



PRZEPŁYW CIEPŁA PRZECZ PRZEGRODY

Właściwości cieplne materiałów i przegród budowlanych

parametry fizyczne charakteryzujące właściwości cieplne materiałów i przegród budowlanych:

- współczynnik przewodności cieplnej
- współczynnik przejmowania ciepła przez promieniowanie i konwekcję
- współczynnik przenikania ciepła
- współczynnik rozszerzalności cieplnej
- pojemność cieplna

Współczynnik przewodności cieplnej

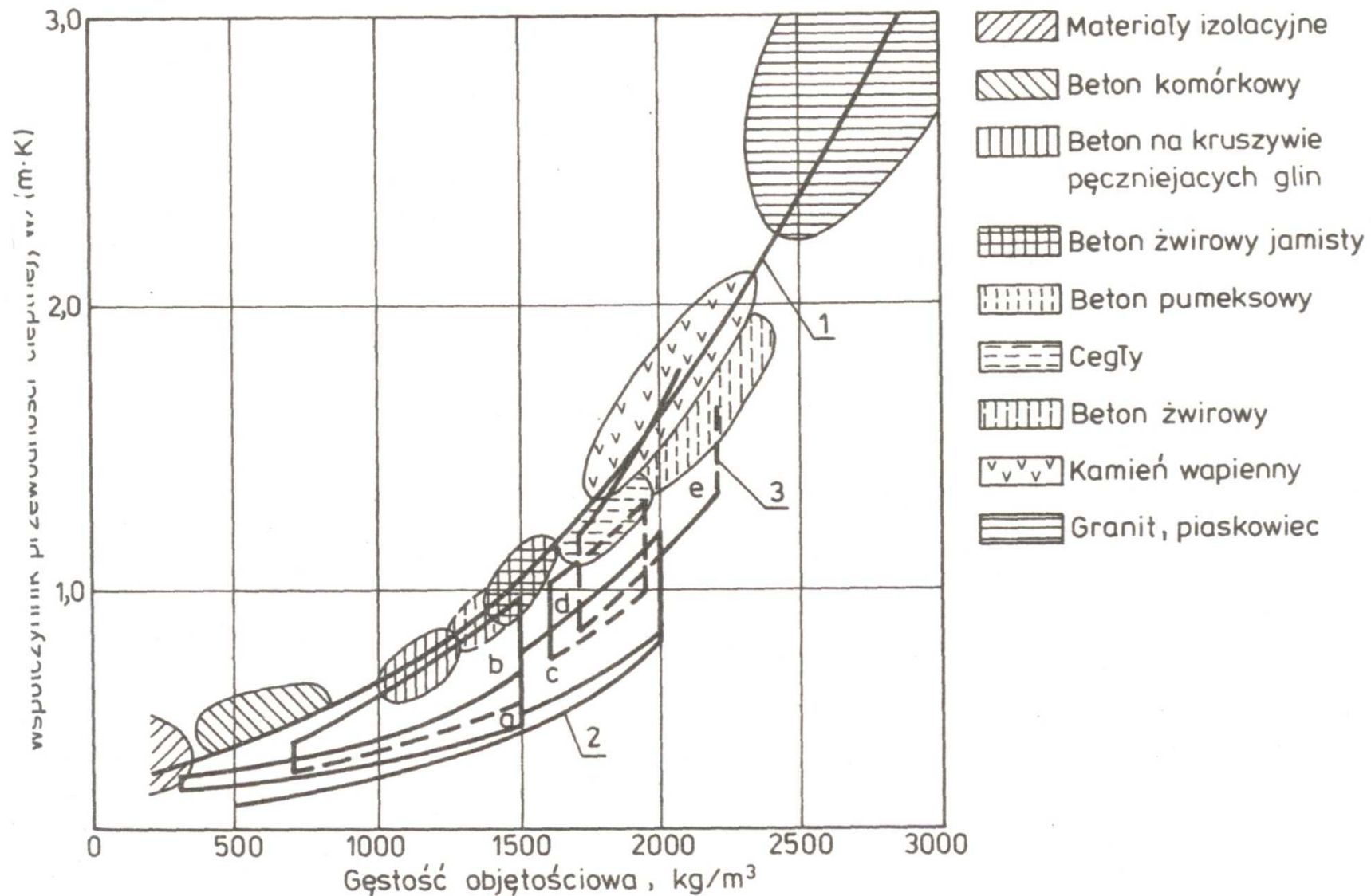
współczynnik ten określa ilość przenikającego ciepła w warunkach ustalonego przepływu

- w jednostce czasu
- przez powierzchnię 1 m^2 usytuowaną prostopadle do kierunku przepływu
- o grubości 1 m ,
- przy różnicy temperatury na powierzchniach 1 K

Wartość współczynnik λ zależy:

- ▶ gęstość – $\lambda \nearrow$, gdy $\rho \nearrow$
- ▶ rodzaj porów –
 - $\lambda \nearrow$, gdy pory są duże i otwarte, wewnątrz których występuje konwekcyjny ruch powietrza lub które mogą być wypełnione wodą lub lodem
 - $\lambda \searrow$, gdy pory są małe i zamknięte
- ▶ temperatura – $\lambda \nearrow$, gdy $t \nearrow$ (wpływ ten można pominąć)
- ▶ wilgotność – $\lambda \nearrow$, gdy $w \nearrow$

Zależność współczynnika przewodzenia ciepła od gęstości materiału



Wpływ temperatury na λ

$$\lambda(t) = \lambda_0 (1 + b \cdot t)$$

gdzie

λ_0 – współczynnik przewodzenia ciepła w temperaturze 0°C

$b = 0,0025$ – współczynnik temperaturowy

w zakresie temperatur, które występują w budownictwie (-30°C do $+40^{\circ}\text{C}$) zmiany te są niewielkie, bo w skrajnych przypadkach wynoszące $40 \times 0,0025 = 0,1$

Wpływ wilgotności na λ

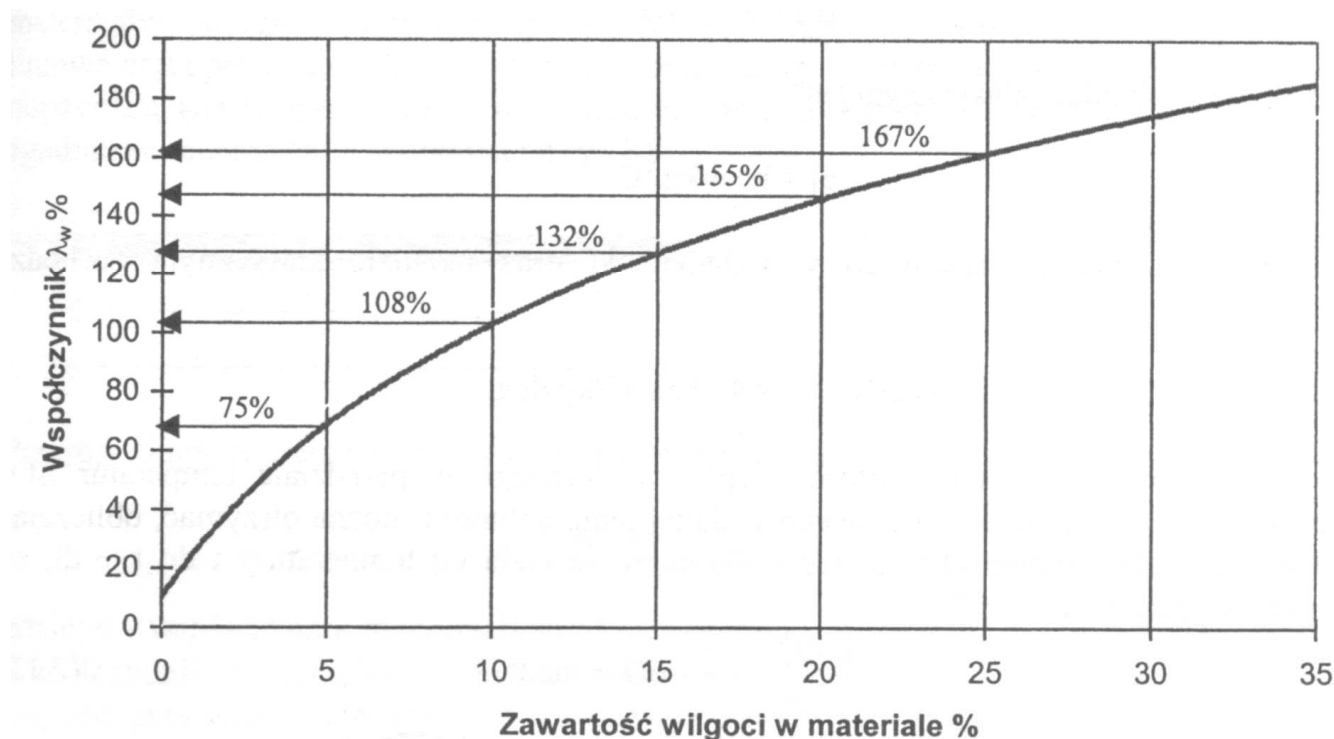
Przykład:

– dla muru z cegły suchej

$\lambda_c = 0,58 \text{ W/mK}$

– dla muru z cegły o wilgotności 10 %

$\lambda_c = 1,40 \text{ W/mK}$

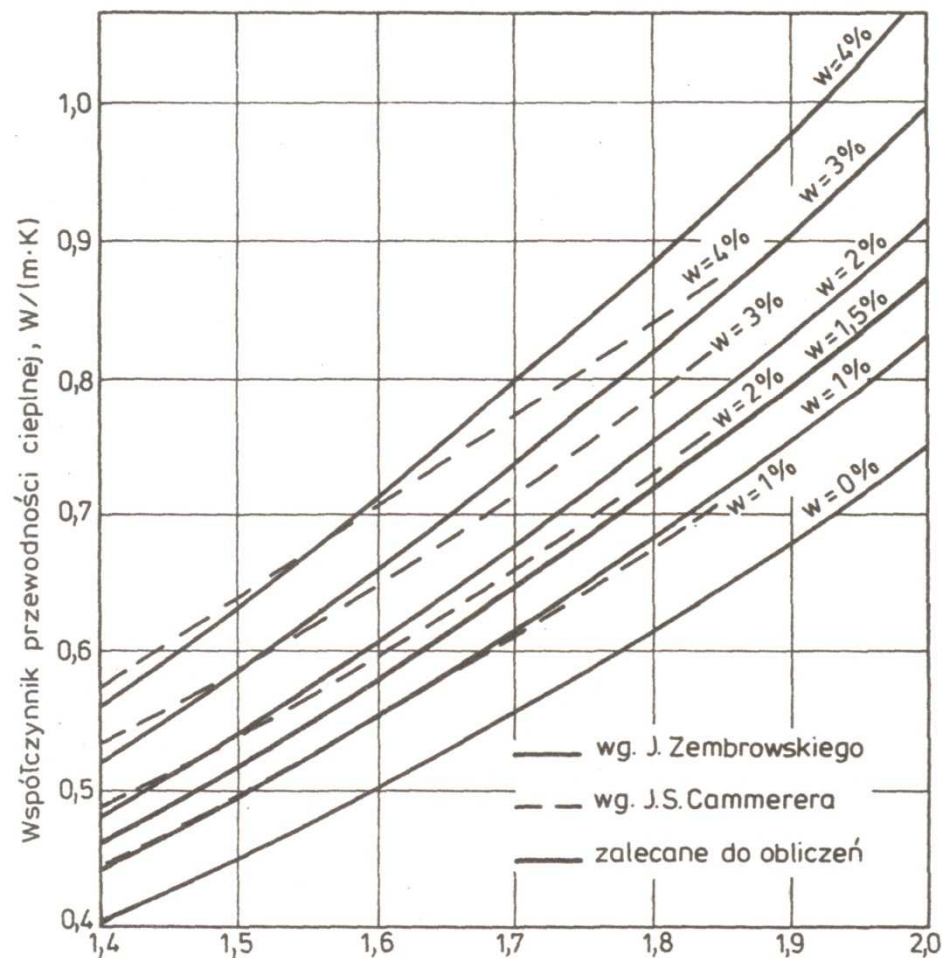


przeciętna wilgotność materiałów budowlanych w ścianach zewnętrznych wynosi:

- mur ceglany – 0,5%
- beton – 7%

przyjmowane do obliczeń wartości współczynników λ należy zawsze odnosić do rzeczywistych warunków, w których materiały będą użytkowane

Wpływ wilgotności na wartość współczynnika przewodzenia ciepła



Rys. 4-9. Wpływ wilgotności na wartości współczynnika przewodności cieplnej czerpu ceramicznego

Ciepło właściwe

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta t$$

ilość ciepła podnosząca temperaturę ciała o jednostkowej masie o jednostkę temperatury

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta t}$$

ciepło właściwe materiałów niejednorodnych

$$c = \frac{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2 + \dots + m_n \cdot c_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

Pojemność cieplna

stosunek dostarczonego do ciała ciepła
do uzyskanego przyrostu temperatury

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{\Delta t} = c \cdot m = c \cdot \rho \cdot V$$

materiał	ciepło właściwe [J/kgK]
alkohol etylowy	2380
argon	520
azot	1038
lód	2100
piasek	800
powietrze	1005
szkło kwarcowe	729
woda	4190
wodór	14225
żelazo	425

materiał	ciepło właściwe [J/kgK]	gęstość [kg/m ³]	pojemność cieplna dla 1 m ³ materiału [kJ/kgm ³]
tynk	1000	600–1800	600–1800
kamień	1000	1800–2800	1800–2800
drewno	1600	500–700	800–1120
styropian	1450	10–50	15–73
Wełna mineralna	1030	10–200	10–200
beton	1000	1800–2400	1800–2400
mur z betonu komórkowego na cienkowarstwowej zaprawie klejącej	840	400–800	336–672
mur z cegły kratówki	880	1300	1144
mur z cegły ceramicznej pełnej	880	1800	1584
mur z cegły silikatowej pełnej	800	1900	1520
glina ił	1670–2500	1200–1800	2000–4500
piasek – żwir	910–1180	1700–2200	1550–2596

Tablica Z.1. Wartości obliczeniowe właściwości fizycznych materiałów, wyrobów i komponentów

Nazwa materiału	Gęstość w stanie suchym (średnia) kg/m ³	Współczynnik prze- wodzenia ciepła, λ W/(m·K)		Ciepło właściwe w stanie suchym kJ/(kg·K)	Współczyn- nik prze- puszczania pary wodnej 10 ⁻⁴ g/(m·h·Pa)
		warunki średnio- wilgotne	warunki wilgot- ne		
1	2	3	4	5	6
Asfalty					
Asfalt ponaftowy	1050	0,17	0,17	0,92	0,075
Asfalt lany	1800	0,75	0,75	0,92	7,500
Asfaltobeton	2100	1,00	1,00	0,92	7,500
Beton i przegrody z betonu					
Żelbet	2500	1,70	1,80	0,84	30
Beton zwykły z kruszywa ka- mienno	2400	1,70	1,80	0,84	30
	2200	1,30	1,50	0,84	45
	1900	1,00	1,10	0,84	75
Beton jamisty z kruszywa ka- mienno	1900	1,00	1,10	0,84	200
Beton z kruszywa wapiennego	1600	0,72	0,80	0,84	150
	1400	0,60	0,70	0,84	180
	1200	0,50	0,60	0,84	260
Beton z żużla pumekso	1800	0,70	0,80	0,84	65
	1600	0,58	0,68	0,84	75
	1400	0,50	0,58	0,84	180
	1200	0,40	0,47	0,84	260
	1000	0,33	0,40	0,84	300
Beton z żużla paleniskowego	1800	0,85	0,95	0,84	75
	1600	0,72	0,80	0,84	150
	1400	0,60	0,67	0,84	180
	1200	0,50	0,56	0,84	260
	1000	0,39	0,43	0,84	300
Beton z kruszywa keramzyto- wego	1600	0,90	1,00	0,84	80
	1400	0,72	0,80	0,84	150
	1300	0,62	0,68	0,84	180
	1200	0,54	0,60	0,84	225
	1100	0,46	0,51	0,84	260
	1000	0,39	0,43	0,84	300
Mur z betonu komórkowego na cienkowarstwowej zaprawie klejącej lub na zaprawie o prze- wodności cieplnej równej prze- wodności cieplnej betonu komór- kowego	800	0,29	0,35	0,84	150
	700	0,25	0,30	0,84	180
	600	0,21	0,25	0,84	225
	500	0,17	0,21	0,84	260
	400	0,14	0,17	0,84	300
Mur z betonu komórkowego na zaprawie cementowo-wapiennej, ze spoinami o grubości nie większej niż 1,5 cm	800	0,38	0,44	0,84	150
	700	0,35	0,40	0,84	225
	600	0,30	0,35	0,84	225
	500	0,25	0,30	0,84	226

1	2	3	4	5	6
Wiórobeton i wiórotrocinobeton	1000	0,30	0,35	1,46	225
	900	0,26	0,30	1,46	240
	800	0,22	0,25	1,46	260
	700	0,19	0,22	1,46	320
	600	0,17	0,20	1,46	375
	500	0,15	0,18	1,46	450
Drewno i materiały drewnopochodne					
Sosna i świerk	550				
– w poprzek włókien		0,16	0,20	2,51	60
– wzdłuż włókien		0,30	0,35	2,51	320
Dąb	800				53
– w poprzek włókien		0,22	0,26	2,51	300
– wzdłuż włókien		0,40	0,46	2,51	
Sklejka	600	0,16	0,20	2,51	20
Płyty pilśniowe porowate	300	0,06	0,07	2,51	180
Płyty pilśniowe twarde	1000	0,18	0,21	2,51	20
Wyroby gipsowe zabezpieczone przed zawilgoceniem					
Płyty i bloki z gipsu	1000	0,35	0,40	0,84	105
	900	0,30	0,35	0,84	110
Gipsobeton piaskowy	1300	0,52	0,62	0,84	135
	1200	0,45	0,52	0,84	150
Gazogips	500	0,19	0,28	0,84	375
Płyty gipsowo-kartonowe	1000	0,23	0,29	1,00	75
Jastrzych gipsowy czysty	1800	1,00	1,10	0,84	120
	1300	0,52	0,60	0,84	112
Jastrzych gipsowy z piaskiem	1900	1,20	1,30	0,84	–
Kamienie naturalne					
Marmur, granit	2800	3,50	3,70	0,92	7,5
Piaskowiec	2400	2,20	2,40	0,92	38
Wapień zwarty	2000	1,15	1,40	0,92	–
Wapień porowaty	1700	0,92	1,15	0,92	–
	1400	0,64	0,76	0,92	–
Mur z kamienia łamanego z zawartością zaprawy 35% obję- tościowo przy gęstości kamienia 2800 kg/m ³	2400	2,50	2,80	0,92	–
Mur z cegły (na zaprawie cementowo-wapiennej, przy grubości spoin do 1,5 cm)					
Mur z cegły ceramicznej pełnej	1800	0,77	0,91	0,88	105
Mur z cegły dziurawki	1400	0,62	0,70	0,88	135
Mur z cegły kratówki	1300	0,56	0,62	0,88	150
Mur z cegły silikatowej pełnej	1900	1,00	1,10	0,88	105
Mur z cegły silikatowej drażnionej	1600	0,80	0,90	0,88	–
i bloków drażzonych	1500	0,75	0,85	0,88	–
Mur z cegły klinkierowej	1900	1,05	1,15	0,88	135
Materiały termoizolacyjne					
Płyty korkowe ekspandowane	150	0,045	0,050	2,06	75
Płyty korkowe asfaltowane	250	0,070	0,075	1,38	60
Płyty ze słomy	300	0,080	0,10	1,46	480
Płyty z trzciny	250	0,070	0,10	1,46	34
Płyty z paździerz lnianych na	700	0,130	0,15	1,46	34
lepiszczu syntetycznym	500	0,100	0,12	1,46	60
	300	0,075	0,09	1,46	110

1	2	3	4	5	6
Płyty wiórkowo-cementowe	600	0,15	0,19	2,09	—
	450	0,14	0,16	2,09	375
Płyty wiórowe na lepiszczu	700	0,13	0,15	2,09	34
syntetycznym	300	0,07	0,09	2,09	150
Szkło piankowe białe	300	0,12	0,13	0,84	22
Szkło piankowe czarne	180	0,07	0,07	0,84	15
Maty z włókna szklanego	60-100	0,045	0,05	0,84	600
Wełna mineralna granulowana	40-80	0,050	0,05	0,75	480
Filce, maty i płyty z wełny	40-80	0,045	0,045	0,75	480
mineralnej	100-160	0,042	0,042	0,75	480
Styropian	12	0,043	0,043	1,46	12
	15-40	0,042	0,042	1,46	12
Pianka poliuretanowa					
– w szczelnej osłonie	30-50	0,025	0,025	1,46	—
– w pozostałych przypadkach	30-50	0,035	0,040	1,46	—
Włókna syntetyczna	50-150	0,045	0,050	1,46	—
	300	0,075	0,080	1,46	—
Tynki					
Tynk lub gładź cementowa	2000	1,00	1,10	0,84	45
Tynk lub gładź cementowo-					
-wapienna	1850	0,82	0,90	0,84	45
Tynk wapienny	1700	0,70	0,80	0,84	75
Zasyпки					
Żużel paleniskowy	1000	0,28	0,35	0,75	375
	700	0,22	0,28	0,75	375
Żużel wielkopieczowy granulowa-	900	0,26	0,29	0,75	375
ny, keramzyt	700	0,20	0,24	0,75	375
	500	0,16	0,19	0,75	375
Popioły lotne (ubijane)	1000	0,30	0,37	0,75	225
Proszek hydrofobowy	1000	0,28	0,33	0,75	375
Trociny drzewne luzem	250	0,09	0,12	2,51	375
Wióry drzewne ubijane	300	0,09	0,12	2,51	450
Wióry drzewne luzem	150	0,07	0,08	2,50	600
Mączka torfowa	200	0,09	0,12	1,67	260
Śrut gumowy	300	0,09	0,10	1,26	300
Wybrane materiały różne					
File izolacyjny	300	0,06	0,08	1,67	—
Wojłók	500	0,12	0,15	1,67	—
Płyty okładzinowe ceramiczne,					
terakota	2000	1,05	1,05	0,92	—
Wykładzina podłogowa PCW	1300	0,20	0,20	1,26	—
Tektura	900	0,14	0,17	1,46	—
Papa (asfaltowa)	1000	0,18	0,18	1,46	—
Papier	1000	0,25	0,30	1,46	—
Szkło okienne	2500	0,80	0,80	0,84	—
Szkło zbrojone	2700	1,15	1,15	0,80	—
Szkło organiczne (pleksiglas)	1200	0,19	0,19	1,26	—
Guma w płytach	1200	0,20	0,20	1,26	—
Il	1800	0,75	0,75	0,84	—
Gлина	1800	0,85	0,85	0,84	—
Gлина piaszczysta	1800	0,70	0,70	0,84	—
Piasek pylasty	1800	0,55	0,55	0,84	—

1	2	3	4	5	6
Piasek średni	1650	0,40	0,40	0,84	—
Żwir	1800	0,90	0,90	0,84	—
Grunť roślinny	1800	0,90	0,90	1,26	—
Stopy aluminium	2700	200,00	200,00	0,87	—
Miedź	8800	370,00	370,00	0,38	—
Stal budowlana	7800	58,00	58,00	0,44	—
Żeliwo	7200	50,00	50,00	0,44	—
Cynk	7100	110,00	110,00	0,39	—
UWAGI 1. W celu uwzględnienia zawilgocenia materiałów przy obliczaniu oporu cieplnego przegród wartości obliczeniowe współczynnika przyjmuje się wg następujących zasad: – pomieszczenia o obliczeniowej wilgotności powietrza niższej niż 75 % – z kol. 4 (warunki średnio wilgotne), – pomieszczenia o obliczeniowej wilgotności powietrza równej lub większej niż 75% – z kol. 5 (warunki wilgotne). 2. W przypadku materiałów termoizolacyjnych wbudowywanych w stanie powietrzno-suchym i zabezpieczonych przed zawilgoceniem całkowicie szczelnymi osłonami przyjmuje się współczynnik z kol. 4. 3. W przypadku, gdy gęstość materiału różni się od wartości podanych w kol. 3, wartość przyjmuje się przez interpolację lub na podstawie badań. 4. Podanych wartości obliczeniowych nie stosuje się do obliczeń cieplnych izolacji przemysłowych pracujących w podwyższonej temperaturze. 5. Ciepło właściwe c_w [kJ/(kg·K)] materiałów o znanej wilgotności w temperaturze wyższej niż 0°C oblicza się z zależności: $c_w = c + 0,0419 w_M$ w której: c – ciepło właściwe materiału w stanie suchym – z kol. 6, w_M – wilgotność materiału w stosunku do masy [%].					

Tablica Z.2. Obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] mur z pustaków ceramicznych w warunkach średnio wilgotnych

Nazwa materiału	Gęstość w stanie suchym (średnia) [kg/m ³]	Współczynnik przewodzenia ciepła, λ [W/(m·K)]
Mur z pustaków ceramicznych drażonych szczelinowych na zaprawie cementowo-wapiennej	poniżej 800	0,30
	poniżej 900	0,33
	poniżej 1000	0,36
	poniżej 1110	0,40
	poniżej 1200	0,45
Mur z pustaków ceramicznych drażonych szczelinowych na zaprawie ciepłochronnej	poniżej 800	0,30
	poniżej 900	0,33
	poniżej 1000	0,36
	poniżej 1110	0,40
	poniżej 1200	0,45

Podstawowe prawa wymiany ciepła

strumień cieplny – ilość energii cieplnej wypromieniowanej przez określone ciało w jednostce czasu

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t}, \quad [W]$$

gęstość (natężenie) strumienia cieplnego – ilość energii cieplnej wypromieniowanej przez jednostkę powierzchni określonego ciała w jednostce czasu

$$q = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{Q}{A \cdot t}, \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

przepływ ciepła zachodzi zawsze w kierunku spadku temperatury, jest tym intensywniejszy im spadek temperatury większy

w przypadku wymiany ciepła przez przewodzenie zależność między spadkiem temperatury a gęstością strumienia określa prawo Fouriera

$$q = -\lambda \cdot \frac{d\theta}{dx}$$

w przypadku wymiany ciepła przez konwekcję lub promieniowanie – zależność między spadkiem temperatury a gęstością strumienia cieplnego opisuje prawo Newtona

$$q = -h \cdot (\theta_o - \theta_p)$$

h – współczynnik przejmowania ciepła przez promieniowanie lub konwekcję

θ_o – temperatura ośrodka

θ_p – temperatura powierzchni przegrody

Co dzieje się na powierzchni przegrody?

w wymianie ciepła w pomieszczeniach obok promieniowania istnieje konwekcja

powietrze zmienia temperaturę w wyniku kontaktu z przedmiotami o różnych temperaturach

ciepłe o mniejszej gęstości unosi się do góry ↑

zimniejsze o większej gęstości opada w dół ↓

powietrze zaczyna krążyć ↻

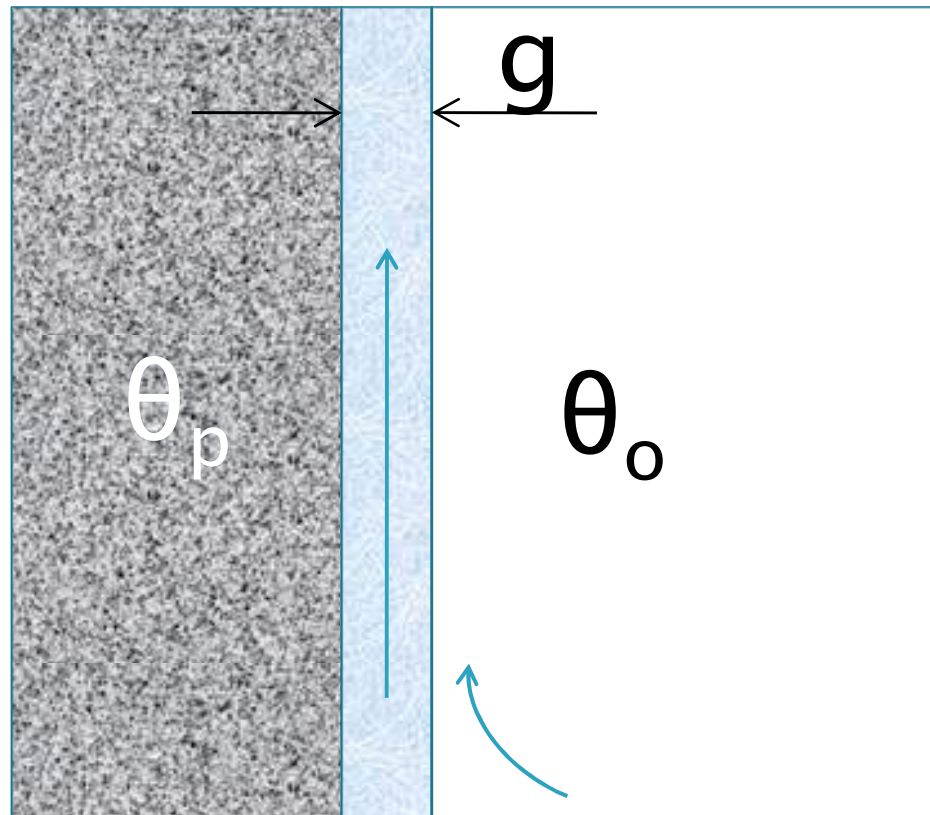
w następstwie tego ruchu powierzchnia ściany zostaje ogrzana lub oziębiona w wyniku ruchu powietrza

Rodzaje konwekcji

swobodna – ruch powietrza wywołany różnicami gęstości powietrza ciepłego i zimnego – pomieszczenia zamknięte

wymuszona – ruch powietrza wymusza wentylator lub jest to działanie wiatru

Ochronna warstwa powietrza na powierzchni ciała



g – zależy od prędkości ruchu powietrza, maleje z jego wzrostem

$g = 0,9 \text{ mm}$ dla
 $v = 4 \text{ m/s}$

$g = 0,2 \text{ mm}$ dla
 $v = 24 \text{ m/s}$

w warunkach naturalnych na powierzchni przegród budowlanych po stronie wewnętrznej i zewnętrznej występuje jednoczesna wymiana ciepła przez promieniowanie i konwekcję oraz przewodzenie – złożona wymiana ciepła

$$q = h \cdot (\theta_o - \theta_p)$$

współczynnik przejmowania ciepła:

dla powierzchni wewnętrznych pomieszczeń
ogrzewanych – $h_i = 8,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

dla powierzchni stykających się bezpośrednio z
powietrzem zewnętrznym – $h_e = 23,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

Równanie przewodnictwa cieplnego w ciałach stałych

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \nabla^2 \theta$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \rightarrow \text{operator Laplace'a}$$

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \rightarrow \text{wsp. wyrównywania temperatury}$$

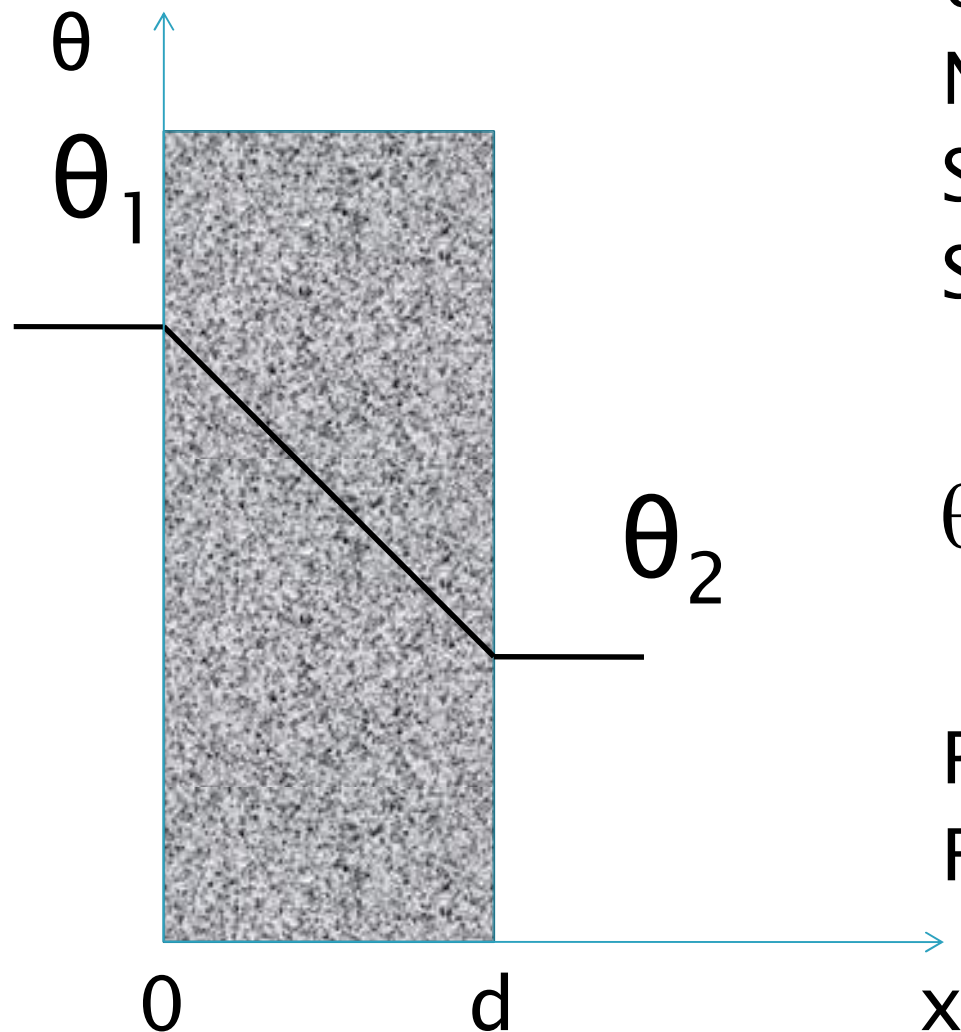
Dla ruchu ciepła tylko w jednym kierunku,
np. w kierunku x

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right)$$

dla ustalonego przepływu ciepła (temperatura w każdym punkcie przegrody jest stała)

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \equiv \frac{d^2 \theta}{dx^2} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{d\theta}{dx} = \text{const} = S$$

$$\theta(x) = \int S dx = Sx + N$$



$$\theta(x) = Sx + N$$

$$\theta(0) = S(0) + N = \theta_1$$

$$\theta(d) = Sd + N = \theta_2$$

$$N = \theta_1$$

$$Sd + \theta_1 = \theta_2$$

$$S = (\theta_2 - \theta_1) / d$$

$$\theta(x) = \frac{\theta_2 - \theta_1}{d} x + \theta_1$$

Rozwiązanie równania
Fouriera

$$q = q_1 = q_2 = q_3$$

$$q_1 = -h_i(T_i - \theta_i)$$

$$\Rightarrow \theta_i - T_i = q/h_i$$

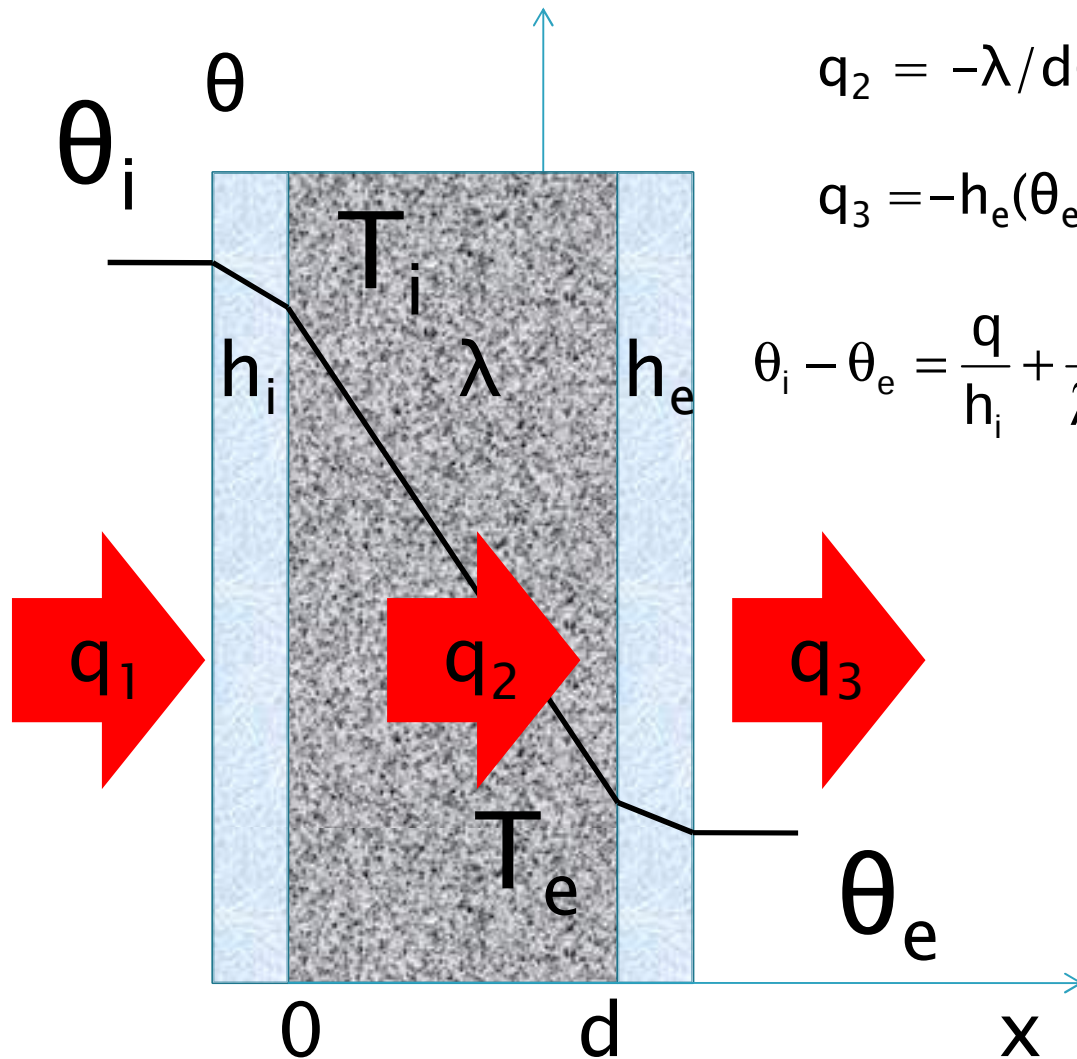
$$q_2 = -\lambda/d(T_i - T_e)$$

$$\Rightarrow T_i - T_e = q/\lambda/d$$

$$q_3 = -h_e(\theta_e - T_e)$$

$$\Rightarrow \theta_e - T_e = q/h_e$$

$$\theta_i - \theta_e = \frac{q}{h_i} + \frac{q}{\lambda/d} + \frac{q}{h_e} = q \cdot \left(\frac{1}{h_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_e} \right) = q \cdot R_c$$



$$\theta_i - \theta_e = \frac{q}{h_i} + \frac{q}{\lambda/d} + \frac{q}{h_e} = q \cdot \left(\frac{1}{h_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_e} \right) = q \cdot R_c$$

R_c – całkowity opór przegrody

$R_i = 1 / h_i$ – opór napływu ciepła

$R = d / \lambda$ – opór przewodzenia ciepła

$R_e = 1 / h_e$ – opór odpływu ciepła

Opór cieplny przegrody składającej się z kilku warstw, o stałych grubościach odpowiednio $d_1, d_2 \dots d_n$, usytuowanych prostopadle do kierunku przepływu ciepła

$$\begin{aligned}\theta_i - \theta_e &= \frac{q}{h_i} + \frac{q}{\lambda_1/d_1} + \frac{q}{\lambda_2/d_2} + \dots + \frac{q}{\lambda_n/d_n} + \frac{q}{h_e} = \\ &= q \cdot \left(\frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_e} \right) = q \cdot R_c\end{aligned}$$

$$R_c = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_e}$$

$$R_c = R_i + \sum_{j=1}^n R_j + R_e$$

Współczynnik przenikania ciepła U

$$U = \frac{1}{R_c} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Teoria ujęta w normy

PN - EN - ISO - 10 456	2004	Materiały i wyroby budowlane Procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych
PN - EN ISO 10 077-1	2007	Cieplne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji obliczanie współczynnika przenikania ciepła Część 1: Postanowienia ogólne
PN - EN ISO 10 077-2		<i>ramy -obliczenia numeryczne</i>
EN ISO 10 211 -1		Mostki cieplne w budynkach Obliczanie strumieni cieplnych i temperatury powierzchni Część 1: Metody ogólne
EN ISO 10 211 -2		Mostki cieplne w budynkach Obliczanie strumieni cieplnych i temperatury powierzchni Część 1: Liniowe mostki cieplne
PN - EN 13 829		Właściwości cieplne budynków Określenie przepuszczalności cieplnej budynku Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora
PN - EN ISO 13 790	2004	Cieplne właściwości użytkowe budynków Obliczanie zużycia energii do ogrzewania

Teoria ujęta w normy

PN - EN ISO 13 789	2001	Właściwości cieplne budynków Współczynnik strat ciepła przez przenikanie Metoda obliczania
PN - EN 12 831	2006	Instalacje ogrzewcze w budynkach Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego
PN - EN - ISO 14 683	2007	Mostki cieplne w budynkach Liniowy współczynnik przenikania ciepła Metody uproszczone i wartości orientacyjne
PN - EN ISO 6 946	2008	Komponenty budowlane i elementy budynku Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła Metoda obliczania
PN - EN ISO 13 370	2008	Cieplne właściwości użytkowe budynków Przenoszenie ciepła przez grunt Metoda obliczania
PN - EN 12 524	2003	Materiały i wyroby budowlane Właściwości cieplno-wilgotnościowe Tabelaryczne właściwości obliczeniowe

PN-EN ISO 6946 grudzień 2008

Komponenty budowlane i elementy budynku

**Opór cieplny i współczynnik przenikania
ciepła metoda obliczania**

Opór przejmowania ciepła na powierzchni

Tablica 1 – Zwyczajowe opory przejmowania ciepła na powierzchni

Opór przejmowania ciepła $m^2 \cdot K/W$	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 przejmowania ciepła stosuje się do powierzchni w kontakcie z powietrzem. Nie stosuje się oporów przejmowania ciepła do powierzchni w kontakcie z innym materiałem.			

Opór cieplny warstw powietrza

- przedstawione procedury dotyczą warstwy powietrza:
 - ograniczonej dwiema powierzchniami, które są wzajemnie równoległe i prostopadłe do kierunku strumienia cieplnego i które mają emisyjność nie niższą niż 0,8 (większość materiałów budowlanych ma emisyjność wyższą niż 0,8)
 - ma grubość nie mniejszą niż 0,1 każdego z pozostałych wymiarów i nie większą niż 0,3 m
 - nie ma wymiany powietrza ze środowiskiem zewnętrznym
- jeśli powyższe warunki nie są spełnione stosuje się procedury z załącznika B

zaleca się, aby nie obliczać pojedynczego współczynnika przewodzenia ciepła dla komponentów zawierających grubsze niż 0,3 m warstwy powietrza

Niewentylowana warstwa powietrza

Tablica 2 – Opór cieplny niewentylowanych warstw powietrza o wysokiej emisyjności powierzchni

Grubość warstwy powietrza	Opór cieplny $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$		
	Kierunek strumienia ciepła		
mm	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.			

Słabo wentylowana warstwa powietrza

warstwa, w której możliwy jest ograniczony przepływ powietrza przez otwory o polu powierzchni A_v zawartych w granicach:

- $500 \text{ mm}^2 < A_v < 1500 \text{ mm}^2$ na metr długości (w kierunku poziomym), dla pionowych warstw powietrza
- $500 \text{ mm}^2 < A_v < 1500 \text{ mm}^2$ na metr kwadratowy pola powierzchni, dla poziomych warstw powietrza

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

gdzie:

$R_{T,u}$ – całkowity opór cieplny z niewentylowaną warstwą powietrza

$R_{T,v}$ – całkowity opór cieplny z dobrze wentylowaną warstwą powietrza

Dobrze wentylowana warstwa powietrza

warstwa, w której możliwy jest przepływ powietrza przez otwory o polu powierzchni

A_v nie mniejszej niż:

- $1500 \text{ mm}^2 \leq A_v$ na metr długości (w kierunku poziomym), dla pionowych warstw powietrza
- $1500 \text{ mm}^2 \leq A_v$ na metr kwadratowy pola powierzchni, dla poziomych warstw powietrza

$R_{t,v}$ – obliczone z pominięciem warstw między powietrzem a środowiskiem;
zewnątrzny opór przejmowania ciepła wg załącznika A lub w uproszczeniu R_{si}

Zalecenia:

ściany murowane ze szczeliną wentylacyjną
nie mniej niż $10 \text{ cm}^2 = 1000 \text{ mm}^2$ na jedną
kondygnację na 1 m długości

– słabo wentylowana warstwa powietrza

stropodachy wentylowane powierzchnia
otworów $\geq 0,002$ powierzchni rzutu

poziomego $\Leftrightarrow 2000 \text{ mm}^2 / \text{m}^2$ powierzchni

– dobrze wentylowana warstwa powietrza

Opór cieplny przestrzeni nieogrzewanych

dokładna metoda dla przestrzeni
nieogrzewanych wg ISO 13798

dokładna metoda dla przestrzeni
przełazowymi pod podłogami podwieszonymi
wg ISO 13370

**Dla dachów stromych z izolowanym stropem,
dane dotyczą przestrzeni wentylowanych naturalnie
nad budynkami ogrzewanymi
przy wentylacji mechanicznej zastosować procedurę
wg ISO 13789**

Tablica 3 – Opór cieplny przestrzeni dachowych

Charakterystyki dachu		R_u $m^2 \cdot K/W$
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 tablicy uwzględniają opór cieplny przestrzeni wentylowanej i konstrukcji dachu. Nie uwzględniają one zewnętrznych oporów przejmowania ciepła R_{se} .		

Inne przestrzenie nieogrzewane przylegające do budynku

uznaje się nieogrzewaną przestrzeń wraz z komponentami jej konstrukcji za dodatkową warstwę jednorodną o oporze cieplnym R_u

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e,k} U_{e,k}) + 0,33 \cdot n \cdot V}$$

gdzie:

A_i – całkowite pole powierzchni wszystkich elementów między środowiskiem wewnętrznym i nieogrzewaną przestrzenią, [mm²]

A_{ke} – pole powierzchni elementu k między przestrzenią nieogrzewaną i środowiskiem zewnętrznym [m²]

$U_{e,k}$ – współczynnik przenikania ciepła elementu k między przestrzenią nieogrzewaną i środowiskiem zewnętrznym [W/m²K]

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

V – objętość przestrzeni nieogrzewanej

Uproszczenia:

Gdy detale przestrzeni zewnętrznej nie są znane:

$$U_{e,k} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$n = 3$$

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e,k} \cdot 2) + 0,33 \cdot 3 \cdot V}$$

przykłady przestrzeni nieogrzewanej:

- garaże
- składziki
- oranżerie

Całkowity opór cieplny komponentu budowlanego składającego się z warstw jednorodnych

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

R_{si} – opór przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej

$R_1, R_2, \dots, R_n$ – obliczeniowe opory cieplne każdej warstwy

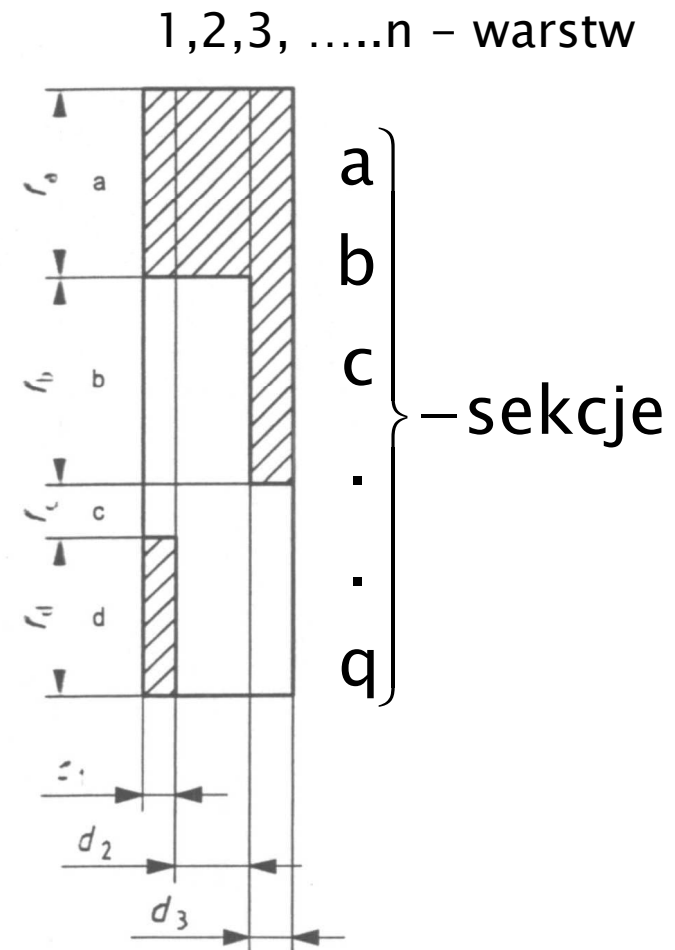
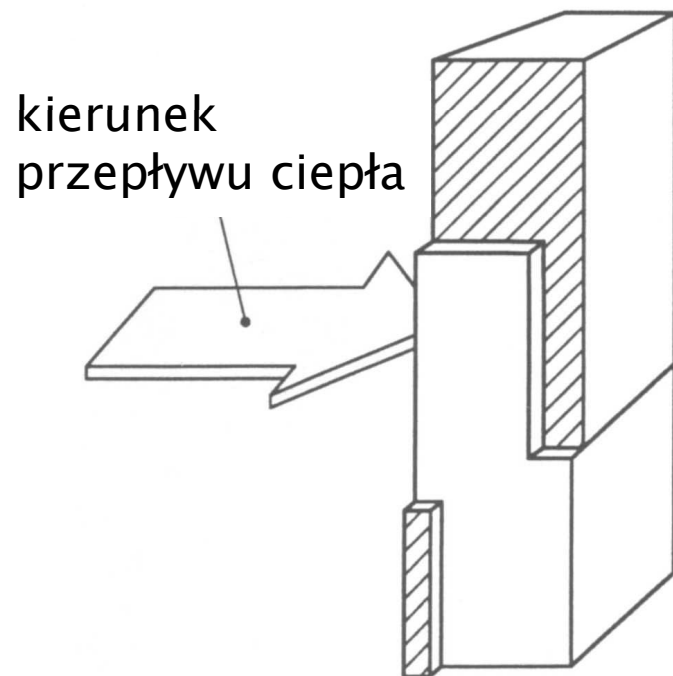
R_{se} – opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni

dla oporu cieplnego przegród wewnętrznych,
np. ścianek działowych R_{si} stosuje się dla obu stron

Całkowity opór cieplny komponentu budowlanego składającego się z warstw jednorodnych i niejednorodnych

każda warstwa j ($j=1,2,\dots,n$), ma grubość d_j

każda sekcja m ($m=a, b, \dots, q$), ma względne pole powierzchni f_m



część mj –

- λ_{mj} – współczynnik przewodzenia ciepła
- d_j – grubość,
- $f_m = f_{mj}/f_c$ – względne pole powierzchni

sekcja m

- składa się z warstw 1,2 ..n
- R_{Tm}
- f_m

warstwa j

- składa się z sekcji a,b...q
- R_j

Kres górny całkowitego oporu cieplnego – R'_T

dla każdej sekcji określa się R_{Ta} i f_m

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

Kres dolny całkowitego oporu cieplnego – R''_T

dla każdej warstwy określa się równoważny opór cieplny R_j i f_m

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

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

Całkowity opór komponentu R_T

jeśli $R'_T/R''_T \leq 1,5$

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

w przypadku występowania punktowych mostków termicznych w postaci metalowych prętów przechodzących przez izolacje termiczna wynik obliczeń należy skorygować

Współczynnik przenikania ciepła U

$$U = \frac{1}{R_T} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

poprawki do U

- wg załącznika D
- stosuje się tylko wtedy, kiedy wartość całkowitej poprawki $\geq 0,03U$

sposób przedstawiania wyniku:

- podać informację o danych wejściowych
- zaokrąglić do 2 cyfr znaczących

Załączniki

Załącznik A opór przejmowania ciepła na powierzchni

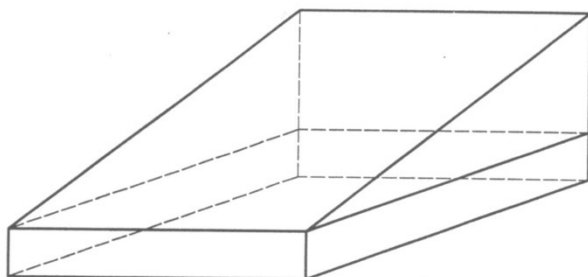
Załącznik B opór cieplny przestrzeni powietrznych

Załącznik C współczynnik przenikania ciepła komponentów z warstwą o zmiennej grubości

Załącznik D poprawki do współczynnika przenikania ciepła

Załącznik C

współczynnik przenikania ciepła komponentów z warstwą o zmiennej grubości



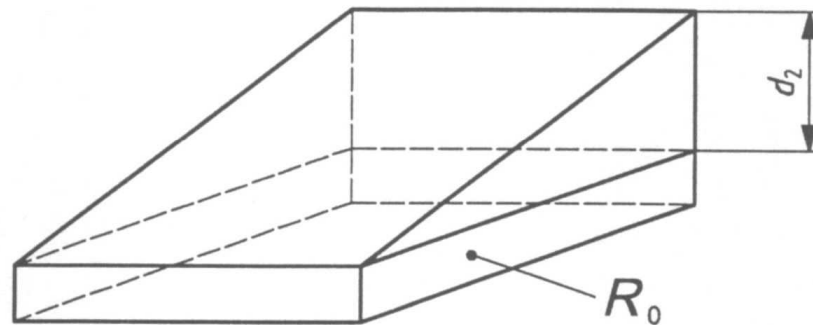
Rysunek C.1 – Zasada budowy komponentu

Symbol	Wielkość	Jednostka
d_1	pośrednia grubość warstwy o zmiennej grubości	m
d_2	maksymalna grubość warstwy o zmiennej grubości	m
ln	logarytm naturalny	–
R_0	obliczeniowy opór cieplny pozostałej części wraz z oporami przejmowania ciepła na obu stronach komponentu	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
R_1	pośredni opór cieplny warstwy o zmiennej grubości	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
R_2	maksymalny opór cieplny warstwy o zmiennej grubości	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
λ_t	obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła części o zmiennej grubości (o zerowej grubości na jednym końcu)	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

C.2 Obliczenia dla powszechnie spotykanych kształtów

C.2.1 Powierzchnia prostokątna

$$U = \frac{1}{R_2} \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) \quad (\text{C.1})$$



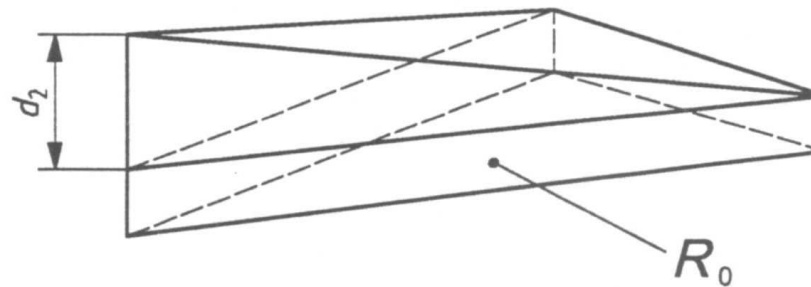
Objaśnienia

d_2 maksymalna grubość warstwy o zmiennej grubości

R_0 obliczeniowy opór cieplny pozostałej części wraz z oporami przejmowania ciepła na obu stronach komponentu

C.2.2 Powierzchnia trójkątna o maksymalnej grubości przy wierzchołku

$$U = \frac{2}{R_2} \left[\left(1 + \frac{R_0}{R_2} \right) \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - 1 \right] \quad (C.2)$$



Objaśnienia

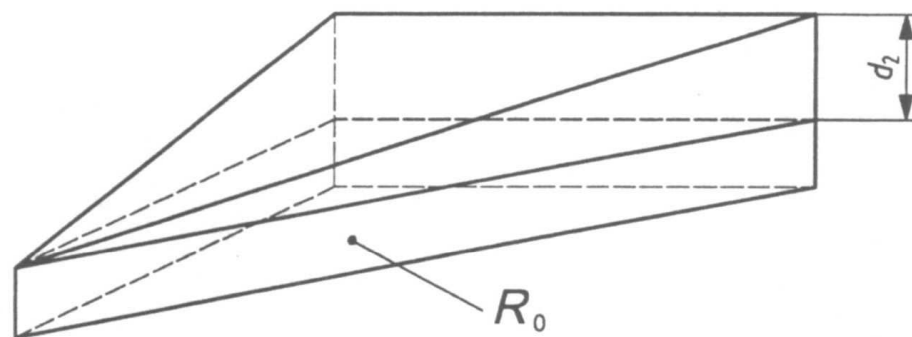
d_2 maksymalna grubość warstwy o zmiennej grubości

R_0 obliczeniowy opór cieplny pozostałej części wraz z oporami przejmowania ciepła na obu stronach komponentu

Rysunek C.4 – Powierzchnia trójkątna o maksymalnej grubości przy wierzchołku

C.2.3 Powierzchnia trójkątna o minimalnej grubości przy wierzchołku

$$U = \frac{2}{R_2} \left[1 - \frac{R_0}{R_2} \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) \right] \quad (\text{C.3})$$



Objaśnienia

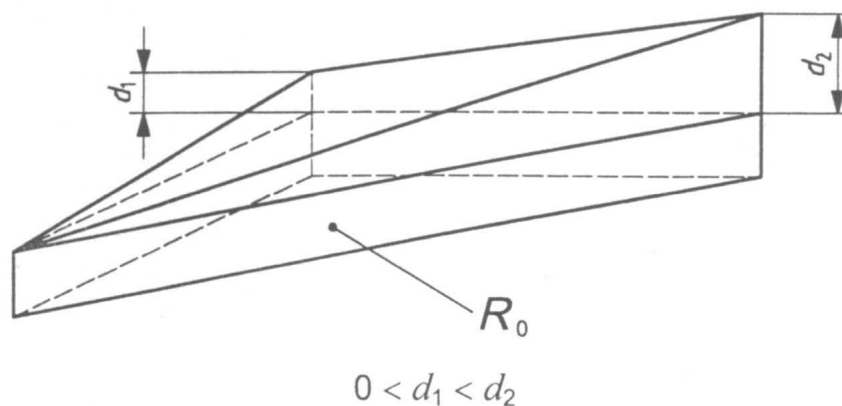
d_2 maksymalna grubość warstwy o zmiennej grubości

R_0 obliczeniowy opór cieplny pozostałej części wraz z oporami przejmowania ciepła na obu stronach komponentu

Rysunek C.5 – Powierzchnia trójkątna o minimalnej grubości przy wierzchołku

C.2.4 Powierzchnia trójkątna o różnych grubościach przy każdym wierzchołku

$$U = 2 \left[\frac{R_0 R_1 \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - R_0 R_2 \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) + R_1 R_2 \ln \left(\frac{R_0 + R_2}{R_0 + R_1} \right)}{R_1 R_2 (R_2 - R_1)} \right] \quad (\text{C.4})$$



Objaśnienia

d_1 średnia grubość warstwy o zmiennej grubości

d_2 maksymalna grubość warstwy o zmiennej grubości

R_0 obliczeniowy opór cieplny pozostałej części wraz z oporami przejmowania ciepła na obu stronach komponentu

Rysunek C.6 – Powierzchnia trójkątna o różnych grubościach przy każdym wierzchołku

C.3 Procedura obliczania

Obliczanie należy przeprowadzić w następujący sposób:

- a) Obliczyć R_0 jako całkowity opór cieplny komponentu z wyłączeniem warstwy o zmiennej grubości, z zastosowaniem Równania (4), jeżeli wszystkie warstwy są cieplnie jednorodne, lub procedury opisanej w 6.2, jeśli występują warstwy niejednorodne.
- b) Podzielić obszar z warstwami o zmiennej grubości na poszczególne części, w miarę potrzeby (patrz Rysunek C.2).
- c) Obliczyć R_1 i R_2 dla każdej warstwy o zmiennej grubości, stosując

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} \quad (C.5)$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} \quad (C.6)$$

UWAGA Wartość R_1 jest stosowana jedynie dla kształtu zilustrowanego na Rysunku C.6.

- d) Obliczyć współczynnik przenikania ciepła każdej poszczególnej części, U_j , zgodnie z właściwym równaniem podanym w C.2.
- e) Obliczyć całkowity współczynnik przenikania ciepła całego obszaru, stosując równanie

$$U = \frac{\sum U_i A_i}{\sum A_i} \quad (C.7)$$

Jeżeli jest wymagany całkowity opór cieplny komponentu z warstwami o zmiennej grubości, to

$$R_T = 1/U \quad (C.8)$$

Załącznik D poprawki do współczynnika przenikania ciepła

$$U_c = U + \Delta U$$

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

ΔU_g – poprawka z uwagi na pustki powietrzne

ΔU_f – poprawka z uwagi na łączniki
mechaniczne

ΔU_g – poprawka z uwagi na dach o
odwróconym układzie warstw

Poprawka z uwagi na pustki powietrzne

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

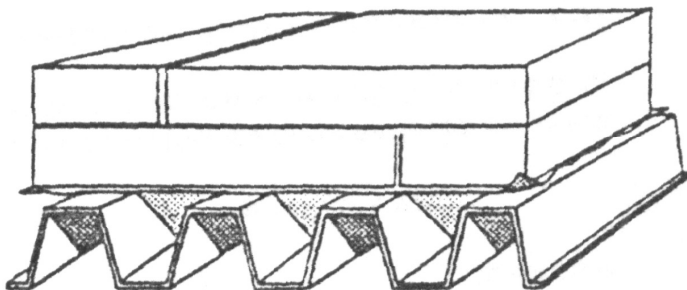
R_1 – opór cieplny warstwy zawierającej szczeliny

$R_{T,h}$ – całkowity opór cieplny komponentu z pominięciem mostków cieplnych

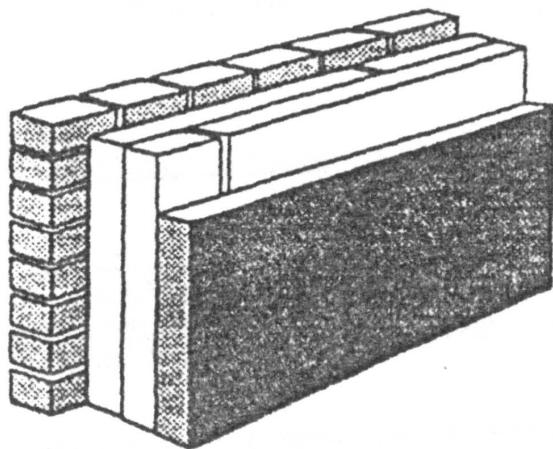
Tablica D.1 – Poprawka z uwagi na pustki powietrzne, $\Delta U''$

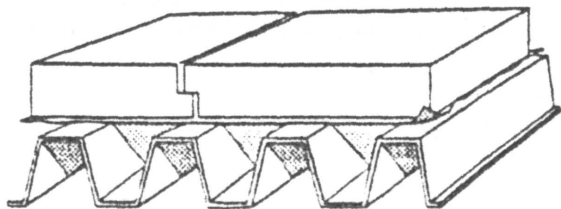
Poziom	Opis	$\Delta U''$ W/(m ² ·K)
0	Brak pustek powietrznych w obrębie izolacji, lub gdy występują tylko mniejsze pustki powietrzne, które nie mają znaczącego efektu na współczynnik przenikania ciepła.	0,00
1	Pustki powietrzne przechodzące od ciepłej do zimnej strony izolacji, ale nie powodujące cyrkulacji 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

„0” poziom poprawki

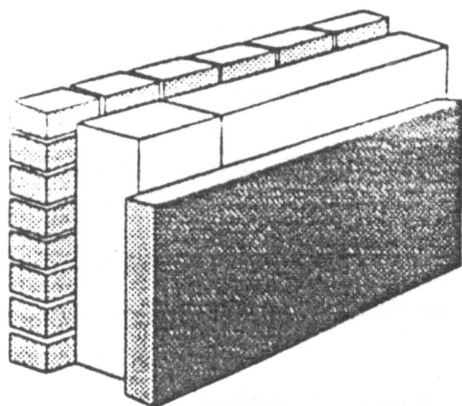


ciągła izolacja
złożona
z wielu warstw
z przestawionymi
spoinami

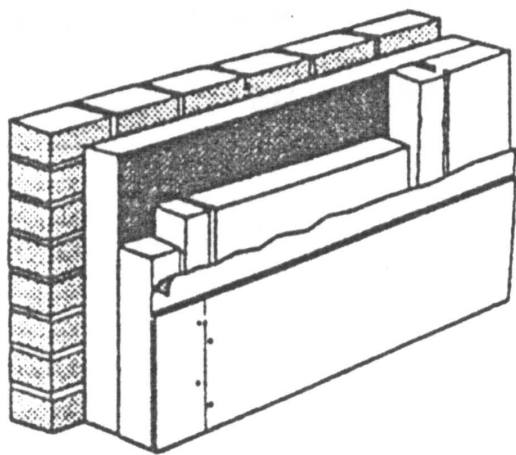




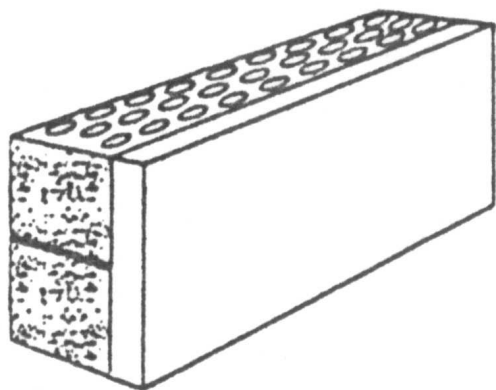
- ciągła izolacja jednowarstwowa łączona na zakład, pióro i wpust lub z uszczelnionymi spoinami



- ciągła izolacja jednowarstwowa łączona na styk, pod warunkiem, że tolerancje długości, szerokości, prostokątności oraz stabilność wymiarów nie przekracza 5 mm
- uważa się, że to wymaganie jest spełnione, jeśli suma tolerancji długości lub szerokości i zmian wymiarów jest mniejsza niż 5 mm i odchyłki od prostokątności płyt są mniejsze niż 5 mm

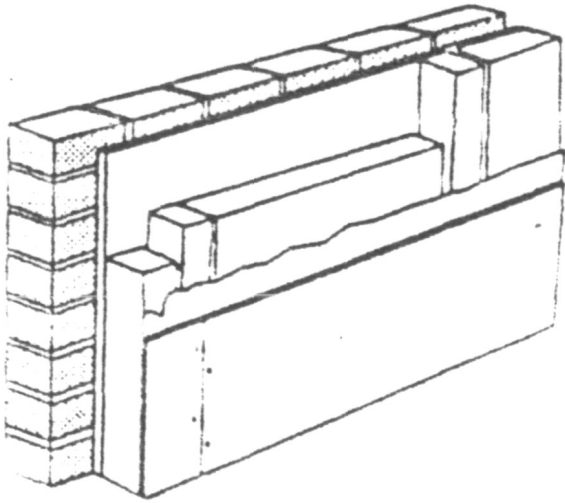


- izolacja dwuwarstwowa, jedna izolacja między krokwiemi, słupkami, belkami lub podobnymi elementami, druga ciągła, przekrywająca pierwszą

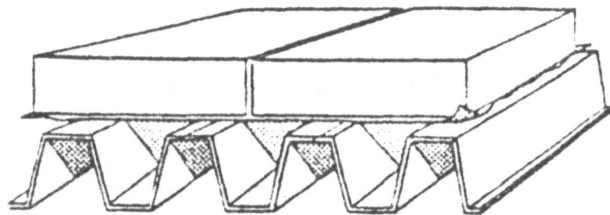


- pojedyncza warstwa izolacji w przegrodzie, której opór cieplny bez tej warstwy stanowi co najmniej 50% całkowitego oporu cieplnego (tj. $R_1 \leq 0,5 R_T$)

„1” poziom poprawki

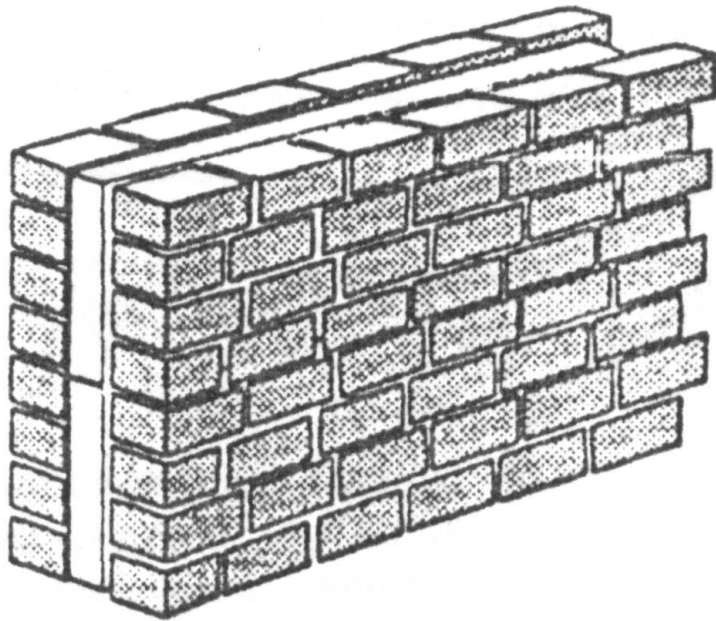


25



- izolacja całkowicie między krokwiami, słupkami, belkami lub podobnymi elementami
- izolacja ciągła, jednowarstwowa ze złączami na styk, w której tolerancje długości, szerokości i prostokątności oraz stabilność wymiarów są takie, że nieszczelności przekraczają 5 mm
- uważa się, że to wymaganie jest spełnione, jeśli suma tolerancji długości lub szerokości i zmian wymiarów jest większa niż 5 mm lub odchyłki od prostokątności płyt są większe niż 5 mm

„2” poziom poprawki



przegroda z
możliwością cyrkulacji
powietrza
po cieplejszej stronie
izolacji, w wyniku
niedostatecznego
mocowania izolacji
lub uszczelnienia od
góry lub dołu

Poprawka z uwagi na łączniki mechaniczne – procedura przybliżona

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

$\alpha = 0,8$, jeśli łącznik przebija całkowicie warstwę izolacji

$\alpha = 0,8 \times (d_1 / d_0)$ w przypadku łącznika wpuszczonego

λ_f – współczynnik przewodzenia ciepła łącznika [W/mK]

n_f – liczba łączników na m²

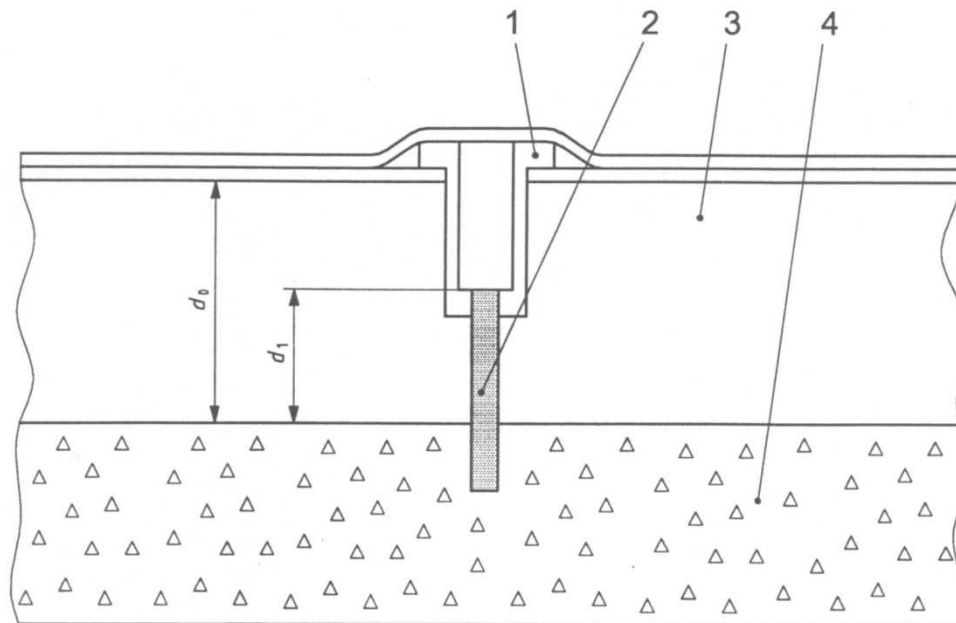
A_f – pole przekroju poprzecznego jednego łącznika [m²]

d_0 – grubość warstwy izolacji zawierającej łącznik [m]

d_1 – długość łącznika, która przebija warstwę izolacji [m]

R_1 – opór cieplny warstwy izolacji przebijanej przez łącznik

$R_{t,h}$ – całkowity opór komponentu, bez uwzględnienia łączników mechanicznych



Objaśnienia

1 łeb z tworzywa sztucznego

2 łącznik wpuszczony

3 izolacja

4 pokrycie dachowe

d_0 grubość warstwy izolacji zawierającej łącznik

d_1 długość łącznika, który przebija warstwę izolacji

Rysunek D.1 – Wpuszczony łącznik dachowy

Poprawki nie należy wprowadzać w następujących przypadkach:

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

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

UWAGA 2 W celu wyznaczenia poprawek w przypadkach, gdy obydwa końce łącznika są w bezpośrednim kontakcie cieplnym z arkuszami metalowymi, można stosować metody podane w ISO 10211.

Poprawka wynikająca z przepływu wody między izolacją i membraną wodochronną

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

$f \cdot x = 0,04$ dla jednej warstwy izolacji, powyżej membrany, z połączeniami na styk i otwartym pokryciem takim jak żwir

p – średnia wartość opadów atmosferycznych podczas sezonu grzewczego, na podstawie danych ze stacji meteorologicznych, norm itp.

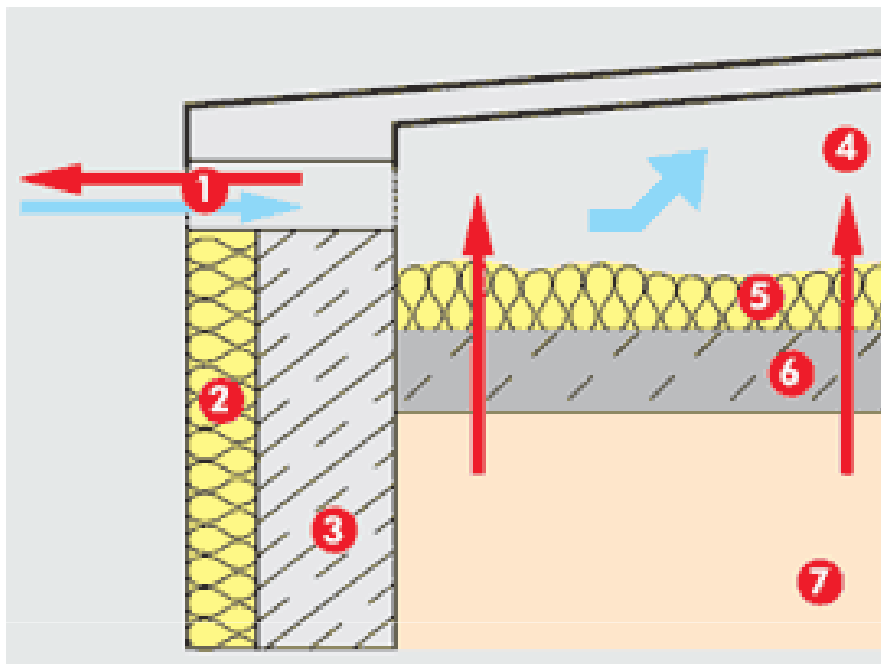
f –czynnik deszczowy podający frakcję p dochodzącą do membrany wodochronnej

x – czynnik zwiększenia strat ciepła spowodowanych przez wodę deszczową wpływającą na membranę [(W dzień)/(m²Kmm)]

R_1 – opór cieplny warstwy izolacji powyżej membrany wodochronnej

R_T – całkowity opór cieplny konstrukcji przed zastosowaniem poprawki





dla przestrzeni wentylacyjnych (o wysokości mierzonej od górnego poziomu zasypu), wynoszących średnio ≤ 30 cm zaleca się przyjąć w projekcie wartości pola powierzchni otworów wentylacyjnych w granicach $1200 - 1500 \text{ mm}^2 / 1 \text{ m}^2$ dachu

dla przestrzeni wentylacyjnych o wysokości średniej > 30 cm zalecane wartości pola powierzchni otworów wentylacyjnych powinny mieścić się w zakresie $800 - 1200 \text{ mm}^2 / 1 \text{ m}^2$ dach