

## Wymiana Ciepła I MiPM, 2019/2020, zadania do II kolokwium

### Konwekcja wymuszona – przepływy przez kanały

1. Woda o temperaturze  $60^{\circ}\text{C}$  wpływa do rury o średnicy 1 cal ze średnią prędkością  $2\text{ cm/s}$ . Określić temperaturę końcową na wylocie z 3-metrowej rury, jeżeli temperatura rury jest stała na całej długości i wynosi  $80^{\circ}\text{C}$ .
2. Dopalacz silnika turboodrzutowego ma kształt rury o długości  $L = 3\text{ m}$  i średnicy  $d = 1.2\text{ m}$ . Temperatura powierzchni dopalacza, chłodzonego przez strumień zimnego powietrza zewnętrznego wynosi  $T_w = 370^{\circ}\text{C}$ . Obliczyć, ile ciepła w ciągu sekundy straci strumień gazów spalinowych o temperaturze początkowej  $T_0 = 870^{\circ}\text{C}$ , przepływający przez dopalacz. Wydatek masowy gazu wynosi  $\dot{m} = 118\text{ kg/s}$ . Własności fizyczne spalin przyjąć równe własnościom fizycznym powietrza.
3. Długim kanałem o przekroju prostokątnym ( $a = 500\text{ mm}$ ,  $b = 700\text{ mm}$ ) przepływa powietrze ze średnią prędkością  $w = 20\text{ m/s}$ . Temperatura powietrza na wlocie do kanału wynosi  $T_0 = 200^{\circ}\text{C}$ , a jego ciśnienie  $p = 0.2\text{ MPa}$ . Obliczyć średnią masową temperaturę powietrza na wylocie z kanału, jeśli jego długość wynosi  $L = 50\text{ m}$ , a temperatura ścian jest równa  $T_w = 100^{\circ}\text{C}$ . Pominąć spadek ciśnienia wzdłuż kanału oraz założyć stałość współczynnika przejmowania ciepła.
4. Woda przepływa wewnątrz przestrzeni pierścieniowej dwóch koncentrycznych rur o średnicach wewnętrznej  $10\text{ mm}$  i zewnętrznej  $14\text{ mm}$  dla rury wewnętrznej oraz  $40\text{ mm}$  i  $46\text{ mm}$  dla rury zewnętrznej. Wewnątrz rury wewnętrznej, wzdłuż całej jej długości, zamontowano grzejnik elektryczny o mocy  $10\text{ kW}$ . Powierzchnia zewnętrzna rury zewnętrznej jest izolowana cieplnie. Jaka powinna być długość rur, aby podgrzać wodę od temperatury  $20^{\circ}\text{C}$  do  $80^{\circ}\text{C}$  przy nie przekraczaniu przez zewnętrzną powierzchnię rury wewnętrznej temperatury  $90^{\circ}\text{C}$ . Opory cieplne przewodzenia ciepła przez ścianki rury pominąć.

### Konwekcja wymuszona – opływy ciał

5. Powietrze o temperaturze  $25^{\circ}\text{C}$  omywa prostopadle z prędkością  $5\text{ m/s}$  poziomy cylinder o średnicy  $5\text{ cm}$ , którego powierzchnia ma stałą temperaturę  $95^{\circ}\text{C}$ . Jaka musiałaby być prędkość wody o tej samej temperaturze strumienia niezaburzonego, omywającego ten sam cylinder, aby wartości liczby Nusselta były takie same? Jak będą różniły się wartości średnie współczynników przejmowania ciepła dla obu przypadków?
6. Powietrze o temperaturze  $T_p = 20^{\circ}\text{C}$  opływa z prędkością  $10\text{ m/s}$  płaską płytę o długości  $L = 1\text{ m}$ , utrzymaną w temperaturze  $T_s = 80^{\circ}\text{C}$ . Obliczyć średni współczynnik przejmowania ciepła. Przyjąć, że krytyczna wartość liczby Reynoldsa wynosi  $Re_{kr} = 2 \cdot 10^5$ .
7. W rurze o przekroju kołowym o średnicy wewnętrznej  $d_w = 10\text{ cm}$ , średnicy zewnętrznej  $d_z = 11\text{ cm}$  i przewodności cieplnej  $\lambda = 15\text{ W/(mK)}$ , płynie woda o temperaturze  $t^1 = 80^{\circ}\text{C}$  i wydatku masowym  $\dot{m} = 0.5\text{ kg/s}$ . Rura na odcinku  $L = 10\text{ m}$  umieszczona jest w strumieniu powietrza pod ciśnieniem atmosferycznym o temperaturze  $t_p = 20^{\circ}\text{C}$  i prędkości  $u = 2\text{ m/s}$ . Kąt napływu powietrza względem płaszczyzny prostopadłej do rury wynosi  $\theta = 30^{\circ}$ . Wyznaczyć strumień ciepła wymienianego pomiędzy czynnikami. W pierwszym przybliżeniu można założyć, że temperatura wody zmniejszy się nieznacznie. Powołując się na wzory kryterialne konieczne należy podać źródło, z którego są cytowane.
8. Powietrze o ciśnieniu  $p = 0.1\text{ MPa}$  i temperaturze  $T_{\infty,1} = 10^{\circ}\text{C}$  opływa pęczek rur. Pęczek rur złożony jest z  $n_1 = 15$  rzędów rur w kierunku prostopadłym do przepływu i  $n_2 = 5$  rzędów rur wzdłuż kierunku przepływu. Rury w pęczku ustawione są w sposób szeregowy i są odległe od siebie o  $S_1 = S_2 = 37.5\text{ mm}$ . Średnica rur w pęczku wynosi  $d = 25\text{ mm}$  a temperatura ich powierzchni  $T_w = 65^{\circ}\text{C}$ . Obliczyć strumień ciepła dostarczany do powietrza od  $1\text{ m}$  długości pęczka rur oraz temperaturę powietrza na wylocie z pęczka. Prędkość powietrza zmierzona w miejscu przed wpływem powietrza do pęczka rur wynosi  $w_{\infty} = 7\text{ m/s}$ . Indywidualna stała gazowa

powietrza wynosi  $R = 287 \text{ J}/(\text{kgK})$ . Spadek ciśnienia przy przepływie powietrza przez pęczek rur pominąć.

### Konwekcja swobodna

9. Grzejnik elektryczny o mocy  $Q = 1500 \text{ W}$  ma kształt cienkiej pionowej płyty o szerokości  $s = 1.5 \text{ m}$ . Jaka powinna być jej wysokość, aby temperatura jego powierzchni  $T_s$  nie przekraczała  $80^\circ\text{C}$ . Grzejnik znajduje się w powietrzu o temperaturze  $T_p = 20^\circ\text{C}$ .
10. Obliczyć maksymalną moc prądu płynącego przez przewód o długości  $1 \text{ m}$  i średnicy  $4 \text{ mm}$  przy założeniu że jego temperatura nie może przekroczyć  $80^\circ\text{C}$  gdy:
  - przewód jest umieszczony poziomo w powietrzu o temperaturze  $20^\circ\text{C}$ ,
  - przewód jest opływany z prędkością  $V = 5 \text{ m/s}$  przez powietrze o temperaturze  $20^\circ\text{C}$ .
11. Okrągłym poziomym kanałem wentylacyjnym o średnicy wewnętrznej  $d = 50 \text{ cm}$  przepływa powietrze o średniej temperaturze  $t_p = 20^\circ\text{C}$  i prędkości  $V_p = 3 \text{ m/s}$ . Rura jest zaizolowana izolacją o grubości  $d = 5 \text{ cm}$  i przewodności cieplnej  $l = 0.05 \text{ W}/(\text{mK})$ . Odcinek rury o długości  $L = 5 \text{ m}$  przebiega przez pomieszczenie gdzie temperatura powietrza wynosi  $t_z = 35^\circ\text{C}$ . Zakładając, że temperatura punktu rosy powietrza w pomieszczeniu wynosi  $t_r = 30^\circ\text{C}$  sprawdzić, czy istnieje niebezpieczeństwo wykropienia się wilgoci na powierzchni izolacji. Oszacować ilość ciepła dopływającą do przewodu. Ze względu na małą grubość ścianki przewodu wentylacyjnego pominąć opór przewodzenia ciepła w ścianie przewodu.

### Konwekcja przy zmianie fazy

12. Naczynie z wodą, wykonane ze stali nierdzewnej jest ogrzewane elektrycznie od spodu. Woda wypełniająca naczynie ma temperaturę nasycenia. Ciśnienie barometryczne wynosi  $0.1013 \text{ MPa}$ . Dno naczynia, mającego średnicę  $d = 200 \text{ mm}$ , jest utrzymywane w stałej temperaturze  $T_s = 110^\circ\text{C}$ . Obliczyć:
  - gęstość strumienia ciepła na powierzchni dna,
  - ilość powstającej pary wodnej,
  - wartość krytycznego strumienia ciepła.
13. Nasycone pary czynnika chłodniczego R-134 o temperaturze  $30^\circ\text{C}$  skraplają się na poziomej rurze o długości  $5 \text{ m}$  i średnicy  $1 \text{ cm}$ . Temperatura powierzchni rury jest stała, równa  $20^\circ\text{C}$ . Strumień pary przepływającej przez kanał, wewnątrz którego jest ta rura, wynosi  $2,5 \text{ kg/min}$ . Jaka część tego strumienia się wykropi? Dane dla R-134:  $\rho_v = 37.5 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_l = 1187 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu_l = 0.201 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/(\text{ms})$ ,  $c_{pl} = 1447 \text{ J}/(\text{kgK})$ ,  $\lambda_l = 0.0796 \text{ W}/(\text{mK})$ ,  $r = 173.3 \text{ kJ/kg}$ .
14. Termosyfon – rura o średnicy  $20 \text{ mm}$  – składa się z części parownika o długości  $20 \text{ mm}$  i skraplacza o długości  $40 \text{ mm}$  oraz części adiabatycznej. Wykonany jest ze stali stopowej polerowanej. Czynnikiem roboczym jest węglowódor FC-72. Strumień ciepła w parowniku jest równy  $30\%$  strumienia krytycznego. Jaka jest różnica między temperaturą ścianki rury w parowniku i skraplaczu?