

Wykład 2

Praca zmiany objętości czynnika roboczego

Praca techniczna w układzie otwartym na przykładzie turbiny

Równoważność pracy i ciepła w obiegu zamkniętym

I zasada termodynamiki dla zmiany stanu masy kontrolnej

**Szczególne przypadki I zasady termodynamiki w
sformułowaniu masy kontrolnej**

Mechanizmy przekazywania ciepła:

przewodnictwo cieplne

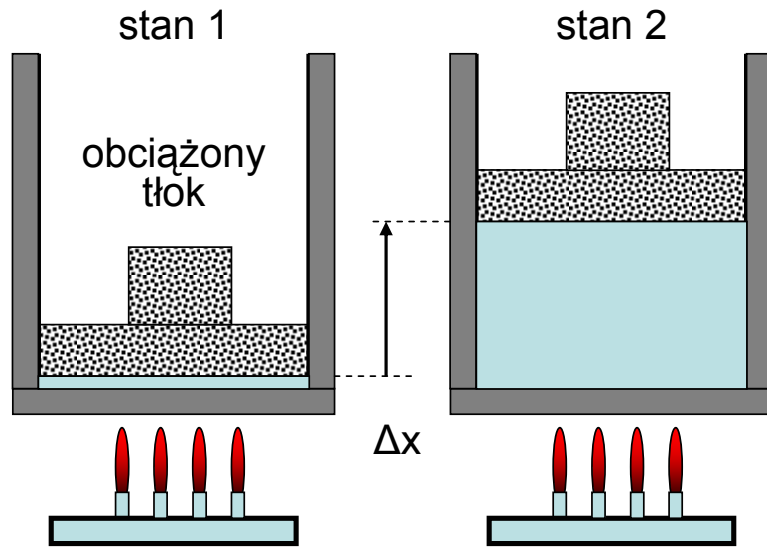
konwekcja

promieniowanie cieplne

<http://www.clausius-tower-society.koszalin.pl/index.html>

Praca zmiany objętości czynnika roboczego

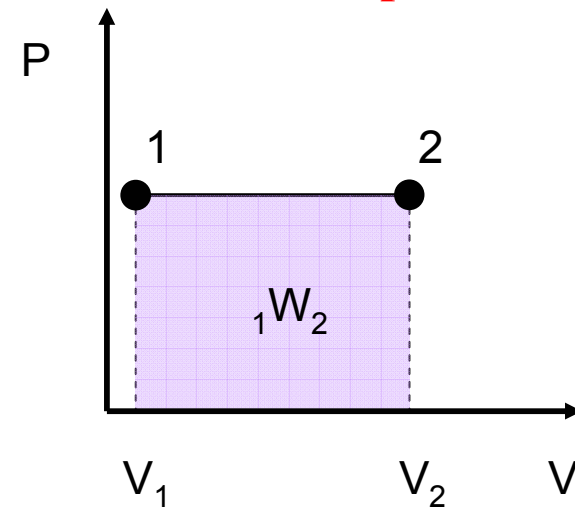
sformułowanie masy kontrolnej



$$\Delta W = \int F dx = \int (P \cdot S) dx =$$

$$P \int S ds = P \int_{V_1}^{V_2} dV = P(V_2 - V_1)$$

stałe ciśnienie, P przed całką



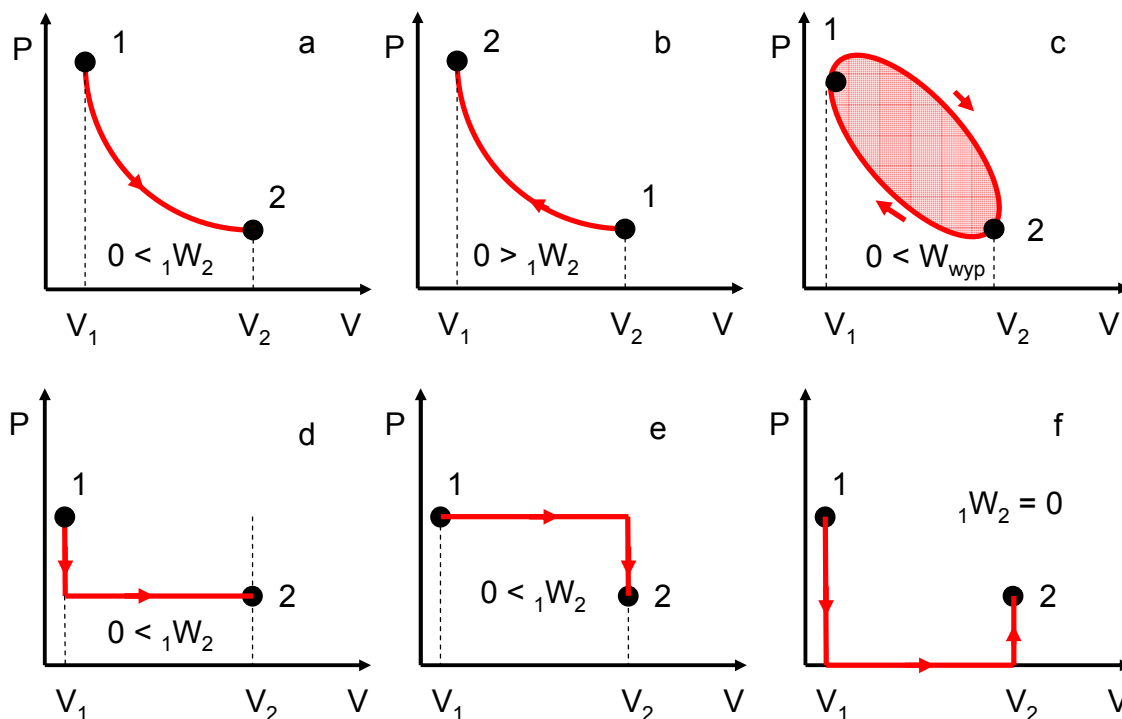
ALE W OGÓLNOŚCI:

$${}_1W_2 = \int_1^2 \delta W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

całka ta zależy od drogi

DLACZEGO δW ? Dlatego, że δW nie jest różniczką zupełną !!

Do stanu końcowego można dojść różnymi drogami.



Praca wykonana przez układ może być dodatnia (przypadek a, d, e), ujemna (przypadek b) lub równa zero (przypadek f). Dla obiegu (przypadek c) dla którego układ po przemianie $1 \rightarrow 2$ wraca do punktu wyjścia 1 inną drogą, $2 \rightarrow 1$, wypadkowa praca równa jest zacieniowanemu polu równemu różnicy pracy wykonanej przez układ w trakcie przemiany $1 \rightarrow 2$ i pracy wykonanej nad układem (ujemnej pracy wykonanej przez układ) w trakcie przemiany $2 \rightarrow 1$.

Dla przemiany zamkniętej:

$$W_{\text{wyp}} = \oint \delta W$$

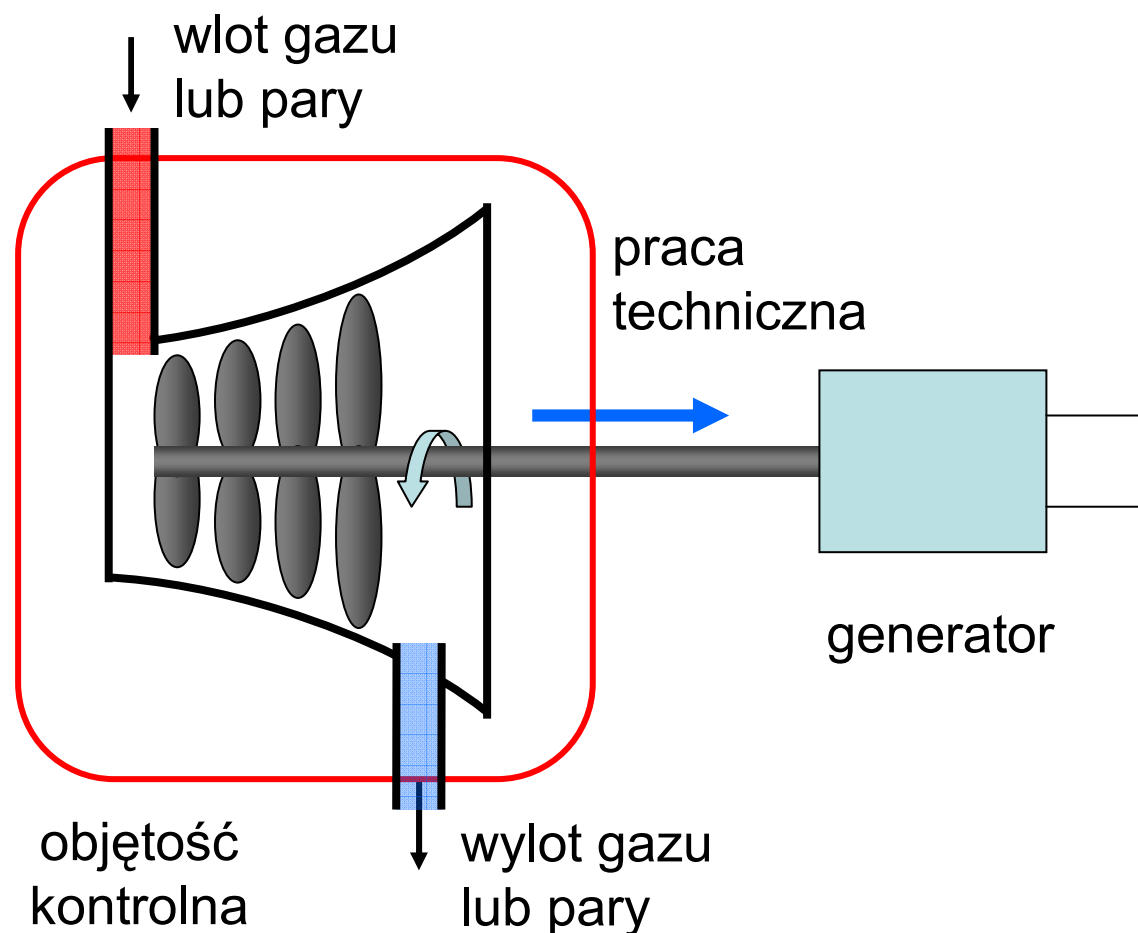
$$W_{\text{wyp}} = \int_1^2 P dV + \int_2^1 P dV = \oint P dV$$

całka okrężna dla obiegu (cyklu)

Praca techniczna w układzie otwartym na przykładzie turbiny

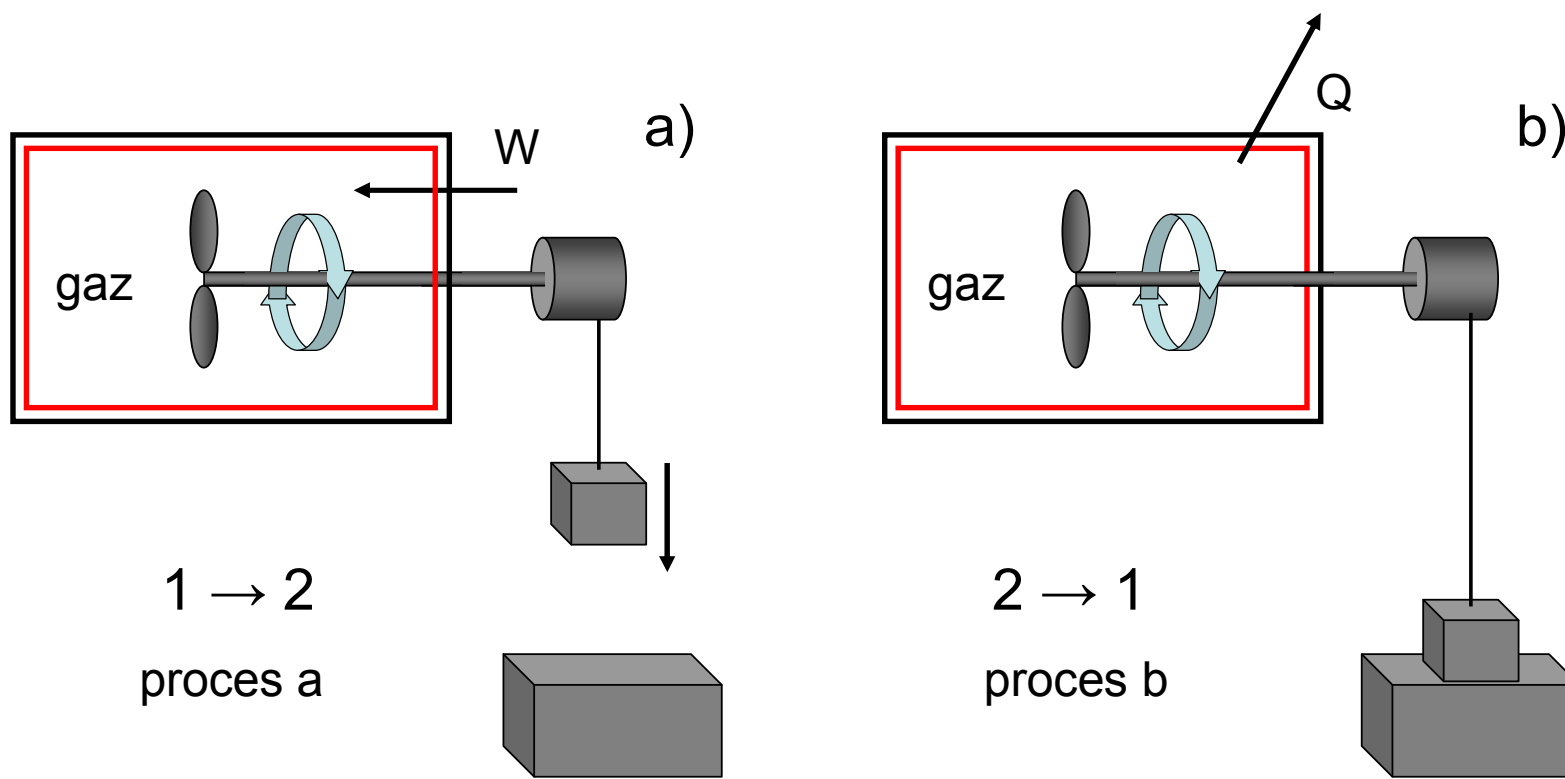
Część energii rozprężającej się gorącej pary, która przepływa przez turbinę, napędza wirnik, który poprzez wał wykonuje pracę techniczną (np napędzając generator). Turbinę opuszcza zimna para o niskim ciśnieniu

Do/z objętości kontrolnej, poprzez osłonę kontrolną (czerwona kreska) przenikają dwa strumienie czynnika roboczego i praca techniczna



Sformułowanie OBJĘTOŚCI kontrolnej

Równoważność pracy i ciepła w obiegu zamkniętym



$$W = J Q$$

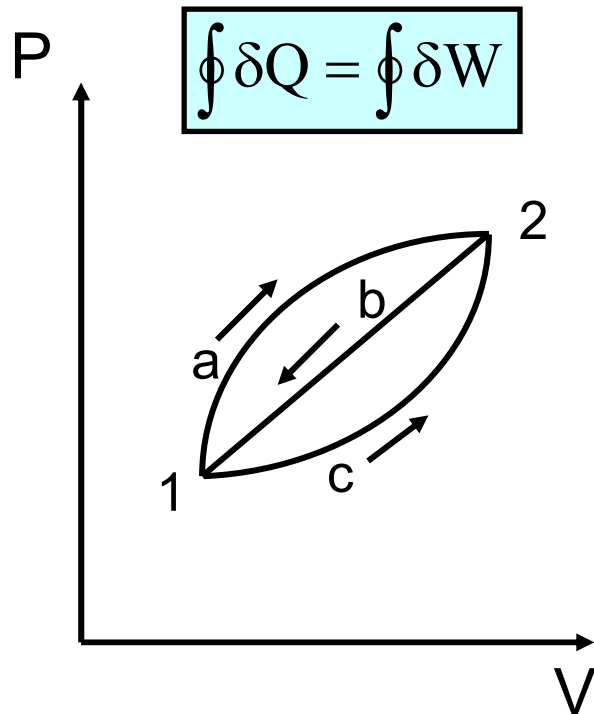
$$W = \oint \delta W$$

$$Q = \oint \delta Q$$

$$\oint \delta Q = \oint \delta W$$

Z eksperymentów wynika, że całki określone dla obiegów (przemian cyklicznych) z pracy i ciepła są proporcjonalne (równe, gdy przyjmiemy wspólne jednostki, $J = 1$)

Pierwsza zasada termodynamiki dla zmiany stanu masy kontrolnej



$$\int_1^2 \delta Q_a + \int_2^1 \delta Q_b = \int_1^2 \delta W_a + \int_2^1 \delta W_b$$

$$\int_1^2 \delta Q_c + \int_2^1 \delta Q_b = \int_1^2 \delta W_c + \int_2^1 \delta W_b$$

$$\int_1^2 \delta Q_a - \int_1^2 \delta Q_c = \int_1^2 \delta W_a - \int_1^2 \delta W_c$$

$$\int_1^2 (\delta Q - \delta W)_a = \int_1^2 (\delta Q - \delta W)_c = E_2 - E_1 = \int_1^2 dE$$

E jest funkcją stanu; tzn. zależy od stanu czyli punktu na diagramie (np. wyznaczonego przez parametry stanu P, T). Takiej własności nie posiadają ciepło Q i praca W

$$\int_1^2 (\delta Q - \delta W)_a = \int_1^2 (\delta Q - \delta W)_c = E_2 - E_1 = \int_1^2 dE$$

$$E_2 - E_1 = \int_1^2 \delta Q_a - \int_1^2 \delta W_a = {}_1Q_2 - {}_1W_2$$

E jest energią całkowitą masy kontrolnej

**energia całkowita = energia wewnętrzna + energia kinetyczna
+ energia potencjalna**

$$E = U + E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} ; E_{\text{kin}} = MV^2/2 ; E_{\text{pot}} = Mgz$$

Energie E_{kin} , E_{pot} zależą od masy, prędkości i wysokości masy kontrolnej

Energia wewnętrzna U zawiera wszystkie pozostałe formy energii masy kontrolnej (w tym energię termiczną) i jest związana ze stanem termodynamicznym układu (jest funkcją stanu termodynamicznego)

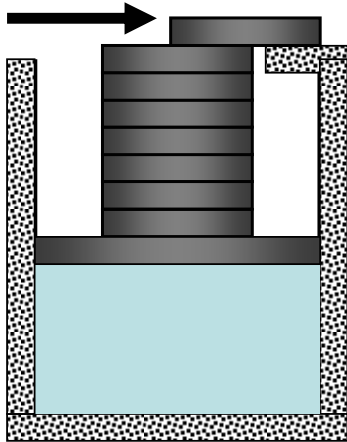
$$E/M = e; U/M = u, \text{ energie właściwe}$$

Szczególne przypadki pierwszej zasady termodynamiki w sformułowaniu masy kontrolnej

$$\Delta U = Q - W$$

Przemiana	warunek	wynik
adiabatyczna	$Q = 0$	$\Delta U = - W$
stała objętość	$W = 0$	$\Delta U = Q$
obieg zamknięty	$\Delta U = 0$	$Q = W$
rozprężanie swobodne	$Q = W = 0$	$\Delta U = 0$

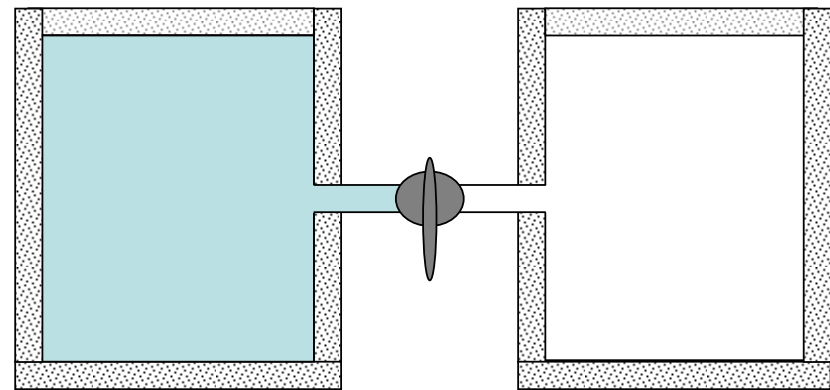
Realizacja przemiany adiabatycznej



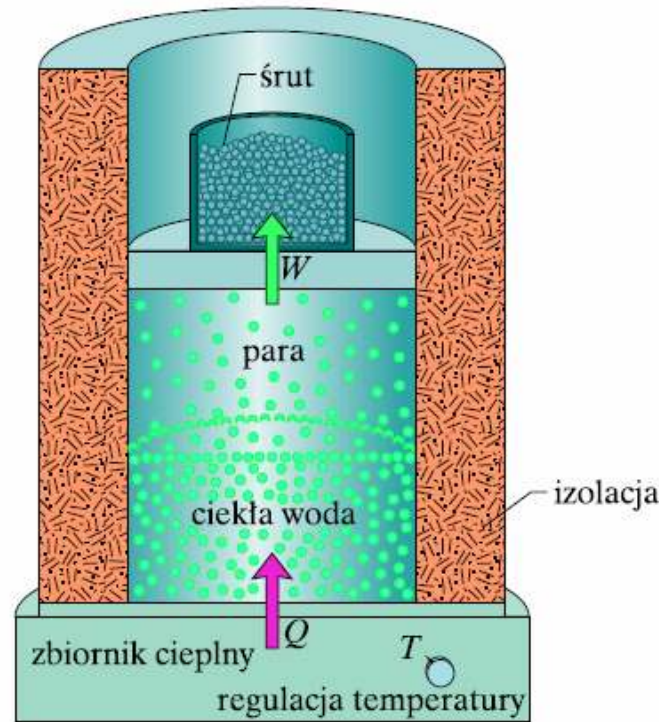
Układ realizujący przemianę adiabatyczną. Gaz znajdujący się w cylindrze zamkniętym tłokiem jest dobrze izolowany od otoczenia (nie ma wymiany ciepła z otoczeniem). Niewielka zmiana obciążenia tłoka powoduje małe zmiany ciśnienia gazu i odpowiednie zmiany objętości i temperatury.

Swobodne rozprężanie gazu

Układ realizujący rozprężanie swobodne gazu. Jeden z dobrze izolowanych zbiorników jest wypełniony gazem, a drugi odpompowany. Zbiorniki połączone są rurką z zaworem.



Przykład



Rys. 19.17. Przykład 19.5. Woda wrze pod stałym ciśnieniem. Energia w postaci ciepła przepływa ze zbiornika cieplnego do cylindra do chwili, kiedy ciekła woda całkowicie zamieni się w parę. Rozszerzający się gaz, podnosząc obciążony tłok, wykonuje pracę

Zamieniamy 1 kg wody o temperaturze 100°C w parę o temperaturze również 100°C, pozwalając wodzie wrzeć pod normalnym ciśnieniem atmosferycznym (1 atm, czyli $1,01 \times 10^5$ Pa) w układzie przedstawionym na rysunku. Objętość wody zmienia się od wartości początkowej 1×10^{-3} m³ dla ciecży do 1,671 m³, kiedy ma ona postać pary.

- Jaką pracę wykonuje układ w tym procesie?
- Jaką energię otrzymuje układ podczas ogrzewania?
- Ile wynosi zmiana energii wewnętrznej układu w rozważanym procesie?

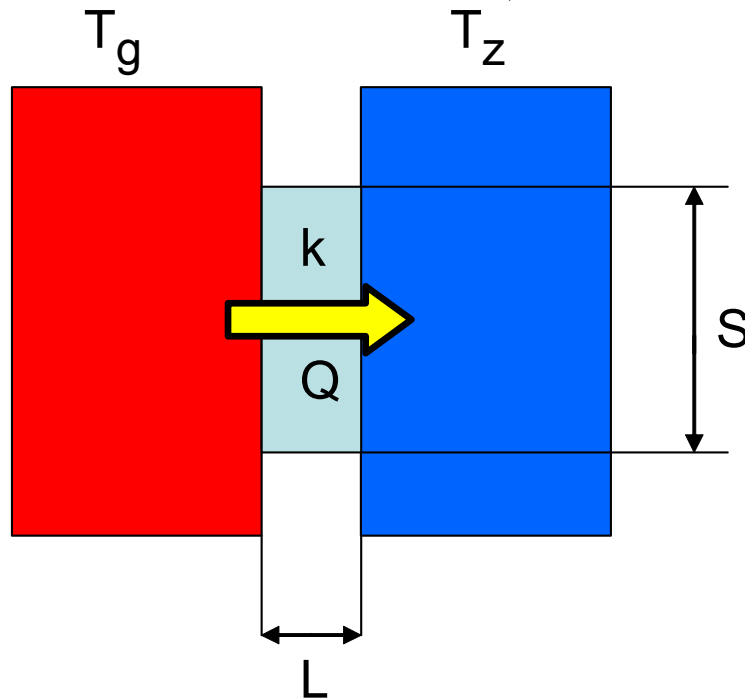
$$W = \int_{V_p}^{V_k} p dV = p(V_k - V_p) = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (1,671 \text{ m}^3 - 0,001 \text{ m}^3) = 1,69 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$Q = c_{\text{par}} \cdot m = 2256 \text{ kJ/kg} \cdot 1 \text{ kg} = 2256 \text{ kJ}$$

$$\Delta U = Q - W = 2256 \text{ kJ} - 169 \text{ kJ} = 2087 \text{ kJ} \approx 2,09 \text{ MJ}$$

Mechanizmy przekazywania ciepła

1) Przewodnictwo cieplne



Energia przepływa w postaci ciepła od zbiornika o temperaturze T_g do zbiornika o niższej temperaturze T_z przez przewodzącą ciepło płytkę o grubości L , przekroju S i przewodności cieplnej właściwej k

$$P = \frac{Q}{t} = k \cdot S \cdot \frac{T_g - T_z}{L}$$

$$P_{\text{przew}} = \frac{\delta Q}{\delta t} = \dot{Q} = -k \cdot S \cdot \frac{dT}{dz}$$

prawo Fouriera

Przewodność cieplna właściwa (przewodność cieplna) k to stosunek ilości energii cieplnej przenoszonej w jednostce czasu przez jednostkową powierzchnię do gradientu temperatury

**Przewodność cieplna właściwa k
wybranych substancji**

Opór cieplny

$$P_{\text{przew}} = \frac{Q}{t} = \dot{Q} = \frac{1}{R} \cdot (T_H - T_C)$$

$$R = \frac{L}{k \cdot S}$$

Opór cieplny, analogia z oporem elektrycznym. Różnica temperatur gra rolę napięcia, moc przewodzona rolę gęstości prądu. Jednostką oporu cieplnego jest kelwin/wat [K/W]

k [W/m·K]

metale

stal nierdzewna	14
olów	35
aluminium	235
miedź	401
srebro	428

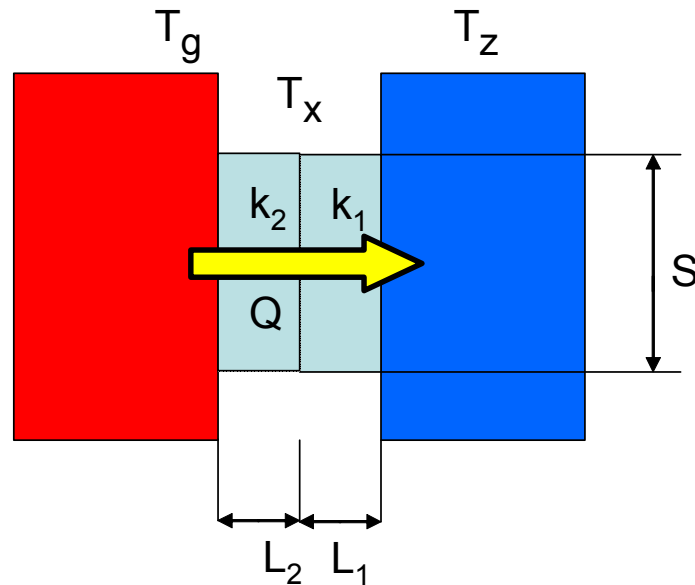
gazy

powietrze (suche)	0,026
hel	0,15
wodór	0,18

materiały budowlane

pianka poliuretanowa	0,024
wełna mineralna	0,043
wata szklana	0,048
drewno sosnowe	0,11
beton komórkowy	0,16
szkło okienne	1,0
cegła	0,8
beton zwykły	1,5
granit	3,2

Przewodzenie ciepła przez płytkę wielowarstwową



Stacjonarny strumień ciepła przez płytkę wykonaną z dwóch różnych materiałów, o tym samym przekroju ale o różnej grubości. W stanie stacjonarnym temperatura T_x na granicy pomiędzy dwoma materiałami ma ustaloną wartość zależną od wypadkowego oporu cieplnego

Strumień cieplny przepływający przez obie warstwy musi być taki sam:

$$P = \frac{Q}{t} = \dot{Q} = \frac{k_2 \cdot S}{L_2} \cdot (T_g - T_x) = \frac{k_1 \cdot S}{L_1} \cdot (T_x - T_z)$$

$$\frac{k_2}{L_2} \cdot (T_g - T_x) = \frac{k_1}{L_1} \cdot (T_x - T_z)$$

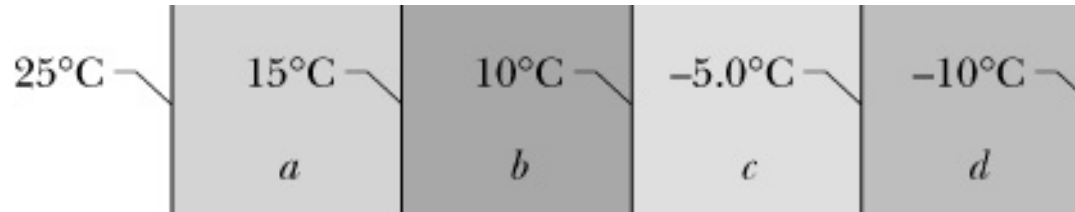
$$T_x = \frac{\frac{k_2}{L_2} T_g + \frac{k_1}{L_1} T_z}{\frac{k_1}{L_1} + \frac{k_2}{L_2}}$$

$$P = \frac{k_2 S}{L_2} \cdot (T_g - T_x) = \frac{S}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2}} \cdot (T_g - T_z)$$

$$P = \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot (T_g - T_z)$$

$$R = R_1 + R_2$$

Sprawdzian

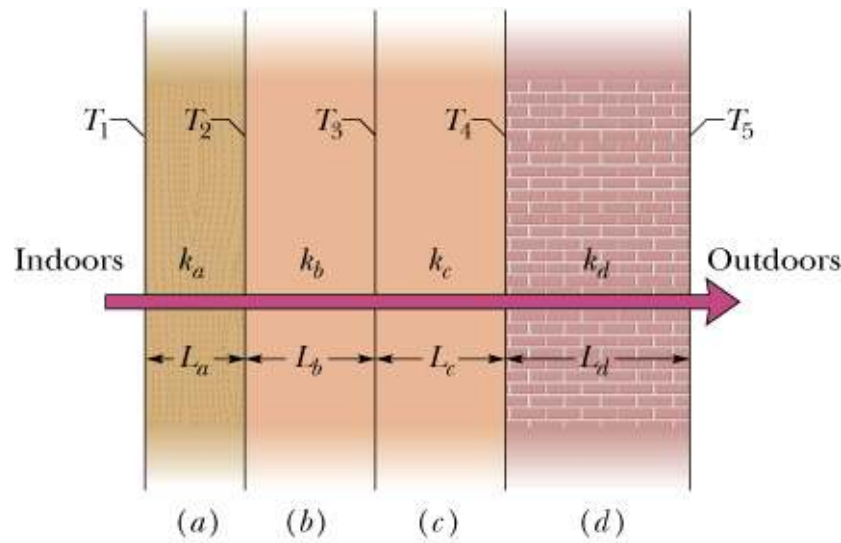


Copyright 2005 John Wiley and Sons, Inc

Ośrodek przewodzący składa się z czterech warstw o jednakowej grubości i przekroju, wykonanych z czterech różnych materiałów. Na rysunku podano temperatury na powierzchniach bocznych i granicznych pomiędzy warstwami, zmierzone dla stacjonarnego strumienia ciepłego. Uszereguj warstwy według ich przewodności cieplnej właściwej, zaczynając od największej wartości

Przykład

Copyright 2005 John Wiley and Sons, Inc



Na rysunku przedstawiono przekrój ściany wykonanej z warstwy drewna sosnowego o grubości L_a i muru ceglanego o o grubości $L_d (= 2 L_a)$, rozdzielonych dwiema warstwami o jednakowej grubości i takiej samej przewodności właściwej, wykonanymi z nieznanego materiału. Przewodność cieplna właściwa drewna sosnowego jest równa k_a a cegiel $k_d (= 5k_a)$. Strumień ciepła przechodzący przez ścianę osiągnął stan stacjonarny. Jedyne znane temperatury na powierzchniach granicznych to $T_1 = 25^\circ\text{C}$, $T_2 = 20^\circ\text{C}$ i $T_5 = -10^\circ\text{C}$. Jaką wartość ma temperatura T_4 ?

$$P_a = \frac{k_a S}{L_a} \cdot (T_1 - T_2)$$

$$P_d = \frac{k_d S}{L_d} \cdot (T_4 - T_5)$$

$$T_4 = \frac{k_a L_d}{k_d L_a} \cdot (T_1 - T_2) + T_5$$

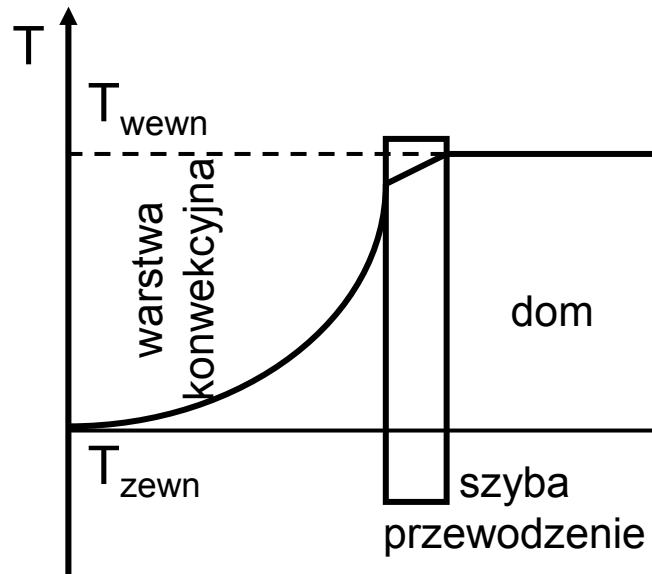
$$P_a = P_d, \quad k_d = 5k_a, \quad L_d = 2L_a$$

$$T_4 = -8^\circ\text{C}$$

2) Konwekcja

$$P_{\text{konw}} = \frac{\delta Q}{\delta t} = \dot{Q} = -h \cdot S \cdot \Delta T$$

h – współczynnik konwekcji $\text{W/m}^2\text{K}$, S – powierzchnia, m^2 , ΔT – różnica temperatur



h – współczynnik konwekcji

konwekcja naturalna (powietrze) 5-25

konwekcja wymuszona (powietrze) 25-250

woda (wrzenie) 3000-60000

Zadanie. Obliczyć strumień ciepła traconego przez okno z domu o temperaturze wewnątrz 20°C do otoczenia o temperaturze -10°C . Okno to pojedyncza szyba o grubości 5 mm i przewodnictwie cieplnym 1W/mK , o powierzchni $1.5 \times 1.5\text{ m}^2$. Wiatr na zewnątrz powoduje, że wartość współczynnika konwekcji wynosi $100\text{ W/m}^2\text{K}$.

3) promieniowanie cieplne

$$P_{\text{prom}} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot S \cdot T^4$$

http://aneksy.pwn.pl/podstawy_fizyki/?id=805

P_{prom} – moc promieniowania cieplnego emitowanego przez ciało w postaci fal elektromagnetycznych,

$\sigma = 5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ – stała Stefana – Boltzmannna

ε – zdolność emisyjna powierzchni ciała

S – powierzchnia ciała

T – temperatura ciała

$$P_{\text{abs}} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot S \cdot T_{\text{otocz}}^4$$

moc promieniowania cieplnego
absorbowanego przez ciało z otoczenia

$$P_{\text{wyp}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{prom}} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot S \cdot (T_{\text{otocz}}^4 - T_{\text{prom}}^4)$$