Termokinetyka – wykład 1

Termokinetyka

Przewodzenie ciepła, ruch cieplny.

Pojęcia wstępne:

- Pole temperaturowe: przestrzeń materialna w której każdemu punktowi przyporządkowana jest określona temperatura.

  De facto: $T = f(x, y, z)$ lub w stanie nieustalonym $T = f(x, y, z, t)$

- Średni strumień ciepła, $\dot{Q} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ $\left[\frac{J}{s}\right][W]$

  Czasem strumień ciepła określa się jako moc cieplną.

  Przepływ ciepła zachodzi tylko, gdy występuje różnica temperatur

- Gęstość strumienia ciepła: $\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{S}$ $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

- Wymiana ciepła może zachodzić jedno, dwu, trójwymiarowo, względem określonych współrzędnych.
- Podstawowe sposoby przekazywania ciepła:
  - Przewodzenie ciepła – przewodzenie ruchu bezładnego między stykającymi się cząsteczkami. (ruch mikroskopowy)
  - Unoszenie ciepła – konwekcja – ruch w kierunku grad. T (ruch makroskopowy)
  - Promieniowanie – radiacja – przekazywanie ciepła za pomocą fal elektromagnet., w każdej T powyżej 0K
  - Przejmowanie ciepła = unoszenie + promieniowanie, na linii ciało stałe – płyn
  - Przenikanie – złożenie przejmowania: przewodzenia, między płynami przedzielonymi stałą przegrodą
- Przewodzenie ciepła: równania podstawowe
  - Przewodzenie → prawo Fouriera → $\dot{q} = -\lambda \operatorname{grad} T$

    $\lambda \to K$ zależnie od źródła

    λ – wsp. prz. cieplnej $\qquad \dot{q} = \frac{\Delta \dot{Q}}{S} \qquad \dot{Q} = \lambda S \operatorname{grad} T$

  Gęstość strumienia ciepła jest prop. do gradientu temperatury.
  Minus oznacza, że przepływ jest przeciwny do gradientu – z wyższej do niższej T.

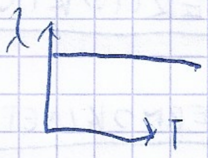
  $\dot{q} = -\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial T}{\partial z}\right)$ → w wielowymiarach

  λ – może zależeć od gęstości, temperatury

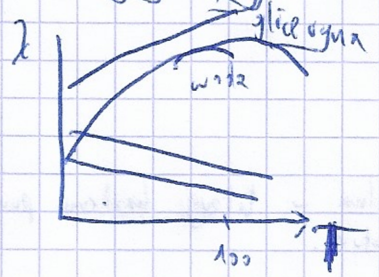
  Domieszka w metalu może znacznie zmienić przewodność cieplną materiału.
  Grafen bardzo dobrze przewodzi: 4820 – 5300 $\frac{W}{m \cdot K}$
  Aluminium 205, miedź ~400, srebro ~400, diament ~1000–2000
  Woda 20°C – 0,6; Powietrze 0°C 0,024

  Powietrze w izolacji – opór cieplny

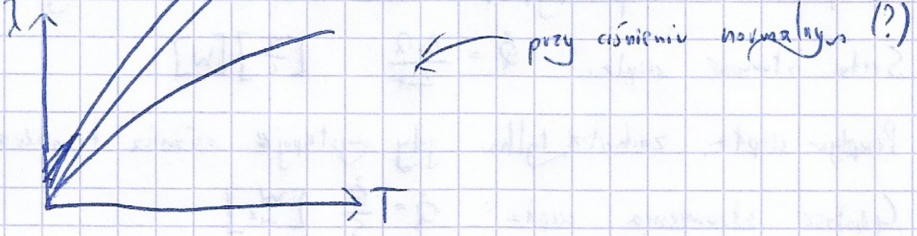
Przewodność cieplna metali lekko spada ze wzrostem T, w czystym materiale
Zanieczyszczenia powodują spadek λ



Dla cieczy: oprócz gliceryny i ~~wody~~ — spada



Gazy:



* - Często powierzchnie łączenia elem. cieplnych jest ważnym problemem w chłodzeniu urządzeń.

Rozwiązania: docisk, wykończenie pow. styku, lutowanie pow. styku, pasty termo

* - Materiały będące dobrymi przewodnikami ciepła są dobrymi przewodnikami elektrycznymi — i na odwrót

Dla metali: $\lambda = \lambda_e + \lambda_f$ elektronowe + fotonowe

Prawo Wiedemanna Franza-Lorenza: $L = \frac{\lambda}{\sigma T}$

L - liczba Lorenza $\left[\frac{W\Omega}{K^2}\right]$, σ - przew. elektryczna [S], λ - przew. cieplna $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$

Od tego prawa są pewne odstępstwa. Spinon i holon się wymykają.

- Na przepływ ciepła w ukł. równoległych i szeregowych można patrzeć jak na ukł. elektryczne.

TERMO – WYKŁAD 3

17.10.2021

TERMOKINETYKA – PRZEWODNICTWO, PRZEJMOWANIE, PRZENIKANIE CIEPŁA

ZADANIA

- Prawo Fouriera: przewodzenie przez ścianę płaską i wielowarstwową, etc, rurkowe, kuliste / sferyczne, → przewodzenie ∇ $\dot{q} = \frac{\lambda}{\delta}(T_{s1}-T_{s2})$
- Krytyczna grubość izolacji: przy pewnej grubości izolacji pow. oddawania ciepła powoduje zwiększenie strumienia ciepła. Dobre dla kabli, złe dla rur.
- Wnikanie ciepła → wymiana ciepła na granicy ścianka – ciecz.

  $\dot{Q}$ – gęst. strumienia ciepła.

  Przepływ ciepła zawsze od większego do mniejszego T

  $T_f - T_{FLUID}$

- Przejmowanie: Prawo Newtona: $\dot{Q} = S\alpha(T_w - T_f)$

  $\alpha\left[\frac{W}{m^2K}\right]$ → wsp. wnikania ciepła

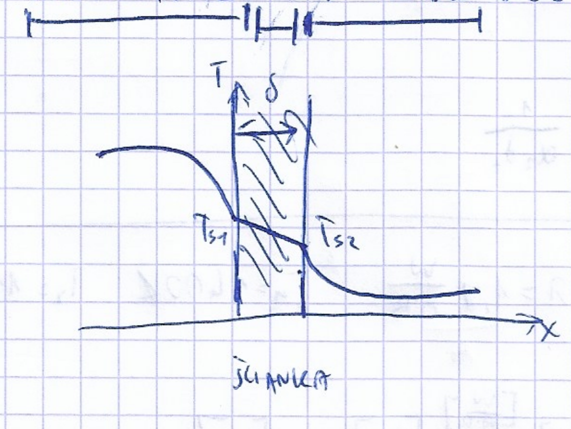
  α zależy od prędk. płynu w, pow. wymiany ciepła, param. fiz. płynu.

- Przenikanie ciepła: $\underbrace{\dot{q} = k(T_{p1}-T_{p2})}$ $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ → PRAWO Pécleta

  $k\left[\frac{W}{m^2K}\right]$ – wsp. przenikania ciepła.

  $\dot{Q} = S\dot{q}$ dla ścianki o pow. S $\dot{Q} = S\cdot k\cdot(T_{p1}-T_{p2})$

WNIKANIE → PRZEWODZENIE → WNIKANIE



- Skąd bierze się prawo Pécleta?

Przede wszystkim chodzi o sposób przewodzenia ciepła przez ściankę. Wnikanie zawsze działa podobnie, przewodzenie różni się zależnie od konf. ścianek.

Przewodzenie ciepła przez ściankę: $\dot{q} = \frac{\lambda}{\delta}(T_{s1}-T_{s2})$

Wnikanie ciepła w ściankę: $\dot{q} = \alpha_1(T_{p1}-T_{p2})$ $\dot{q} = \alpha_2(T_{s2}-T_{s2})$

Przekształcenia: $(T_{p1}-T_{s1}) = \frac{\dot{q}}{\alpha_1}$ $(T_{s1}-T_{s2}) = \frac{\dot{q}\,\delta}{\lambda}$

Przekształcenia polegają na przeniesieniu T na jedną stronę, resztę reszty na drugą.

$(T_{s2}-T_{p2}) = \frac{\dot{q}}{\alpha_2}$

$(T_{p1}-T_{p2}) = \dot{q}\left(\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_2}\right)$

$$\dot{q} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_2}}(T_{p1}-T_{p2})$$ ⟸ Prawo Pecleta dla ścianki płaskiej

$$R_k = \frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_2}$$ ⟸ opór przenikania

- Dla ścianki cylindrycznej: $\dot{q}_l = \frac{\dot{Q}}{l} = \pi k_l (T_{p1}-T_{p2})$ $\left[\frac{W}{m}\right]$

strumień ciepła odniesiony do jednostki przewodu

$$\dot{Q} = \frac{\pi L (T_{p1}-T_{p2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1}+\frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1}+\frac{1}{\alpha_2 d_2}}$$

postać ogólna

$K = \frac{1}{R_k}$

$k_L \rightarrow$ liniowy wsp. przenikania ciepła $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$

$$\frac{1}{k_L} = \frac{1}{\alpha_1 d_1}+\frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1}+\frac{1}{\alpha_2 d_2}$$

- Ścianka płaska wielowarstwowa:

$$\dot{Q} = S \cdot K (T_{p1}-T_{p2})$$

$$K = \frac{1}{R_k}$$

$$R_k = \frac{1}{\alpha_1}+\sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_i}{\lambda_i}+\frac{1}{\alpha_2}$$

- Ścianka cylindryczna wielowarstwowa:

$$\dot{Q} = \pi L \frac{T_{p1}-T_{p2}}{R_{kr}}$$

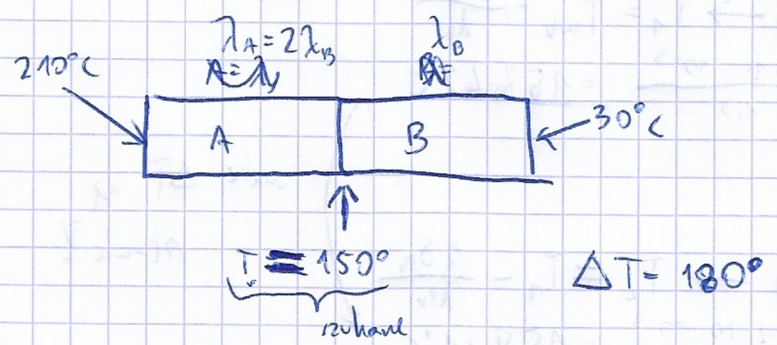
$$R_{kr} = \frac{1}{\alpha_1 d_1}+\sum_{i=1}^{n}\frac{\ln\frac{d_{i+1}}{d_i}}{2\lambda_i}+\frac{1}{\alpha_2 d_2}$$

- Przykład 1: $d = 0{,}15\,m$ $S = 1{,}5\,m^2$ $\lambda = 1{,}7\,\frac{W}{m\cdot K}$ $T_1 = 1400K$ $T_2 = 1150K$

$$\dot{Q} = S \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (T_1-T_2) \quad [m^2]\frac{\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]}{[m]}[K] \rightarrow [W]$$

$$= 1{,}5\,m^2 \cdot \frac{1{,}7\,\frac{W}{mK}}{0{,}15\,m} \cdot (1400K - 1150K) = 4250\,W$$

- Przykład 2:



$$\dot{Q} = A(T_1 - T_2)\,\lambda / d$$

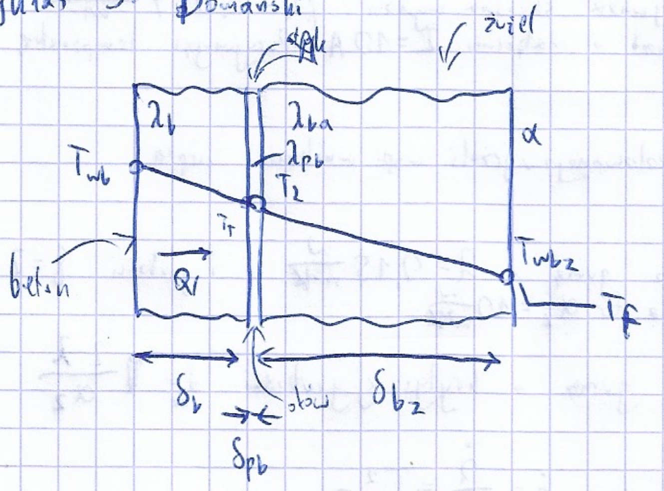
$$A\lambda_A / d(T_1 - T) = A\lambda_B / d\,(T - T_2)$$

$$\lambda_A = 2\lambda_B$$

$$2\lambda_B(210 - T) = \lambda_B(T - 30)$$

$$420 - 2T = T - 30 \rightarrow 3T = 450 \qquad T = 150\,°C$$

- Przykład 3: Domański



$\delta_b = 0{,}15\,m$

$\lambda_b = 1{,}3\,\frac{W}{mK}$

$\delta_{pb} = 20 \cdot 10^{-3}\,m$

$\lambda_{pb} = 34{,}9\,\frac{W}{mK}$

$\delta_{b2} = 0{,}4\,m$

$\lambda_{b2} = 0{,}7\,\frac{W}{mK}$

W gruncie rzeczy $\dot{Q}$ to moc, $\dot{q}$ to moc/m², natomiast liczymy oba dzieląc ΔT przez opór cieplny

$T_{wb} = 180\,°C \qquad T_f = 20\,°C \qquad \alpha = 6\,\frac{W}{m^2K}$

a) $\dot{Q}$ dla 1 m² ściany
b) temp. styku warstw oraz zewn. pow. betonu zielonego

a) $\dot{q} = k\Delta T = k(T_{wb} - T_f)$

$$k = \left(\frac{\delta_b}{\lambda_b} + \frac{\delta_{pb}}{\lambda_{pb}} + \frac{\delta_{b2}}{\lambda_{b2}} + \frac{1}{\alpha}\right)^{-1} = 1{,}17\,\frac{W}{m^2K}$$

$$\dot{q} = 1{,}17 \cdot (180 - 20) = 187{,}2\,\frac{W}{m^2}$$

~~b) T na styku warstw:~~

beto

b) T na styku beton – ołów:

$$\dot{q} = \frac{\lambda_b}{\delta_b}(T_{wb} - T_1) \rightarrow T_1 = T_{wb} - \frac{\dot{q}\,\delta_b}{\lambda_b}$$

$$T_1 = 180 - \frac{187,2 \cdot 150 \cdot 10^{-3}}{1,3} = 158,42°C$$

T ołów – żużel:

$$\dot{q} = \frac{\lambda_{Pb}}{\delta_{Pb}}(T_1 - T_2) \rightarrow T_2 = T_1 - \frac{\dot{q}\,\delta_{Pb}}{\lambda_{Pb}}$$

$$T_2 = 158,4 - \frac{187,2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{34,9} = 158,31°C$$

małe ΔT na ołowiu ∇

c) pow. betonu żużlowego

$$\dot{q} = \alpha(T_{wbx} - T_f) \rightarrow T_{wbx} = T_f + \frac{\dot{q}}{\alpha}$$

$$T_{wbx} = 20 + \frac{187,2}{6} = 51,2°C$$

PRZYKŁAD 5:

Przewód miedziany, którego rezystywność skrośna wynosi $\rho_r = 0,017 \frac{\Omega mm^2}{m}$ o średnicy $d_1 = 1mm$ przepływa prąd o natężeniu $I = 10A$. Przyjmując temperaturę otoczenia $t_2 = 20°C$, obliczyć:

1) temperaturę przewodu nieizolowanego, jeżeli wsp. wnikania ciepła wynosi $\alpha_1 = 18 \frac{W}{m^2K}$

2) temp. przewodu zaizolowanego gumą o $\lambda = 0,15 \frac{W}{m \cdot K}$ i grubości $\delta = 2mm$, jeżeli wsp. wnikania ciepła to $\alpha_2 = 10 \frac{W}{m^2K}$

3) temp. przewodu zaizolowanego gumą o krytycznej grubości $d_{kr} = \frac{2 \cdot \lambda}{\alpha_2}$

A – pow. poprzeczny

(1) $\dot{Q} = I_1^2 R = I_1^2 \rho \cdot l$ $\qquad \dot{q} = \frac{\dot{Q}}{l} = I^2 \rho$

$Q = \alpha(T_1 - T_2) \cdot S$

$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$

$$I^2 \frac{\rho l}{A} = \alpha(T_1 - T_2) \cdot S$$

$$I^2 \frac{\rho l}{A \alpha S} = t_1 - t_2 \rightarrow t_1 = I^2 \frac{\rho l}{A \alpha S} + t_2 =$$

$$= 10^2 \cdot \frac{0,017 \frac{\Omega mm^2}{m} \cdot l}{\pi 0,5^2 mm^2 \cdot 18 \frac{W}{m^2K} \cdot \pi \cdot 1 \cdot l} = \cancel{10A} \approx 0,038$$

~~S = π·0,5mm~~

~~δ = 2mm~~

$S = \pi \cdot d \cdot L$

TERMODYNAMIKA - WYKŁAD 5

02.11.2021

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

- W konwekcji wymuszonej występuje dodatkowy czynnik wymuszający konwekcję, który nie pojawia się w konwekcji naturalnej.

Jeżeli prędkość przepływu jest podana, raczej mamy z konw. wymuszoną.

Podstawowym prawem jest prawo Newtona

- Kryterium Michiejewa można stosować w każdej płaszczyźnie.

ZADANIE 4: Obliczenie współczynnika przejmowania ciepła.

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \rightarrow \alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}$$

krótszy bok → $l =$ $\quad$ l - krótszy bok, wysokość, średnica

$$\alpha = \frac{86,74 \cdot 2,9}{0,3 \cdot 100} = 8,39 \frac{W}{m^2 K}$$

5. OBLICZENIE MOCY CIEPLNEJ

$$\dot{Q} = \alpha A (T_w - T_R)$$

$$\dot{Q} = 8,39 \cdot 0,3 \cdot 0,4 \cdot (100-20) = 80,54$$

KRYTERIA MC ADAMSA

- Dla płyty pionowej utrzymywanej w stałej temperaturze:

$$Nu = \begin{cases} 0,59\, Ra^{1/4} & 10^4 < Ra < 10^9 \\ 0,1\, Ra^{1/3} & 10^9 < Ra < 10^{13} \end{cases}$$

$10^4 < Ra < 10^9$ — laminarna warstwa przyścienna

$10^9 < Ra < 10^{13}$ — turbulentna warstwa przyścienna

- Dla płyty poziomej ogrzewanej od dołu lub chłodzonej od góry przy stałej temperaturze ścianki

laminarna konwekcja: $3 \cdot 10^5 < Ra < 3 \cdot 10^{10}$

$$Nu = 0,27\, Ra^{1/4}$$

NIE NA KOLO

KRYTERIUM TOULOUKIANA, HAWKINSA I JAKOBA

- Dla powierzchni pionowego walca:
  - Dla konwekcji laminarnej przy $2 \cdot 10^8 < Ra < 2 \cdot 10^{10}$
    $\bar{Nu}_x = 0,726\, Ra_x^{1/4}$
  - Dla konwekcji turbulentnej przy $4 \cdot 10^{10} < Ra_x < 10^{12}$
    $\bar{Nu}_x = 0,0674\, (Gr_x\, Pr^{1,29})^{1/3}$

KRYTERIUM FISHENDENA I MAYHEWA

Dla poziomej płyty kwadratowej nagrzewanej od góry

$Nu = 0,54 Ra^{1/4}$ → przepływ laminarny: $10^5 < Ra < 2 \cdot 10^7$

$Nu = 0,14 Ra^{1/4}$ → przepływ turbulentny: $2 \cdot 10^7 < Ra < 3 \cdot 10^{10}$

NA KOLOSIE: SPRAWDZIĆ ZAKRES KRYTERIUM

* ## KRYTERIUM MICHIEJEWA

ZADANIE 7:

Obliczyć dopuszczalną wartość ~~dopuszczalnego~~ natężenia prądu elektrycznego Im dla drutu oporowego o średnicy $d = 0,5\,mm$, wykonanego z materiału o oporności elektrycznej $\rho = 3,5 \cdot 10^{-6}\,\Omega m$ umieszczonego poziomo w powietrzu. Temperatura powierzchni drutu nie może przekroczyć $T_w = 300\,°C$. Temperatura powietrza wynosi $T_\infty = 20°C$

$P = I^2 R \qquad R = \rho \frac{l}{S} = \frac{\rho l}{\pi r^2}$

(1) $T_{śr} = \frac{T_\infty + T_w}{2} = \frac{20 + 300}{2} = 160°C$

$\lambda = 0,0364 \frac{W}{m \cdot K} \qquad \nu = 30,09 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

$Pr = 0,682 \qquad \beta = \frac{1}{273 + T_{śr}} = 0,0023 \frac{1}{K}$

β – wsp. dyfuzyjności cieplnej

(2) $Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot d^3 (T_w - T_p)}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot 0,0023 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^3 \cdot (300 - 20)}{(30,09 \cdot 10^{-6})^2} = 0,872$

[10?]

czasem $T_{śr}$
czasem T_p

Gr – liczba Grashofa

(3) $Ra = Gr \cdot Pr = 0,872 \cdot 0,682 = 0,595$

Z tabl. Michiejewa: $C = 1,18 \qquad n = \frac{1}{8}$

$Nu = 1,18 \cdot 0,595^{0,125} = 1,106$

$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{1,106 \cdot 0,0364}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 80,52 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

$\dot{Q} = I^2 R \qquad R = \rho \frac{l}{S} \qquad \dot{Q} = A \cdot \alpha (T_w - T_\infty) \qquad$ A - powierzchnia, $A = \pi d l$

$I^2 = \frac{\dot{Q}}{R} \rightarrow I = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{R}} = \sqrt{\frac{A\alpha \cdot (T_w - T_\infty)}{\rho \frac{l}{S}}} = \sqrt{\frac{\pi d l \alpha (T_w - T_\infty)}{\rho \cdot \frac{l}{\pi r^2}}} = 1,45\,A$

ZADANIE 8

W zbiorniku jest umieszczona poziomo grzałka elektryczna o mocy podanej $\dot{Q} = 900\,W$ mająca kształt walca o długości ~~l=45~~ $l = 400\,mm$ i średnicy $d = 50\,mm$

Oblicz temperaturę powierzchni grzałki (s), jeżeli w zbiorniku jest:

- olej maszynowy o $T = 20°C$
- woda o $T = 20°C$
- powietrze przy $T = 20°C$

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{900W}{\pi d l} = \frac{900W}{3{,}14 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}05} = 14324\,\frac{W}{m^2}$$

Założone: $T_s = 140°C$

$$T_{śr} = \frac{140+20}{2} = 80°C$$

z tablic $\lambda = 0{,}127\,\frac{W}{m \cdot K}$ $\quad Pr\ 588$

$$\nu = 0{,}392 \cdot 10^{-6}\,\frac{m^2}{s}$$

$$Ra = Pr \cdot Gr \qquad Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} \rightarrow \alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$$

Gr – obliczamy

~~z wykr. Michiejewa:~~

$$Ra = Gr \cdot Pr = 3{,}72 \cdot 10^7$$

Z wykr. Michiejewa $\quad C = 0{,}135 \quad n = \frac{1}{3}$

$$Nu = 0{,}135\,(3{,}72 \cdot 10^7)^{0{,}33} = 45$$

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{45 \cdot 0{,}127}{0{,}05} = 114{,}3\,\frac{W}{m^2K}$$

$$\dot{q} = \alpha(T_s - T_p) = 114{,}3(140-20) = 13716\,\frac{W}{m^2}$$

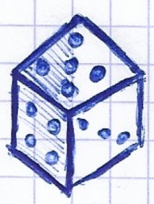
pi razy oko tyle samo

09.11.2021

TERMODYNAMIKA – WYKŁAD 6

ZADANIE 1: (konw. naturalna)

Grzejnik elektryczny o mocy $\dot{Q} = 1500\,W$ ma kształt cienkiej pionowej płyty o szerokości $s = 1{,}5\,m$. Jaka powinna być jego wysokość, aby temperatura jego powierzchni T_s nie przekroczyła $80°C$? Grzejnik znajduje się w powietrzu o temperaturze $T_\infty = 20°C$



1. TEMP. ŚREDNIA

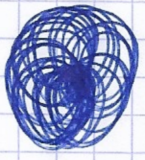
$$\bar{T} = 0{,}5(T_s + T_\infty) = 0{,}5\,(20+80) = 50°C$$

$$\nu = 17{,}95 \cdot 10^{-6}\,\frac{m^2}{s} \qquad \lambda = 2{,}83 \cdot 10^{-2}\,\frac{W}{m \cdot K}$$

$$Pr = 0{,}698$$

2. LICZBA GRASSHOFA:

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)\,l^3}{\nu^2} = \frac{9{,}81 \cdot (1/323) \cdot (80-20) \cdot l^3}{(17{,}95 \cdot 10^{-6})^2} =$$



$$= 0{,}005656 \cdot 10^{12} \cdot l^3$$

3. WYBÓR KRYTERIUM

założenie: przepływ burzliwy. Zastosowanie kryterium McAdamsa dla płyty pionowej.

$$\overline{Nu} = 0{,}1\,(Gr\,Pr)^{1/3} = 0{,}1\,(0{,}005656 \cdot 10^{12} \cdot l^3 \cdot 0{,}698)^{1/3} = 158 \cdot l$$

$$\alpha = \frac{\overline{Nu}\,\lambda}{l} = 158 \cdot 2{,}83 \cdot 10^{-2} = 4{,}47\,\frac{W}{m^2 K}$$

~~stąd~~ Jednocześnie: $\bar{\alpha} = \dfrac{\dot{q}}{T_s - T_\infty} = \dfrac{\dot{Q}}{A(T_s - T_\infty)} = \dfrac{\dot{Q}}{2sL(T_s - T_\infty)}$

stąd: $L = \dfrac{\dot{Q}}{2s\alpha\,(T_s - T_\infty)} = \dfrac{1500}{2 \cdot 1{,}5 \cdot 4{,}47\,(80-20)} = 1{,}86\,m$

KONWEKCJA WYMUSZONA

- Znaczenie ma tu geometria i rodzaj medium.
- K. wym. jest spowodowana przez zewn. czynniki mechaniczne, np. wentylatory, pompy, etc.
- Znaczenie ma prędkość
- Liczba Prandtla ma znaczenie, liczba Reynoldsa ~ zn. kluczowe.

$$Nu = f(Re, Pr)$$

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu}$$

(v - prędkość) l - wym. liniowy
ν - lepkość kinematyczna $[\frac{m^2}{s}]$

Jeśli $Re < 2100$: char. laminarny

$Re > 10^4$ char. burzliwy (turbulentny)

Wszystko pomiędzy: przepływ przejściowy. Między burzliwym a laminarnym.

Przepływ mieszany: poł. przepływu konwekcji naturalnej i wymuszonej

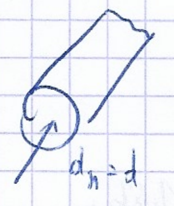
- Średnica hydrodynamiczna:

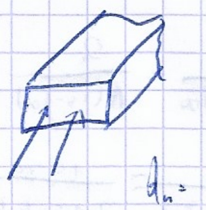
$$d_h = \frac{4 \cdot A}{B}$$

A - pole pow. zwilżonej
B - obw. tej powierzchni

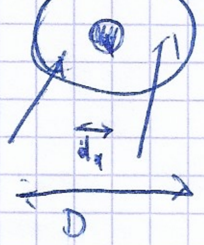
• Kluczowe jest policzenie liczby Reynoldsa. Dlatego trzeba umieć policzyć d_h

$$Re = \frac{v \cdot d_h}{\nu}$$





$$d_h = \frac{4ab}{2a+2b} = \frac{2ab}{a+b}$$

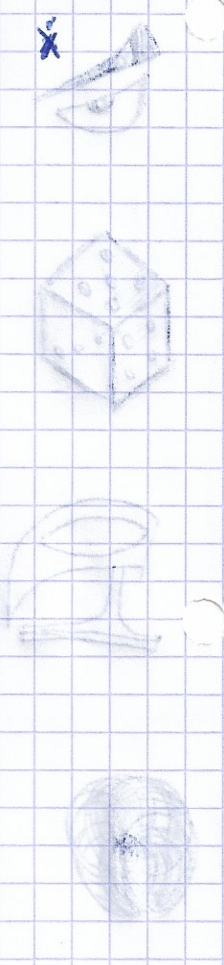


$$A = \frac{1}{4}\pi D^2 - \frac{1}{4}\pi d^2$$

$$B = \pi d + \pi D$$

$$d_h = \frac{4 \frac{1}{4}\pi (D^2 - d^2)}{\pi (d + D)} = \frac{1(D^2-d^2)}{1(d+D)} = \cancel{\frac{D^2-d^2}{d+D}}$$

$$d_h = \frac{D^2 - d^2}{D+d} = \frac{(D+d)(D-d)}{D+d} = D - d$$



- Ruch laminarny: opływ powierzchni walcowanych i kryterium bez nazwy

$Re < 2300$

Przejmowanie ciepła przy wymuszonym opływie ciał

Warunki: $0{,}6 < Pr < 10$

$$\left.Nu = 0{,}66\, Re^{0{,}5}\, Pr^{0{,}33} \left(Pr / Pr_s\right)^{0{,}33}\ \right\}$$ założenia muszą być spełnione.

Pr - odczytujemy z tabel, $\frac{T_p + T_s}{2}$

Pr_s - w przyp. gęstych płynów, o warstwach laminarnych przepływu oznacza liczbę Plancka dla T_s, temp. powierzchni.

$\mu_s \sim T_s$ podobnie

ogólnie opływy

- Kryterium Polhausena (powierzchnie płaskie)

Warunki stosowania kryterium:

$Re < 2 \cdot 10^5$ $\qquad 0{,}6 < Pr < 10$

$$Nu = 0{,}664\, Re^{1/2}\, Pr^{1/3}$$

- Kryterium Żukauskasa (pow. płaskie)

precyzyjne, dla pow. opływu walcowych, etc.

$0{,}6 < Pr < 10$

Ogrzewanie płynu $T_s > T_p$

$$Nu = 0{,}66\, Re^{1/2}\, Pr^{1/3} \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{0{,}25}$$

Ochładzanie płynu: $T_s < T_p$

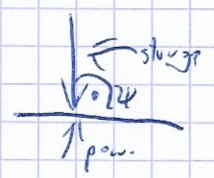
$$Nu = 0{,}66\, Re^{1/2}\, Pr^{1/3} \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{0{,}19}$$

- Kryterium Żukauskasa (pow. walcowe)

$10 < Re < 10^3$

$$Nu = 0{,}5\, Re^{0{,}5}\, Pr^{0{,}38} \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{0{,}25} \varepsilon_\varphi$$

φ - kąt natarcia płynu na powierzchnię

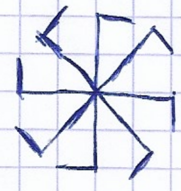


φ	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°
ε_φ	1,0	1,0	0,98	0,94	0,87	0,76	0,66	0,60	0,56

* Przerwa będzie przestana

TERMODYNAMIKA – WYKŁAD 7

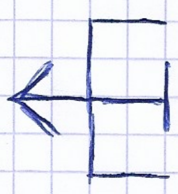
PRZEJMOWANIE CIEPŁA PRZY WYMUSZONYM RUCHU LAMINARNYM WEWNĄTRZ RURY

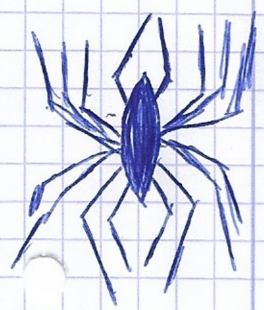


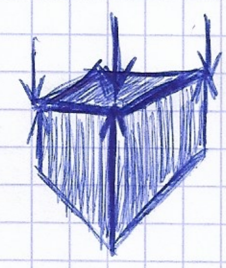
1. KRYTERIUM SIEDERA-TATE'A

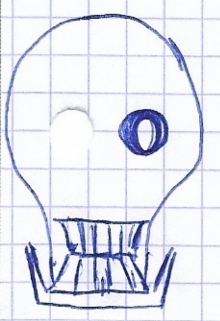
Warunki: Re

N, N-









TERMODYNAMIKA – WYKŁAD 8

23.11.2021

RURY CIEPLNE

- Pasuje do zagadnienia na egzamin „metody intensyfikacji odb. ciepła

TERMOKINETYKA

ZADANIE 1:

$v = 8\frac{m}{s}$ $\quad T_w = 15°C$ $\quad T_T = 65°C$ $\quad L = 12m$ $\quad \varnothing$

$P = \dot{Q} = ?$

Temperatura odniesienia:

$$t = \frac{T_w + T_T}{2} = \frac{15°C + 65°C}{2} = 40°C$$

Parametry wody:

λ – wsp. przewodzenia
a – wsp. ~~cieplności~~ dyfuzyjności

$Pr = 4,31$ $\quad c_p = 4,174 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ $\quad \lambda \cdot 10^2 = 63,5 \frac{W}{m \cdot K}$

$a \cdot 10^8 = 15,3 \frac{m^2}{s}$ $\quad \nu = 0,659 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

$Nu =$

Określ. przepływ: $Re = \frac{v \cdot d_h}{\nu} = \frac{8\frac{m}{s} \cdot 0,15m}{0,659 \cdot 10^{-6}} = 1\,820\,940$

Ruch burzliwy! $\rightarrow$

Dobór kryterium:

$\frac{L}{d_h} = \frac{12}{0,15} = 80 > 50$ $\quad Pr \in \langle 0,6 - 2500 \rangle$

~~Kryterium Michiejewa dla ruchu~~ burzliwego, dowolny przekrój, dowolny płyn

Kryterium: przepływ burzliwy w rurze wg. Dittusa

$Nu = C \cdot Re^n Pr^m$ $\quad C = 0,023$, $n = 0,8$, $m = 0,4$

$$Nu = 0,023 \cdot 1820\,940^{0,8} \cdot 4,31^{0,4} = 4205$$

$Nu = \frac{\alpha d_h}{\lambda}$ $\quad \dot{Q} = \alpha (T_{w1} - T_{w2})$

$\dot{Q} = A\alpha(T_{w1} - T_{w2})$

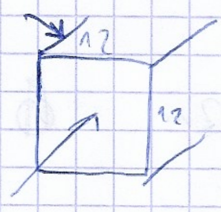
$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_h} = \frac{4205 \cdot 63,5 \cdot 10^{-2}}{0,15} = 17801$$

$$\dot{Q} = \pi \cdot r \cdot l \cdot \alpha \cdot (T_1 - T_2) =$$

$$= \pi \cdot 0,025 \cdot 12m \cdot 17801 \cdot (65-15) =$$

$$= 838\,852\ W = 838,852\ kW$$

ZADANIE 2



$a = 12\,cm$ $\quad l = 8\,m$ $\quad d_h = 12\,cm$

$T_p = 40°C$ $\quad v = 15\,\frac{m}{s}$ $\quad T_s = 80°C$

$\alpha = ?$ $\quad \dot{Q} = ?$

Temp. odniesienia $\quad T_0 = \frac{80+40}{2} = 60°C$

Liczba Reynoldsa $\quad Re = \frac{v d_h}{\nu} = \frac{15\frac{m}{s} \cdot 0{,}12\,m}{18{,}97 \cdot 10^{-6}\frac{m^2}{s}} = 94887$

~~Wyt~~
Liczba Nusselta: ruch burzliwy, $\frac{l}{d} = \frac{8}{0{,}12} = 67 > 50$

Stąd wykł. Michiejewa: $Nu_n = 0{,}018\,Re^{0{,}8} = 0{,}018 \cdot 94887^{0{,}8} = 173$

Obliczenie α, $\dot{Q}$: $\quad Nu = \frac{\alpha d_h}{\lambda} \rightarrow \alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_h} = \frac{173 \cdot 2{,}9 \cdot 10^{-2}}{0{,}12} =$

$= 41{,}8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

$\dot{Q} = A \cdot \alpha \cdot \Delta T = 4 \cdot 0{,}12\,m \cdot 8\,m \cdot 41{,}8\,\frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 40\,K = 6420{,}48\ W$

ZADANIE 1:

$d = 0{,}05\,m$ $\quad T_{ot} = 480°C$ $\quad T_p = 20°C$ $\quad \dot{Q}_{max} = 8600\,W$

$l = ?$

Parametry powietrza: $T_0 = \frac{480+20}{2} = 250°C$

$\lambda \cdot 10^2 = 4{,}27\,\frac{W}{m \cdot K}$ $\quad \nu \cdot 10^6 = 40{,}61\,\frac{m^2}{s}$

Liczba Reynoldsa: ~~$Re = \frac{v \cdot d_h}{\nu}$~~

$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l_0^3 \cdot \Delta T}{\nu^2} = \frac{\frac{1}{20+273{,}15\,K} \cdot 9{,}81\frac{m}{s^2} \cdot 0{,}05^3\,m^3 \cdot 460\,K}{\left(40{,}61 \cdot 10^{-6}\,\frac{m^2}{s}\right)^2} = 1166758$

$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{40{,}61 \cdot 10^{-6}\,\frac{m^2}{s}}{61{,}0 \cdot 10^{-6}\,\frac{m^2}{s}} = 0{,}666$

$Ra = Gr \cdot Pr = 0{,}666 \cdot 1166758 = 776755$

Charakter przepływu: przejściowy; z wykł. Michiejewa:

$Nu = C \cdot (Gr\,Pr)^n = C \cdot Ra^n = 0{,}540 \cdot 776755^{0{,}25} = 16$

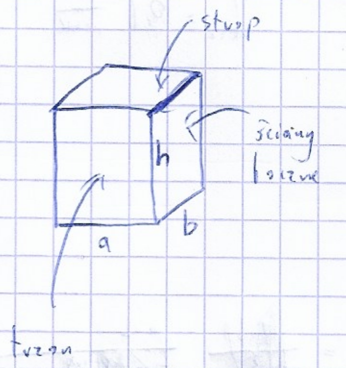
$\alpha = \frac{Nu\,\lambda}{d_h} = \frac{16 \cdot 4{,}27 \cdot 10^{-2}\,\frac{W}{m\,K}}{0{,}05\,m} = 13{,}664\,\frac{W}{m \cdot K}$

$Q = A \alpha \Delta T = \pi \cdot \frac{d}{2} \cdot L \cdot \alpha \cdot \Delta T \rightarrow l = \frac{2Q}{\pi \cdot d \cdot \alpha \cdot \Delta T} = \frac{2 \cdot 8600}{\pi \cdot 0{,}05 \cdot 13{,}664 \cdot 460} = 17{,}42\,m$

ZADANIE 2 :

$\alpha = ?$ ~~$\dot{Q} = ?$~~ $\dot{Q} = ?$

$a = 0{,}75\,m$ $b = 0{,}6\,m$ $h = 0{,}5\,m$ $T_p = 80°C$ $T_o = 20°C$



T. odniesienia

$$T_{odn} = \frac{80+20}{2} = 50°C$$

Param. Powietrza:

$\lambda \cdot 10^2 = 2{,}83 \frac{W}{m \cdot K}$ $\alpha \cdot 10^6 = 25{,}7 \frac{m^2}{s}$ $\nu \cdot 10^6 = 17{,}95 \frac{m^2}{s}$

	TRZON	BOKI	STROP
L_0	$L_0 = h = 0{,}5\,m$	$L_0 = h = 0{,}5\,m$	$L_0 = b = 0{,}6\,m$
Gr	$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot L_0^3 \cdot \Delta T}{\nu^2} = \frac{\frac{1}{273{,}15+80K} \cdot 9{,}81\frac{m}{s^2} \cdot (0{,}5m)^3 \cdot 60°K}{(17{,}95 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s})^2} = 646\,609\,609$	$Gr = 646\,609\,609$	$Gr = 1.117.341.405$
Pr	$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{17{,}95 \frac{m^2}{s}}{25{,}7 \frac{m^2}{s}} = 0{,}698$	$Pr = 0{,}698$	$Pr = 0{,}698$
Ra	$Ra = Pr \cdot Gr = 0{,}698 \cdot 646\,609\,609 = 451\,620\,330$	$Ra = 451\,620\,330$	~~$Ra = 5{,}046140941 \cdot 10^{17}$~~ $Ra = 779\,904\,301$
Nu	$Nu = 0{,}59\, Ra^{0{,}25} = 0{,}59 \cdot 451\,620\,330^{0{,}25} = 86$	$Nu = 86$	$Nu = 0{,}15\, Ra^{1/3} = 0{,}15 \cdot 779\,904\,301^{1/3} = 138$
* α	$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{L_0} = \frac{2{,}83 \cdot 10^{-2} \cdot 86}{0{,}5} = 4{,}8676 \frac{W}{m^2 \cdot K}$	$\alpha = 4{,}8676 \frac{W}{m^2 \cdot K}$	$\alpha = \frac{2{,}83 \cdot 10^{-2} \cdot 138}{0{,}6} = 6{,}509$
* $\dot{q}$	$\dot{q} = \alpha \Delta T = 4{,}8676 (60K) = 292 \frac{W}{m^2}$	$\dot{q} = 292 \frac{W}{m^2}$	$\dot{q} = 6{,}509 \cdot 60 = 391 \frac{W}{m^2}$

Zadanie 3:

$D = 6\,mm$ $\quad \delta = 2\,mm$ $\quad \lambda_{iz} = 0{,}6\,\frac{W}{m\cdot K}$

$T_1 = 10^\circ C$ $\quad \alpha = 10\,\frac{W}{m^2\cdot K}$ $\quad \rho_{Al} = 3\cdot 10^{-8}\,\Omega m$

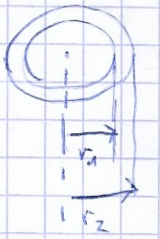
$T_{iz} = 50^\circ C$

Ciepło z prądu:

$$\dot{Q} = I^2 R = I^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{\pi r^2}$$

Ciepło przechodzące przez izolację:

$$\dot{Q} = \frac{\pi l (T_1 - T_2)}{\cdots + \frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1} + \cdots} =$$



$r_1 = 0{,}003\,m$ $\qquad r_2 = 0{,}005\,m$

Stąd:

$$I^2 \frac{\rho l}{\pi r^2} = \frac{2\pi l (T_1 - T_2)}{\frac{1}{2\lambda}\ln\frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha r_2}}$$

$$I = \sqrt{\frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{2\lambda}\ln\frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha r_2}} \cdot \frac{\pi^2 r^2}{\rho}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(50-10)\cdot 0{,}003^2 \cdot \pi^2}{\frac{1}{2\cdot 0{,}6}\cdot \ln\frac{0{,}005}{0{,}003} + \frac{1}{10\cdot 0{,}005}} \cdot \frac{1}{3\cdot 10^{-8}}} = 106{,}6\,A$$

$$S = \pi r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$