

# Wymiana ciepła



# Literatura

---

- 1) Hermann Recknagel, Eberhard Sprenger , Ernst Schramek :  
„Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda,
- 2) Halina Koczyk: „Ogrzewnictwo praktyczne”,
- 3) Albers Joachim „Systemy centralnego ogrzewania i wentylacji.  
Poradnik dla projektantów i instalatorów”,
- 4) [www.viessmann.pl](http://www.viessmann.pl)
- 5) Michał Strzeszewski Piotr Wereszczyński „Norma PN–EN 12831  
Nowa metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.  
Poradnik”,
- 6) PN-EN 12831: Instalacje ogrzewcze w budynkach Metoda obliczania  
projektowego obciążenia cieplnego
- 7) Łukasz Nowak, Politechnika Wrocławska, Instytut Budownictwa  
„Obliczanie współczynnika przenikania ciepła”
- 8) [www.instsani.pl](http://www.instsani.pl)

## Definicja ciepła

---

Ciepło jest to forma energii przekazywana między dwoma układami (lub układem i otoczeniem) w wyniku różnicy temperatur.

Wymiana ciepła występuje wyłącznie wtedy gdy mamy do czynienia z różnicą temperatur.

Ciepło przechodzi od ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej przez:

- **przewodzenie**
- **promieniowanie**
- **konwekcję**

## Przewodzenie ciepła

Bezpośrednie przekazywanie energii wewnętrznej drobinom o niższej temperaturze przez stykające się z nimi drobiny tego samego lub innego ciała posiadające wyższą temperaturę.

## Promieniowanie

Wzajemne przekazywanie sobie energii przez drobiny materii o różnych temperaturach nie stykających się ze sobą ( np. słońce za pomocą fal emituje ciepło).

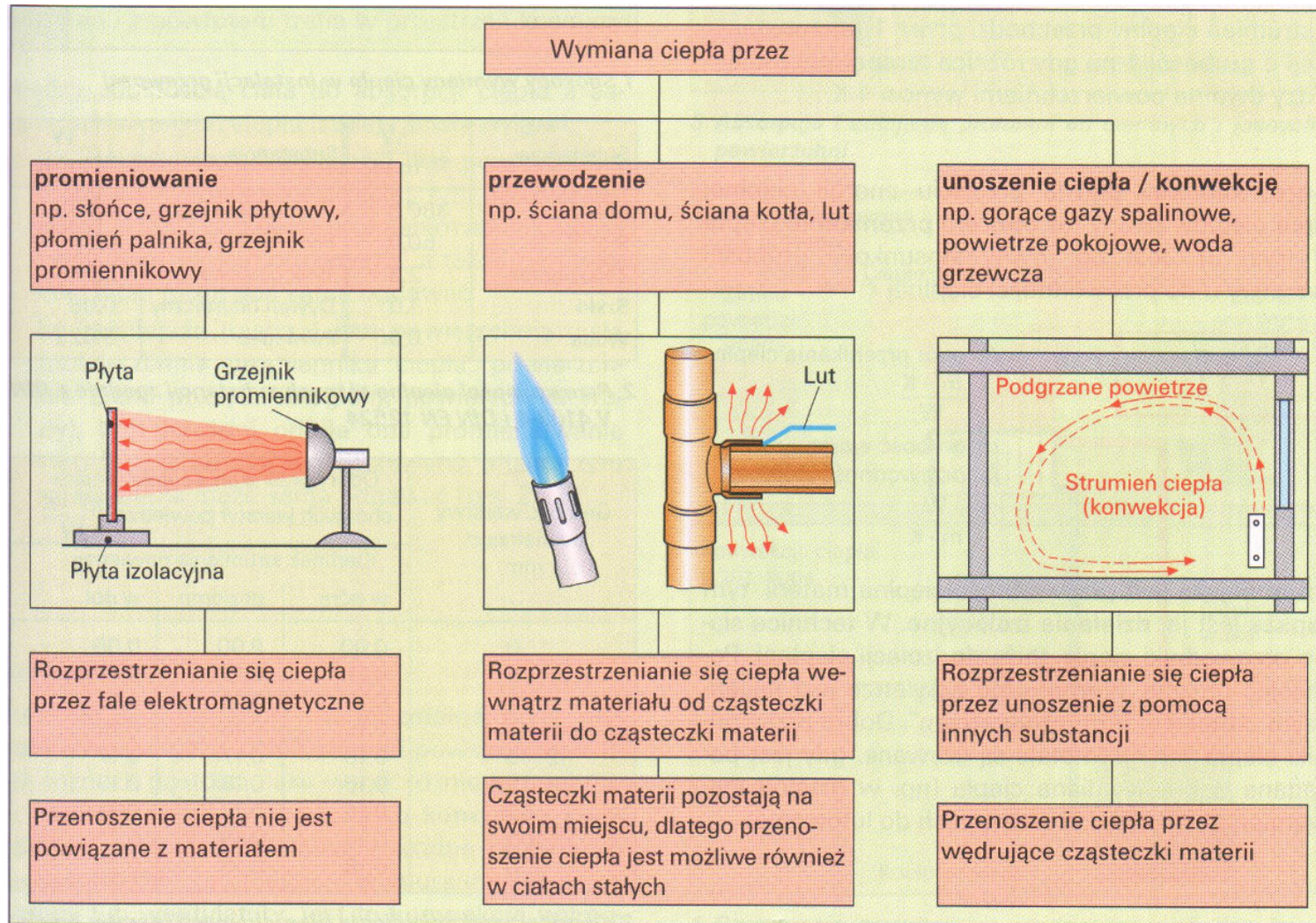
## Konwekcja

Przewodzenie ciepła, któremu towarzyszy wzajemne przemieszczanie płynu, cieczy, gazu (gdy gotujemy wodę, najpierw podgrzewają się cząstki będące na dole i przechodząc do góry będą oddawały ciepło cząstkom po drodze).

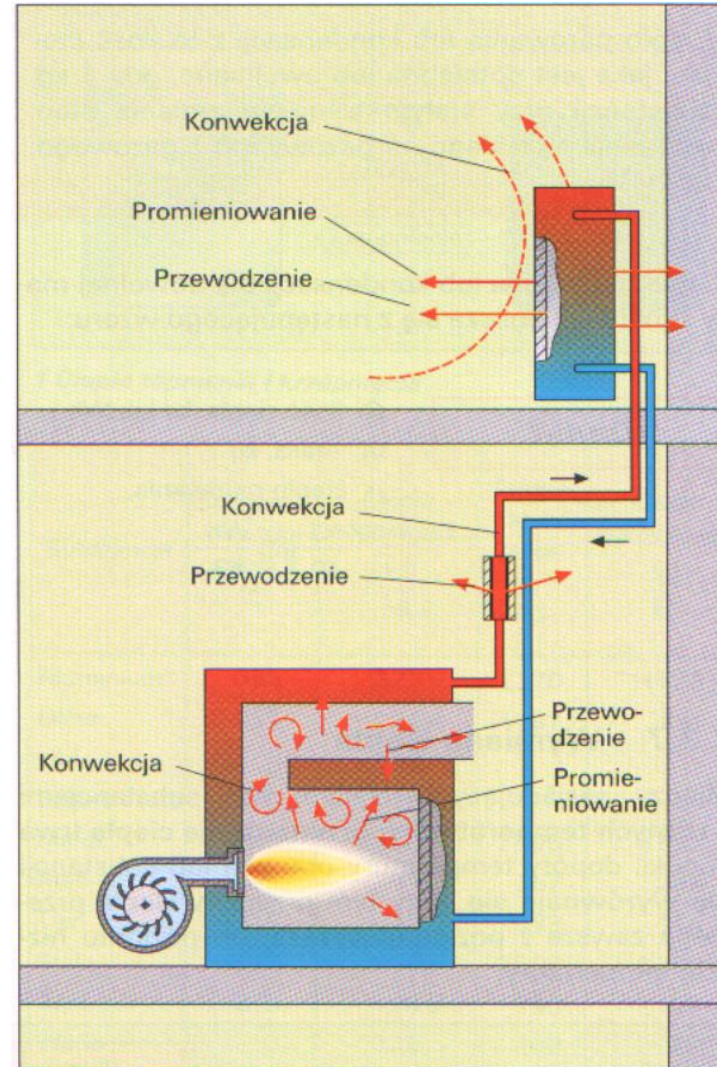
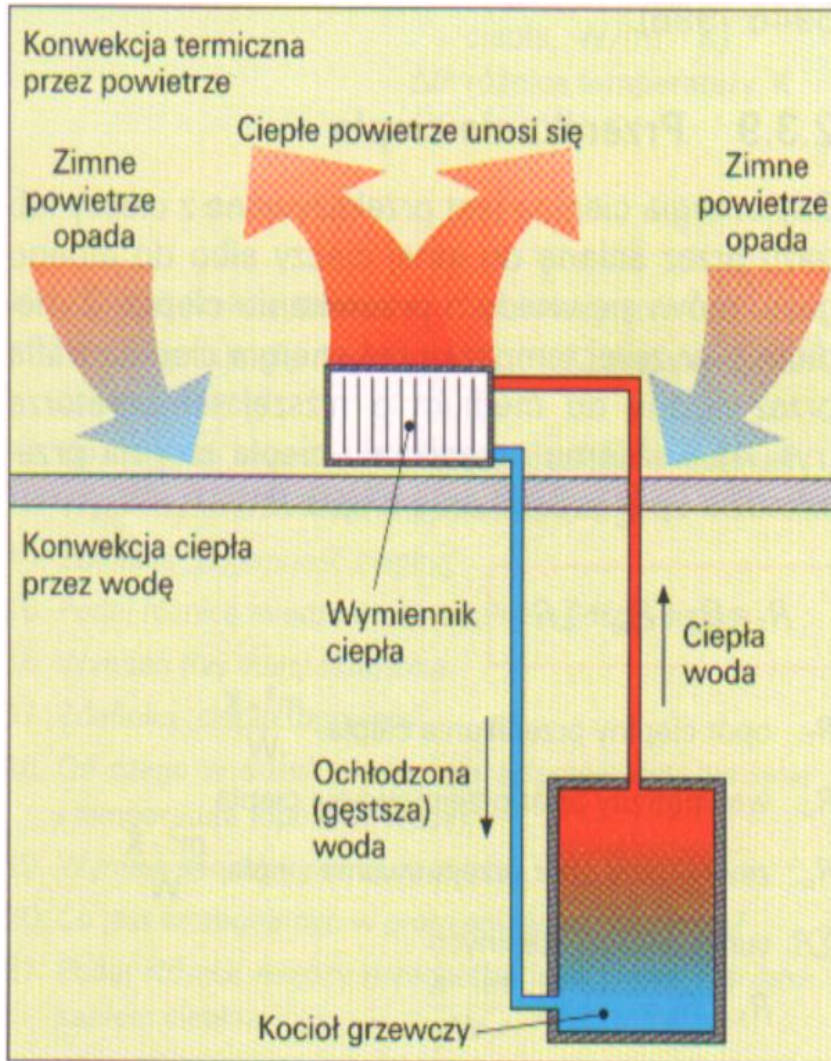
**Przewodzenie** ciepła jest sposobem przekazywania energii, który zachodzi w nierównomiernie nagrzanym ośrodku materialnym, lub przy bezpośrednim zetknięciu się dwu lub więcej ośrodków o różnych temperaturach.

Przewodzenie ciepła w czystej postaci jest charakterystyczne dla ciał stałych. Natomiast w cieczech i gazach przewodzeniu ciepła towarzyszą zwykle inne sposoby wymiany ciepła (konwekcja i promieniowanie).

# Formy wymiany ciepła



# Formy wymiany ciepła



Źródło [ 3]

## Warunki powstania ruchu płynu

Ruch płynu powstaje na skutek różnicy gęstości nagranych i zimnych cząstek płynu, mówimy że jest to **ruch swobodny**.

W przypadku nadania cząstkom płynu prędkości w sposób sztuczny (wentylator lub pompa) mówimy o **ruchu wymuszonym**.

Odmianą przewodzenia jest

## **WNIKANIE**

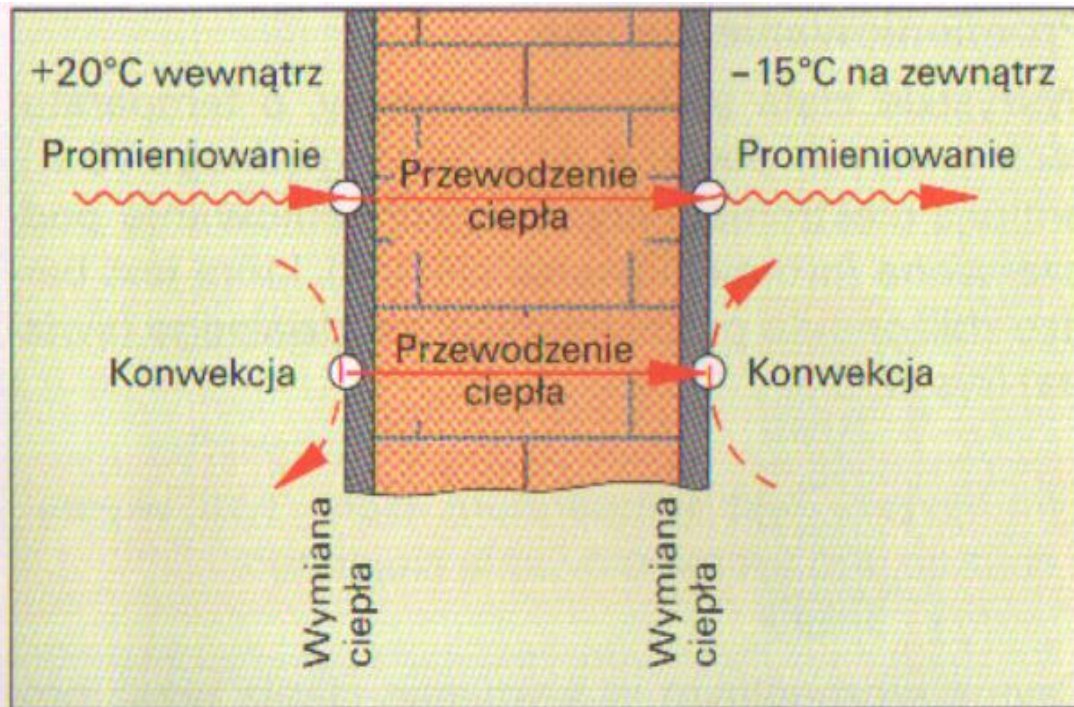
przewodzenie ciepła w ciałach stałych, kontaktujących się na swojej powierzchni z płynem.

Wymiana ciepła pomiędzy płynem a powierzchnią stykającego się z nim ciała stałego polega na dwóch zjawiskach:

- promieniowaniu,
- konwekcji.

Połączone działanie tych dwóch zjawisk nazywamy  
**PRZEJMOWANIEM CIEPŁA**

## Wymiana ciepła w przegrodzie



Źródło [ 3]

## PRZENIKANIE CIEPŁA

Przekrój ściany

pomieszczenie

otoczenie

wnikanie

wnikanie

przewodzenie

wnikanie + przewodzenie + wnikanie = przenikanie

## Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda$

wyznacza się doświadczalnie, zależy on od gęstości, temperatury i wilgotności rozpatrywanego materiału PN EN ISO 6946

## Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda$

charakteryzuje łatwość przewodzenia ciepła przez dany materiał. Dobrymi przewodnikami ciepła nazywamy materiały, dla których wartość współczynnika przewodzenia ciepła jest duża, natomiast materiały będące izolatorami cieplnymi charakteryzują się małymi wartościami  $\lambda$

Jednostką współczynnika przewodzenia ciepła jest Wat na metr Kelwin (**W/mK**). Wyraża ona wielkość przepływu ciepła przez jednostkową powierzchnię z materiału o danej grubości, jeśli różnica temperatur między dwiema jego stronami wynosi 1 Kelwin.




























wpisz pierwsze litery nazwy szukanego materiału:

	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/(m·K)]	Cp [J/(kg·K)]	$\mu$ [-]
<b>Beton (PN-EN 12524)</b>					
Beton o średniej gęstości 1800 (PN-EN 12524)	---	1800	1,150	1000	60,000
Beton o średniej gęstości 2000 (PN-EN 12524)	---	2000	1,350	1000	60,000
Beton o średniej gęstości 2200 (PN-EN 12524)	---	2200	1,650	1000	70,000
Beton o wysokiej gęstości 2400 (PN-EN 12524)	---	2400	2,000	1000	80,000
Beton zbrojony z 1% stali (PN-EN 12524)	---	2300	2,300	1000	80,000
Beton zbrojony z 2% stali (PN-EN 12524)	---	2400	2,500	1000	80,000
<b>Beton i przegrody z betonu (PN EN 6946)</b>					
Beton (1000)	---	1000	0,390	840	60,000
Beton (1100)	---	1100	0,460	840	60,000
Beton (1200)	---	1200	0,540	840	65,000
Beton (1300)	---	1300	0,620	840	65,000
Beton (1400)	---	1400	0,720	840	70,000
Beton (1600)	---	1600	0,900	840	70,000
Beton (krusz. wap.) (1400)	---	1400	0,600	840	120,000
Beton (krusz. wap.) (1200)	---	1200	0,500	840	120,000
Beton (krusz. wap.) (1600)	---	1600	0,720	840	120,000
Beton (żużel pal.) (1200)	---	1200	0,500	840	6,000
Beton (żużel pal.) (1600)	---	1600	0,720	840	6,000
Beton (żużel pal.) (1800)	---	1800	0,850	840	6,000
Beton (żużel pal.) (1400)	---	1400	0,600	840	6,000
Beton (żużel pum.) (1000)	---	1200	0,330	840	40,000
Beton (żużel pum.) (1200)	---	1200	0,400	840	40,000
Beton (żużel pum.) (1400)	---	1400	0,500	840	40,000
Beton (żużel pum.) (1600)	---	1600	0,580	840	40,000
Beton (żużel pum.) (1800)	---	1800	0,700	840	40,000
Beton jamisty	---	1900	1,000	840	70,000
Beton zwykły (1900)	---	1900	1,000	840	70,000
Beton zwykły (2200)	---	2200	1,300	840	70,000
Beton zwykły (2400)	---	2400	1,700	840	70,000

Wpisz pierwsze litery nazwy szukanego materiału:

	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/(m·K)]	Cp [J/(kg·K)]	$\mu$ [-]
▶  Beton (PN-EN 12524)					
▶  Beton i przegrody z betonu (PN EN 6946)					
▶  Bitum (PN-EN 12524)					
▲  Drewno i materiały drewnopochodne (PN EN 6946)					
Dąb (p.w.)	---	800	0,220	2510	10,930
Dąb (w.w.)	---	800	0,400	2510	2,040
Płyty	---	300	0,060	2510	3,399
Płyty	---	1000	0,180	2510	30,590
Sklejka	---	600	0,160	2510	30,590
Sosna i świerk (p.w.)	---	550	0,160	2510	10,200
Sosna i świerk (w.w.)	---	550	0,300	2510	1,912
▶  Gazy (PN-EN 12524)					
▲  Gips - wyroby zabezpieczone przed zawilgoceniem (PN EN 69...					
Gazogips	---	500	0,190	840	1,632
Gipsobeton (1200)	---	1200	0,450	840	4,079
Gipsobeton (1300)	---	1300	0,520	840	4,532
Jastrych gips. (1300)	---	1300	0,520	840	5,463
Jastrych gips. (1800)	---	1800	1,000	840	6,000
Jastrych gips. (1900)	---	1900	1,200	840	8,000
Płyty	---	1000	0,230	1000	8,094
Płyty (1000)	---	1000	0,350	840	5,827
Płyty (900)	---	900	0,300	840	5,562
▲  Gips (PN-EN 12524)					
Gips - płyta gipsowo-kartonowa (PN-EN 12524)	---	900	0,250	1000	4,000
Gips 1200 (PN-EN 12524)	---	1200	0,430	1000	4,000
Gips 1500 (PN-EN 12524)	---	1500	0,560	1000	4,000
Gips 600 (PN-EN 12524)	---	600	0,180	1000	4,000
Gips 900 (PN-EN 12524)	---	900	0,300	1000	4,000

Wpisz pierwsze litery nazwy szukanego materiału:

	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/(m·K)]	Cp [J/(kg·K)]	$\mu$ [–]
 Izolacja - materiały termoizolacyjne (PN EN 6946)					
 Filce, płyty (100)	---	100	0,042	750	1,275
 Filce, płyty (160)	---	160	0,042	750	1,275
 Filce, płyty (40)	---	40	0,045	750	1,275
 Filce, płyty (80)	---	80	0,045	750	1,275
 Maty z wł. szk. (100)	---	100	0,045	840	1,012
 Maty z wł. szk. (60)	---	60	0,045	840	1,012
 Pianka poliur. (30)	---	30	0,025	1460	1,062
 Pianka poliur. (30)	---	30	0,035	1460	1,062
 Pianka poliur. (50)	---	50	0,025	1460	1,062
 Pianka poliur. (50)	---	50	0,035	1460	1,062
 Płyty (słoma)	---	300	0,080	1460	1,275
 Płyty (trzcina)	---	250	0,070	1460	1,275
 Płyty kork. asf.	---	250	0,070	1380	10,200
 Płyty korkowe	---	150	0,045	2060	8,158
 Płyty paźdz. (300)	---	300	0,075	1460	5,562
 Płyty paźdz. (700)	---	700	0,130	1460	18,000
 Płyty paźdz.(500)	---	500	0,100	1460	10,120
 Płyty wiórk.-cem. (450)	---	450	0,140	2090	1,632
 Płyty wiórk.-cem. (600)	---	600	0,150	2090	2,040
 Płyty wiórowe (300)	---	300	0,070	2090	4,079
 Płyty wiórowe (700)	---	700	0,130	2090	18,000
 Styropian (15)	---	15	0,042	1460	50,990
 Styropian (40)	---	40	0,042	1460	50,990
 Szkło piankowe (180)	---	180	0,070	840	40,790
 Szkło piankowe (300)	---	300	0,120	840	27,810
 Wełna min. (40)	---	40	0,050	750	1,275

pisz pierwsze litery nazwy szukanego materiału:

	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/(m·K)]	Cp [J/(kg·K)]	$\mu$ [·]
Metale (PN-EN 12524)					
Mur z cegły (na zaprawie cementowo-wapiennej, przy grubość...					
Mur (dziurawka)	---	1400	0,620	880	4,532
Mur (klinkier)	---	1900	1,050	880	3,999
Mur (kratówka)	---	1300	0,560	880	4,079
Mur (silikaty dr.)	---	1600	0,800	880	4,473
Mur (silikaty)	---	1900	1,000	880	5,827
Mur z cegły cer.	---	1800	0,770	880	5,827
Płytki (PN-EN 12524)					
Płytki (dachówki) - cementowe (PN-EN 12524)	---	2100	1,500	1000	60,000
Płytki (dachówki) - ceramiczne (PN-EN 12524)	---	2000	1,000	800	30,000
Płytki (inne) - ceramika / porcelana (PN-EN 12524)	---	2300	1,300	840	+∞
Płytki (inne) - tworzywa sztuczne (PN-EN 12524)	---	1000	0,200	1000	10000,000
Płyty drewnopochodne (PN-EN 12524)					
Płyta cementowo-wiórowa na spoiwie cementowym (PN-...	---	1200	0,230	1500	30,000
Płyta o wiórach orientowanych (PN-EN 12524)	---	650	0,130	1700	30,000
Płyta pilśniowa, w tym MDF 250 (PN-EN 12524)	---	250	0,070	1700	2,000
Płyta pilśniowa, w tym MDF 400 (PN-EN 12524)	---	400	0,100	1700	5,000
Płyta pilśniowa, w tym MDF 600 (PN-EN 12524)	---	600	0,140	1700	12,000
Płyta pilśniowa, w tym MDF 800 (PN-EN 12524)	---	800	0,180	1700	20,000
Płyta wiórowa 300 (PN-EN 12524)	---	300	0,100	1700	10,000
Płyta wiórowa 600 (PN-EN 12524)	---	600	0,140	1700	15,000
Płyta wiórowa 900 (PN-EN 12524)	---	900	0,180	1700	20,000
Sklejka 1000 (PN-EN 12524)	---	1000	0,240	1600	110,000
Sklejka 300 (PN-EN 12524)	---	300	0,090	1600	50,000
Sklejka 500 (PN-EN 12524)	---	500	0,130	1600	70,000
Sklejka 700 (PN-EN 12524)	---	700	0,170	1600	90,000

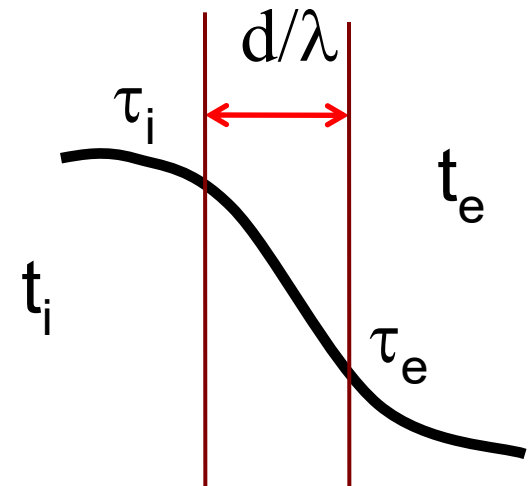
wpisz pierwsze litery nazwy szukanego materiału:

	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/(m·K)]	Cp [J/(kg·K)]	$\mu$ [–]
▶  Tworzywa sztuczne, stałe (PN-EN 12524)					
▶  Tynki (PN EN 6946)					
Tynk wapienny	---	1700	0,700	840	8,158
Tynk, gładź cem.	---	2000	1,000	840	13,600
Tynk, gładź cem.-wap.	---	1850	0,820	840	13,600
▶  Tynki i zaprawy tynkarskie (PN-EN 12524)					
Tynk cementowo-piaskowy (PN-EN 12524)	---	1800	1,000	1000	6,000
Tynk gipsowo-piaskowy (PN-EN 12524)	---	1600	0,800	1000	6,000
Tynk gipsowy 1000 (PN-EN 12524)	---	1000	0,400	1000	6,000
Tynk gipsowy 1300 (PN-EN 12524)	---	1300	0,570	1000	6,000
Tynk gipsowy izolacyjny (PN-EN 12524)	---	600	0,180	1000	6,000
Tynk wapienno-piaskowy (PN-EN 12524)	---	1600	0,800	1000	6,000
▶  Woda (PN-EN 12524)					
▶  Wybrane materiały różne (PN EN 6946)					
Cynk	---	7100	110,000	390	+∞
Filc	---	300	0,060	1670	0,944
Głina (1800)	---	1800	0,700	840	50,000
Grunt	---	1800	0,900	1260	0,944
Guma	---	1200	0,200	1260	199,959
Ił	---	1800	0,750	840	50,000
Miedź	---	8800	370,000	380	+∞
Papa (asfaltowa)	---	1000	0,180	1460	0,944
Papier	---	1000	0,250	1460	0,850
Piasek	---	1650	0,400	840	50,000
Piasek pylasty	---	1800	0,550	840	50,000
Płyty okładz.	---	2000	1,050	920	4,856
Stal	---	7800	58,000	440	+∞

## JEDNOSTKOWY STRUMIEŃ CIEPŁA

Jeżeli dwa płyny cieplejszy o temp.  $t_i$  i chłodniejszy o temp.  $t_e$  rozdzielone są przegrodą określonego kształtu to gęstość strumienia ciepła przepływającego przez przegrodę wyraża równanie:

$$q = U (\tau_i - \tau_e) \text{ [W/m}^2\text{]}$$



## Całkowity strumień ciepła

$$Q = q * A \text{ [W]}$$

q- jednostkowy strumień powietrza [W/m<sup>2</sup>]

A- powierzchnia przegrody [m<sup>2</sup>]

Ilość ciepła napływającego na powierzchnię i odpływającego z przegrody po stronie zewnętrznej są sobie równe.

$Q_1 = h_i * A (t_i - \tau_i)$  wnikanie

$Q_h = \lambda/d * A (\tau_i - \tau_e)$  przewodzenie

$Q_2 = h_e * A (\tau_e - t_e)$  wnikanie

$$Q = U * A * (t_i - t_e) \text{ [W]}$$

**U** - współczynnik przenikania ciepła określa ile energii przenika przez metr kwadratowy przegrody w czasie jednej sekundy gdy różnica między temperaturą na zewnątrz i wewnątrz wynosi 1 Kelwin.

$$U = \frac{1}{1/h_i + d/\lambda + 1/h_e} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

$1/h_i = R_{si}$  – opór termiczny wewnętrznej powierzchni przegrody podczas napływu ciepła [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]

$1/h_e = R_{se}$  - opór termiczny powierzchni zewnętrznej przegrody podczas odpływu ciepła [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]

$d$  = grubość przegrody [m]

Im współczynnik przenikania ciepła niższy, tym przegroda lepiej izoluje przed utratą ciepła.

Współczynnik przenikalności cieplnej wpływa na energochłonność budynku.

Im niższe parametry U dla poszczególnych przegród, tym mniej energii potrzebujemy na ogrzewanie domu, czyli mniej pieniędzy wydajemy na gaz czy olej opałowy, co również pozytywnie wpływa na zmniejszanie emisji do atmosfery gazów cieplarnianych.

## Opór cieplny (R)

wskazuje niezbędną różnicę temperatur, aby 1m<sup>2</sup> wewnętrznej powierzchni przegrody przyjął w jednostce czasu ilość ciepła równą 1 Wat.

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

## Opór cieplny ściany wielowarstwowej

$$\Sigma R = R_{si} + R_i + R_{se}$$

$R_{si}$  wewnętrzny opór przyjmowania ciepła zależy od

kierunku przepływu ciepła

$R_{se}$  zewnętrzny opór przyjmowania ciepła

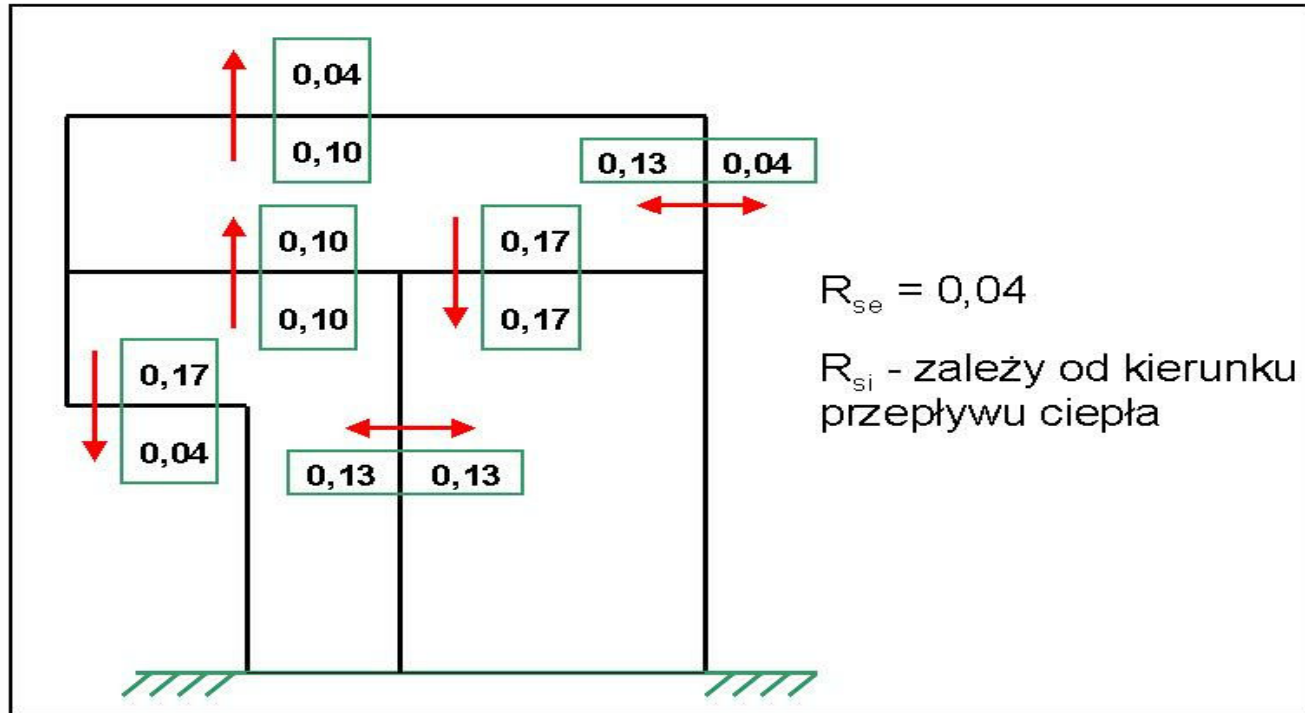
## Współczynnik przenikania ciepła

$$1 / \Sigma R = U \text{ [W/m}^2 \text{ * K]}$$

Opór cieplny obliczamy z dokładnością do trzech miejsc po przecinku.

# Przenikanie ciepła

## Wartości współczynników odpływu i napływu ciepła



opór przejmowa nia ciepła	kierunek przyjmowania ciepła		
	w górę	poziomy	w dół
$R_{si}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$	0,04	0,04	0,04

Zasady wyznaczania wartości współczynnika przenikania ciepła **przegród budowlanych** podano w normie PN-EN ISO 6946:2008

Zamieszczono w niej metodologię wyznaczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła przegród o jednorodnym i niejednorodnym układzie konstrukcyjnym oraz skorygowanej wartości współczynnika przenikania ciepła, czyli parametru  $U_C$ .

W ścianach zewnętrznych można najczęściej zaobserwować następujące typy liniowych mostków ciepła:

- na połączeniu ściany ze stropodachem,
- na połączeniu stropu ze ścianą zewnętrzną z mostkami geometrycznymi na krawędziach ścian zewnętrznych,
- na otworach okiennych lub drzwiowych,
- na połączeniu balkonów ze ścianą zewnętrzną.

Dodatkowo mogą wystąpić mostki punktowe wynikające z zastosowania łączników mechanicznych lub słupów konstrukcyjnych w ścianach.

**W obliczaniu skorygowanej wartości współczynnika przenikania ciepła  $U_c$  należy stosować poprawki uwzględniające:**

- pustki powietrzne, a właściwie nieszczelności w warstwie izolacji cieplnej, oznaczone symbolem  $\Delta U_g$ ,
- łączniki mechaniczne (metalowe) przebijające warstwę izolacji cieplnej, oznaczone symbolem  $\Delta U_f$ ,
- nieszczelności w warstwie izolacji cieplnej dachów o odwróconym układzie warstw, oznaczone symbolem  $\Delta U_r$ .

Według normy PN-EN ISO 6946:2008 wpływ łączników mechanicznych w skorygowanej wartości współczynnika przenikania ciepła  $U_C$  można uwzględnić poprawką  $\Delta U_f$  według jednej z dwóch zależności.

Pierwsza (szczegółowa) jest podana w wytycznych ETAG 004:2008– zaleca się w niej stosowanie współczynnika przenikania ciepła punktowego mostka cieplnego  $\chi$ , który musi być określony dokładnie na podstawie obliczeń według metodologii z normy PN-EN ISO 10211:2008.

$$U_C = U + \Delta U,$$

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

$U_C$  - skorygowana wartość współczynnika przenikania ciepła [ $W/(m^2 \cdot K)$ ],

Według metody przybliżonej poprawka może być stosowana wówczas, gdy łączniki nie są uwzględnione innymi metodami. W normie PN-EN ISO 6946:2008 podano, że poprawkę należy stosować w odniesieniu do kotew ściennych w murach wielowarstwowych, łączników dachowych lub łączników w złożonych systemach paneli.

Poprawki nie należy wprowadzać w następujących przypadkach:

- kotwie ścienne przechodzą przez pustą szczelinę,
- kotwie ścienne między warstwą muru i drewnianymi słupkami,
- gdy współczynnik przewodzenia ciepła łącznika, lub jego części, jest mniejszy niż  $1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ .

Wynika z tego, że nie trzeba jej uwzględniać wówczas, gdy łączniki wykonane są z tworzywa sztucznego, należy natomiast – kiedy łączniki wykonane są z metalu.

Poprawkę  $\Delta U_f$  (określoną w sposób przybliżony) oblicza się według wzoru:

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

jeżeli łącznik całkowicie przebija warstwę izolacji;

$\alpha = 0,8$  lub  $\alpha = 0,8 \cdot d_1/d_0$  jeżeli łącznik wpuszczono w izolację, czyli częściowo przebija izolację (w części jej grubości);

$\lambda_f$  – współczynnik przewodzenia ciepła materiału łącznika [W/(m·K)];

$n_f$  – liczba łączników na 1 m<sup>2</sup>;

$A_f$  – pole przekroju poprzecznego jednego łącznika [m<sup>2</sup>];

$d_0$  – grubość warstwy izolacji cieplnej z łącznikiem [m];

$d_1$  – długość łącznika przechodzącego przez izolację cieplną [m];

$R_l$  – opór cieplny warstwy – izolacji cieplnej przebitej przez łącznik [(m<sup>2</sup>·K)/W];

$R_{T,h}$  – opór cieplny komponentu (przegrody) z pominięciem wpływu mostków cieplnych [(m<sup>2</sup>·K)/W].

Obliczenie wartości poprawki  $\Delta U_f$

$$\Delta U = \Delta U_f$$

gdzie:

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



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

Źródło [7]

Poprawka na nieszczelności  $\Delta U_g$ 

Poziom	$\Delta U''$ [W/m <sup>2</sup> K]	Opis nieszczelności
0	0,00	Izolacja jest tak ułożona, że nie jest możliwa cyrkulacja powietrza po cieplejszej stronie izolacji; brak nieszczelności przechodzących przez warstwę izolacji
1	0,01	Izolacja jest tak ułożona, że nie jest możliwa cyrkulacja powietrza po cieplejszej stronie izolacji; nieszczelności mogą przechodzić przez całą warstwę izolacji
2	0,04	Występuje ryzyko cyrkulacji powietrza po cieplejszej stronie izolacji; nieszczelności mogą przechodzić przez całą warstwę izolacji

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left( \frac{R_1}{R_T} \right)^2$$

$R_1$  – opór cieplny warstwy zawierającej nieszczelność

$R_T$  – całkowity opór cieplny elementu z warstwą izolacyjną zawierającą nieszczelność

Tabela 3 – Wielkości poprawek pogarszające obliczone wartości U ściany według PN-EN ISO 6946:2008

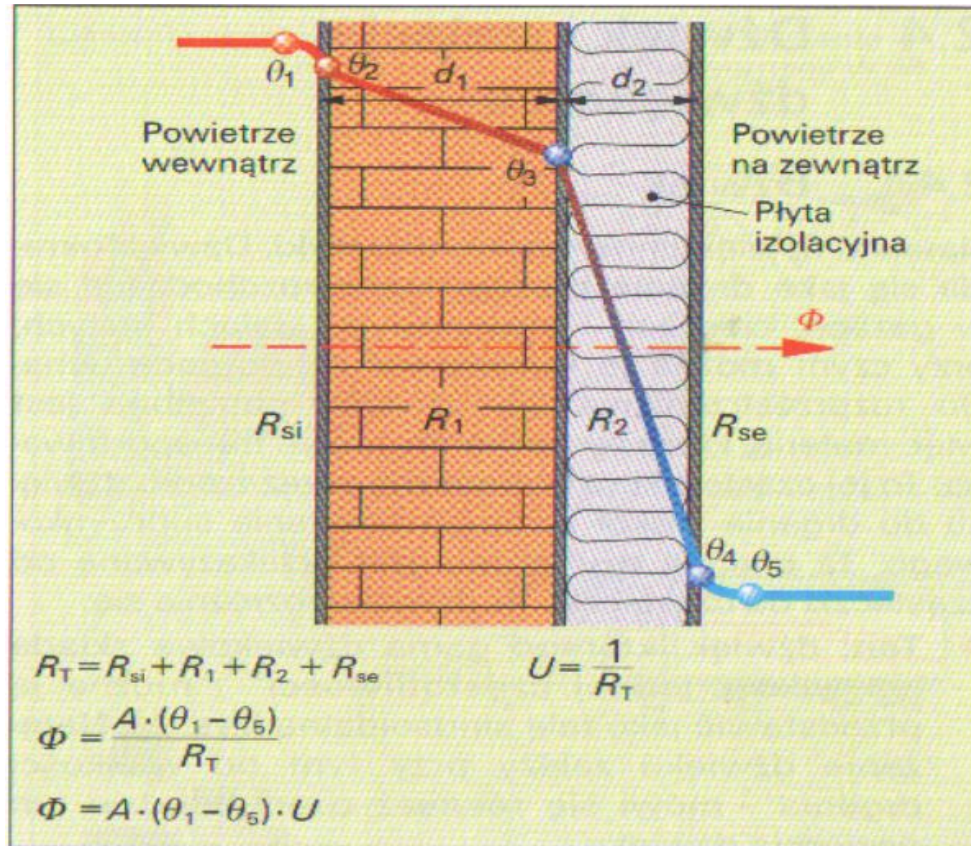
składniki poprawek do wzoru  $U \leq U_{max} - (\Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_k)$

$\Delta U_g$	mostki termiczne ze względu na nieszczelność	plyty w jednej warstwie na styk	0,01
		plyty w dwóch warstwach	0,00
$\Delta U_f$	mostki termiczne ze względu na łączniki mechaniczne	stalowe 4 szt./m <sup>2</sup> Ø 4 mm	0,016
		stalowe z wykończ. plastikowym 4 szt./m <sup>2</sup> Ø 4 mm	< 0,01

$$U_c = U + \Delta U,$$

dla ścian zewnętrznych  $\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f$

## Rozkład temperatury w przegrodzie wielowarstwowej



Źródło [ 3]

## Rozkład temperatury w przegrodzie wielowarstwowej

Temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody w pomieszczeniu ogrzewanym powinna być wyższa o co najmniej **1°C** od temperatury punktu rosy w warunkach obliczeniowych okresu ogrzewania.

## Rozkład temperatury w przegrodzie wielowarstwowej

W celu sprawdzenia uniknięcia kondensacji powierzchniowej temperaturę wewnętrzną powierzchni przegrody należy obliczyć ze wzoru:

$$\theta_i = t_i - U_o (t_i - t_e) R_{si} \quad [^\circ\text{C}]$$

$t_i$  – temperatura obliczeniowa wewnętrzna [ $^\circ\text{C}$ ]

$t_e$  – temperatura obliczeniowa zewnętrzna [ $^\circ\text{C}$ ]

$U_o$  – współczynnik przenikania ciepła

$R_{si}$  – opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody

## Temperatura punktu rosy

Temperatura punktu rosy może być określona następująco:

- wyznaczamy ciśnienie cząstkowe pary wodnej nasyconej  $p_n$  przy obliczeniowej temperaturze powietrza pomieszczenia
- obliczamy ciśnienie cząstkowe pary nienasyconej  $p$  przy obl. wilgotności względnej pomieszczenia  $\varphi_i$  [%]

$$p = \frac{\varphi_i p_n}{100} \quad [\text{hPa}]$$

- znajdujemy temperaturę punktu rosy  $t_s$  odpowiadającą ciśnieniu  $p$ .

## Wilgotność względna

Obliczeniowa wilgotność względna  $\varphi_i$

- 45% - dla pomieszczeń w budynkach użyteczności publicznej i produkcyjnych, w których nie wydziela się para z otwartych zbiorników lub w skutek procesów technologicznych i nie stosuje się nawilżania powietrza
- 55% - dla pomieszczeń mieszkalnych ( w tym pokoi mieszkalnych, kuchni, łazienek, WC, pokoi w szpitalach i sanatoriach, pokoi dziecięcych w żłobkach i przedszkolach)

Ciśnienie cząstkowe pary wodnej nasyconej w powietrzu w zależności od temperatury

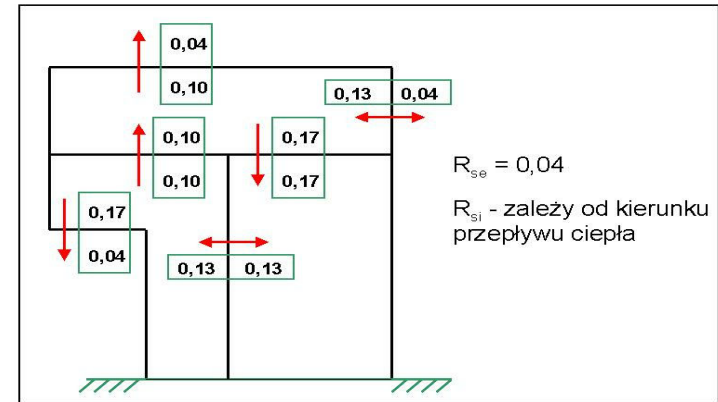
Temperatura °C	Ciśnienie pary wodnej nasyconej, hPa									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
30	42,44	42,69	42,94	43,19	43,44	43,69	43,94	44,19	44,45	44,69
29	40,06	40,30	40,53	40,77	41,01	41,24	41,48	41,72	41,96	42,19
28	37,18	38,03	38,26	38,48	38,71	38,94	39,16	39,39	39,61	39,84
27	35,66	35,88	36,09	36,31	36,52	36,74	36,95	37,17	37,39	37,59
26	33,62	33,82	34,03	34,23	34,43	34,63	34,84	35,04	35,25	35,44
25	31,69	31,88	32,08	32,27	32,46	32,66	32,84	33,04	33,24	33,43
24	29,85	30,03	30,21	30,40	30,59	30,77	30,95	31,14	31,32	31,51
23	28,10	28,25	28,45	28,63	28,80	28,97	29,15	29,32	29,50	29,68
22	26,45	26,61	26,78	26,95	27,11	27,27	27,44	27,61	27,77	27,94
21	24,87	25,04	25,18	25,35	25,51	25,66	25,82	25,98	26,13	26,29
20	23,40	23,54	23,69	23,84	23,99	24,13	23,28	24,43	24,57	24,73
19	21,97	22,12	22,27	22,41	22,54	22,68	22,83	22,97	23,10	23,24
18	20,65	20,79	20,91	21,05	21,19	21,32	21,45	21,58	21,72	21,85
17	19,37	19,50	19,63	19,76	19,88	20,01	20,14	20,27	20,39	20,52
16	18,18	18,30	18,41	18,54	18,66	18,78	18,89	19,01	19,14	19,26
15	17,06	17,17	17,29	17,39	17,50	17,62	17,73	17,84	17,95	18,06
14	15,99	16,10	16,21	16,31	16,42	16,53	16,63	16,74	16,84	16,95
13	14,98	15,08	15,18	15,28	15,38	15,48	15,59	15,69	15,78	15,88
12	14,03	14,13	14,22	14,31	14,41	14,51	14,60	14,70	14,79	14,88
11	13,12	13,21	13,30	13,40	13,49	13,58	13,67	13,75	13,85	13,94
10	12,28	12,37	12,45	12,54	12,62	12,70	12,79	12,87	12,96	13,04
9	11,48	11,56	11,63	11,71	11,79	11,87	11,95	12,03	12,11	12,18
8	10,73	10,81	10,88	10,96	11,03	11,10	11,17	11,25	11,33	11,40
7	10,02	10,08	10,16	10,23	10,30	10,38	10,45	10,52	10,59	10,66
6	9,35	9,42	9,49	9,55	9,61	9,68	9,75	9,82	9,88	9,95
5	8,72	8,78	8,84	8,90	8,96	9,02	9,07	9,13	9,19	9,25
4	8,13	8,19	8,25	8,31	8,37	8,43	8,49	8,54	8,61	8,66
3	8,59	7,65	7,70	7,76	7,81	7,87	7,93	7,98	8,03	8,08
2	7,05	7,10	7,16	7,21	7,27	7,32	7,37	7,43	7,48	7,53
1	5,57	6,62	6,67	6,72	6,77	6,82	6,87	6,91	6,96	7,00
0	6,11	6,16	6,21	6,26	6,30	6,35	6,40	6,45	6,49	6,53
0	6,11	6,05	6,00	5,95	5,92	5,87	5,82	5,77	5,72	5,67
-1	5,62	5,57	5,52	5,47	5,43	5,38	5,34	5,31	5,27	5,22
-2	5,17	5,14	5,09	5,05	5,01	4,96	4,92	4,89	4,84	4,80
-3	4,76	4,72	4,68	4,64	4,61	4,56	4,52	4,48	4,44	4,40
-4	4,37	4,33	4,30	4,26	4,23	4,19	4,15	4,12	4,08	4,05
-5	4,01	3,98	3,95	3,91	3,88	3,85	3,82	3,79	3,75	3,72
-6	3,68	3,65	3,62	3,59	3,56	3,53	3,50	3,47	3,43	3,40
-7	3,37	3,35	3,33	3,30	3,27	3,24	3,21	3,18	3,15	3,12
-8	3,10	3,06	3,04	3,01	2,98	2,96	2,94	2,91	2,88	2,86
-9	2,84	2,81	2,79	2,76	2,74	2,72	2,69	2,67	2,64	2,62
-10	2,60	2,58	2,55	2,53	2,51	2,49	2,46	2,44	2,42	2,39
-11	2,37	2,35	2,33	2,31	2,29	2,28	2,26	2,24	2,21	2,19
-12	2,17	2,15	2,13	2,11	2,09	2,08	2,06	2,04	2,02	2,00
-13	1,98	1,97	1,95	1,93	1,91	1,90	1,88	1,86	1,84	1,82
-14	2,81	1,80	1,78	1,77	1,75	1,73	1,72	1,70	1,68	1,67
-15	1,65	1,64	1,62	1,61	1,59	1,58	1,57	1,55	1,53	1,52
-16	1,50	1,49	1,48	1,46	1,45	1,44	1,42	1,41	1,39	1,38
-17	1,37	1,36	1,35	1,33	1,32	1,31	1,29	1,28	1,27	1,26
-18	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,16	1,15
-19	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,07	1,06	1,05	1,04
-20	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94

# Przenikanie ciepła

## Zadanie 1

Oblicz współczynnik przenikania ciepła przegrody zewnętrznej jednowarstwowej zbudowanej z cegły ceramicznej pełnej grubości 25 cm, współczynnik przewodzenia  $\lambda = 0,77$  [W/mK]

Wartości współczynników odpływu i napływu ciepła



$$U = 1 / \sum R \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

I.p	Warstwa	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> k/W]
Opór przejmowania od strony wewnętrznej, $R_{si}$				0,13
1	Cegła ceramiczna pełna	0,25	0,77	0,32
Opór przejmowania od strony zewnętrznej, $R_{se}$				0,04
$\sum R = R_{si} + R + R_{se}$				0,49

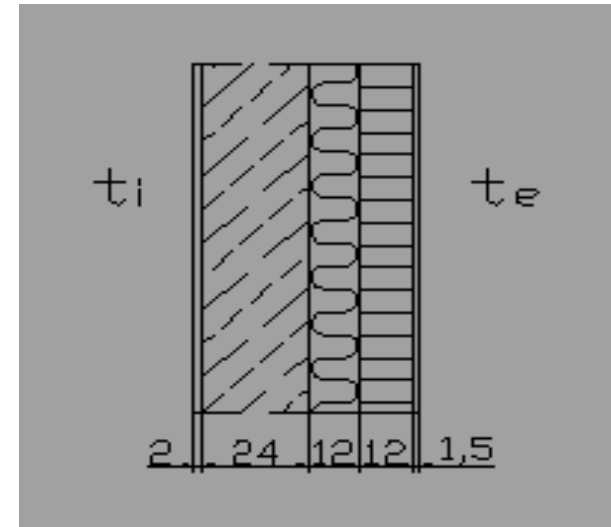
$$U = 1 / \sum R = 1 / 0,49 = 2,04 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

## Zadanie 2

Oblicz współczynnik przenikania ciepła przegrody zewnętrznej wielowarstwowej zbudowanej z:

- tynk cementowo wapienny gr. 2 cm,  $\lambda = 0,82$  [W/mK]
- bloczek z betonu komórkowego na zaprawie cem-wap gr. 24 cm, ,  $\lambda = 0,29$  [W/mK]
- styropian gr 12 cm,  $\lambda = 0,045$  [W/mK]
- cegła ceramiczna pełna gr. 12 cm,  $\lambda = 0,077$  [W/mK]
- tynk cementowo-wapienny gr. 1,5 cm,  $\lambda = 0,82$  [W/mK]

$$U = 1 / \sum R \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

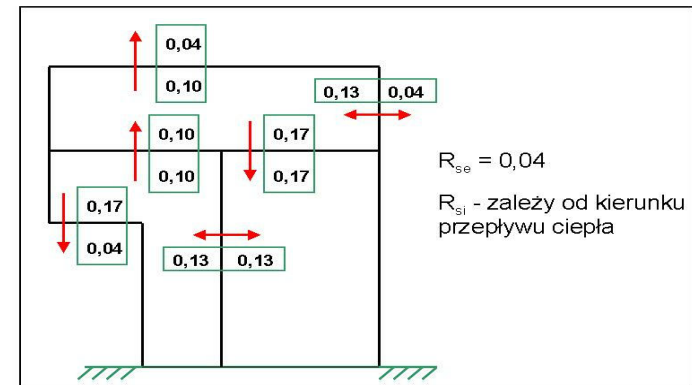


# Przenikanie ciepła

I.p	Warstwa	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> k/W]
Opór przejmowania od strony wewnętrznej R <sub>si</sub>				0,130
1	tynk cementowo-wapienny	0,020	0,820	0,024
2	bloczek z betonu komórkowego	0,240	0,290	0,828
3	styropian	0,120	0,045	2,666
4	cegła ceramiczna pełna	0,120	0,770	0,156
5	tynk cementowo-wapienny	0.015	0,820	0.018
Opór przejmowania od strony zewnętrznej R <sub>se</sub>				0,04
$\Sigma R = R_{si} + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) + R_{se}$				3,856

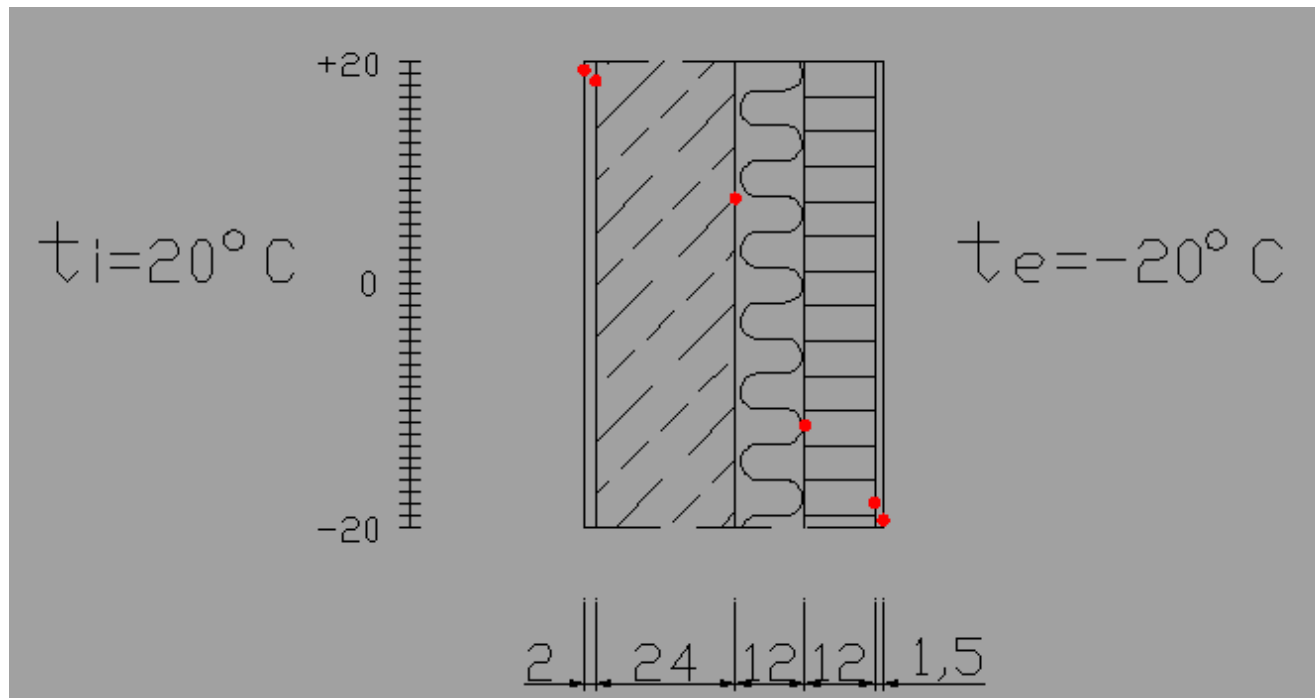
$$U = 1 / \Sigma R = 1 / 3,856 = 0,259 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Wartości współczynników odpływu i napływu ciepła



### Zadanie 3

Dla obliczonej w zadaniu nr 2 ściany zewnętrznej wykonaj rozkład temperatury w przegrodzie oraz oblicz temperaturę punktu rosy i sprawdź czy wystąpi wykroplenie na wewnętrznej powierzchni ściany. Przyjmij temperaturę obliczeniową wewnętrzną  $t_i = 20^\circ\text{C}$ , temperaturę zewnętrzną  $t_e = -20^\circ\text{C}$



## Przenikanie ciepła

$$\theta_i = t_i - U_o(t_i - t_e)R_{si} = 20 - 0,259 (20 - (-20)) * 0.13 = 18,65 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\theta_1 = t_i - U_o(t_i - t_e)R_{si} = 20 - 0,259 (20 - (-20)) * (0.13 + 0.024) = 18,40 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\theta_2 = t_i - U_o(t_i - t_e)R_{si} = 20 - 0,259 (20 - (-20)) * (0.13 + 0.024 + 0.828) = 9,83 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

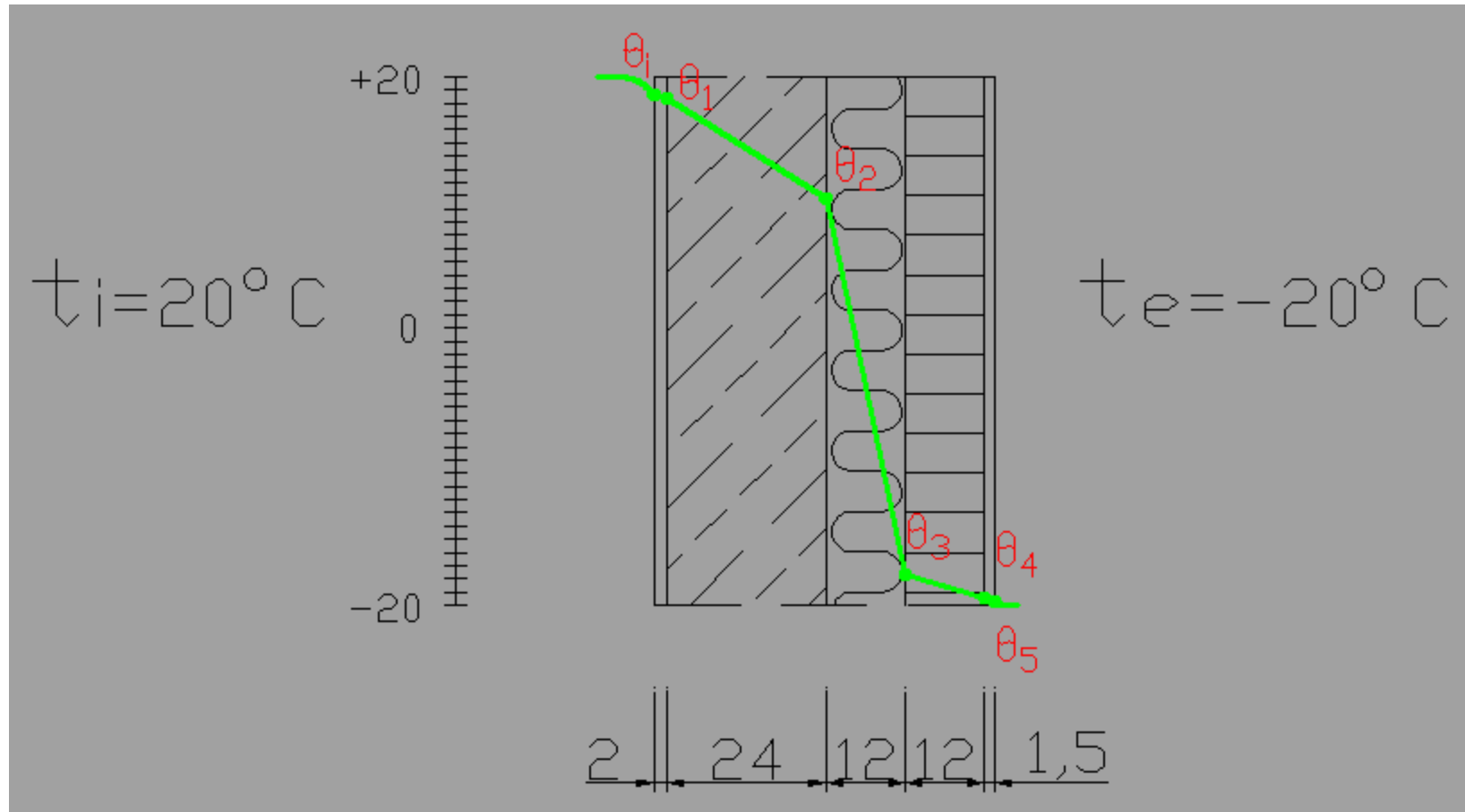
$$\theta_3 = t_i - U_o(t_i - t_e)R_{si} = 20 - 0,259 (20 - (-20)) * (0.13 + 0.024 + 0.828 + 2,666) = -17,79 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\theta_4 = t_i - U_o(t_i - t_e)R_{si} = 20 - 0,259 (40) * (0.13 + 0.024 + 0.828 + 2,666 + 0,156) = -19,41 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\theta_5 = t_i - U_o(t_i - t_e)R_{si} = 20 - 0,259 (40) * (0.13 + 0.024 + 0.828 + 2,666 + 0,156 + 0.018) = -19,59 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

# Przenikanie ciepła

## Wykres rozkładu temperatur w przegrodzie



# Przenikanie ciepła

## Obliczenie punktu rosy

- 1) wyznaczamy ciśnienie cząstkowe pary wodnej nasyconej  $p_n$  przy obliczeniowej temperaturze powietrza pomieszczenia

dla 20 C  $p_n = 23,40 \text{ hPa}$

- 2) obliczamy ciśnienie cząstkowe pary nienasyconej  $p$  przy obl. wilgotności względnej pomieszczenia  $\phi$  [%]

$$p = \frac{\phi \cdot p_n}{100} = \frac{55 \cdot 23,4}{100} = 12,87 \text{ [hPa]}$$

- 3) znajdujemy temperaturę punktu rosy  $t_s$  odpowiadającą ciśnieniu  $p$ :

$t_s = 10,7 \text{ °C}$

Ciśnienie cząstkowe pary wodnej nasyconej w powietrzu w zależności od temperatury

Temperatura °C	Ciśnienie pary wodnej nasyconej, hPa									
	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
30	42,44	42,69	42,94	43,19	43,44	43,69	43,94	44,19	44,45	44,69
29	40,06	40,30	40,53	40,77	41,01	41,24	41,48	41,72	41,96	42,19
28	37,18	38,03	38,26	38,48	38,71	38,94	39,16	39,39	39,61	39,84
27	35,66	35,88	36,09	36,31	36,52	36,74	36,95	37,17	37,39	37,59
26	33,62	33,82	34,03	34,23	34,43	34,63	34,84	35,04	35,25	35,44
25	31,69	31,88	32,08	32,27	32,46	32,66	32,84	33,04	33,24	33,43
24	29,85	30,03	30,21	30,40	30,59	30,77	30,95	31,14	31,32	31,51
23	28,10	28,25	28,45	28,63	28,80	28,97	29,15	29,32	29,50	29,68
22	26,45	26,61	26,78	26,95	27,11	27,27	27,44	27,61	27,77	27,94
21	24,87	25,04	25,18	25,35	25,51	25,66	25,82	25,98	26,13	26,29
20	23,40	23,54	23,69	23,84	23,99	24,13	24,28	24,43	24,57	24,73
19	21,97	22,12	22,27	22,41	22,54	22,68	22,83	22,97	23,10	23,24
18	20,65	20,79	20,91	21,05	21,19	21,32	21,45	21,58	21,72	21,85
17	19,37	19,50	19,63	19,76	19,88	20,01	20,14	20,27	20,39	20,52
16	18,18	18,30	18,41	18,54	18,66	18,78	18,89	19,01	19,14	19,26
15	17,06	17,17	17,29	17,39	17,50	17,62	17,73	17,84	17,95	18,06
14	15,99	16,10	16,21	16,31	16,42	16,53	16,63	16,74	16,84	16,95
13	14,98	15,08	15,18	15,28	15,38	15,48	15,59	15,69	15,78	15,88
12	14,03	14,13	14,22	14,31	14,41	14,51	14,60	14,70	14,79	14,88
11	13,12	13,21	13,30	13,40	13,49	13,58	13,67	13,75	13,85	13,94
10	12,28	12,37	12,45	12,54	12,62	12,70	12,79	12,87	12,96	13,04
9	11,48	11,56	11,63	11,71	11,79	11,87	11,95	12,03	12,11	12,18
8	10,73	10,81	10,88	10,96	11,03	11,10	11,17	11,25	11,33	11,40
7	10,02	10,08	10,16	10,23	10,30	10,38	10,45	10,52	10,59	10,66
6	9,35	9,42	9,49	9,55	9,61	9,68	9,75	9,82	9,88	9,95
5	8,72	8,78	8,84	8,90	8,96	9,02	9,07	9,13	9,19	9,25
4	8,13	8,19	8,25	8,31	8,37	8,43	8,49	8,54	8,61	8,66
3	8,59	7,65	7,70	7,76	7,81	7,87	7,93	7,98	8,03	8,08
2	7,05	7,10	7,16	7,21	7,27	7,32	7,37	7,43	7,48	7,53
1	5,57	6,62	6,67	6,72	6,77	6,82	6,87	6,91	6,96	7,00
0	6,11	6,16	6,21	6,26	6,30	6,35	6,40	6,45	6,49	6,53
0	6,11	6,05	6,00	5,95	5,92	5,87	5,82	5,77	5,72	5,67
-1	5,62	5,57	5,52	5,47	5,43	5,38	5,34	5,31	5,27	5,22
-2	5,17	5,14	5,09	5,05	5,01	4,96	4,92	4,89	4,84	4,80
-3	4,76	4,72	4,68	4,64	4,61	4,56	4,52	4,48	4,44	4,40
-4	4,37	4,33	4,30	4,26	4,23	4,19	4,15	4,12	4,08	4,05
-5	4,01	3,98	3,95	3,91	3,88	3,85	3,82	3,79	3,75	3,72
-6	3,68	3,65	3,62	3,59	3,56	3,53	3,50	3,47	3,43	3,40
-7	3,37	3,35	3,33	3,30	3,27	3,24	3,21	3,18	3,15	3,12
-8	3,10	3,06	3,04	3,01	2,98	2,96	2,94	2,91	2,88	2,86
-9	2,84	2,81	2,79	2,76	2,74	2,72	2,69	2,67	2,64	2,62
-10	2,60	2,58	2,55	2,53	2,51	2,49	2,46	2,44	2,42	2,39
-11	2,37	2,35	2,33	2,31	2,29	2,28	2,26	2,24	2,21	2,19
-12	2,17	2,15	2,13	2,11	2,09	2,08	2,06	2,04	2,02	2,00
-13	1,98	1,97	1,95	1,93	1,91	1,90	1,88	1,86	1,84	1,82
-14	1,81	1,80	1,78	1,77	1,75	1,73	1,72	1,70	1,68	1,67
-15	1,65	1,64	1,62	1,61	1,59	1,58	1,57	1,55	1,53	1,52
-16	1,50	1,49	1,48	1,46	1,45	1,44	1,42	1,41	1,39	1,38
-17	1,37	1,36	1,35	1,33	1,32	1,31	1,29	1,28	1,27	1,26
-18	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,16	1,15
-19	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,07	1,06	1,05	1,04
-20	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94

Sprawdzenie warunku kondensacji powierzchniowej

$$t_s + 1 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_i$$

$$10,7 + 1^\circ\text{C} < 18,65^\circ\text{C}$$

Warunek spełniony. Na wewnętrznej powierzchni przegrody w pomieszczeniu, przy założonych parametrów okresu ogrzewania nie wystąpi wykroplenie

## Zadanie

Przykład obliczeń skorygowanego współczynnika przenikania  $U_{cmax}$  z uwzględnieniem mostka ciepła na łączniki metalowe, przyjmując że izolacja cieplna układana jest metodą na zakład.

- $\alpha$  – 0,8 (łącznik całkowicie przebija warstwę izolacji),
- $\lambda_f$  – 50 W/mK (dla stali),
- $A_f$  –  $5,03 \times 10^{-5} \text{ m}^2$  (dla średnicy rdzenia łącznika ze stali ocynkowanej  $\phi 8\text{mm}$ , koszulkę z polipropylenu można pominąć),
- $n_f$  – 4 szt/m<sup>2</sup> (wynika z typu, materiału rdzenia i średnicy łącznika),
- $d_0$  – 0,12 m (grubość przebijanej warstwy izolacji),
- $R_1$  – 2,666 m<sup>2</sup>K/W (opór cieplny przebijanej warstwy izolacji),
- $R_{T,h}$  – 3,856 m<sup>2</sup>K/W (opór cieplny całej przegrody).

$$\Delta U_f = 0,8 \times \frac{50 \times 5,03 \times 10^{-5} \times 4}{0,12} \times \left( \frac{2,666}{3,856} \right)^2 = 0,032 \frac{W}{m^2 K}$$

$$U_c = U + \Delta U_f + \Delta U_g = 0,259 + 0,032 + 0,0 = 0,291 \text{ W/m}^2\text{K}$$

## Wymagania ochrony cieplnej budynków

### Obliczanie obciążenia cieplnego wg normy PN EN 12831



# Literatura

---

- 1) Hermann Recknagel, Eberhard Sprenger , Ernst Schramek :  
„Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda,
- 2) Halina Koczyk: „Ogrzewnictwo praktyczne”,
- 3) Albers Joachim „Systemy centralnego ogrzewania i wentylacji.  
Poradnik dla projektantów i instalatorów”,
- 4) [www.viessmann.pl](http://www.viessmann.pl)
- 5) Michał Strzeszewski Piotr Wereszczyński „Norma PN–EN 12831  
Nowa metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.  
Poradnik”,
- 6) PN-EN 12831: Instalacje ogrzewcze w budynkach Metoda obliczania  
projektowego obciążenia cieplnego
- 7) Łukasz Nowak, Politechnika Wrocławska, Instytut Budownictwa  
„Obliczanie współczynnika przenikania ciepła”
- 8) [www.instsani.pl](http://www.instsani.pl)

Prawidłowo zaprojektowane ogrzewanie budynku zależy od właściwego obliczenia jego zapotrzebowania na ciepło, czyli określenia współczynników przenikania ciepła, ustalenia temperatur obliczeniowych wewnętrznych i zewnętrznych oraz obliczenia strat ciepła na przenikanie i wentylacyjnej straty ciepła.

Dla zapewnienia warunków mieszkalnych bez względu na porę roku temperatura wewnątrz budynku powinna się utrzymywać w pewnym subiektywnym, dostosowanym do wymagań osób w nim mieszkających, przedziale, średnio ok. 16–24°C.

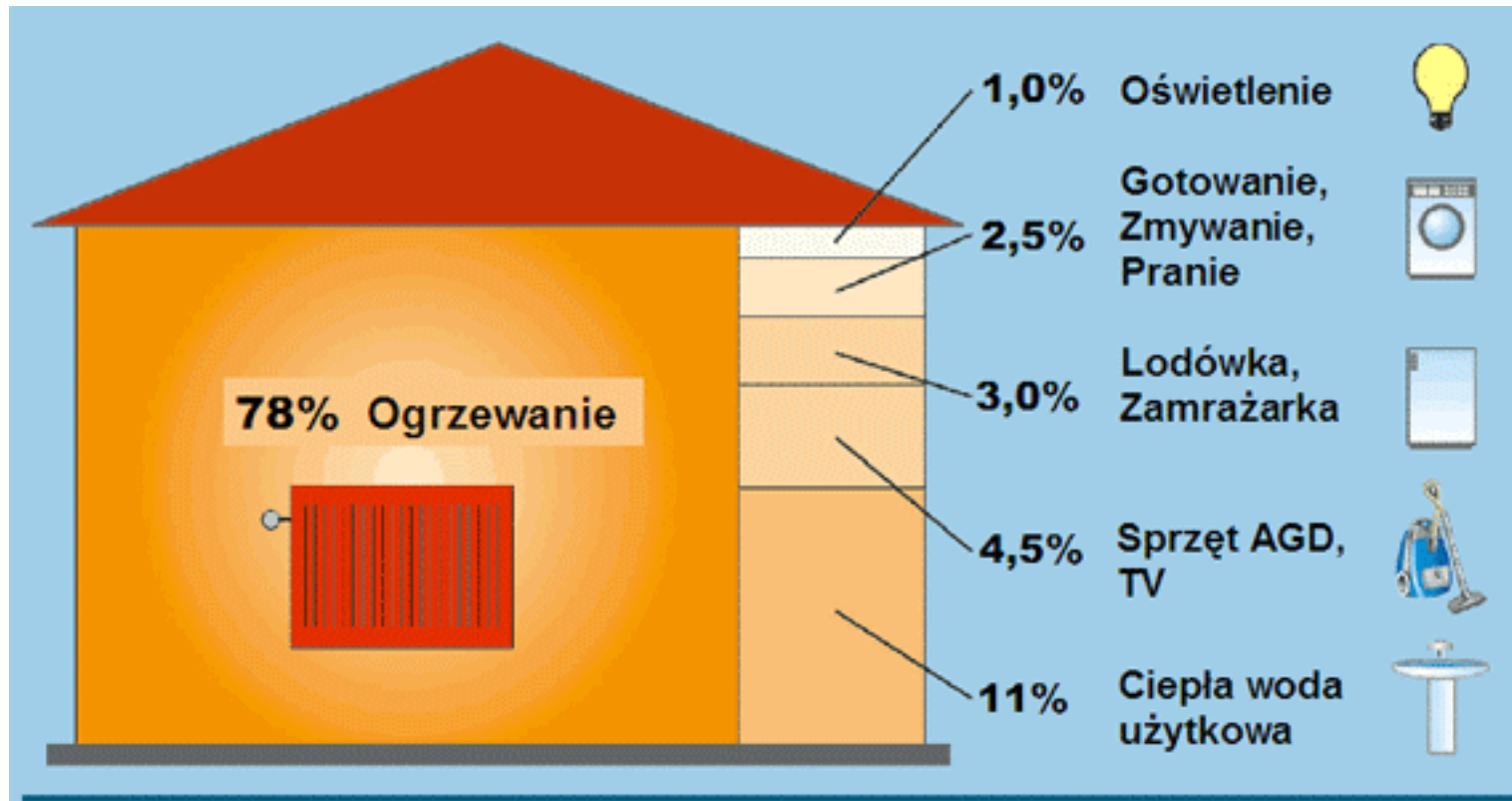
### Ocena jakości energetycznej budynków w Polsce

Jakość energetyczną budynku w Polsce można w dużym przybliżeniu ustalić na podstawie znajomości rozwiązań konstrukcyjno- materiałowych obudowy (cechy materiałowe i opór termiczny) , technologii realizacji budowlanej oraz daty (roku) oddania do użytkowania obiektu, w którym obowiązywały ustalone normami współczynniki przenikania ciepła  $U$  [ $W/m^2 K$ ] oraz określone wielkości wskaźnika  $E$  [ $kWh/m^2$ ] - przeciętnego sezonowego zapotrzebowania ciepła na ogrzewanie budynku.

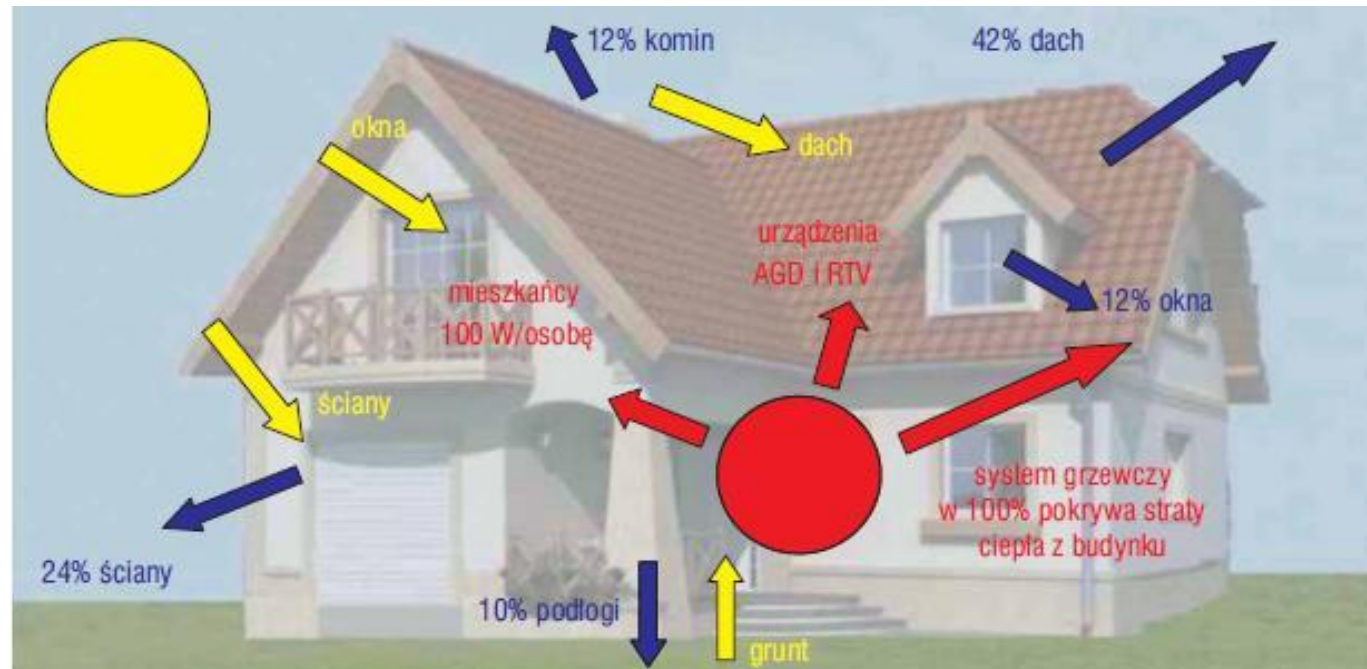
## Ocena jakości energetycznej budynków mieszkalnych w Polsce

Okres budowy	Podstawa prawna, Polskie Normy	Wymagane współ. „K” [W/m <sup>2</sup> K] Obecnie U	Roczne zużycie energii „E” [kWh/m <sup>2</sup> a]
<b>do 1966</b>	<b>Prawo budowlane</b>		
	<b>Mur z 2 cegieł</b>	<b>1,16</b>	<b>240 - 280</b>
	<b>mur z 1,5 cegły</b>	<b>1,40</b>	<b>300 - 350</b>
<b>1967-1985</b>	<b>PN-64/B-03204</b> <b>PN-74/B-03404</b>	<b>1,16</b>	<b>240 - 280</b>
<b>1986-1992</b>	<b>PN-82/B-02020</b>	<b>0,75</b>	<b>160-200</b>
<b>1993-1997</b>	<b>PN-91/B-02020</b>	<b>0,55</b>	<b>120-160</b>
<b>od 1998</b>	<b>Warunki techniczne</b>	<b>0,20 - 0,50</b>	<b>45-120</b>

# Zużycie energii



# Bilans energetyczny budynku



Źródło: [www.rynekinstalacyjny.pl](http://www.rynekinstalacyjny.pl)



strumień energii wytworzonej



strumień energii doprowadzonej



strumień energii odprowadzonej - straty ciepła

Zgodnie z:

**ROZPORZĄDZENIEM MINISTRA INFRASTRUKTURY**  
**w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać**  
**budynki i ich usytuowanie**

(Dz. U. Nr 75 z dnia 15 czerwca 2002 r. poz. 690)

budynek i jego instalacje ogrzewcze, wentylacyjne, klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych – również oświetlenia wbudowanego, powinny być zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający spełnienie wymagań minimalnych odnośnie wartości wskaźnika  $E_p$  oraz izolacyjności cieplnej przegród budowlanych.

## Wymagania ochrony cieplnej budynków

---

Wymagania minimalne:

1) wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/(m<sup>2</sup>·rok)], obliczona według przepisów wydanych na podstawie ustawy o charakterystyce energetycznej budynków (Dz. U. z 2024 r.poz. 101.), jest mniejsza lub równa wartości maksymalnej obliczonej zgodnie ze wzorem, o którym mowa w § 329 ust. 1 lub 3;

2) przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w załączniku nr 2 do rozporządzenia.

1a. Wymagania minimalne, uznaje się za spełnione dla budynku podlegającego przebudowie, jeżeli przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku podlegające przebudowie odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w załączniku nr 2 do rozporządzenia.

**Budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby ograniczyć ryzyko przegrzewania budynku w okresie letnim.**

## Maksymalne dopuszczalne $U_{C \max}$

Wartości współczynnika przenikania ciepła  $U_C$  ścian, dachów, stropów i stropodachów dla wszystkich rodzajów budynków, uwzględniające poprawki ze względu na pustki powietrzne w warstwie izolacji, łączniki mechaniczne przechodzące przez warstwę izolacyjną oraz opady na dach o odwróconym układzie warstw, nie mogą być większe niż wartości  $U_{C(\max)}$  określone w tabeli:

Lp.	Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{C(\max)}$ [W/(m <sup>2</sup> · K)]	
		od 1 stycznia 2017 r.	od 31 grudnia 2020 r.*)
1	2	3	
1	Ściany zewnętrzne: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,23 0,45 0,90	0,20 0,45 0,90
2	Ściany wewnętrzne: a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$ oraz oddzielające pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,00 bez wymagań 0,30	1,00 bez wymagań 0,30
3	Ściany przyległe do szczelin dylatacyjnych o szerokości: a) do 5 cm, trwale zamkniętych i wypełnionych izolacją cieplną na głębokości co najmniej 20 cm b) powyżej 5 cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	1,00 0,70	1,00 0,70
4	Ściany nieogrzewanych kondygnacji podziemnych	bez wymagań	bez wymagań
5	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,18 0,30 0,70	0,15 0,30 0,70
6	Podłogi na gruncie: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,30 1,20 1,50	0,30 1,20 1,50

## Maksymalne dopuszczalne $U_{c \max}$

Wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  okien, drzwi balkonowych i drzwi zewnętrznych nie mogą być większe niż wartości  $U_{(\max)}$  określone w tabeli:

Lp.	Okna, drzwi balkonowe i drzwi zewnętrzne	Współczynnik przenikania ciepła $U_{(\max)}$ [W/(m <sup>2</sup> · K)]	
		od 1 stycznia 2017 r.	od 31 grudnia 2020 r.*)
1	2	3	
1	Okna (z wyjątkiem okien połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $t_i < 16^\circ\text{C}$	1,1 1,6	0,9 1,4
2	Okna połaciowe: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $t_i < 16^\circ\text{C}$	1,3 1,6	1,1 1,4
3	Okna w ścianach wewnętrznych: a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$ b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,3 bez wymagań 1,3	1,1 bez wymagań 1,1
4	Drzwi w przegrodach zewnętrznych lub w przegrodach między pomieszczeniami ogrzewanymi i nieogrzewanymi	1,5	1,3
5	Okna i drzwi zewnętrzne w przegrodach zewnętrznych pomieszczeń nieogrzewanych	bez wymagań	bez wymagań

Pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura, której wartość została określona w § 134 ust. 2 rozporządzenia.  
 $t_i$  – temperatura pomieszczenia ogrzewanego zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia.  
 \*) Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynku zajmowanego przez organ wymiaru sprawiedliwości, prokuraturę lub organ administracji publicznej i będącego jego własnością.

## Wymagania dla izolacji przewodów

Izolacja cieplna przewodów rozdzielczych i komponentów w instalacjach c.o., c.w.u. (cyrkulacji), instalacji chłodu i ogrzewania powietrznego powinna spełniać wymagania minimalne określone w tabeli:

Lp.	Rodzaj przewodu lub komponentu	Minimalna grubość izolacji cieplnej (materiał o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,035[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]^{1)}$ )
1	2	3
1	Średnica wewnętrzna do 22 mm	20 mm
2	Średnica wewnętrzna od 22 do 35 mm	30 mm
3	Średnica wewnętrzna od 35 do 100 mm	równa średnicy wewnętrznej rury
4	Średnica wewnętrzna ponad 100 mm	100 mm
5	Przewody i armatura wg lp. 1-4 przechodzące przez ściany lub stropy, skrzyżowania przewodów	50% wymagań z lp. 1-4
6	Przewody ogrzewań centralnych, przewody wody ciepłej i cyrkulacji instalacji ciepłej wody użytkowej wg lp. 1-4, ułożone w komponentach budowlanych między ogrzewanymi pomieszczeniami różnych użytkowników	50% wymagań z lp. 1-4
7	Przewody wg lp. 6 ułożone w podłodze	6 mm
8	Przewody ogrzewania powietrznego (ułożone w części ogrzewanej budynku)	40 mm
9	Przewody ogrzewania powietrznego (ułożone w części nieogrzewanej budynku)	80 mm
10	Przewody instalacji wody lodowej prowadzone wewnątrz budynku <sup>2)</sup>	50% wymagań z lp. 1-4
11	Przewody instalacji wody lodowej prowadzone na zewnątrz budynku <sup>2)</sup>	100% wymagań z lp. 1-4

Uwaga:  
<sup>1)</sup> Przy zastosowaniu materiału izolacyjnego o innym współczynniku przewodzenia ciepła niż podany w tabeli – należy skorygować grubość warstwy izolacyjnej.  
<sup>2)</sup> Izolacja cieplna wykonana jako powietrznoszczelna.

## Obliczeniowe temperatury wewnętrzne

Do obliczania szczytowej mocy cieplnej należy przyjmować temperatury obliczeniowe zewnętrzne zgodnie z Polską Normą, a temperatury obliczeniowe ogrzewanych pomieszczeń - zgodnie z poniższą tabelą:

Temperatury obliczeniowe	Przeznaczenie lub sposób wykorzystywania pomieszczeń	Przykłady pomieszczeń
1	2	3
<b>+5°C</b>	- nieprzeznaczone na pobyt ludzi, - przemysłowe - podczas działania ogrzewania dyżurnego (jeżeli pozwalają na to względy technologiczne)	- magazyny bez stałej obsługi, - garaże indywidualne, - hale postojowe (bez remontów) , - akumulatornie, maszynownie i szyby dźwigów osobowych
<b>+8°C</b>	- w których nie występują zyski ciepła, a jednorazowy pobyt osób znajdujących się w ruchu i w okryciach zewnętrznych nie przekracza 1 h,	- klatki schodowe w budynkach mieszkalnych,
	- w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., przekraczające 25 W na 1 m <sup>3</sup> kubatury pomieszczenia	- hale sprzężarek, - pompownie, - kuźnie, hartownie, - wydziały obróbki cieplnej
<b>+12°C</b>	- w których nie występują zyski ciepła, przeznaczone do stałego pobytu ludzi, znajdujących się w okryciach zewnętrznych lub wykonujących pracę fizyczną o wydatku energetycznym powyżej 300 W,	- magazyny i składy wymagające stałej obsługi, - hole wejściowe, poczekalnie przy salach widowiskowych bez szatni,
	- w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., wynoszące od 10 do 25 W na 1 m <sup>3</sup> kubatury pomieszczenia	- hale pracy fizycznej o wydatku energetycznym powyżej 300 W, - hale formiarni, - maszynownie chłodni, - ładownie akumulatorów, - hale targowe, - sklepy rybne i mięsne

# Obliczeniowe temperatury wewnętrzne

Temperatury obliczeniowe	Przeznaczenie lub sposób wykorzystywania pomieszczeń	Przykłady pomieszczeń
1	2	3
<b>+16°C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- w których nie występują zyski ciepła, przeznaczone na pobyt ludzi:</li> <li>- w okryciach zewnętrznych w pozycji siedzącej i stojącej,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sale widowiskowe bez szatni,</li> <li>- ustępy publiczne,</li> <li>- szatnie okryć zewnętrznych,</li> <li>- hale produkcyjne,</li> <li>- sale gimnastyczne,</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bez okryć zewnętrznych, znajdujących się w ruchu lub wykonujących pracę fizyczną o wydatku energetycznym do 300 W,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kuchnie indywidualne wyposażone w paleniska węglowe</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., nieprzekraczające 10 W na 1 m<sup>3</sup> kubatury pomieszczenia</li> </ul>	
<b>+20°C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- przeznaczone na stały pobyt ludzi bez okryć zewnętrznych, niewykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pokoje mieszkalne,</li> <li>- przedpokoje,</li> <li>- kuchnie indywidualne wyposażone w paleniska gazowe lub elektryczne,</li> <li>- pokoje biurowe, sale posiedzeń</li> </ul>
<b>+24°C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- przeznaczone do rozbierania,</li> <li>- przeznaczone na pobyt ludzi bez odzieży</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- łazienki,</li> <li>- rozbieralnie-szatnie,</li> <li>- umywalnie,</li> <li>- natryskownie,</li> <li>- hale pływalni,</li> <li>- gabinety lekarskie z rozbieraniem pacjentów,</li> <li>- sale niemowląt i sale dziecięce w żłobkach,</li> <li>- sale operacyjne</li> </ul>
<p>*) Dopuszcza się przyjmowanie innych temperatur obliczeniowych dla ogrzewanych pomieszczeń niż jest to określone w tabeli, jeżeli wynika to z wymagań technologicznych.</p>		

Projektowaną temperaturę zewnętrzną należy przyjmować zgodnie z:

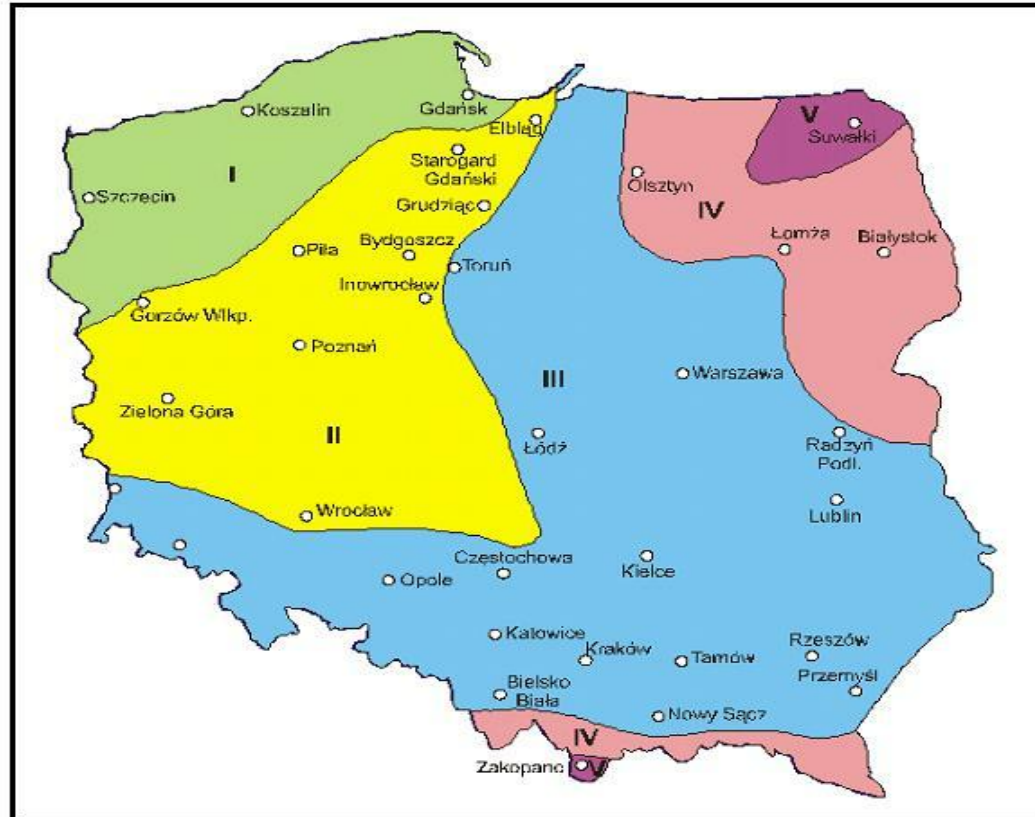
## PN-EN 12831

Projektowana temperatura zewnętrzna wg normy PN-EN 12831 odpowiada obliczeniowej temperaturze powietrza na zewnątrz budynku zgodnie z normą PN-82/B-02403

Strefa klimatyczna	Projektowa temperatura zewnętrzna, °C	Średnia roczna temperatura zewnętrzna, °C
I	-16	7,7
II	-18	7,9
III	-20	7,6
IV	-22	6,9
V	-24	5,5

# Projektowane temperatury zewnętrzne

Jaką przyjmować temperaturę powietrza zewnętrznego?



## TEMPERATURY OBLICZENIOWE ZEWNĘTRZNE:

STREFA I	-16°C
STREFA II	-18°C
STREFA III	-20°C
STREFA IV	-22°C
STREFA V	-24°C



Norma **PN-EN 12831:2006** :

„ Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego”

## Założenia metody

Metoda obliczeniowa została opracowana przy następujących założeniach:

- równomierny rozkład temperatury powietrza i temperatury projektowej (wysokość pomieszczeń nie przekracza 5 m),
- wartości temperatury powietrza i temperatury operacyjnej są takie same (budynki dobrze zaizolowane),
- warunki ustalone (stałe wartości temperatury),
- stałe właściwości elementów budynków w funkcji temperatury,

## **Procedura obliczeniowa w odniesieniu do przestrzeni ogrzewanej**

- a) określenie wartości projektowej temperatury zewnętrznej i średniej rocznej temperatury zewnętrznej;
- b) określenie statusu każdej przestrzeni oraz wartości projektowej temperatury wewnętrznej dla każdej przestrzeni ogrzewanej;
- c) określenie charakterystyk wymiarowych i cieplnych elementów budynku dla wszystkich przestrzeni ogrzewanych i nieogrzewanych;
- d) obliczenie wartości współczynnika projektowej straty ciepła przez przenikanie i następnie projektowej straty ciepła przez przenikanie przestrzeni ogrzewanej;

- e) obliczenie wartości współczynnika projektowej wentylacyjnej straty ciepła i wentylacyjnej straty ciepła przestrzeni ogrzewanej;
- f) obliczenie całkowitej projektowej straty ciepła;
- g) obliczenie nadwyżki mocy cieplnej przestrzeni ogrzewanej, czyli dodatkowej mocy cieplnej, potrzebnej do skompensowania skutków przerw w ogrzewaniu;
- h) obliczenie całkowitego projektowego obciążenia cieplnego przestrzeni ogrzewanej.

## Obliczanie obciążenia cieplnego

---

Dane potrzebne do obliczenia pomieszczenia:

$V_i$  – kubatura pomieszczenia,

$A_k$  – powierzchnia każdej przegrody w pomieszczeniu,

$U_k$  – współczynnik przenikania każdej przegrody w pomieszczeniu (wyliczane z punktu I.),

$\Psi_i$  – liniowy współczynnik przenikania dla każdego mostka cieplnego,

$l_i$  – długość każdego liniowego mostka cieplnego,

$\theta_{int}$  – projektowana temp. wew. pomieszczenia (w innych normach odpowiada  $t_i$ ),

$n_{min}$  – minimalna wartość krotności wymian (na podstawie typu pomieszczenia),

$n_{50}$  – krotność wymian przy różnicy ciśnień 50 Pa (na podstawie typu budynku),

$V_{inf}$  – strumień powietrza infiltrującego przez nieszczelności (wyliczane z wzoru poniżej),

$V_{su}$  – strumień powietrza doprowadzanego do pomieszczenia (w przypadku went. mechanicznej),

$V_{ex}$  – strumień powietrza odprowadzanego z pomieszczenia (wyliczany na podstawie kubatury i krotności wymian lub  $V_{su}$ ),

$\eta_V$  – sprawność instalacji odzysku (na podstawie wybranego typu instalacji went. )

## Średnia roczna temperatura zewnętrzna

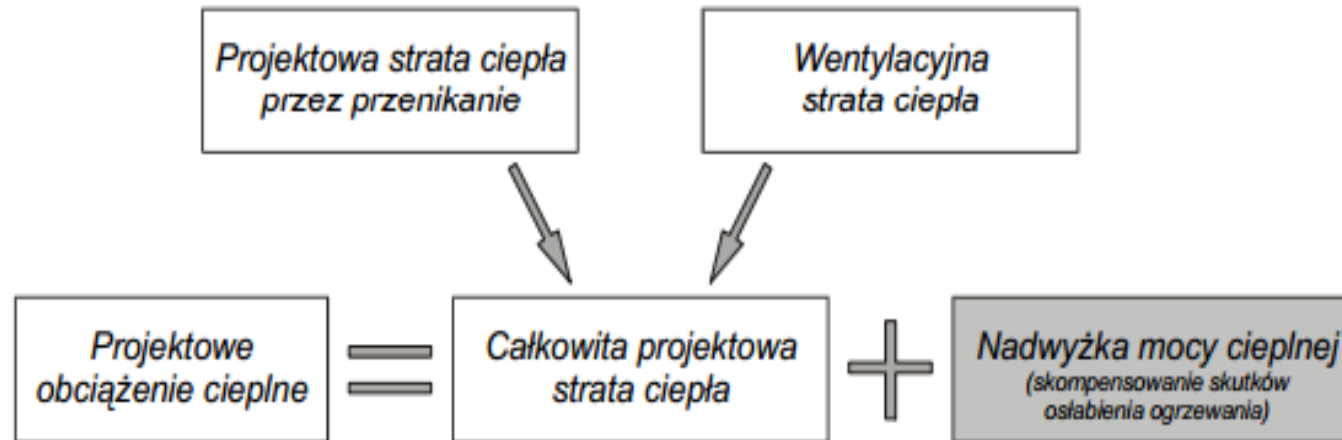
W PN-EN 12831 podano wartości średniej rocznej temperatury zewnętrznej, wykorzystywane do obliczania strat ciepła do gruntu oraz strat ciepła przez przenikanie do przyległych pomieszczeń.

## Współczynnik projektowej straty ciepła

W nowej normie występuje pojęcie „**współczynnik projektowej straty ciepła**”.

Jest to stosunek straty ciepła (przez przenikanie lub wentylacyjnej) do projektowej różnicy temperatury. Jednostką współczynnika projektowej straty ciepła jest W/K.

**Projektowe obciążenie cieplne** – obok całkowitej projektowej straty ciepła – uwzględnia dodatkowo nadwyżkę mocy cieplnej, wymaganą do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania.



[Źródło 5]

Projektowe obciążenie cieplne przestrzeni ogrzewanej oblicza się w następujący sposób:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [W] \quad (1)$$

$\Phi_{T,i}$  – projektowa strata ciepła ogrzewanej przestrzeni przez przenikanie [W];

$\Phi_{V,i}$  – projektowa wentylacyjna strata ciepła ogrzewanej przestrzeni [W];

$\Phi_{RH,i}$  – nadwyżka mocy cieplnej wymagana do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania strefy ogrzewanej [W].

[Źródło 5]

## Całkowita projektowa strata ciepła przestrzeni ogrzewanej

Do obliczania całkowitej projektowej straty ciepła przestrzeni ogrzewanej w podstawowych przypadkach wg normy PN-EN 12831 służy następujący wzór:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [\text{W}]$$

$\Phi_{T,i}$  – projektowa strata ciepła ogrzewanej przestrzeni przez przenikanie [W];

$\Phi_{V,i}$  – projektowa wentylacyjna strata ciepła ogrzewanej przestrzeni [W].

[Źródło 5]

## Projektowa strata ciepła przez przenikanie

Norma PN-EN 12831:2006 podaje następujący wzór do obliczania projektowej straty ciepła przestrzeni ogrzewanej (*i*) przez przenikanie:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad \text{W}$$

$H_{T,ie}$  – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do otoczenia (*e*) przez obudowę budynku, W/K;

$H_{T,iue}$  – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do otoczenia (*e*) przez przestrzeń nieogrzewaną (*u*), W/K;

$H_{T,ig}$  – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do gruntu (*g*) w warunkach ustalonych, W/K;

$H_{T,ij}$  – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do sąsiedniej przestrzeni (*j*) ogrzewanej do znacząco różnej temperatury, tzn. przyległej przestrzeni ogrzewanej w tej samej części budynku lub w przyległej części budynku, W/K;

$\theta_{int,i}$  – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (*i*), °C;

$\theta_e$  – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

[Źródło 5]

$$H_{T,je} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot e_l, \quad \text{W/K}$$

- $A_k$  – powierzchnia elementu budynku ( $k$ ),  $\text{m}^2$ ;
- $U_k$  – współczynnik przenikania ciepła przegrody ( $k$ ),  $\text{W/m}^2\text{K}$ ;
- $\psi_l$  – współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego ( $l$ ),  $\text{W/mK}$ ;
- $l_l$  – długość liniowego mostka cieplnego ( $l$ ) między przestrzenią wewnętrzną a zewnętrzną,  $\text{m}$ ;
- $e_k, e_l$  – współczynniki korekcyjne ze względu na orientację, z uwzględnieniem wpływów klimatu; takich jak: różne izolacje, absorpcja wilgoci przez elementy budynku, prędkość wiatru i temperatura powietrza, w przypadku gdy wpływy te nie zostały wcześniej uwzględnione przy określaniu wartości współczynnika  $U_k$

Orientacyjne wartości współczynników korekcyjnych podane są w załączniku krajowym do normy PN-EN 12831:2006:  $e_k=1$ ,  $e_l = 1$

[Źródło 5]

## Obliczanie obciążenia cieplnego

---

W obliczeniach strat ciepła przez przenikanie, mostki cieplne można uwzględnić metodą uproszczoną. Polega ona na przyjęciu skorygowanej wartości współczynnika przenikania ciepła

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb}, \quad \text{W/m}^2\text{K}$$

- $U_{kc}$  – skorygowany współczynnik przenikania ciepła elementu budynku ( $k$ ), z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych,  $\text{W/m}^2\text{K}$ ;
- $U_k$  – współczynnik przenikania ciepła elementu budynku ( $k$ ),  $\text{W/m}^2\text{K}$ ;
- $\Delta U_{tb}$  – współczynnik korekcyjny w zależności od typu elementu budynku,  $\text{W/m}^2\text{K}$ .

[Źródło 5]

Współczynnik korekcyjny  $\Delta U_{tb}$  dla pionowych elementów budynku [20]

Liczba stropów przecinających izolację	Liczba przecinanych ścian	$\Delta U_{tb}$ , W/m <sup>2</sup> K	
		kubatura przestrzeni $\leq 100 \text{ m}^3$	kubatura przestrzeni $> 100 \text{ m}^3$
0	0	0,05	0
	1	0,10	0
	2	0,15	0,05
1	0	0,20	0,10
	1	0,25	0,15
	2	0,30	0,20
2	0	0,25	0,15
	1	0,30	0,20
	2	0,35	0,25

[Źródło 5]

## Obliczanie obciążenia cieplnego

Współczynnik korekcyjny  $\Delta U_{tb}$  dla poziomych elementów budynku [20]

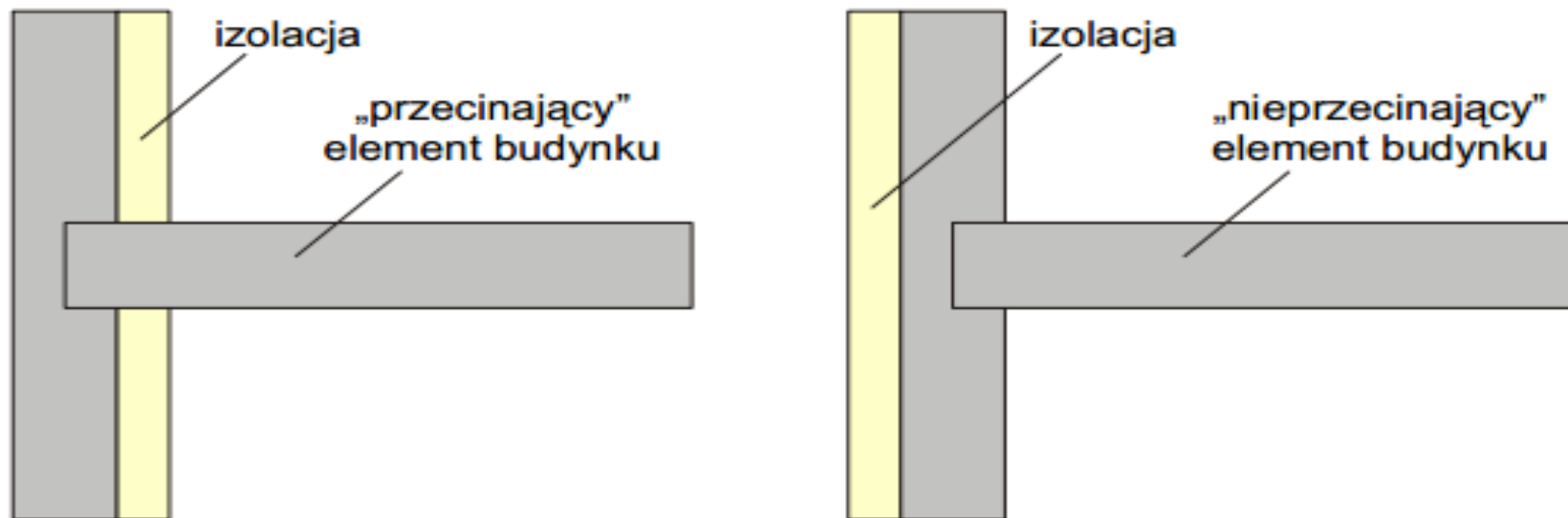
Element budynku			$\Delta U_{tb}$ , W/m <sup>2</sup> K
Lekka podłoga (drewno, metal itd.)			0
Ciężka podłoga (beton, itd.)	Liczba boków będących w kontakcie ze środowiskiem zewnętrznym	1	0,05
		2	0,10
		3	0,15
		4	0,20

Współczynnik korekcyjny  $\Delta U_{tb}$  dla otworów [20]

Powierzchnia elementu budynku	$\Delta U_{tb}$ , W/m <sup>2</sup> K
0-2 m <sup>2</sup>	0,50
>2 - 4 m <sup>2</sup>	0,40
>4 - 9 m <sup>2</sup>	0,30
>9 - 20 m <sup>2</sup>	0,20
>20m <sup>2</sup>	0,10

[Źródło 5]

## Obliczanie obciążenia cieplnego



Element budynku „przecinający” i „nieprzecinający” izolację.

[Źródło 5]

## Straty ciepła przez przestrzeń nieogrzewaną

W normie rozpatrzono wymianę ciepła między przestrzenią ogrzewaną (i) i otoczeniem (e) poprzez przestrzeń nieogrzewaną (u).

Współczynnik projektowej straty ciepła oblicza się w tym przypadku w sposób następujący:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot b_u, \quad \text{W/K}$$

$A_k$  – powierzchnia elementu budynku ( $k$ ) w metrach kwadratowych,  $\text{m}^2$ ;

$U_k$  – współczynnik przenikania ciepła przegrody ( $k$ ),  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ;

$b_u$  – współczynnik redukcji temperatury, uwzględniający różnicę między temperaturą przestrzeni nieogrzewanej i projektową temperaturą zewnętrzną;

$\psi_l$  – współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego ( $l$ ),  $\text{W}/\text{mK}$ ;

$l_l$  – długość liniowego mostka cieplnego ( $l$ ) między przestrzenią wewnętrzną a zewnętrzną, m.

[Źródło 5]

Współczynnik „ $b_u$ ” może być określony w jeden z następujących sposobów:

Jeśli temperatura przestrzeni nieogrzewanej jest znana

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e},$$

$\theta_{int,i}$  – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej ( $i$ ), °C;

$\theta_u$  – projektowa temperatura przestrzeni nieogrzewanej, °C;

$\theta_e$  – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

## Obliczanie obciążenia cieplnego

Przestrzeń nieogrzewana	$b_u$
<b>Pomieszczenie</b>	
tylko z 1 ścianą zewnętrzną	0,4
z przynajmniej 2 ścianami zewnętrznymi bez drzwi zewnętrznych	0,5
z przynajmniej 2 ścianami zewnętrznymi z drzwiami zewnętrznymi (np. hale, garaże)	0,6
z trzema ścianami zewnętrznymi (np. zewnętrzna klatka schodowa)	0,8
<b>Podziemie<sup>1</sup></b>	
bez okien/drzwi zewnętrznych	0,5
z oknami/drzwiami zewnętrznymi	0,8
<b>Poddasze</b>	
przestrzeń poddasza silnie wentylowana (np. pokrycie dachu z dachówek lub innych materiałów tworzących pokrycie nieciągłe) bez deskowania pokrytego papą lub płyt łączonych brzegami	1,0
inne nieizolowane dachy	0,9
izolowany dach	0,7
<b>Wewnętrzne przestrzenie komunikacyjne</b> (bez zewnętrznych ścian, krotkość wymiany powietrza mniejsza niż $0,5 \text{ h}^{-1}$ )	0
<b>Swobodnie wentylowane przestrzenie komunikacyjne</b> (powierzchnia otworów/kubatura powierzchni $> 0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3$ )	1,0
<b>Przestrzeń podpodłogowa</b> (podłoga nad przestrzenią nieprzechodnią)	0,8
<b>Przejścia lub bramy przelotowe nieogrzewane, obustronnie zamknięte</b>	0,9

[Źródło 5]

## Straty ciepła między przestrzeniami ogrzewanymi do różnych wartości temperatury

Współczynnik  $H_{T,ij}$  obejmuje ciepło przekazywane przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do sąsiedniej przestrzeni (j) ogrzewanej do znacząco innej temperatury. Przestrzenią sąsiednią może być przyległe pomieszczenie w tym samym mieszkaniu (np. łazienka), pomieszczenie należące do innej części budynku (np. innego mieszkania) lub pomieszczenie należące do przyległego budynku, które może być nieogrzewane.

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k, \quad \text{W/K}$$

$f_{ij}$  – współczynnik redukcyjny temperatury, uwzględniający różnicę temperatury przyległej przestrzeni i projektowej temperatury zewnętrznej;

$A_k$  – powierzchnia elementu budynku [m<sup>2</sup>];

$U_k$  – współczynnik przenikania ciepła przegrody [W/m<sup>2</sup>K].

[Źródło 5]

Współczynnik redukcyjny temperatury określony jest następującym równaniem:

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{przyległej\ przestrzeni}}{\theta_{int,i} - \theta_e},$$

$\theta_{int,i}$  – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej [°C];

$\theta_{przyległej\ przestrzeni}$  – projektowa temperatura przestrzeni przyległej [°C];

$\theta_e$  – projektowa temperatura zewnętrzna [°C].

[Źródło 5]

Wartości orientacyjne temperatury przyległych przestrzeni ogrzewanych podano w tabeli, przy czym:

$\theta_{m,e}$  – roczna średnia temperatura zewnętrzna [°C].

### Temperatura przyległych przestrzeni ogrzewanych [20]

Ciepło przekazywane z przestrzeni ogrzewanej ( <i>i</i> ) do:	$\vartheta_{\text{przyległej przestrzeni}}$ °C
przyległego pomieszczenia w tej samej jednostce budynku (np. w mieszkaniu)	powinna być określona na podstawie przeznaczenia pomieszczenia
sąsiedniego pomieszczenia, należącego do innej jednostki budynku (np. do innego mieszkania)	$\frac{\theta_{\text{int},i} + \theta_{m,e}}{2}$
sąsiedniego pomieszczenia, należącego do oddzielnego budynku (ogrzewanego lub nieogrzewanego)	$\vartheta_{m,e}$

[Źródło 5]

## Straty ciepła przez grunt

Strumień strat ciepła do gruntu może być obliczony w sposób:

- szczegółowy wg normy EN ISO 13370,
- uproszczony, opisany w normie PN-EN 12831:2006.

Metoda uproszczona polega na wykorzystaniu tabel lub wykresów, sporządzonych dla wybranych przypadków.

## Obliczanie obciążenia cieplnego

Wg normy PN-EN 12831:2006 współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do gruntu (g) w warunkach ustalonych oblicza się w następujący sposób:

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

- $f_{g1}$  – współczynnik korekcyjny, uwzględniający wpływ rocznych wahań temperatury zewnętrznej (zgodnie z załącznikiem krajowym do normy PN-EN 12831:2006 wartość orientacyjna wynosi 1,45);
- $f_{g2}$  – współczynnik redukcji temperatury, uwzględniający różnicę między średnią roczną temperaturą zewnętrzną i projektową temperaturą zewnętrzną;
- $A_k$  – powierzchnia elementu budynku (k) stykająca się z gruntem, m<sup>2</sup>;
- $U_{equiv,k}$  – równoważny współczynnik przenikania ciepła elementu budynku (k); W/m<sup>2</sup>K;
- $G_w$  – współczynnik uwzględniający wpływ wody gruntowej.

[Źródło 5]

Współczynnik redukcji temperatury wynosi:

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

$\theta_{int,i}$  – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej [°C];

$\theta_e$  – projektowa temperatura zewnętrzna [°C],

$\theta_{m,e}$  – średnioroczna temperatura zewnętrzna [°C],

Załącznik krajowy do normy PN-EN 12831:2006 podaje dwie wartości orientacyjne współczynnika  $G_w$

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

$G_w = 1,00$  w pozostałych przypadkach

[Źródło 5]

## Wymiar charakterystyczny podłogi

Równoważny współczynnik przenikania ciepła dla podłogi na gruncie wyznacza się w zależności od wymiaru charakterystycznego podłogi  $B'$  (m).

Wymiar  $B'$  to pole powierzchni podłogi podzielone przez połowę obwodu:

$$B' = A/0,5P$$

A - pole powierzchni podłogi, m<sup>2</sup>;

P - obwód podłogi (uwzględniający tylko ściany zewnętrzne), m.

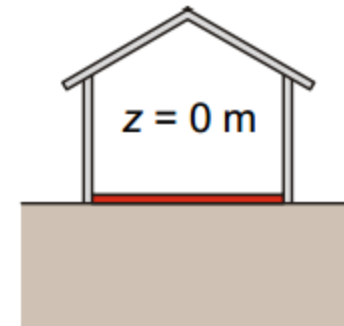
Obwód podłogi P uwzględnia długość całkowitą ścian zewnętrznych, oddzielających ogrzewany budynek od otoczenia zewnętrznego lub nieogrzewanej przestrzeni, leżącej poza izolowaną obudową budynku.

[Źródło 5]

## Obliczanie obciążenia cieplnego

Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi na poziomie terenu

Wartość $B'$ m	Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi $U_{equiv,bf}$ (dla $z = 0$ m) $W/m^2K$				
	bez izolacji	$U_{podłogi} = 2,0 W/m^2K$	$U_{podłogi} = 1,0 W/m^2K$	$U_{podłogi} = 0,5 W/m^2K$	$U_{podłogi} = 0,25 W/m^2K$
2	1,30	0,77	0,55	0,33	0,17
4	0,88	0,59	0,45	0,30	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	0,30	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

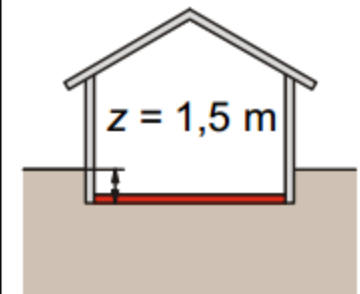


[Źródło 5]

## Obliczanie obciążenia cieplnego

Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi ogrzewanego podziemia z płytą podłogi położoną 1,5 m poniżej poziomu terenu

Wartość $B'$ m	Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi $U_{equiv,bf}$ (dla $z = 1,5$ m) $W/m^2K$				
	bez izolacji	$U_{podłogi} = 2,0 W/m^2K$	$U_{podłogi} = 1,0 W/m^2K$	$U_{podłogi} = 0,5 W/m^2K$	$U_{podłogi} = 0,25 W/m^2K$
2	0,86	0,58	0,44	0,28	0,16
4	0,64	0,48	0,38	0,26	0,16
6	0,52	0,40	0,33	0,25	0,15
8	0,44	0,35	0,29	0,23	0,15
10	0,38	0,31	0,26	0,21	0,14
12	0,34	0,28	0,24	0,19	0,14
14	0,30	0,25	0,22	0,18	0,13
16	0,28	0,23	0,20	0,17	0,12
18	0,25	0,22	0,19	0,16	0,12
20	0,24	0,20	0,18	0,15	0,11



[Źródło 5]

## Wymiary

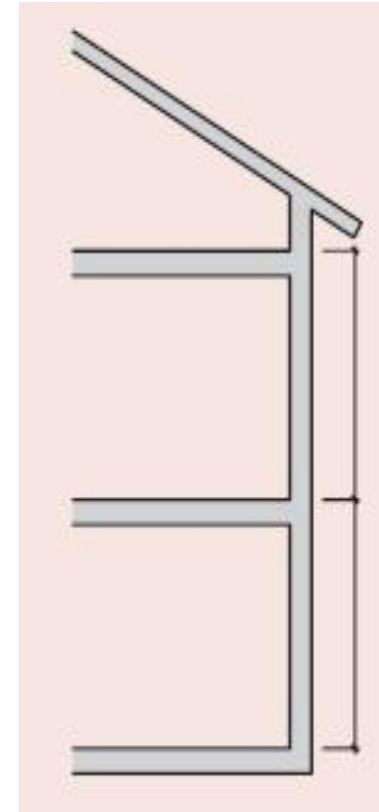
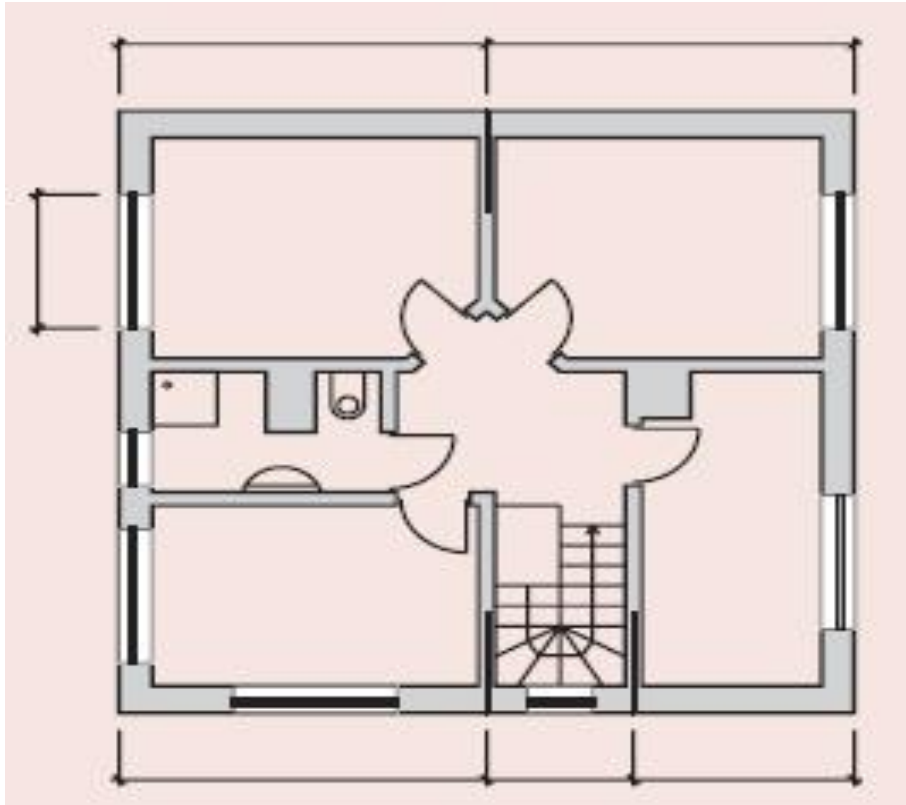
Zgodnie z załącznikiem krajowym do normy PN-EN 12831:2006, podczas obliczania strat ciepła przez przenikanie należy stosować **wymiary zewnętrzne**, czyli wymiary mierzone po zewnętrznej stronie budynku.

W czasie określania wymiarów poziomych uwzględnia się połowę grubości ograniczającej ściany wewnętrznej i całą grubość ograniczającej ściany zewnętrznej.

Natomiast wysokość ściany mierzy się pomiędzy powierzchniami podłóg.

## Obliczanie obciążenia cieplnego

Zgodnie z załącznikiem krajowym do normy PN-EN 12831:2006, przy obliczaniu strat ciepła przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne należy stosować wymiary zewnętrzne, czyli wymiary mierzone po zewnętrznej stronie budynku. Wysokość ściany mierzy się pomiędzy powierzchniami podłóg.



[Źródło 5]

## Wentylacyjna strata ciepła

Wzór do obliczania projektowej wentylacyjnej straty ciepła przestrzeni ogrzewanej

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad W$$

$H_{V,i}$  – współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła, W/K;

$\theta_{int,i}$  – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;

$\theta_e$  – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i, \quad W/K$$

$\dot{V}_i$  = strumień objętości powietrza wentylacyjnego przestrzeni ogrzewanej (i), m<sup>3</sup>/h.

[Źródło 5]

## Wentylacyjna strata ciepła

W przypadku wentylacji naturalnej, jako wartość strumienia powietrza wentylacyjnego przyjmuje się wartość większą z następujących dwóch wielkości:

- strumienia powietrza na drodze infiltracji,
- minimalnej wartości strumienia powietrza wentylacyjnego, wymaganej ze względów higienicznych.

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i}) \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (6)$$

[Źródło 5]

## Wentylacyjna strata ciepła

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i, \quad \text{m}^3/\text{h}$$

- $V_i$  – kubatura przestrzeni ogrzewanej ( $i$ ) (obliczona na podstawie wymiarów wewnętrznych),  $\text{m}^3$ ;
- $n_{50}$  – krotność wymiany powietrza wewnętrznego, wynikająca z różnicy ciśnienia 50 Pa między wnętrzem a otoczeniem budynku, z uwzględnieniem wpływu nawiewników powietrza,  $\text{h}^{-1}$ ;
- $e_i$  – współczynnik osłonięcia
- $\varepsilon_i$  – współczynnik poprawkowy uwzględniający wzrost prędkości wiatru w zależności od wysokości położenia przestrzeni ogrzewanej ponad poziomem terenu

[Źródło 5]

## Wentylacyjna strata ciepła

Krotność wymiany powietrza dotycząca całego budynku

Konstrukcja	$n_{50}$ $h^{-1}$		
	Stopień szczelności obudowy budynku (jakość uszczelek okiennych)		
	wysoki (wysoka jakość uszczelek w oknach i drzwiach)	średni (okna z podwójnym oszkleniem, uszczelki standardowe)	niski (pojedynczo oszklone okna, bez uszczelek)
budynki jednorodzinne	< 4	4–10	> 10
inne mieszkania lub budynki	< 2	2–5	> 5

Współczynnik poprawkowy ze względu na wysokość

Wysokość przestrzeni ogrzewanej ponad poziomem terenu (wysokość środka pomieszczenia ponad poziomem terenu)	$\epsilon$
0 – 10 m	1,0
>10 – 30 m	1,2
>30 m	1,5

[Źródło 5]

## Wentylacyjna strata ciepła

### Współczynnik osłonięcia.

Klasy osłonięcia	$e$		
	Ilość odstoniętych otworów w przestrzeni ogrzewanej (okna i drzwi)		
	0	1	>1
Brak osłonięcia (budynek w wietrznej przestrzeni, wysokie budynki w centrach miast)	0	0,03	0,05
Średnie osłonięcie (budynki na prowincji z drzewami lub innymi budynkami wokół nich, przedmieścia)	0	0,02	0,03
Dobrze osłonięte (budynki średnio wysokie w centrach miast, budynki w lasach)	0	0,01	0,02

[Źródło 5]

## Wentylacyjna strata ciepła

Minimalny strumień objętości powietrza, wymagany ze względów higienicznych, dopływający do przestrzeni ogrzewanej określa się w sposób następujący:

$$\dot{V}_{\min,i} = n_{\min} \cdot V_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (7)$$

$n_{\min}$  – minimalna krotność wymiany powietrza na godzinę [1/h];

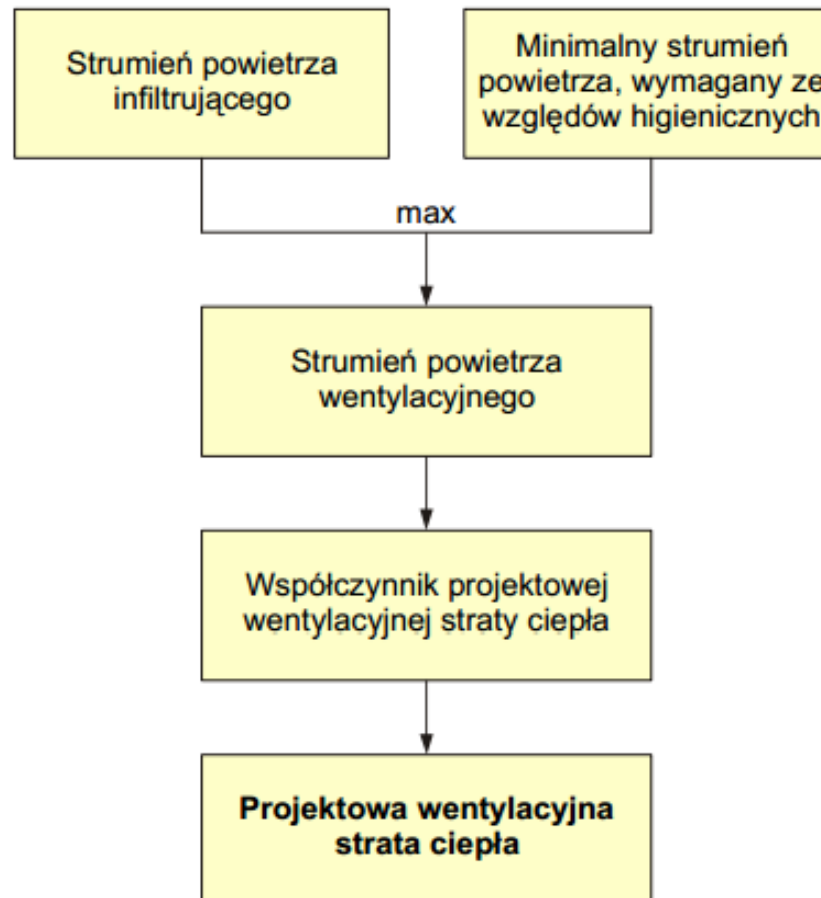
$V_i$  – kubatura przestrzeni ogrzewanej (obliczona na podstawie wymiarów wewnętrznych) [m<sup>3</sup>].

Minimalna krotność wymiany powietrza zewnętrznego

Typ pomieszczenia	$n_{\min}$ h <sup>-1</sup>
Pomieszczenie mieszkalne (orientacyjnie)	0,5
Kuchnia lub łazienka z oknem	0,5
Pokój biurowy	1,0
Sala konferencyjna, sala lekcyjna	2,0

[Źródło 5]

## Wentylacyjna strata ciepła



## Projektowane obciążenie cieplne

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [W] \quad (1)$$

Nadwyżka mocy cieplnej do skompensowania skutków osłabienia dla przestrzeni ogrzewanej (i) może być określona w następujący sposób

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH}, \quad W$$

$A_i$  – wewnętrzna powierzchnia podłogi przestrzeni ogrzewanej (i), m<sup>2</sup>;

$f_{RH}$  – współczynnik nagrzewania

[Źródło 5]

**Wydajność cieplną grzejnika określa się z zależności:**

$$Q_{grz} = (Q_{pom} - Q_{pp} - Q_p) \times \beta_T \times \beta_U \times \beta_p \times \beta_o \times \beta_s$$

gdzie:

$Q_{grz}$  – zapotrzebowanie na moc cieplną grzejnika

$Q_{pom}$  – straty ciepła w pomieszczeniu

$Q_{pp}$  – wydajność ciepła „pionopiętra” pochodząca od rur pionu c.o. ( w przypadku braku pionów c.o. w pomieszczeniu lub ich zaizolowaniu =0) [W]

$Q_p$  – zyski ciepła od innych źródeł ciepła [W]

$\beta_T$  – współczynnik poprawkowy uwzględniający wyposażenie grzejnika w zawór termostatyczny (1,0 bez zaworu, 1,15 z zaworem)

$\beta_U$  – współczynnik uwzględniający miejsce usytuowania grzejnika (1,0 – grzejnik umieszczony pod oknem na ścianie zewnętrznej, 1,1 – grzejnik umieszczony na ścianie wewnętrznej przeciwległej do ściany zewnętrznej z oknem, 1,2-1,25 – grzejnik umieszczony na ścianie wewnętrznej pod stropem)

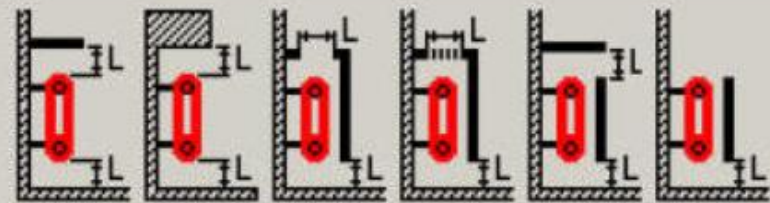
$\beta_p$  – współczynnik poprawkowy uwzględniający sposób podłączenia grzejnika innego niż zalecane przez producenta (np. grzejniki PURMO podłączane z boku wymagają zasilania od góry a powrotu na dole, odwrotne podłączenia powoduje spadek mocy o 50% czyli  $\beta_p=2,0$  , zasilanie siodłowe spadek o 10-15%, zasilanie grzejników dolne wykonane odwrotnie – spadek mocy do 60%)

$\beta_o$  – współczynnik uwzględniający wpływ osłonięcia grzejnika według tabeli

[[www.instani.pl](http://www.instani.pl)]

## Dobór grzejnika

$\beta_0$  – współczynnik uwzględniający wpływ osłonięcia grzejnika według tabeli



$L$ [mm]						
50			1.30	1.40	1.35	1.05
70	1.05	1.10	1.25	1.35	1.30	1.05
100	1.05	1.05	1.20	1.20	1.20	1.00
$\geq 150$	1.00	1.00	1.10	1.10	1.10	1.00

Współczynnik osłonięcia grzejnika

[[www.instani.pl](http://www.instani.pl)]

## Dobór grzejnika

Dodatek  **$\beta_S$**  uwzględniający wpływ wychłodzenia wody w dwururowej sieci rozdzielczej z nieizolowanych rur stalowych. W przypadku rur izolowanych dodatek jest zmniejszony o połowę. N oznacza liczbę kondygnacji w budynku.

N	Kondygnacja budynku															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1.00															
2	1.00	1.05														
3	1.00	1.03	1.08													
4	1.00	1.02	1.04	1.09												
5	1.00	1.01	1.03	1.05	1.10											
6	1.00	1.01	1.02	1.04	1.06	1.11										
7	1.00	1.01	1.02	1.03	1.05	1.07	1.12									
8	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.08	1.13								
9	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	1.06	1.09	1.14							
10	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.07	1.09	1.14						
11	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.05	1.07	1.10	1.15					
12	1.00	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.05	1.05	1.08	1.10	1.15				
13	1.00	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.03	1.04	1.05	1.06	1.08	1.11	1.16			
14	1.00	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.07	1.08	1.11	1.16		
15	1.00	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.09	1.11	1.16	
16	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.06	1.07	1.09	1.12	1.17

[www.instani.pl]

Temat :

## Proces spalania paliw



# Literatura

- 1) Hermann Recknagel, Eberhard Sprenger , Ernst Schramek :  
„Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda,
- 2) Ryszard Tytko: „Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej”,
- 3) Albers Joachim „Systemy centralnego ogrzewania i wentylacji.  
Poradnik dla projektantów i instalatorów”,
- 4) Halina Koczyk: „Ogrzewnictwo praktyczne”,
- 5) [www.instsani.pl](http://www.instsani.pl),
- 6) [www.viessmann.pl](http://www.viessmann.pl),
- 7) [www.pgnig.pl](http://www.pgnig.pl)

## Spalanie paliw

Rozwój techniki, poziomu życia oraz szybki wzrost gospodarczy państw zwiększył zapotrzebowanie na energię elektryczną i ciepłą.

Aby zaspokoić tak duży popyt, wzrosło zużycie paliw kopalnych.

Większość produkowanej w elektrowniach energii elektrycznej oraz ciepłej w elektrociepłowniach pochodzi z paliw kopalnych - węgla, ropy i gazu, których spalanie uwalnia olbrzymie ilości dwutlenku węgla.

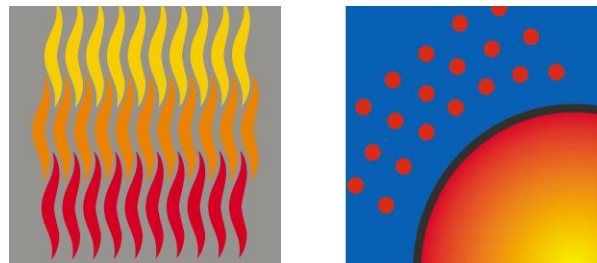
Na przykład stężenie dwutlenku węgla wzrosło o 25 % w ciągu ostatnich 20 lat.



**Paliwo** – substancja wydzielająca przy intensywnym utlenianiu duże ilości ciepła.

Energia uzyskana ze spalania paliwa wykorzystywana jest:

- przez maszynę lub zespół maszyn i urządzeń do produkcji energii mechanicznej,
- przez kocioł do celów grzewczych lub procesów technologicznych.



## Zjawiska fizyczne i chemiczne - proces spalania

---

Reakcję chemiczną w której bierze udział tlen i produktami reakcji są tlenki nazywamy **utlenianiem**.

### SPALANIE

to proces chemicznego łączenia się paliw z tlenem zawartym w powietrzu.

Zjawisku temu towarzyszy płomień i wysoka temperatura.



## Zjawiska fizyczne i chemiczne - proces spalania

---

Ciepło które zostaje uwolnione w procesie spalania, wykorzystujemy do ogrzania mieszkań, ugotowania posiłków i napędu różnego rodzaju pojazdów.

Niezbędne warunki procesu spalania:

- musi być paliwo,
- osiągnięcie temperatury zapłonu, w której następuje utlenianie składników paliwa,
- dostarczenie tlenu w ilości zapewniającej całkowite utlenienie pierwiastków i związków palnych.

## Zapotrzebowanie tlenu i powietrza

Warunkiem nieodzownym zupełnego spalania paliwa jest dokładne wymieszanie go z powietrzem.

W tym celu konieczne jest doprowadzenie powietrza z pewnym nadmiarem.

$$\lambda = \frac{L}{L_t}$$

## Nadmiar powietrza

Określony jest współczynnikiem nadmiaru  $\lambda$  wyraża on stosunek rzeczywistej doprowadzonej ilości powietrza  $L$  do teoretycznego zapotrzebowania powietrza  $L_t$

## SPALANIE ZUPEŁNE

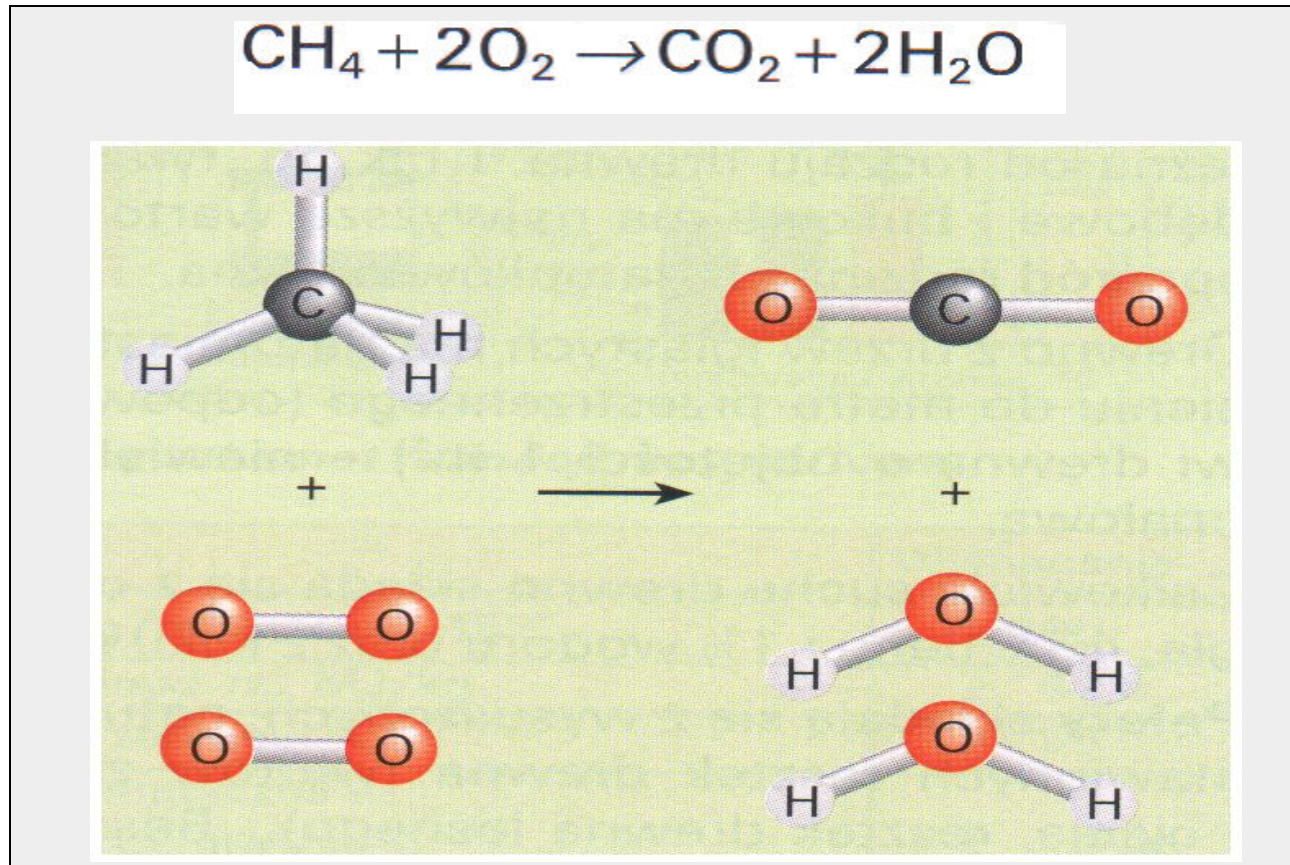
polega na całkowitym spalaniu gazowych składników palnych oraz węgla na  $\text{CO}_2$  i parę wodną .

Ilość ciepła, jakie otrzymamy ze spalenia 1 kg paliwa, jest wówczas największa.

O spalaniu zupełnym gazu mówimy gdy spaliny zawierają

- $\text{CO}_2$ ,
- $\text{H}_2\text{O}$ ,
- $\text{N}_2$ ,
- $\text{O}_2$

## SPALANIE ZUPEŁNE



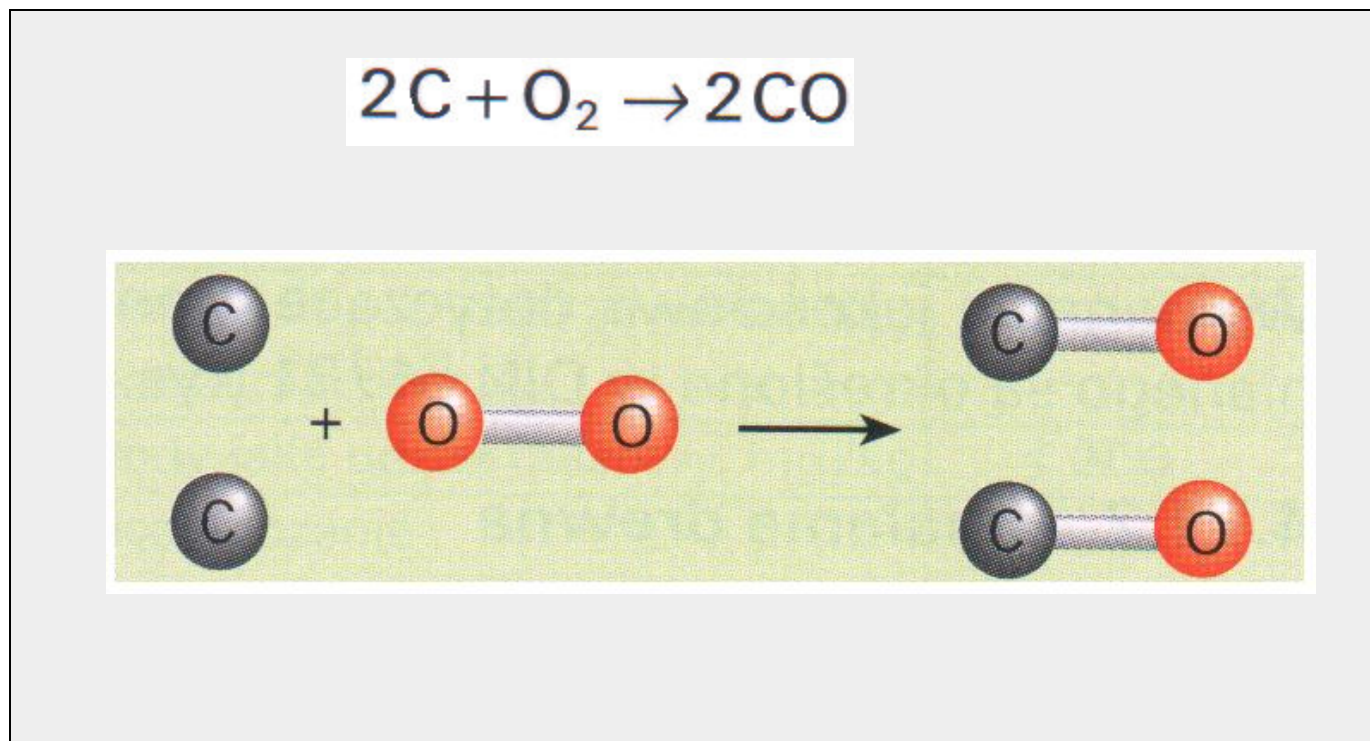
Źródło [ 3]

## SPALANIE NIEZUPEŁNE

polega na nie spalaniu gazowych składników palnych lub też na częściowym utlenianiu węgla na CO zamiast na CO<sub>2</sub>.

Zjawisko spalania niezupełnego wynika z niedostatecznej ilości tlenu doprowadzanego do procesu spalania lub też złego wymieszania z powietrzem

## SPALANIE NIEZUPEŁNE



Źródło [ 3]

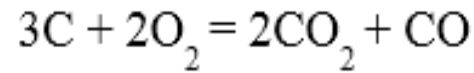
## Zjawiska fizyczne i chemiczne - proces spalania

---

Spalanie zupełne na przykładzie węgla  $C + O_2 = CO_2$

Spalanie niezupełne  $2C + O_2 = 2CO$

W praktyce w spalinach występują jednocześnie oba te składniki np.



Prawidłowym jest spalanie całkowite i zupełne co oznacza, iż wszystkie palne składniki paliwa uległy spalaniu do postaci ostatecznej i w spalinach nie ma już palnych cząstek.

## WARTOŚĆ OPAŁOWA H i

To ilość ciepła powstającego wskutek całkowitego i zupełnego spalania 1 kg paliwa stałego lub ciekłego, albo 1 m<sup>3</sup> paliwa gazowego , przy założeniu, że produkty spalania zostaną ochłodzone do temperatury początkowej, natomiast woda powstająca w czasie spalania pozostanie w postaci pary

$\text{kJ/kg}$ ,  $\text{kJ/ m}^3$

$\text{kWh/kg}$ ,  $\text{kWh/ m}^3$

Przykładowe wartości opałowe paliw:

- węgiel – 21,8 MJ/kg
- olej – 42,3 MJ/kg
- gaz ziemny – 36,0 MJ/m<sup>3</sup>

Minimalne wartości opałowe gazu:

- 24,0 MJ/m<sup>3</sup> – gaz typu Ls (GZ-35)
- 27,0 MJ/m<sup>3</sup> – gaz typu Lw (GZ-41,5)
- 31,0 MJ/m<sup>3</sup> – gaz typu E (GZ-50)

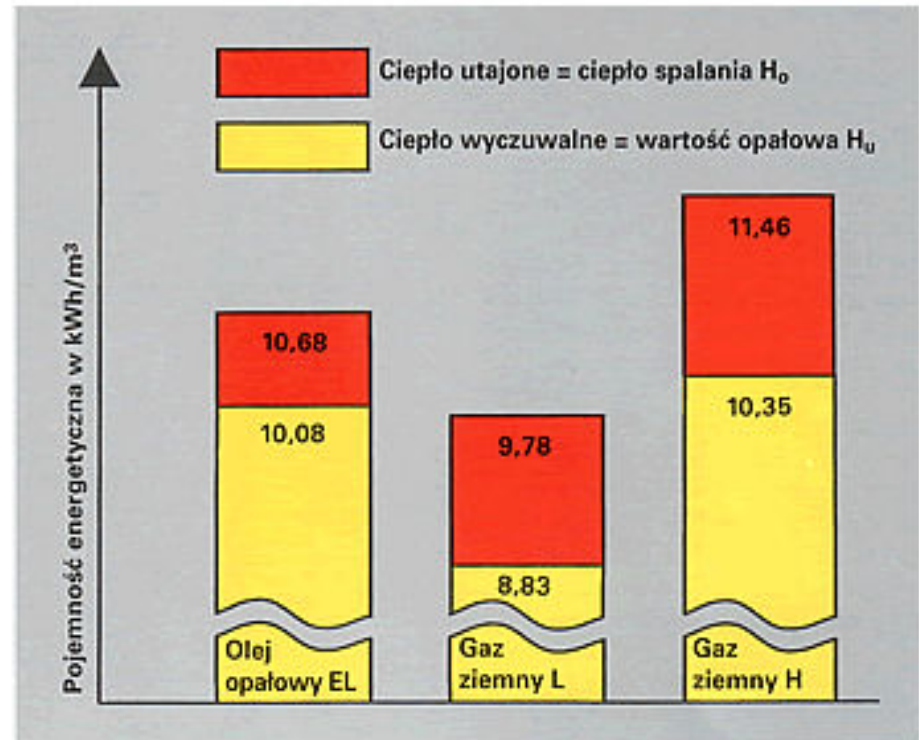
## CIEPŁO SPALANIA $H_s$

jest to energia odniesiona do ilości paliwa, która wydzieli się przy zupełnym spalaniu materiału, jeśli powstała podczas spalania para wodna ulegnie kondensacji i odda swoje ciepło parowania.

## Zjawiska fizyczne i chemiczne - proces spalania

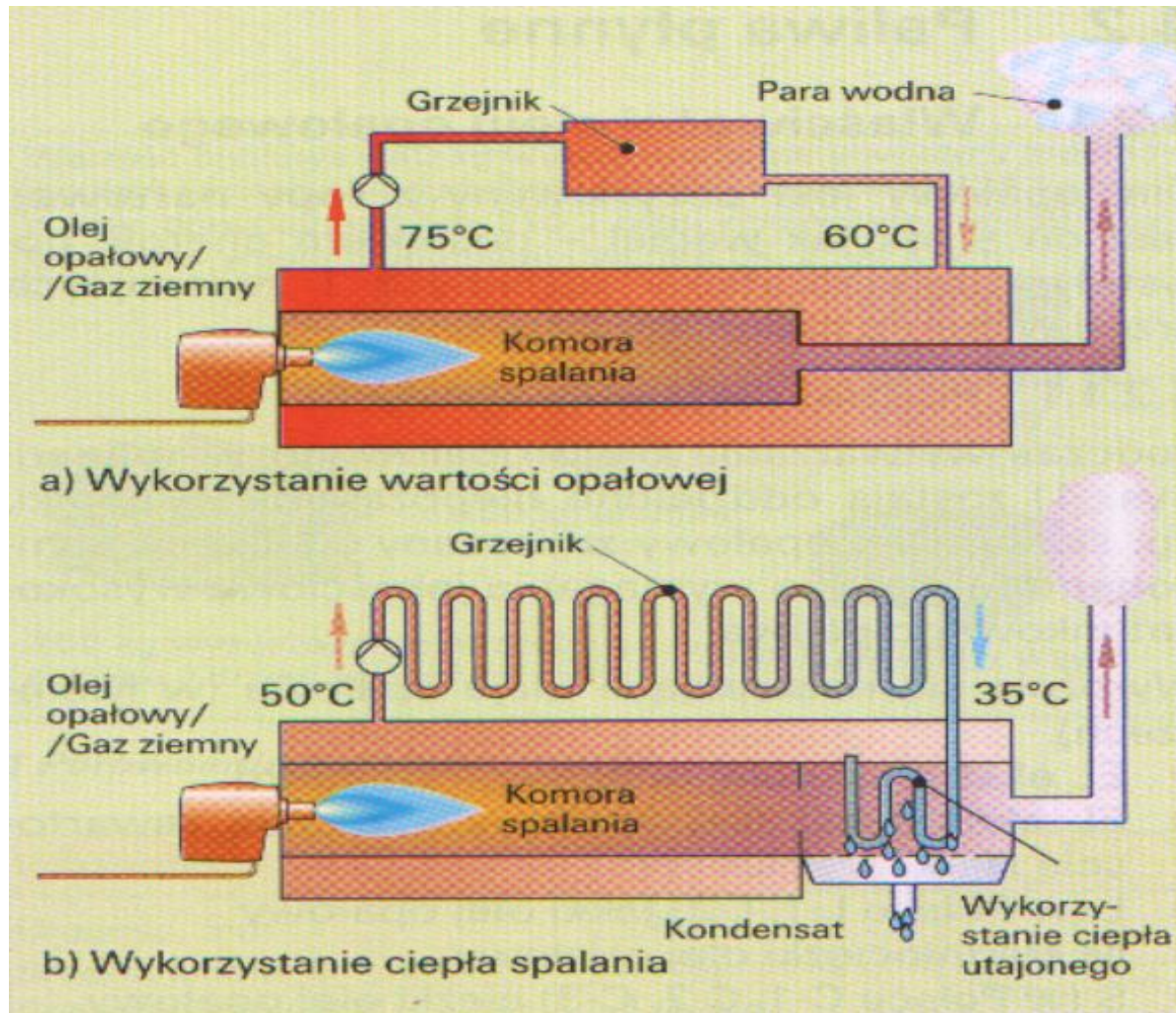
Ponieważ spaliny mają zazwyczaj temperaturę wyższą od  $100^{\circ}\text{C}$  zawarta w nich wilgoć nie ulega skraplaniu.

Ilość ciepła zmniejszona w stosunku do  $[H_s]$ , o ciepło parowania wody zawarte w spalinach nazywa się wartością opałową paliw  $[H_i]$ .



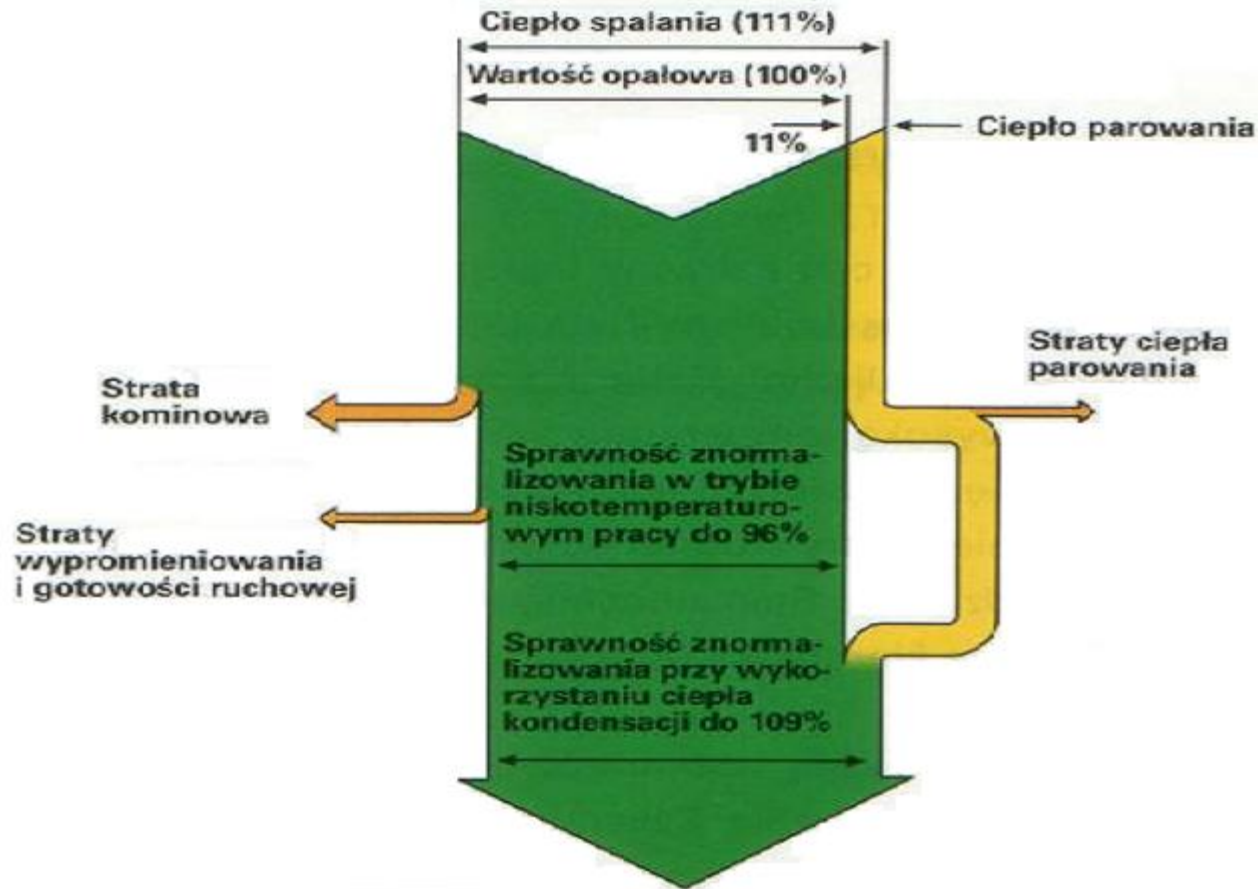
Źródło [ 3]

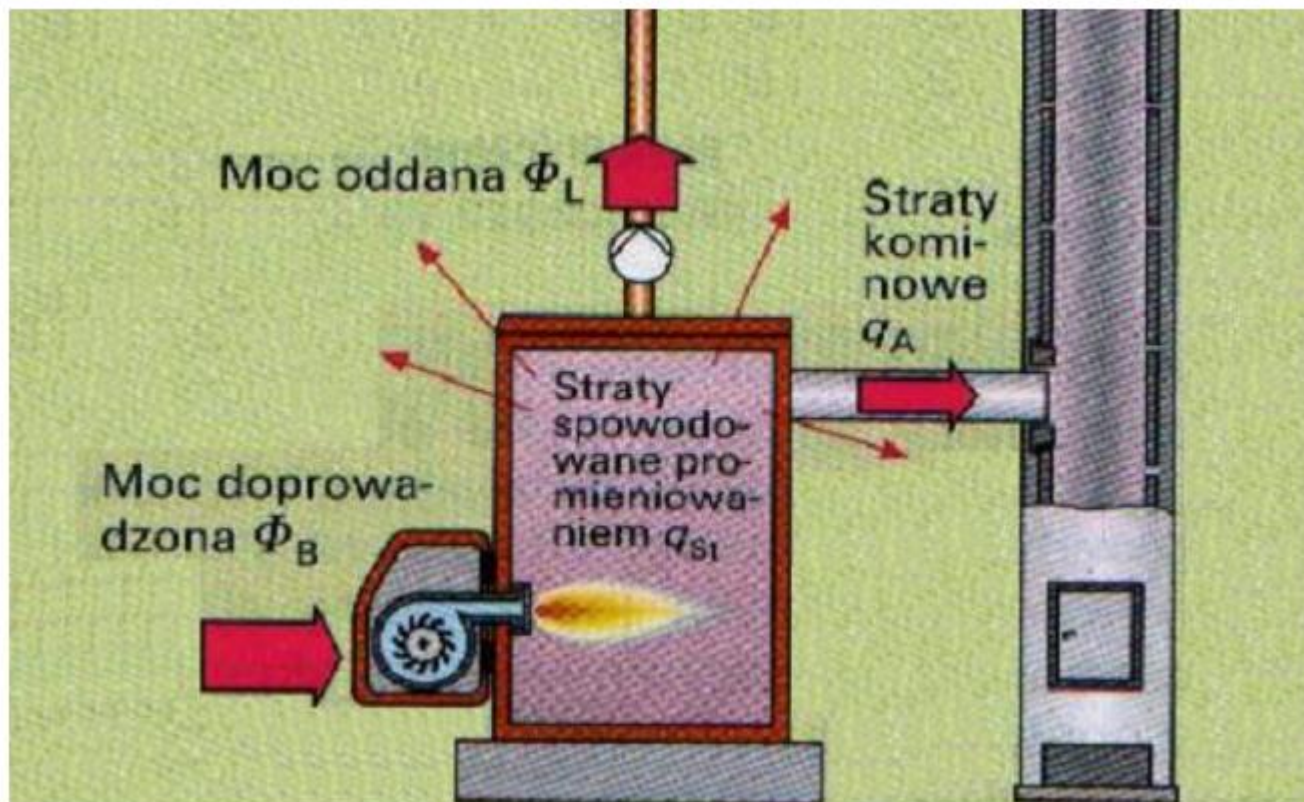
# Zjawiska fizyczne i chemiczne - proces spalania



Źródło [ 3]

# Zjawiska fizyczne i chemiczne - proces spalania





Źródło [ 3]

## STRATY SPALANIA

- **straty kominowe** – spowodowane przez gorące spaliny odlotowe unoszące swe ciepło przez komin na zewnątrz,
- **straty niecałkowitego spalania** – strata ciepła w wyniku niedopalenia stałych substancji palnych w popiele,
- **straty niezpełnego spalania** – wynikające z mniejszej ilości ciepła wywiązującego się w czasie utleniania węgla na tlenek węgla,
- **straty przez promieniowanie, konwekcję i przewodzenie**

## Strata kominowa

– strata ciepła z uchodzącymi z kotła gorącymi spalinami, najczęściej przyjmuje wartości w zakresie 10-14%, w zależności od temperatury spalin oraz współczynnika nadmiaru powietrza ( zawartości tlenu w spalinach).

W przypadkach nieprawidłowej eksploatacji kotła (np. wytwarzania nadmiernej ilości spalin w wyniku spalania paliwa ze zbyt dużym nadmiarem powietrza lub zbyt wysokiej temperatury spalin wylotowych w wyniku nadmiernej wydajności paleniska w stosunku do wydajności cieplnej wymiennika ciepła) strata kominowa może nawet przekraczać 20%.

## Straty spalania

---

### **Strata niecałkowitego spalania**

przyjmuje najczęściej wartości w zakresie 1-3%, w zależności od zawartości części palnych w popiele i zawartości popiołu w paliwie.

W przypadkach nieprawidłowej eksploatacji kotła może jednak kilkakrotnie przekraczać te wartości.

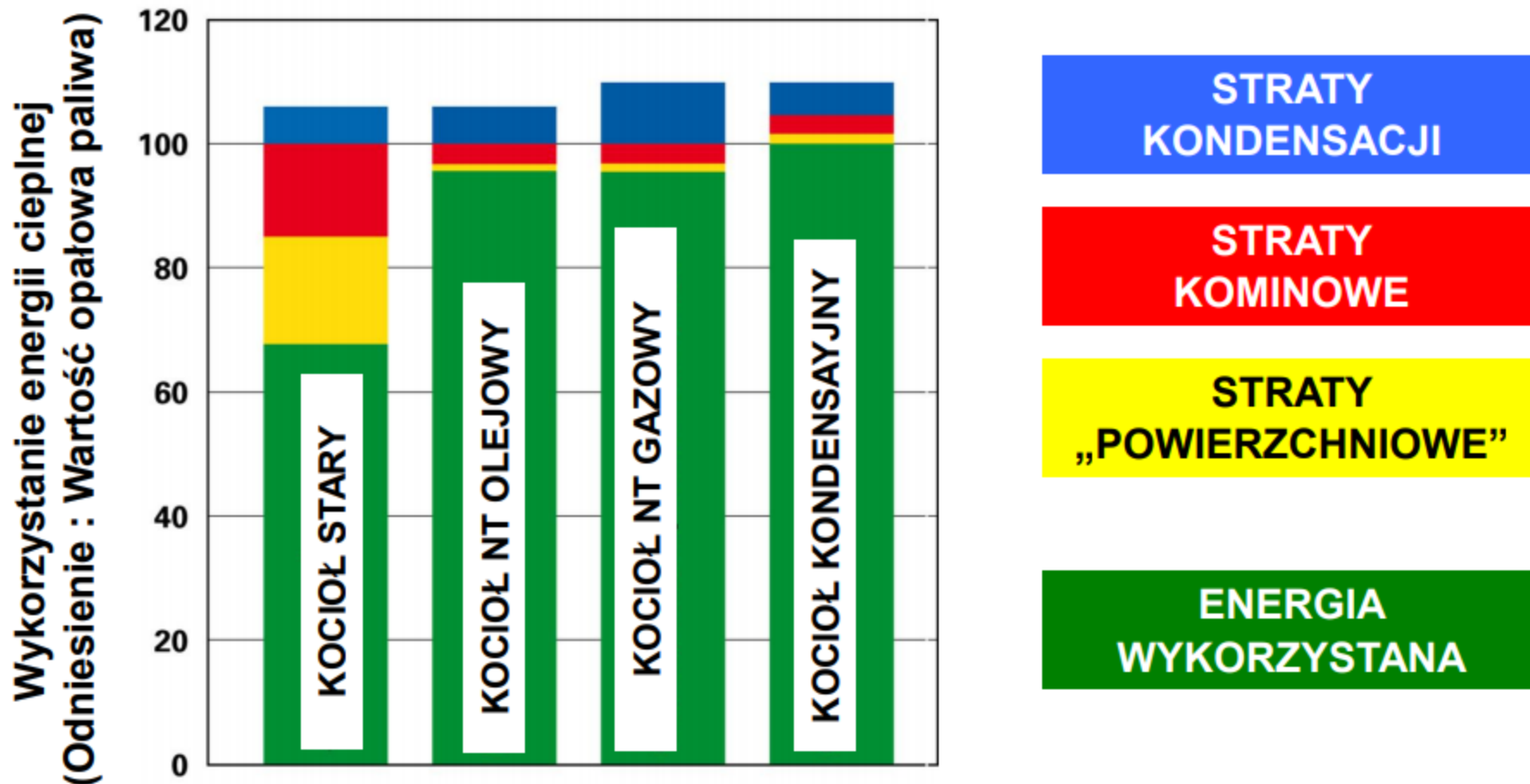
### **Strata niezupełnego spalania**

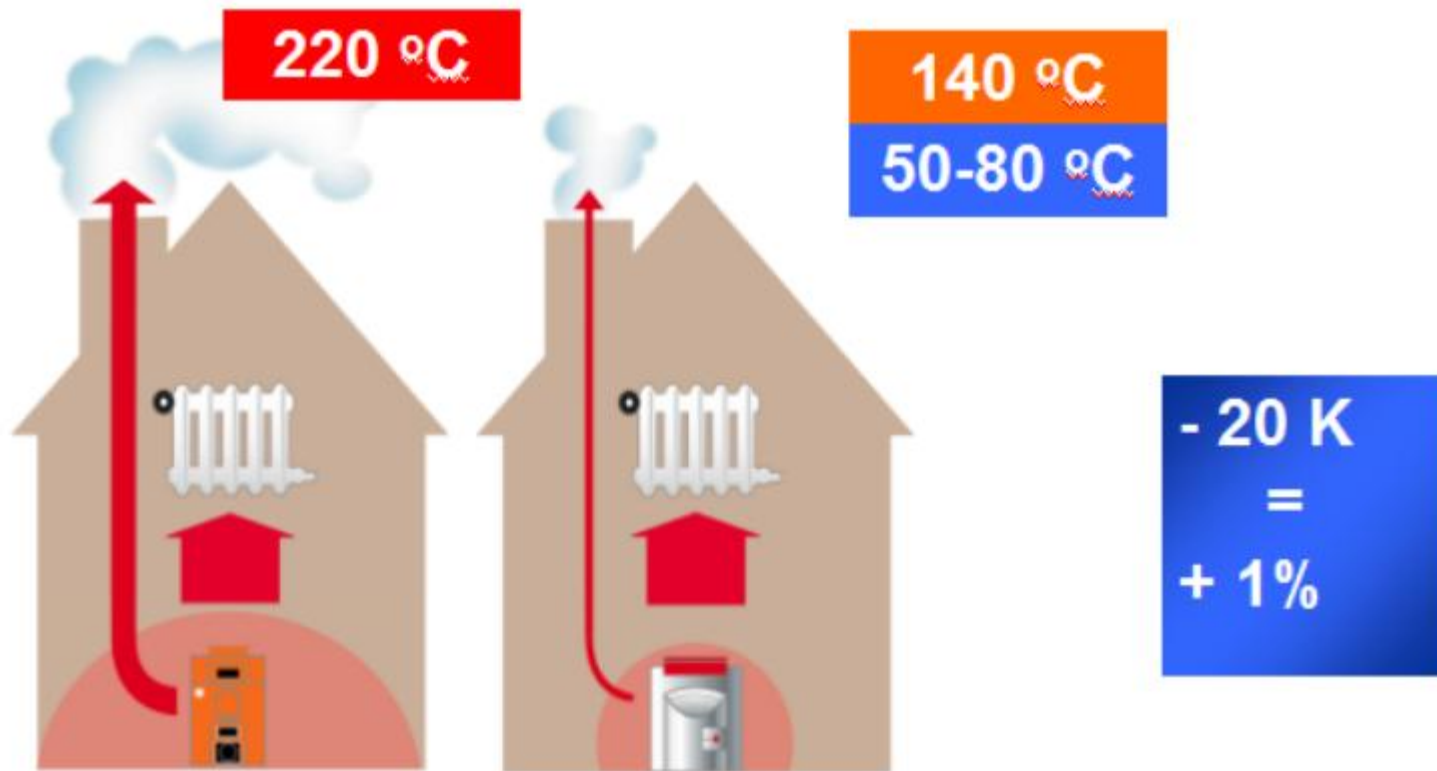
w przypadku najnowszych kotłów, wysokiej klasy jest niewielka

– nie przekracza 0,5%.

### **Straty przez promieniowanie, konwekcję i przewodzenie**

wynikające z przyjętych rozwiązań w zakresie izolacji cieplnej kotła.





Temat:

## **Urządzenia do spalania paliw**

## Urządzenia do spalania paliw

---

**Urządzenia do spalania paliw i sposoby spalania są zależne od rodzaju paliwa:**

- kotły węglowe,
- kotły gazowe,
- kotły olejowe,
- kotły na biomasę.

## KOCIOŁ

urządzenie do ogrzewania wody lub wytwarzania pary wodnej ciepłem powstającym podczas spalania paliwa stałego, płynnego lub gazowego



## Urządzenia do spalania paliw

---

### Kocioł stalowy

- mała masa,
- możliwość stosowania gorszych jakościowo paliw,
- możliwość naprawy skorodowanych elementów,
- duża pojemność wodna,
- kłopoty z transportem dużych kotłów



## Urządzenia do spalania paliw

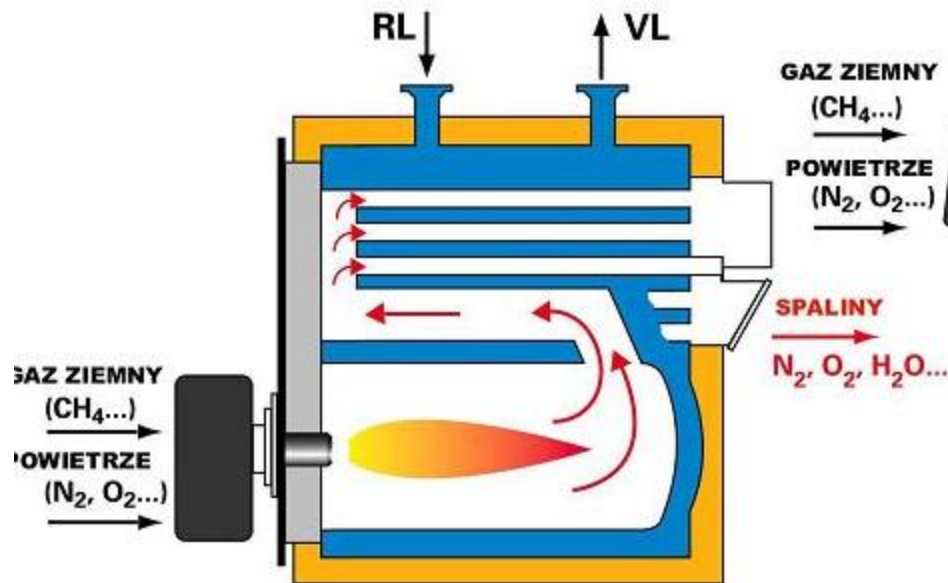
### Kocioł żeliwny

- małe wymiary przy dużej powierzchni ogrzewalnej,
- odporne na korozję,
- możliwość zwiększenia powierzchni ogrzewalnej,
- duża masa,
- brak możliwości naprawy przepalonych elementów,
- wysokie wymagania odnośnie jakości wody,
- konieczność zapewnienia minimalnego przepływu wody grzewczej przez kocioł



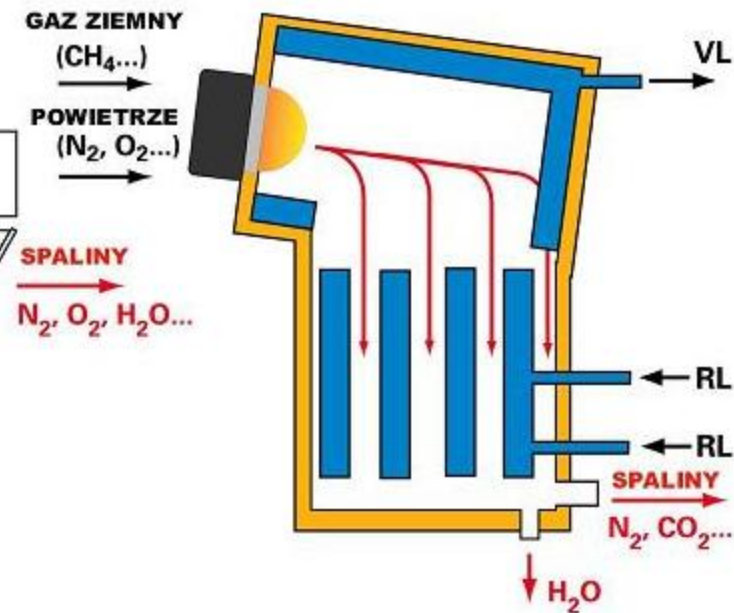
# Urządzenia do spalania paliw

## NISKOTEMPERATUROWY KOCIOŁ GRZEWCZY



$\eta_N = 95\%$

## KOCIOŁ KONDENSACYJNY



$\eta_N = 109\%$

## Spalanie paliw w kotłach gazowych

### Kotły gazowe

to cała rodzina urządzeń grzewczych, które mają jedną wspólną cechę – rodzaj paliwa, jakim są zasilane, dzielimy je na:

- **stojące i wiszące** – ze względu na usytuowanie,
- **jedno- i dwufunkcyjne** – pod względem funkcjonalnym,
- **kotły z otwartą i z zamkniętą komorą spalania** – ze względu na budowę komory spalania i związany z tym sposób pobierania powietrza do spalania oraz sposób odprowadzania spalin,
- **tradycyjne i kondensacyjne** – ze względu na sposób działania.

## Spalanie paliw w kotłach gazowych

**Kotły z otwartą komorą spalania** pobierają świeże powietrze bogate w tlen potrzebny do spalania z pomieszczenia, w którym są zamontowane. Do pomieszczenia z kotłem o kubaturze, która nie może być mniejsza niż **8 m<sup>3</sup>**, musi być zapewniony dopływ powietrza otworem o powierzchni co najmniej 200 cm<sup>2</sup> oraz wentylacja grawitacyjna kratką o takiej samej powierzchni.

**Kotły z zamkniętą komorą spalania** czerpią powietrze do spalania z zewnątrz. Również powstające w procesie spaliny nie mają styczności z powietrzem w pomieszczeniu. Takie rozdzielenie umożliwia umieszczenie kotła w dowolnym pomieszczeniu o kubaturze nie mniejszej niż **6,5 m<sup>3</sup>** z wentylacją grawitacyjną zakończoną kratką o powierzchni 200 cm<sup>2</sup>. Komora spalania kotła jest połączona z atmosferą przewodami powietrzno-spalinowymi, przepływ powietrza i spalin wymusza wentylator.

## Urządzenia do spalania paliw

### Spalanie paliw w kotłach gazowych

#### Kocioł gazowy kondensacyjny

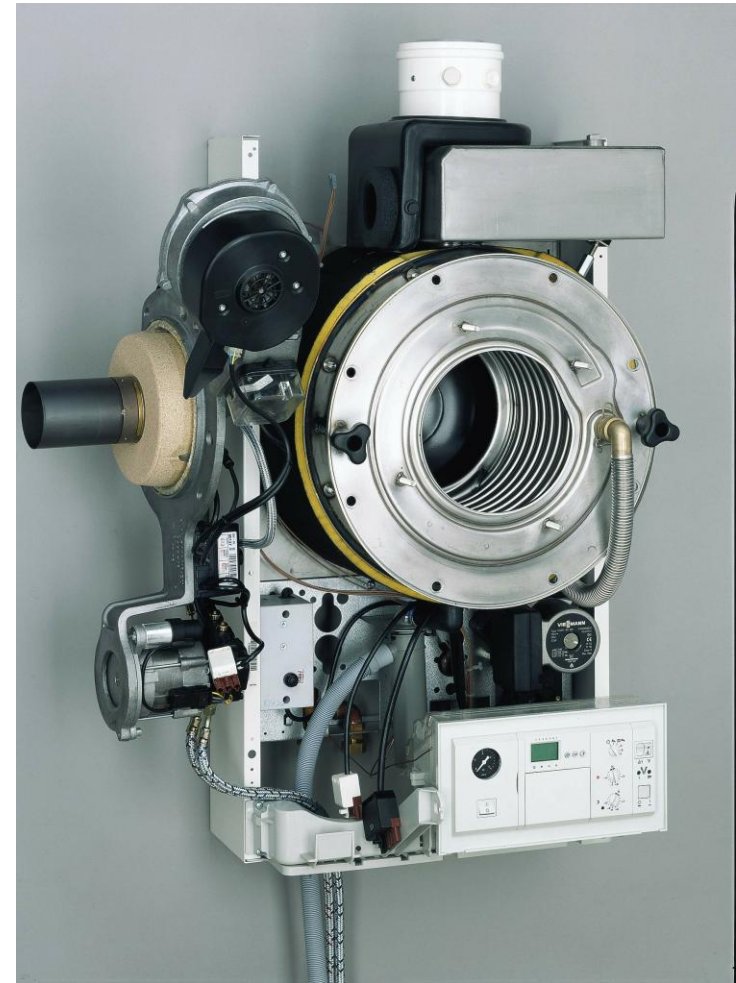


## Urządzenia do spalania paliw

### Spalanie paliw w kotłach olejowych

#### Kotły olejowe kondensacyjne

W kotłach olejowych kondensacja zachodzi przy temperaturach powrotu ok. **47 C**



# Odrowadzanie spalin

## Systemy spalinowe



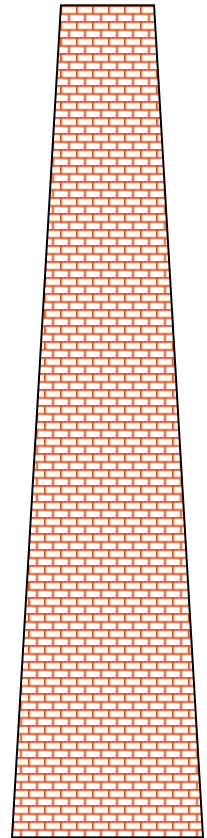
# Literatura

- 1) Hermann Recknagel, Eberhard Sprenger , Ernst Schramek :  
„Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda,
- 2) Ryszard Tytko: „Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej”,
- 3) Albers Joachim „Systemy centralnego ogrzewania i wentylacji.  
Poradnik dla projektantów i instalatorów”,
- 4) Adolf Mirowski, Grzegorz Lange, Ireneusz Jeleń: „Materiały do  
projektowania kotłowni i nowoczesnych systemów grzewczych”,
- 5) Opracowanie Viessmann: „Podręcznik architekta, projektanta i  
instalatora. Kolektory słoneczne”,
- 6) Halina Koczyk: „Ogrzewnictwo praktyczne”,
- 7) [www.viessmann.pl](http://www.viessmann.pl),
- 8) [www.schiedel.pl](http://www.schiedel.pl),

**Komin** jest to konstrukcja, stanowiąca integralną część budowli, lub też wolnostojąca murowana, betonowa, metalowa lub inna zawierająca jeden lub więcej pionowych przewodów.

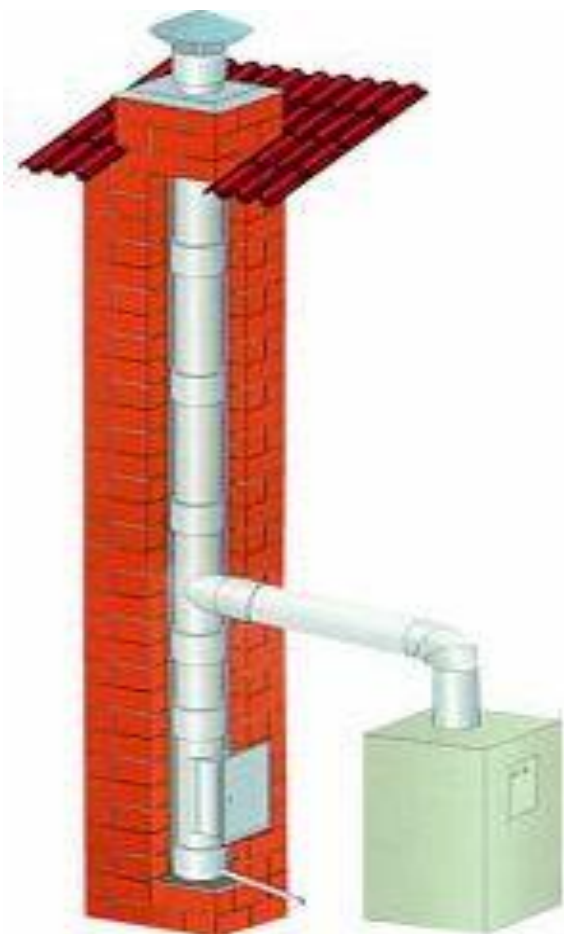
### Do podstawowych zadań instalacji kominowych należy:

- odprowadzenie spalin z paleniska na zewnątrz do atmosfery,
- dostarczenie powietrza potrzebnego w procesie spalania oraz wymiana zużytego powietrza.

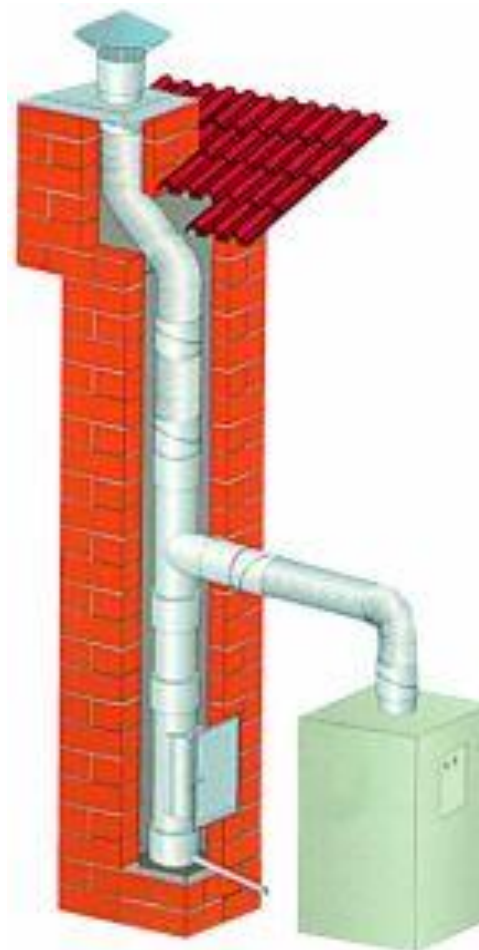


## ZE WZGLĘDU NA KONSTRUKCJĘ KOMINY DZIELIMY NA:

- **kominy jednowarstwowe** - ściana przewodu jest jednorodna np. kominy murowane, ze stali grubościenniej,
- **kominy wielowarstwowe** - ściana komina składa się z kilku warstw np. kominy betonowe jako warstwa nośna, z izolacją termiczną i okładziną wewnętrzną odporną na działanie spalin (np. kominy Plewa, Schiedel, Ahrens), kominy ze szlachetnej stali kwasoodpornej w otulinie termoizolacyjnej w płaszczu osłonowym.



Komin jednościenny, wkład sztywny



Komin jednościenny, wkład giętki



Komin dwuścienny

## ZE WZGLĘDU NA LOKALIZACJĘ KOMINY DZIELIMY NA:

- **Komin wewnętrzny** - przewody kominowe różnego przeznaczenia grupowane w kominy, prowadzone wewnątrz budynku jako samodzielna konstrukcja niezwiązana z budynkiem, lub też związana ze ścianą nośną i prowadzona, jako ściana kominowa.
- **Komin zewnętrzny** - komin prowadzony na zewnątrz budynku, może być konstrukcyjnie powiązany z budynkiem, lub też szczególny rodzaj - komin niezwiązany z budynkiem - wolnostojący.

## ZE WZGLĘDU NA FUNKCJĘ KOMINY DZIELIMY NA:

- **dymowe** - służą do odprowadzenia spalin od palenisk opalanych paliwem stałym. Spaliny zawierają poza tlenkami gazowymi również pyły i sadzę oraz parę wodną,
- **spalinowe** - służą do odprowadzenia spalin z palenisk gazowych i opalanych paliwem płynnym,
- **wentylacyjne** – nawiewne i wyciągowe służą do dostarczania powietrza koniecznego w procesie spalania i wymiany zużytego powietrza w pomieszczeniu.

## ZE WZGLĘDU NA CHARAKTER PRACY ROZRÓŻNIAMY KOMINY:

- **komin suchy** - komin od palenisk na paliwo stałe, gdzie temperatura spalin wyższa jest niż  $160^{\circ}\text{C}$ ,
- **komin mokry** - komin od niskotemperaturowych kotłów gazowych , kotłów kondensacyjnych, gdzie temperatura spalin zawarta jest w przedziale  $80^{\circ}\text{C} - 160^{\circ}\text{C}$ ,
- **komin pracujący w nadciśnieniu** - gdy ciśnienie wewnątrz komina jest wyższe od ciśnienia zewnętrznego (atmosferycznego). Są to kominy od palenisk z palnikami nadmuchowymi, lub też kominy ze wspomaganie mechanicznym za pomocą wentylatorów,
- **komin pracujący w podciśnieniu** - gdy ciśnienie wewnątrz komina jest niższe od atmosferycznego.

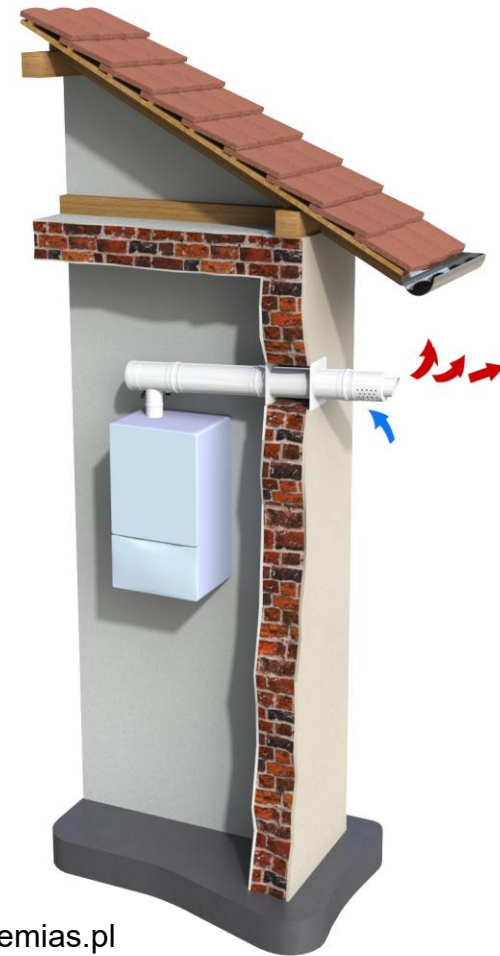
Indywidualne koncentryczne przewody powietrzno-spalinowe lub oddzielne przewody powietrzne i spalinowe od urządzeń gazowych z zamkniętą komorą spalania mogą być wyprowadzone przez zewnętrzną ścianę budynku, jeżeli urządzenia te mają nominalną moc cieplną nie większą niż:

- 1) **21 kW** - w wolnostojących budynkach jednorodzinnych, zagrodowych i rekreacji indywidualnej,
- 2) **5 kW** - w pozostałych budynkach mieszkalnych.

Wyloty z tych urządzeń powinny znajdować się 2,5 m ponad terenem, dopuszcza się sytuowanie ich na wysokości poniżej 2,5m lecz nie mniej niż 0,5 m ponad poziomem terenu , jeżeli w odległości do 8 m nie znajduje się plac zabaw dla dzieci lub miejsce rekreacji.

## Systemy kominowe. Odprowadzanie spalin

W budynkach produkcyjnych, magazynowych oraz halach sportowych i widowiskowych nie ogranicza się nominalnej mocy cieplnej urządzeń z zamkniętą komorą spalania, od których przewody powietrzno - spalinowe wyprowadzone są za ścianę zewnętrzną, jeżeli odległość tej ściany od granicy działki budowlanej wynosi min. 8,0 m, a od ściany innego budynku z oknami nie mniej niż 12,0 m, a także jeżeli wyloty przewodów znajdują się wyżej niż 3,0 ponad poziomem terenu.



[www.jeremias.pl](http://www.jeremias.pl)

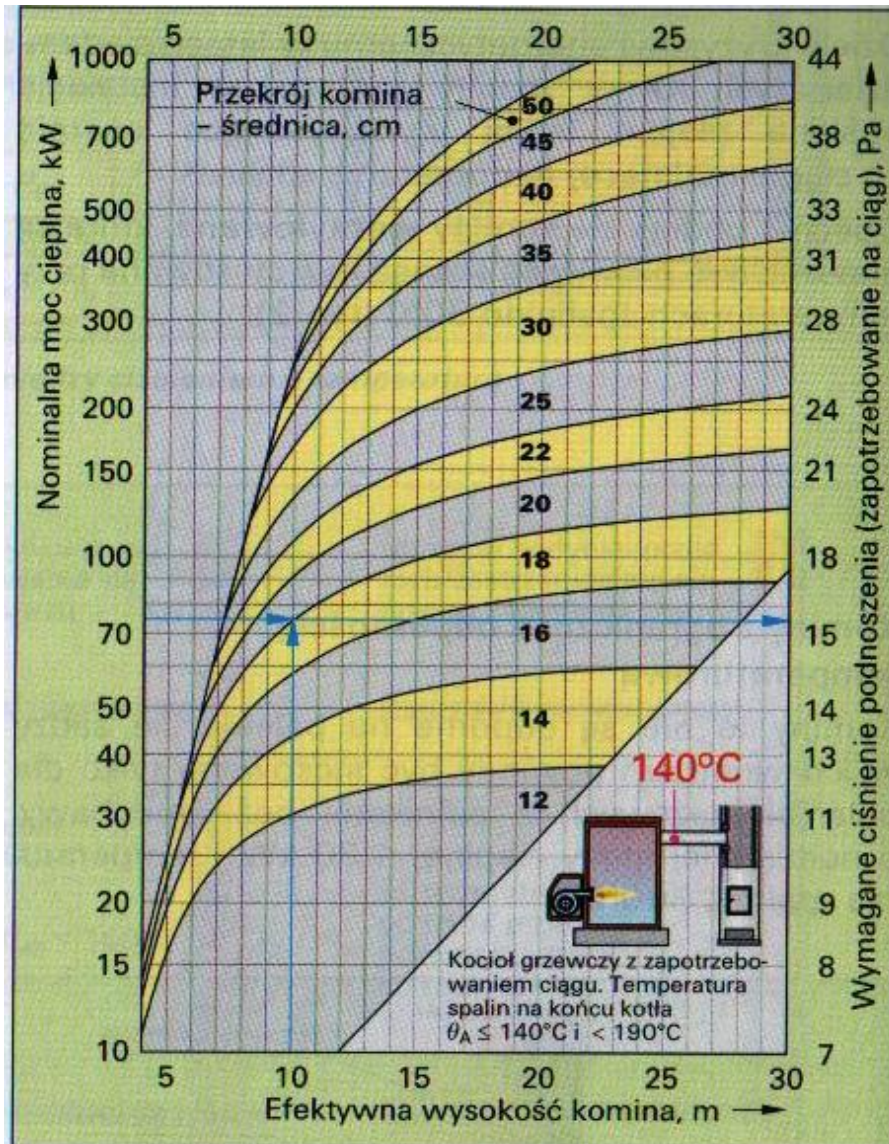
Dla zapewnienia prawidłowego działania kotła , komin powinien zapewnić, określony przez producenta urządzenia grzewczego, minimalny ciąg kominowy.

Wymiary przewodu spalinowego powinny być dobrane w zależności od rodzaju i mocy kotła.

Wymagania dla przewodów dymowych, spalinowych, wentylacyjnych murowanych z cegły określa Polska Norma

**PN-89/B-10425**

# Systemy kominowe. Odprowadzanie spalin



Źródło [ 3]

## MATERIAŁY UŻYTE DO BUDOWY KOMINÓW POWINNY BYĆ:

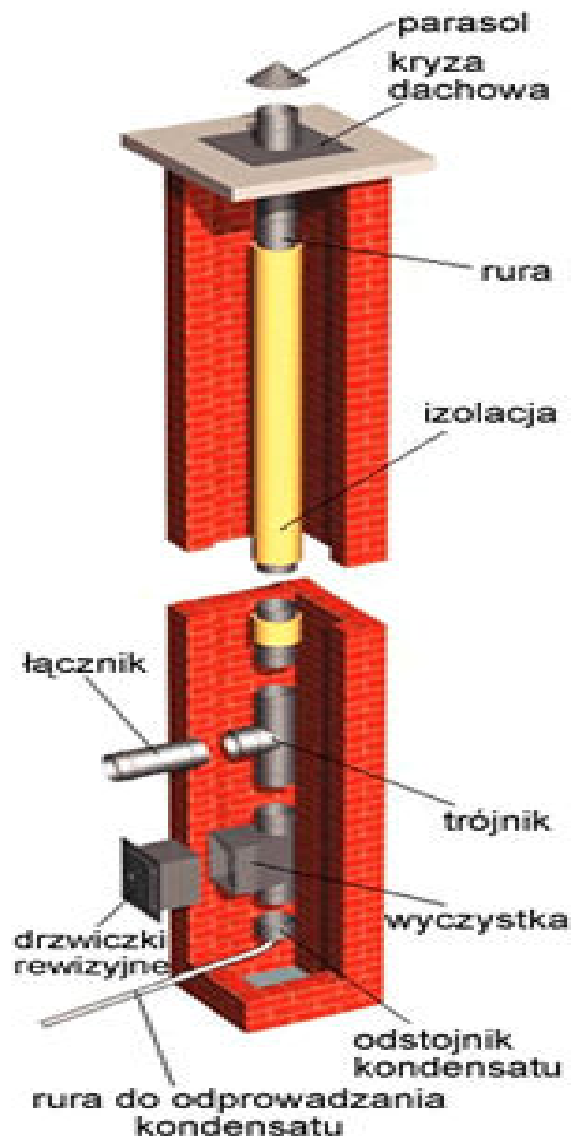
- **niepalne**, posiadać odporność ogniową co najmniej 60 min.
- w przypadku przewodów spalinowych ich powierzchnia wewnętrzna powinna być **gładka**, odporna na destrukcyjne działanie spalin,
- powinny zapewniać kominowi **szczelność**
- wszystkie materiały powinny być dopuszczone do stosowania w budownictwie w zakresie sanitarnym, a także do parametrów ciśnienia, temperatury, wilgotności.

## UZBROJENIE KOMINÓW

Komin powinien być wyposażony w:

- otwór wyczystny umieszczony poniżej podłączenia czopucha,
- w częściach skośnych komina powinny być wykonane otwory rewizyjne,
- w stopie komina powinien znajdować się odstojnik kondensatu wraz z odprowadzeniem skroplin na zewnątrz,
- miejsce włączenia czopucha do komina powinno być wykonane za pomocą szczelnej niepalnej rozety.

## Systemy kominowe. Odprowadzanie spalin

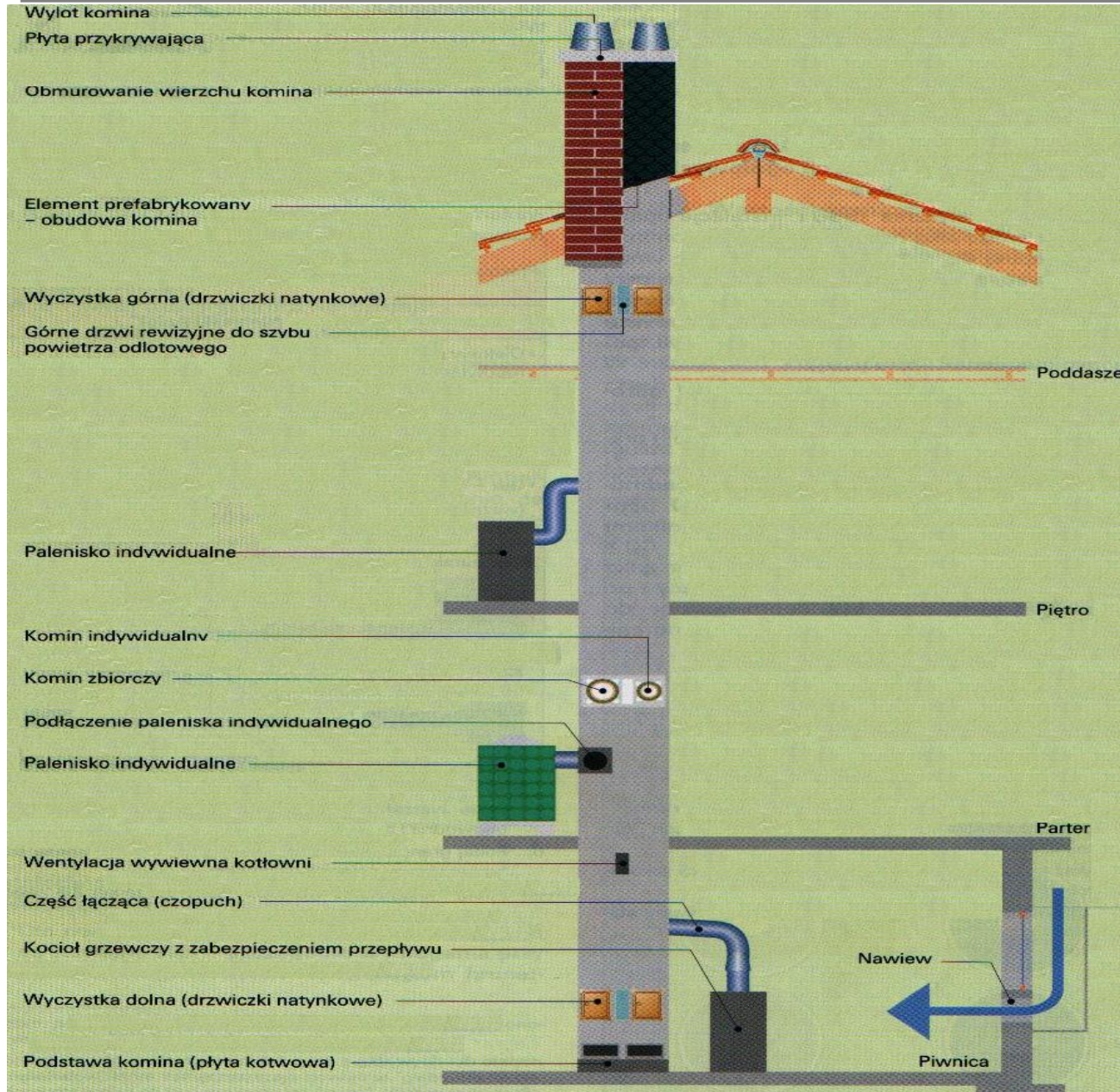


## Zasady budowania kominów

- Przewód kominowy musi być prowadzony pionowo.  
Dopuszczalne odchylenie od pionu to  $30^\circ$  na odcinku nie dłuższym niż 2 m.
- Powinien mieć efektywną wysokość (odległość od paleniska do wylotu ponad dach) co najmniej:
  - 4 m** – gdy odprowadza spaliny z kotła gazowego lub
  - 5 m** – dla kotłów olejowych.Dla kotłów gazowych z palnikami atmosferycznymi, o mocy do 35 kW, odległość od okapu przerywacza ciągu do wylotu spalin ponad dach musi wynosić co najmniej 2 m.
- Przekrój przewodów spalinowych (na całej długości) nie może się zmniejszać.

## Lokalizacja i wyloty kominów

- Kominy powinny być prowadzone pionowo,
- Kominy w zewnętrznych ścianach budynku oraz na zewnątrz budynku powinny być izolowane termicznie,
- Kominy z przewodami o przekroju większym niż  $0,075 \text{ m}^2$  powinny być wydzielone z konstrukcji budynku,
- Różnica wysokości od przerywacza ciągu do wylotu komina ponad dach dla kotłów o mocy do  $35 \text{ kW}$  nie może być mniejsza niż  $2,0 \text{ m}$ .



Źródło [ 3 ]

Przy spalaniu paliw stałych, płynnych i gazowych powstają spaliny, które muszą być bezpiecznie odprowadzone ponad dach, przez przeznaczone do tego instalacje.

Prawidłowo wykonane instalacje odprowadzania spalin są ważnym warunkiem ekonomicznej i bezpiecznej eksploatacji instalacji grzewczych.

Konieczne jest odpowiednie dobranie systemu spalinowego do zastosowanego paliwa, parametrów ciśnienia oraz temperatury.

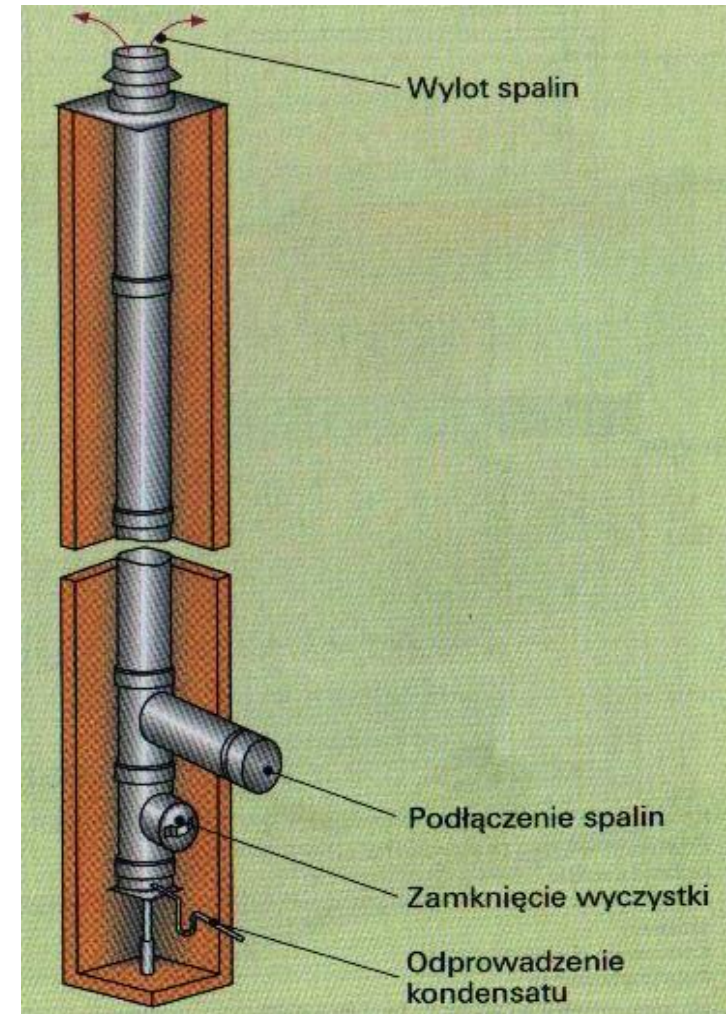
## ODPROWADZANIE SPALIN W KOTŁACH KONDENSACYJNYCH

Przewody spalinowe do kotłów kondensacyjnych wykonane są z takich materiałów jak:

- aluminium,
- stal kwasoodporna,
- ceramika,
- szkło.

Przewody muszą być szczelne  
(naciśnienie i gromadzony kondensat)  
i odporne na korozję

Źródło [ 3]



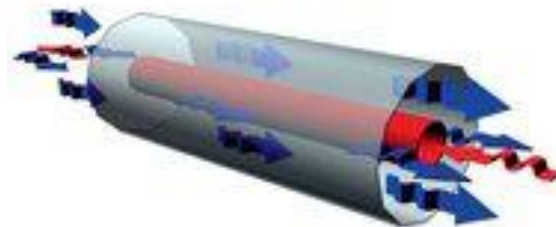
**SYSTEM TYPU „LAS” ( Luft Abgas Systeme)****SPS – system powietrzno- spalinowy**

W systemie tym pobór powietrza, niezbędnego w procesie spalania jest niezależny od powietrza w pomieszczeniu.

Doprowadzenie powietrza do spalania i odprowadzenie spalin odbywa się jednym systemem.



### SYSTEM TYPU „LAS”



Jeden szyb prowadzi spaliny ponad dach, drugim dostarczane jest powietrze niezbędne w procesie spalania.

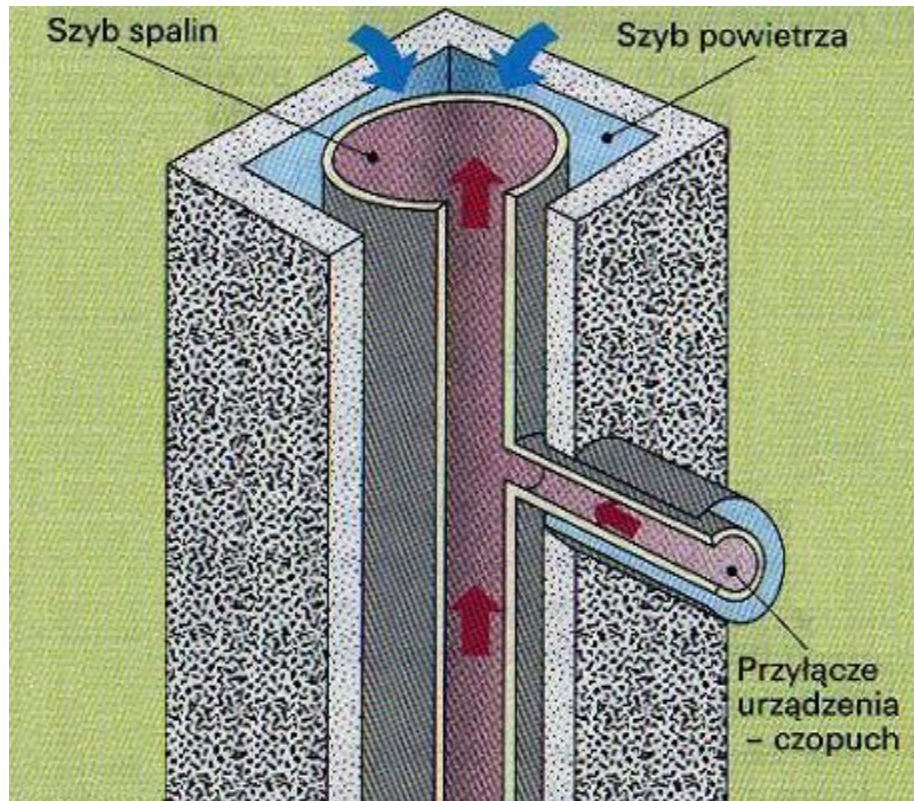
W celu uniknięcia zasysania spalin do przewodu powietrznego lub wahań ciśnienia wywołanych wiatrem należy wylot spalin umieścić powyżej wlotu powietrza i oddzielić tarczą.

### **SYSTEM TYPU „LAS”**

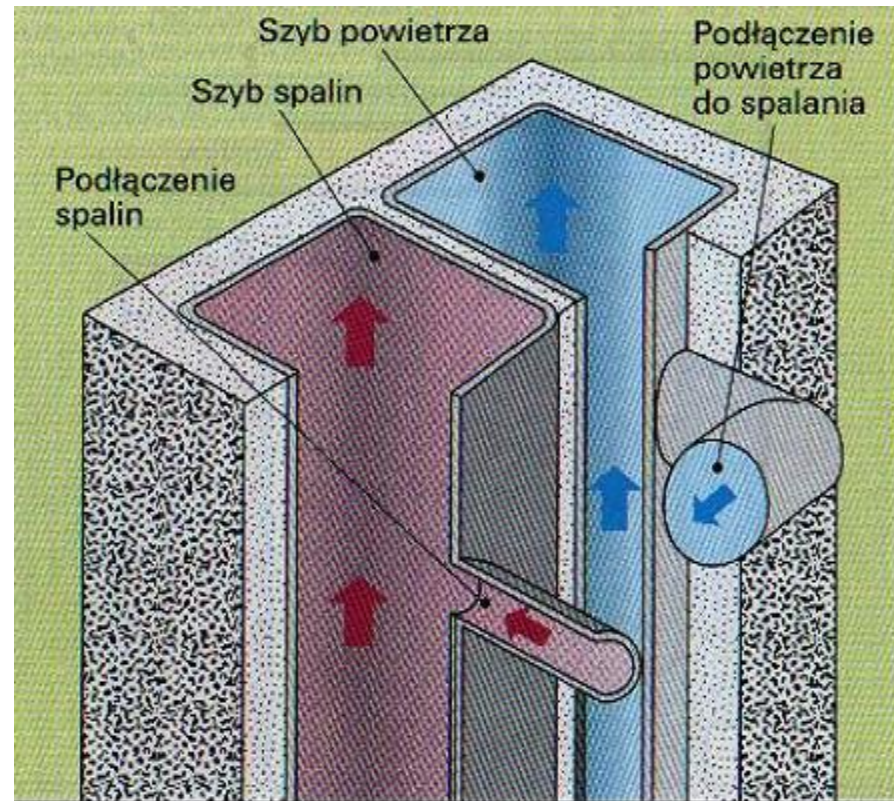
System ten składa się z dwóch połączonych szybów, biegnących równolegle obok siebie lub koncentrycznie, jeden w drugim.

Układy takie wykonuje się z podobnych materiałów co układy podciśnieniowe, różnica polega na sposobie połączenia poszczególnych elementów, najczęściej poprzez zastosowanie specjalnej uszczelki i opaski zaciskowej, a dla wkładów ceramicznych specjalnej masy uszczelniającej.

# Systemy spalinowe



Źródło [ 3]



Źródło [ 3]

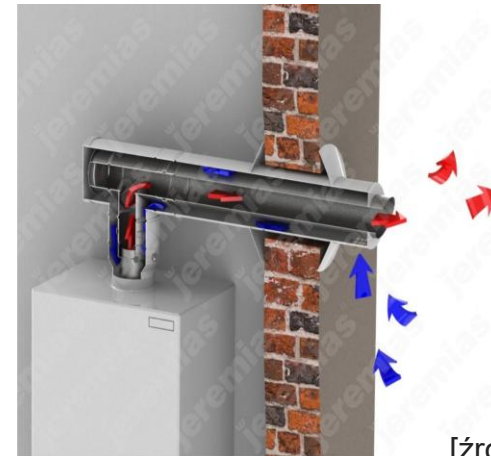
Zwykle producent kotłów oferuje kilka wariantów odprowadzenia spalin i poboru powietrza:

- **system poziomy,**
- **system pionowy współśrodkowy,**
- **system rozdzielczy,**
- **system szachtowy.**

## System poziomy.

W tej sytuacji kocioł najczęściej montuje się na ścianie zewnętrznej i podłącza do niego krótki, poziomy przewód powietrzno-spalinowy przechodzący przez ścianę. Składa się on z dwóch rur umieszczonych jedna w drugiej (taki układ nazywamy również współśrodkowym lub koncentrycznym). Wewnętrzną wypływają spaliny, a przestrzenią między tą rurą a rurą zewnętrzną napływa powietrze w kierunku kotła. Jest to niewątpliwie rozwiązanie najtańsze, ale nie są pozbawione wad.

Przede wszystkim na elewacji budynku po jakimś czasie może powstać ciemna smuga od spalin.



[źródło: Jeremias]

### **System pionowy**

Do kotła podłącza się przewód koncentryczny, ale tym razem wyprowadza się go do góry, ponad dach.

Zaletą takiego układu jest możliwość zbudowania nowego komina, gdy istniejący nie nadaje się do wykorzystania.

Rozwiązanie to chętnie też wybierają inwestorzy, którzy zamierzają zamontować kocioł na poddaszu. Dzięki temu przewody będą stosunkowo krótkie, więc cały montaż nie okaże się ani skomplikowany, ani drogi.

### **System szachtowy.**

Odmianę systemu z rurami współśrodkowymi stanowi wkład ze stali kwasoodpornej wstawiony w istniejący murowany przewód kominowy.

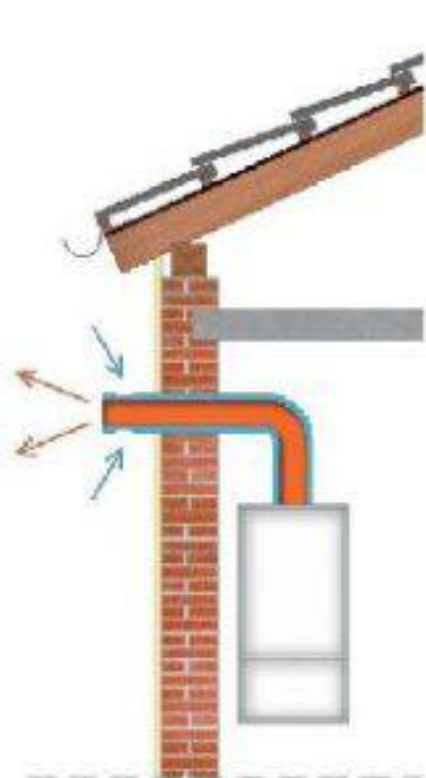
Rurą ze stali spaliny są odprowadzane na zewnątrz, a powietrze do spalania dopływa w przeciwnym kierunku - przez przestrzeń między kominem murowanym a stalowym przewodem spalinowym.

Warunkiem zastosowania tego rozwiązania jest odpowiedni przekrój komina murowanego (co najmniej 14×14 cm).

### **System rozdzielczy (inaczej połączenie dwururowe).**

Gazowy kocioł połączony jest z dwoma oddzielnymi rurami – powietrzną i spalinową .

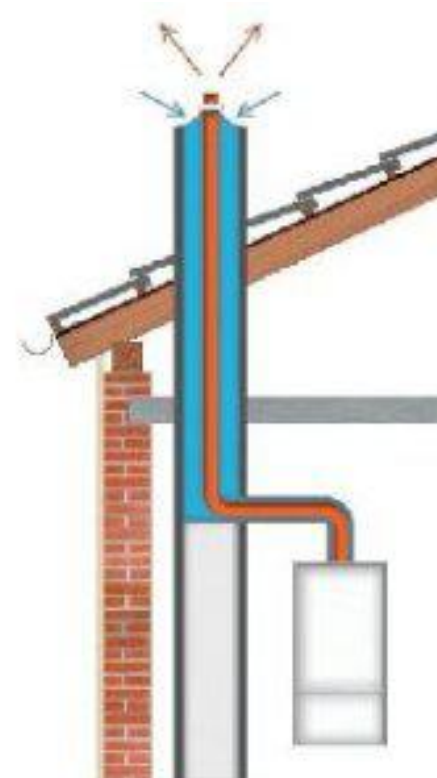
Z uwagi na ich niedużą średnicę oraz małe opory przepływu, tak wykonana instalacja pozwala na stosowanie dość długich przewodów.



a ► POZIOME ODPROWADZENIE SPALIN



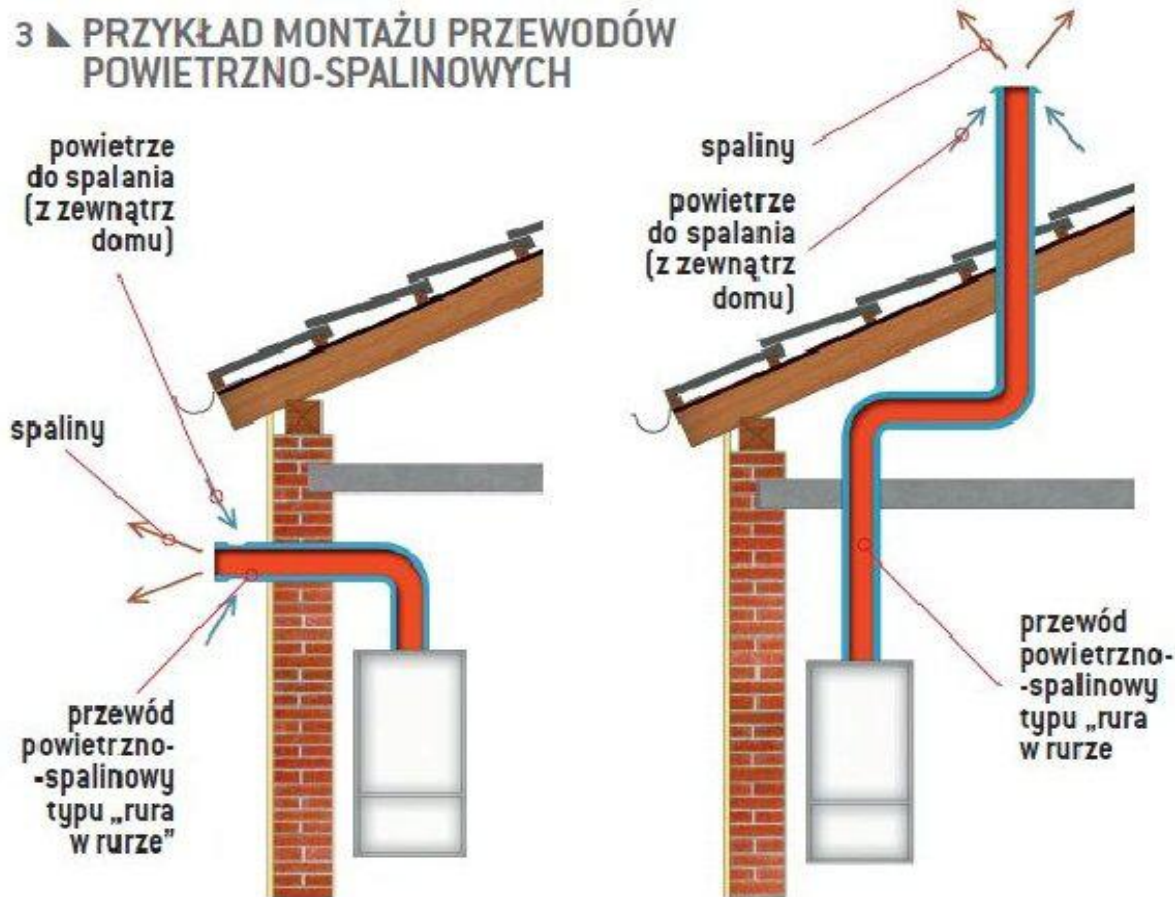
b ► PIONOWE ODPROWADZENIE SPALIN



c ► PODŁĄCZENIE DO ISTNIEJĄCEGO KOMINA

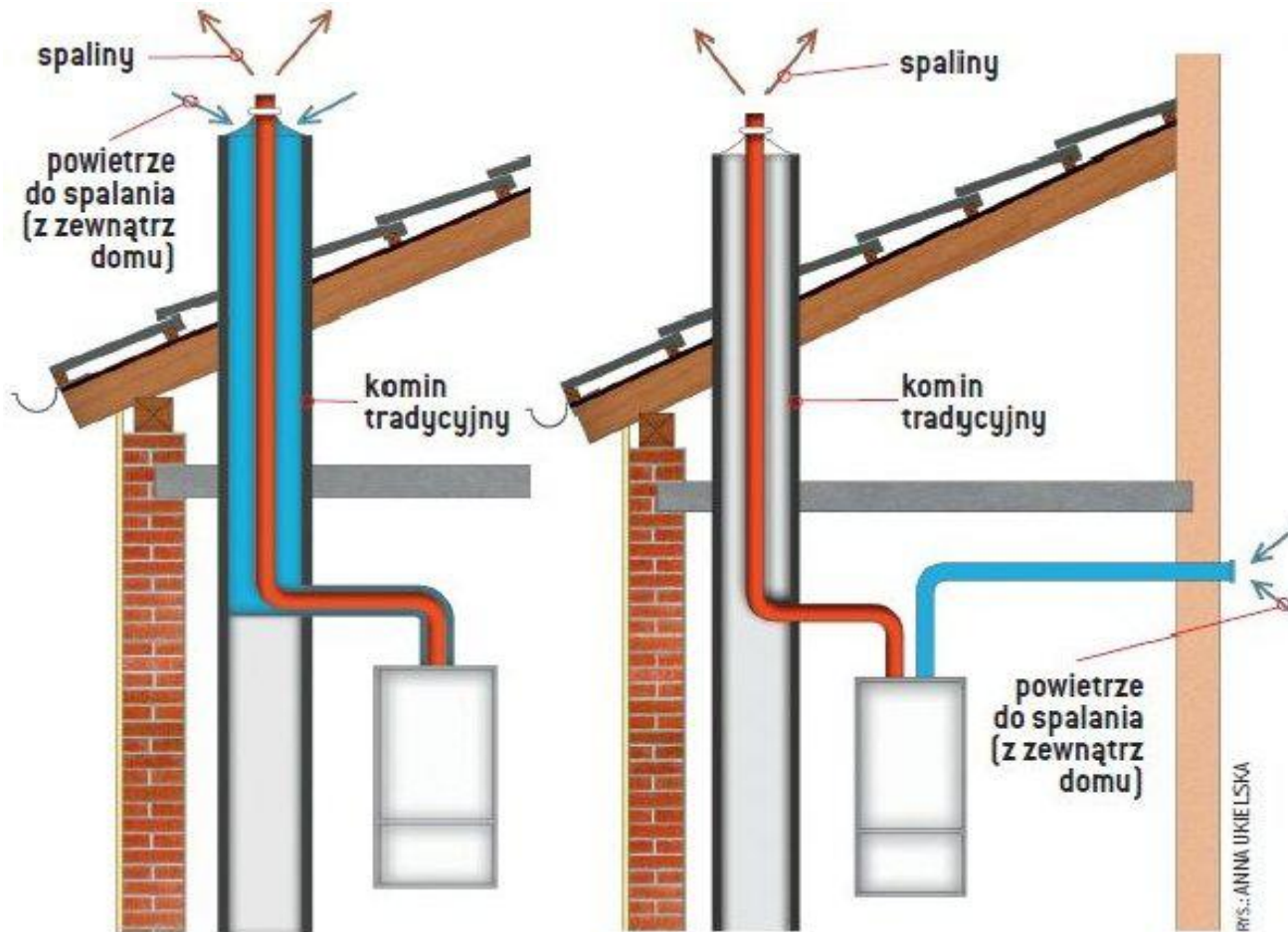
## Systemy spalinywe

## 3 ▸ PRZYKŁAD MONTAŻU PRZEWODÓW POWIETRZNO-SPALINOWYCH



Montaż przewodów powietrzno-spalinowych - połączenie z poziomym odprowadzeniem spalin oraz z pionowym odprowadzeniem spalin

# Systemy spalinywe



Montaż przewodów powietrzno - spalinowych - połączenie szachtowe oraz połączenie dwururowe.

## Systemy spalinywe

# KOMINY STALOWE

---

Nadają się do odprowadzania spalin z kotłów opalanych:

- gazem,
- olejem,
- paliwem stałym.

Wkłady kominowe lub kominy ze stali szlachetnej bardzo szybko się nagzewają, tym samym powoduje to szybki ciąg oraz niskie straty w chłodzeniu źródła ciepła.



Wyróżniamy :

- wkłady kominowe do istniejących kominów z elementów sztywnych lub elastycznych,
- kominy zewnętrzne montowane wewnątrz lub na zewnątrz budynku.

---

## KOMINY STALOWE

Wkłady kominowe mogą być :

- **Jednościenne** – powierzchnia komina charakteryzuje się małym współczynnikiem chropowatości, co ogranicza osadzanie się sadzy oraz powoduje większy ciąg kominowy.

Zestaw elementów wkładu kominowego składa się z:

- rur,
  - elementu z otworem do czyszczenia,
  - zbiornika kondensatu z odpływem,
  - elementu zadaszenia.
- **Wielościenne** składają się z warstwy wewnętrznej wykonanej ze stali kwasoodpornej, płaszcza zewnętrznego wykonanego ze stali nierdzewnej oraz środkowej warstwy izolacyjnej z wełny mineralnej w łupkach, izolacji cieplnej z włókien mineralnych lub kształtek izolacyjnych.

## KOMINY CERAMICZNO - BETONOWE

**Trójwarstwowe** – składają się z warstwy wewnętrznej wykonanej z ceramiki szlachetnej, która jest odporna na wysoką temperaturę oraz częste zmiany temperatury.

Rura przewodowa obłożona jest warstwą izolacji z wełny mineralnej, która zapewnia możliwość wydłużeń termicznych.

Trzecia warstwa to pustak z betonu lekkiego, zapewniający stateczność całej konstrukcji



Źródło [ 3]

Dziękuję za uwagę

