izolacja cieplna grubości 5 cm oraz łątę:

$$\lambda_2 = 0,975 \cdot 0,03 + 0,025 \cdot 0,13 = 0,033$$

$$R_2 = \frac{0,05}{0,033} = 1,52$$

$$R_T'' = 0,10 + 1,52 + 4,74 + 0,04 = 6,40$$

Całkowity opór cieplny przegrody wynosi:

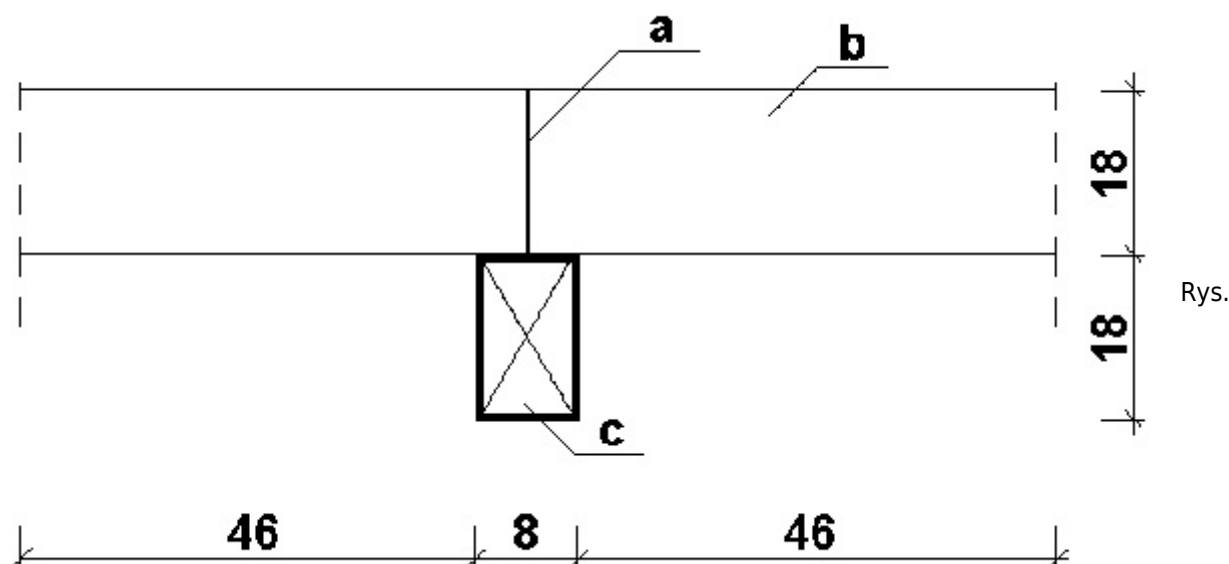
$$R_T = \frac{6,95 + 6,40}{2} = 6,68$$

Wartość współczynnika przenikania ciepła U przegrody jest równa:

$$U = \frac{1}{6,68} = 0,15$$

### Przykład 3

Obliczenia współczynnika przenikania ciepła dla dachu o budowie jak na rys. 6.



6. Układ warstw izolacji cieplnej przegrody: a – mocowanie łącznikami mechanicznymi izolacji cieplnej, b – izolacja cieplna nadkrokwiowa, c – krokiew drewniana.

Wymiary na rysunku w cm

W obliczeniach pominięto wewnętrzne i zewnętrzne warstwy wykończeniowe z uwagi na ich mały wpływ na izolacyjność cieplną przegrody. Wartość współczynnika przewodzenia ciepła izolacji przyjęto równą 0,023 W/(mK).

Całkowity opór cieplny przegrody wynosi:

$$R_T = 0,10 + \frac{0,18}{0,023} + 0,04 = 7,97$$

Współczynnik przenikania ciepła U przegrody jest równy:

$$U = \frac{1}{7,97} = 0,125$$

Izolacja cieplna mocowana jest do krokwi wkrętami stalowymi (współczynnik przewodzenia ciepła 50 W/(mK), średnicy 4 mm, w rozstawie 150 mm, co odpowiada 7 szt./m<sup>2</sup> powierzchni dachu.

Dodatek do współczynnika przenikania ciepła z uwagi na występowanie łączników mechanicznych w warstwie izolacji cieplnej, obliczony ze wzoru (3), wynosi:

$$\Delta U_f = 0,8 \cdot \frac{50 \cdot 1,26 \cdot 10^{-5} \cdot 7 \left( \frac{6,67}{6,80} \right)^2}{0,18} = 0,019$$

Wartość skorygowanego współczynnika przenikania ciepła przegrody, obliczona wg wzoru (2), wynosi:

$$U_c = 0,125 + 0,019 = 0,14$$

### Wyroby do izolacji cieplnej

Właściwością techniczną wyrobów do izolacji cieplnej, istotną z uwagi na charakterystykę energetyczną, jest opór cieplny lub – w jego zastępstwie – współczynnik przewodzenia ciepła. Deklarowane wartości obu współczynników, powinny być wartościami oczekiwanymi podczas ekonomicznie uzasadnionego okresu eksploatacji wyrobu w przewidywanych warunkach.

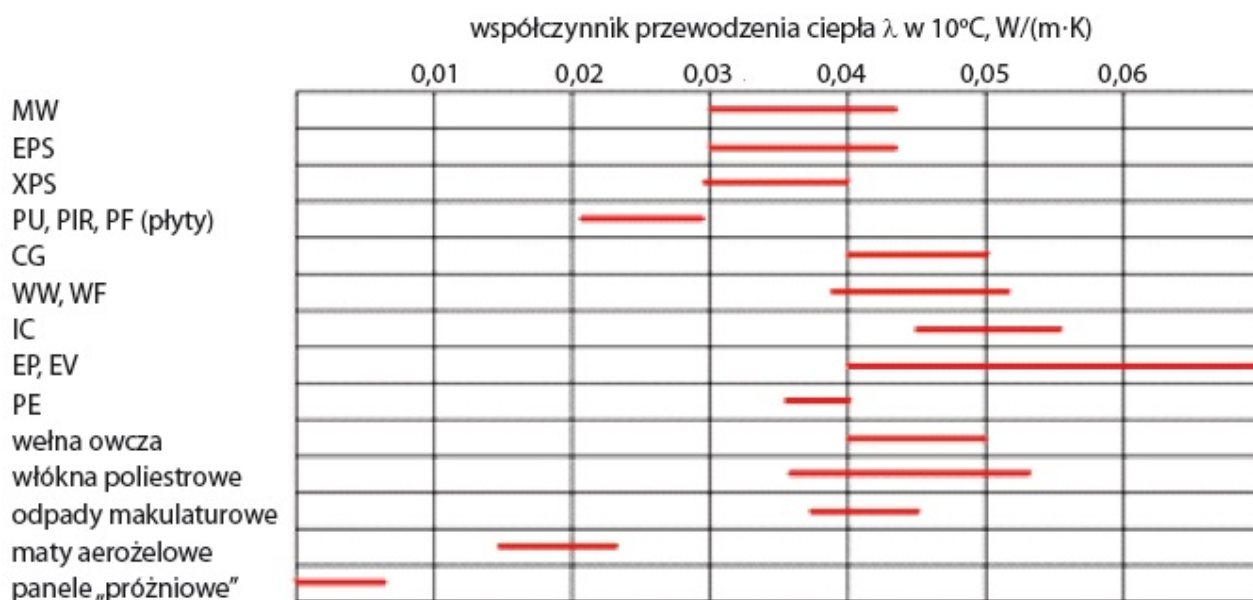
Większość wyrobów do izolacji cieplnej, zarówno produkowanych fabrycznie w formie płyt, mat itp., jak i materiałów sypkich do formowania na budowie, jest objęta normalizacją europejską, np.:

- wyroby z wełny mineralnej (wg PN-EN 13162)
  - wyroby ze styropianu (wg PN-EN 13163)
  - wyroby z polistyrenu ekstrudowanego (wg PN-EN 13164)
- wyroby z pianki poliuretanowej i poliizocyanurowej (wg PN-EN 13165)
  - wyroby z pianki fenolowej (wg PN-EN 13166)
  - wyroby ze szkła piankowego (wg PN-EN 13167)
  - wyroby z wełny drzewnej (wg PN-EN 13168)
  - wyroby z ekspandowanego perlitu (wg PN-EN 13169)
  - wyroby z ekspandowanego korka (wg PN-EN 13170)
  - wyroby z włókien drzewnych (wg PN-EN 13171)
    - wyroby formowane in situ z zastosowaniem:
      - ekspandowanego perlitu (wg PN-EN 14316-1)
- lekkiego kruszywa z pęczniejących surowców ilastych (wg PN-EN 14063)
  - wermikulitu eksfoliowanego (wg PN-EN 14317)
  - wełny mineralnej w postaci niezwiązanej (wg PN-EN 14064)
    - pianek poliuretanowych (wg PN-EN 14315).

Właściwości wyrobów nieobjętych normami europejskimi, na ogół o najnowocześniejszym charakterze, można znaleźć w europejskich lub polskich aprobatkach technicznych ITB. Takimi wyrobami są m.in.:

- transparentne izolacje cieplne
- refleksyjne izolacje cieplne
- wyroby do izolacji cieplnych na bazie aerożeli
- wyroby do izolacji z materiałów pochodzenia naturalnego (roślinnego, np. konopi, bawełny lub wełny zwierzęcej)
- wyroby do izolacji cieplnej pochodzące z recyklingu polimerów.

Na rys. 7. podano orientacyjne zakresy wartości współczynnika przewodzenia ciepła ww. rodzajów izolacji cieplnej stosowanej w budownictwie.



Rys. 7. Orientacyjne zakresy wartości współczynnika przewodzenia ciepła różnych rodzajów izolacji cieplnej stosowanej w budownictwie

#### Najczęściej stosowane na rynku europejskim materiały to:

- wełna mineralna (w skrócie MW – od angielskiej nazwy Mineral Wool) – materiał izolacyjny o strukturze włóknistej, wytwarzany ze stopionej skały lub szkła i używany do fabrycznej produkcji wyrobów (z powłokami lub bez nich), stosowanych do izolacji cieplnej w budownictwie; wyroby takie, zgodnie z PN-EN 13162 (Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Wyroby z wełny mineralnej (MW) produkowane fabrycznie. Specyfikacja) są dostępne w postaci rulonów, płyt miękkich, arkuszy lub płyt sztywnych o różnej

grubości, zwykle do 250 mm

- styropian (w skrócie EPS, Expanded PolyStyrene – ang. polistyren ekspandowany) – materiał o budowie komórkowej, uzyskiwany w wyniku uformowania granulek spienionego polistyrenu (lub jednego z jego kopolimerów) o strukturze komórek zamkniętych, wypełnionych powietrzem; wyroby ze styropianu, z okładzinami, powłokami lub bez nich, są produkowane fabrycznie w postaci płyt, rulonów lub innego wstępnie przygotowanego wyrobu
- polistyren ekstrudowany (w skrócie XPS, eXtruded PolyStyrene foam – ang. ekstrudowana pianka polistyrenowa) – materiał o strukturze komórek zamkniętych, wytwarzany przez spienianie i ekstrudowanie polistyrenu lub jednego z jego kopolimerów; zgodnie z PN-EN 13164 (Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Wyroby z polistyrenu ekstrudowanego (XPS) produkowane fabrycznie. Specyfikacja) różni się wyroby z tzw. naskórkiem (tj. wierzchnią warstwą o innych właściwościach niż rdzeń) lub bez naskórka; produkuje się je fabrycznie, z okładzinami, powłokami lub bez nich, w postaci płyt, w tym z krawędziami umożliwiającymi łączenie na zakład lub pióro-wpust
- sztywna pianka poliuretanowa (PUR), a także sztywna pianka poliizocyanurowa (PIR) – wyroby mogą być dostarczane ze sztywnymi lub elastycznymi okładzinami (ew. powłokami) albo bez nich; na ogół stosuje się okładziny szczelne dyfuzyjnie, co umożliwi lepsze zabezpieczenie przed pogorszeniem się współczynnika przewodzenia ciepła w przewidywanym czasie jej eksploatacji w przegrodach budowlanych.

dr inż. Robert Geryło  
Instytut Techniki Budowlanej  
Laboratorium Fizyki Ciepłej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska

#### **Literatura**

1. Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, [www.sejm.gov.pl](http://www.sejm.gov.pl)
2. PN-EN ISO 6946 Komponenty budowlane i elementy budynku – Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania.
3. PN-EN ISO 10456:2008 Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplno-wilgotnościowe – Tabele wartości obliczeniowe i procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych.
4. R. Geryło, *Obliczenia charakterystyki energetycznej budynków z uwzględnieniem cieplnych właściwości wyrobów budowlanych*, Poradnik, ITB, 2012.