

Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła, metoda obliczania

I. WSTĘP

Zasady obliczania wartości współczynnika przenikania ciepła U dla przegród określa norma PN-EN ISO 6946:2008 „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”. W niniejszej normie przedstawiono sposoby (częściowo) oceny udziału, jaki mają wyroby i usługi budowlane w oszczędzaniu energii oraz w ogólnych energetycznych właściwościach użytkowych budynków. Norma ta zawiera metodę obliczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła komponentów budowlanych i elementów budynku, z wyjątkiem drzwi, okien i innych komponentów szklanych, komponentów, przez które odbywa się przenoszenie ciepła do gruntu oraz komponentów, przez które przewiduje się nawiew powietrza. Przedstawiona w normie metoda obliczania oparta jest na odpowiednich wartościach obliczeniowych współczynnika przewodzenia ciepła lub na wartościach obliczeniowych oporu cieplnego materiałów i wyrobów w rozpatrywanym zastosowaniu. Metodę tę stosuje się do komponentów i elementów zawierających warstwy niejednorodnych cieplnie (które mogą zawierać warstwy powietrza). Prócz tego norma ta zawiera przybliżoną metodę, która może być stosowana do elementów zawierających warstwy niejednorodne, łącznie z efektem metalowych łączników, za pomocą członów korekcyjnych podanych w punkcie „Poprawki do współczynnika przenikania ciepła”. Rozpatrywane, inne przypadki, w których izolacja zawiera metalowe mostki cieplne, znajdują się poza zakresem stosowania niniejszej normy.

II. SYMBLOLE I JEDNOSTKI

Symbol	Wielkość	Jednostka
--------	----------	-----------

A	pole powierzchni	m^2
d	grubość	m
h	współczynnik przenoszenia ciepła na powierzchni obliczeniowy	$W / (m^2 \cdot K)$
R	opór cieplny (powierzchnia do powierzchni) opór cieplny	$m^2 \cdot K / W$
R_g	przestrzeni powietrznej	$m^2 \cdot K / W$
R_{se}	opór przyjmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej	$m^2 \cdot K / W$
R_{si}	opór przyjmowania ciepła na przestrzeni wewnętrznej całkowity	$m^2 \cdot K / W$
R_T	opór cieplny (środowisko do środowiska)	$m^2 \cdot K / W$
R'_T	kres górny całkowitego oporu cieplnego	$m^2 \cdot K / W$
R''_T	kres dolny całkowitego oporu cieplnego	$m^2 \cdot K / W$
R_u	opór cieplny przestrzeni nieogrzewanej	$m^2 \cdot K / W$
U	współczynnik przenikania ciepła	$W / (m^2 \cdot K)$
λ	obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła	$W / (m \cdot K)$

III. ZASADY METODY

Zasada metody obliczania oporu cieplnego polega na:

- 1) określeniu oporu cieplnego dla każdej jednorodnej cieplnie części komponentu,
- 2) zsumowaniu oporów każdej z tych części w celu uzyskania całkowitego oporu cieplnego komponentu, łącznie (w miarę potrzeby) z oporami przyjmowania ciepła na powierzchni

Opory poszczególnych części oblicza się według punktu „*Opór cieplny warstw jednorodnych*”. W większości przypadków przyjmuje się wartości oporów przyjmowania ciepła na powierzchni według punktu „*Opory przyjmowania ciepła na powierzchni*”. W tej metodzie obliczania można rozpatrywać warstwy powietrza jako jednorodne cieplnie. W przypadku wartości oporu cieplnego dużych warstw powietrza ograniczonych powierzchniami o dużej emisyjności stosuje się metody obliczania zawarte w punkcie „*Opór cieplny warstw powietrza*”.

Wartości oporów warstw sumuje się następująco:

- a) w przypadku komponentów składających się z warstw jednorodnych cieplnie, całkowity opór cieplny oblicza się według punktu „*Całkowity opór cieplny komponentu budowlanego składającego się z warstw jednorodnych*”, zaś współczynnik przenikania ciepła według punktu „*Współczynnik przenikania ciepła*”,
- b) w przypadku komponentów składających się z co najmniej jednej warstwy niejednorodnej cieplnie, całkowity opór cieplny oblicza się według punktu „*Całkowity opór cieplny komponentu budowlanego składającego się z warstw jednorodnych i niejednorodnych*”, zaś współczynnik przenikania ciepła według punktu „*Współczynnik przenikania ciepła*”,
- c) w przypadku komponentów składających się z warstwy o zmiennej grubości współczynnik przenikania ciepła i/lub całkowity opór cieplny oblicza się według Załącznika C do normy PN-EN ISO 6946:2008.

Jeśli zachodzi potrzeba uwzględnia się w miarę potrzeby, poprawki do współczynnika przenikania ciepła zgodnie z punktem „*Poprawki do współczynnika przenikania ciepła*”, w celu uwzględnienia efektów pustek w izolacji, łączników mechanicznych przechodzących przez warstwę izolacji i opadów na dachy odwrócone.

Uzyskany w wyniku obliczeń współczynnik przenikania ciepła ma zastosowanie do środowisk z obu stron rozpatrywanego komponentu np. do środowiska zewnętrznego i wewnętrznego dwóch środowisk wewnętrznych w przypadku ścian działowych wewnętrznych, środowiska wewnętrznego i przestrzeni nieogrzewanej. W punkcie „*Opór cieplny przestrzeni nieogrzewanych*” przedstawiono procedury pozwalające na potraktowanie przestrzeni nieogrzewanej jako oporu cieplnego.

IV. OPORY CIEPLNE I WSPÓŁCZYNNIK PRZENIKANIA CIEPŁA

1. OPÓR CIEPLNY WARSTW JEDNORODNYCH

Wyniki obliczeń wartości cieplnych można traktować jako obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła, albo jako obliczeniowy opór cieplny. W przypadku gdy podany jest współczynnik przewodzenia ciepła, to opór cieplny warstwy oblicza się ze wzoru:

$$R = \frac{d}{\lambda} \text{ [(m}^2 \text{ K)/W]} \quad (9.3.1/1)$$

gdzie:

d - grubość warstwy materiału w komponencie, [m];

λ - obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła materiału obliczony, albo przyjęty zgodnie z ISO 10456, lub przyjęty z wartości tabelarycznych np. przedstawionych w tym opracowaniu.

Uwaga: Grubość d może się różnić od grubości nominalnej (np. w przypadku gdy materiał ściśliwy jest wbudowany w stanie ściśniętym, d jest mniejsze niż grubość nominalna. Jeśli zachodzi potrzeba d może uwzględniać odchyłki grubości (np. gdy są ujemne).

Wartości oporu cieplnego wykorzystywane w obliczeniach pośrednich należy obliczać z dokładnością do co najmniej trzech cyfr znaczących.

2. OPORY PRZEJMOWANIA CIEPŁA NA POWIERZCHNI

W przypadku sytuacji, gdy nie ma dokładnych informacji o warunkach brzegowych, do powierzchni płaskich stosuje się wartości podane w Tabeli 1. Natomiast wartości dotyczące kierunku poziomego stosuje się w przypadku kierunków strumienia cieplnego odchylonego o $\pm 30^\circ$ od płaszczyzny poziomej. Jeśli chodzi o powierzchnie niepłaskie lub określone warunki brzegowe należy stosować procedury zawarte w Załączniku A do normy PN-EN ISO 6946:2008.

Tabela 9.3.1/1 – Zwyczajowe opory przejmowania ciepła na powierzchni [1]

Opór przyjmowania ciepła [m ² ·K / W]	Kierunek strumienia ciepła		
	W górę	Poziomy	W dół
R _{si}	0,10	0,13	0,17
R _{se}	0,04	0,04	0,04

UWAGA 1: 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.

UWAGA 2: Opory przyjmowania ciepła stosuje się do powierzchni w kontakcie z powietrzem. Nie stosuje się oporów przyjmowania ciepła do powierzchni w kontakcie z innym materiałem.

3. OPÓR CIEPLNY WARSTW POWIETRZA

a) Stosowalność

Wartości podane w od pkt. a) do pkt. c) stosuje się w odniesieniu do warstwy powietrza, która:

- jest ograniczona dwiema powierzchniami, które są wzajemnie równoległe i prostopadłe do kierunku strumienia ciepła i które mają emisyjność nie niższą niż 0,8;
- ma grubość (w kierunku przepływu ciepła) mniejszą niż 0,1 raza każdego z pozostałych dwóch wymiarów i nie większą niż 0,3 m;
- nie ma wymiany powietrza ze środowiskiem wewnętrznym.

Jeżeli powyższe warunki nie zostaną spełnione, stosuje się procedury opisane w Załączniku B do normy PN-EN ISO 6946:2008.

UWAGA: Większość materiałów budowlanych ma emisyjność wyższą niż 0,8, dlatego też zaleca się, aby nie obliczać pojedynczego współczynnika przenikania ciepła dla komponentów zawierających warstwy powietrza grubsze niż 0,3 m. Natomiast zaleca się, aby strumień ciepła był obliczany z warunków bilansu cieplnego (patrz ISO 13789).

b) Niewentylowana warstwa powietrza

Przez niewentylowaną warstwę powietrza rozumiemy taką warstwę, w której nie ma wyraźnego zapewnienia przepływu powietrza. Obliczeniowe wartości oporu cieplnego zostały podane w Tabeli 9.3.1/2. Wartości dotyczące kierunku poziomego znajdują zastosowanie w przypadku kierunków strumienia ciepła odchylonego o $\pm 30^\circ$ od płaszczyzny poziomej. Należy zaznaczyć, że warstwę powietrza bez izolacji cieplnej między nią a środowiskiem zewnętrznym, ale z małymi otworami do środowiska zewnętrznego, należy także uważać za niewentylowaną warstwę powietrza, jeżeli otwory te nie są przewidziane do stałego przepływu powietrza przez warstwę oraz pole ich powierzchni nie przekracza:

- 500 mm² na metr długości (w kierunku poziomym) dla pionowych warstw powietrza,
- 500 mm² na metr kwadratowy pola powierzchni, dla poziomych warstw powietrza.

UWAGA: Otwory drenażowe (odwadniające) w postaci otwartych spoin pionowych w zewnętrznej warstwie muru szczelinowego zazwyczaj spełniają powyższe kryteria i dlatego nie uważa się ich za otwory wentylacyjne.

Tabela 9.3.1/2 – Opór cieplny niewentylowanych warstw powietrza o wysokiej emisyjności powierzchni [1]

Grubość warstwy powietrza	Opór cieplny [m ² ·K / W]		
	W górę	Poziomy	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

UWAGA: Wartości pośrednie można otrzymać przez interpolację liniową

c) *Słabo wentylowana warstwa powietrza*

Za słabo wentylowaną warstwę powietrza uznaje się taką warstwę, w której możliwy jest ograniczony przepływ powietrza ze środowiska zewnętrznego przez otwory o polu powierzchni AV, zawartym w następujących granicach:

- >500 mm² ale < 1 500 mm² na metr długości (w kierunku poziomym) dla pionowych warstw powietrza,
- >500 mm² ale < 1 500 mm² na metr kwadratowy pola powierzchni dla poziomych warstw powietrza.

Podsumowując efekt wentylacji zależy od rozmiaru i rozmieszczenia otworów wentylacyjnych, zaś w przybliżeniu, całkowity opór cieplny komponentu o słabo wentylowanej warstwie powietrza można obliczać jako:

$$R_T = \frac{1500 - A_v}{1000} R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} R_{T,v} \quad (9.3.1/2)$$

gdzie:

$R_{T,u}$ - całkowity opór cieplny z niewentylowaną warstwą powietrza zgodną z punktem „*Niewentylowana warstwa powietrza*”,

$R_{T,v}$ - całkowity opór cieplny z dobrze wentylowaną warstwą powietrza zgodną z punktem „*Dobrze wentylowana warstwa powietrza*”

d) *Dobrze wentylowana warstwa powietrza*

Przez dobrze wentylowaną warstwę powietrza uważa się taką warstwę, w której pole powierzchni otworów między nią a środowiskiem zewnętrznym jest równe lub przekracza:

- 1 500 mm² na metr długości (w kierunku poziomym) w odniesieniu do pionowych warstw powietrza,
- 1 500 mm² na metr kwadratowy pola powierzchni w odniesieniu do poziomych warstw powietrza.

Całkowity opór cieplny komponentu budowlanego zawierającego dobrze wentylowaną warstwę powietrza należy obliczyć, pomijając opór cieplny warstwy powietrza i wszystkich innych warstw między warstwą powietrza a środowiskiem zewnętrznym oraz dodając zewnętrzny opór przejmowania ciepła, odpowiadający powietrzu nieruchomemu

(patrz Załącznik A do normy PN-EN ISO 6946:2008). Alternatywnie może zostać zastosowana odpowiednia wartość R_{si} z Tabeli 9.3.1/1.

4. OPÓR CIEPLNY PRZESTRZENI NIEOGRZEWANYCH

a) Postanowienia ogólne:

W przypadku, gdy obudowa zewnętrzna przestrzeni nieogrzewanej nie jest izolowana, można zastosować uproszczone procedury z punktu „Przestrzenie dachowe” i punktu „Inne przestrzenie”, uznając przestrzeń nieogrzewaną za opór cieplny.

UWAGA 1: W normie ISO 13789 podano ogólne i bardziej precyzyjne procedury obliczania przenoszenia ciepła z budynku do środowiska zewnętrznego przez przestrzenie nieogrzewane, które zaleca się stosować, gdy wymagany jest dokładniejszy wynik. Przestrzenie przełazowe pod podłogami podniesionymi, patrz norma ISO 13370.

UWAGA 2: Opory cieplne podane w punkcie „Przestrzenie dachowe” i punkcie „Inne przestrzenie” są odpowiednie do obliczeń strumienia ciepła, ale nie do obliczeń związanych z warunkami cieplno-wilgotnościowymi w przestrzeni nieogrzewanej.

b) Przestrzenie dachowe:

W przypadku stromych dachów z płaskim izolowanym stropem, przestrzeń poddasza można uznać za warstwę jednorodną cieplnie o oporze cieplnym takim, jak podano w Tabeli 9.3.1/3.

Dane zawarte w Tabeli 9.3.1/3 stosuje się do przestrzeni powietrznych wentylowanych naturalnie nad budynkami ogrzewanymi. W przypadku wentylacji mechanicznej należy zastosować procedurę przedstawioną w normie ISO 13789, traktując przestrzeń dachową jako nieogrzewaną z określoną krotnością wentylacji.

Tabela 9.3.1/3 Opór cieplny przestrzeni dachowych [1]

Charakterystyki dachu		R _u m ² ·K / W
1	Pokrycie dachówką bez papy (folii), płyt poszycia itp.	0,06
2	Pokrycie arkuszowe lub dachówką z papą (folią), płytami poszycia itp. pod dachówką	0,2
3	Jak w 2 (powyżej) lecz z okładziną aluminiową lub inną niskoemisyjną powierzchnią od spodu dachu	0,3
4	Pokrycie papą na płytach poszycia	0,3

UWAGA: Wartości podane w niniejszej Tabeli uwzględniają opór cieplny przestrzeni wentylowanej i konstrukcji dachu. Nie uwzględniają one zewnętrznych oporów przejmowania ciepła R_{se}

c) Inne przestrzenie:

W przypadku gdy do budynku przylega przestrzeń nieogrzewana, współczynnik przenikania ciepła między środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym można określić, uznając nieogrzewaną przestrzeń wraz z komponentami jej konstrukcji zewnętrznej za dodatkową warstwę jednorodną o oporze cieplnym R_u. Gdy wszystkie elementy między środowiskiem wewnętrznym i przestrzenią nieogrzewaną mają ten sam współczynnik przenikania ciepła, opór cieplny przestrzeni nieogrzewanej (R_u) można obliczyć za pomocą poniższego wzoru:

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e,k} U_{e,k}) + 0,33 \times nV} \quad (9.3.1/3)$$

gdzie:

A_i - całkowite pole powierzchni wszystkich elementów między środowiskiem wewnętrznym i nieogrzewaną przestrzenią, w m²;

A_{e,k} - pole powierzchni elementu k między przestrzenią nieogrzewaną i środowiskiem zewnętrznym, w m²;

$U_{e,k}$ - współczynnik przenikania ciepła elementu k między przestrzenią nieogrzewaną i środowiskiem zewnętrznym, w $W / (m^2 \cdot K)$;

n - krotność wentylacji przestrzeni nieogrzewanej, w liczbie wymian powietrza na godzinę;

V - objętość przestrzeni nieogrzewanej, w m^3

Sumowanie wykonuje się po wszystkich elementach między przestrzenią nieogrzewaną i środowiskiem zewnętrznym, z wyjątkiem podłóg na gruncie.

Gdy detale konstrukcji elementów zewnętrznych przestrzeni nieogrzewanej nie są znane, zaleca się stosowanie wartości $U_{e,k} = 2 W/(m^2 \cdot K)$ oraz $n = 3$ wymiany powietrza na godzinę.

UWAGA 1: Przykładowymi przestrzeniami nieogrzewanymi są garaże, składziki i oranżerie.

UWAGA 2: Jeżeli między środowiskiem wewnętrznym i nieogrzewaną przestrzenią jest więcej niż jeden komponent, R_u uwzględnia się w obliczeniach współczynnika przenikania ciepła każdego takiego komponentu.

UWAGA 3: Równanie 9.3.1/3 jest oparte na procedurze z ISO 13789 do obliczeń przenoszenia ciepła przez przestrzenie nieogrzewane.

5. CAŁKOWITY OPÓR CIEPLNY

Całkowity opór cieplny R_T , płaskiego komponentu budowlanego składającego się z warstw jednorodnych cieplnie prostopadłych do strumienia ciepła należy obliczać z poniższego równania:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (9.3.1/4)$$

gdzie:

R_{si} - opór przyjmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni;

R_1, R_2, \dots, R_n - obliczeniowe opory cieplne każdej warstwy;

R_{se} - opór przyjmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni.

W przypadku gdy oblicza się opór cieplny wewnętrznych komponentów budowlanych (ścian działowych itp.) lub komponentów między środowiskiem wewnętrznym i przestrzenią nieogrzewaną, R_{si} stosuje się dla obydwu stron. Jeśli całkowity opór cieplny podaje się jako wynik końcowy, należy go zaokrąglić do dwóch cyfr znaczących.

UWAGA: W Równaniu 9.3.1/4 pomija się opory przejmowania ciepła, gdy wymagany jest opór cieplny komponentu od powierzchni do powierzchni.

6. CAŁKOWITY OPÓR CIEPLNY KOMPONENTU BUDOWLANEGO SKŁADAJĄCEGO SIĘ Z WARSTW JEDNORODNYCH I NIEJEDNORODNYCH

a) Stosowalność

W punkcie „*Całkowity opór cieplny komponentu*”; punkcie „*Kres górny całkowitego oporu cieplnego*”; punkcie „*Kres dolny całkowitego oporu cieplnego*”; punkcie „*Oszacowanie błędu*” zastosowano uproszczoną metodę obliczania oporu cieplnego komponentów budowlanych składających się z warstw jednorodnych i niejednorodnych cieplnie. Należy zaznaczyć, że metoda ta nie nadaje się do stosowania w przypadkach, gdy stosunek górnej granicy oporu cieplnego do jego dolnej granicy przekracza 1,5. Jednocześnie metoda ta nie ma zastosowania w przypadkach, gdy przez izolację przechodzą mostki metalowe. W przypadku zastosowania łączników metalowych metoda ta może być zastosowana, zakładając że nie było łączników metalowych i wynik jest poprawiony zgodnie z punktem „*Poprawka z uwagi na łączniki mechaniczne*”.

Bardziej precyzyjny wynik otrzymuje się, stosując metodę komputerową zgodną z normą ISO 10211. Jest to szczególnie odpowiednie, w przypadku gdy istnieje znaczna różnica między współczynnikiem przewodzenia ciepła materiałów w warstwie prowadzącej do zwiększonego oporu cieplnego konstrukcji.

Jednakże metoda opisana w punkcie „*Całkowity opór cieplny komponentu*”, punkcie „*Kres górny całkowitego oporu cieplnego*”; punkcie „*Kres dolny całkowitego oporu cieplnego*”; punkcie „*Oszacowanie błędu*” nie jest odpowiednia do obliczania temperatur powierzchni w celu oceny ryzyka kondensacji.

Jeżeli dla części elementu budynku ma być oszacowany oddzielnie współczynnik przenikania ciepła w stosunku do całej konstrukcji, jej opór cieplny należy otrzymać z zastosowaniem metod opisanych w punkcie „*Całkowity opór cieplny komponentu*”, punkcie „*Kres górny całkowitego oporu cieplnego*”; punkcie „*Kres dolny całkowitego oporu cieplnego*”; punkcie „*Oszacowanie błędu*”, ale z oporem przejmowania ciepła równym zero na obu jej brzegach.

W kolejnych obliczeniach otrzymany opór cieplny można następnie zastosować w celu otrzymania współczynnika przenikania ciepła całego elementu. Należy zaznaczyć, że jest

to odpowiednie, gdy część elementu sprzedaje się jako oddzielną sztukę. Tego typu elementami mogą być panele strukturalne i elementy murowe szczelinowe.

b) Całkowity opór cieplny komponentu

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} \quad (9.3.1/5)$$

gdzie:

R_T' - kres górny całkowitego oporu cieplnego, obliczony według punktu „Kres górny całkowitego oporu cieplnego”,

R_T'' - kres dolny całkowitego oporu cieplnego, obliczony według punktu „Kres dolny całkowitego oporu cieplnego”.

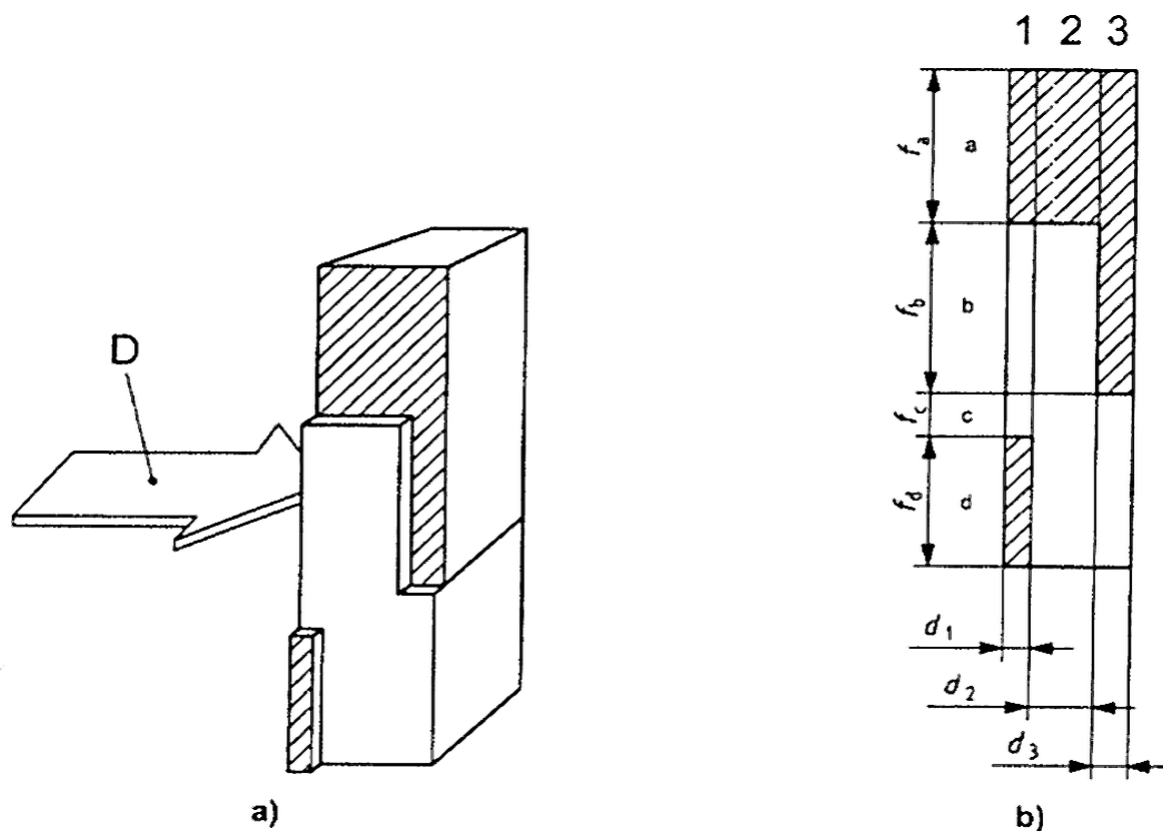
W przypadku gdy wynikiem końcowym jest całkowity opór cieplny, należy go zaokrąglić do dwóch miejsc znaczących. Przy obliczaniu dolnego i górnego kresu należy uwzględnić podział komponentu na sekcje i warstwy, jak pokazano na Rysunku 9.3.1/1, w taki sposób, aby był on podzielony na części, m_j , jednorodnie cieplnie.

Przedstawiony na rysunku 9.3.1a komponent został podzielony na sekcje a, b, c i d oraz na warstwy 1, 2 i 3, co prezentuje Rysunek 9.3.1/1b i w ten sposób należy go rozpatrywać ten komponent. Sekcja m ($m = a, b, c, \dots, q$) jest prostopadła do powierzchni komponentu ma względne pole powierzchni F_m , zaś warstwa j ($j = 1, 2, \dots, n$) równoległa do powierzchni ma grubość d_j .

Część ma współczynnik przewodzenia ciepła λ_{mj} , grubość d_j , względne pole powierzchni f_m oraz opór cieplny R_{mj}

Względne pole powierzchni sekcji jest proporcjonalne do całkowitego pola powierzchni. Stąd wynika, że:

$$f_a + f_b + \dots + f_q = 1$$



Rysunek 9.3.1/1 Sekcje i warstwy komponentu niejednorodnego cieplnie [1]

Objaśnienia:

D - kierunek strumienia ciepła,

a, b, c, d – sekcje,

1, 2, 3 – warstwy

c) Kres górny całkowitego oporu cieplnego R_T'

Kres górny całkowitego oporu cieplnego (R_T') określa się przy założeniu jednowymiarowego strumienia ciepła prostopadłego do powierzchni komponentu i oblicza się go według podanego wzoru:

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}} \quad (9.3.1/6)$$

gdzie:

$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tq}$ - całkowite opory cieplne od środowiska do środowiska każdej sekcji, obliczone z zastosowaniem Równania 9.3.1/4,

f_a, f_b, \dots, f_q - względne pola powierzchni każdej sekcji.

d) Kres dolny całkowitego oporu cieplnego R_T''

Kres dolny całkowitego oporu cieplnego (R_T''), określa się przy założeniu, że wszystkie powierzchnie równoległe do powierzchni komponentu są izotermiczne.

W przypadku gdy do warstwy powietrza przylega powierzchnia niepłaska, obliczenia wykonuje się tak jak dla powierzchni płaskiej, jednocześnie zakładając rozszerzenie węższego wycinka (lecz bez zmiany oporu cieplnego), co pokazuje Rysunek 9.3.1/2 lub usunięcie części wystających (i zmniejszenie oporu cieplnego), co pokazuje Rysunek 9.3.1/3



Rysunek 9.3.1/2 [1]



Rysunek 9.3.1/3 [1]

Równoważny opór cieplny (R_j), każdej warstwy niejednorodnej cieplnie, oblicza się według podanego wzoru:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{aj}} \quad (9.3.1/7)$$

Alternatywną metodą w stosunku do metody przedstawionej za pomocą rysunku 9.3.1/2, ale dającej ten sam wynik, jest użycie równoważnego współczynnika przewodzenia ciepła warstwy z użyciem rysunku 9.3.1/3, według następującego wzoru:

$$R_j = d_j / \lambda_j''$$

gdzie,

równoważny współczynnik przewodzenia ciepła λ_j'' warstwy j wynosi:

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

Jeżeli warstwa powietrzna jest częścią warstwy niejednorodnej, można ją traktować jako materiał o równoważnym współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda_f = d_j/R_g$, gdzie R_g jest oporem cieplnym warstwy powietrznej określonej zgodnie z Załącznikiem B do normy PN-EN ISO 6946:2008.

Kres dolny całkowitego oporu cieplnego jest więc określony z Równania 9.3.1/4, a więc:

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (9.3.1/8)$$

e) *Oszacowanie błędu*

W przypadku gdy chcemy uzyskać określoną dokładność przy obliczaniu współczynnika ciepła można stosować niniejszą metodę szacowania maksymalnego błędu względnego. Maksymalny błąd względny e , obliczony w procentach, z zastosowaniem tego przybliżenia wynosi:

$$e = \frac{R'_T - R''_T}{2R_T} \times 100 \quad (9.3.1/9)$$

Można posłużyć się PRZYKŁADEM, w którym stosunek kresu górnego do kresu dolnego jest równy 1,5, zaś maksymalny możliwy błąd wynosi 20%. Warto zauważyć, że błąd rzeczywisty przeważnie jest dużo mniejszy niż maksymalny. Błąd ten można oszacować, decydując, czy uzyskana dokładność, przez zastosowanie procedury opisanej w punkcie „*Całkowity opór cieplny komponentu*” jest akceptowalna ze względu na:

- cel obliczenia,
- udział całkowitego strumienia ciepła przez konstrukcję budynku, który przenika przez komponenty; których opór cieplny ocenia się za pomocą procedury opisanej w punkcie „*Całkowity opór cieplny komponentu*”,
- dokładność danych wejściowych.

7. *WSPÓŁCZYNNIK PRZENIKANIA CIEPŁA*

Współczynnik przenikania ciepła oblicza się za pomocą poniższego wzoru:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})] \quad (9.3.1/10)$$

W przypadku gdy jest wymagane, należy uwzględnić poprawki do współczynnika przenikania ciepła według punktu „Poprawki do współczynnika przenikania ciepła”. Należy jednak pamiętać o tym, że jeśli całkowita poprawka jest mniejsza niż 3% wartości U, to poprawki te nie są wymagane. W przypadku gdy wynikiem końcowym staje się współczynnik przenikania ciepła, należy zaokrąglić go do dwóch cyfr znaczących i podać informację o danych wejściowych zastosowanych do obliczania.

8. POPRAWKI DO WSPÓŁCZYNNIKA PRZENIKANIA CIEPŁA

a) Postanowienia ogólne

Należy stosować poprawki do obliczonego za pomocą procedur podanych w normie PN-EN ISO 6946:2008 współczynnika przenikania ciepła z uwagi na:

- pustki powietrzne w warstwie izolacji;
- łączniki mechaniczne przechodzące przez warstwę izolacyjną;
- opady na dach o odwróconym układzie warstw.

UWAGA: Za stropodach odwrócony uważa się taki stropodach, który ma warstwę izolacji powyżej membrany wodochronnej.

Poprawiony współczynnik przenikania ciepła, U_c , uzyskuje się przez dodanie członu korekcyjnego, ΔU , zgodnie z poniższymi równaniami:

$$U_c = U + \Delta U \quad (9.3.1/11)$$

zaś ΔU określa równanie:

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \quad (9.3.1/12)$$

gdzie:

ΔU_g – poprawka z uwagi na pustki powietrzne zgodnie ze wzorem obliczeniowym 9.3.1/12;

ΔU_f – poprawka z uwagi na łączniki mechaniczne zgodnie ze wzorem obliczeniowym 9.3.1/13;

ΔU_r – poprawka z uwagi na dach o odwróconym układzie warstw zgodnie ze wzorem obliczeniowym 9.3.1/14.

b) Poprawka z uwagi na pustki powietrzne

Definicja pustek powietrznych:

Wyrażenie „pustki powietrzne” zastosowane w normie PN-EN ISO 6946:2008 jest stosowane jako termin zasadniczy w odniesieniu do przestrzeni powietrznych w izolacji lub między izolacją i przylegającą konstrukcją, która istnieje w rzeczywistej konstrukcji ale nie jest przedstawiona na szkicach. Mogą być one podzielone na dwie główne kategorie:

- szczeliny między arkuszami izolacyjnymi, płytami lub matami, lub między izolacją i elementami konstrukcji, w kierunku strumienia ciepła;
- wnęki w izolacji lub między izolacją i konstrukcją, prostopadłe do kierunku strumienia ciepła.

Poprawki:

Pustki powietrzne mogą wpływać na zwiększenie współczynnika przenikania ciepła komponentu poprzez zwiększenie przenoszenia ciepła przez promieniowanie i konwekcję: wielkość zwiększenia zależy od rodzaju, orientacji i usytuowania pustek powietrznych. Poprawkę stosuje się jako element dodatkowy do współczynnika przenikania ciepła i jest on wyrażony jako ΔU_g .

Przyczyną szczelin powietrznych są małe zmiany wymiarów wyrobu izolacyjnego (odchyłki wymiarów), a także zmiany od wymaganych rozmiarów podczas cięcia i instalacji. Prócz tego szczeliny powietrzne wynikają z odchyłek wymiarów towarzyszących samej konstrukcji oraz jej nieregularności. Jedynym wyjątkiem są szczeliny przechodzące przez całą grubość izolacji ze strony ciepłej na zimną, które powodują zwiększenie przenikania, dlatego też poprawka jest uzasadniona, ale jest zasadniczo tylko poprawką średnią. Zastosowanie izolacji w więcej niż jednej warstwie ze spoinami przestawionymi powoduje brak konieczności zastosowania poprawki.

Jeśli chodzi o wnęki, są one wynikiem występowania powierzchni niepłaskich w obrębie konstrukcji: izolacja bowiem jest zbyt sztywna, zbyt mało elastyczna lub zbyt mało ściśliwa, aby móc wypełnić ją całkowicie. Podobny efekt jest zauważalny w przypadku nieregularności takich jak grudki zaprawy, które działają jak przekładki tworzące przestrzenie powietrzne lub przestrzenie powietrzne między konstrukcją i izolacją. W sytuacji gdy wnęki mają charakter nieciągły (brak komunikacji z innymi wnękami, szczelinami powietrznymi lub wewnętrznym i zewnętrznym środowiskiem), stosowana jest jedynie średnia poprawka.

Porównanie obliczenia i pomiaru dla obu typów pustek powietrznych wykazuje dobrą zgodność.

W przypadku zaistnienia sytuacji, w której dwa typy pustek powietrznych występują łącznie, dodatkowe straty ciepła mogą wynikać z powodu przenoszenia masy, co wymaga zastosowania większej poprawki. Zakłada się zawsze odpowiedni standard wykonania. W celu uproszczenia procedury poprawki, jako podstawę do poprawki stosuje się sposób instalowania izolacji. Rozróżnia się trzy poziomy poprawek z uwagi na pustki powietrzne $\Delta U''$ (patrz Tabela 9.3.1/4).

Tabela 9.3.1/4 Poprawka z uwagi na pustki powietrzne $\Delta U''$ [1]

Poziom	Opis	$\Delta U''$ W/(m ² K)
0	Brak pustek powietrznych w obrębie izolacji, lub gdy występują tylko mniejsze pustki powietrzne, które nie mają znaczącego efektu na współczynnik przenikania ciepła.	0,00
1	Pustki powietrzne przechodzące od ciepłej do zimnej strony izolacji, ale nie powodujące cyrkulacji powietrza między ciepłą i zimną stroną izolacji.	0,01
2	Pustki powietrzne przechodzące od ciepłej do zimnej strony izolacji, łącznie z wnękami powodującymi swobodną cyrkulację powietrza między ciepłą i zimną stroną izolacji.	0,04

Poprawkę tę stosuje się zgodnie z Równaniem 9.3.1/13:

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right) \quad (9.3.1/13)$$

gdzie:

R_1 – opór cieplny warstwy zawierającej szczeliny, obliczony według punktu „Opór cieplny warstw jednorodnych”;

$R_{T,h}$ – całkowity opór cieplny komponentu z pominięciem mostków cieplnych, obliczony według punktu „Całkowity opór cieplny komponentu budowlanego składającego się z warstw jednorodnych”;

$\Delta U''$ – jest podane w Tabeli 9.3.1/4.

Przykłady:

Poniżej zostały zaprezentowane przykłady poziomów poprawek. Poszczególne przykłady, które związane są z lokalnymi technikami konstruowania mogą być podawane na poziomie krajowym.

a) Przykłady poziomu 0 (zastosowana jest poprawka $\Delta U'' = 0$):

- W pierwszym przypadku mamy do czynienia z ciągłymi warstwami izolacji, które nie posiadają jakichkolwiek przerw w warstwie izolacji, które mogłyby być spowodowane elementami konstrukcji jak słupy, krokwie lub belki stropowe ze złączami przestawnymi między matami lub płytami w poszczególnych warstwach. Jednocześnie izolacja jest tu w ciągłym kontakcie z konstrukcją i nie zawiera wnęk między konstrukcją i izolacją,
- W drugim przypadku mamy do czynienia z więcej niż jedną warstwą, przy czym jedna warstwa jest ciągła, bez jakichkolwiek przerw w warstwie izolacji spowodowanych elementami konstrukcji jak słupy, krokwie lub belki stropowe, pokryciami innej warstw (warstw) przechodzącymi przez elementy konstrukcji. Jednocześnie izolacja jest tu w ciągłym kontakcie z konstrukcją, bez wnęk między konstrukcją i izolacją,
- W trzecim przypadku mamy do czynienia z pojedynczą warstwą ciągłej izolacji ze złączami, takimi jak na zakład, wpust i pióro, lub uszczelniona. Jednocześnie izolacja jest tu w ciągłym kontakcie z konstrukcją, bez wnęk między konstrukcją i izolacją,
- W czwartym przypadku mamy do czynienia z pojedynczą warstwą ciągłej izolacji ze spoinami na styk, gdzie odchyłki wymiarów długości, szerokości i prostokątności połączone ze stabilnością wymiarową dają w efekcie szczeliny przy złączach o grubości mniejszej niż 5 mm. Jednocześnie izolacja jest tu w ciągłym kontakcie z konstrukcją, bez wnęk między konstrukcją i izolacją.

b) Przykłady poziomu 1 (zastosowana jest poprawka $\Delta U'' = 0,01$)

- W pierwszym przypadku mamy do czynienia z jedną warstwą izolacji, przerwaną przez elementy konstrukcji takie jak słupy, krokwie lub belki stropowe. Jednocześnie izolacja jest tu w ciągłym kontakcie z konstrukcją, bez wnęk między konstrukcją i izolacją,
- W drugim przypadku mamy do czynienia z pojedynczą warstwą izolacji ze złączami na styk, gdzie odchyłki wymiarów długości, szerokości i prostokątności, połączone ze stabilnością wymiarową dają w efekcie szczeliny przy złączach o grubości mniejszej niż 5 mm. Jednocześnie izolacja jest tu w ciągłym kontakcie z konstrukcją, bez wnęk między konstrukcją i izolacją.

c) Przykłady poziomu 2 (zastosowana jest poprawka $\Delta U'' = 0,04$)

- W tym przypadku mamy do czynienia ze co najmniej jedną warstwą izolacji przy braku kontaktu z ciepłą stroną konstrukcji, z wnękami między konstrukcją i izolacją powodującymi ruch powietrza między ciepłą i zimną stroną izolacji.

c) *Poprawki z uwagi na łączniki mechaniczne*

Obliczanie szczegółowe

Efekt łączników mechanicznych można oszacować za pomocą obliczeń zgodnych z normą ISO 10211 w celu uzyskania punktowego współczynnika przenikania ciepła (χ), spowodowanego jednym łącznikiem. Poprawka dla współczynnika przenikania ciepła jest obliczana za pomocą poniższego wzoru:

$$\Delta U_f = n_f \chi \quad (9.3.1/14)$$

gdzie:

n_f - jest liczbą łączników na metr kwadratowy.

Procedura przybliżona

W tym podrozdziale została zaprezentowana przybliżona procedura oceny efektu łączników mechanicznych. Procedurę tę można zastosować, gdy łączniki nie są uwzględnione innymi metodami. W przypadku, gdy warstwę izolacyjną przebijają łączniki mechaniczne, takie jak kotwie ścienne między warstwami muru, łączniki dachowe lub łączniki w złożonych systemach paneli, poprawkę do współczynnika przenikania ciepła oblicza się za pomocą poniższego równania:

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \quad (9.3.1/15)$$

gdzie współczynnik α podany jest następująco:

$\alpha = 0,8$, jeżeli łącznik całkowicie przebija warstwę izolacji, patrz 9.3.1/11

$$\alpha = 0,8 \times \frac{d_1}{d_0}$$

W tych wyrażeniach:

λ_f - współczynnik przewodzenia ciepła łącznika, [W/(m · K)];

n_f - liczba łączników na metr kwadratowy;

A_f - pole przekroju poprzecznego jednego łącznika, w m^2 ;

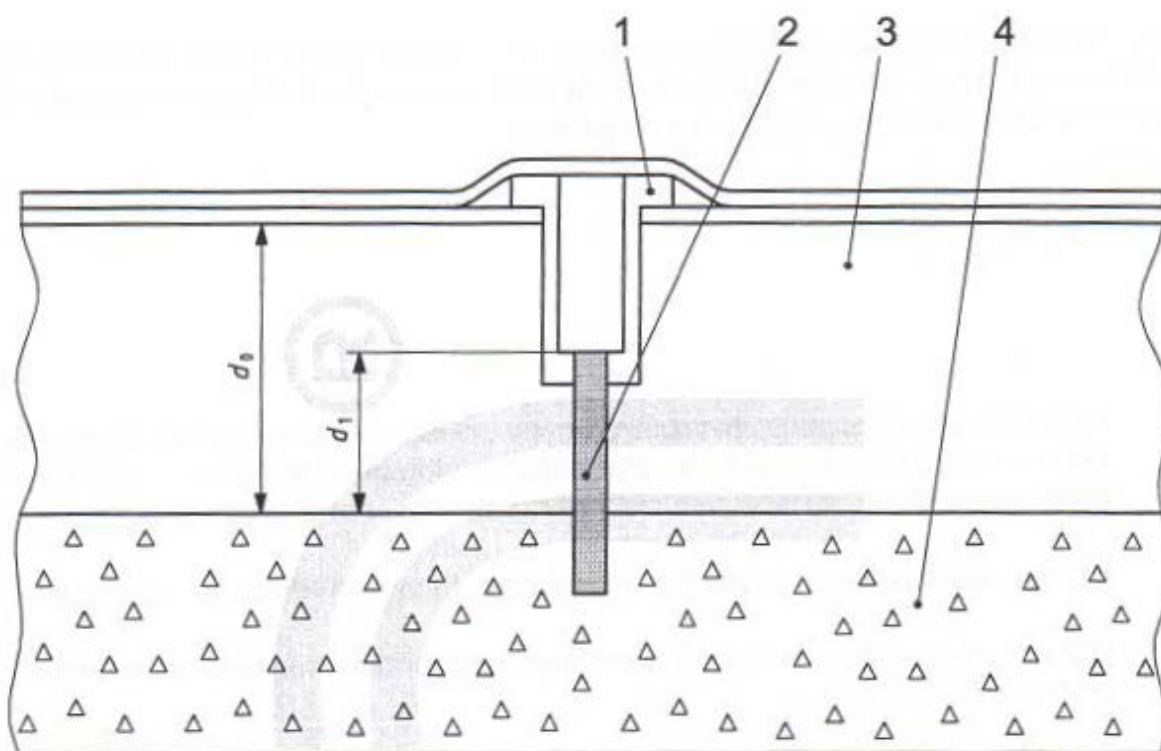
d_0 - grubość warstwy izolacji zawierającej łącznik, w m;

d_1 - długość łącznika, który przebija warstwę izolacyjną, w m;

R_1 - opór cieplny warstwy izolacji przebijanej przez łączniki, w $m^2 \cdot K/W$;

$R_{T,h}$ - całkowity opór cieplny komponentu z pominięciem jakichkolwiek mostków cieplnych, jak uzyskano w punkcie „Całkowity opór cieplny komponentu budowlanego składającego się z warstw jednorodnych”, w $m^2 \cdot K/W$.

UWAGA 1: Wartość d_1 może być większa niż grubość warstwy izolacji, jeżeli łącznik przechodzi przez nią pod kątem. W przypadku łącznika wpuszczonego d_1 jest mniejsza niż grubość warstwy izolacji oraz R_1 jest równe d_1 podzielonemu przez współczynnik przewodzenia ciepła izolacji.



Rysunek 9.3.1/4 Wpuszczony łącznik dachowy [1]

Objaśnienia:

1 - łeb z tworzywa sztucznego

2 - łącznik wpuszczony

3 - izolacja

4 - pokrycie dachowe

d_0 - grubość warstwy izolacji zawierającej łącznik

d_1 - grubość łącznika, który przebija warstwę izolacji

Poprawki nie należy wprowadzać w następujących przypadkach:

- gdy kotwie ściennie przechodzą przez pustą wnękę;
- gdy współczynnik przewodzenia ciepła łącznika jest mniejszy niż $1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Procedura ta nie ma również zastosowania, w przypadku gdy obydwie końce metalowej części łącznika są w bezpośrednim kontakcie cieplnym z arkuszami metalowymi.

UWAGA 2: W przypadku, gdy obydwie końce łącznika są w bezpośrednim kontakcie cieplnym z arkuszami metalowymi, można stosować metody wyznaczania poprawek zawarte w normie ISO 10211.

d) Procedura wprowadzania poprawki w przypadku stropodachów odwróconych

Postanowienia ogólne

Przedstawiona w tym podpunkcie procedura wprowadzania poprawek jest przewidziana dla stropodachów odwróconych; wynika ona z przepływu wody deszczowej między izolacją a membraną wodochronną. Procedurę tę stosuje się w odniesieniu do budynków ogrzewanych, natomiast w przypadku budynków chłodzonych poprawka nie znajduje zastosowania.

Przedstawiona w tym podpunkcie procedura ma zastosowanie jedynie do izolacji wykonanej z pianki z polistyrenu ekstrudowanego (XPS).

Poprawka wynikająca z przepływu wody między izolacją i membraną wodochronną

Poprawkę do obliczonego współczynnika przenikania ciepła elementu dachu, ΔU_r , wyrażoną w $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, która uwzględnia dodatkowe straty ciepła spowodowane wodą deszczową wpływającą przez złącza w izolacji i dochodzącą do membrany wodochronnej, oblicza się według następującego wzoru:

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \left(\frac{R_1}{R_r} \right)^2 \quad (9.3.1/16)$$

gdzie:

p - średnia wartość opadów atmosferycznych podczas sezonu ogrzewczego, na podstawie danych odpowiednich dla lokalizacji (np. stacja meteorologiczna) lub podana przez przepisy lokalne, regionalne czy krajowe lub inne dokumenty krajowe czy normy, w mm/dzień;

f - czynnik deszczowy podający frakcję p dochodzącą do membrany wodochronnej;

x - czynnik zwiększenia strat ciepła spowodowanych przez wodę deszczową wpływającą na membranę, w $(W \cdot \text{dzień}) / (m^2 \cdot K \cdot \text{mm})$;

R_1 - opór cieplny warstwy izolacji powyżej membrany wodochronnej, w $m^2 \cdot K/W$;

T_R - całkowity opór cieplny konstrukcji przed zastosowaniem poprawki, w $m^2 \cdot K/W$.

Wartości p można określać na podstawie danych krajowych.

Wartość f_x dla pojedynczej warstwy izolacji powyżej membrany, z połączeniami na styk i otwartym pokryciem takim jak żwir będzie wynosić odpowiednio $(f_x) = 0,04$.

UWAGA: Należy zauważyć, że pojedyncza warstwa izolacji bez połączeń stykowych i otwartych pokryć będzie traktowana jako układ dający wyższą wartość ΔU . Niższe wartości (f_x) można stosować do konstrukcji dachowych, które dają mniejszą filtrację przez izolację. Przykładami są różne rozmieszczenia spoin (takich jak na zakład lub połączenia typu wpust i pióro) lub różne typy wznoszenia dachu. W tych przypadkach, w których wynik pomiarów jest udokumentowany w niezależnych raportach, do (f_x) można stosować wartości mniejsze niż 0,04.

9. OBLICZANIE WSPÓŁCZYNNIKA PRZENIKANIA CIEPŁA DLA PRZEGRÓD W KONTAKCIE Z GRUNTEM

W niniejszym punkcie została wykorzystana norma PN – EN ISO 13370, w której przedstawiono metodę obliczania współczynnika przenikania ciepła elementów budowli w kontakcie z gruntem, w przeciwieństwie do normy PN – EN ISO 6946:2008, w której określono metodę obliczania współczynnika przenikania ciepła elementów budowli w kontakcie z powietrzem zewnętrznym. Podział pomiędzy przedstawionymi normami jest na poziomie wewnętrznej powierzchni podłogi w przypadku podłóg typu: płyta na gruncie, podłóg podniesionych i nieogrzewanych podziemi, a na poziomie zewnętrznej powierzchni gruntu w przypadku podziemi ogrzewanych.

Przepisy krajowe lub inne dokumenty określają właściwości cieplne gruntu i mogą być stosowane, gdy jest to odpowiednie. Jednakże w innych przypadkach postępowanie jest następujące:

- a) Jeśli są znane właściwości cieplne gruntu, stosuje się wartości odpowiadające rzeczywistej lokalizacji, uśrednione na głębokości równej szerokości budynku i uwzględniające normalną zawartość wilgoci,
- b) Jeśli znany jest typ podłoża lub jest on określony, należy stosować wartości, które zostały podane w tabeli 9.3.1/ 5
- c) W innych przypadkach należy stosować $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ oraz $\rho c = 2,0 \times 10^6 \text{ J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$

Tabela 9.3.1/ 5 Właściwości cieplne gruntu [3]

Kategoria	Opis	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)]	Pojemność cieplna na jednostkę objętości ρc [J/(m ³ ·K)]
1	glina lub ił	1,5	$3,0 \times 10^6$
2	piasek lub żwir	2,0	$2,0 \times 10^6$
3	skała jednorodna	3,5	$2,0 \times 10^6$

a) Wymiar charakterystyczny podłogi

W celu uwzględnienia trójwymiarowej natury strumienia ciepła w obrębie gruntu wzory w niniejszej normie PN – EN ISO 13370:2008 są przedstawione w punkcie „wymiar charakterystyczny” podłogi B' , zdefiniowanym jako pole powierzchni podłogi podzielone przez połowę obwodu, co przedstawia poniższy wzór:

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

Uwaga: Dla podłogi nieskończenie długiej B' jest szerokością podłogi dla podłogi kwadratowej, B' jest połową długości jednego boku.

Specjalne szczegóły posadowienia, np. izolacja krawędziowa podłogi, są rozpatrywane jako modyfikacja strumienia ciepła na obwodzie. W przypadku podziemi, B' jest obliczane za pomocą wzoru obliczeniowego powierzchni i obwodu podłogi podziemia, bez uwzględnienia

ścian podziemia i strumienia ciepła z podziemia zawierającego dodatkowy człon związany z obwodem i głębokością podłogi podziemia poniżej poziomu gruntu.

W normie PN – EN ISO 13370:2008, P jest wyeksponowanym obwodem podłogi i stanowi całkowitą długość ściany zewnętrznej oddzielającej budynek ogrzewany od środowiska zewnętrznego lub od przestrzeni nieogrzewanej na zewnątrz struktury. Wynika stąd, że

- dla całego budynku, P stanowi całkowity obwód budynku, a A stanowi całkowite pole powierzchni podłogi na gruncie,
- w celu obliczenia straty ciepła z części budynku (np. dla każdego pojedynczego segmentu w zabudowie szeregowej), P uwzględnia długości ścian zewnętrznych oddzielających przestrzeń ogrzewaną od środowiska zewnętrznego i nie uwzględnia długości ścian oddzielających rozpatrywaną część od innych ogrzewanych części budynku, przy czym należy zaznaczyć, że A stanowi pole powierzchni rozpatrywanej podłogi na gruncie;
- nieogrzewane przestrzenie na zewnątrz izolowanej struktury (takie jak wejścia, dobudowane garaże czy powierzchnie magazynowe) nie są uwzględniane podczas określania P oraz A (ale długość ściany między budynkiem ogrzewanym i przestrzenią nieogrzewaną jest uwzględniona w obwodzie; straty ciepła do gruntu są oceniane tak jak gdyby przestrzenie nieogrzewane nie występowały).

b) Grubość równoważna

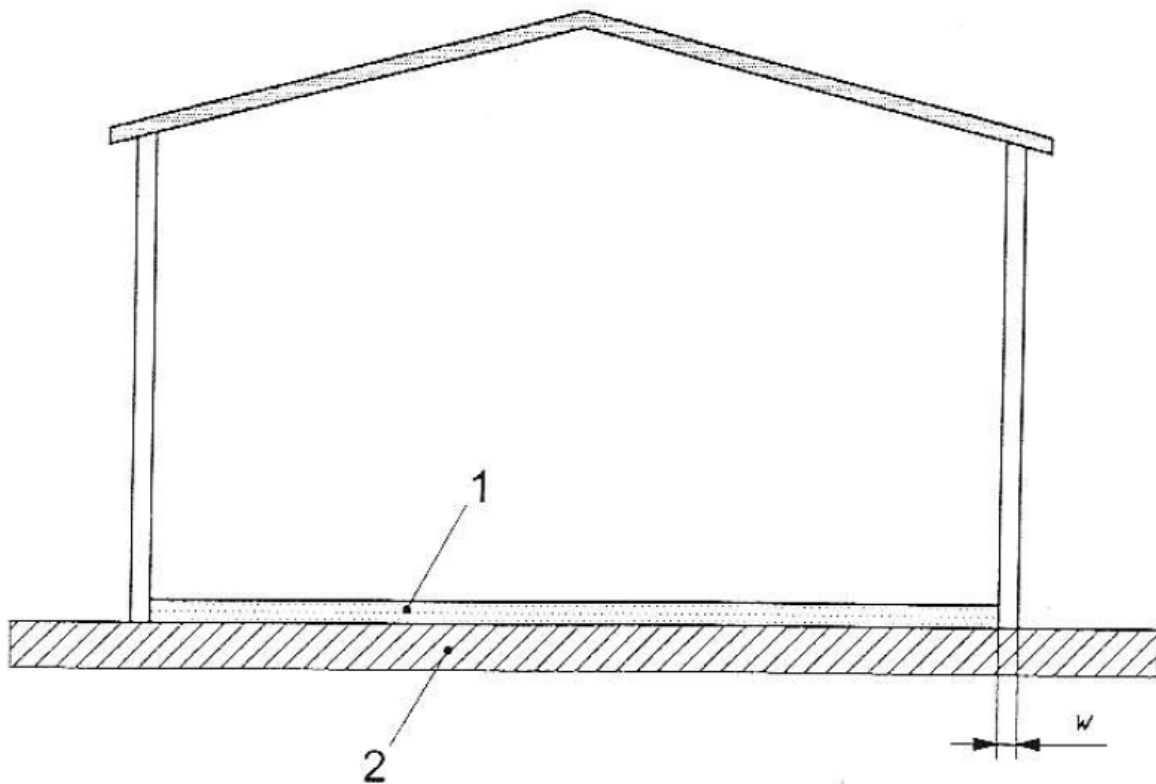
Pojęcie grubości równoważnej zostało wprowadzone w celu uproszczenia wyrażenia współczynnika przenikania ciepła. W tym przypadku opór cieplny jest reprezentowany przez jego grubość równoważną, będącą grubością gruntu, która ma ten sam opór cieplny. W niniejszej normie PN – EN ISO 13370:2008:

- d_t jest grubością równoważną podłóg;
- d_w jest grubością równoważną ścian podziemi poniżej poziomu gruntu.

Współczynniki przenoszenia ciepła przez grunt w stanie ustalonym są związane ze stosunkiem grubości równoważnej do wymiaru charakterystycznego podłogi, a współczynniki okresowego przenoszenia ciepła są związane ze stosunkiem grubości równoważnej do głębokości okresowego wnikania.

c) Podłoga typu płyta na gruncie izolowana lub nieizolowana na całej powierzchni

Przedstawione na rysunku 9.3.1/5 podłogi izolowane jak i nieizolowane tego typu mogą mieć dodatkowo izolację krawędziową poziomą i/lub pionową. Metoda uproszczona obliczania współczynnika przenikania ciepła przedstawiona w normie PN – EN 12831 nie daje możliwości uwzględnienia izolacji krawędziowych, które można uwzględnić stosując metodę dokładną zawartą w normie PN – EN ISO 13370:2008.



Rysunek 9.3.1/ 5 Diagram schematyczny podłogi typu płyta na gruncie [3]

Objaśnienia:

1 – płyta podłogi

2 - grunt

w - grubość ścian zewnętrznych

Współczynnik przenikania ciepła zależy od wymiaru charakterystycznego podłogi B' i całkowitej grubości równoważnej d_t , obliczanego według poniższego wzoru:

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (9.3.1/17)$$

gdzie:

w – jest grubością całkowitą ścian zewnętrznych budynku włącznie ze wszystkimi warstwami, [m]

λ - współczynnik przewodzenia ciepła gruntu, [W/(m·K)]

R_f – uwzględnia opór cieplny warstw podłogi. Zakłada się, że chudy beton pod płytą ma przewodność cieplną taką jak grunt, stąd też nie trzeba uwzględniać jego oporu cieplnego, [(m²·K)/W]

W celu obliczenia ekwiwalentnej wartości współczynnika ciepła bez uwzględnienia izolacji krawędziowych należy zastosować poniższy wzór:

- dla $d_t < B'$ (przypadek dla przegród nie izolowanych lub umiarkowanie izolowanych):

$$U_0 = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) \quad (9.3.1/18)$$

- dla $d_t \geq B'$ (przypadek dla przegród nie izolowanych lub umiarkowanie izolowanych):

$$U_0 = \frac{\lambda}{0,457 B' + d_t} \quad (9.3.1/19)$$

- w przypadku braku izolacji krawędziowej:

$$U = U_0 \quad (9.3.1/20)$$

d) Płyta na gruncie z izolacją krawędziową

Podłoga typu płyta na gruncie, może mieć izolację krawędziową umieszczoną poziomo lub pionowo na obwodzie. Równania, które zostały przedstawione poniżej stosuje się w przypadku, gdy szerokość lub wysokość izolacji krawędziowej, D , jest mała w stosunku do szerokości budynku. Do obliczonego podstawowego współczynnika przenikania ciepła U_0 według punktu powyższego, dolicza się człon korekcyjny. We wzorach na izolację krawędziową uwzględniono grubość równoważną, d' , wynikającą z izolacji krawędziowej:

$$d' = R' \lambda$$

gdzie:

R' - jest dodatkowym oporem cieplnym wprowadzonym przez izolację krawędziową:

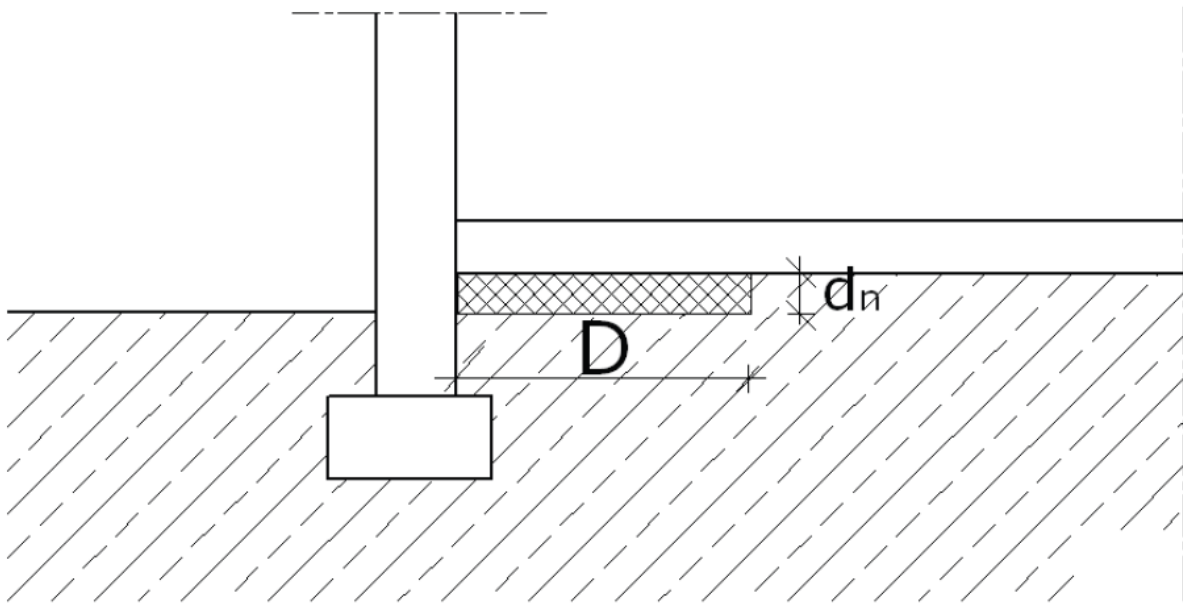
$$R' = R_n - d_n/\lambda$$

gdzie:

R_n – jest oporem cieplnym poziomej lub pionowej izolacji krawędziowej

d_n – jest grubością izolacji krawędziowej [m]

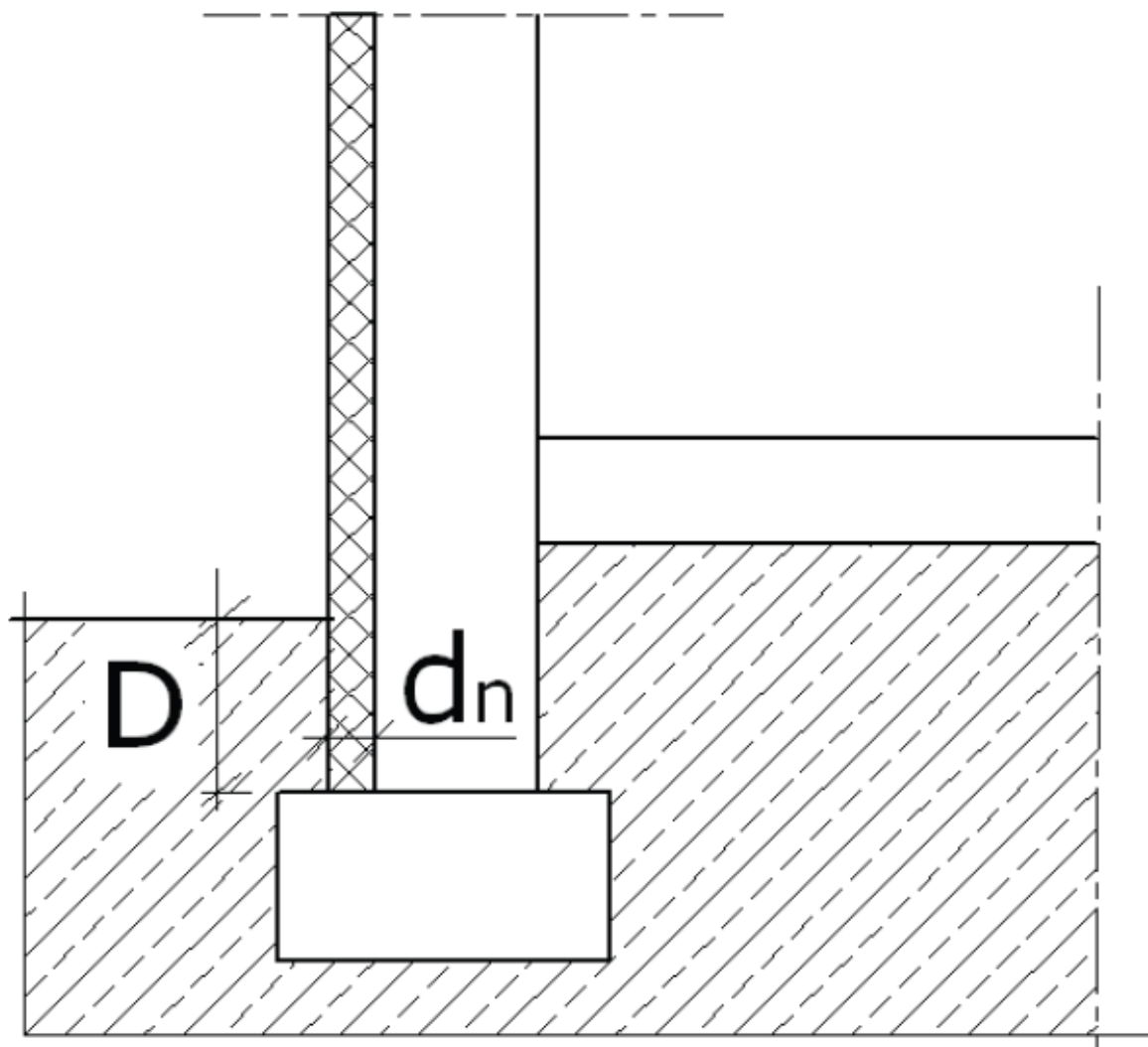
λ - współczynnik przewodzenia ciepła gruntu [W/(m·K)]



Rysunek 9.3.1/6 Pozioma izolacja krawędziowa [3]

Poniższe równanie odnosi się do izolacji umieszczonej poziomo wzdłuż obwodu podłogi:

$$\Delta\Psi = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln\left(\frac{D}{d_i} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_i + d'} + 1\right) \right] \quad (9.3.1/21)$$



Rysunek 9.3.1/7 Pionowa izolacja krawędziowa [3]

Poniższe równanie odnosi się do izolacji umieszczonej pionowo pod podłogą wzdłuż obwodu podłogi oraz ścian fundamentowych z materiałów o przewodności cieplnej niższej od przewodności cieplnej gruntu:

$$\Delta\psi = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln\left(\frac{2D}{d_i} + 1\right) - \ln\left(\frac{2D}{d_i + d'} + 1\right) \right] \quad (9.3.1/22)$$

Na rysunkach 9.3.1/6 i 9.3.1/7 przedstawiono izolację krawędziową na zewnątrz od ściany fundamentowej. Przedstawione równanie odnosi się także do izolacji krawędziowej od wewnątrz ściany fundamentowej.

Ekwiwalentny współczynnik przenikania ciepła dla podłóg z izolacją krawędziową wynosi:

$$U = U_0 + 2\Delta\Psi/B' \quad (9.3.1/23)$$

W przytoczonym materiale zostały przedstawione metody obliczania współczynnika przenikania ciepła w przypadku przegród w kontakcie z gruntem dla najpopularniejszych na tą chwilę rozwiązań w budownictwie. Metody dla pozostałych przypadków, rzadziej spotykanych tj:

- podłogi podniesionej;
- podziemi ogrzewanych;
- podziemi nieogrzewanych;
- podziemi częściowo ogrzewanych

można znaleźć w normie PN-EN ISO 13370:2008 oraz jej załącznikach.

10. WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE MATERIAŁÓW I WYROBÓW BUDOWLANYCH

Ostatnie wydanie Normy PN-EN 6946:2008 w przeciwieństwie do PN-EN 6946:1999 nie zawiera załączników krajowych z wartościami właściwości fizycznych materiałów budowlanych. Teoretycznie lukę wypełnia PN-EN 12524:2003 „Materiały i wyroby budowlane — Właściwości cieplno-wilgotnościowe — Tabelaryczne wartości obliczeniowe, ale rzeczywistość jest jednak trochę inna, gdyż PN-EN 12524:2003 nie zawiera wartości obliczeniowych dla wielu powszechnie stosowanych wyrobów (odsyła użytkownika do innych norm lub aprobat technicznych). Jest to bardzo niewygodne dla projektanta budynku, który na etapie projektowania często nie wie, kto będzie dostawcą danego materiału izolacyjnego lub izolacyjno-konstrukcyjnego.

W Tabeli 9.3.1/6 podano wartości obliczeniowe właściwości fizycznych wybranych materiałów budowlanych wg PN-EN 12524:2003 natomiast w Tabeli 9.3.1/7 podano wartości obliczeniowe właściwości fizycznych wybranych powszechnie stosowanych materiałów budowlanych wg danych Zakładu Fizyki Ciepłej Instytutu Techniki budowlanej. W Tabeli 9.3.1/7 zamieszczono uzupełnienia na podstawie doświadczenia badawczego Zakładu Fizyki Ciepłej ITB. Wartości współczynnika przewodzenia ciepła podane są celowo z niewielkim zapasem w stosunku do wartości wynikających z badań. Oznacza to, że jeżeli grubości warstw przegrody lub grzejniki dobierzemy na podstawie tych danych, to po zakupie konkretnego materiału nie musimy nic zmieniać.

Tabela 9.3.1/6 Wartości obliczeniowe właściwości fizycznych wybranych materiałów budowlanych [wg PN-EN 12524:2003]

Grupa materiałowa lub zastosowanie	Gęstość ρ [kg/m ³]	Obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m•K)]	Ciepło właściwe C_p [J/(kg • K)]	Współczynnik oporu dyfuzyjnego μ	
				suchy	wilgotny
Asfalt	2 100	0,70	1 000	50 000	50 000
Bitum czysty	1 050	0,17	1 000	50 000	50 000
filc/arkusz	1 100	0,23	1 000	50 000	50 000
Beton(a)					
średniej gęstości	1 800	1,15	1 000	100	60
średniej gęstości	2 000	1,35	1 000	100	60
średniej gęstości	2 200	1,65	1 000	120	70
wysokiej gęstości	2 400	2,00	1 000	130	80
zbrojony (z 1 % stali)	2 300	2,30	1 000	130	80
zbrojony (z 2 % stali)	2 400	2,50	1 000	130	80
Wykładziny podłogowe					
guma	1 200	0,17	1 400	10000	10000
tworzywo sztuczne	1 700	0,25	1 400	10000	10000
podkład, guma porowata lub tworzywo sztuczne	270	0,10	1 400	10000	10000
podkład filc	120	0,05	1 300	20	15
podkład wełna	200	0,06	1 300	20	15
podkład korek	< 200	0,05	1 500	20	10
płytki korek	> 400	0,065	1 500	40	20
wykładzina dywanowa:					
tekstylna	200	0,06	1 300	5	5
linoleum	1 200	0,17	1 400	1000	800

Szkło sodowo-wapniowe (również „float”)	2 500	1,00	750	&	&
kwarcowe	2 200	1,40	750	&	&
mozaika szklana	2 000	1,20	750	&	&
Metale					
stopy aluminium	2 800	160	880	&	&
brąz	8 700	65	380	&	&
mosiądz	8 400	120	380	&	&
miedź	8 900	380	380	&	&
żeliwo lane	7 500	50	450	&	&
ołów	11 300	35	130	&	&
stal	7 800	50	450	&	&
stal nierdzewna	7 900	17	460	&	&
cynk	7 200	110	380	&	&
Gips					
gips	600	0,18	1 000	10	4
gips	900	0,30	1 000	10	4
gips	1 200	0,43	1 000	10	4
gips	1 500	0,56	1 000	10	4
płyta gipsowo-kartonowa(b)	900	0,25	1 000	10	4
Tynki i zaprawy tynkarskie					
tynk gipsowy izolacyjny	600	0,18	1 000	10	6
tynk gipsowy	1 000	0,40	1 000	10	6
tynk gipsowy	1 300	0,57	1 000	10	6
tynk gipsowo-piaskowy	1 600	0,80	1 000	10	6
tynk wapienno-piaskowy	1 600	0,80	1 000	10	6
tynk cementowo-piaskowy	1 800	1,00	1 000	10	6
Grunty					
glina lub ił	1 500	1,5	2000	50	50
piasek i żwir	1 850	2,0	1030	50	50

Kamień					
naturalny, skała krystaliczna	2 800	3,5	1 000	10 000	10 000
naturalny, skała osadowa	2 600	2,3	1 000	250	200
naturalny, skała osadowa lekka	1 500	0,85	1 000	30	20
naturalny, porowaty, np. lawa	1 600	0,55	1 000	20	15
bazalt	2 900	3,5	1 000	10 000	10 000
Gnejs	2 550	3,5	1 000	10 000	10 000
granit	2 600	2,8	1 000	10 000	10 000
marmur	2800	3,5	1 000	10 000	10 000
łupek	2 400	2,2	1 000	1 000	800
wapień bardzo miękki	1 600	0,85	1 000	30	20
wapień miękki	1 800	1,1	1 000	40	25
wapień półtwardy	2 000	1,4	1 000	50	40
wapień twardy	2 200	1,7	1 000	200	150
wapień bardzo twardy	2 600	2,3	1 000	250	200
piaskowiec (krzemionka)	2 600	2,3	1 000	40	300
pumeks naturalny	400	0,12	1 000	8	6
kamień sztuczny	1 750	1,3	1 000	50	40
Płytki (dachówki)					
ceramiczne	2 000	1,0	800	40	30
cementowe	2 100	1,5	1 000	100	60
Płytki (inne)					
ceramika/porcelana	2 300	1,3	840	&	&
tworzywa sztuczne	1 000	0,20	1 000	10 000	10 000
Tarcica(c)					
	500	0,13	1 600	50	20
	700	0,18	1 600	200	50

Płyty drewnopochodne(c)					
sklejka(d)	300	0,09	1 600	150	50
sklejka	500	0,13	1 600	200	70
sklejka	700	0,17	1 600	220	90
sklejka	1 000	0,24	1 600	250	110
płyta wiórowo-cementowa	1 200	0,23	1 500	50	30
płyta wiórowa	300	0,10	1 700	50	10
płyta wiórowa	600	0,14	1 700	50	15
płyta wiórowa	900	0,18	1 700	50	20
płyta o wiórach orientowanych (OSB)	650	0,13	1 700	50	30
płyta pilśniowa, w tym MDF(e)	250	0,07	1 700	5	2
płyta pilśniowa, w tym MDF(e)	400	0,10	1 700	10	5
płyta pilśniowa, w tym MDF(e)	600	0,14	1 700	20	12
płyta pilśniowa, w tym MDF(e)	800	0,18	1 700	30	20

UWAGA 1. Do celów obliczeniowych wartość „&” może być zastąpione dowolnie dużą wartością, np. 10^6 .

UWAGA 2. Współczynniki oporu dyfuzyjnego podano jako wartości określone w warunkach suchych i wilgotnych, patrz PN EN ISO 12572:1999 Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of water vapour transmission properties.

(a) Gęstość betonu jest gęstością w stanie suchym.

(b) Współczynnik przewodzenia ciepła podano z uwzględnieniem warstw papieru.

(c) Gęstość drewna i wyrobów na bazie drewna jest gęstością odpowiadającą stanowi równowagi z powietrzem o temperaturze 20oC i wilgotności względnej 65%.

(d) Jako tymczasowe wartości do czasu uzyskania dostatecznie dokładnych danych dotyczących litych płyt drewnianych (SWP) i laminowanego drewna fornirowanego (LVL) można przyjmować wartości podane dla sklejki.

(e) MDF: Płyta Pilśniowa Średniej Gęstości, otrzymana procesem suchym

W Tabeli 9.3.1/7 zamieszczono uzupełnienia na podstawie doświadczenia badawczego Zakładu Fizyki Ciepłej ITB. Wartości współczynnika przewodzenia ciepła podane są celowo z niewielkim zapasem w stosunku do wartości wynikających z badań. Oznacza to, że jeżeli

grubości warstw przegrody lub grzejniki dobierzemy na podstawie tych danych, to po zakupie konkretnego materiału nie musimy nic zmieniać.

Tabela 9.3.1/7 Wartości obliczeniowe właściwości fizycznych wybranych materiałów budowlanych [wg danych zakładu Fizyki Ciepłej Instytutu Techniki budowlanej]

Grupa materiałowa lub zastosowanie	Gęstość w stanie suchym ρ [kg/m ³]	Obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła λ	Ciepło właściwe C_p [J/(kg•K)]	Współczynnik oporu dyfuzyjnego μ	
				suchy	mokry
Beton z żuźla pumeksowego lub granulowanego	1 800	0,70	1 000	15	15
	1 600	0,58	1 000	12	12
	1 400	0,50	1 000	10	10
	1 200	0,40	1 000	8	8
	1 000	0,33	1 000	5	5
Beton z żuźla paleniskowego	1 800	0,85	1 000	15	15
	1 600	0,72	1 000	12	12
	1 400	0,60	1 000	10	10
	1 200	0,50	1 000	8	8
Beton z kruszywa keramzytowego	1 600	0,90	1 000	15	15
	1 400	0,72	1 000	12	12
	1 300	0,62	1 000	10	10
	1 200	0,54	1 000	8	8
	1 100	0,46	1 000	6	6
	1 000	0,39	1 000	4	4

Mur z betonu komórkowego na cienkowsarstwowej zaprawie klejącej lub na zaprawie ciepłochronnej	800	0,30	1 000	10	10
	700	0,25	1 000	8	8
	600	0,22	1 000	7	7
	500	0,18	1 000	6	6
	400	0,15	1 000	5	5
Mur z betonu komórkowego na zaprawie cementowo-wapiennej, ze spoinami grubości większej niż 1,5 cm	800	0,38	1 000	10	10
	700	0,35	1 000	8	8
	600	0,30	1 000	7	7
	500	0,25	1 000	6	6
Wibrobeton i wiórotrocinobeton	1 000	0,30	1 500	10	10
	900	0,26	1 500	8	8
	800	0,22	1 500	7	7
	700	0,19	1 500	6	6
	600	0,17	1 500	5	5
	500	0,15	1 500	4	4
Mur z cegły ceramicznej pełnej	1 800	0,77	1 000	5 — 10	5 — 10
Mur z cegły dziurawki	1 400	0,62	1 000	5 — 10	5 — 10
Mur z cegły kratówki	1 300	0,56	1 000	5 — 10	5 — 10
Mur z pustaków ceramicznych drążonych szczelinowych na zaprawie cementowo-wapiennej	1 200	0,45	1 000	3 — 5	3 — 5
	1 100	0,40	1 000	3 — 5	3 — 5
	1 000	0,36	1 000	3 — 5	3 — 5
	900	0,33	1 000	3 — 5	3 — 5
	800	0,30	1 000	3 — 5	3 — 5
Mur z pustaków ceramicznych drążonych szczelinowych na zaprawie ciepłochronnej	1 200	0,42	1 000	3 — 5	3 — 5
	1 100	0,36	1 000	3 — 5	3 — 5
	1 000	0,32	1 000	3 — 5	3 — 5
	900	0,28	1 000	3 — 5	3 — 5
	800	0,25	1 000	3 — 5	3 — 5
Mur z cegły silikatowej pełnej	1 900	0,90	1 000	20	20

Mur z cegły silikatowej drażonej i bloków drażonych	1 600	0,80	1 000	15	15	
	1 500	0,75	1 000	15	15	
Mur z cegły klinkierowej	1 900	1,05	1 000	75	75	
Szkło piankowe	300	0,07	1 000	&	&	
Wyroby z włókna szklanego						
— maty i filce	10 — 20	0,045	1 030	1	1	
— płyty	> 20	0,050	1 030	1	1	
— granulaty	15 — 60	0,055	1 030	1	1	
Wyroby z włókna szklanego						
— maty i płyty wypełniające	40 — 80	0,045	1 030	1	1	
— płyty obciążane	100 — 160	0,042	1 030	1	1	
— płyty fasadowe	140 — 150	0,043	1 030	1	1	
— płyty dachowe	90 — 200	0,045	1 030	1	1	
— płyty lamelowe	80 — 150	0,046	1 030	1	1	
— granulaty	20 — 60	0,050	1 030	1	1	
Styropian (EPS)	12	0,045	1 450	60	60	
	15	0,043	1 450	60	60	
	20	0,040	1 450	60	60	
	30	0,036	1 450	60	60	
Polistyren ekstrudowany (XPS)	> 28	0,035	1 450	150	150	
	jw., w stropodachu odwróconym	0,040	1 450	150	150	
Pianka poliuretanowa	30 — 60	— w szczelnej osłonie	0,025	1 400	60	60
		— w pozostałych przypadkach	0,035	1 400	60	60
		— natryskowa	0,045	1 400	60	60
Pianka polietylenowa	35	0,05	1 450	500	500	
Granulaty celulozowe	30 — 70	0,06	1 400	1	1	

W tabeli 9.3.1/8 podano wartości dyfuzyjnie równoważnych warstw powietrza, charakteryzujących opór dyfuzyjny materiałów (wg PN-EN 12524:2003). Z danych tych

korzystać będziemy przy sprawdzaniu poprawności budowy przegrody z uwagi na unikanie występowania kondensacji wewnętrznej w jednym z następujących odcinków.

Tabela 9.3.1/8 Dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza [4]

Wyrób/materiał	Dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza S_d [m]
Polietylen 0,15 mm	50
Polietylen 0,25 mm	100
Błona poliestrowa 0,2 mm	50
Folia PVC	30
Folia aluminiowa 0,05 mm	1500
Folia polietylenowa (mocowana zszywkami) 0,15 mm	8
Papier bitumiczny 0,1 mm	2
Papier aluminiowany 0,4 mm	10
Membrana paroprzepuszczalna	0,2
Farba — emulsyjna	0,1
Farba — błyszcząca	3
Tapeta winylowa	2

UWAGA. Dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza dla wyrobu jest określana jako grubość nieruchomej warstwy powietrza o tym samym oporze dyfuzyjnym co wyrób. Grubość wyrobów podanych w tabeli zwykle nie jest mierzona, a wyroby mogą być traktowane jako nieskończenie cienkie, ale charakteryzujące się oporem dyfuzyjnym. Podane w tabeli wartości grubości nominalnej pomagają w identyfikacji wyrobu.

Współczynnik przenikania ciepła U wpływa bezpośrednio na straty mocy cieplnej ogrzewanych pomieszczeń. Straty te rosną wraz ze wzrostem współczynnika przenikania ciepła U . Zastosowanie materiałów o większym współczynniku przenikania ciepła wiąże się ze zwiększeniem powierzchni ogrzewalnej grzejników, zwiększeniem mocy źródeł ciepła i średnic przewodów, co zwiększa koszty inwestycyjne i eksploatacyjne instalacji. W praktyce projektowej wprowadzono pojęcie maksymalnej wartości współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych. Maksymalne wartości współczynnika U są to wartości dopuszczalne w odniesieniu do danych typów przegród budowlanych.

Bibliografia

- [1] PN-EN ISO 6946:2008
- [2] PN-B-03406:1994
- [3] PN-EN ISO 13370:2008
- [4] PN-EN 12524:2003
- [5] PN-EN 12831:2006
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) wraz z późniejszymi zmianami, aż do Dz.U. Nr 239 poz. 1597
- [7] Strzeszewski M., Wereszczyński P.: *„Norma PN-EN 12831:2006 - Nowa metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego – Poradnik”* Warszawa 2009r.