11 Povrchové napätie. Prenosové javy.

Poznáme dva druhy fázových rozhraní. Fázové rozhrania, ktoré prenášajú tlak a fázové rozhrania, ktoré tlak neprenášajú. V druhom prípade bude po oboch stranách rozhrania rôzny tlak, ak jeho povrch je zakrivený.

1. Rozdiel tlakov vypočítame podľa Laplaceovho vzorca

$$\Delta p = \alpha\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right),$$

kde α je koeficient povrchového napätia, ktorý je rovný, čo do veľkosti, sile pôsobiacej na jednotku dĺžky okraja povrchovej blany kvapaliny a R_1 a R_2 sú polomery zakrivenia dvoch vzájomne kolmých prierezov povrchu kvapaliny.

2. Na zmenu plochy ΔS povrchovej blany je potrebné vykonať prácu

$$\Delta A = \alpha \Delta S \ .$$

3. Výška, do ktorej stúpne kvapalina v kapiláre s polomerom r, je

$$h = \frac{2\alpha \cos\theta}{\rho g r},$$

kde ρ je hustota kvapaliny, θ - okrajový uhol. Pri úplnom zmáčaní je $\theta = 0$ a pri úplnom nezmáčaní je $\theta = \pi$.

Pod prenosovými javmi rozumieme prenos energie v rôznych formách.

4. Množstvo tepla, ktoré prejde plochou ΔS v kolmom smere v dôsledku tepelnej vodivosti látky za čas Δt je dané vzťahom

$$Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S . \Delta t \ ,$$

kde $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ je gradient teploty v smere kolmom na plôšku ΔS a λ - koeficient tepelnej vodivosti.

5. Tepelný tok medzi dvomi látkami s rôznou teplotou je rovný

$$\Phi = -h \Delta T \ ,$$

kde h je koeficient prestupu tepla a ΔT rozdiel teplôt dotýkajúcich sa látok.

6. Sila trenia medzi dvomi vrstvami tekutiny, ktoré sa pohybujú paralelne voči sebe rôznymi rýchlosťami je rovná

$$\boldsymbol{F} = -\eta \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x} S \frac{\boldsymbol{v}}{|\boldsymbol{v}|},$$

kde S je plocha dotýkajúcich sa vrstiev, $\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}$ - gradient rýchlosti pohybu vrstiev v smere x, kolmom na vrstvy a η - dynamická viskozita tekutiny.

7. Množstvo tekutiny, ktoré vytečie z trubice o polomere R je rovné

$$V = \frac{1}{\eta} \frac{\pi R^4}{8l} (p_1 - p_2) \Delta t \ ,$$

kde η je dynamická viskozita tekutiny, l – dĺžka trubice, ($p_1 - p_2$) – rozdiel tlakov na koncoch trubice a Δt –doba vytekania tekutiny.

Riešené príklady

11.1. Medzi dvomi rovnobežnými sklenými doštičkami sa nachádza kvapka ortuti o hmotnosti $2 \cdot 10^{-3}$ kg. Akou silou treba stlačiť doštičky, aby sme kvapku ortuti stlačili na hrúbku 0,1 mm? Predpokladajte, že ortuť nezmáča sklo. Koeficient povrchového napätia ortuti je 0,5 N.m^{-1}.

Úvaha:

Zadané veličiny:	Hľadané veličiny
$m = 2 \cdot 10^{-3}$ kg	$F = ?$
$\alpha = 0{,}5$ kg.s^{-2}	
$d = 0{,}1 \cdot 10^{-3}$ m	
$\rho = 13{,}5 \cdot 10^3$ kg.m^{-3}	

Kvapka po stlačení nadobudne tvar disku s bočným povrchom, ktorý bude mať dva polomery zakrivenia. Doplňujúci tlak v ortuti v dôsledku tohoto zakrivenia je rovný

$$\Delta p = \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \tag{1}$$

kde α je koeficient povrchového napätia ortuti, R_1 – polomer disku a R_2 polomer zakrivenia priečneho rezu disku. Pretože ortuť nezmáča sklo môžeme R_2 vyjadriť pomocou hrúbky disku d, $R_2 = d/2$. Z druhej strany, tento doplňujúci tlak musí byť kompenzovaný vonkajším tlakom

$$\Delta p = F / S \ , \tag{2}$$

kde S je plocha kvapky ortuti, ktorou sa dotýka sklenenej doštičky, $S = \pi R_1^2$.

Polomer R_1 môžeme vypočítať z objemu kvapky. Je zrejmé, že polomer R_2 bude oveľa menší ako R_1 a preto môžeme uvažovať, že objem kvapky bude po stlačení rovný

$$V = \pi R_1^2 d \ . \tag{3}$$

Objem V zistíme z hmotnosti m a hustoty ortuti ρ, $V = m/\rho$. Dosadením do rovnice (3) a úpravou dostaneme pre R_1

$$R_1 = \sqrt{\frac{m}{\pi \rho d}} \ . \tag{4}$$

Porovnaním rovníc (1) a (2) a dosadením za R_1 a R_2 vypočítame hľadanú silu, pričom plochu S vyjadríme ako $\frac{m}{\rho d}$.

Riešenie:

Porovnaním rovníc (1) a (2) dostaneme

$$F = S \, \Delta p = \frac{m \, \alpha}{\rho d} \left(\sqrt{\frac{\pi \rho d}{m}} + \frac{2}{d} \right)$$

$$F = \frac{2\cdot 10^{-3}\,\mathrm{kg}\cdot 0{,}5\,\mathrm{kg.s^{-2}}}{13{,}5\cdot 10^{3}\,\mathrm{kg.m^{-3}}\cdot 1\cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}}\left(\sqrt{\frac{3{,}14\cdot 13{,}5\cdot 10^{3}\,\mathrm{kg.m^{-3}}\cdot 1\cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}}{2\cdot 10^{-3}\,\mathrm{kg}}}+\frac{2}{1\cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}}\right)=$$

$$F = 14{,}8\,\mathrm{N}$$

11.2. V zimnom období sa v jednej z rohových miestnosti staršieho tehlového bytu pokazil radiátor. V miestnosti udržujeme teplotu 20° C elektrickým radiátorom pri vonkajšej teplote –10° C. Plocha vonkajších tehlových stien je 13 m^2, plocha okna s jednou vrstvou skla je 2 m^2. Únik tepla cez vnútorné steny bytu zanedbajte. Cenu elektrickej energie uvažujte 2,70 SK za 1 kWh. Vypočítajte:

a) Aký výkon by mal mať elektrický ohrievač?
b) Koľko zaplatíme za elektrickú energiu za jeden týždeň?
c) Aký výkon elektrického ohrievača by stačil v prípade bytu s dvojitou tehlovou stenou a oknom s dvomi vrstvami skla?
d) Koľko by sa ušetrilo, keby bol byt ako v bode c?

Tepelné straty cez jednotlivé druhy stien sú uvedené v tabuľke.

Konštrukcia steny	Φ [W.m^{-2}.K^{-1}]
Dvojitá tehlová stena s výplňou izolačnej peny	0,5
Sklenné okno s dvomi vrstvami skla	2,7
Sklenné okno s jednou vrstvou skla	5,7
Tehlová stena	3,6

Úvaha:

Zadané hodnoty:	Neznáme hodnoty:
S_1 = 13 m^2	P_s =?
S_2 = 2 m^2	Náklady ?
t_1= 20°C	P_{su}=?
t_2= -10°C	Ušetrené?
Φ_1=3,6 W.m^{-2}.K^{-1}	
Φ_2=5,7 W.m^{-2}.K^{-1}	
Φ_3=0,5 W.m^{-2}.K^{-1}	
Φ_4=2,7 W.m^{-2}.K^{-1}	
1 kWh = 2,70 SK	

Priemerný výkon elektrického radiátora

$$P_s = \frac{\Delta Q}{\Delta\tau}, \qquad (1)$$

musí byť rovný teplu odvedenému stenou a oknom za jednotku času. Vzhľadom na to , že všetko teplo z radiátora sa využije na ohrev izby, budeme považovať elektrický príkon radiátora rovný jeho tepelnému výkonu.

Teplá odvedené stenami a oknom za jednotku času budú priamo úmerné ich plošným obsahom *S*, rozdielu teplôt Δt medzi vnútrom izby a vonkajším okolím a hodnotou tepelného toku Φ, vzhľadom na materiál steny a okna. Za čas $\Delta\tau$ prejde stenou S_1 teplo

$$\Delta Q_1 = \Phi_x \Delta\tau S_1 (t_1 - t_2). \qquad (2)$$

Oknom S_2 prejde za čas $\Delta\tau$ teplo

$$\Delta Q_2 = \Phi_y \Delta\tau S_2 (t_1 - t_2). \qquad (3)$$

Aby v miestnosti ostala rovnaká teplota, je potrebné odvedené teplo nahradiť teplom

$$\Delta Q = (\Delta Q_1 + \Delta Q_2) = P_s \Delta\tau \qquad (4)$$

z náhradného zdroja. Odtiaľto inštalovaný výkon elektrického ohrievača bude

$$P_s = (\Delta Q_1 + \Delta Q_2)/\Delta\tau .$$

Ak spotrebu elektrickej energie $P_s \Delta\tau$ vynásobíme jej cenou, dostaneme hľadané náklady. V prípade a) dosadíme za Φ_x hodnotu Φ_1 a za Φ_y hodnotu Φ_2, v prípade c) dosadíme za Φ_x hodnotu Φ_3 a za Φ_y hodnotu Φ_4. Rozdiel vypočítaných nákladov bude hľadaná úspora.

Riešenie:

a) Pre hľadaný výkon radiátora dostaneme: v prípade a)

$P_s = (3{,}6\ \mathrm{W.m^{-2}.K^{-1}} \cdot 13\mathrm{m}^2 + 5{,}7\ \mathrm{W.m^{-2}.K^{-1}} \cdot 2\ \mathrm{m}^2)\, 30\ \mathrm{K} = 1746\ \mathrm{W}$

Aby sa nám v izbe podarilo udržať stálu teplotu, radiátor by musel mať výkon minimálne 1764 W.

b) Za týždeň by sme zaplatili $1{,}746\ \mathrm{kWh} \cdot 7 \cdot 24\mathrm{h} \cdot 2{,}7\ \mathrm{SK / kWh} = 792\ \mathrm{SK}$

c) V byte s s dvojitou tehlovou stenou a oknom s dvomi vrstvami skla nám postačí výkon $P_s = (0{,}5\ \mathrm{W.m^{-2}.K^{-1}} \cdot 13\mathrm{m}^2 + 2{,}7\ \mathrm{W.m^{-2}.K^{-1}} \cdot 2\ \mathrm{m}^2)\, 30\ \mathrm{K} = 357\ \mathrm{W}$,

a za týždeň by sme zaplatili: $0{,}357\ \mathrm{kW} \cdot 7 \cdot 24\mathrm{h} \cdot 2{,}7\ \mathrm{Sk / kWh} = 162\ \mathrm{Sk}$.

d) Za týždeň by sa ušetrilo (792- 162) Sk = 630 Sk.

11.3. Vo veľkej uzavretej kovovej nádrži sa nachádza 500 l transformátorového oleja, ktorého kinematická viskozita je $2{,}0 \cdot 10^{-3}\mathrm{m^2.s^{-1}}$ a hustota 900 $\mathrm{kgm^{-3}}$. Olej treba prečerpať cez trubicu o priemere 2 cm dĺžky 0,5 m. Výtokový otvor v nádobe je na dne a olej bol vytláčaný pretlakom $0{,}72 \cdot 10^5$ Pa. Vypočítajte a) maximálnu rýchlosť oleja v priereze potrubia; b) čas, za ktorý olej prečerpali; c) priemernú rýchlosť oleja v potrubí.

Úvaha:

Zadané veličiny	Hľadané veličiny
$V = 0{,}5\ \mathrm{m}^3$	$v_{max} = ?$
$\nu = 2 \cdot 10^{-3}\mathrm{m^2.s^{-1}}$	$t = ?$
$\rho = 900\ \mathrm{kg.m^{-3}}$	$v_p = ?$
$d = 0{,}02$ m	
$l = 0{,}5$ m	
$\Delta p = 0{,}72 \cdot 10^5\mathrm{kg.m^{-1}.s^{-2}}$	

Pri prúdení viskóznej kvapaliny v potrubí kruhového prierezu bude medzi dvomi koaxiálnymi vrstvami oleja pôsobiť šmykové napätie

$$\tau = -\eta \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}r}\ , \qquad (1)$$

kde η je koeficient dynamickej viskozity, v je rýchlosť oleja a r vzdialenosť od osi trubice. Koeficient dynamickej viskozity sa dá vyjadriť ako súčin koeficienta kinematickej viskozity ν a hustoty oleja ρ

$$\eta = \nu\rho\ . \qquad (2)$$

Uvažujme teraz objem kvapaliny ohraničený koaxiálnym povrchom o polomere r a dĺžky l vo vnútri trubice. Na túto časť kvapaliny pôsobí brzdiaca sila od susednej vrstvy

$$F = 2\pi r\, l\, \tau = -2\pi r\, l\, \nu\rho \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}r}\ . \qquad (3)$$

Táto sila trenia sa kompenzuje silou, ktorú vyvoláva rozdiel tlakov Δp a ktorá je rovná

$$\pi r^2 \Delta p. \qquad (4)$$

Porovnaním dostaneme

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}r} = -\frac{r}{2l\,\nu\,\rho}\Delta p\ . \tag{5}$$

Integrovaním rovnice (5)

$$\int_0^v \mathrm{d}v = -\frac{\Delta p}{2l\,\nu\,\rho}\int_R^r r\,\mathrm{d}r\ ,$$

kde sme vzali do úvahy, že pri stene potrubia je rýchlosť oleja rovná 0, dostaneme

$$v = \frac{\Delta p}{4l\,\nu\,\rho}\left(R^2 - r^2\right)\ , \tag{6}$$

kde R je polomer potrubia.

Pre objemový výtok kvapaliny za jednotku času platí Poiseuillov vzorec

$$V_1 = \frac{\pi\Delta p}{8l\,\nu\,\rho}R^4\ . \tag{7}$$

Ak vynásobíme rovnicu (7) dobou, za ktorú určitý objem vytiekol, dostaneme hodnotu tohto objemu.

Priemerná rýchlosť oleja cez prierez bude rovná objemu oleja, ktorý vytečie z potrubia za jednotku času podeleného obsahom prierezu potrubia.

Riešenie:

Zo vzorca (6) je zrejmé, že maximálna rýchlosť oleja bude v strede potrubia, teda pri $r = 0$.

$$v_{\max} = \frac{\Delta p}{4l\,\nu\,\rho}\frac{d^2}{4} = \frac{0{,}72\cdot 10^5\,\mathrm{kg.m^{-1}.s^{-2}}\cdot(0{,}02\mathrm{m})^2}{16\cdot 0{,}5\mathrm{m}\cdot 2\cdot 10^{-3}\,\mathrm{m^2.s^{-1}}\cdot 900\mathrm{kg.m^{-3}}} = 2{,}0\,\mathrm{m.s^{-1}}\ .$$

Celý objem oleja vytečie za dobu t, ktorú vypočítame, ak podelíme celkový objem objemom oleja, ktorý vytečie za jednotku času

$$t = \frac{V}{V_1} = \frac{V\cdot 8l\,\nu\,\rho}{\pi\,\Delta p\,R^4} = \frac{0{,}5\mathrm{m^3}\cdot 8\cdot 0{,}5\mathrm{m}\cdot 2\cdot 10^{-3}\,\mathrm{m^2.s^{-1}}\cdot 900\mathrm{kg.m^{-3}}\cdot 16}{3{,}14\cdot 0{,}72\cdot 10^5\,\mathrm{kg.m^{-1}.s^{-2}}\cdot(0{,}02\mathrm{m})^4} = 1591{,}5\mathrm{s} =\approx 26{,}5\mathrm{min}$$

Priemernú rýchlosť vypočítame, ak vydelíme objemový prietok za jednotku času plošným obsahom prierezu potrubia.

$$v_p = \frac{V_1}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{\pi\,\Delta p\,d^4}{\frac{\pi d^2}{4}16\cdot 8l\,\nu\,\rho} = \frac{\Delta p\,d^2}{32l\,\nu\,\rho} = \frac{0{,}72\cdot 10^{-5}\,\mathrm{kg.m^{-1}.s^{-1}}\cdot(0{,}02\mathrm{m})^2}{32\cdot 0{,}5\mathrm{m}\cdot 2\cdot 10^{-3}\,\mathrm{m^2.s^{-1}}\cdot 900\mathrm{kg.m^{-3}}} = 1\,\mathrm{m.s^{-1}}$$

Neriešené príklady:

11.4. Aký je relatívny rozdiel tlaku vo vnútri mydlovej bubliny o priemere 4 cm a v jej okolí, ak povrchové napätie mydlového roztoku je $5\cdot 10^{-2}$ N/m ? Atmosferický tlak je 0,1 MPa. [0,01%]

11.5. Aký musí byť priemer kapiláry v tele rastliny, aby v nej voda vystúpila do výšky 5 m? (Predpokladajte dokonalú zmáčavosť steny a povrchové napätie vody $7\cdot 10^{-2}$ N/m). [5,7 μm]

11.6. Kapilára s priemerom 1,5 mm bola ponorená do vody. Polomer zakrivenia menisku vody v kapiláre je rovný 1,5 mm. Vypočítajte koľkokrát je menšia výška vody v kapiláre ako v prípade, ak by bolo zmáčanie steny kapiláry dokonalé! [dvakrát]

11.7. Do akej výšky vystúpi voda v dôsledku kapilarity medzi dvoma zvislými platňami s dokonale zmáčavým povrchom, ktorých vzdialenosť je 0,1 mm, ak je povrchové napätie vody 0,07 N/m? [14 cm]

11.8. Kapilára bola ponorená do nádoby s ortuťou a to tak, že dĺžka kapiláry nad hladinou ortuti bola 10 cm. Rozdiel hladín ortuti v kapiláre a v nádobe bol 5 cm. Potom bol horný koniec kapiláry uzatvorený. Kapiláru dvíhali z nádoby z ortuťou dovtedy, kým hladiny ortuti v nádobe a kapiláre neboli rovnaké. O koľko bolo potrebné zdvihnúť kapiláru? Atmosferický tlak uvažujte $1{,}01 \cdot 10^5$ Pa . [6 cm]

11.9. Akú vrstvu vody udrží impregnovaná tkanina, ak otvory medzi vláknami považujeme za kruhové s priemerom 0,1 mm? [29 cm]

11.10.* V meste, plocha ktorého je 400 km^2, napršalo počas silného dažďa za 10 minút 20 mm vody. Vypočítajte množstvo tepelnej energie, ktoré vzniklo pri zlievaní kvapiek dažďa, ak kvapky, ktoré dopadali na zem, mali priemer 3 mm a vznikali z malých kvapiek o priemere $3 \cdot 10^{-3}$ mm. Vypočítajte výkon tohto procesu.
[1168 GJ; 1,95 GW]

11.11.* Pri tavení dolného konca zvisle zaveseného oloveného drôtu o priemere 2 mm vzniklo 50 kvapiek olova. Vypočítajte priemer kvapiek. O koľko sa skrátil drôt? Súčiniteľ povrchového napätia roztaveného olova je 0,47 N.m^{-1}. [3,7 mm; 42,4 cm]

11.12. Pri sústružení je nôž chladený emulziou (uvažujte tepelné konštanty vody). Pri rýchlosti otáčania 400 ot/min pôsobí nôž na obrábaný predmet momentom sily 50 N.m. Aký musí byť objemový prietok emulzie , aby sa nezohriala viac ako o 5°C ak predpokladáme, že odvádza teplo odpovedajúce 80% mechanického výkonu?
[80 cm^3/s]

11.13. Potrubím diaľkového teplovodu o priemere 50 cm sa privádza do výmenníkovej stanice voda o teplote 120°C pri priemernej rýchlosti prúdenia 3m/s. Aký tepelný výkon voda vo výmenníku odovzdáva, ak teplota vracajúcej sa vody je 80°C?
[100 MW]

11.14. Antikatóda röntgenovej trubice je tvorená medenou tyčou dlhou 250 mm o priemere 15 mm. Vypočítajte rozdiel teplôt medzi horúcim a studeným koncom tyče, ak cez bočný povrch tyče sa teplo neodvádza a studený koniec tyče sa chladí vodou z vodovodu! Voda sa ohrieva o 3°C pri spotrebe 1 kg za minútu. [800 K]

11.15. Jeden koniec oceľovej tyče dĺžky 20 cm a prierezu 3 cm^2 udržujeme na stálej teplote 300°C, druhý koniec zasahuje do topiaceho sa ľadu. Určite hmotnosť ľadu, ktorý sa roztopí za 10 minút, keď predpokladáme, že tepelné straty do okolia sú nulové. [0,047 kg]

11.16. Medená tyč dĺžky 15 cm je pripojená k železnej tyči rovnakého prierezu a dĺžky 8 cm. Voľný koniec medenej tyče udržiavame na stálej teplote 150° C. Koniec železnej tyče na teplote 20° C. Vypočítajte hustotu tepelného toku v tyči a teplotu na stykovej ploche oboch tyčí za predpokladu nulových tepelných strát do okolia! [$75 \cdot 10^3$ J.m^{-2}.s^{-1}; 121,9° C]

11.17. Dve doštičky, medená hrúbky 6 mm a železná hrúbky 4 mm, sa dotýkajú. Vypočítajte, aká má byť tepelná vodivosť jednoduchej rovnorodej dosky hrúbky 10 mm, aby viedla teplo rovnako, ako tieto dve doštičky! [118 W.m^{-1}.K^{-1}]

11.18. Valcové oceľové potrubie vnútorného priemeru 7 cm a vonkajšieho priemeru 7,6 cm je obalené azbestovým obalom hrúbky 3 cm. Vnútorný povrch potrubia má teplotu 10°C, vonkajší povrch obalu má teplotu -10°C. Aké sú straty tepla na jeden meter potrubia za 24 hodín? Aké budú straty za rovnakých podmienok, keby potrubie nebolo obalené izolujúcim obalom? [$3{,}9 \cdot 10^6$ J, $7{,}7 \cdot 10^9$ J]

11.19. Priestor medzi dvoma koncentrickými guľami s polomermi R_1 a R_2 ($R_2 > R_1$) je vyplnený homogénnou látkou dobre vedúcou teplo, ktorej tepelná vodivosť je λ. Teploty povrchov sú T_1 a T_2. Určite množstvo tepla, ktoré prejde za čas $\Delta\, t$ za ustáleného tepelného toku ktoroukoľvek guľovou plochou koncentrickou s oboma danými guľovými plochami! $\left[Q = 4\pi\lambda\Delta t \dfrac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}\left(T_1 - T_2\right) \right]$

11.20. Tepelná vodivosť azbestu bola meraná nasledovne. Azbestová doska hrúbky (30 ± 0,5)mm je zo spodnej strany ohrievaná elektrickým ohrievačom, teplota ktorého sa udržuje konštantná, a je rovná (800 ± 5)°C. Horná strana tvorí dno prietokového vodného kalorimetra o priemere (250 ± 1) mm. Vypočítajte súčiniteľ tepelnej vodivosti azbestu a jeho chybu, ak viete, že spotreba vody v kalorimetri je (120±1) kg/hod, teplota vody na vstupe do kalorimetra je (20,12±0,01)°C a na výstupe (22,36±0,01)°C! Teploty teplejšej a chladnejšej strany azbestovej dosky sú (800±5)°C a (200±5)°C. Merné teplo vody je 4186 $J.K^{-1}.kg^{-1}$. [(0,315±0,008) $J.m^{-1}.s^{-1}.K^{-1}$]

11.21.* Vypočítajte tok tepla cez ohňovzdornú vymurovku tepelného zdroja, ak viete, že hrúbka vymurovky je 400 mm, teplota vnútornej strany 900°C a vonkajšej 60°C. Súčiniteľ tepelnej vodivosti ohňovzdorného materiálu závisí od teploty podľa vzťahu $k = k_0\,(1+bt)$, kde $k_0 = 0{,}35 \mathrm{Wm^{-1}.K^{-1}}$, $b = 1{,}5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{K^{-1}}$. [1265 $W.m^{-2}$]

11.22. Aký výkon musí mať vykurovacie teleso v miestnosti, aby kompenzovalo straty tepla cez stenu o ploche 3,5x2,5 m^2 a hrúbke 30 cm, ak je teplota vzduchu v miestnosti 20°C a vonku -10°C? Uvažujte súčiniteľ mernej tepelnej vodivosti steny 1,2 $W.m^{-2}.K^{-1}$ a súčinitele prestupu tepla na vnútornej strane 15 $W.m^{-2}.K^{-1}$ a na vonkajšej strane steny 30 $W.m^{-2}.K^{-1}$. Aké sú teploty vnútorného a vonkajšieho povrchu steny? [750 W, 14°C, -7°C]

11.23. Tenká planparalelná doska s plochou 2 m^2 sa nachádza v prúde kvapaliny, ktorá tečie pozdĺž jej povrchu. Vypočítajte, aká je dynamická viskozita tejto kvapaliny, ak na dosku pozdĺž jej povrchu pôsobí kvapalina silou $0{,}244 \cdot 10^{-3}$ N a gradient rýchlosti v mieste kde sa doska nachádza je 0,1 s^{-1}. [$1{,}22 \cdot 10^{-3}$ $kg.m^{-1}.s^{-1}$]

11.24. Prívodné vodovodné potrubie o priemere 400 mm privádza vodu z priehrady do úpravovne vody. Vzdialenosť priehrady od úpravovne je 50 km. Vstupný otvor potrubia je 10 m pod hladinou vody v priehrade, na výstupe potrubia je tlak atmosferický. Vypočítajte prietok vody na výstupe potrubia! Potrubie považujte za vodorovné. Koeficient dynamickej viskozity vody je 0,00131 $kg.m^{-1}.s^{-1}$. [0,94 $m^3.s^{-1}$]

11.25. Do prevodovky vtláča mechanik olej o viskozite $4{,}8 \cdot 10^{-2}$ $kg.m^{-1}.s^{-1}$ pomocou striekačky, ktorá ma výstupnú trubicu dlhú 5 cm o priemere 6 mm a jej valec má polomer 5 cm. Akou silou musí pôsobiť mechanik na piest valca, aby vtlačil 1 l oleja za 30 s ? [19,7 N]

11.26. Na stole stojí nádoba s olejom hustoty 900$kg.m^{-3}$ a dynamickou viskozitou 0,5 $N.s.m^{-2}$. V bočnej stene nádoby vo výške 5 cm od dna je otvor, do ktorého je tesne zasunutá kapilára. Vnútorný polomer kapiláry je 1 mm a jej dĺžka je 1 cm. Hladina oleja sa udržuje vo výške 50 cm nad kapilárou. V akej vzdialenosti od konca kapiláry (v horizontálnom smere) bude prúd oleja dopadať na stôl? [1,1 cm]