

# Przykłady zadań: przenoszenie ciepła



**KATEDRA  
CHEMII**

**dr inż. Piotr Niemiec**

Katedra Chemii

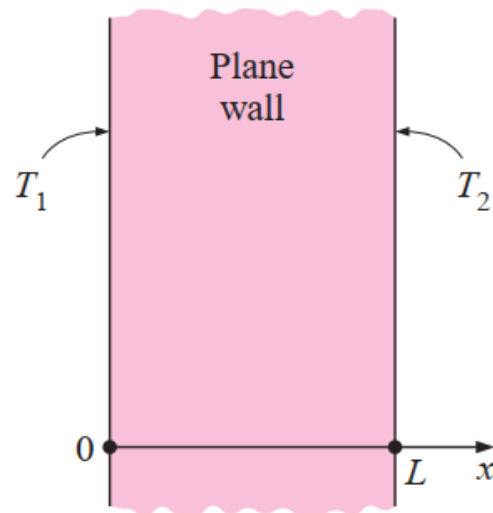
Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

Akademia Tarnowska

kontakt: [p\\_niemiec@atar.edu.pl](mailto:p_niemiec@atar.edu.pl)

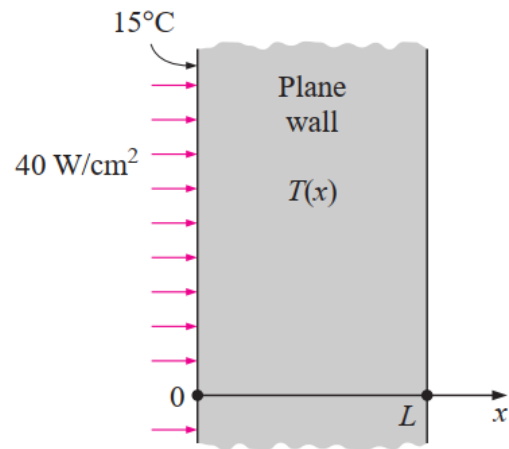
<http://piotrnieniec.atar.edu.pl>

Rozważmy dużą płaską ścianę o grubości  $L = 0,2$  m, przewodności cieplnej  $k = 1,2$  W/m $\cdot$ °C i powierzchnia  $A = 15$  m $^2$ . Dwie strony ściany są utrzymywane w stałych temperaturach odpowiednio  $T_1 = 120^\circ\text{C}$  i  $T_2 = 50^\circ\text{C}$ , tak jak to pokazano na rysunku. Wyznacz (a) zmiany temperatury w obrębie ściany i wartość temperatury przy  $x = 0,1$  m oraz (b) szybkość przewodzenia ciepła przez ścianę w warunkach ustalonych.

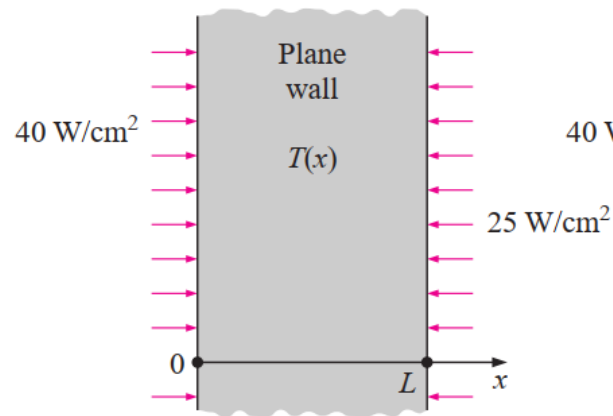


Rozważ stałe jednowymiarowe przewodzenie ciepła w dużej płaskiej ścianie o grubości  $L$  i stałej przewodności cieplnej  $k$  bez wytwarzania ciepła. Uzyskaj wyrażenia na zmianę temperatury w ścianie dla następujących par warunków brzegowych:

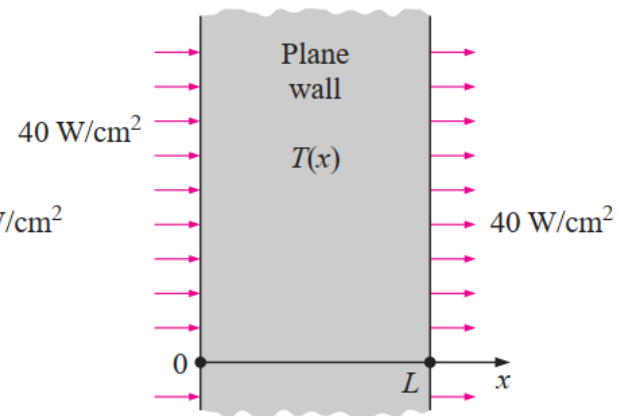
a)	$-k \frac{dT(0)}{dx} = q_0 = 40 \frac{W}{cm^2}$	i	$T(0) = T_0 = 15 \text{ } ^\circ C$
b)	$-k \frac{dT(0)}{dx} = q_0 = 40 \frac{W}{cm^2}$	i	$-k \frac{dT(L)}{dx} = \dot{q}_L = -25 \frac{W}{cm^2}$
c)	$-k \frac{dT(0)}{dx} = q_0 = 40 \frac{W}{cm^2}$	i	$-k \frac{dT(L)}{dx} = \dot{q}_0 = 40 \frac{W}{cm^2}$



(a)

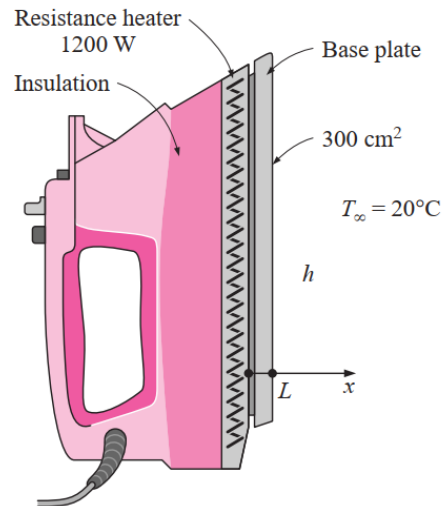


(b)

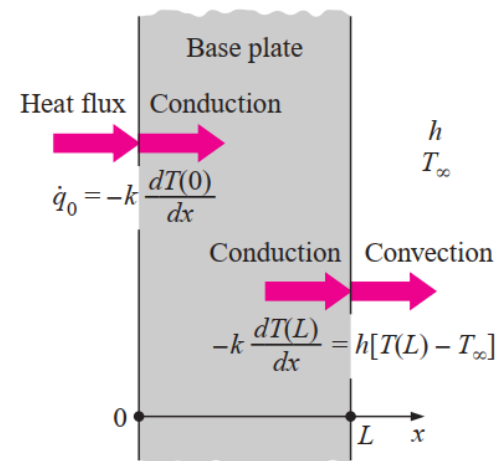


(c)

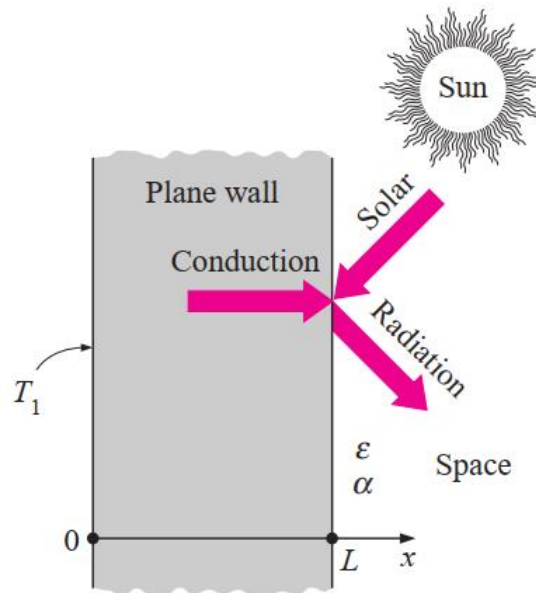
Weźmy pod uwagę podstawę żelazka domowego o mocy 1200 W, która ma grubość ok  $L = 0,5$  cm, pole podstawy  $A = 300$  cm<sup>2</sup> i przewodność cieplną  $k = 15$  W/m·°C. Wewnętrzna powierzchnia płyty podstawowej jest poddawana równomiernemu nagrzewaniu strumień generowany przez grzejniki oporowe wewnątrz, a zewnętrzna powierzchnia traci ciepło do otoczenia w  $T = 20$ °C przez konwekcję, jak pokazano na rysunku. Przyjmując współczynnik przenikania ciepła przez konwekcję  $h = 80$  W/m<sup>2</sup>·°C i pomijając utratę ciepła przez promieniowanie, otrzymaj wyrażenie na zmianę temperaturę w płycie podstawowej i oceń temperatury na wewnętrznej i zewnętrznej stronie powierzchni zewnętrznej.



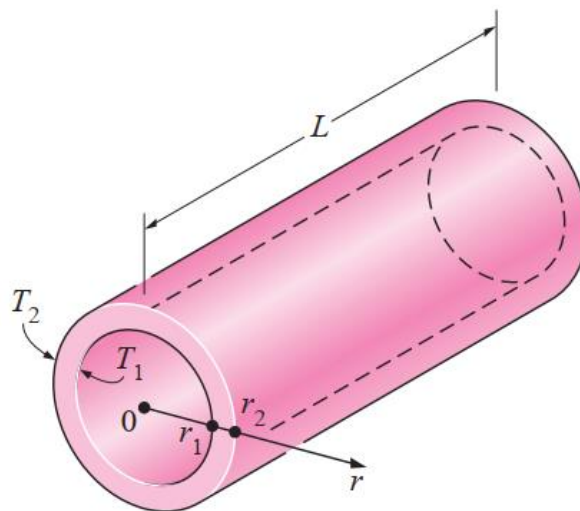
Wskazówka:



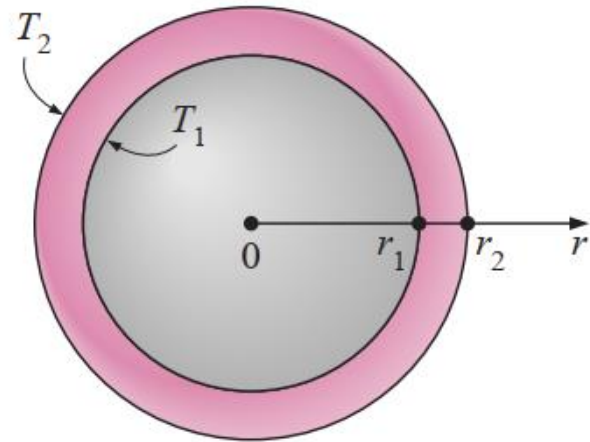
Rozważ dużą płaską ścianę o grubości  $L = 0,06$  m i przewodności cieplnej  $k = 1,2$  W/m $\cdot$ °C w kosmosie. Ściana jest pokryta białymi płytkami porcelanowymi, które mają emisyjność 0,85 i absorpcję światła słonecznego 0,26, jak pokazano na rysunku. Wewnętrzna powierzchnia ściany jest utrzymywana w temperaturze  $T_1 = 300$  K, podczas gdy zewnętrzna powierzchnia jest wystawiona na działanie promieniowania słonecznego padającego z prędkością  $\dot{q}_{solar} = 800$  W/m $^2$ . Zewnętrzna powierzchnia również traci ciepło przez promieniowanie do przestrzeni w temperaturze 0 K. Określ temperaturę zewnętrznej powierzchni ściany oraz szybkość wymiany ciepła przez ścianę w stałych warunkach pracy.



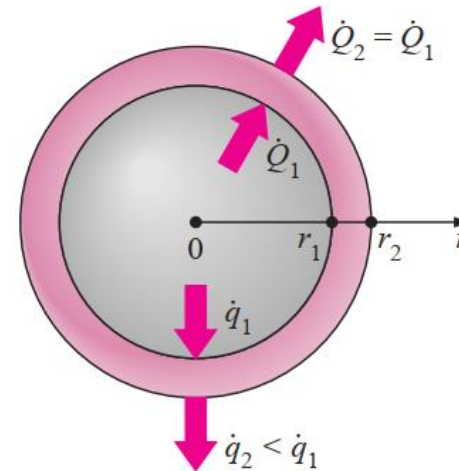
Rozważmy rurę parową o długości  $L = 20$  m, promień wewnętrzny  $r_1 = 6$  cm, promień zewnętrzny  $r_2 = 8$  cm, a przewodność cieplna  $k = 20$  W/m·°C, jak pokazano na rysunku. Wewnętrzna i zewnętrzna powierzchnia rury są utrzymywane w średnich temperaturach odpowiednio  $T_1 = 150^\circ\text{C}$  i  $T_2 = 60^\circ\text{C}$ . Uzyskaj ogólną zależność rozkładu temperatury wewnątrz rury w warunkach ustalonych oraz określ szybkość utraty ciepła z pary przez rurę.



Rozważmy kulisty pojemnik o promieniu wewnętrznym  $r_1 = 8$  cm, promieniu zewnętrznym  $r_2 = 10$  cm, a przewodność cieplna  $k = 45$  W/m $\cdot$ °C, jak pokazano na rysunku. Wewnętrzna i zewnętrzna powierzchnia pojemnika utrzymywana jest w stałej temperaturze odpowiednio  $T_1 = 200^\circ\text{C}$  i  $T_2 = 80^\circ\text{C}$  w wyniku zachodzących wewnątrz reakcji chemicznych. Uzyskać ogólną zależność dla temperatury dystrybucji wewnątrz skorupy w ustalonych warunkach i określić szybkość straty ciepła z pojemnika.



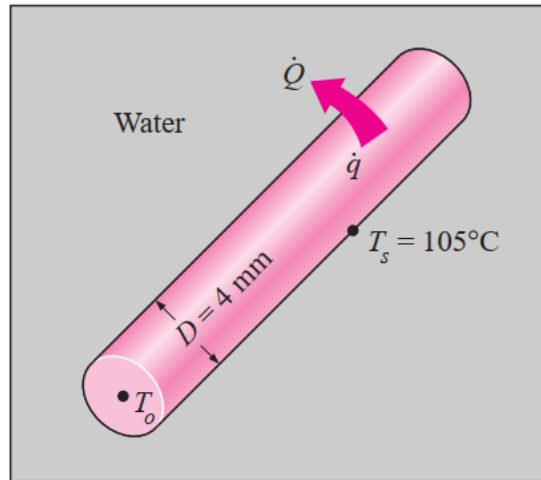
Wskazówka do rozwiązania:



$$\dot{q}_1 = \frac{\dot{Q}_1}{A_1} = \frac{27.14 \text{ kW}}{4\pi(0.08 \text{ m})^2} = 337.5 \text{ kW/m}^2$$

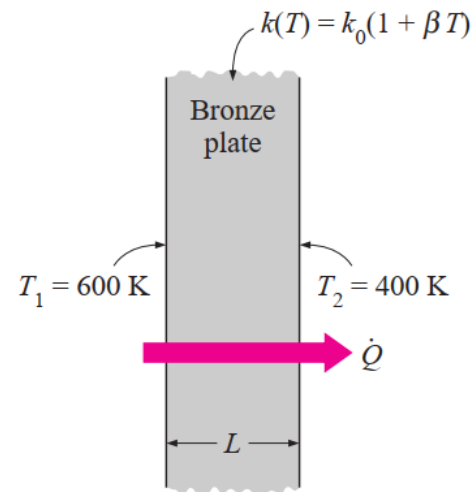
$$\dot{q}_2 = \frac{\dot{Q}_2}{A_2} = \frac{27.14 \text{ kW}}{4\pi(0.10 \text{ m})^2} = 216.0 \text{ kW/m}^2$$

Grzejnik oporowy o mocy 2 kW, którego przewodność cieplna wynosi  $k = 15 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$  ma średnicę  $D = 4 \text{ mm}$  i długość  $L = 0,5 \text{ m}$  i służy do gotowania wody (rysunek). Jeżeli temperatura zewnętrznej powierzchni drutu oporowego wynosi  $T_s = 105\text{°C}$ , określić temperaturę na środku drutu.

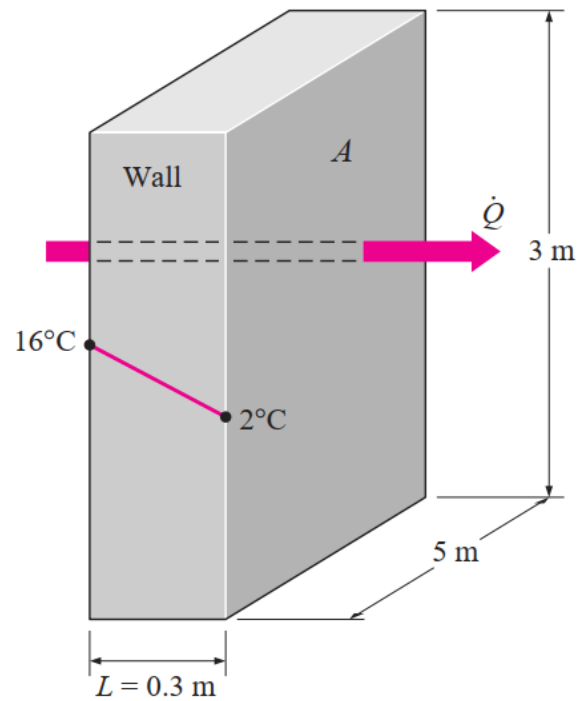




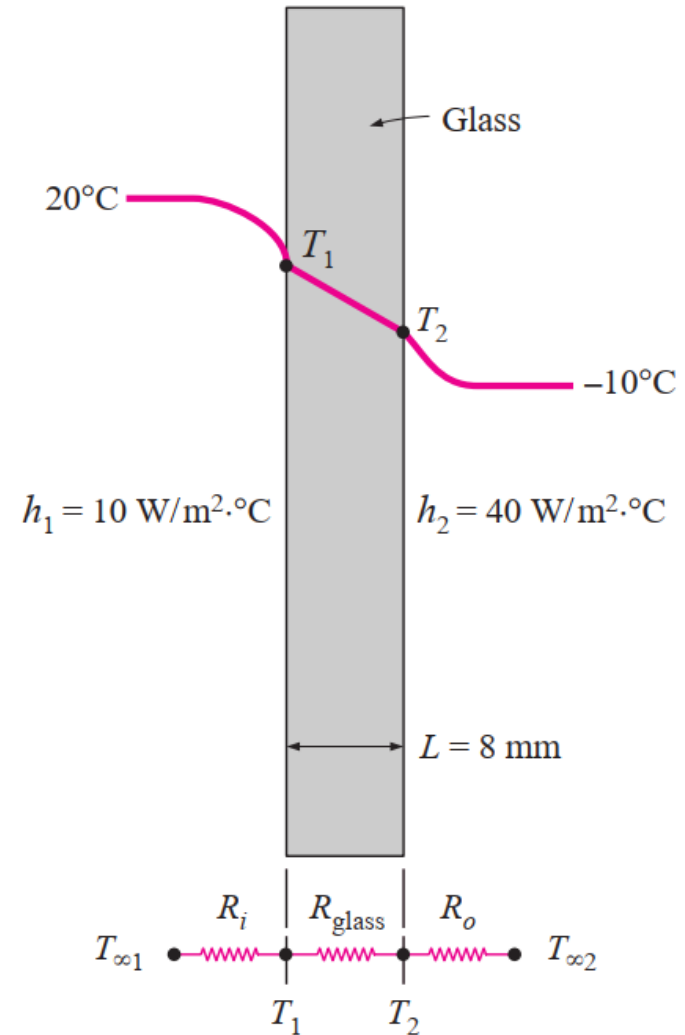
Rozważmy płytę z brązu o wysokości 2 m i szerokości 0,7 m, której grubość wynosi 0,1 m. Jedna strona płytki jest przez pewien czas utrzymywana w stałej temperaturze 600 K druga strona jest utrzymywana w temperaturze 400 K, jak pokazano na rysunku. Przewodność termiczna brązu zmienia się liniowo w tym zakresie temperatur jako  $k(T)=k_0(1 + \beta T)$  gdzie  $k_0 = 38 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  i  $\beta = 9,21 \cdot 10^4 \text{ K}^{-1}$ . Pomijając efekty krawędziowe i zakładając stałą jednowymiarowość przenikanie ciepła, określić szybkość przewodzenia ciepła przez płytkę.



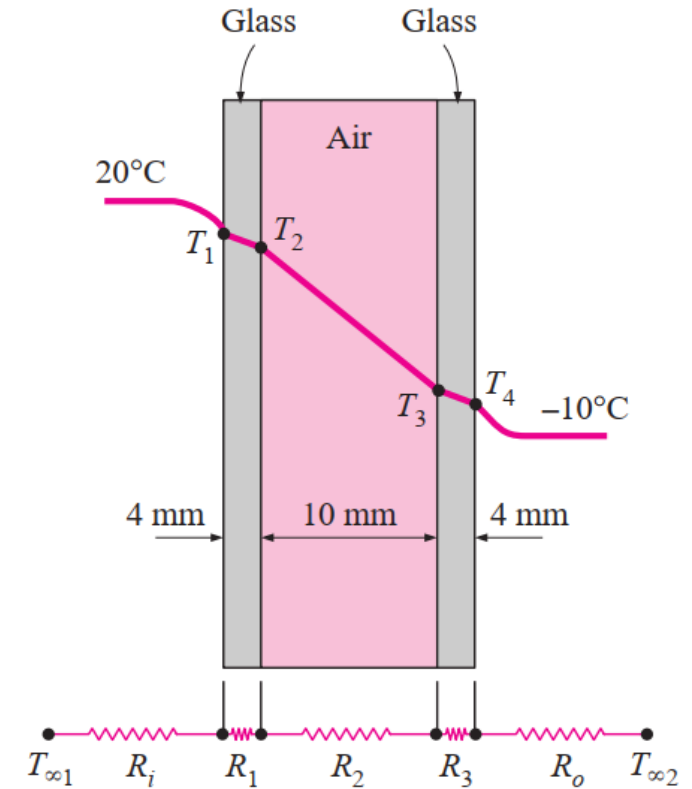
Rozważmy ścianę o wysokości 3 m, szerokości 5 m i grubości 0,3 m, której przewodność cieplna wynosi  $k = 0,9 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$  (rysunek). Pewnego dnia temperatury wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni ściany wynosiły odpowiednio  $16\text{°C}$  i  $2\text{°C}$ . Wyznacz szybkość utraty ciepła przez ścianę w tym dniu.



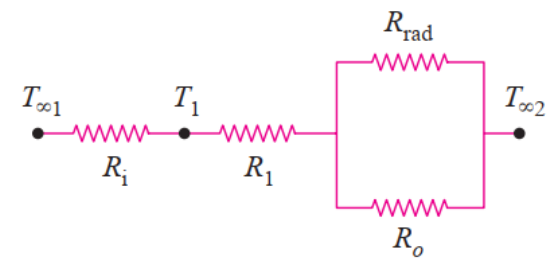
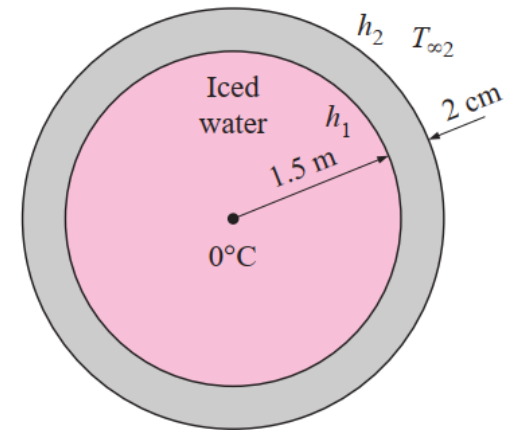
Rozważmy okno o wysokości 0,8 m i szerokości 1,5 m i grubości 8 mm i przewodności cieplnej  $k = 0,78 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ . Wyznacz szybkość przenikania ciepła przez to szklane okno i temperaturę jego wewnętrznej powierzchni na dzień, w którym w pomieszczeniu utrzymywana jest temperatura  $20\text{°C}$ , podczas gdy temp na zewnątrz wynosi  $10\text{°C}$ . Współczynniki przenikania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni okna  $h_1 = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  i  $h_2 = 40 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ , uwzględniając w tym skutki promieniowania



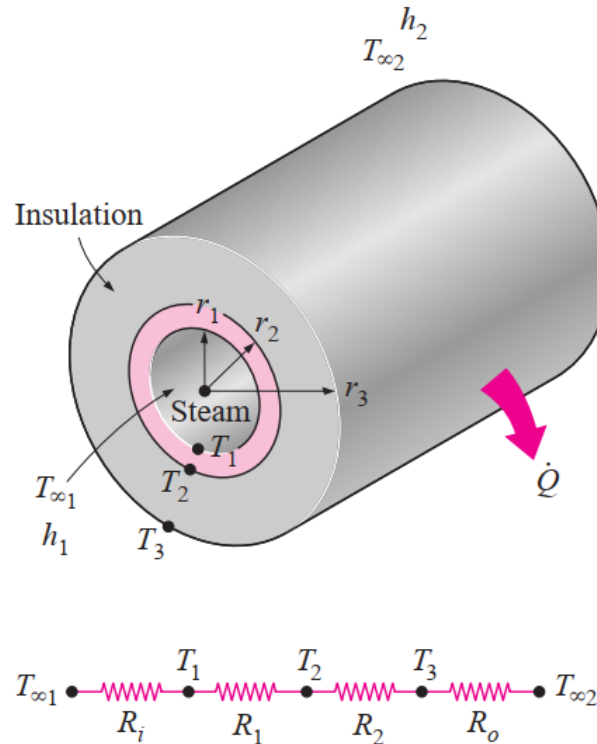
Rozważ dwuszybowe okno o wysokości 0,8 m i szerokości 1,5 m, składające się z dwóch szyb o grubości 4 mm ( $k = 0,78 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ ) oddzielone przegrodą powietrzną o szerokości 10 mm ( $k = 0,026 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ ). Wyznacz stałą szybkość wymiany ciepła przez to podwójne okno i temperaturę jego wewnętrznej powierzchni w ciągu dnia, w którym w pomieszczeniu utrzymywana jest temperatura  $20\text{°C}$ , podczas gdy temperatura na zewnątrz wynosi  $10\text{°C}$ . Weźmy współczynniki konwekcyjnego przyjmowania ciepła wewnętrzne i zewnętrzne powierzchni okna  $h_1 = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  i  $h_2 = 40 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ , co obejmuje skutki promieniowania.



Zbiornik kulisty o średnicy wewnętrznej 3 m wykonany ze stali nierdzewnej o grubości 2 cm ( $k = 15 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ ) służy do przechowywania wody z lodem w temperaturze  $T_{\infty 1} = 0\text{°C}$ . Zbiornik jest zlokalizowany w pomieszczeniu o temperaturze  $T_{\infty 2} = 22\text{°C}$ . Ściany pokoju są również w temperaturze  $22\text{°C}$ . Zewnętrzna powierzchnia zbiornika jest czarna i przenosi ciepło między zewnętrzną powierzchnią zbiornika i otoczeniem poprzez konwekcję naturalną i promieniowanie. Współczynniki konwekcyjnego przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni zbiornika wynoszą odpowiednio  $h_1 = 80 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  i  $h_2 = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ . Określ (a) szybkość wymiany ciepła do lodowatej wody w zbiorniku oraz (b) ilość lodu o temperaturze  $0\text{°C}$ , który topi się w ciągu 24 godzin.



Para w  $T_{\infty 1} = 320^{\circ}\text{C}$  przepływa w rurze żeliwnej ( $k = 80 \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$ ), której średnica wewnętrzna i zewnętrzna wynoszą odpowiednio  $D_1 = 5 \text{ cm}$  i  $D_2 = 5,5 \text{ cm}$ . Rura jest pokryta 3-centymetrową izolacją z wełny szklanej o  $k = 0,05 \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$ . Ciepło jest tracone do otoczenia przy  $T_{\infty 2} = 5^{\circ}\text{C}$  przez naturalną konwekcję i promieniowanie, przy łącznym współczynniku przenikania ciepła  $h_2 = 18 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ . Współczynnik przenikania ciepła wewnątrz rury wynosi  $h_1 = 60 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ , określ współczynnik strat ciepła z pary na jednostkę długości rury. Określ także spadki temperatury na płaszczu rury i izolacji.



Przewód elektryczny o średnicy 3 mm i długości 5 m jest ciasno owinięty plastikową osłoną o grubości 2 mm, której przewodność cieplna wynosi  $k = 0,15 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ . Elektryczne pomiary wskazują, że prąd 10 A przepływa przez drut i tam ze spadkiem napięcia 8 V wzdłuż przewodu. Izolowany przewód jest wystawiony na działanie medium w  $T_\infty = 30\text{°C}$  o współczynniku przenikania ciepła  $h = 12 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ . Określ temperaturę na styku drutu i plastikowej osłony w warunkach ustalonych. Określ również, czy podwojenie grubości tworzywa sztucznego (osłona) zwiększy lub zmniejszy tę temperaturę.

