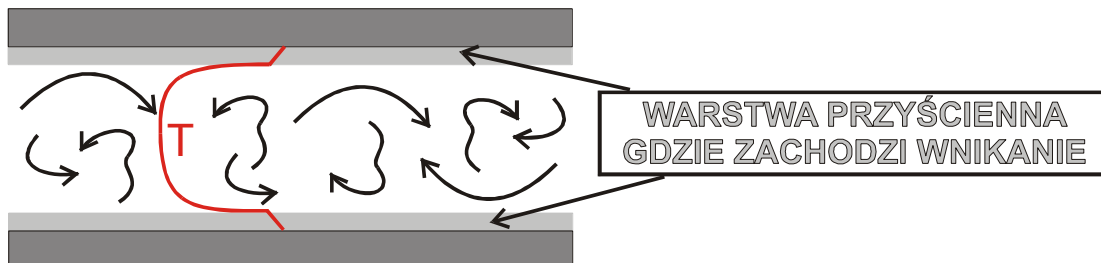


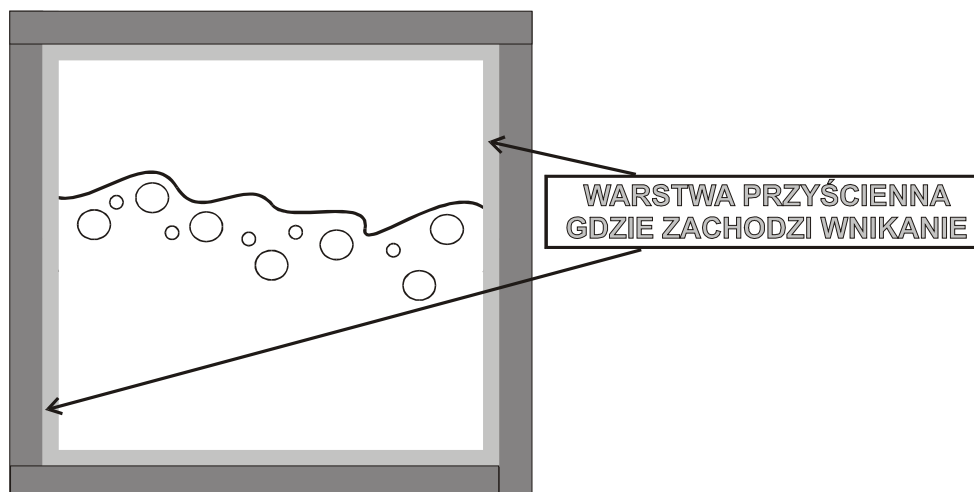
KONWEKCCJA (WNIKANIE, PRZEJMOWANIE CIEPŁA)

1. Związana jest z ruchem płynów.
2. Konwekcyjny ruch ciepła może się odbywać podczas uwarstwionego, burzliwego czy przejściowego przepływu płynu.
3. 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 płyn (**konwekcja przy zmianie stanu skupienia**).
4. Zachodzi zarówno podczas ogrzewania jak i chłodzenia płynów.
5. 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, kłębienia itp. wpływają na zjawisko konwekcji. Formułuje się tzw. równania kryterialne, wyznaczane na podstawie analizy wymiarowej.
6. Dotyczy także przenoszenia ciepła w warstwie granicznej pomiędzy płynem (cieczą, gazem) a ścianką rurociągu (ciałem stałym) – mechanizm **WNIKANIA**.

RUROCIĄG TRANSPORTUJĄCY PŁYN



ZBIORNIK Z WRZĄCĄ CIECZĄ



PRZYKŁAD ANALIZY WYMIAROWEJ

$$dq = \alpha(T_w - T) \cdot dA \quad \text{równanie Newtona}$$

gdzie: α - współczynnik wnikania ciepła, który jest funkcją
 $d, L, u, c, \lambda, \eta, \rho, \beta, \Delta T, g$

posługując się zasadami analizy wymiarowej można zapisać

$$\frac{\alpha d}{\lambda} = f_1\left(\frac{ud\rho}{\eta}, \frac{c\eta}{\lambda}, \frac{gL^3}{\nu^2} \cdot \beta\Delta T, \frac{d}{L}\right)$$

Ułamki bezwymiarowe noszą następujące nazwy:

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} \quad \text{liczba Nusselta;}$$

$$Pr = \left(\frac{c\eta}{\lambda}\right) \quad \text{liczba Prandtla;}$$

$$Re = \left(\frac{ud\rho}{\eta}\right) \quad \text{liczba Reynoldsa ;}$$

$$Gr = \left(\frac{gL^3}{\nu^2}\right) \cdot \beta\Delta T \quad \text{liczba Grashofa;}$$

$$K_g = \left(\frac{d}{L}\right) \quad \text{liczba podobieństwa geometrycznego;}$$

$$\text{czyli } Nu = f_1(Re, Pr, Gr, K_g)$$

Szczegółowa postać w/w równania dla konwekcji wymuszonej i burzliwego ruchu płynu:

Współczynnik wnikania ciepła jest funkcją $\alpha = f(w, d, L, \eta, \rho, c, \lambda)$

wg analizy wymiarowej: $\frac{\alpha d}{\lambda} = f_1\left(\frac{wd}{\eta}, \frac{c\eta}{\lambda}, \frac{L}{d}\right)$ czyli

$Nu = f_1(Re, Pr, K_g)$ lub $Nu = A Re^B Pr^C$ na podstawie doświadczeń wyznacza się wartości współczynników A, B i C

gdy $L/d > 50$ wówczas jego wpływ na wartość α można pominąć,

$$\text{wówczas } \alpha = f_2(w, d, \eta, c, \lambda)$$

opierając się na metodzie Reyleigha można zapisać $\alpha = Aw^B c^C d^D \eta^E \lambda^F$

Równanie wymiarów fizycznych jest zatem następujące:

$$\left[\frac{J}{m^2 \cdot s \cdot \text{deg}} \right] = \left[\frac{kg}{m^2 \cdot s} \right]^B \cdot \left[\frac{J}{kg \cdot \text{deg}} \right]^C \cdot [m]^D \cdot \left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]^E \cdot \left[\frac{J}{m \cdot s \cdot \text{deg}} \right]^F$$

Aby była zachowana jednorodność wymiarowa muszą być spełnione związki:

$$\left. \begin{aligned} \frac{J}{\text{deg}} &\rightarrow 1 = C + F \\ m &\rightarrow -2 = -2B + D - E - F \\ s &\rightarrow -1 = -B - E - F \\ kg &\rightarrow 0 = B - C + E \end{aligned} \right\}$$

Wyrażając niewiadome D, E, F przy pomocy B i C otrzymuje się:

$$\left. \begin{aligned} D &= B - 1 \\ E &= C - B \\ F &= 1 - C \end{aligned} \right\}$$

Zatem:

$$\alpha = Aw^B c^C d^{B-1} \eta^{C-B} \lambda^{1-C}$$

Dzieląc obie strony równania przez α i grupując wyrazy z wykładnikami potęg B i C otrzymuje się

$$1 = A \frac{\left(\frac{w \cdot d}{\eta} \right)^B \left(\frac{c \cdot \eta}{\lambda} \right)^C}{\left(\frac{\alpha \cdot d}{\lambda} \right)} \Rightarrow \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = A \left(\frac{w \cdot d}{\eta} \right)^B \cdot \left(\frac{c \cdot \eta}{\lambda} \right)^C \Rightarrow Nu = A \cdot Re^B \cdot Pr^C$$

Dla omawianego przypadku uzyskuje się równanie **McAdamsa**

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

WNIKANIE CIEPŁA (KONWEKCJA)

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

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot (T_w - T) [W]$$

gdzie:

\dot{Q} – natężenie (strumień) przepływu ciepła [W],

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

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

T – temperatura płynu [K, °C],

A – powierzchnia ścianki [m^2].

KONWEKCJA WYMUSZONA (SZTUCZNA)

czyli wnikanie przy wymuszonym przepływie ciepła

Opisuje równanie kryterialne:

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

$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$ - 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 [$W/m \cdot K$]

$Re = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\eta}$ - 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·s]

Re charakteryzuje rodzaj przepływu płynu przez rurociąg:

Re < 2100 – przepływ laminarny (uwarstwiony),

2100 < Re < 3000 – przepływ przejściowy,

Re > 3000 – przepływ burzliwy

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

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

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

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

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

1

Zakładamy:

burzliwy przepływ płynu $Re > 3000$

$L/d > 50$ wpływ simpleksu geometrycznego jest pomijalny,

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

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

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 ($\eta < 2\eta_{\text{wody}}$)

$L/d < 50$

wówczas obliczając współczynnik wnikania ciepła należy uwzględnić współczynnik poprawkowy:

dla rury prostej

$$\alpha = \varepsilon \cdot \alpha$$

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

dla wężownicy

$$\alpha_r = \varepsilon_r \cdot \alpha$$

gdzie: $\varepsilon_r = 1 + 3,54 \left(\frac{d}{D}\right)$

d – średnica wewnętrzna wężownicy (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 $T_{sr} = \frac{(T_{ścianki} + T_{pynu})}{2}$

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

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

KONWEKCJA 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

Dla iloczynu $Gr \cdot Pr < 10^{-3}$ liczba Nusselta ma wartość stałą, równą 0,45 czyli $C=0,45$ zaś $n=0$, zatem:

$$\alpha = 0,45 \cdot \frac{\lambda}{l} \text{ tzn. wnikanie ciepła określa przewodnictwo cieplne płynu}$$

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 (KONWEKCYJA) 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 $\Delta T = 5-25\text{K}$ ($^{\circ}\text{C}$).

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 , $^{\circ}\text{C}$].

Dla roztworów wodnych i innych cieczy:

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

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:

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

$$Ga = \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \text{ - liczba Galileusza (charakteryzuje stosunek sił tarcia wewnętrznego do sił ciężkości),}$$

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

$$Ko = \frac{r}{c \cdot \Delta T} \text{ - liczba kondensacji (jest to miara stosunku strumienia cieplnego zużywanego na fazowe przekształcenie substancji do ciepła przechłodzenia jednej z faz w temperaturze nasycenia),}$$

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].

Wartości współczynnika C i wykładnika n są następujące:

1. rura pionowa:

$$C = 1,15 \quad n = 0,25$$

l – wysokość rury,

2. rura pozioma:

$$C = 0,725 \quad n = 0,25$$

l – średnica zewnętrzna rury,

Zastrzeżenia:

- kondensacja następuje w sposób błonkowy,
- błonka kondensatu sływa ruchem laminarnym z prędkością nie przekraczającą 1,0 [m/s],
- para nie zawiera niekondensujących gazów.

Zatem wartości współczynnika wnikania ciepła można wyliczyć na podstawie następujących wzorów:

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 .

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 węźownicy o średnicy zwoju 0,7 m, długości 2 m, zwiniętej z rury 57/50 mm jest chłodzony alkohol metylowy. Obliczyć współczynnik wnikania ciepła, jeżeli średnia temperatura alkoholu wynosi 50°C, zaś liniowa prędkość przepływu wynosi 1,2 m/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 150 mm i długości 3 m przepływa woda z prędkością liniową 0,9 m/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

W wymienniku ciepła rurkami o średnicy wewnętrznej 38,5 mm i długości 5000 mm, przepływa olej o średniej temperaturze 40°C. Średnia temperatura powierzchni ściany wynosi 30°C. Obliczyć współczynnik wnikania ciepła, jeżeli liniowa prędkość przepływu oleju równa się 0,3 m/s. Parametry fizyczne oleju w temp. 40°C: $\eta=0,233 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\lambda=0,179 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\rho=840 \text{ kg/m}^3$ i $c=1,926 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Lepkość dynamiczna oleju w temperaturze 30°C $\eta_w=0,455 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

ZADANIE 5

Rurami o średnicy wewnętrznej 82,5 mm 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: $\lambda=0,263$ W/m·K, $\rho=1085$ kg/m³ i $c=2,562$ kJ/(kg·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 $0,472 \cdot 10^{-3}$ [Pa·s].

ZADANIE 6

Obliczyć współczynnik wnikania ciepła na drodze konwekcji naturalnej od poziomego przewodu parowego o średnicy zewnętrznej 133 mm do otaczającego powietrza. Temperatura zewnętrznej powierzchni rury jest równa 80°C a temperatura powietrza 20°C. Dane: $\nu=18,58 \cdot 10^{-6}$ m²/s, $\lambda=0,0272$ W/m·K, $Pr=0,71$.

ZADANIE 7

W dużym zbiorniku ogrzewamy wodę za pomocą wężownicy parowej. Wężownica zwinięta jest z rury o średnicy zewnętrznej 76 mm. Temperatura zewnętrznej powierzchni wężownicy wynosi około 100°C, zaś temperatura wody w zbiorniku wynosi 80°C. Obliczyć współczynnik wnikania ciepła od wężownicy do wody (konwekcja naturalna).

Dane: $\eta=308,9 \cdot 10^{-6}$ Pa·s, $\lambda=0,678$ W/m·K, $\rho=965,3$ kg/m³, $c=4,202$ kJ/(kg·K) i $\beta=7,0 \cdot 10^{-4}$ K⁻¹.

ZADANIE 8

Powierzchnia pieca kaflowego przekazuje ciepło do pokoju. Należy określić strumień wymienionego ciepła, jeżeli temperatura ściany pieca wynosi 60°C a temperatura powietrza w pokoju 20°C. Wysokość pieca wynosi 1,5 m. Właściwości fizykochemiczne powietrza w temperaturze 40°C wynoszą: $\nu=18,58 \cdot 10^{-5}$ m²/s, $\lambda=0,0265$ W/m·K, $Pr=0,71$.

ZADANIE 9

Określić współczynnik wnikania ciepła w konwekcji swobodnej od podłogi do powietrza. Wymiary grzanego segmentu podłogi wynoszą 3x1 m. Temperatura podłogi wynosi 40°C, zaś temperatura powietrza 20°C. Dane dla powietrza w 30°C: $\lambda=0,026 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\nu=1,66\cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $Pr=0,71$.

ZADANIE 10

Między dwiema ścianami, z których jedna nagrzana jest do temperatury 320°C, zaś druga do temperatury 80°C, znajduje się szczelina o szerokości 20 mm wypełniona CO₂. Obliczyć równoważny współczynnik przewodzenia ciepła dla tej szczeliny. Parametry fizyczne CO₂ w temperaturze 200°C: $\nu=19,2\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\lambda=0,02847 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $Pr=0,715$.

ZADANIE 11

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 ciśnieniem $T=111^\circ\text{C}$.

ZADANIE 12

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 13

W pionowym zbiorniku kolumny rektyfikacyjnej kondensują opary benzenu. Kondensacja następuje w przestrzeni międzyrurkowej zbiornika pod ciśnieniem $1,015\cdot 10^5 \text{ Pa}$. Temperatura kondensacji benzenu pod tym ciśnieniem wynosi $T_s=80,2^\circ\text{C}$ (ciepło kondensacji $r=395,7 \text{ kJ/kg}$). Wysokość rurek zbiornika wynosi 2000 mm a temp. ich powierzchni po stronie kondensującej pary wynosi 70°C. Obliczyć α . Dane dla benzenu w $T=75^\circ\text{C}$: $\lambda=0,151 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\rho=819 \text{ kg/m}^3$ i $\eta=3,33\cdot 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Ciepło kondensacji benzenu w temperaturze 80,2°C wynosi $r=395,7 \text{ kJ/kg}$.