

KONWEKCJA (WNIKANIE)

1. Dotyczy głównie przenoszenia ciepła w warstwie granicznej pomiędzy płynem (cieczą, gazem) a ścianką rurociągu (ciałem stałym).
2. Związana jest z ruchem płynów.
3. Konwekcyjny ruch ciepła może się odbywać podczas uwarstwionego, burzliwego czy przejściowego przepływu płynu.
4. Występuje w przewodach transportujących płyny za pomocą wentylatora lub pompy (**konwekcja wymuszona**), w przewodach kominowych gdzie różnica temperatur w różnych punktach wywołuje zmianę gęstości płynu (zmianę ciśnień statycznych), co powoduje ruch płynów (**konwekcja naturalna**), w zbiornikach gdzie wrze lub kondensuje ciecz (**konwekcja przy zmianie stanu skupienia**).
5. Zachodzi zarówno podczas ogrzewania jak i chłodzenia płynów.
6. Jest trudna do teoretycznego ujęcia przez związek ruchu płynu z ruchem ciepła. Różny charakter ruchu płynu, zmienna lepkość w różnych temperaturach, różny rozkład prędkości, wiry, kłębiania itp. wpływają na zjawisko konwekcji. Formułuje się tzw. równania kryterialne, wyznaczane na podstawie analizy wymiarowej.

Wnikanie ciepła pomiędzy powierzchnią ścianki a płynem, gazem opisuje **równanie różniczkowe Newtona**:

$$dQ_* = \alpha(T_w - T) \cdot dA$$

gdzie:

Q_* – natężenie przepływu ciepła [W],

α - współczynnik wnikania (przejmowania) ciepła [$W/m^2 \cdot deg$],

T_w – temperatura powierzchni ścianki [K, °C],

T – temperatura płynu [K, °C],

A – powierzchnia ścianki [m^2].

KONWEKCJA		
<p style="text-align: center;">WYMUSZONA</p> $Nu = C \cdot Re^a \cdot Pr^b \cdot (d/L)$ <p>Nu – liczba Nusselta,</p> <p>Re – liczba Reynoldsa,</p> <p>Pr – liczba Prandtla,</p> <p>d/L – liczba podobieństwa geometrycznego,</p>	<p style="text-align: center;">NATURALNA</p> $Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n$ <p>Nu – liczba Nusselta,</p> <p>Gr – liczba Grashofa,</p> <p>Pr – liczba Prandtla,</p>	<p style="text-align: center;">PRZY ZMIANIE STANU SKUPIENIA</p> <p style="text-align: center;">wrzenie</p> $\alpha = 3,14 \cdot (p/10^5)^{0,15} \cdot (q/A)^{0,7}$ $\alpha = 45,8 \cdot (p/10^5)^{0,5} \cdot \Delta T^{2,33}$ <p style="text-align: center;">kondensacja</p> $Nu = C \cdot (Ga \cdot Pr \cdot Ko)^n$ <p>Ga – liczba Galileusza,</p> <p>Ko – liczba kondensacji (przemiany fazowej),</p>

KONWEKCYJA WYMUSZONA (SZTUCZNA)

czyli wnikanie przy wymuszonym przepływie ciepła

Opisuje równanie kryterialne:

$$Nu = C \cdot Re^a \cdot Pr^b \cdot (d/L)$$

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} - \text{liczba Nusselta}$$

(charakteryzująca podobieństwo kinetyczne czyli intensywność przepływu ciepła na granicy płyn – ścianka),

α - współczynnik wnikania ciepła [$W/m^2 \cdot K$],

d – średnica przewodu [m],

λ - współczynnik przewodzenia ciepła [$W/m \cdot K$]

$$Re = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\eta} - \text{liczba Reynoldsa}$$

(charakteryzująca podobieństwo hydrodynamiczne),

u – średnia liniowa prędkość przepływu płynu [m/s],

ρ - gęstość płynu [kg/m^3],

η - współczynnik lepkości dynamicznej płynu [$Pa \cdot s$]

Re charakteryzuje rodzaj przepływu płynu przez rurociąg:

Re < 2100 – przepływ laminarny (uwarstwiony),

2100 < Re < 3000 – przepływ przejściowy,

Re > 3000 – przepływ burzliwy

$$Pr = \frac{c \cdot \eta}{\lambda} - \text{liczba Prandtla}$$

(charakteryzująca pod względem właściwości fizykochemicznych płynu),

c – ciepło właściwe płynu [$J/kg \cdot K$],

L – długość przewodu [m]

d/L – **simpleks geometryczny (liczba podobieństwa geometrycznego)**,

Jeśli przekrój nie jest kołowy to należy wyznaczyć średnicę zastępczą d_e .

np. d_e dla **kwadratu**= a , dla **prostokąta**

($a/b \approx 1$) = $2a$; ($a/b=0,25$)= $1,6a$;

($a/b=0,1$)= $1,82a$; ($a/b=0,33$)= $1,5a$;

($a/b=0,2$)= $1,67a$; ($a/b=0,5$)= $1,33a$

$$d_e = \frac{4 \cdot S(\text{pole powierzchni})}{B(\text{obwód})} \qquad r_h = \frac{S(\text{pole powierzchni})}{B(\text{obwód})}$$

1

Zakładamy:

burzliwy przepływ płynu $Re > 3000$

**$L/d > 50$ wpływ simpleksu geometrycznego jest pomijalny,
gazy i ciecze posiadają małą lepkość ($\eta < 2\eta_{wody}$)**

$$Nu = C \cdot Re^a \cdot Pr^b$$

wtedy, współczynnik **C=0,023**

zaś wykładniki **a=0,8**

b=0,4

zatem:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad \text{równanie Mc Adamsa}$$

W przypadku gazów liczba Prandtla w dużym zakresie ciśnień i temperatury jest wielkością stałą, zależną jedynie od ilości atomów w cząsteczce:

gazy jednoatomowe – 0,67

dwuatomowe – 0,72

trójatomowe – 0,8

cztero- i więcej atomowe – 0,1

np. dla gazu dwuatomowego :

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot 0,72^{0,4} = 0,021 \cdot Re^{0,8}$$

2

Zakładamy:

burzliwy przepływ płynu $Re > 3000$

gazy i ciecze posiadają małą lepkość ($\eta < 2\eta_{wody}$)

$L/d < 50$

wówczas obliczając współczynnik wnikania ciepła należy uwzględnić współczynnik poprawkowy:

dla rury prostej

$\alpha = \varepsilon \cdot \alpha$ gdzie: $\varepsilon = 1 + (d/L)^{0,7}$ jest to współczynnik poprawkowy uwzględniający wzrost średniej wartości α w wyniku występowania efektów wlotowych,

dla wężownicy

$\alpha_r = \varepsilon_r \cdot \alpha$ gdzie: $\varepsilon_r = 1 + 3,54(d/D)$ d – średnica wewnętrzna przewodu, D – średnica zwoju wężownicy

3

burzliwy przepływ płynu $Re > 3000$ **ciecze o dużej lepkości ($\eta > 2\eta_{\text{wody}}$)**

wtedy:

$$C = 0,027 \cdot (\eta/\eta_w)^{0,14}$$

η - współczynnik lepkości płynu w średniej temperaturze rdzenia strumienia [Pa·s],

η_w - współczynnik lepkości płynu w średniej temperaturze powierzchni ścianki [Pa·s],

wówczas wykładniki potęgowe wynoszą: $a=0,8$ $b=0,33$

zatem:

$$Nu = 0,027 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \cdot (\eta/\eta_w)^{0,14} \quad \text{równanie Sider-Tate'a}$$

4

zakładamy:

przepływ laminarny $Re < 2100$

niewielka różnica temperatur pomiędzy ścianką a płynem

$$Nu = C \cdot (Re \cdot Pr \cdot d/L)^n$$

współczynnik wnikania ciepła oblicza się dla średniego spadku

temperatury $T_{\text{sr}} = \frac{(T_{\text{ścianki}} + T_{\text{płynu}})}{2}$

wartości współczynnika C i wykładnika n zależą od wartości iloczynu $Re \cdot Pr \cdot d/L$

1) dla $Re \cdot Pr \cdot d/L > 13$ współczynnik $C=1,86$, zaś $n=0,33$ stąd:

$$Nu = 1,86 \cdot (Re \cdot Pr \cdot d/L)^{0,33}$$

gdy istnieje silna zależność lepkości od temperatury współczynnik C

wynosi $1,86 \cdot (\eta/\eta_w)^{0,14}$, zatem:

$$Nu = 1,86 \cdot (\eta/\eta_w)^{0,14} \cdot (Re \cdot Pr \cdot d/L)^{0,33}$$

2) dla $Re \cdot Pr \cdot d/L < 13$ współczynnik C wynosi $1,62$ zaś $n=0,33$

$$Nu = 1,62 \cdot (Re \cdot Pr \cdot d/L)^{0,33}$$

3) dla $Re \cdot Pr \cdot d/L < 4,5$

$$Nu = 0,5 \cdot Re \cdot Pr \cdot d/L$$

KONWEKCYJA NATURALNA

1) wnikanie ciepła w przestrzeni nieograniczonej dla której $Pr \geq 0,5$

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n$$

gdzie:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} - \text{liczba Nusselta,}$$

$$Gr = \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \Delta t = \frac{g \cdot l^3 \cdot \rho^2}{\eta^2} \cdot \beta \cdot \Delta t - \text{liczba Grashofa}$$

(charakteryzuje oddziaływanie wzajemne sił tarcia wewnętrznego i sił wyporu, spowodowane różnicą gęstości w poszczególnych punktach płynu),

$$Pr = \frac{c \cdot \eta}{\lambda} - \text{liczba Prandtla.}$$

l – charakterystyczny wymiar liniowy [m],

ν – lepkość kinematyczna płynu [m^2/s],

β – współczynnik rozszerzalności objętościowej [$1/K$],

Δt – różnica temperatur między temperaturą powierzchni ściany a temperaturą ośrodka [K].

wartości współczynnika C i wykładnika n zależą od iloczynu $Gr \cdot Pr$

nr	$Gr \cdot Pr$	C	n	Uwagi
1	$10^{-3} \div 5 \cdot 10^2$	1,18	1/8	ruch laminarny
2	$5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$	0,54	1/4	ruch przejściowy
3	$2 \cdot 10^7 \div 10^{13}$	0,135	1/3	ruch burzliwy

Wszelkie obliczenia dokonuje się dla temperatury warstwy przyściennej obliczanej jako średnia arytmetyczna z temperatury powierzchni ściany i ośrodka:

$$T_m = \frac{T_w + T}{2}$$

Współczynnik rozszerzalności objętościowej gazów oblicza się, jak dla gazów doskonałych, jako odwrotność absolutnej temperatury gazów w warstwie przyściennej:

$$\beta = \frac{1}{T_m}$$

Charakterystyczny wymiar liniowy l :

- a) pionowa ściana płaska lub cylindryczna – l jest wysokością ściany,
- b) dla kuli i rury poziomej – l jest ich średnicą,
- c) dla płyty poziomej, zwykle prostokątnej – l jest długością mniejszego boku, ale l_{max} wynosi 0,6 m. Większa wartość nie ma wpływu na współczynnik wnikania ciepła α .

Dla płyty poziomej, jeżeli istnieją warunki ułatwiające konwekcję (powierzchnia grzejna skierowana do góry lub chłodząca skierowana w dół) wówczas współczynnik α należy zwiększyć o 30%, natomiast gdy istnieją warunki utrudniające konwekcję należy α zmniejszyć o 30%.

2) wnikanie ciepła w przestrzeni ograniczonej

Jest skomplikowane ze względu na małe rozmiary rozpatrywanej powierzchni. Nie można ustalić osobno współczynników α dla ogrzewania i chłodzenia płynu. Natężenie przepływu ciepła oblicza się z równania na przewodzenie ciepła.

$$Q_* = \frac{\lambda_z}{\sigma} \cdot A \cdot \Delta T$$

gdy $Gr \cdot Pr < 10^3$

równoważny współczynnik przewodzenia ciepła λ_z jest równy rzeczywistemu współczynnikowi przewodzenia ciepła λ

natomiast gdy $Gr \cdot Pr > 10^3$

stosuje się równanie

$$\frac{\lambda_z}{\lambda} = 0,18 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25}$$

wartość λ_z oblicza się dla temperatury średniej między temperaturami ściany cieplejszej i zimniejszej. Wymiarem charakterystycznym w liczbie Grashofa jest szerokość komory σ .

WNIKANIE CIEPŁA (KONWEKCJA) PRZY ZMIANIE STANU SKUPIENIA

- 1) Wnikanie przy wrzeniu cieczy. Jest to proces skomplikowany, różni się m.in. wrzenie w objętościach dużych oraz w objętościach małych np. w rurach. Różni się m.in. wrzenie pęcherzykowe, błonkowe i inne. Najczęstszym przypadkiem jest wrzenie pęcherzykowe. Wrzenie to pod ciśnieniem atmosferycznym występuje gdy $\Delta T = 5-25K$ ($^{\circ}C$).

Dla **wody** współczynnik α oblicza się z następującego wzoru:

$$\alpha = 3,14 \cdot (p/10^5)^{0,15} \cdot (q/A)^{0,7}$$

$$\alpha = 45,8 \cdot (p/10^5)^{0,5} \cdot \Delta T^{2,33}$$

gdzie:

q/A – natężenie przepływu ciepła na jednostkę powierzchni grzejnej [W/m^2],

p – ciśnienie wrzącej cieczy [Pa],

ΔT – różnica temperatur między temperaturą powierzchni ścianki a temperaturą wrzącej cieczy [K, $^{\circ}C$].

Dla roztworów wodnych i innych cieczy:

$$\alpha' = \varphi \cdot \alpha_{wody}$$

Roztwory wodne	φ	ciecze	φ
10% NaSO ₄	0,94	Metanol	0,53
20% r. cukru	0,87	Etanol	0,45
40% r. cukru	0,84	Izopropanol	0,70
26% r. gliceryny	0,83	n-butanol	0,32
55% r. gliceryny	0,75	Benzen	0,27
9% NaCl	0,86	Toulen	0,36
24% NaCl	0,61	Czterochlorek węgla	0,35

2) wnikanie ciepła przy kondensacji pary Wnikanie ciepła od pary do ścianki, której temperatura jest niższa od temperatury nasycenia.

$$Nu = C \cdot (Ga \cdot Pr \cdot Ko)^n$$

gdzie:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} - \text{liczba Nusselta,}$$

$$Ga = \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} - \text{liczba Galileusza}$$

(charakteryzuje stosunek sił tarcia wewnętrznego do sił ciężkości),

$$Pr = \frac{c \cdot \eta}{\lambda} - \text{liczba Prandtla,}$$

$$Ko = \frac{r}{c \cdot \Delta T} - \text{liczba kondensacji}$$

(jest to miara stosunku strumienia ciepłego zużywanego na fazowe przekształcenie substancji do ciepła przechłodzenia jednej z faz w temperaturze nasycenia),

gdzie:

α - współczynnik wnikania ciepła od kondensującej pary do ścianki [W/m²·K],

g - przyspieszenie ziemskie [m/s²],

ν - współczynnik lepkości kinematycznej kondensatu [m²/s],

c - ciepło właściwe kondensatu [J/kg·K],

η - współczynnik lepkości dynamicznej kondensatu [Pa·s],

r - ciepło kondensacji pary [J/kg],

ΔT - różnica temperatur między temperaturą kondensującej pary a temperaturą powierzchni ścianki [K, °C].

1) dla rury pionowej:

$$\alpha = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \cdot \rho^2 \cdot r \cdot g}{H \cdot \eta \cdot \Delta T}}$$

H - wysokość rury [m],

2) dla rury poziomej (kondensacja na zewnątrz rury):

$$\alpha = 0,725 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \cdot \rho^2 \cdot r \cdot g}{d \cdot \eta \cdot \Delta T}}$$

d - średnica zewnętrzna rury [m],

Wartości liczbowe parametrów fizycznych kondensatu t.j. λ , ρ , η podstawia się dla temperatury błonki kondensatu T_m .

$$T_m = \frac{T_w + T_s}{2}$$

T_w – temperatura powierzchni ścianki,

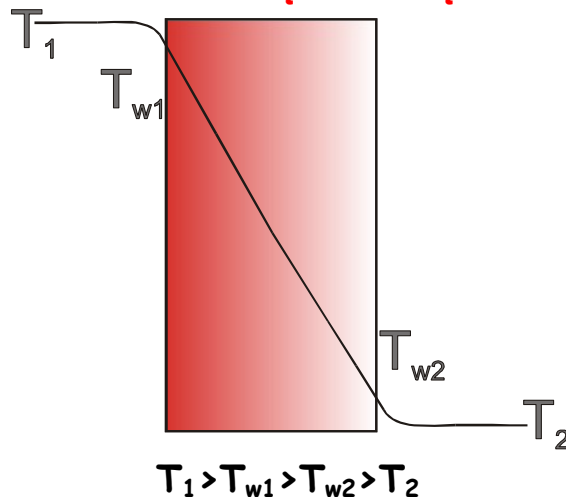
T_s – temperatura nasycenia,

Wartość liczbową ciepła kondensacji r oblicza się dla T_s .

PRZENIKANIE

W przemyśle ruch ciepła zachodzi równocześnie dwoma lub trzema sposobami, najczęściej odbywa się przez **przewodzenie** i **konwekcję**. Mechanizm transportu ciepła łączący wymienione sposoby ruchu ciepła nazywa się **PRZENIKANIEM CIEPŁA**.

PRZENIKANIE PRZEZ ŚCIANKĘ PŁASKĄ JEDNOWARSTWOWĄ



Przepływ ciepła przez ściankę jest ustalony $\frac{dQ}{dt} = Q_* = const$

Przepływ ciepła odbywa się w trzech stadiach:

1. wnikanie ciepła od ośrodka do ścianki płaskiej,

$$Q_{*1} = \alpha_1 \cdot A \cdot (T_1 - T_{w1}) \text{ PR. NEWTONA}$$

2. przewodzenie ciepła przez ściankę,

$$Q_{*2} = \frac{\lambda \cdot A}{\sigma} \cdot (T_{w1} - T_{w2}) \text{ PR. FOURIERA}$$

3. wnikanie ciepła od ścianki do ośrodka ogrzewanego

$$Q_{*3} = \alpha_2 \cdot A \cdot (T_{w2} - T_2) \text{ PR. NEWTONA}$$

Ponieważ ruch ciepła jest ustalony $Q_{*1} = Q_{*2} = Q_{*3}$ można równania dodać stronami, Natężenie przepływu ciepła na drodze przenikania można, zatem wyrazić następująco:

$$Q_* = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\sigma}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} A \cdot (T_1 - T_2) \quad [\text{W}]$$

gdzie:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\sigma}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot \text{deg}} \right] - \text{współczynnik przenikania ciepła}$$

deg (z ang. degree)– stopień °C, K

PRZENIKANIE PRZEZ ŚCIANKĘ PŁASKĄ WIELOWARSTWOWĄ

Natężenie przepływu ciepła:

$$Q_* = K \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \text{ [W]}$$

gdzie:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\sigma}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot \text{deg}} \right]$$

PRZENIKANIE PRZEZ ŚCIANKĘ CYLINDRYCZNĄ

Natężenie przepływu ciepła:

$$Q_* = K_d \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_2) \text{ [W]}$$

gdzie:

$$K_d = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot 2r_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot 2r_2}} \left[\frac{W}{m \cdot \text{deg}} \right]$$

ZADANIA

ZADANIE 1

Kanałem o przekroju prostokątnym 200x300 mm przepływa powietrze z prędkością liniową 15m/s. Obliczyć współczynnik wnikania ciepła od powietrza do ścianek kanału, jeżeli temperatura powietrza wynosi 40°C. W tej temperaturze $\rho=1,092 \text{ kg/m}^3$, $\eta=19,12 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\lambda=0,0265 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ a $Pr=0,71$

ZADANIE 2

W wężownicy o średnicy zwoju 0,7m, długości 2m, zwiniętej z rury 57/50mm jest chłodzony alkohol metylowy. Obliczyć współczynnik wnikania ciepła, jeżeli średnia temperatura alkoholu wynosi 50°C, zaś liniowa prędkość przepływu wynosi 1,2m/s. Parametry fizyczne metanolu w temp. 50°C: $\rho=765 \cdot \text{kg/m}^3$, $\eta=3,96 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\lambda=0,207 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ i $c=2,554 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

ZADANIE 3

Rurą o średnicy 150mm i długości 3m przepływa woda z prędkością liniową 0,9m/s. Średnia temperatura wody jest równa 65°C. Obliczyć współczynnik wnikania ciepła. Parametry fizyczne wody w temp.65°C: $\eta=435,4 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\lambda=0,663 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\rho=980,6 \text{ kg/m}^3$ i $c=4,184 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

ZADANIE 4

Rurami o średnicy wewnętrznej 82,5mm przepływa glikol etylenowy z prędkością liniową równą 0,7 m/s. Temperatura średnia glikolu etylenowego wynosi 60°C. Porównać wartości liczbowe współczynnika α w przypadku gdy:

a) glikol jest ogrzewany, a średnia temperatura ściany wynosi 80°C,

b) glikol jest chłodzony, a średnia temperatura ściany wynosi 40°C.

Dane: $\lambda=0,263 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\rho=1085 \text{ kg/m}^3$ i $c=2,562 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Współczynnik lepkości dynamicznej wynosi:

T °C	η [Pa·s]
40	$9,13 \cdot 10^{-3}$
60	$4,95 \cdot 10^{-3}$
80	$3,02 \cdot 10^{-3}$

Lepkość wody w 60°C wynosi $0,472 \cdot 10^{-3} \text{ [Pa}\cdot\text{s]}$.

ZADANIE 5

Obliczyć współczynnik wnikania ciepła na drodze konwekcji naturalnej od poziomego przewodu parowego o średnicy zewnętrznej 133mm do otaczającego powietrza. Temperatura zewnętrznej powierzchni rury jest równa 80°C a temperatura powietrza 20°C. Dane: $\nu=18,58 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\lambda=0,0272 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\text{Pr}=0,71$.

ZADANIE 6

W dużym zbiorniku ogrzewamy wodę za pomocą wężownicy parowej. Wężownica zwinięta jest z rury o średnicy zewnętrznej 76mm. Temp. zewnętrznej powierzchni wężownicy równa jest około 100°C, zaś temperatura wody w zbiorniku wynosi 80°C. Obliczyć współczynnik wnikania ciepła od wężownicy do wody (konwekcja naturalna).
Dane: $\eta=308,9 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\lambda=0,678 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\rho=965,3 \text{ kg/m}^3$, $c=4,202 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ i $\beta=7,0 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$.

ZADANIE 7

W aparacie o dużej objętości wrze woda pod ciśnieniem $p=1,48 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Obliczyć współczynnik wnikania ciepła dla wody, jeżeli temperatura powierzchni ścianki aparatu po stronie wrzącej wody: $T_w=120^\circ\text{C}$. Temperatura wrzenia wody pod w/w ciśnieniem wynosi $T=111^\circ\text{C}$.

ZADANIE 8

W przestrzeni międzyrurkowej poziomego wymiennika ciepła w rurze kondensuje para wodna o ciśnieniu $6,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Średnica zewnętrzna rury wewnętrznej jest równa 89 mm, zaś temperatura jej powierzchni po stronie kondensującej pary wynosi 158°C. Obliczyć współczynnik wnikania ciepła od kondensującej pary do powierzchni rury. Temperatura kondensacji pary pod ciśnieniem $6,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ wynosi $T_s=162^\circ\text{C}$. Parametry fizyczne kondensatu w temp. 160°C: $\eta=171,6 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\lambda=0,680 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\rho=907,6 \text{ kg/m}^3$. Ciepło kondensacji pary w temperaturze 162°C wynosi $r=2075,8 \text{ kJ/kg}$.

ZADANIE 9

Wewnętrzna powierzchnia warstwy izolacyjnej posiada temperaturę 10°C, natomiast powierzchnia zewnętrzna oddaje ciepło do otoczenia (temp. otoczenia jest równa -20°C) na drodze konwekcji. Grubość warstwy izolacyjnej wynosi 50 mm a jej współczynnik przewodzenia ciepła jest równy $\lambda=0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Obliczyć współczynnik wnikania ciepła wiedząc, że temperatura zewnętrznej powierzchni wynosi 0°C.

ZADANIE 10

Szyba okienna o grubości 0,5 cm i współczynniku λ równym 0,78 W/m·deg po stronie wewnętrznej powierzchni ma kontakt z powietrzem o temperaturze 25°C. Współczynnik wnikania po tej stronie wynosi 15 W/m²·deg. Powietrze po stronie zewnętrznej ma temperaturę -20°C, a współczynnik α po stronie zewnętrznej wynosi 50 W/m²·deg. Obliczyć temperatury zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni szyby.

ZADANIE 11

Okno składa się z dwóch szyb o grubości 5 mm, oddzielonych przestrzenią powietrzną o grubości 10 mm. Współczynnik przewodzenia ciepła szkła λ wynosi 0,78 W/m·deg a powietrza 0,025 W/m·deg. Współczynnik wnikania ciepła α_1 wynosi 10 W/m²·deg a wnikania ciepła α_2 jest równy 50 W/m²·deg.

- 1) obliczyć gęstość strumienia ciepła gdy $\Delta T=60$ deg,
- 2) porównać ten wynik z ciepłem traconym w przypadku okna z jedną szybą,
- 3) porównać ten wynik w przypadku okna bez przestrzeni powietrznej, przyjmując grubość szyby równą 10 mm,

ZADANIE 12

W skraplaczu rurkami o średnicy 32/38 mm przepływa woda chłodząca, zaś w przestrzeni międzyrurkowej kondensuje para wodna. Współczynniki wnikania ciepła od kondensującej pary do zewnętrznej powierzchni rur oraz od wewnętrznej powierzchni rur do wody wynoszą odpowiednio: $\alpha_1=10000$ W/m²·deg i $\alpha_2=4200$ W/m²·deg. Współczynnik przewodzenia ciepła stali wynosi 45 W/m·deg. Obliczyć współczynnik przenikania ciepła K. Następnie obliczyć współczynnik przenikania ciepła K_1 , jeżeli rurki skraplacza są pokryte wewnątrz warstwą kamienia kotłowego o grubości 1mm (λ kamienia kotłowego wynosi 0,8 W/m·deg).

ZADANIE 13

Określić współczynnik przenikania ciepła od roztworu przepływającego zaizolowaną rurą do otaczającego powietrza. Rura stalowa o średnicy 125/133mm zaizolowana jest z zewnątrz warstwą waty szklanej o grubości 80mm.

Dane: współczynnik wnikania ciepła od roztworu do ścianki rury $\alpha_1=600$ W/m²·K; współczynnik wnikania ciepła od ścianki rury do powietrza $\alpha_2=10$ W/m²·K; współczynniki przewodzenia ciepła stali $\lambda_1=45$ W/m·K, waty szklanej $\lambda_2=0,09$ W/m·K.

ZADANIE 14

W aparacie wrze ciecż w temperaturze 115°C. Płaska ściana aparatu jest wykonana z blachy stalowej o grubości 0,003m i zaizolowana z zewnątrz warstwą wełny żuźlowej o grubości 0,06m. Temperatura otoczenia wynosi 18°C. Obliczyć natężenie wymiany ciepła na drodze przenikania blachy. Współczynniki wnikania ciepła od wrzącej ciecży do blachy i od izolacji do otoczenia wynoszą odpowiednio: $\alpha_1=2100 \text{ W/m}^2\cdot\text{deg}$ i $\alpha_2=8 \text{ W/m}^2\cdot\text{deg}$. Współczynniki przewodzenia ciepła blachy i izolacji są równe odpowiednio: $\lambda_1=50 \text{ W/m}\cdot\text{deg}$ i $\lambda_2=0,034 \text{ W/m}\cdot\text{deg}$. Powierzchnia wynosi $A=1\text{m}^2$.

ZADANIE 15

Współczynnik wnikania ciepła od nieizolowanego kulistego zbiornika o średnicy 0,5m do otoczenia o temperaturze $T_0=293 \text{ K}$ wynosi $\alpha=10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Zbiornik pokryto warstwą izolacji o grubości $\sigma=0,04 \text{ m}$ ($\lambda_{iz}=0,056 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Przyjmując temperaturę powierzchni zbiornika $T=363 \text{ K}$ (w obu przypadkach) oraz, że współczynnik wnikania ciepła nie ulega zmianie po nałożeniu izolacji, obliczyć ile % zmniejszy się gęstość strumienia cieplnego.

ZADANIE 16

Obliczyć gęstość strumienia cieplnego q przenikającego przez czystą powierzchnię ogrzewalną kotła parowego, oraz temperatury na powierzchniach ścianki, jeżeli dane są następujące: temperatura spalin $T_1=1273\text{K}$, temperatura wrzącej wody $T_2=473 \text{ K}$, współczynnik wnikania ciepła od spalin od ścianki $\alpha_1=100 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ i od ścianki do wrzącej wody $\alpha_2=5000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ oraz współczynnik przewodzenia ciepła materiału ścianki $\lambda_2= 50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ i grubość ścianki $\sigma_2=0,012 \text{ m}$.

a) W czasie eksploatacji powierzchnia ogrzewalna kotła parowego od strony spalin pokryła się warstwą sadzy o grubości $\sigma_1=0,001 \text{ m}$ ($\lambda_1=0,08 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) a od strony wody warstwą kamienia kotłowego o grubości $\sigma_3=0,002 \text{ m}$ ($\lambda_3=0,8 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Obliczyć gęstość strumienia cieplnego przez zanieczyszczoną powierzchnię ogrzewalną oraz temperatury na połączeniach poszczególnych warstw T_1 , T_2 , T_3 i T_4 . Porównać wyniki rozwiązania z poprzednią częścią zadania i określić zmniejszenie gęstości strumienia cieplnego w %.

ZADANIE 17

Rurociągiem o średnicach $d_w/d_z=90/100$ mm płynie ciepły olej. Rurociąg ten pokryto warstwą izolacji o grubości 100 mm. Współczynniki przewodzenia ciepła materiału rury i izolacji wynoszą odpowiednio $\lambda_1=40$ W/m·K, $\lambda_{iz}=1,16$ W/m·K. Średnia temperatura $T_1=438$ K, temperatura otoczenia $T_2=285$ K. Współczynnik wnikania ciepła od oleju do rury $\alpha_1=120$ W/m²·K i wnikania ciepła od izolacji do otoczenia $\alpha_2=10$ W/m²·K. Określić wartość strumienia cieplnego dla rurociągu bez i z izolacją. Ile powinienem wynosić współczynnik przewodzenia ciepła materiału izolacyjnego, by pokryty nim rurociąg cechował się stratami ciepła nie większymi niż rurociąg bez izolacji. Przyjąć długość rurociągu równą $L=1$ m.