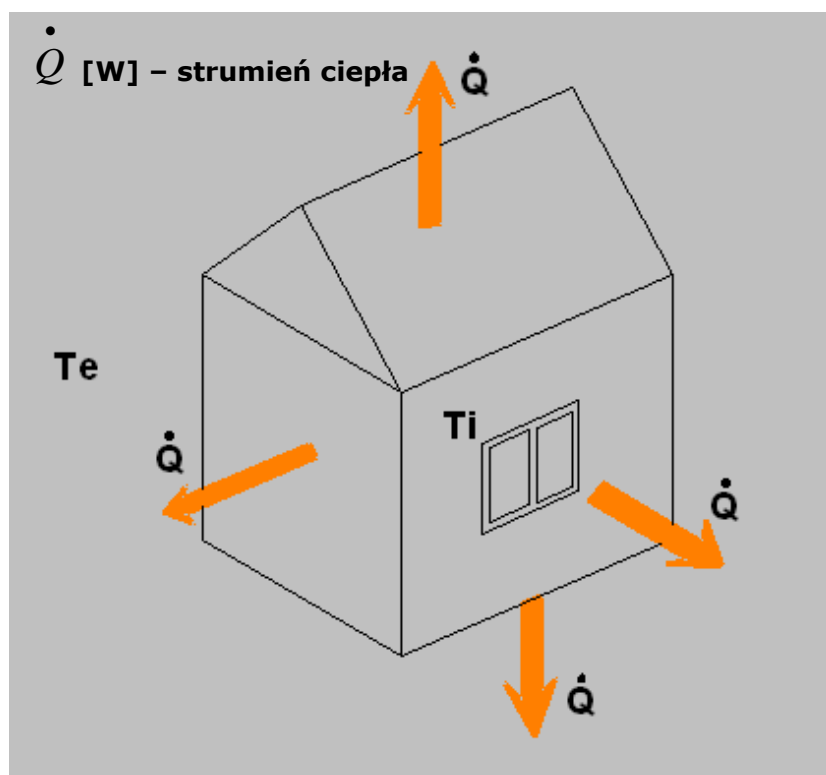


Fizyka ciepła budowli

Wprowadzenie...

Transport energii w postaci ciepła – podstawowe zagadnienia.

Ocena ilości traconej energii w postaci ciepła z budynku ma ścisły związek ze zjawiskami, którymi zajmuje się fizyka budowli. Główną wielkość, czyli **ilość energii** (ilość ciepła) Q [J], oblicza się analizując zmiany **strumienia ciepła** \dot{Q} [W] w czasie. Strumień ciepła jest to ilość ciepła przepływająca między układami w jednostce czasu. **Gęstość strumienia ciepła**, q [W/m²], jest to strumień ciepła przepływający przez jednostkę powierzchni.



Z punktu widzenia obliczania zapotrzebowania na energię do ogrzewania, czyli strat ciepła, ważne są trzy w/w podstawowe pojęcia:

- **gęstość strumienia ciepła** q [W/m^2];

- **strumienia ciepła** $\dot{Q} = q \cdot A$ [W];

- **energia (ciepło)** $Q = \dot{Q} \cdot t$ [J];

Na potrzeby obliczeń strat ciepła z budynku, gęstość strumienia ciepła obliczana jest ze wzoru:

$$q = U(T_i - T_e);$$

gdzie: U – współczynnik przenikania ciepła [$W / (m^2 \cdot K)$];

($T_i - T_e$): różnica temperatur pomiędzy środowiskiem wewnętrznym a zewnętrznym.

Współczynnik przenikania ciepła (U) wyraża ilość energii (w dżulach) przepływającej przez $1m^2$ przegrody w ciągu 1 sekundy przy różnicy temperatur $1K$ po obu stronach przegrody.

Na podstawie powyższej definicji współczynnika przenikania ciepła, widać więc, że aby obliczyć ilość energii traconej przez całą bryłę budynku:

- współczynniki przenikania ciepła (U , [$W/(m^2 \cdot K)$]) poszczególnych elementów obudowy budynku mnożymy przez ich powierzchnię (A , [m^2]). Dostajemy współczynniki strat ciepła przez przenikanie (H_{tr} , [W/K]).
- Iloczyn współczynników strat ciepła (H_{tr} , [W/K]) i różnicy temperatur ($T_e - T_i$, [K]) odpowiada strumieniowi ciepła \dot{Q} [W]; Iloczyn ten wyrażony jest w watach [W] czyli w jednostce mocy

- Ostatnim etapem obliczeń strat ciepła przez przenikanie jest iloczyn strumienia ciepła (\dot{Q} [W]) przez czas [s] trwania zadanej różnicy temperatur, np. przez okres jednego miesiąca (lub godziny). W jego wyniku otrzymujemy ilość energii [J] traconej z budynku w wyniku przenikania ciepła w ciągu trwania założonego okresu [s] (np. miesiąc, godzina) przy występującej w danym okresie różnicy temperatur ($T_e - T_i$ [K])

Poniżej wyjaśniono teoretyczne podstawy obliczania strat ciepła przez przenikanie.

Wymiana energii cieplnej pomiędzy układami może następować poprzez: **przewodzenie, konwekcję i promieniowanie**. Większość wymiany ciepła ze środowiskiem zewnętrznym poprzez przegrody budynku odbywa się na drodze przewodzenia, opisanego prawem Fouriera.

Prawo Fouriera mówi, że gęstość przewodzonego strumienia ciepła jest wprost proporcjonalna do gradientu temperatury:

$$\vec{q} = -\lambda \text{grad}T$$

\vec{q} - wektor gęstości strumienia ciepła, $\left[\frac{W}{m^2} \right]$;

λ - współczynnik przewodzenia ciepła, $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$;

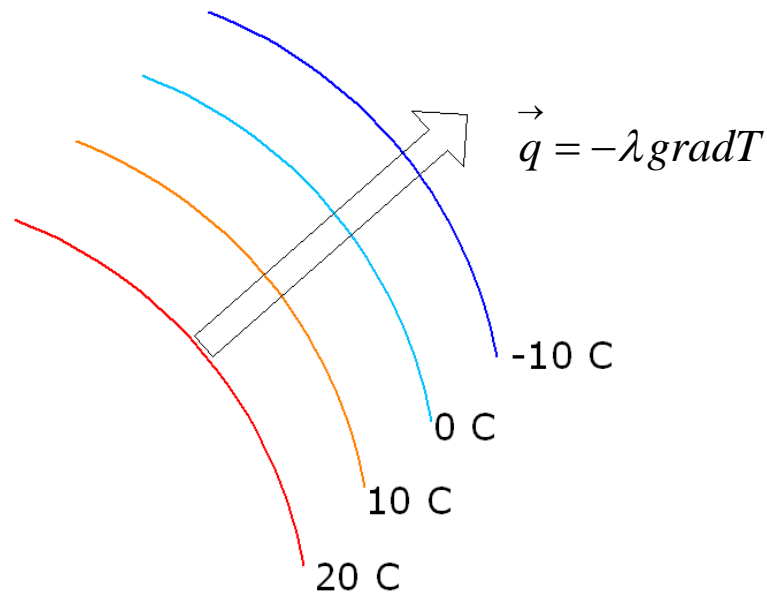
T - temperatura, [K];

grad – (gradient) jest to operator różniczkowy (w układzie współrzędnych

kartezjańskich: $\text{grad}T = \frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k}$), który działając na pole

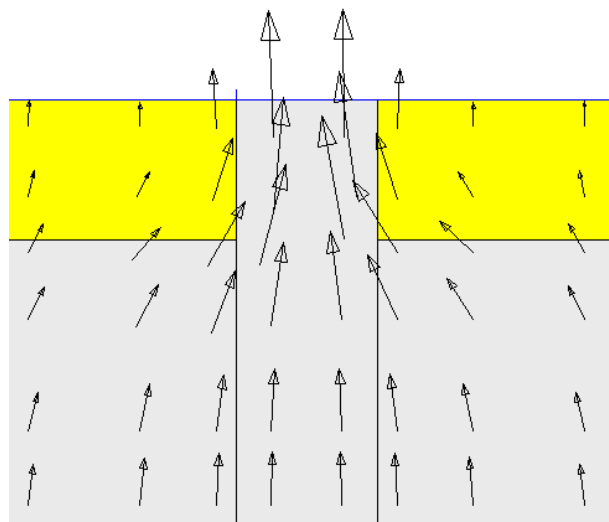
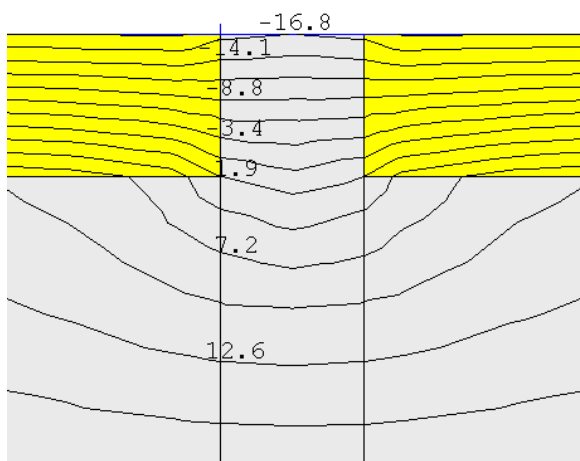
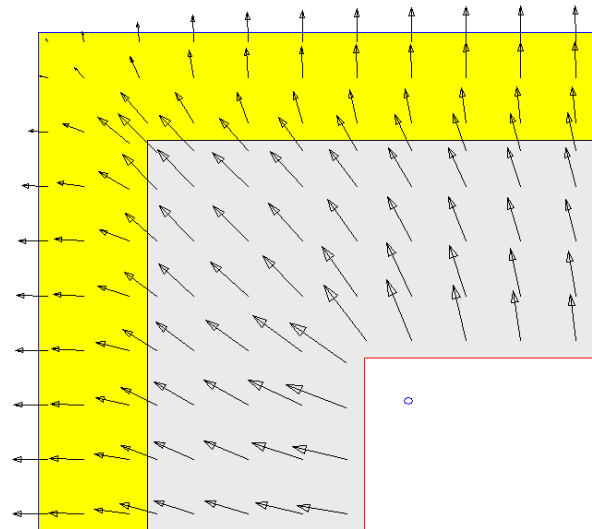
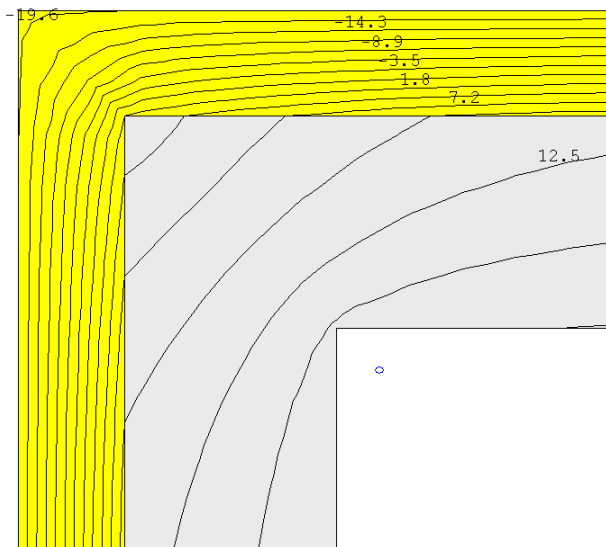
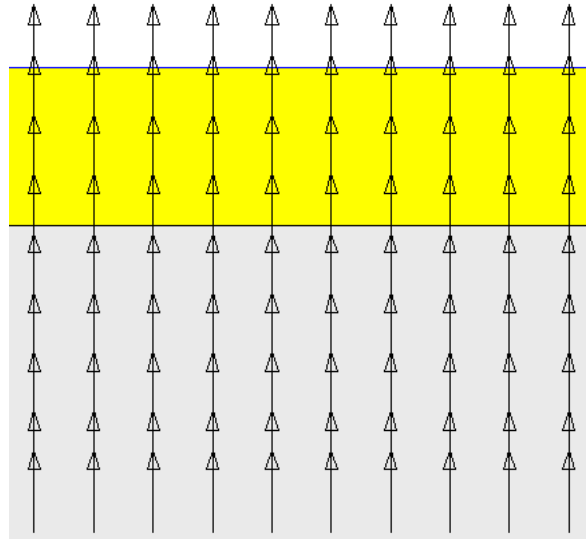
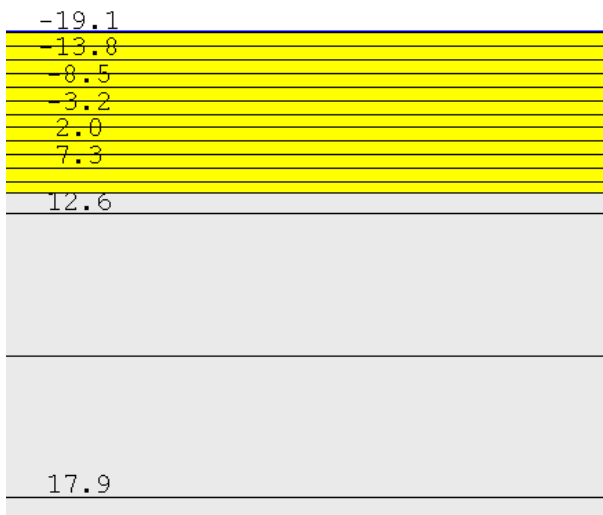
skalarne, w tym wypadku pole temperatury, przyporządkowuje mu

odpowiednie pole wektorowe. W tym wypadku pole gęstości strumienia ciepła. Gradient wskazuje kierunek i zwrot największego wzrostu wartości pola, na które działa, np. pola temperatury.



Ponieważ zwrot wektora gęstości strumienia ciepła jest zgodny z kierunkiem spadku temperatur, a zwrot wektora gradientu temperatury jest skierowany przeciwnie (od temperatury niższej do wyższej) to w zapisie wektorowym prawa Fouriera musi pojawić się znak minus.

Poniżej przedstawiono kilka przykładów rozkładu pól temperatury wraz z przyporządkowanymi polami gęstości strumieni ciepła. Jak widać, **wektory gęstości strumienia ciepła skierowane są zawsze prostopadle do izoterm** (czyli zawsze zgodnie z kierunkiem największych zmian temperatury) i **mają zwrot zgodny ze spadkiem temperatury** (czyli odwrotny do jej gradientu).



Dla przypadku jednowymiarowego, tzn. dla zmian pola temperatury zależnych tylko od jednej współrzędnej przestrzennej np. od zmiennej x , prawo Fouriera można zapisać w postaci skalarnej jako:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

Gęstość strumienia ciepła przenikającego przez przegrodę składającą się z warstwy o współczynniku przewodzenia ciepła λ i grubości $d = dx$ wyrazimy wzorem:

$$q = \frac{\lambda}{d} (T_1 - T_2)$$

Jeśli za opór cieplny warstwy materiału zdefiniujemy, jako:

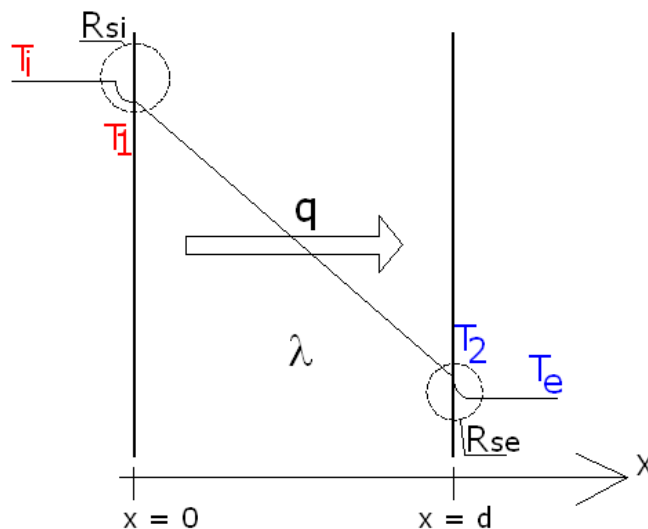
$$R = \frac{d}{\lambda} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

to wówczas gęstość strumienia ciepła przez daną warstwę wynosi:

$$q = \frac{1}{R} (T_1 - T_2)$$

Gdy do oporu cieplnego warstwy materiału dodamy opory przejmowania ciepła po stronie wewnętrznej (R_{si}) i zewnętrznej (R_{se}) przegrody, to wówczas:

$$q = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} (T_i - T_e)$$



Zastępując ułamek $\frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$ wielkością U (**współczynnik przenikania ciepła, [W/(m² * K)]**), otrzymamy wyrażenie na gęstość strumienia ciepła w postaci:

$$q = U (T_i - T_e) \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Metodę **obliczania współczynnika przenikania ciepła** dla przegród budowlanych poza drzwiami, oknami, elementami, przez które odbywa się przenoszenie ciepła do gruntu i przez które przewiduje się nawiew powietrza, przedstawia norma **PN – EN ISO 6946**.

Normy - cz.1

Norma PN – EN ISO 6946 : 2008 „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła”

Metoda opisana w tej normie oparta jest na odpowiednich wartościach obliczeniowych współczynnika przewodzenia ciepła lub wartościach obliczeniowych oporu cieplnego. Metoda ma zastosowanie do komponentów składających się z warstw jednorodnych cieplnie. Punkt 6.2 normy zawiera przybliżoną metodę obliczania współczynnika przenikania ciepła dla przegród składających się z warstw niejednorodnych. W załączniki D normy przedstawiono także uproszczoną metodę obliczania poprawek od mostków punktowych lub nieszczelności w warstwie izolacji doliczanych do współczynnika przenikania ciepła.

Zasada metody obliczania polega na:

a) obliczeniu oporu cieplnego każdej jednorodnej cieplnie części komponentu;

Opory cieplne części składowych oblicza się wg wzoru (p. 5.1 omawianej normy):

$$R = \frac{d}{\lambda} [m^2 \cdot K / W]$$

gdzie :

d – grubość warstwy materiału w komponentcie - [m];

λ - obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła materiału - $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$

Wartości oporu cieplnego stosowane w obliczeniach pośrednich powinny być obliczane z dokładnością, co najmniej do trzech cyfr znaczących.

b) zsumowaniu w/w indywidualnych oporów w celu uzyskania całkowitego oporu cieplnego komponentu, z uwzględnieniem (w miarę potrzeby) oporów przejmowania ciepła.

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

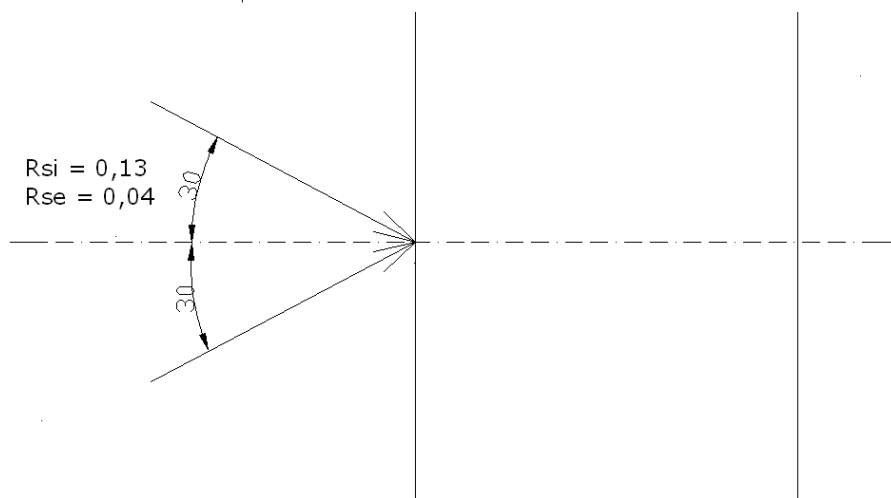
Powyższy wzór jest słuszny dla komponentów składających się z warstw jednorodnych. W podpunkcie c przedstawiono procedurę obliczania oporu cieplnego komponentu składającego się z warstw niejednorodnych.

Wartości oporów przyjmowania ciepła w większości przypadków przyjmowane są z Tablicy 1, punkt 5.2 omawianej normy.

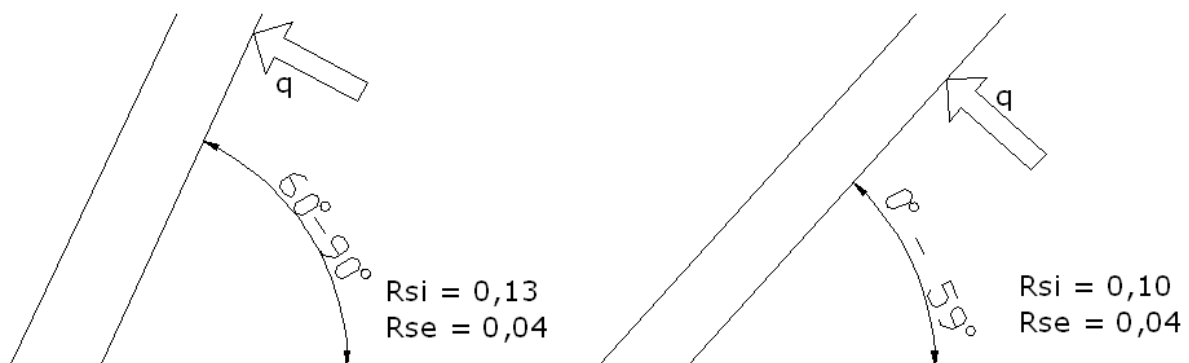
Opór przejmowania ciepła [m ² · K / W]	Kierunek strumienia ciepła		
	W górę	Poziomy	W dół
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Opory te są właściwe, jeżeli powierzchnia przegrody jest w kontakcie z powietrzem. W przypadku przegród w kontakcie z gruntem (np. podłoga na gruncie lub ściana podziemia) opór przejmowania ciepła od strony zewnętrznej (R_{se}) pomija się.

Wartości oporów przejmowania ciepła dla kierunku poziomego ($R_{si} = 0,13$; $R_{se} = 0,04$) stosuje się w przypadku strumienia ciepła odchylonego $\pm 30^\circ$ od płaszczyzny poziomej.



W stosunku do nachylenia przegrody, które podaje się od poziomego, powyższa uwaga normy PN – EN 6946 na temat kierunku odchylenia strumienia ciepła, przedstawia się tak pokazano poniższym rysunku.



Jeżeli oblicza się opór cieplny wewnętrznych warstw komponentów budowlanych (ścian działowych itp.) lub komponentów między środowiskiem wewnętrznym i przestrzenią nieogrzewaną, R_{si} stosuje się dla obydwu stron.

c) obliczanie oporu cieplnego komponentu składającego się z warstw niejednorodnych

W przypadku występowania przegród składających się z warstw niejednorodnych (np. konstrukcja dachu, w której między krokiewkami umieszczono izolację cieplną czy ściana budynku wykonanego w technologii lekkiego szkieletu) wówczas opór cieplny takiej przegrody należy obliczyć zgodnie z punktem 6.2 omawianej normy. Jest to metoda uproszczona. Dokładne obliczenie współczynnika przenikania ciepła dla takiej przegrody można wykonać programem opartym na metodach numerycznych, np. MES. W opracowaniu, przedstawiono porównanie wyników policzonych programem komputerowym z wynikami obliczeń metodą normową.

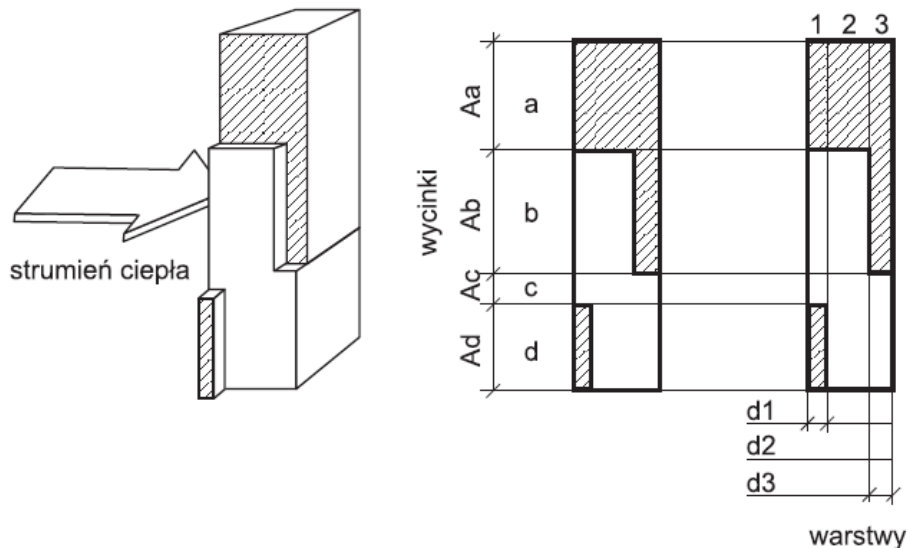
Całkowity opór cieplny, R_T , komponentu składającego się z warstw cieplnie niejednorodnych równoległych do powierzchni oblicza się jako średnią arytmetyczną górnego i dolnego kresu oporu cieplnego według wzoru:

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

gdzie: R_T' - kres górny całkowitego oporu cieplnego, obliczany według punktu 6.2.3 normy PN – EN 6946

R_T'' - kres dolny całkowitego oporu cieplnego, obliczany według punktu 6.2.4 normy PN – EN 6946

Analizowany fragment przegrody (zazwyczaj jest to część powtarzalna) dzielony jest na części jednorodne pod względem cieplnym, płaszczyznami prostopadłymi (wycinki - m) i równoległymi (warstwy - j) do powierzchni przegrody. Łącznie cały niejednorodny komponent będzie składał się z m_j jednorodnych cieplnie części.



Sposób podziału komponentu na wycinki ($m = a, b, c, \dots q$) i warstwy ($j = 1, 2, \dots n$) pokazano na powyższym rysunku. Poszczególne wycinki mają odpowiednie dla siebie względne pola powierzchni f_m , natomiast warstwy – grubości d_j

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

Względne pole powierzchni wycinka jest proporcjonalne do całkowitego pola powierzchni. Stąd wynika, że $f_a + f_b + \dots + f_q = 1$

Kres górny całkowitego oporu cieplnego określa się przy założeniu jednowymiarowego przepływu ciepła prostopadle do powierzchni komponentu. Jest on wyrażony wzorem:

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

w którym: $R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tq}$ – całkowite opory cieplne od środowiska do środowiska każdego wycinka, obliczone ze wzoru

f_a, f_b, \dots, f_q – względne pola powierzchni każdego wycinka.

Kres dolny całkowitego oporu cieplnego określa się, zakładając, że wszystkie powierzchnie równoległe do powierzchni komponentu są izotermiczne. Wyrażony jest on wzorem:

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

Równoważny opór cieplny R_j , każdej warstwy niejednorodnej cieplnie, oblicza się, stosując następujący wzór:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}}$$

d) obliczanie współczynnika przenikania ciepła U.

Współczynnik przenikania ciepła wyrażony jest wzorem:

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

W miarę potrzeby współczynnik przenikania ciepła można skorygować, stosując poprawki według załącznika D normy PN – EN 6946 : 2008. Jeżeli jednak suma poprawek jest mniejsza niż 3 % wartości U, uwzględnianie poprawek nie jest wymagane.

Poniżej przedstawiono przykład obliczeń współczynnika przenikania ciepła dla przegrody składającej się z warstw jednorodnych i warstw niejednorodnych.

Przegroda zbudowana z warstw jednorodnych.

Ściana zewnętrzna ($R_{si} = 0,13$; $R_{se} = 0,04$; $[(m^2 K)/W]$) o następującym układzie warstw:

- tynk cementowo - wapienny wewnętrzny gr. 1,5 cm; $\lambda = 0,82$ W/m·K
- mur z betonu komórkowego odmiany 600 gr 24 cm; $\lambda = 0,21$ W/(m·K)
- wełna mineralna gr 12 cm; $\lambda = 0,042$ W/(m·K)
- tynk mineralny cienkowarstwowy 5 mm; $\lambda = 0,82$ W/(m·K)

Całkowity opór cieplny ściany wynosi:

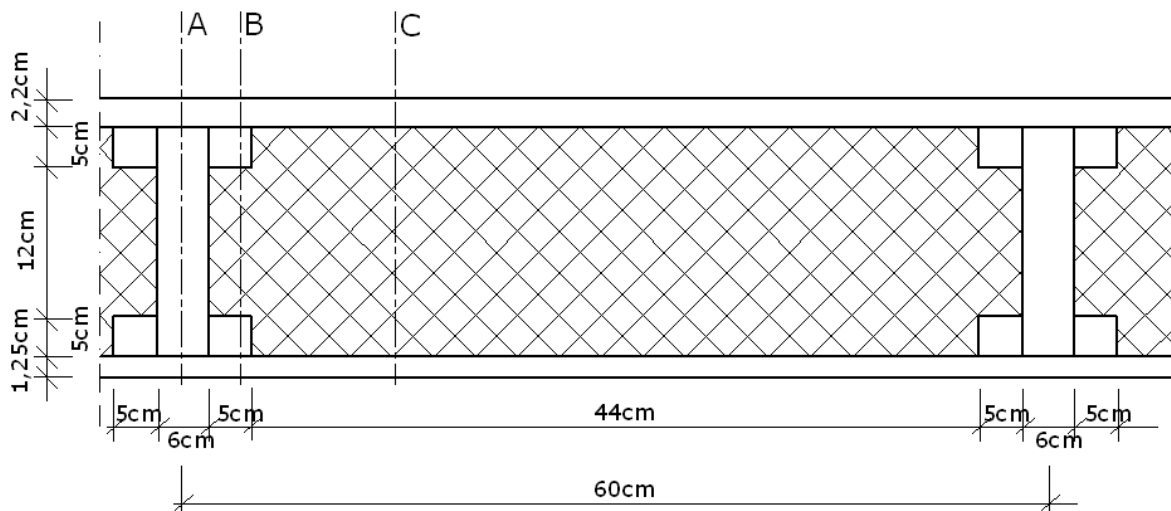
$$R_T = 0,13 + \frac{0,015}{0,82} + \frac{0,24}{0,21} + \frac{0,12}{0,042} + \frac{0,005}{0,82} + 0,04 = 4,194 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Współczynnik przenikania przegrody wynosi:

$$U_T = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{4,191} = 0,24 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Przegroda zbudowana z warstw niejednorodnych.

Strop między kondygnacyjny o następującym układzie warstw:



Od góry:

- płyta OSB gr. 22 mm; $\lambda = 0,13 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
- wełna mineralna gr 22 cm; $\lambda = 0,042 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
- płyta gipsowo - kartonowa 12,5 mm; $\lambda = 0,23 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Konstrukcję stanowią belki dwuteowe ($\lambda = 0,16 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ – drewno sosnowe w poprzek włókien) o rozstawie osiowym 60 cm.

Postępując zgodnie z punktem 6.2 normy PN – EN ISO 6946, wyodrębniono w przegrodzie trzy wycinki (A, B, C) o następujących, względnych polach powierzchni:

$$f_A = \frac{6}{60} = 0,1$$

$$f_B = \frac{10}{60} = 0,167$$

$$f_C = \frac{44}{60} = 0,733$$

Opory cieplne każdego z wycinków policzono jak dla przegród zbudowanych z warstw jednorodnych:

$$R_{TA} = 0,10 + \frac{0,0125}{0,23} + \frac{0,22}{0,16} + \frac{0,022}{0,13} + 0,10 = 1,799$$

$$R_{TB} = 0,10 + \frac{0,0125}{0,23} + \frac{0,05}{0,16} + \frac{0,12}{0,042} + \frac{0,05}{0,16} + \frac{0,022}{0,13} + 0,10 = 3,906$$

$$R_{TC} = 0,10 + \frac{0,0125}{0,23} + \frac{0,22}{0,042} + \frac{0,022}{0,13} + 0,10 = 5,662$$

Kres górny oporu cieplnego wynosi:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{0,1}{1,799} + \frac{0,167}{3,906} + \frac{0,733}{5,662} = 0,228$$

$$R'_T = 4,39 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

W celu policzenia **kresu dolnego** całkowitego oporu cieplnego wydzielono z przegrody pięć warstw równoległych do powierzchni danej przegrody, dla których policzono równoważne współczynniki przewodzenia ciepła wg wzoru:

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

Patrząc od spodu przegrody będą to następujące warstwy:

Warstwa 1:

$$\lambda_1'' = 1,0 \cdot 0,23 = 0,23 \left[(W / m \cdot K) \right]$$

Warstwa 2:

$$\lambda_2'' = \frac{0,06}{0,60} \cdot 0,16 + \frac{0,1}{0,60} \cdot 0,16 + \frac{0,44}{0,60} \cdot 0,042 = 0,073 \left[(W / m \cdot K) \right]$$

Warstwa 3:

$$\lambda_3'' = \frac{0,06}{0,60} \cdot 0,16 + \frac{0,54}{0,60} \cdot 0,042 = 0,054 \left[(W / m \cdot K) \right]$$

Warstwa 4:

$$\lambda_4'' = \lambda_2'' = 0,073 \left[(W / m \cdot K) \right]$$

Warstwa 5:

$$\lambda_5'' = 1,0 \cdot 0,13 = 0,13 \left[(W / m \cdot K) \right]$$

Kres dolny całkowitego oporu cieplnego omawianej przegrody wynosi:

$$R''_T = 0,1 + \frac{0,0125}{0,23} + \frac{0,05}{0,073} + \frac{0,12}{0,054} + \frac{0,05}{0,073} + \frac{0,022}{0,13} + 0,1 = 4,016 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

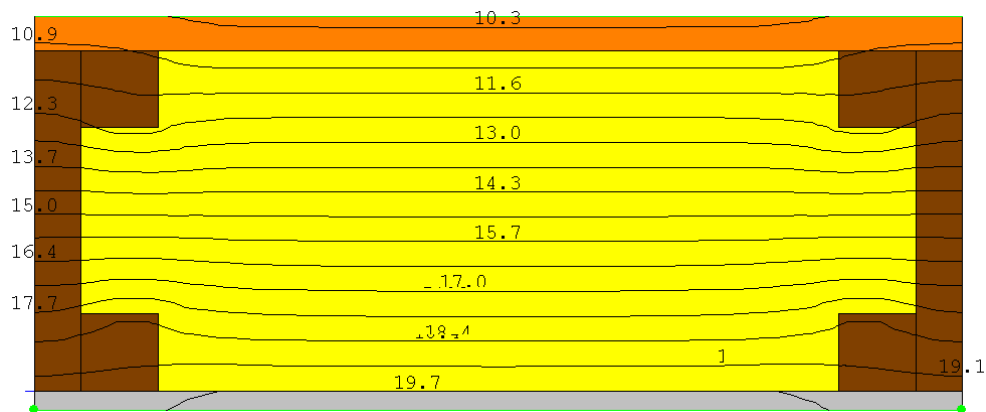
Całkowity opór cieplny przegrody składającej się z warstw niejednorodnych wynosi:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} = \frac{4,39 + 4,016}{2} = 4,188 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

Szukany współczynnik przenikania ciepła wynosi:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{4,188} = 0,24 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Dla porównania wykonano obliczenia współczynnika przenikania ciepła programem komputerowym opartym na metodzie elementów skończonych.



U-Factors				
	U-factor W/m2-K	delta T C	Length mm	Rotation
Edge	0.2379	10.0	600	N/A
Total Length				

Uzyskany wynik to: $0,238 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Jak widać, w tym przypadku, uproszczona metoda normowa dała bardzo dobry wynik. Nie musi to być jednak regułą do innych przegród niejednorodnych.

Przy pomocy kalkulatora **programu BDEC** uzyskano następujący wynik:

Edycja przegrody

Parametry przegrody | Budowa przegrody | Poprawki

Wycinki przegrody:

A | B | C

Opis wycinka: B Powierzchnia wycinka: 0.10 m²

Budowa wycinka: (od pomieszczenia w kierunku środowiska zewnętrznego):

Nazwa materiału	d [m]	λ [W/(m·K)]	μ [-]	R [(m ² ·K)/W]
Płyta o wiórach orientowanych (OSB)	0.022	0.130	50.00	0.169
Sosna i świerk w poprzek włókien	0.050	0.160	10.00	0.313
Płyty z wełny mineralnej przy szczelnym ułożeniu izolacji z przewiązaniem spoin i zabe:	0.120	0.042	1.50	2.857
Sosna i świerk w poprzek włókien	0.050	0.160	10.00	0.313
Płyta cementowo-wiórowa na spoiwie cementowym	0.013	0.230	50.00	0.054

Dodaj warstwę | Duplikuj warstwę | Edytuj warstwę | Usuń warstwę | W dół | W górę

Usuń wycinek | Duplikuj wycinek | Dodaj pusty wycinek

Zmień typ przegrody Dodaj przegrodę do katalogu przegród użytkownika

U = 0.238 [W/(m²·K)]

W kolejnej części cyklu **Normy** przedstawiony zostanie sposób obliczania współczynnika strat ciepła do gruntu na podstawie normy PN – EN 12831 : 2006 „Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego”. Jest to norma, na którą powołuje się metodologia sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej, przy obliczaniu ekwiwalentnego współczynnika przenikania ciepła dla przegród będących w kontakcie z gruntem.

Normy z – cz.2

Norma PN – EN 12831 : 2006 a straty ciepła przez przegrody będące w kontakcie z gruntem.

Obliczanie współczynnika przenikania ciepła dla przegród w kontakcie z gruntem.

Norma PN – EN 12831 : 2006 jest normą służącą do obliczania zapotrzebowania na moc cieplną budynków, jednak pewne jej fragmenty wykorzystywane są w metodologii dotyczącej obliczania świadectw charakterystyki energetycznej budynków. Jednym z takich elementów są straty ciepła przez przegrody będące w kontakcie z gruntem, np. podłoga typu płyta na gruncie. W artykule przedstawiono sposób liczenia współczynnika strat ciepła przez ten rodzaj przegrody w ujęciu normowym oraz implementacje metody normowej na potrzeby metodologii sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej.

Strumień strat ciepła przez podłogi i ściany podziemia, stykające się pośrednio lub bezpośrednio z gruntem, zależy od kilku czynników. Zaliczają się do nich powierzchnia i odkryty obwód płyty podłogowej, zagłębienie podłogi podziemia poniżej poziomu terenu, właściwości cieplne gruntu oraz oczywiście właściwości cieplne samej przegrody będącej w kontakcie z gruntem. Na potrzeby sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynków, rozporządzenie o metodologii wykonywania tychże świadectw, dopuszcza metodę uproszczoną wg normy PN – EN 12831 : 2006, liczenia współczynnika przenikania ciepła dla przegród w kontakcie z gruntem. Norma PN – EN 12831 : 2006 odwołuje się również do metody dokładnej przedstawionej w normie PN – EN ISO 13370 „Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Przenoszenie ciepła przez grunt. Metody obliczania”.

Metoda uproszczona normy PN – EN 12831 polega na odczytaniu U_{equiv} (równoważny współczynnik przenikania ciepła elementu budynku

będącego w kontakcie z gruntem) według schematu przedstawionego w normie na Rysunkach lub w Tablicach. Schematy te przedstawiają wartości U_{equiv} w zależności od współczynnika przenikania ciepła U (policzonego wg normy PN – EN ISO 6946 dokładniej opisanej w 1 części cyklu *Normy z BDEC*) elementu budynku oraz wymiaru charakterystycznego podłogi B' i ewentualnie (w przypadku podziemi) od zagłębienia (z) podłogi i ścian.

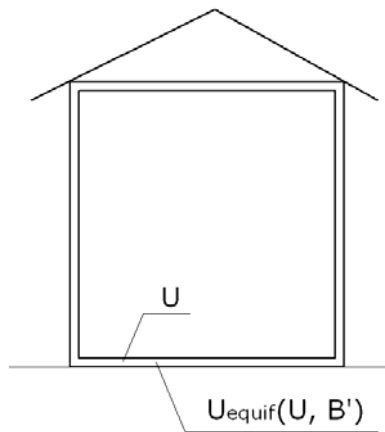
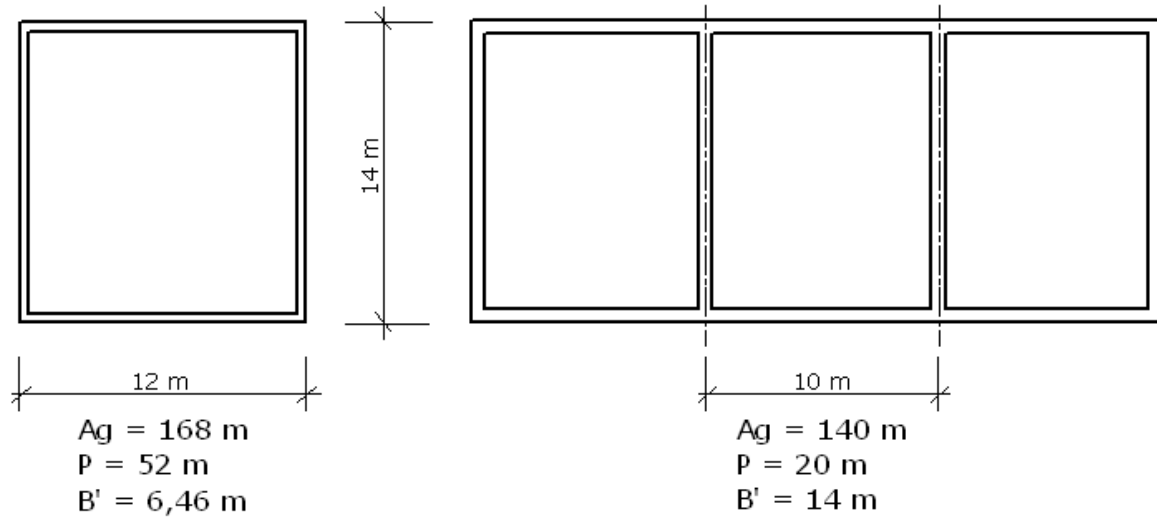
Metoda uproszczona, przedstawiona w normie PN – EN 12831, **nie uwzględnia wpływu izolacji krawędziowej** oraz **założono, że współczynnik przewodzenia ciepła gruntu wynosi, $\lambda_g = 2,0 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$.**

Parametr charakterystyczny podłogi, B' , określa się z zależności

$$B' = \frac{A_g}{0,5P} \text{ [m]}$$

gdzie:

- A_g – powierzchnia rozpatrywanej płyty podłogowej w metrach kwadratowych (m^2). W odniesieniu do całego budynku A_g jest całkowitą (łącznie ze ścianami zewnętrznymi) powierzchnią parteru. W odniesieniu do części budynku, np. pojedynczego budynku w zabudowie szeregowej, A_g jest powierzchnią rozpatrywanego parteru;
- P – obwód rozpatrywanej płyty podłogowej w metrach (m). W odniesieniu do całego budynku, P jest całkowitym obwodem budynku. W odniesieniu do części budynku, tzn. pojedynczego budynku w zabudowie szeregowej, P odpowiada jedynie długości ścian zewnętrznych oddzielających rozpatrywaną przestrzeń od środowiska zewnętrznego.



Wartość B' [m]	$U_{equiv,bf}$ (dla $z = 0$ metrów) $W/m^2 K$				
	bez izolacji	$U_{podłogi} = 2,0$ $W/m^2 K$	$U_{podłogi} = 1,0$ $W/m^2 K$	$U_{podłogi} = 0,5$ $W/m^2 K$	$U_{podłogi} = 0,25$ $W/m^2 K$
2	1,30	0,77	0,55	0,33	0,17
4	0,88	0,59	0,45	0,3	0,17
6	0,68	0,48	0,38	0,27	0,17
8	0,55	0,41	0,33	0,25	0,16
10	0,47	0,36	0,3	0,23	0,15
12	0,41	0,32	0,27	0,21	0,14
14	0,37	0,29	0,24	0,19	0,14
16	0,33	0,26	0,22	0,18	0,13
18	0,31	0,24	0,21	0,17	0,12
20	0,28	0,22	0,19	0,16	0,12

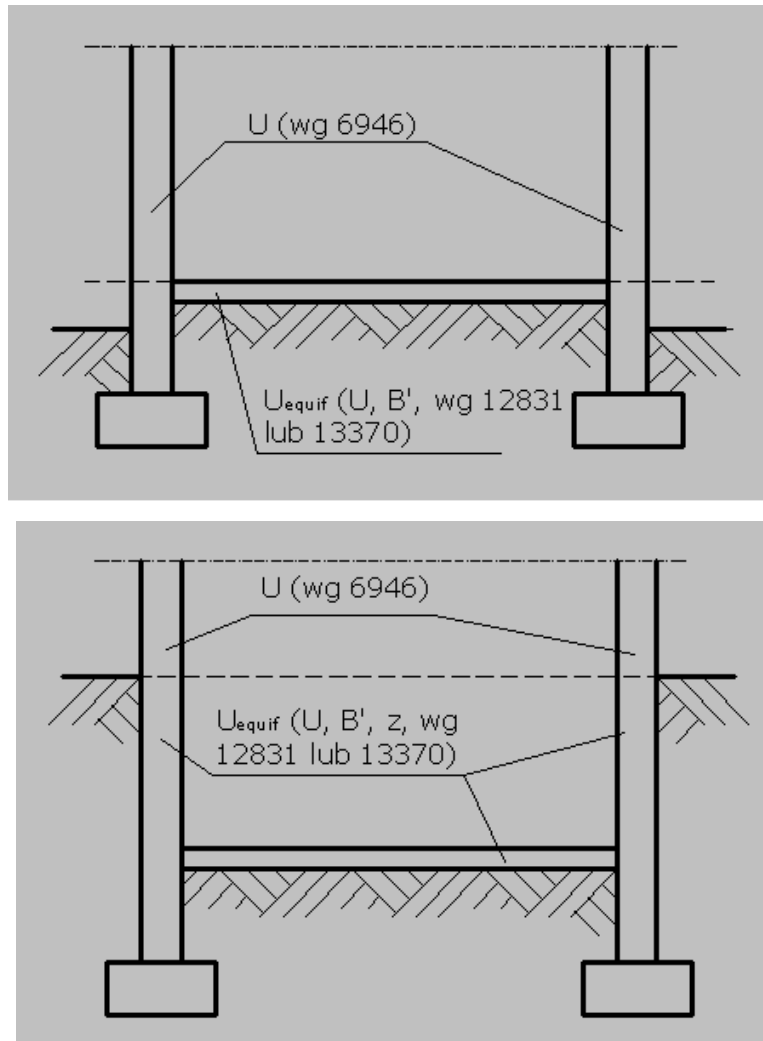
Tablica 4 normy PN – EN 12831; Wartości U_{equiv} podłogi podziemia w odniesieniu do płyty podłogowej na poziomie terenu, jako funkcja współczynnika przenikania ciepła podłogi U i wartości B'

Dla podłogi, której współczynnik przenikania ciepła U policzony na podstawie warstw oraz oporu przejmowania ciepła od strony wewnętrznej (R_{si}) wynosi: $U = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$ i parametr B' wynosi 14m, U_{equiv} przyjmowany do start ciepła przez daną podłogę wynosi: $U_{equiv} = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$.

Dla wartości pośrednich U i B' , wartości U_{equiv} odczytuje się poprzez interpolację liniową.

Dokładniejsze wartości współczynnika przenikania ciepła przegród będących w kontakcie z gruntem (U_{equiv}) otrzymuje się na podstawie normy **PN – EN ISO 13370 „Właściwości cieplne budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metody obliczania”**.

W normie PN – EN ISO 6946 określono metodę obliczania współczynnika przenikania ciepła elementów budowli w kontakcie z powietrzem zewnętrznym, natomiast norma PN – EN ISO 13370 (jak również metoda uproszczona z normy PN – EN 12831) dotyczy elementów w kontakcie z gruntem. Podział pomiędzy tymi 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.



Współczynnik strat ciepła z przestrzeni ogrzewanej do gruntu ($H_{T,ig}$) wg normy PN – EN 12831 : 2006 obliczamy z następującego wzoru:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w \quad [W / K]$$

gdzie:

f_{g1} – współczynnik korekcyjny uwzględniający wpływ rocznych wahań temperatury zewnętrznej. Współczynnik ten powinien być określony na podstawie danych krajowych. W przypadku braku wartości krajowych, wartości orientacyjne podano poniżej.

f_{g2} – współczynnik redukcji temperatury uwzględniający różnicę między średnią roczną temperaturą zewnętrzną i projektową temperaturą zewnętrzną, określony z zależności:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{m,e}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e}$$

Ponieważ norma PN – EN 12831 służy do obliczania mocy cieplnej, temperatury θ_e (projektowa temperatura zewnętrzna) i $\theta_{m,e}$ (roczna średnia temperatura zewnętrzna) przyjmuje się zgodnie z jedną z pięciu stref klimatycznych:

Strefa klimatyczna	θ_e [°C]	$\theta_{m,e}$ [°C]
I	-16	7,7
II	-18	7,9
III	-20	7,6
IV	-22	6,9
V	-24	5,5

A_k – powierzchnia elementu budynku (k) stykająca się z gruntem w metrach kwadratowych (m^2);

$U_{\text{equiv},k}$ – równoważny współczynnik przenikania ciepła elementu budynku (k), określony według schematu podłogi [$W/(m^2K)$];

G_w – współczynnik korekcyjny uwzględniający wpływ wody gruntowej. Jeżeli odległość między zakładanym poziomem wody gruntowej a poziomem podłogi podziemia (płyty podłogowej) jest mniejsza od 1 m, wpływ ten powinien zostać uwzględniony.

Wartości orientacyjne współczynników poprawkowych f_{g1} i G_w są równe:

$$f_{g1} = 1,45;$$

$G_w = 1,0$, jeśli odległość między założonym poziomem wody gruntowej i płytą podłogi jest większa niż 1m.

= 1,15, jeśli odległość między założonym poziomem wody gruntowej i płytą podłogi jest mniejsza niż 1 m.

Przedstawiony powyżej wzór na współczynnik strat ciepła przez przenikanie dla przegród będących w kontakcie z gruntem, stosuje się w normie PN – EN 12831 : 2006 dla wszystkich rodzajów przegród, tzn. podłogi na gruncie, podłogi zagłębionej (w podziemiu ogrzewanym) i ściany będącej w kontakcie z gruntem (podziemia ogrzewanego). Różnica przy obliczaniu współczynnika strat ciepła, dla wszystkich wymienionych wyżej rodzajów przegród polega na odczytaniu odpowiedniego współczynnika przenikania ciepła, tzw. U_{equiv} .

Metodologia natomiast, mówi tylko o przyjmowaniu z normy PN – EN 12831 : 2006 samego współczynnika przenikania ciepła U_{equiv} (oznaczonego w metodologii U_{gr}), a nie obliczaniu współczynnika strat ciepła przez przenikanie dla przegród będących w kontakcie z gruntem.

Norma PN – EN 12831 : 2006 zawiera także tablicę (NB.4) z redukcyjnymi współczynnikami obliczeniowej różnicy temperatur b_{tr} . W metodologii jest to tabela nr 6. Wszystkie współczynniki b_{tr} zostały przeniesiono do metodologii z normy PN – EN 12831 : 2006. Dodatkowo w metodologii znalazł się współczynnik $b_{tr} = 0,6$ dla podłóg na gruncie, jako jedyny, którego nie ma w normie PN – EN 12831.

Norma PN – EN 12831 podchodzi do współczynnika strat ciepła przez podłogę przy pomocy opisanych wyżej współczynników f_{g1} , f_{g2} , G_w .

Porównajmy zatem współczynnik strat ciepła przez podłogę na gruncie, policzone wg. opisanej metody normowej a metody zaproponowanej w metodologii. Oczywiście jedyna różnica wynikała będzie z wartości iloczynu w/w współczynników wg normy a przyjętym z metodologii stałym współczynnikiem b_{tr} . Ekwiwalentne współczynniki przenikania ciepła zostaną przyjęte takie same, ponieważ tutaj metodologia już w pełni bazuje na normie PN – EN 12831 : 2006.

Załóżmy więc, że mamy podłogę na gruncie, której warstwy dają współczynnik przenikania ciepła $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Wymiar charakterystyczny podłogi, B' , wynosi 10 m. Z tablic normy PN – EN 12831, odczytujemy wartość ekwiwalentnego współczynnika przenikania ciepła: $U_{\text{eqiuv}} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Pole podłogi (wg wymiarów zewnętrznych) wynosi 100 m^2 .

- **Współczynnik strat ciepła** przez podłogę na gruncie policzony wg normy PN – EN 12831 : 2006:

Przy obliczeniach normowych musimy dodatkowo założyć kilka rzeczy:

- temperaturę wewnętrzną strefy, np. $20 \text{ }^\circ\text{C}$, oraz strefę klimatyczną, np. strefa III. Te dane są wymagane przy obliczaniu współczynnika f_{g2} :

$$f_{g2} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{m,e}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} = \frac{20 - 7,6}{20 - (-20)} = 0,31$$

- przyjmijmy, że poziom wody gruntowej jest powyżej 1 metra od płyty podłogi, zatem $G_w = 1,0$.

- przyjmijmy wartość współczynnika $f_{g1} = 1,45$.

Zatem współczynnik strat ciepła wg normy PN – EN 12831 : 2006 dla analizowanej podłogi wyniesie:

$$H_{T,ig} = 1,45 \cdot 0,31 \cdot 1,0 \cdot 0,15 \cdot 100 = 0,45 \cdot 0,15 \cdot 100 = 6,74 \text{ [W / K]}$$

- **Współczynnik strat ciepła** przez podłogę na gruncie policzony wg metodologii:

$$H_{T,ig} = 0,6 \cdot 0,15 \cdot 100 = 9,0 \text{ [W / K]}$$

W kolejnej części cyklu **Normy** przedstawiony zostanie *m.in.* sposób uwzględniania izolacji krawędziowych na izolacyjność podłogi wykorzystując obliczenia dokładne wg normy **PN – EN ISO 13370**

„Właściwości cieplne budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metody obliczania”.

Podłoga typu płyta na gruncie izolowana lub nieizolowana na całej powierzchni. Zarówno izolowane jak i nieizolowane podłogi tego typu mogą mieć dodatkowo izolację krawędziową poziomą i/lub pionową. Metoda uproszczona obliczania U_{equiv} wg normy PN – EN 12831 nie daje możliwości uwzględnienia izolacji krawędziowych, które można uwzględnić przy pomocy metody dokładniej wg. normy PN – EN ISO 13370.

Współczynnik przenikania ciepła zależy od wymiaru charakterystycznego podłogi B' i całkowitej grubości równoważnej d_t , zdefiniowanej jako:

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

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 i jego oporu cieplnego nie trzeba uwzględniać, [(m²*K)/W].

W celu obliczenia ekwiwalentnej wartości współczynnika ciepła bez uwzględnienia izolacji krawędziowych stosuje się wzór:

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

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

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

$$U_0 = \frac{\lambda}{0,457 \square B' + d_t}$$

W przypadku braku izolacji krawędziowej:

$$U_{equiv} = U_0$$

Płyta na gruncie z izolacją krawędziową

Podłoga typu płyta na gruncie, może mieć izolację krawędziową umieszczoną poziomo lub pionowo na obwodzie. Równania podane 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 wg. punktu powyższego, dolicza się człon korekcyjny $\Delta\psi$.

We wzorach na izolację krawędziową uwzględniono grubość równoważną, d' , wynikającą z izolacji krawędziowej:

$$d' = R' \square \lambda,$$

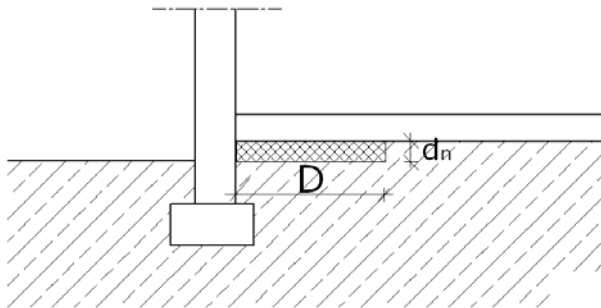
gdzie: R' jest dodatkowym oporem cieplnym wprowadzonym przez izolacją

$$\text{krawędziową: } R' = R_n - d_n / \lambda;$$

R_n - jest oporem cieplnym poziomej lub pionowej izolacji krawędziowej $[(m^2 \square K) / W]$,

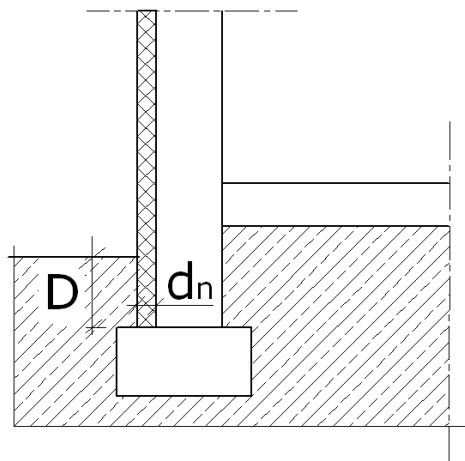
d_n - jest grubością izolacji krawędziowej [m],

λ - współczynnik przewodzenia ciepła gruntu $[W / (m \cdot K)]$.

Pozioma izolacja krawędziowa:

Równanie odnosi się do izolacji umieszczonej poziomo wzdłuż obwodu podłogi:

$$\Delta\psi = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right]$$

Pionowa izolacja krawędziowa

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:

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

Na rysunku pokazano izolację krawędziową na zewnątrz od ściany fundamentowej. Równanie odnosi się także do izolacji krawędziowej od wewnątrz ściany fundamentowej.

W przypadku podłóg z izolacją krawędziową ekwiwalentny współczynnik przenikania ciepła wynosi:

$$U = U_o + 2\Delta\psi / B'$$

Normy z BDEC – cz.3

Norma PN – EN ISO 14683

Mostki cieplne w budynkach.

Norma PN – EN ISO 14683 : 2008. Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.

Mostki cieplne w przegrodach budowlanych powodują zmiany strumienia ciepła i temperatury powierzchni w stosunku do tych wielkości w przegrodach bez mostków. Ponadto mostki cieplne, w wyniku obniżenia temperatury wewnętrznej powierzchni przegród, zwiększają ryzyko powierzchniowej kondensacji pary wodnej lub rozwoju pleśni. Wartości tych strumieni ciepła i temperatur powierzchni można dokładnie określić na drodze obliczeń komputerowych (2 – wymiarowych i 3 - wymiarowych), zgodnie z normą ISO 10211. Jednak w przypadku liniowych mostków cieplnych i ich oszacowania, dogodnie jest korzystać z metod uproszczonych lub wartości tabelarycznych.

Wpływ powtarzających się mostków cieplnych tworzących strukturę muru, takich jak kotwy ścienne przebijające warstwę izolacji cieplnej czy

np. spoiny zaprawy w murze z lekkiego betonu komórkowego lub ceramiki poryzowanej, powinny być uwzględnione w obliczeniach współczynnika przenikania ciepła rozpatrywanych elementów budynku, zgodnie z normą PN – EN ISO 6946.

Między środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym o temperaturach odpowiednio θ_i oraz θ_e strumień ciepła ϕ [W] przez przenikanie przez obudowę budynku oblicza się wg wzoru:

$$\phi = H_T (\theta_i - \theta_e) \text{ [W];}$$

Natomiast ilość traconego ciepła Q przez daną przegrodę jest to:

$$Q = \phi \cdot t = H_T (\theta_i - \theta_e) \cdot t \text{ [J]}$$

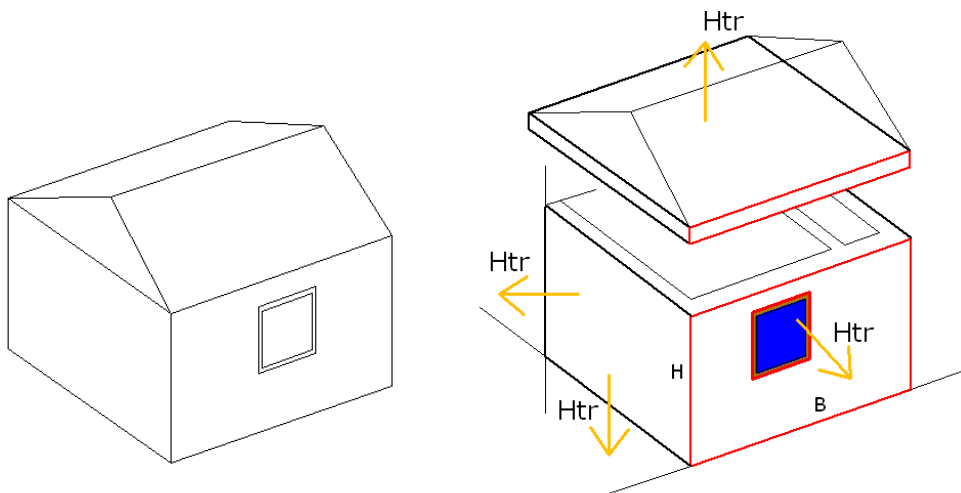
gdzie: t – czas [s];

lub

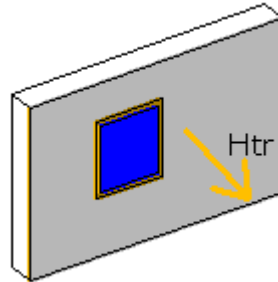
$$Q = \phi \cdot t = H_T (\theta_i - \theta_e) \cdot t \cdot 10^{-3} \text{ [kWh]}$$

gdzie: t – czas [h].

H_T [W/K] jest to **współczynnik strat ciepła** obudowy budynku. Może on być sumą współczynników strat ciepła wszystkich elementów obudowy budynku, np. podłogi na gruncie, ścian zewnętrznych, okien, dachów lub stropodachów. Wówczas policzone straty ciepła Q będą oznaczały straty ciepła przez przenikanie dla całego budynku.



Gdy współczynnik strat ciepła H_{tr} , będzie dotyczył jednej przegrody, np. ściany zewnętrznej to policzone wg. powyższych wzorów straty ciepła będą stratami przez daną przegrodę.



Współczynnik strat ciepła przez daną przegrodę wyraża się wzorem:

$$H_{tr} = A \cdot U + \sum_k \psi_k l_k + \sum_j \chi_j \left[\frac{W}{K} \right]$$

gdzie:

A – pole przegrody, [m²];

U – współczynnik przenikania ciepła przegrody, policzony wg normy PN – EN ISO 6946, [W/(m²*K)];

ψ - liniowy współczynnik przenikania ciepła k – tego mostka liniowego, [W/m*K];

l – długość k – tego mostka liniowego [m];

χ - wartość j – tego mostka punktowego [W/K].

Wpływ mostków punktowych (tak dalece jak wynikają one ze skrzyżowania liniowych mostków cieplnych) można pomijać.

Liniowe mostki cieplne (ψ) mogą zasadniczo występować w niżej wymienionych miejscach w obudowie budynku:

- przy połączeniach elementów zewnętrznych (naroża ścian, ściana z dachem, ściana ze stropem);
- przy połączeniach ścian wewnętrznych ze ścianami zewnętrznymi i dachami;
- przy połączeniu stropów pośrednich ze ścianami zewnętrznymi;
- przy słupach w ścianach zewnętrznych;
- wokół okien i drzwi.

Powszechnie do wymiarowania stosuje się trzy systemy wymiarowe, wg wymiarów:

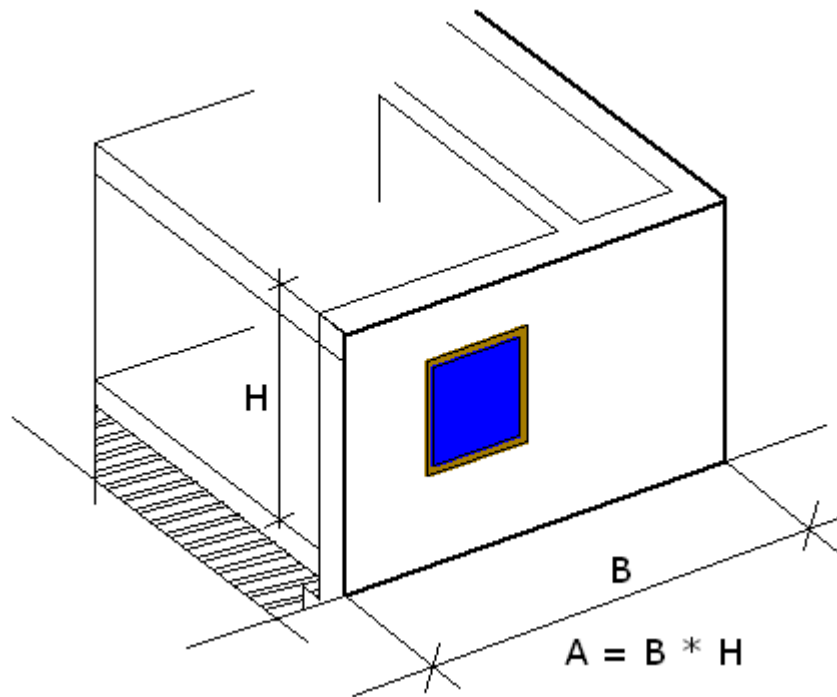
- wewnętrznych,
- całkowitych wewnętrznych,
- zewnętrznych.

Na potrzeby certyfikacji, rozporządzenie o metodologii, powołuje się na wymiary zewnętrzne. Jednak straty ciepła z budynku, policzone w oparciu o trzy w/w systemy wymiarowanie powinny być jednakowe.

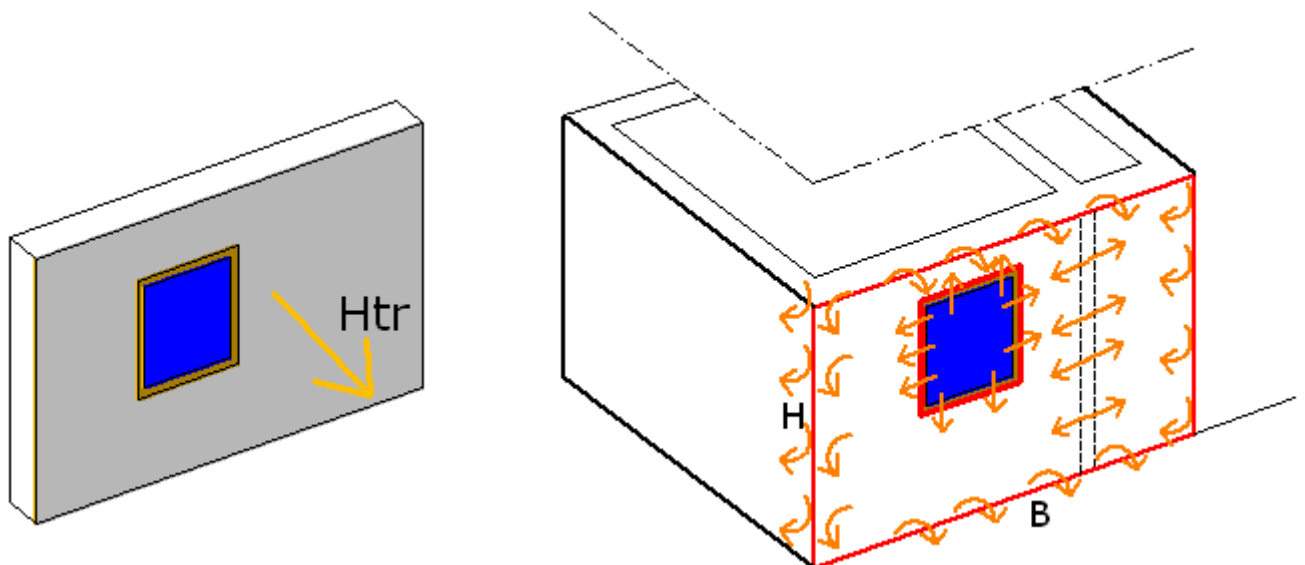
Norma PN – EN ISO zawiera katalog mostków oraz wartości ψ dla trzech systemów wymiarowania:

- a) ψ_i – wartości liniowych współczynników przenikania ciepła odpowiadające wymiarom wewnętrznym,
- b) ψ_{oi} – wartości liniowych współczynników przenikania ciepła odpowiadające wymiarom wewnętrznym całkowitym,
- c) ψ_e – wartości liniowych współczynników przenikania ciepła odpowiadające wymiarom zewnętrznym.

Przy obliczaniu pola (A) przegrody, wg wymiarów zewnętrznych, jej wymiar poziomy (B) będzie mierzony od naroża do naroża po stronie zewnętrznej przegrody. Wymiar pionowy będzie mierzony (H) od wierzchu podłogi do wierzchu podłogi kolejnej kondygnacji lub dla całego budynku, do powierzchni zewnętrznej warstwy ostatniej ogrzewanej kondygnacji.

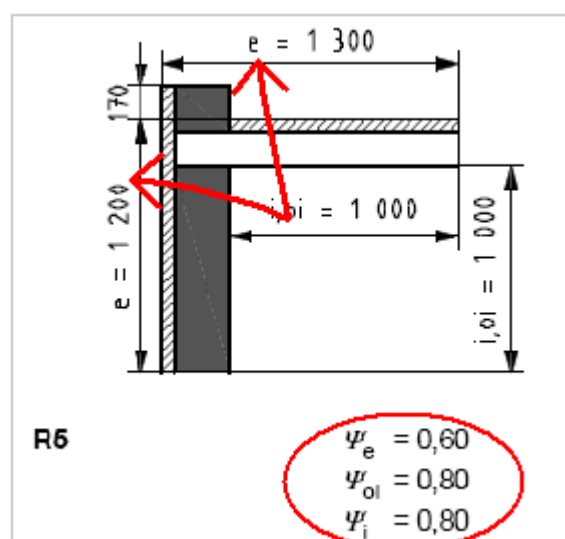


W analogiczny sposób należy uwzględnić długości (l) pionowych i poziomych mostków liniowych danej przegrody.

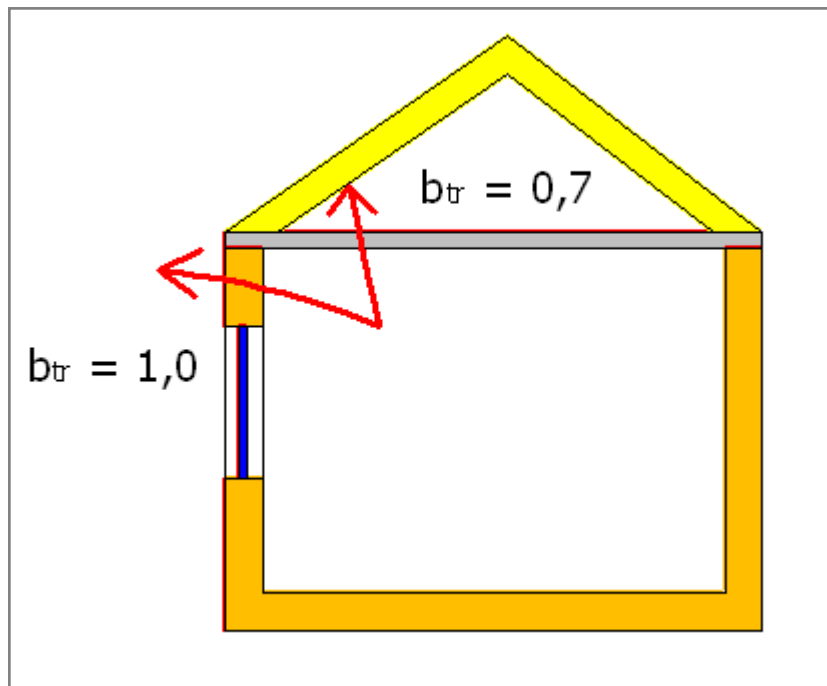


Wartości linowych współczynników strat ciepła ψ podane w normie PN – EN ISO 14683 są wartościami dla całych węzłów konstrukcyjnych, jak np. naroże, ściana wewnętrzna przy ścianie zewnętrznej czy połączenie ściany zewnętrznej i dachu. Tak, więc dla naroża wartość ψ będzie wartością wspólną dla dwóch ścian zewnętrznych, które to naroże tworzą. Również w przypadku mostka: ściana zewnętrzna - stropodach, wartość ψ będzie wspólna dla ściany zewnętrznej i stropodachu. Licząc więc współczynniki strat ciepła osobno dla każdej przegrody należy dokonać podziału wartości ψ na poszczególne przegrody. Dokładny podział można uzyskać tylko dzięki obliczeniom numerycznym. Na potrzeby metod uproszczonych można przyjąć udział ψ po 50% dla przegród tworzących danych mostek, np. naroże czy połączenie ściany zewnętrznej i stropodachu.

Uwzględnienie udziałów wartości ψ na poszczególne przegrody pozwoli także na poprawne obliczenia strat ciepła dla całego budynku. Związane jest to tym, iż jedna z przegród tworzących liniowy mostek cieplny może graniczyć z innym środowiskiem niż powietrze zewnętrzne. Dla przykładu, norma PN – EN ISO 14683 dla mostka typu R5 (dach – ściana zewnętrzna) podaje wartości:



W sytuacji, gdy przegrody tworzące ten mostek sąsiadowały będą z różnymi środowiskami, np. ściana zewnętrzna z powietrzem zewnętrznym, a strop z poddaszem nieogrzewanym, to podział wartości ψ pomiędzy ścianę i strop odda właściwą ilość strat ciepła przez te poszczególne przegrody budynku.



Normy z BDEC – Obliczanie temperatury wewnętrznej w strefie o nieregulowanej temperaturze wg normy PN – EN ISO 13789

W artykule przedstawione zostanie wyprowadzenie wzoru na obliczenie temperatury wewnętrznej w strefie o nieregulowanej temperaturze na podstawie ustalonego bilansu ciepła. Uwzględniony zostanie również wpływ zysków ciepła powstających w strefie o nieregulowanej temperaturze. Następnie przeprowadzonych zostanie kilka przykładowych obliczeń pokazujących wpływ izolacyjności przegród zewnętrznych oddzielających strefę o nieregulowanej temperaturze od

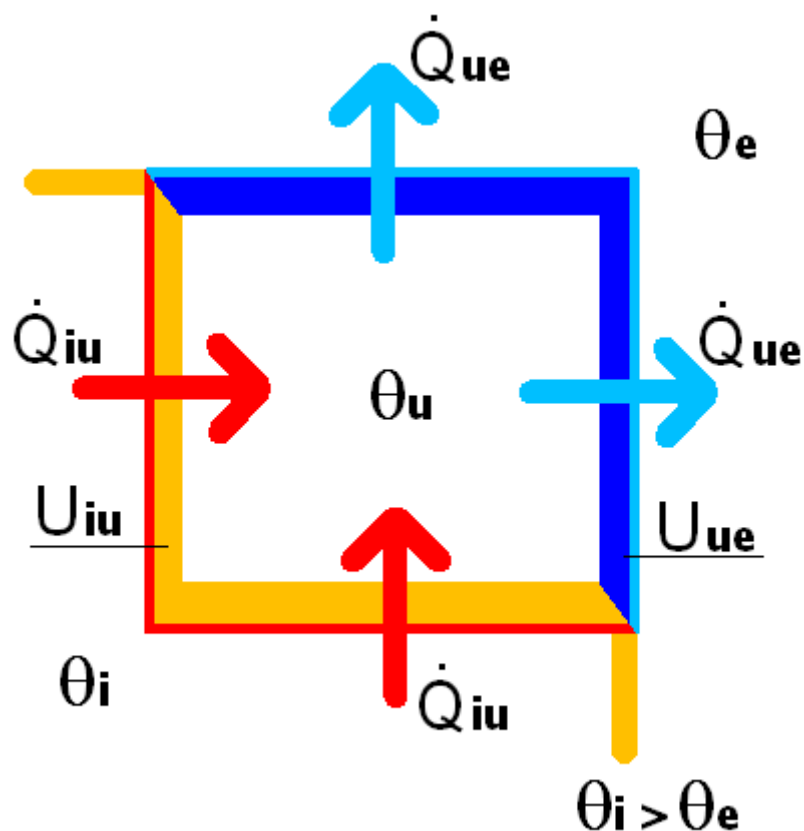
środowiska zewnętrznego i środowiska ogrzewanego (o regulowanej temperaturze).

Jednym z ważnych problemów dotyczących obliczeń bilansu ciepła w budynku czy części budynku jest uwzględnienie przyległych stref o nieregulowanej temperaturze. Najczęściej występującymi przykładami tego typu stref są np. garaże, poddasza nieużytkowe, itp. W procesie certyfikacji energetycznej budynków, metodologia bardzo prosto podchodzi do uwzględnienia tego typu pomieszczeń poprzez przyjęcie z góry podanych w rozporządzeniu współczynników redukcyjnych obliczeniowej różnicy temperatur b_{tr} (Tabela 6 *Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno – użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.*). Z w/w dokumentu możemy przeczytać, że np. współczynnik b_{tr} dla pomieszczeń nieogrzewanych z przynajmniej 2 ścianami zewnętrznymi i z drzwiami zewnętrznymi (np. hale, garaże) wynosi 0,6, w przypadku poddaszy o nieizolowanych dachach: 0,9, a w przypadku poddaszy izolowanych: 0,7. Wydaje się, więc, że możemy poradzić sobie z wykonaniem świadectwa posługując się uproszczonymi danymi o współczynnikach z tabeli 6 metodologii, jednak świadectwo takie może znacznie odbiegać od przedstawienia charakterystyki energetycznej budynku. Przyjmując w sposób uproszczony współczynnik b_{tr} , nie uwzględniamy wpływu izolacyjności przegród zewnętrznych przestrzeni nieogrzewanej od środowiska zewnętrznego (poddasze z izolowanym dachem przyjmujemy 0,7 bez uwzględniania ile tej izolacji w dachu jest), nie uwzględniamy zysków ciepła powstających w strefie nieogrzewanej (np. nagrzewanie się poddaszy lub zyski od urządzeń).

Opisana w artykule metoda może także się przydać przy liczeniu strat ciepła przez pustki powietrza o grubości powyżej 30 cm. Norma PN – EN ISO 6946, stosowana dla obliczeń oporów cieplnych komponentów

budynku i współczynników przenikania ciepła U , podaje opory cieplne warstw powietrza o grubościach do 30 cm. Dla grubszych warstw powietrza norma ISO 6946 nadmienia, że : „Łącznego współczynnika przenikania ciepła nie zaleca się obliczać w odniesieniu do komponentów zawierających warstwy powietrza grubsze niż 0,3m. W takich przypadkach zaleca się obliczać strumień cieplny raczej z bilansu cieplnego (patrz ISO 13789 Właściwości cieplne budynków – Współczynnik strat ciepła przez przenikanie – Metoda obliczania)”

Przejdźmy, zatem do rozważenia ustalonego bilansu ciepła przestrzeni znajdującej się pomiędzy strefą o regulowanej temperaturze a środowiskiem zewnętrznym.



Założmy, że rozpatrujemy wymianę ciepła pomiędzy strefą ogrzewaną o znanej temperaturze θ_i , strefą o nieregulowanej, szukanej temperaturze θ_u i środowiskiem zewnętrznym o znanej temperaturze θ_e . Przyjmy na początku, że wymiana ciepła następuje jedynie na drodze przewodzenia

ciepła (nie uwzględniamy dodatkowej wymiany ciepła poprzez przepływający strumień powietrza) poprzez przegrody znanych współczynnikach przenikania ciepła U_{iu} oraz U_{ue} . W przestrzeni o nieregulowanej temperaturze nie występują także źródła ciepła (zyski ciepła).

Zgodnie z zasadą zachowania energii suma strumieni ciepła wpływających do rozważanej bilansowanej przestrzeni równa się sumie strumieni wypływających z tej przestrzeni. Z umieszczonego wyżej schematu wynika więc, że zasada tą opisać można następująco:

$$\dot{Q}_{iu} = \dot{Q}_{ue} \quad [W]$$

Strumień napływający w wyniku przewodzenia ciepła od środowiska ogrzewanego do przestrzeni nieogrzewanej, to:

$$\dot{Q}_{iu} = U_{iu} \cdot A_{iu} \cdot (\theta_i - \theta_u) \quad [W]$$

gdzie A_{iu} – jest to pole przegród oddzielających przestrzeń ogrzewaną od przestrzeni nieogrzewanej.

Strumień wypływający w wyniku przewodzenia ciepła ze środowiska nieogrzewanego do środowiska zewnętrznego to:

$$\dot{Q}_{ue} = U_{ue} \cdot A_{ue} \cdot (\theta_u - \theta_e) \quad [W]$$

gdzie A_{ue} – jest to pole przegród oddzielających przestrzeń ogrzewaną od przestrzeni nieogrzewanej.

Iloczyny współczynników przenikania ciepła i powierzchni przegród możemy zastąpić dobrze już znanymi współczynnikami strat ciepła przez

przewodzenie. Oznaczmy je odpowiednio jako: $H_{iu,tr}$ oraz $H_{ue,tr}$. Teraz zasadę zachowania energii możemy zapisać:

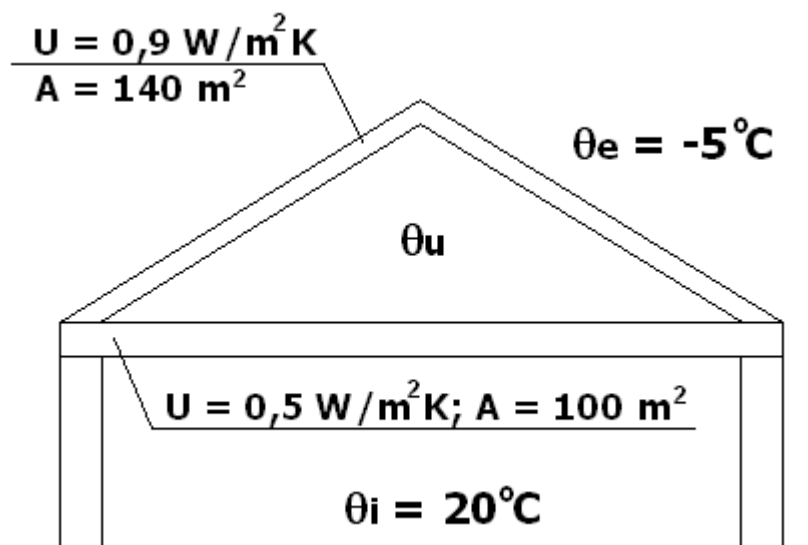
$$H_{iu,tr}(\theta_i - \theta_u) = H_{ue,tr}(\theta_u - \theta_e)$$

W tym miejscu należy podkreślić, że współczynniki strat ciepła przez przenikanie ($H_{iu,tr}$, $H_{ue,tr}$) oprócz iloczynu współczynnika przenikania ciepła i powierzchni przegród powinny także, o ile jest to uzasadnione, uwzględniać wpływ mostków liniowych i punktowych.

Zatem szukana temperatura wynikająca z bilansu ciepła strefy nieogrzewanej wynosi:

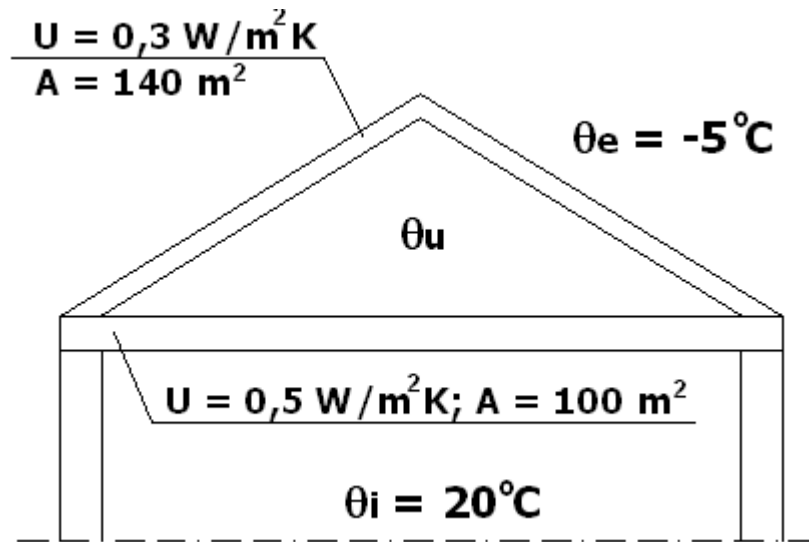
$$\theta_u = \frac{H_{iu,tr}\theta_i + H_{ue,tr}\theta_e}{H_{iu,tr} + H_{ue,tr}}$$

Obliczmy jak zmienia się temperatura wewnętrzna przykładowej przestrzeni (poddasze) o nieregulowanej temperaturze dla różnych izolacyjności ciepłych dachu. Na początek przyjmijmy, że współczynnik przenikania ciepła dla dachu wynosi $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.



$$\theta_u = \frac{H_{iu,tr} \theta_i + H_{ue,tr} \theta_e}{H_{iu,tr} + H_{ue,tr}} = \frac{0,5 \cdot 100 \cdot 20 + 0,9 \cdot 140 \cdot (-5)}{0,5 \cdot 100 + 0,9 \cdot 140} = 2,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Założmy teraz, że współczynnik przenikania ciepła dla dachu wynosi 0,3 W/(m² K).



Tym razem temperatura wynikająca z bilansu ciepła dla poddasza wyniesie:

$$\theta_u = \frac{H_{iu,tr} \theta_i + H_{ue,tr} \theta_e}{H_{iu,tr} + H_{ue,tr}} = \frac{0,5 \cdot 100 \cdot 20 + 0,3 \cdot 140 \cdot (-5)}{0,5 \cdot 100 + 0,3 \cdot 140} = 8,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Bardzo często w strefie o nieregulowanej temperaturze powstają zyski ciepła, w wyniku np. promieniowania słonecznego przez przegrody przezroczyste ale i także nieprzezroczyste. W takich strefach mogą znajdować się także różnego rodzaju urządzenia wydzielające ciepło. Wpływ wewnętrznych zysków ciepła w postaci dodatkowego strumienia ciepła (ϕ , [W]) uwzględniamy w równaniu bilansu po stronie strumienia dodatniego, czyli wpływającego do strefy.

$$H_{iu,tr}(\theta_i - \theta_u) + \phi = H_{ue,tr}(\theta_u - \theta_e)$$

Tym razem wzór na temperaturę równowagi w strefie nieogrzewanej ma postać:

$$\theta_u = \frac{\phi + H_{iu,tr}\theta_i + H_{ue,tr}\theta_e}{H_{iu,tr} + H_{ue,tr}}$$

Oprócz wymiany ciepła poprzez przewodzenie można także uwzględnić ciepło transportowane wraz z powietrzem wymienianym pomiędzy przestrzenią ogrzewaną a nieogrzewaną (V_{iu} [m^3/h]) i pomiędzy strefą nieogrzewaną a środowiskiem zewnętrznym (V_{ue} [m^3/h]). Wpływ strumieni powietrza V_{iu} i V_{ue} uwzględniamy we współczynnikach strat ciepła, które tym razem obejmowały będą straty ciepła przez przewodzenie i wentylację.

$$H_{iu} = H_{iu,tr} + H_{iu,v} ; \quad H_{ue} = H_{ue,tr} + H_{ue,v}$$

gdzie: $H_{iu,v} = \rho c V_{iu} ; \quad H_{ue,v} = \rho c V_{ue}$

ρ - gęstość powietrza w kg/m^3 ;

c - ciepło właściwe powietrza w $\text{Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Zatem wzór na temperaturę strefy nieogrzewanej wynikającej z jej ustalonego bilansu ciepła uwzględniający straty przez przewodzenie, wentylację oraz zyski ciepła ma postać:

$$\theta_u = \frac{\phi + H_{iu}\theta_i + H_{ue}\theta_e}{H_{iu} + H_{ue}}$$

Identyczna postać wzoru przedstawiona jest załączniku A „Temperatura w przestrzeni nieogrzewanej” normy ISO 13789 „Właściwości cieplne

budynków. Współczynnik strat ciepła przez przenikanie. Metoda obliczania”

Dodatkowo norma podaje także umowne krotności wymian powietrza pomiędzy przestrzenią nieogrzewaną a środowiskiem zewnętrznym:

Nr	Typ szczelności	n_{ue}/h
1	Brak drzwi i okien, wszystkie złącza między komponentami dobrze uszczelnione, nie przewidziane otwory wentylacyjne	0
2	Wszystkie złącza między komponentami dobrze uszczelnione, nie przewidziane otwory wentylacyjne	0,5
3	Wszystkie złącza dobrze uszczelnione, przewidziane małe otwory wentylacyjne	1
4	Brak szczelności spowodowany otwartymi złączami lub stałymi otworami wentylacyjnymi	5
5	Brak szczelności spowodowany licznymi otwartymi złączami lub dużymi bądź licznymi stałymi otworami wentylacyjnymi	10

Poruszone w artykule zagadnienie niezbędne jest także w obliczeniach strat ciepła i optymalizacji grubości izolacji cieplnej dla przegród sąsiadujących ze strefami o nieregulowanej temperaturze, podczas wykonywania audytów energetycznych i remontowych. Wyraźnie mówi o tym *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego...*, gdzie w podpunkcie dotyczącym obliczania liczby stopniodni i przyjmowania średniej, miesięcznej temperatury zewnętrznej mówi się aby w przypadku stropów nad nieogrzewanymi piwnicami lub pod nieogrzewanymi poddaszami uwzględniać temperaturę wynikającą z obliczeń bilansu cieplnego. Dodatkowo do tego punktu Rozporządzenia

odwołują się wytyczne przedstawione na stronie Banku Gospodarstwa Krajowego w tzw. informacjach dla audytorów:

„... niewłaściwe jest arbitralne zakładanie do obliczeń wysokości temperatur w nieogrzewanych pomieszczeniach w budynku. Temperatury te powinny zostać wyliczone metodą bilansową, co jest znacznie ułatwione w przypadku korzystania z programów komputerowych lub z wykorzystaniem metody określania czynników korekty temperaturowej zgodnie z normą PN-EN ISO 13789:2008 Ciepłota właściwości użytkowe budynków - Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację -- Metoda obliczania”

Wszystkie przedstawione w artykule czynniki, a więc straty ciepła przez przewodzenie i wentylację, słoneczne zyski ciepła przez przegrody przezroczyste i jako opcja także przez przegrody nieprzezroczyste, wewnętrzne zyski ciepła np. od urządzeń wpływające na wartość temperatury w nieogrzewanych pomieszczeniach budynku uwzględnione są w programach BuildDesk Energy Certificate Professional i BuildDesk Energy Audit.

Obliczenia te wykonywane są po wprowadzeniu do struktury budynku tzw. *lokalu nieogrzewanego*, dla którego obliczane są miesięczne temperatury wewnętrzne wynikające z bilansu ciepła.

A BuildDesk
Energy
Audit

Projekt / Audyt / Budynek / Przegrody / **Strefy budynku** / Usprawnienia

- Lista stref
- Strefa dane ogólne
- Zużycie ciepłej wody użytkowej
- Zyski wewnętrzne
- Przegrody zewnętrzne
- Przegrody wewnętrzne
- Wentylacja strefy

Podstawowe dane dla strefy:

Rodzaj strefy:

Opis strefy:

Symbol strefy:

Szczegółowy opis:

Dane obliczeniowe:

Strumień powietrza między przestrzenią nieogrzewaną a środowiskiem zewnętrznym zadany ręcznie

Strumień powietrza między przestrzenią nieogrzewaną a środowiskiem zewnętrznym: $V_{ue} =$ [m³/h]

Strumień powietrza między przestrzenią nieogrzewaną a środowiskiem zewnętrznym obliczony na podstawie umownych krotności wymiany powietrza (PN-EN ISO 13789:2001)

Kubatura wentylowana strefy: $V_u =$ [m³]

Umowna krotność wymiany powietrza między przestrzenią nieogrzewaną a środowiskiem zewnętrznym: $n_{ue} =$ [1/h]

Powierzchnia strefy: $A =$ [m²]

Średnia moc jednostkowa wewnętrznych zysków ciepła: $q_{int} =$ [W/m²]

Dla tak wprowadzonej strefy nieogrzewanej definiujemy jeszcze przegrody zewnętrzne, strumień powietrza wymieniany ze środowiskiem zewnętrznym i ewentualnie dodatkowe (poza słonecznymi, które oblicza program) zyski ciepła. Tak zdefiniowany *lokal nieogrzewany* przypisujemy odpowiedniej przegrodzie zewnętrznej (lub przegrodom zewnętrznym) strefy ogrzewanej.

Jako dowód przeprowadzonych obliczeń bilansu ciepła w strefach nieogrzewanych **program BDEC** drukuje miesięczne wartości temperatur w tych strefach w tzw. *Raporcie z obliczeń*. Jeśli chodzi zaś o audyty energetyczne i remontowe budynków wykonywane przy pomocy **programu BDEA** to omawiane wartości temperatur wynikających z bilansu ciepła stref nieogrzewanych przedstawiane są w załącznikach dotyczących obliczeń szczegółowych oraz w punkcie audytu dotyczącym optymalizacji grubości izolacji jako dokumentacja obliczeń ilości stopnio

dni.

6.1 Optymalizacja przegród wielowarstwowych**Strop nad piwnicą****Dobór optymalnej grubości materiału izolacyjnego dla grupy przegród.**

Powierzchnia do obliczeń strat ciepła	152.00 [m ²]
Rzeczywista powierzchnia do docieplenia	152.00 [m ²]
Obliczeniowa temperatura wewnętrzna	20.00 [°C]
Obliczeniowa temperatura zewnętrzna	11.50 [°C]
Liczba stopniodni	1526
Opis sposobu wykonania termomodernizacji przegrody	Docieplenie stropu pomiędzy strefą mieszkalną a piwnicą nieogrzewaną.
Materiał izolacyjny	wełna mineralna
Współczynnik przewodzenia ciepła	0.040 [W/mK]
Wybrana grubość dodatkowej warstwy materiału izolacyjnego	0.05 [m]
Cena 1 m ³ materiału izolacyjnego	230 [zł/m ³]

Dokumentacja obliczeń liczby stopniodni

	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec
T _i	20	20	20	20	20	20
T _{e,m}	11.3	10.8	13.2	15.2	17.3	19.3
L _m	31	28	31	30	5	0
S _{d,m}	268.9	257.7	212.1	142.9	13.4	0
	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień
T _i	20	20	20	20	20	20
T _{e,m}	19	19	17.5	15.6	12.6	11.5
L _m	0	0	5	31	30	31
S _{d,m}	0	0	12.6	135.1	221.1	262.6

**Normy z BDEC: PN – EN ISO 13788 : 2003**

Obliczenia ciepłno – wilgotnościowe przegród w kontekście wymagań Warunków Technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Norma PN – EN ISO 13788 : 2003 „Ciepłno – wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.”

Zmiany wprowadzone 6 listopada 2008 roku do Warunków Technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie) wymagają także od projektantów, sprawdzenia projektowanej przegrody pod

względem uniknięcia kondensacji pary wodnej wewnątrz przegrody oraz uniknięcia wzrostu grzybów pleśniowych na powierzchni wewnętrznej przegrody.

„§ 321.1. Na wewnętrznej powierzchni nieprzezroczystej przegrody zewnętrznej nie może występować kondensacja pary wodnej umożliwiająca rozwój grzybów pleśniowych.

2. We wnętrzu przegrody, o której mowa w ust. 1, nie może występować narastające w kolejnych latach zawilgocenie spowodowane kondensacją pary wodnej.

3. Warunki określone w ust. 1 i 2 uważa się za spełnione, jeśli przegrody odpowiadają wymaganiom określonym w pkt 2.2.4. załącznika nr 2 do rozporządzenia.”;

Dodatkowo, jeśli zaprojektowany budynek nie spełnia wymagań co do izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych (warunek na U – współczynnik przenikania ciepła) a jedynie warunek na wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP budynku ocenianego < EP wg WT), to przegrody zewnętrzne takiego budynku również należy sprawdzić pod kątem ryzyka wystąpienia kondensacji międzywarstwowej oraz grzybów pleśniowych.

§ 329. 1. Wymaganie określone w § 328 ust. 1 uznaje się za spełnione dla budynku mieszkalnego, jeżeli:

1) przegrody zewnętrzne budynku oraz technika instalacyjna odpowiadają wymaganiom izolacyjności cieplnej oraz powierzchnia okien spełnia wymagania określone w pkt 2.1. załącznika nr 2 do rozporządzenia, przy czym dla budynku przebudowywanego dopuszcza się zwiększenie średniego współczynnika przenikania ciepła osłony budynku o nie więcej niż 15% w porównaniu z budynkiem nowym o takiej samej geometrii i sposobie użytkowania, lub

*2) wartość wskaźnika EP [kWh/(m² · rok)], określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia jest mniejsza od wartości granicznych określonych odpowiednio w ust. 3 pkt 1 i 2, **a także jeżeli przegrody zewnętrzne budynku odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej niezbędnej dla zabezpieczenia przed kondensacją pary wodnej, określonym w pkt 2.2. załącznika nr 2 do rozporządzenia...***

W celu sprawdzenia obu warunków (na kondensację międzywarstwową i wzrost grzybów pleśniowych), w Rozporządzeniu o Warunkach Technicznych przywołuję się normę PN – EN ISO 13788 „Ciepłno – wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.”

Spełnienie warunku pod kątem uniknięcia wzrostu grzybów pleśniowych polega na zaprojektowaniu przegrody tak, aby tzw. maksymalny obliczeniowy czynnik temperaturowy na powierzchni wewnętrznej ($f_{Rsi,max}$) był mniejszy od dopuszczalnego: $f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$

Warunek na kondensację pary wodnej wewnątrz przegrody uznaje się także za spełniony, jeśli ilość wykondensowanej wilgoci w przegrodzie wysycha w ciągu roku tak, aby w kolejnych latach, z roku na rok nie następował przyrost wilgoci.

Aby sprawdzić oba warunki dla projektowanej przegrody, należy przeprowadzić odpowiednią procedurę obliczeń dla całego roku, miesiąc po miesiącu. Znając wilgotności i temperatury powietrza zewnętrznego oraz wewnętrznego, parametry cieplne oraz wilgotnościowe (współczynnik oporu dyfuzyjnego, dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza) warstw przegrody, dla każdego miesiąca roku wyznacza się rozkład ciśnień pary wodnej w przegrodzie oraz oblicza czynnik temperaturowy na powierzchni wewnętrznej dla założonej wilgotności krytycznej.

Obliczanie kondensacji międzywarstwowej

Metoda obliczeń wewnętrznej kondensacji pary wodnej, zaproponowana w PN – EN ISO 13788 : 2003.

W opisywanej metodzie przyjęto następujące uproszczenia:

- a) początkowo przegroda w stanie całkowicie suchym,
- b) układ jest jednowymiarowy,
- c) obliczenia rozpoczyna się od stanu ustalonego,
- d) ruchy powietrza przez warstwy przegrody lub wewnątrz niej nie są rozważane,
- e) materiały użyte do budowy przegrody nie mają właściwości higroskopijnych
- f) transport wilgoci polega wyłącznie na dyfuzji pary wodnej, opisanej następującym równaniem:

$$g = \frac{\delta_o}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x} = \delta_o \cdot \frac{\Delta p}{s_d} \quad (1)$$

gdzie:

g – gęstość strumienia wilgoci [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],

δ_o – współczynnik dyfuzji pary wodnej w powietrzu [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$]

$\delta_o = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$,

μ - współczynnik oporu dyfuzyjnego pary wodnej [-]

s_d – dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza pod względem oporu dyfuzyjnego pary wodnej [m]

Wielkość δ_0 jest uzależniona od temperatury i ciśnienia atmosferycznego, ale wpływ tych czynników jest w niniejszej normie zanedbywany.

Zaleca się, aby niniejsza metoda uważana była raczej za sposób oszacowania, niż za narzędzie służące do dokładnego przewidywania. Jest ona przydatna przy porównywaniu różnych budynków i oceny skutków modyfikacji. Nie dostarcza dokładnych prognoz warunków wilgotnościowych wewnątrz budowli w warunkach eksploatacji, nie jest także właściwa do obliczeń związanych z wysychaniem wilgoci budowlanej.

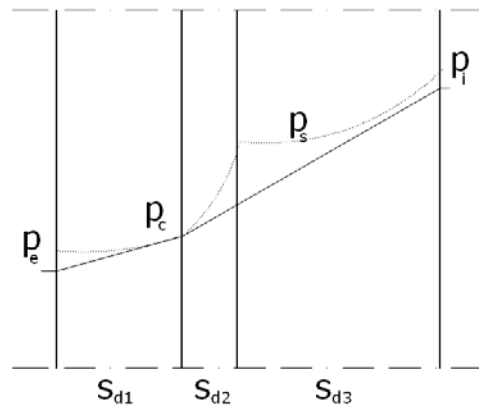
W normie zaproponowano następującą procedurę obliczeń: początkowo należy zdefiniować własności materiałowe: grubości warstw d , współczynniki przewodzenia ciepła λ i współczynniki oporu dyfuzyjnego μ , po czym obliczyć opory termiczne R , R_{si} , R_{se} i równoważne grubości warstw s_d . Następnie:

- a) określa się temperatury oraz wilgotności wewnętrzne i zewnętrzne,
 - b) wykonuje się obliczenia rozkładu temperatury w przekroju ściany,
 - c) oblicza się rozkład pary wodnej nasyconej w funkcji temperatury,
 - d) rysuje się przekrój poprzeczny ściany zastępując grubości rzeczywiste warstw materiału równoważnymi grubościami warstw powietrza (s_d); jeśli w ścianie nie ma żadnej wilgoci skondensowanej w poprzednich miesiącach, to rysuje się wykres ciśnienia pary wodnej jako linię prostą pomiędzy wartościami rzeczywistego ciśnienia wewnętrznego i zewnętrznego – w tym przypadku wykresy ciśnienia rzeczywistego pary wodnej i ciśnienia pary wodnej nasyconej nie przecinają się; jeśli wykresy te przecinają się, to kondensacja występuje i wykres ciśnienia pary wodnej powinien być rysowany w postaci stycznych do wykresu ciśnienia pary wodnej nasyconej. Jeżeli kondensacja pary wodnej występuje, to ma ona miejsce najczęściej na jednej lub kilku powierzchniach styku warstw materiałów. Na tych powierzchniach wartość wilgotności względnej wynosi 100% do czasu aż kondensat całkowicie odparuje (wyschnie).
- Możliwe jest również, aby kondensacja wystąpiła w strefie. Jeżeli wystąpi ona w jednej lub wielu strefach, to należy policzyć ilość wykondensowanej wilgoci w każdej z tych stref. Kondensat w materiale jest skoncentrowany w środku strefy kondensacji i tam wilgotność względna wynosi 100% do czasu aż kondensat wyparuje. W każdej strefie i powierzchni kondensacji ciśnienie pary wodnej przyjmuje się jako równe ciśnieniu pary wodnej nasyconej i wykres ciśnienia pary wodnej rysuje się jako linie proste pomiędzy wartością ciśnienia pary wodnej wewnątrz, powierzchnią/strefą kondensacji i wartością ciśnienia pary wodnej na zewnątrz.

e) oblicza się ilość wykondensowanej (lub odparowanej) wilgoci podczas danego miesiąca i dodaje (lub odejmuje) się tę wartość od ilości wilgoci zakumulowanej w danym przekroju przegrody podczas poprzednich miesięcy.

Jeżeli zakumulowana ilość wilgoci w końcu danego miesiąca jest ujemna to oznacza, że cała wilgoć wyparowała przed końcem miesiąca. Wówczas miesiąc ten dzieli się na dwa okresy. Pierwszy, kiedy wilgoć wyparowuje z przegrody i drugi kiedy przegroda jest już sucha. W tym ostatnim przypadku obliczenia następnego miesiąca rozpoczyna się przyjmując zerową zawartość wilgoci w przegrodzie.

Przypadek kondensacji wilgoci w płaszczyźnie:



Ilość wykondensowanej wilgoci zgodnie z (1) wynosi:

$$g_c = \delta_o \left(\frac{p_i - p_c}{s_{d2} + s_{d3}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d1}} \right) \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$\delta_o = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg/(m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa)}$$

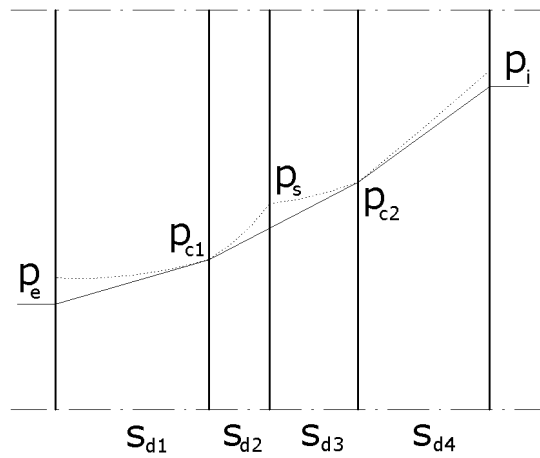
p_i – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu wewnętrznym [Pa],

p_e – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu zewnętrznym [Pa],

p_s , p_c – ciśnienia pary wodnej w stanie nasycenia [Pa],

s_{d1} , s_{d2} , s_{d3} – dyfuzyjnie równoważne grubości warstw powietrza pod względem oporu dyfuzyjnego pary wodnej [m]

Przypadek kondensacji wilgoci w dwóch płaszczynach:

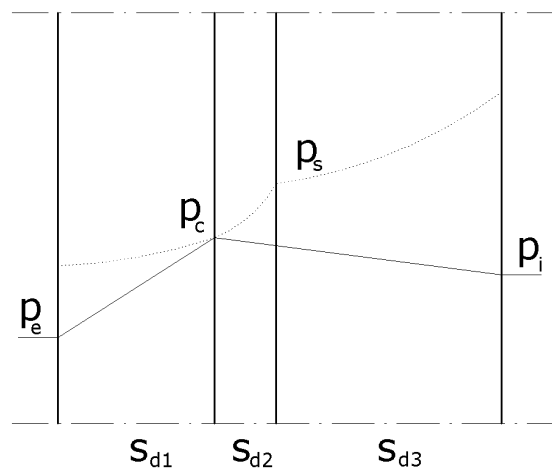


Ilość wykondensowanej wilgoci zgodnie z (1) wynosi:

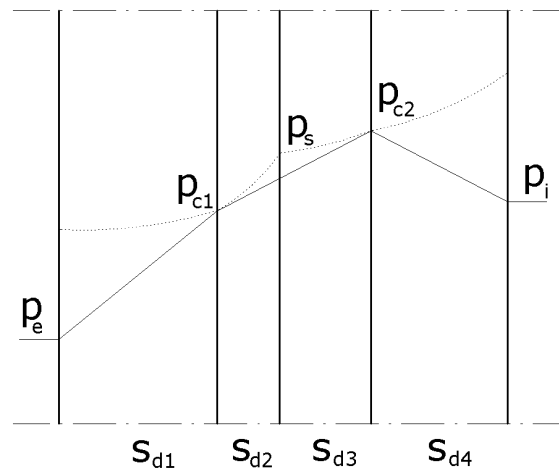
$$g_{c1} = \delta_o \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s_{d2} + s_{d3}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s_{d1}} \right) \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$g_{c2} = \delta_o \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s_{d4}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s_{d2} + s_{d3}} \right) \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

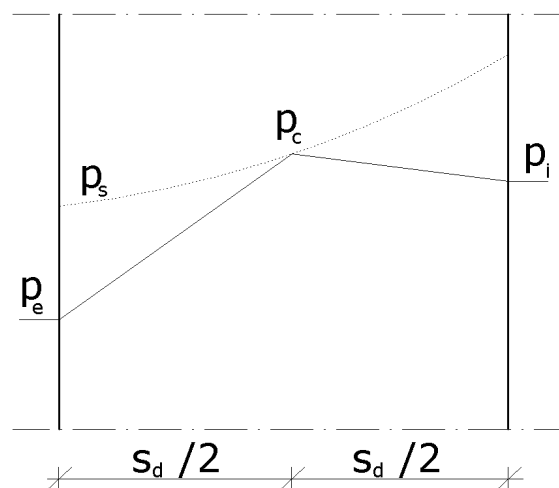
Wysychanie wilgoci wykondensowanej w jednej płaszczynie:



Wysychanie wilgoci wykondensowanej w dwóch płaszczynach:



Wysychanie wilgoci wykondensowanej w strefie



$$g_c = \delta_o \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s_i} - \frac{p_{c1} - p_e}{s_e} \right)$$

Wyrażenia na strumień parowania i kondensacji są takie same. Umownie kondensacja pojawia się wtedy, gdy wartość g_c jest dodatnia, a wysychanie – gdy jest ujemna.

Wszystkie opisane powyżej warunki, ich obliczenia oraz sprawdzenia, można wykonać w programie BDEC Pro, który wyposażony został w pełen algorytm zgodny z normą PN – EN ISO 13788 : 2003. Opcja ta dostępna jest w programie BDEC Pro za darmo, łącznie z generacją raportu z obliczeń ciepło – wilgotnościowych, za który nie się pobierane jakiegokolwiek opłaty.

Moduł z obliczaniem ciepłno – wilgotnościowymi dostępny jest w programie BDEC z zakładki **Przegrody** po uruchomieniu przycisku **Sprawdzenie warunków ciepłno – wilgotnościowych przegród zewnętrznych**

BuildDesk Energy Certificate Professional

Projekt / Budynek / Przegrody / Lokal (Strefa) / Wyniki / Pomoc

Przegrody wielowarstwowe

Przegrody typowe (okna i drzwi)

Przegrody wielowarstwowe

Lista przegród:

Symbol	Opis przegrody	U [W/(m ² ·K)]
scz1	scz_kratówka	1.114
scz_bet	beton 30cm	2.128
scz_gruntowa	beton 30cm	2.326
podł_podziemie	podł_podziemie	3.571
ST_06	Strop DZ-3	0.732
Strop nad przejazdem	Strop DZ-3	0.614

Usun przegrodę Edytuj przegrodę Duplikuj przegrodę Dodaj nową przegrodę

Sprawdzenie warunków ciepłno-wilgotnościowych przegród zewnętrznych

Dodaj przegrodę z katalogu przegród gotowych

- Po zaimportowaniu wybranej przegrody z zakładki **Przegrody**, określamy warunki wewnętrzne, poprzez wybór klasy wilgotnościowej pomieszczenia odpowiedniej dla jego przeznaczenia



Analiza cieplno-wilgotnościowa przegród

LISTA PRZEGRÓD

 Lista przegród

WYBRANA PRZEGRODA

 Budowa przegrody

 Warunki wilgotnościowe

 Warunki wewnętrzne

OBLICZENIA

 Obliczanie współczynnika temperaturowego f_{Rsi}

 Obliczanie kondensacji międzywarstwowej

 Ocena przegrody

 Raport z wyników obliczeń dla przegrody

Stacja meteorologiczna:	Wrocław
Typ przegrody:	Ściana o budowie niejednorodnej
Wycinek:	Przegroda jednorodna
Współczynnik przenikania ciepła wycinka:	$U = 0.256 [W/(m^2 \cdot K)]$

BUDOWA PRZEGRODY

Lp.	Nazwa materiału	d [m]	$\lambda [W/m \cdot K]$	μ	s_d [m]	
<i>Środowisko zewnętrzne</i>						
1	Tynk lub gładź cementowa	0.01	1.000	0	0	
2	Styropian - w innych przypadkach	0.05	0.045	0	0	
3	Mur z betonu komórkowego (400) na cienkowarstwowej zaprawie klejącej lub na zaprawie o przewodności cieplnej równej przewodn	0.365	0.140	0	0	
4	Tynk lub gładź cementowo-wapienna	0.01	0.820	0	0	
<i>Wnętrze</i>						

WARUNKI WILGOTNOŚCIOWE

W zależności od przeznaczenia pomieszczenia oraz rodzaju wewnętrznego dopływu wilgoci i wentylacji pomieszczeń wilgotność powietrza wewnętrznego można opisać:

- stosując pięć klas wilgotności
- przyjmując względną wilgotność i temperaturę jako stałą, gdy wewnętrzna wilgotność względna jest znana i utrzymywana na stałym poziomie np. dzięki wentylacji

Proszę wybrać sposób opisu warunków wewnętrznych

Zmienne warunki wewnętrzne odpowiadające przyjętej klasie wilgotności

- Powierzchnia magazynowa
- Biura, sklepy
- Mieszkania z małą liczbą mieszkańców
- Mieszkania z dużą liczbą mieszkańców, hale sportowe, kuchnie, stołówki, budynki ogrzewane grzejnikami gazowymi bez przewodów spalinowych
- Budynki specjalne (pralnia, browar, basen kąpielowy itp.) - klasa ta dotyczy pomieszczeń, dla których nie ma norm określających jednoznacznie występującą w nich wilgotność. W tym przypadku zawsze należy przeprowadzić oddzielne obliczenia dotyczące ilości wydzielającej się wilgoci.

- Obliczanie współczynnika temperaturowego f_{Rsi} , pozwalającego oszacować ryzyko rozwoju pleśni.

Program oblicza najpierw współczynnik $f_{R_{si}}$ na podstawie oporów cieplnych warstw przegrody i oporu przejmowania ciepła.

Rodzaj lub usytuowanie przegrody w pomieszczeniu

	Rodzaj lub usytuowanie przegrody w pomieszczeniu	R_{si} [m ² K/W]
<input type="radio"/>	Płaskie oszklenie i ramy	0.13
<input checked="" type="radio"/>	Przegroda pełna z dala od mostków cieplnych	0.167
<input type="radio"/>	Część przegrody usytuowana w górnej strefie pomieszczenia (np. okolice naroży pod sufitem, lub ściana zasłonięta kotarą, zasłoną itp.)	0.25
<input type="radio"/>	Część przegrody usytuowana w dolnej strefie pomieszczenia (np. naroże przy podłodze, okolice podokiennika itp.)	0.35
<input type="radio"/>	Ściana zewnętrzna w bezpośrednim sąsiedztwie wysokich mebli z niewielkim prześwitem (meblościanka, duże szafki kuchenne wiszące przy narożu ścian zewnętrznych, itp.)	0.5

Efektywna wartość czynnika temperaturowego na powierzchni wewnętrznej przegrody wyznaczona na podstawie wartości współczynnika przenikania ciepła elementu U oraz oporu przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej R_{si} .

$f_{R_{si}} = 0.958$

Następnie wykonywane są obliczenia współczynnika $f_{R_{si}}$ dla każdego miesiąca przy założonej wilgotności krytycznej.

Po obliczeniach, w podsumowaniu, następuje sprawdzenie warunku ze względu na temperaturowy czynnik powierzchni wewnętrznej.

**Wartości minimalnego czynnika $f_{Rsi,min}$
w poszczególnych miesiącach**

Miesiąc	$f_{Rsi,min}$
styczeń	0.761
luty	0.746
marzec	0.699
kwiecień	0.606
maj	0.476
czerwiec	0.293
lipiec	0.367
sierpień	0.250
wrzesień	0.456
październik	0.604
listopad	0.697
grudzień	0.752

Wartość czynnika temperaturowego dla krytycznego miesiąca:

$$f_{Rsi,max} = 0.761$$

Miesiącami krytycznymi są: **styczeń**

Podsumowanie

Element budynku należy tak projektować, aby $f_{Rsi,max}$ było zawsze przekroczone, tzn. $f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$

Ponieważ warunek $f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$ jest spełniony, zatem analizowana przegroda (**Sciana zewnętrzna**) zaprojektowana została prawidłowo pod kątem uniknięcia rozwoju pleśni.

- Następnie program wykonuje obliczenia rocznego bilansu wilgoci oraz ilości wilgoci zakumulowanej z powodu kondensacji międzywarstwowej spowodowanej dyfuzją pary wodnej.

WYNIKI OBLICZEŃ ILOŚCI KONDENSATU

Wyniki obliczeń rocznego bilansu wilgoci oraz obliczania maksymalnej ilości wilgoci zakumulowanej w przegrodzie. Obliczenia te wykonuje się w celu oszacowania ryzyka kondensacji międzywarstwowej spowodowanej dyfuzją pary wodnej.

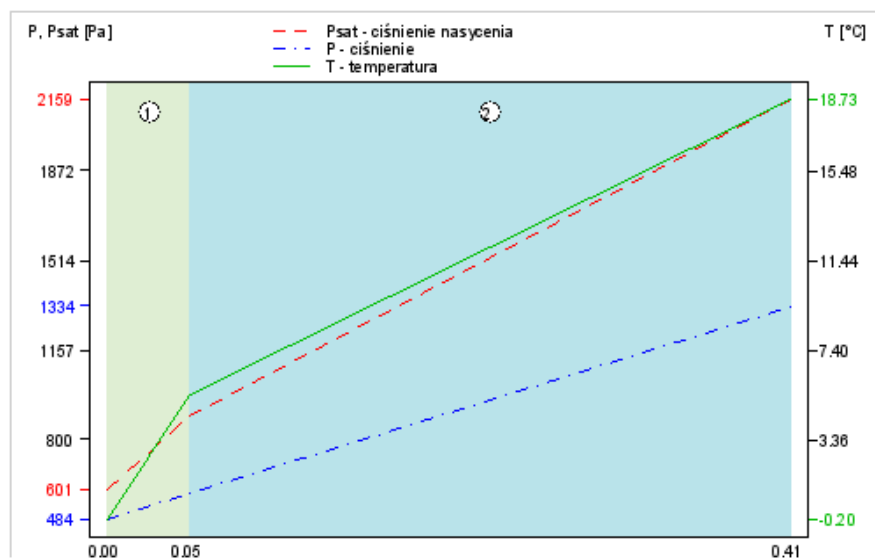
Miesięczne strumienie kondensacji i akumulacja wewnątrz przegrody

Miesiąc	Kondensacja pary wodnej
styczeń	NIE
luty	NIE
marzec	NIE
kwiecień	NIE
maj	NIE
czerwiec	NIE
lipiec	NIE
sierpień	NIE
wrzesień	NIE
październik	NIE
listopad	NIE
grudzień	NIE

Pokaż szczegółowe wyniki

Opcja **Pokaż szczegółowe wyniki** przedstawia wyniki obliczeń kondensacji międzywarstwowej, osobno dla każdego miesiąca, w postaci tabelarycznej i graficznej.

Przegroda					Powierzchnie stykowe			
Lp	Warstwa	Grubość [m]	R_n [m ² K/W]	s_d [m]	T_n [°C]	$P_{n,sat}$ [Pa]	P_n [Pa]	g_c [kg/m ²]
Na zewnątrz: $T = -0.4$ [°C], $p_e = 484.36$ [Pa]								
1	Styropian - w innych przypadkach	0.050	1.111	0.050	-0.20	600.69	484.36	0.000
2	Mur z betonu komórkowego (400) na cienkowarstwowej zaprawie klejącej lub na zaprawie o przewodności cieplnej równej przewodn	0.365	2.607	0.365	5.46	900.17	586.77	0.000
Wewnątrz: $T = 20$ [°C], $p_i = 1375.36$ [Pa]					18.73	2159.11	1334.39	0.000



- Na końcu program przedstawia ogólne podsumowanie analizy ciepłno – wilgotnościowej dla projektowanej przegrody pod kątem spełnienia warunków wymaganych Rozporządzeniem o Warunkach Technicznych

Stacja meteorologiczna:	Wrocław
Typ przegrody:	Ściana o budowie niejednorodnej
Wycinek:	Przegroda jednorodna
Współczynnik przenikania ciepła wycinka:	$U = 0.256 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$

OCENA CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWYCH WŁAŚCIWOŚCI PRZEGRODY

1. OCENA PRZEGRODY POD KĄTEM UNIKNIĘCIA ROZWOJU PLEŚNI

Współczynnik $f_{R_{si}}$ przegrody: $f_{R_{si}} = 0.958$

Miesiącem krytycznym jest: **styczeń**.

Wartość współczynnika $f_{R_{si}}$ dla miesiąca krytycznego: $f_{R_{si,max}} = 0.761$

Ponieważ warunek $f_{R_{si}} > f_{R_{si,max}}$ jest spełniony, zatem analizowana przegroda (**Ściana zewnętrzna**) zaprojektowana została prawidłowo pod kątem uniknięcia rozwoju pleśni.

PRZEGRODA ZAPROJEKTOWANA PRAWIDŁOWO

[Zobacz obliczenia współczynnika temperaturowego \$f_{R_{si}}\$ »](#)

2. OCENA PRZEGRODY POD KĄTEM WYSTĘPOWANIA KONDENSACJI MIĘDZYWARSTWOWEJ

Przegroda jest wolna od wewnętrznej kondensacji

PRZEGRODA ZAPROJEKTOWANA PRAWIDŁOWO

[Zobacz obliczenia kondensacji międzywarstwowej »](#)

- Dodatkowo istnieje możliwość generowania raportów z wynikami obliczeń w postaci pliku pdf.