

ŽERTOVNÉ PŘÍKLADY
Z PŘENOSU HYBNOSTI, TEPLA A HMOTY

MARTIN DOSTÁL, JIŘÍ MORAVEC, JAN SKOČILAS

PRAHA, 2018

Contents

Příklady z přenosu hybnosti	4
H.1 Axiální tok v mezikruží	4
H.2 Doprava suspenze	5
H.3 Doprava suspenze 2	6
H.4 Doprava suspenze 3	7
H.5 Doprava suspenze 4	8
H.6 Suspenzorovod	9
H.7 Hrnečku vař	10
H.8 Hrnečku vař 2	11
H.9 Hruškopyrovod	12
H.10 Chladič motoru	13
H.11 Injekce	14
H.12 Stanley Goodspeed	15
H.13 Kapilární viskozimetr	16
H.14 Kapilární viskozimetr 2	17
H.15 Kapilární viskozimetr 3	18
H.16 Kapilární viskozimetr 4	19
H.17 Kluzné ložisko	20
H.18 Rotační trýznění kapalin	21
H.19 Měření viskozity	22
H.20 Viskozimetr kužel–deska	23
H.21 Viskozimetr kužel–deska 2	24
H.22 Kuželový čep	25
H.23 Kuželový čep 2	26
H.24 Kuželový čep 3	27
H.25 Měření průměru kapiláry	28
H.26 Nemísitelné kapaliny	29
H.27 Elektrostatický odlučovač prachu	30
H.28 Olejový omezovač rychlosti klesání	31
H.29 Parní válec	32
H.30 Patní ložisko	33
H.31 Pískový filtr	34
H.32 Pískový filtr 2	35
H.33 Pískový filtr 3	36
H.34 Pískový filtr 4	37
H.35 Posuv desky	38
H.36 Povrchová úprava drátu	39
H.37 Povrchová úprava drátu 2	40
H.38 Povrchová úprava drátu 3	41
H.39 Povrchová úprava drátu 4	42
H.40 Povrchová úprava drátu 5	43
H.41 Nanášení izolace drátu	44
H.42 Nanášení izolace drátu 2	45
H.43 Provozní viskozimetr	46
H.44 Provozní viskozimetr 2	47
H.45 Provozní viskozimetr 3	48
H.46 Provozní viskozimetr 4	49
H.47 Provozní viskozimetr 5	50
H.48 Provozní viskozimetr 6	51
H.49 Provozní viskozimetr 7	52

H.50 Tok rajského protlaku v trubce	53
H.51 Ropovod	54
H.52 Škrobový sirup	55
H.53 Šterbina	56
H.54 Únik oleje	57
H.55 Stékání glycerinu	58
H.56 Viskozimetrické měření	59
H.57 Viskozimetrické měření 2	60
H.58 Viskozimetrické měření 3	61
H.59 Rotační viskozimetr	62
H.60 Viskozitní čerpadlo	63
H.61 Viskozitní čerpadlo 2	64
H.62 Výroba plastových trubek	65
H.63 Výroba plastových trubek 2	66
H.64 Výroba plastových trubek 3	67
H.65 Výtok z nádoby	68

Příklady z přenosu tepla 69

T.1 Anemometr	69
T.2 Brambory	70
T.3 Disipace v mezikruží	71
T.4 Elektrický ohřívač vzduchu	72
T.5 Elektrický ohřívač vzduchu 2	73
T.6 Elektrický ohřívač vzduchu 3	74
T.7 Elektrický vodič	75
T.8 Elektrický vodič 2	76
T.9 Elektrický vodič 3	77
T.10 Elektrický vodič 4	78
T.11 Proudové zatížení vodiče	79
T.12 Proudové zatížení vodiče 2	80
T.13 Proudové zatížení drátu	81
T.14 Chladnutí výkovku	82
T.15 Konzervace hrášku	83
T.16 Chlazení mosazné koule	84
T.17 Chlazení mosazné koule 2	85
T.18 Chlazení mosazné koule 3	86
T.19 Chlazení mosazné koule 4	87
T.20 Chlazení ocelové koule	88
T.21 Chlazení ocelové koule 2	89
T.22 Chlazení ocelové koule 3	90
T.23 Chlazení ocelové koule 4	91
T.24 Chlazení ocelové koule 5	92
T.25 Izolace malého reaktoru	93
T.26 Automat na kafe	94
T.27 Ohřev konzervy s lančmítem	95
T.28 Koulovitý anemometr	96
T.29 Koulovitý anemometr 2	97
T.30 Koulovitý anemometr 3	98
T.31 Měření teploty Pt100	99
T.32 Měření teploty vzduchu termočlánkem	100
T.33 Měření teploty termočlánkem	101
T.34 Mlecí koule	102
T.35 Ohřev hřídele	103
T.36 Ohřev mosazné koule	104

T.37	Ohřev tyče	105
T.38	Palivový článek	106
T.39	Palivový článek 2	107
T.40	Palivový článek 3	108
T.41	Požár	109
T.42	Součinitel přestupu tepla	110
T.43	Sterilace hrášku	111
T.44	Sterilace hrášku 2	112
T.45	Tepelné ztráty potrubí	113
T.46	Tepelné ztráty potrubí 2	114
T.47	Teplovod	115
T.48	Teplovzdušná pistole	116
T.49	Trolejové vedení	117
T.50	Trubkový odporový ohřívač	118
T.51	Trubkový odporový ohřívač 2	119
T.52	Vrhačské náčiní	120
T.53	Výměník tepla	121
T.54	Výměník tepla 2	122
T.55	Výměník tepla 3	123
T.56	Výměník tepla 4	124
T.57	Výměník tepla 5	125
T.58	Zakalíme, popustíme	126
T.59	Zakalíme, popustíme 2	127
T.60	Zakalíme, popustíme 3	128
T.61	Žihací pec	129
T.62	Žihací pec 2	130
T.63	Žihací pec 3	131
T.64	Žihací pec 4	132

Příklady z přenosu hmoty 133

D.1	Stavíme bazén v baráku	133
D.2	Benzinová kaluž	134
D.3	Benzinová kaluž 2	135
D.4	Brikety	136
D.5	Kapky deště	137
D.6	Difúzní součinitel	138
D.7	Součinitel difuze	139
D.8	Součinitel difuze 2	140
D.9	Dopravní nehoda	141
D.10	Dopravní nehoda 2	142
D.11	Ekologický diletant	143
D.12	Vyluhování kofeinu	144
D.13	Čokomangokuličky	145
D.14	Suchá sklenice	146
D.15	Páteční večírek	147
D.16	Sobotní večírek	148
D.17	Zásobník benzenu	149

H.1 Axiální tok v mezikruží

V prostoru mezi dvěma souosými válci protéká ve směru osy roztok škrobového sirupu o viskozitě 30 Pa s , hustotě 1425 kg m^{-3} a měrné tepelné kapacitě $2 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Vnitřní průměr vnějšího válce je 150 mm a vnější průměr vnitřního válce je 50 mm . Uprostřed štěrbiny byla naměřena rychlost 7 cm min^{-1} . Určete velikost hmotnostního průtoku. Odhadněte velikost oteplení škrobového sirupu vztaženou na jednotku délky v případě, že vezmete v úvahu disipaci mechanické energie.

H.2 Doprava suspenze

Projekční oddělení dostalo za úkol dimenzovat čerpadlo pro dopravu suspenze kruhovým potrubím o průměru 80 mm na vzdálenost 20 m. K dopravě má použít čerpadlo s maximálním tlakem 400 kPa. Protože projekční oddělení nemá k dispozici vlastnosti suspenze, pokusilo se je určit s pomocí jednoduchého zařízení pracujícího na principu kapilárního viskozimetru. Měřená látka o teplotě 32°C (hustota 1175 kg m⁻³) byla dopravována vodorovným potrubím o průměru 50 mm a délce 3 m čerpadlem s objemovým průtokem 1 l s⁻¹. Během měření byla na potrubí naměřena tlaková ztráta 100 kPa. Určete dynamickou viskozitu (zdánlivou viskozitu) suspenze, rychlost smykové deformace při níž bylo měření provedeno a smykové napětí na stěně trubky. Ověřte též platnost podmínek za nichž jste viskozitu určili. Protože si projektanti nebyli jisti zdali se jedná o kapalinu newtonskou či ne, provedli ještě jedno experimentální měření. Při něm naměřili při dvojnásobném průtoku tlakovou ztrátu 150 kPa. Rozhodněte zdali je měřená suspenze kapalina s newtonským či nenewtonským chováním (a v tomto případě rozhodněte jestli se její zdánlivá viskozita se zvyšující se rychlostí smykové deformace snižuje a nebo zvyšuje).

H.3 Doprava suspenze 2

Projekční oddělení dostalo za úkol dimenzovat čerpadlo pro dopravu suspenze kruhovým potrubím o průměru 80 mm na vzdálenost 20 m. K dopravě má použít čerpadlo s maximálním tlakem 400 kPa. Protože projekční oddělení nemá k dispozici vlastnosti suspenze, pokusilo se je určit s pomocí jednoduchého zařízení pracujícího na principu kapilárního viskozimetru. Měřená látka o teplotě 32°C (hustota 1175 kg m⁻³) byla dopravována vodorovným potrubím o průměru 50 mm a délce 3 m čerpadlem s objemovým průtokem 1 l s⁻¹. Během měření byla na potrubí naměřena tlaková ztráta 100 kPa. Určete dynamickou viskozitu (zdánlivou viskozitu) suspenze, rychlost smykové deformace při níž bylo měření provedeno a smykové napětí na stěně trubky. Ověřte též platnost podmínek za nichž jste viskozitu určili. Protože si projektanti nebyli jisti zdali se jedná o kapalinu newtonskou či ne, provedli měření při různých průtocích suspenze. Vzhledem k průběhu experimentů usoudili, že se jedná o kapalinu jejíž vlastnosti lze popsat mocninovým modelem. Charakterizujte chování suspenze s pomocí indexu toku na základě provedeného měření. Při něm naměřili projekčníci při dvojnásobném průtoku tlakovou ztrátu 150 kPa.

H.4 Doprava suspenze 3

Projekční oddělení dostalo za úkol dimenzovat čerpadlo pro dopravu suspenze vodorovným kruhovým potrubím o průměru 80 mm na vzdálenost 50 m. Jaký může být maximální objemový průtok suspenze potrubím, aby k dopravě šlo použít čerpadlo schopné překonat maximální tlakovou ztrátu 400 kPa. Protože projekční oddělení nemá k dispozici vlastnosti suspenze, pokusilo se je určit s pomocí jednoduchého zařízení pracujícího na principu kapilárního viskozimetru. Měřená látka o teplotě 32°C (hustota 1175 kg m⁻³) byla dopravována vodorovným potrubím o průměru 50 mm a délce 3 m čerpadlem s objemovým průtokem 1 l s⁻¹. Během měření byla na potrubí naměřena tlaková ztráta 100 kPa. Určete dynamickou viskozitu (zdánlivou viskozitu) suspenze, rychlost smykové deformace na stěně trubky při níž bylo měření provedeno a odpovídající smykové napětí. Ověřte též platnost podmínek za nichž jste viskozitu určili.

H.5 Doprava suspenze 4

Projekční oddělení dostalo za úkol dimenzovat čerpadlo pro dopravu suspenze kruhovým potrubím o průměru 80 mm na vzdálenost 20 m. K dopravě má použít čerpadlo s maximálním tlakem 400 kPa. Protože projekční oddělení nemá k dispozici vlastnosti suspenze, pokusilo se je určit s pomocí jednoduchého zařízení pracujícího na principu kapilárního viskozimetru. Měřená látka o teplotě 32°C (hustota 1175 kg m⁻³) byla dopravována vodorovným potrubím o průměru 50 mm a délce 3 m čerpadlem s objemovým průtokem 1 l s⁻¹. Během měření byla na potrubí naměřena tlaková ztráta 100 kPa. Určete dynamickou viskozitu (zdánlivou viskozitu) suspenze, rychlost smykové deformace při níž bylo měření provedeno a smykové napětí na stěně trubky. Ověřte též platnost podmínek za nichž jste viskozitu určili. Protože si projektanti nebyli jisti zdali se jedná o kapalinu newtonskou či ne, provedli ještě jedno experimentální měření. Při něm naměřili při dvojnásobném průtoku tlakovou ztrátu 150 kPa. Navrhněte vhodný jednoduchý reologický model popisující vlastnosti suspenze, alespoň na základě informací, které máte k dispozici. Při měření vlastností na provozním viskozimetru měli pracovníci projekčního oddělení k dispozici čerpadlo jehož motor byl plynule řízen s pomocí frekvenčního měniče. Při vypnutém motoru čerpadla ukazoval diferenční tlakoměr nulovou tlakovou diferencí a při plynulém zvyšování otáček čerpadla se spojitě měnil jak údaj na průtokoměru tak i diferenčního manometru. Popište jak byste určili parametry vámi navrženého modelu.

H. 6 Suspenzorovod

Projekční oddělení dostalo za úkol dimenzovat čerpadlo pro dopravu suspenze kruhovým potrubím o průměru 80 mm na vzdálenost 20 m. K dopravě má použít čerpadlo s maximálním tlakem 400 kPa. Protože projekční oddělení nemá k dispozici vlastnosti suspenze, pokusilo se je určit s pomocí jednoduchého zařízení pracujícího na principu kapilárního viskozimetru. Měřená látka o teplotě 32°C (hustota 1175 kg m⁻³) byla dopravována vodorovným potrubím o průměru 50 mm a délce 3 m čerpadlem s objemovým průtokem 1 l s⁻¹. Během měření byla na potrubí naměřena tlaková ztráta 100 kPa. Určete dynamickou viskozitu (zdánlivou viskozitu) suspenze, rychlost smykové deformace při níž bylo měření provedeno a smykové napětí na stěně trubky. Ověřte též platnost podmínek za nichž jste viskozitu určili. Protože si projektanti nebyli jisti zdali se jedná o kapalinu newtonskou či ne, provedli ještě jedno experimentální měření. Při něm naměřili při dvojnásobném průtoku tlakovou ztrátu 150 kPa. Navrhněte vhodný jednoduchý reologický model popisující vlastnosti suspenze, alespoň na základě informací, které máte k dispozici a vyjádřete ho s použitím vhodné rovnice a její grafické interpretace. Při měření vlastností na provozním viskozimetru měli pracovníci projekčního oddělení k dispozici čerpadlo jehož motor byl plynule řízen s pomocí frekvenčního měniče. Při vypnutí motoru čerpadla ukazoval diferenční tlakoměr nulovou tlakovou diferenci a při plynulém zvyšování otáček čerpadla se spojitě měnil jak údaj na průtokoměru tak i diferenčního manometru. Popište jak byste určili parametry vámi navrženého modelu.

H.7 Hrnečku vař

V pohádce *Hrnečku vař* hrneček vaří a vaří. Jak dlouho by musel kouzelný hrnec o průměru 30 cm vařit kaši, aby zaplnil komůrku $5 \times 3 \text{ m}^2$ do výšky kolen (50 cm). Tloušťka vrstvy kaše stékající po stěně hrnce je 8 mm. Ověřte předpoklady výpočtu! Při výpočtu možná využijete fyzikální parametry kouzelné kaše. Její dynamická viskozita je 10 Pa s a hustota 1400 kg m^{-3} .

H.8 Hrnečku vař 2

V pohádce *Hrnečku vař* hrneček vaří a vaří. Jak dlouho by musel kouzelný hrnec o průměru 30 cm vařit kaši, aby zaplnil komůrku $5 \times 3 \text{ m}^2$ do výšky kolen (50 cm). Tloušťka vrstvy kaše stékající po stěně hrnce je 8 mm. Ověřte předpoklady výpočtu. V maticové podobě vyjádřete číselně tenzor dynamických napětí na povrchu kastrólu. Při výpočtu možná využijete fyzikální parametry kouzelné kaše. Její dynamická viskozita je 10 Pa s a hustota 1400 kg m^{-3} .

H.9 Hruškopyrovod

Navrhňte průměr potrubí pro dopravu hruškového pyré v rámci výrobního závodu. Hruškové pyré je nutné dopravit potrubím na vzdálenost 20 m. K dispozici je čerpadlo s maximálním tlakem 400 kPa. Protože projekční oddělení nemá k dispozici vlastnosti hruškového pyré musely být změřeny. Vlastnosti byly změřeny s pomocí zařízení pracujícího na principu kapilárního viskozimetru. Měřená látka o teplotě 32°C (hustota 1175 kg m⁻³, sušina 45,75 %) byla dopravována potrubím o průměru 50 mm a délce 3 m čerpadlem s objemovým průtokem 1 l s⁻¹. Během měření byla potrubí naměřena tlaková ztráta 100 kPa. Projektanti si nejsou jistí zdali je hruškové pyré newtonská kapalina a proto musí být nový hruškopyrovod navržen tak, aby zůstala zachována rychlost smykové deformace na stěně potrubí stejná jako při měření vlastností (počítaná pro případ toku newtonské kapaliny). Spočítejte též minimální výkon čerpadla, který bude potřeba pro dopravu látky vodorovným potrubím a uveďte informaci o velikosti rychlosti smykové deformace při níž tok látky probíhá. Během výpočtu zanedbejte možný výskyt jadřinců a stopek v hruškovém pyré.

H.10 Chladič motoru

Při numerickém modelování aerodynamiky osobního automobilu by bylo vhodné nějakým způsobem vzít v úvahu nejen vnější aerodynamiku, ale i aerodynamiku vnitřní, tj. to jak proudí vzduch vnitřními prostory automobilu. Jedním z těchto prostorů je chladič motoru. Tloušťka chladiče ve směru proudění vzduchu je 100 mm a jeho rozměry $500 \times 500 \text{ mm}^2$. Cílem projektu je nahradit chladič modelem tvořeným soustavou paralelních kruhových kapilár s délkou 100 mm. Určete průměr kapiláry a plošnou hustotu kapilár (jejich počet na jednotku plochy) na základě provedeného experimentálního měření. Při měření byla určována tlaková ztráta na chladiči pro různé hmotnostní průtoky vzduchu o teplotě 20°C zajišťující požadovaný tepelný výkon chladiče. Při průtoku vzduchu 1 kg s^{-1} byla naměřena tlaková ztráta 100 Pa. Model navrhnete tak, aby Reynoldsovo číslo při proudění vzduchu kapilárou bylo 100. Jakou tlakovou ztrátu bude mít váš model chladiče při průtoku 2 kg s^{-1} za jinak stejných podmínek? Při výpočtu použijte vlastnosti suchého vzduchu z následující tabulky.

$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	$\rho \text{ (kg m}^{-3}\text{)}$	$c_p \text{ (J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}\text{)}$	$\lambda \text{ (W m}^{-1} \text{ K}^{-1}\text{)}$	$\nu \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$
20	1,1887	1006	0,0256	$15,3 \cdot 10^{-6}$

H.11 Injekce

Pacientovi v nemocnici je třeba vstříknout do žíly lék v podobě injekčního roztoku. Roztok má viskozitu $1,2 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, hustotu 1080 kg m^{-3} a je připraven ve stříkačce o objemu 15 ml s průměrem vnitřního pístu 16 mm . Jehla nasazená na stříkačku má vnitřní průměr $1,2 \text{ mm}$ a délku 50 mm . Pacient je hypertonik s horním tlakem 20 kPa . Určte, jakou silou a jakou rychlostí musí sestřička v nemocnici stlačovat píst injekční stříkačky, aby aplikovala pacientovi lék, má-li dodržet rychlost dávkování $2 \text{ ml} \cdot \text{s}^{-1}$. Při výpočtu síly stlačování uvažujte s vlivem tření pístu stříkačky o stěnu válcové části, s vlivem místní ztáty při náhlém zúžení průřezu stříkačky na vstupu do jehly, se třením kapaliny o stěny jehly i se změnou kinetické energie. Třecí součinitel mezi pístem a stěnou stříkačky je přibližně $0,4$. Předpokládejte, že normálová složka síly působící z pístu na stěnu stříkačky je 20 N . Při uvažování ztrát náhlého zúžení průřezu použijte pro stanovení místního součinitele třecích ztrát vztah $\zeta_2 = 0,5(1 - S_2/S_1)$, kde S_1 značí průřez stříkačky a S_2 průřez jehly. Takto stanovený součinitel platí pro výpočet ztrát pomocí střední rychlosti v jehle. Při výpočtech určete také hodnotu maximální rychlosti proudění a smykového napětí roztoku v jehle, celkový přetlak, který je vytvořen pod pístem a ověřte platnost vztahů, které jste použili pro výpočet.

H.12 Stanley Goodspeed

Jakou sílu musel využít Stanley Goodspeed (Nicolas Cage) ve filmu Skála (The Rock), aby si dokázal vpravit do srdce Atropin? Injekční stříkačka, kterou použil měla objem 50 ml, přičemž vnitřní průměr válcové části stříkačky byl 28 mm. Jehla stříkačky byla dlouhá 80 mm a její vnitřní průměr 0,8 mm. Injekční roztok atropinu má tokové vlastnosti podobné vodě. Jeho dynamická viskozita je 1,2 mPa s a hustota 1080 kg m⁻³. Aby nevznikl v srdečním svalu přílišný tlak, je třeba, aby dávkování probíhalo rychlostí 2 ml s⁻¹. Určete, jak rychle měl Stanley Goodspeed stlačovat píst stříkačky. Stanovte také, jaká byla střední rychlost roztoku na výstupu z jehly skříkačky, uvažujeme-li, že proti vytékající látce působil protitlak 20 kPa. Při výpočtech uvažujte také vliv tření pístu stříkačky o stěny válcové části, dále vliv ztrát při náhlém zúžení průřezu stříkačky na vstupu do jehly a tření kapaliny o stěny jehly. Třecí součinitel mezi materiálem pístu a stěnou je přibližně 0,2. Předpokládejte, že normálová složka síly působící z pístu na stěnu stříkačky je 50 N. Při uvažování ztrát náhlého zúžení průřezu použijte pro stanovení místního součinitele třecích ztrát vztah $\zeta_2 = 0,5(1 - S_2/S_1)$, kde S_1 značí vstupní průřez a S_2 výstupní průřez. Takto stanovený součinitel platí pro výpočet ztrát pomocí výstupní rychlosti (rychlosti v jehle). Ověřte platnost vztahů, které jste použili pro výpočet.

H.13 Kapilární viskozimetr

Ke kontrole stavu zpracovávaného hruškového pyré (prostřednictvím jeho reologických vlastností) bylo použito zařízení pracující na principu kapilárního viskozimetru. Hruškové pyré o teplotě 32 °C (hustota 1175 kg m⁻³, sušina 45,75 %) bylo dopravováno potrubím o průměru 50 mm a délce 3 m čerpadlem s objemovým průtokem 1 l s⁻¹. Jaká je minimální zdánlivá viskozita hruškového pyré, má-li obsluha předepsáno, že tlaková ztráta na měřeném úseku se má pohybovat v intervalu 70 až 100 kPa? Jaké rychlosti smykové deformace na stěně trubky odpovídá tato minimální zdánlivá viskozita? Ověřte předpoklady výpočtu. Zanedbejte možný výskyt jadřinců a stopek v hruškovém pyré.

H.14 Kapilární viskozimetr 2

Ke kontrole stavu zpracovávaného hruškového pyréné (prostřednictvím jeho reologických vlastností) bylo použito zařízení pracující na principu kapilárního viskozimetru. Hruškové pyréné o teplotě $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ (hustota 1175 kg m^{-3} , měrná tepelná kapacita za konstantního objemu $2,8\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$, sušina $45,75\%$) bylo dopravováno potrubím o průměru 50 mm a délce 3 m čerpadlem s objemovým průtokem 2 l s^{-1} . Jaká je minimální zdánlivá viskozita hruškového pyréné, má-li obsluha předepsáno, že tlaková ztráta na měřeném úseku se má pohybovat v intervalu $170 - 220\text{ kPa}$? Jaké rychlosti smykové deformace na stěně trubky odpovídá tato minimální zdánlivá viskozita? Odhadněte velikost ohřátí zpracovávané látky při jejím průtoku trubkou za předpokladu, že trubka je dokonale tepelně izolována od okolí. Ověřte předpoklady výpočtu. Zanedbejte možný výskyt jadřinců a stopek v hruškovém pyréné.

H.15 Kapilární viskozimetr 3

Jednou z možností jak změřit reologické vlastnosti kapalin je použít kapilární viskozimetr. Kapilární viskozimetr je v principu velice jednoduché zařízení. Měřená kapalina axiálně protéká tenkou kapilárou o známé délce a známém průměru. Ze změřené závislosti objemového průtoku a tlakové ztráty na kapiláře pak lze určit hledané reologické vlastnosti.

S pomocí kapilárního viskozimetru byla měřena dynamická viskozita roztoku glycerinu a vody. Při objemovém průtoku 1 ml s^{-1} byl na kapiláře o průměru 0,8 mm a délce 100 mm naměřen tlakový spád 1,61 MPa. Určete velikost dynamické viskozity a vyjádřete (číselně) tenzor rychlosti deformace na vnitřním povrchu kapiláry pro dané podmínky měření (v cylindrickém souřadném systému), který zapište s použitím maticového zápisu.

H.16 Kapilární viskozimetr 4

Jednou z možností jak změřit reologické vlastnosti kapalin je použít kapilární viskozimetr. Kapilární viskozimetr je v principu velice jednoduché zařízení. Měřená kapalina axiálně protéká tenkou kapilárou o známé délce a známém průměru. Ze změřené závislosti objemového průtoku a tlakové ztráty na kapiláře pak lze určit hledané reologické vlastnosti.

S pomocí kapilárního viskozimetru byla měřena dynamická viskozita kondenzovaného slazeného mléka při teplotě 25 °C. Při měření byla použita kapilára o průměru 0,8 mm a délce 100 mm. Byly naměřeny níže uvedené hodnoty objemového průtoku kapilárou a tlakové ztráty na kapiláře. Nakreslete reogram měřené kapaliny a určete konstanty reologického modelu kapaliny (newtonská, Binghamská či mocninová).

$\dot{V}$ (ml s ⁻¹)	0,098	0,675	1,550	2,533
Δp (MPa)	1	5	10	15

H.17 Kluzné ložisko

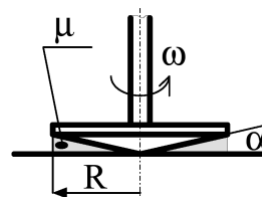
Hřídel o průměru 25 mm je uložen v kluzném ložisku s radiální vůlí 0,03 mm v délce 40 mm. Otáčky hřídele jsou 200 min^{-1} . Vypočtěte krouticí moment hřídele v ložisku potřebný k překonání vazkého tření (ztrátový krouticí moment) a výkon zmařený v ložisku viskózní disipací. Výpočet proveďte pomocí přibližného a přesného řešení a výsledky mezi sebou porovnejte. Zanedbejte koncové efekty a ověřte předpoklady výpočtu.

Fyzikální parametry maziva: Kinematická viskozita je $170 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a hustota 900 kg m^{-3} .

H.18 Rotační trýznění kapalin

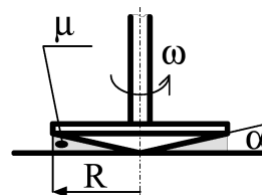
Pro návrh parametrů čerpadla dopravující kapalinu je nutná znalost transportních vlastností dopravované kapaliny. Jedním z potřebných fyzikálních parametrů pro výpočet tlakové ztráty, je dynamická viskozita. Pro stanovení dynamické viskozity kapaliny byl použit rotační viskozimetr s uspořádáním kužel–deska. Při měření byly nastaveny otáčky 80 min^{-1} a výsledkem měření byla hodnota krouticího momentu při těchto otáčkách $159,8 \text{ N mm}$. Maximální průměr kužele je 124 mm a úhel α roven $1,5^\circ$.

Vypočítejte dynamickou viskozitu kapaliny, objem vzorku, který potřebujete, abyste měření mohli provést, rychlost smykové deformace na rotujícím kuželi při níž bylo měření uskutečněno a velikost disipovaného výkonu v kapalině.



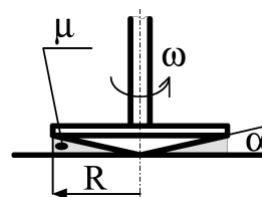
H.19 Měření viskozity

Na rotačním viskozimetru s uspořádáním kužel-deska, byla měřena dynamická viskozita vzorku newtonské kapaliny. Při použití kužele o průměru 80 mm, který se otáčel otáčkami 45 ot/min byl naměřen krouticí moment 43,8 Nmm. Jaká je dynamická viskozita měřené kapaliny, je-li vrcholový úhel kužele 177° ? Stanovte také, jaké smykové napětí a jaká smyková rychlost odpovídají uvedeným parametrům měření. Vypočítejte též objem vzorku, který je potřeba vložit mezi kužel a desku, aby přesně vyplnil měřicí prostor a určete jak velký výkon byl disipován při měření v kapalině.



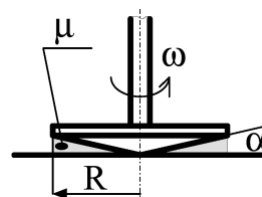
H.20 Viskozimetr kužel-deska

Na rotačním viskozimetru s uspořádáním kužel-deska (viz obr.) byla měřena dynamická viskozita oleje. Při použití kužele o průměru 100 mm, který se otáčel rychlostí 60 min^{-1} byl naměřen krouticí moment 34,2 N mm. Jaká je dynamická viskozita měřené kapaliny, je-li úhel α roven 1° ? Vypočítejte též objem vzorku, který potřebujete, abyste měření mohli provést a stanovte velikost výkonu disipovaného v kapalině.



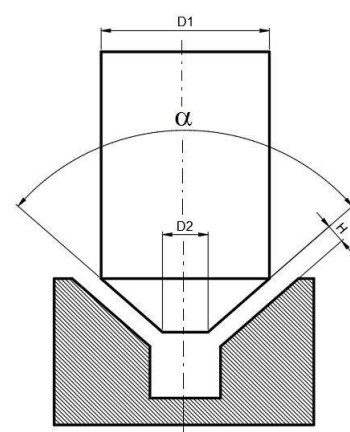
H.21 Viskozimetr kužel-deska 2

S pomocí rotačního viskozimetru s uspořádáním kužel–deska byla měřena dynamická viskozita medu při teplotě 20 °C. Jaká byla dynamická viskozita medu při této teplotě, byl-li při použití kužele o průměru 36 mm a vrcholovém úhlu 178°, který se otáčel otáčkami 0,5 min⁻¹, naměřen krouticí moment 2,169 N mm. Určete velikost rychlosti smykové deformace $\dot{\gamma}$ ($\tau = \mu \dot{\gamma}$) při níž bylo měření provedeno a vypočítejte velikost disipovaného výkonu v kapalině. Výpočet proved'te s pomocí přibližného řešení.



H.22 Kuželový čep

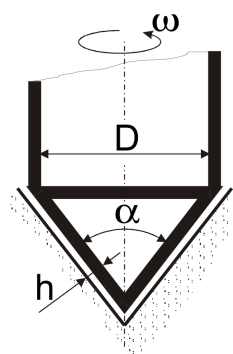
Kuželový čep o rozměrech dle obrázku $D_1 = 100$ mm a $D_2 = 30$ mm se otáčí na olejovém filmu ($0,6$ Pa s, 910 kg m⁻³) tloušťky $H = 1,5$ mm otáčkami 200 ot/min. Určete krouticí moment potřebný k překonání vazkého tření a velikost výkonu disipovaného v kapalině vazkou disipací. Vypočítejte také napětí na stěně kužele v místě D_1 a D_2 . Vrcholový úhel kuželového čepu je 120° . Výpočet proveďte pomocí přibližného řešení.



H.23 Kuželový čep 2

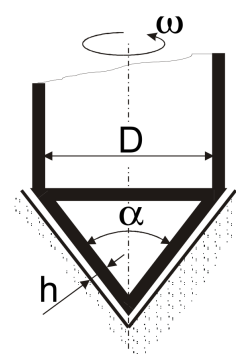
Kuželový čep o průměru 100 mm se otáčí na olejovém filmu tloušťky 1,5 mm otáčkami 200 min^{-1} . Určete krouticí moment potřebný k překonání vazkého tření a velikost výkonu disipovaného v kapalině vazkou disipací. Vrcholový úhel kuželového čepu je 120° . Výpočet proved'te pomocí přibližného řešení.

Fyzikální parametry maziva: Dynamická viskozita je 0,6 Pa.s.



H.24 Kuželový čep 3

Kuželový čep o průměru 40 mm, znázorněný na obrázku, se otáčí úhlovou rychlostí 100 s^{-1} na olejovém filmu tloušťky 0,001 m. Určete krouticí moment potřebný k překonání vazkého tření v případě, že znáte dynamickou viskozitu oleje 0,1 Pa s. Vrcholový úhel kuželového čepu je 60° .



H.25 Měření průměru kapiláry

Průměr kapiláry byl určován měřením průtoku 90% roztoku glycerinu ve vodě při teplotě 20 °C. Na vodorovné kapiláře dlouhé 500 mm byl při tlakové diferenci 0,4 MPa naměřen průtok 20 ml min⁻¹. Stanovte průměr kapiláry a vyjádřete (číselně) tenzor dynamických napětí na vnitřním povrchu kapiláry.

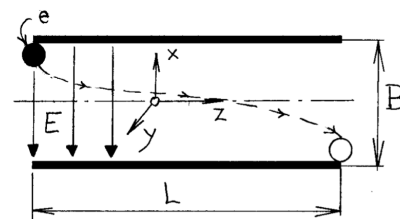
Možná, že budete potřebovat dynamickou viskozitu 90% glycerinu při teplotě 20 °C, která je 234,6 mPa s a hustotu, která je 1235,1 kg m⁻³.

H.26 Nemísitelné kapaliny

Ve štěrbině mezi dvěma rovnoběžnými deskami vzdálenými $2b$ proudí laminárně dvě nemísitelné kapaliny s různými hustotami a různými viskozitami při tlakovém gradientu $\Delta p/L$. Tloušťka obou vrstev kapaliny je právě rovna polovině tloušťky štěrbiny, tj. rozhraní mezi oběma vrstvami je právě v ose štěrbiny. Zapište okrajové podmínky, které budete aplikovat na pohybové rovnice při řešení proudění ve štěrbině, na styku obou vrstev a zakreslete průběh rychlosti a smykového napětí v závislosti na příčné souřadnici ve štěrbině za předpokladu, že viskóznější kapalina (zároveň kapalina s větší hustotou) má třikrát větší dynamickou viskozitu než kapalina méně viskózní. Při tvorbě průběhů rychlostí a smykového napětí si zaveďte vhodné bezrozměrné veličiny.

H.27 Elektrostatický odlučovač prachu

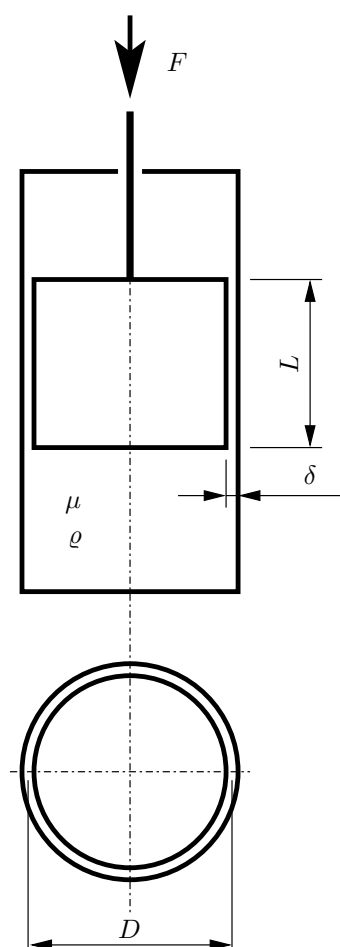
Elektrostatický odlučovač prachu se skládá ze dvou opačně nabitých desek o délce L a šířce W . Vzdálenost mezi deskami je B . Mezi deskami proudí plyn s dynamickou viskozitou μ obsahující částice prachu s hmotností m a nábojem e . Spočítejte minimální délku elektrostatického odlučovače prachu za předpokladu, že mezi deskami je homogenní elektrické pole o intenzitě E , tlaková ztráta při proudění ve štěrbině mezi dvěma rovnoběžnými deskami je Δp a proudění mezi deskami je laminární a plně vyvinuté. Při řešení dále předpokládejte, že rychlost částice ve směru z (v axiálním směru) je totožná s rychlostí tekutiny ve směru z , že lze zanedbat vztlak, Stokesův odpor jakož i gravitační sílu při zrychlování částice ve směru $-x$.



Minimální délka elektrostatického odlučovače prachu je taková délka při níž prachová částice vypuštěná na počátku horní desky elektrostatického odlučovače dosáhne spodní desky právě na jejím konci. Nemůžete-li si vzpomenout, na částici s nábojem e v homogenním elektrickém poli o intenzitě E působí síla $F = eE$.

H.28 Olejový omezovač rychlosti klesání

Povolená rychlost klesání zátěže o tíze 10 kN má být na posledních 100 mm omezena hydraulickým tlumičem pohybu na hodnotu 100 mm za 60 s. Určete velikost mezery mezi pístem a válcem hydraulického omezovače rychlosti klesání, je-li průměr a délka pístu 100 mm. Hydraulický olej použitý v omezovači má při pracovní teplotě dynamickou viskozitu 50 mPa s a hustotu 850 kg m^{-3} . Proveďte též kontrolu podmínek platnosti Vašeho řešení a nakreslete Vaši představu o průběhu rychlosti ve štěrbině mezi válcem a pístem.



H.29 Parní válec

Vodovodní potrubí sloužící k dodávce pitné kontaminované vody o teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do domácností bylo omylem přežeto parním válcem (průměr válce 1250 mm). Jak se změní denní kapacita potrubní větve (objemový průtok) došlo-li k přetvoření původně kruhového potrubí o průměru 30 cm na potrubí obdélníkového příčného průřezu o výšce $7,5\text{ cm}$? Tlaková ztráta potrubní větve zůstala stejná. Na potrubí je nainstalován ultrazvukový průtokoměr. Jakou maximální/minimální hodnotu může průtokoměr ukazovat, aby byly splněny předpoklady vašeho výpočtu?

Teplota okolí je $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a atmosférický tlak 101321 Pa . Při výpočtu zanedbejte přítomnost koliformních bakterií.

H.30 Patní ložisko

Porovnejte krouticí moment potřebný k překonání vazkých sil a ztrátový výkon zmařený viskózními silami hřídele uloženého v patním axiálním ložisku o průměru 50 mm bez a se středovým vybráním o průměru 30 mm. Hřídel se otáčí na olejovém filmu tloušťky 1,5 mm otáčkami 200 min^{-1} .

Fyzikální parametry maziva: Dynamická viskozita je $0,6 \text{ Pa s}$.

H.31 Pískový filtr

Voda v kruhovém zahradním bazénu o průměru 3,6 m s výškou hladiny 96 cm je filtrována přes pískový filtr o průměru 40 cm a výšce pískové náplně 20 cm. Stanovte tlakovou diferenci, kterou musí vytvořit čerpadlo pro zajištění požadovaného průtoku filtrem. Voda při filtraci protéká póry v náplni filtru, které je možné aproximovat rovnými kapilárami kruhového průřezu o průměru 0,7 mm a délce 20 cm. Na 1 cm² plochy filtru připadá 15 kapilár. Během 10 hodin by měl být celý objem vody v bazénu alespoň jednou přefiltrován. Jaká je rychlost smykové deformace na stěně fiktivní kapiláry? Ověřte předpoklady výpočtu.

H.32 Pískový filtr 2

Voda v zahradním bazénu o rozměrech $3,5 \times 2,5 \times 1,6 \text{ m}^3$ je filtrována přes pískový filtr o průměru 35 cm a výšce pískové náplně 10 cm. Stanovte tlakovou diferenci, kterou musí vytvořit čerpadlo, pro zajištění požadovaného průtoku filtrem. Voda při filtraci protéká póry v náplni filtru, které je možné aproximovat rovnými kapilárami kruhového průřezu o průměru 0,7 mm a délce 10 cm. Na 1 cm^2 plochy filtru připadá 15 kapilár. Během dne by měl být celý objem vody v bazénu alespoň jednou přefiltrován. Jaká je rychlost smykové deformace na stěně fiktivní kapiláry? Ověřte předpoklady výpočtu.

H.33 Pískový filtr 3

Voda v zahradním bazénu o rozměrech $3,5 \times 2,5 \times 1,6 \text{ m}^3$ je filtrována přes pískový filtr o průměru 35 cm a výšce pískové náplně 10 cm. Průtok pískovou filtrací byl nastaven tak, aby došlo k přefiltrování celého objemu bazénu během jednoho dne. V tomto provozním režimu byla stanovena na filtru tlaková ztráta 150 Pa. Jaká bude tlaková difference na filtru, je-li v *turbo režimu* požadováno přefiltrovat celý obsah bazénu alespoň desetinásobnou rychlostí. Pro numerický výpočet je možné porézní prostředí náplně filtru nahradit rovnými kapilárami kruhového průřezu o průměru 0,7 mm a délce 10 cm, které jsou rovnoměrně rozděleny po celé ploše filtru. Spočítejte nenulovou složku tenzoru dynamických napětí na stěně fiktivní kapiláry? Ověřte předpoklady výpočtu.

H.34 Pískový filtr 4

Voda v zahradním bazénu o rozměrech $5 \times 4 \times 1,5 \text{ m}^3$ je filtrována přes pískový filtr o průměru 35 cm a výšce pískové náplně 10 cm. Stanovte tlakovou diferenci, kterou musí vytvořit čerpadlo, pro zajištění požadovaného průtoku filtrem. Voda při filtraci protéká póry v náplni filtru, které je možné aproximovat rovnými kapilárami kruhového průřezu o průměru 0,7 mm a délce 10 cm (odpovídající výšce pískové náplně). Na 1 cm^2 plochy filtru připadá 15 kapilár. Během dne by měl být celý objem vody v bazénu alespoň jednou přefiltrován. Jaká je rychlost smykové deformace na stěně fiktivní kapiláry? Ověřte předpoklady výpočtu. Při výpočtu použijte přibližné hodnoty vlastností vody, které znáte.

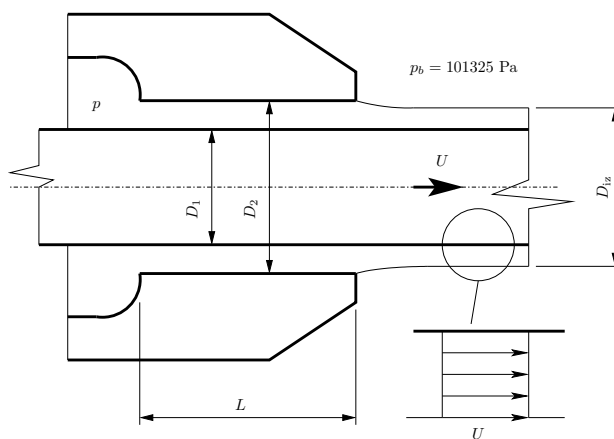
H.35 Posuv desky

Ocelová deska o ploše $0,2 \text{ m}^2$ se pohybuje rovnoměrným přímočarým pohybem na tenkém olejovém filmu rychlostí $0,1 \text{ m s}^{-1}$. Tloušťka filmu je 2 mm . Vypočtěte sílu F , kterou musíte působit na desku, abyste překonali síly vazkého tření. Výsledky porovnejte se silou potřebnou k tažení desky při suchém tření, je-li součinitel smykového tření f za pohybu (ocel – ocel) roven $0,15$ a deska je zatížena silou 10 kN .

Fyzikální parametry oleje: Dynamická viskozita při teplotě $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ je 306 mPa s a při teplotě $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ je 30 mPa s .

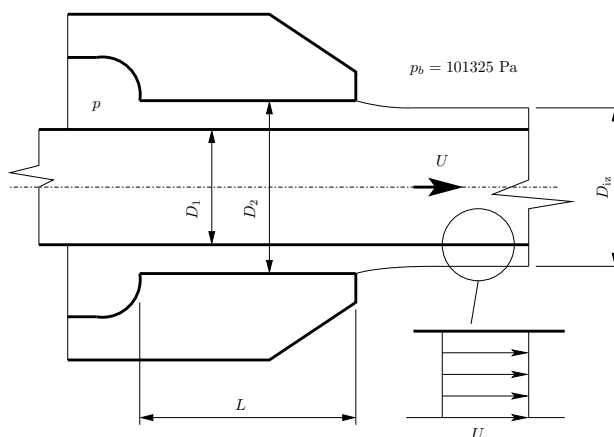
H.36 Povrchová úprava drátu

Při výrobě poplastovaného drátu je ocelový drát o průměru 2,5 mm protahován rychlostí 20 m s^{-1} kabelovou hlavou, do níž je pod tlakem 150 kPa dodávána tavenina polymeru. Průměr kabelové hlavy je 4,7 mm a délka její účinné části 40 mm. Tavenina ulpívá při průchodu drátu hlavou na povrchu drátu a po výstupu z kabelové hlavy je chlazena vzduchem při atmosférickém tlaku. Určete, jaká bude spotřeba taveniny, její zdánlivá viskozita při daných podmínkách 230 mPa.s. Stanovte také sílu a výkon, který je potřeba k protažení drátu kabelovou hlavou. Při výpočtu uvádějte vždy předpoklady, které při řešení používáte. Při výpočtu spotřeby taveniny a síly potřebné pro tažení drátu zanedbejte pro zjednodušení křivost drátu a kabelové hlavy.



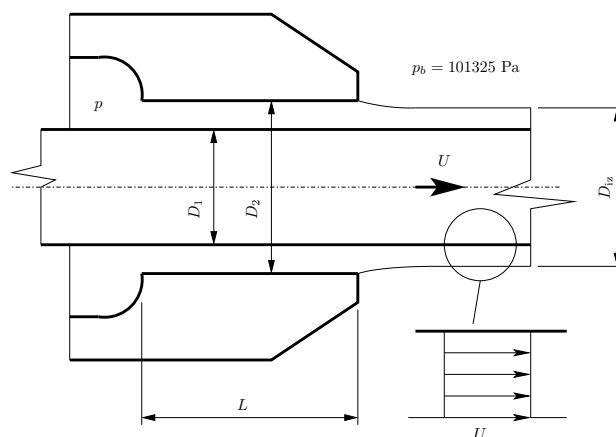
H.37 Povrchová úprava drátu 2

Při výrobě poplastovaného drátu je ocelový drát o průměru 2,5 mm protahován rychlostí 20 m s^{-1} kabelovou hlavou, do níž je pod tlakem 150 kPa dodávána tavenina polymeru. Průměr kabelové hlavy je 4,7 mm a délka její účinné části 40 mm. Tavenina ulpívá při průchodu drátu hlavou na povrchu drátu a po výstupu z kabelové hlavy je chlazena vzduchem při atmosférickém tlaku. Určete, jaká bude spotřeba taveniny, je-li její zdánlivá viskozita při daných podmínkách 230 mPa s. Dále stanovte konečný průměr poplastovaného drátu (použijte rovnici kontinuity a uvažte, že rychlost izolace je po opuštění vytlačovací hlavy shodná s rychlostí protahovaného drátu), sílu a výkon, který je potřeba k protažení drátu kabelovou hlavou. Při výpočtu uvádějte vždy předpoklady, které při řešení používáte. Při výpočtu spotřeby taveniny a síly potřebné pro tažení drátu zanedbejte pro zjednodušení křivost drátu a kabelové hlavy.



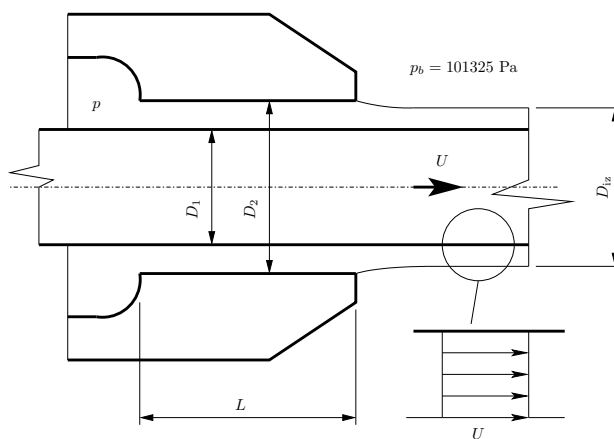
H.38 Povrchová úprava drátu 3

K nanášení izolace na povrch elektrického vodiče se používá oplášťovací hlava. Drát je protahován hlavou, do které je vytlačovacím strojem přiváděna tavenina polymeru. Stanovte spotřebu taveniny polymeru, sílu a výkon potřebný k protažení drátu hlavou, je-li drát vytahován rychlostí 1000 m min^{-1} . Pro zjednodušení předpokládejte beztlakové proudění taveniny (tj. $p = p_b$). Zanedbejte křivost, řešte jako rovinný případ! Průměr drátu 3 mm. Průměr otvoru hlavy 5 mm. Délka účinné části hlavy 100 mm. Tavenina polymeru má při teplotě nanášení a dané rychlosti zdánlivou viskozitu $\eta = 20 \text{ Pa s}$. Při čištění extruderu je potřeba hlavu vyčistit. Jaká bude tlaková ztráta v hlavě při čištění, když průtok izolace bude stejný jako při výrobě, ale drát se nebude pohybovat?



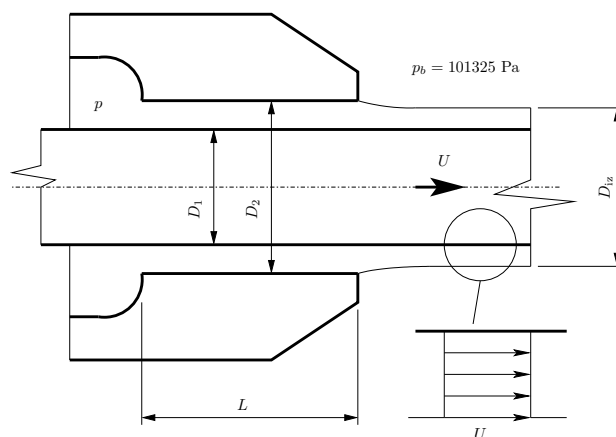
H.39 Povrchová úprava drátu 4

Při výrobě poplastovaného drátu je pozinkovaný drát o průměru 2,5 mm protahován rychlostí 20 m s^{-1} kabelovou hlavou, do níž je pod tlakem 150 kPa dodávána tavenina polymeru. Průměr kabelové hlavy je 4,7 mm a délka její účinné části 40 mm. Tavenina ulpívá při průchodu drátu hlavou na povrchu drátu a po výstupu z kabelové hlavy je chlazena vzduchem při atmosferickém tlaku. Určete, jaká bude spotřeba taveniny, je-li její zdánlivá viskozita při daných podmínkách 230 mPa s. Dále stanovte konečný průměr poplastovaného drátu a rovněž sílu a výkon, které jsou potřeba k protažení drátu kabelovou hlavou. Při výpočtu spotřeby taveniny a síly potřebné pro tažení drátu zanedbejte pro zjednodušení křivost drátu a kabelové hlavy.



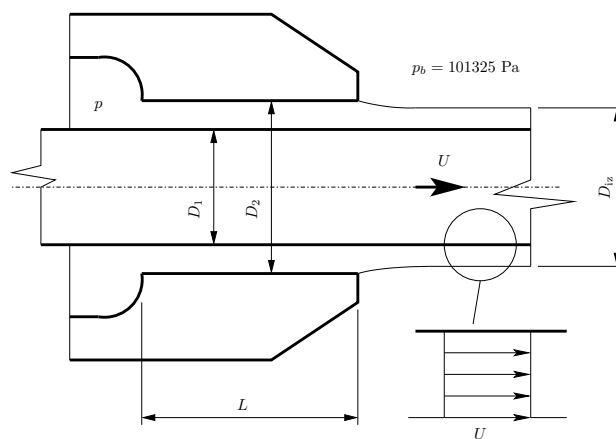
H.40 Povrchová úprava drátu 5

Při výrobě poplastovaného drátu je ocelový drát o průměru 2,5 mm protahován rychlostí 20 m s^{-1} kabelovou hlavou, do níž je pod tlakem 150 kPa dodávána tavenina polymeru. Průměr kabelové hlavy je 4,7 mm a délka její účinné části 40 mm. Tavenina ulpívá při průchodu drátu hlavou na povrchu drátu a po výstupu z kabelové hlavy je chlazena vzduchem při atmosferickém tlaku. Určete, jaká bude spotřeba taveniny, je-li její zdánlivá viskozita při daných podmínkách 230 mPa s. Dále stanovte konečný průměr poplastovaného drátu a rovněž sílu a výkon, které jsou potřeba k protažení drátu kabelovou hlavou. Při výpočtu uvažujte vliv křivosti drátu a kabelové hlavy.



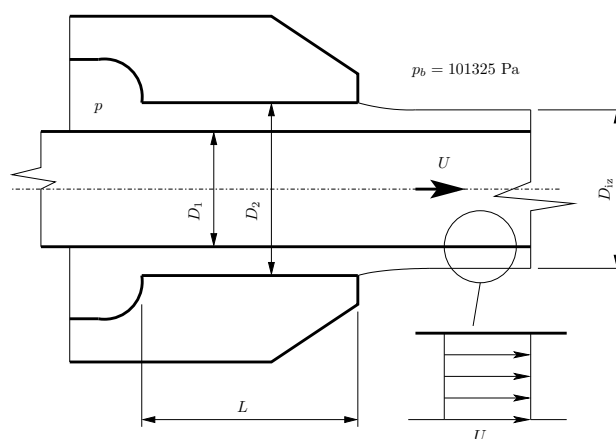
H.41 Nanášení izolace drátu

K nanášení izolace na povrch elektrického vodiče o průměru 3 mm se používá oplášťovací hlava s vnitřním průměrem 5 mm a délkou účinné části 100 mm do níž je vytlačovacím strojem přiváděna tavenina polymeru. Stanovte spotřebu taveniny polymeru, sílu a výkon potřebný k protažení drátu hlavou, je-li drát protahován rychlostí 1000 m min^{-1} . Tavenina polymeru má při teplotě nanášení a dané rychlosti zdánlivou viskozitu $20 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Zanedbejte křivost a pro zjednodušení předpokládejte stejný tlak na vstupu do hlavy i do chladicí lázně (výstupu z hlavy), tj. beztlakové proudění taveniny.



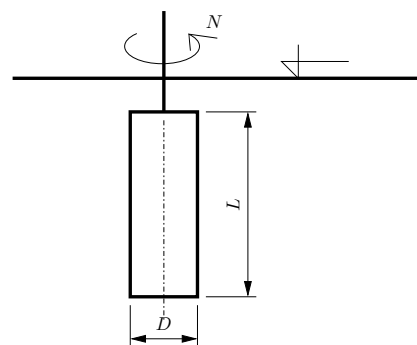
H.42 Nanášení izolace drátu 2

K nanášení izolace na povrch elektrického vodiče o průměru 5 mm se používá oplášťovací hlava s vnitřním průměrem 6 mm a délkou účinné části 100 mm do níž je vytlačovacím strojem přiváděna tavenina polymeru. Stanovte spotřebu taveniny polymeru, sílu a výkon potřebný k protažení drátu hlavou, je-li drát protahován rychlostí 1000 m min^{-1} . Tavenina polymeru má při teplotě nanášení a dané rychlosti zdánlivou viskozitu $15 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Zanedbejte křivost a pro zjednodušení předpokládejte stejný tlak na vstupu do hlavy i do chladicí lázně (výstupu z hlavy), tj. beztlakové proudění taveniny.



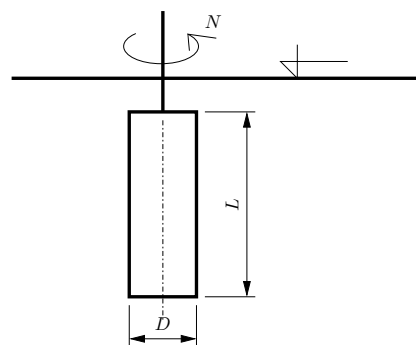
H.43 Provozní viskozimetr

K měření reologických vlastností kapaliny v rozlehlé zásobní nádrži byl použit rotující váleček o průměru 50 mm a délce 200 mm ponořený do kapaliny. Určete dynamickou viskozitu (zdánlivou viskozitu) kapaliny jestliže byl pro otáčky válečku 40 min^{-1} naměřen krouticí moment na hřídeli rotujícího válečku 1 mN m. Vypočtete rychlost smykové deformace $\dot{\gamma}$ na povrchu rotujícího válečku při níž bylo měření dynamické viskozity provedeno a také velikost odpovídajícího smykového napětí. Při řešení zanedbejte koncové efekty a tření kapaliny o čela válečku.



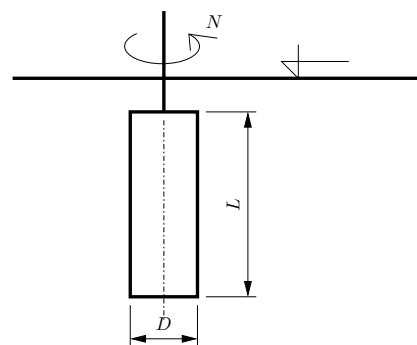
H.44 Provozní viskozimetr 2

K měření reologických vlastností kapaliny v rozlehlé zásobní nádrži byl použit rotující váleček o průměru 50 mm a délce 200 mm ponořený do kapaliny. Určete dynamickou viskozitu (zdánlivou viskozitu) kapaliny jestliže byl pro otáčky válečku 40 min^{-1} naměřen krouticí moment na hřídeli rotujícího válečku 1 mN m . Určete také při jaké rychlosti smykové deformace na povrchu rotujícího válečku bylo měření provedeno a velikost výkonu disipovaného v kapalině při měření? Při řešení zanedbejte koncové efekty a tření kapaliny o čela válečku. Jaké podmínky musí být během měření (výpočtu) splněny?



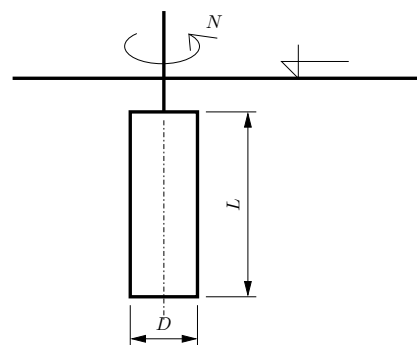
H.45 Provozní viskozimetr 3

K měření reologických vlastností kapaliny v rozlehlé zásobní nádrži byl použit rotující váleček o průměru 50 mm a délce 200 mm ponořený do kapaliny. Určete dynamickou viskozitu (zdánlivou viskozitu) kapaliny jestliže byl pro otáčky válečku 40 min^{-1} naměřen krouticí moment na hřídeli rotujícího válečku 1 mN m. Určete velikost nenulové složky tenzoru dynamických napětí na povrchu rotujícího válečku a uveďte její přesné označení (zaveďte si samozřejmě jakýkoliv vhodný souřadný systém a tento zakreslete do obrázku). Při řešení zanedbejte koncové efekty a tření kapaliny o čela válečku a prosím uvažte, že případ proudění v nekonečně velké šterbině nejspíše nebude řešený s pomocí aproximativního řešení.



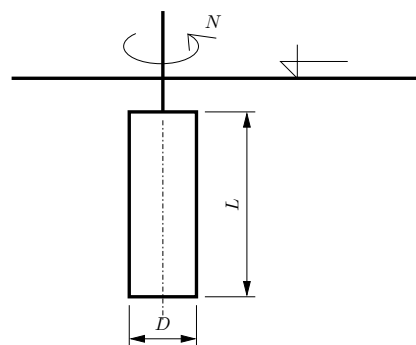
H.46 Provozní viskozimetr 4

K měření reologických vlastností kapaliny v rozlehlé zásobní nádrži byl použit rotující váleček o průměru 50 mm a délce 200 mm ponořený do kapaliny. Určete dynamickou viskozitu (zdánlivou viskozitu) kapaliny jestliže byl pro otáčky válečku 40 min^{-1} naměřen krouticí moment na hřídeli rotujícího válečku 1 mNm. Určete velikost nenulové složky tenzoru dynamických napětí na povrchu rotujícího válečku a uveďte její přesné označení (zaveďte si samozřejmě jakýkoliv vhodný souřadný systém a tento zakreslete do obrázku). Při řešení zanedbejte koncové efekty a tření kapaliny o čela válečku.



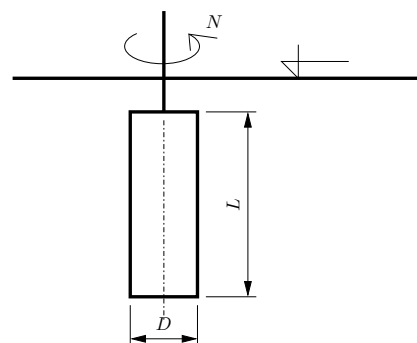
H.47 Provozní viskozimetr 5

K měření reologických vlastností kapaliny v rozlehlé zásobní nádrži byl použit rotující váleček o průměru 50 mm a délce 200 mm ponořený do kapaliny. Určete dynamickou viskozitu (zdánlivou viskozitu) kapaliny jestliže byl pro otáčky válečku 40 min^{-1} naměřen krouticí moment na hřídeli rotujícího válečku 1 mN m. Vypočtete rychlost smykové deformace $\dot{\gamma}$ při níž bylo měření dynamické viskozity provedeno. Při řešení zanedbejte koncové efekty a tření kapaliny o čela válečku. Nezapomeňte uvést předpoklady řešení s pomocí slovních formulací, které vyjádřete vhodnými symboly, rovnicemi, ...



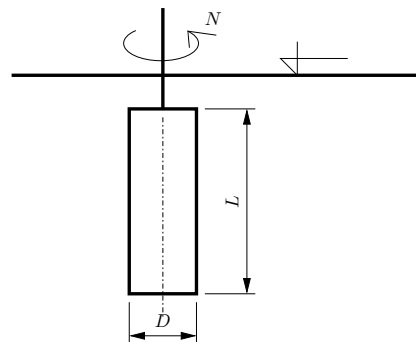
H.48 Provozní viskozimetr 6

K měření reologických vlastností kapaliny v rozlehlé zásobní nádrži byl použit rotující váleček o průměru 50 mm a délce 200 mm ponořený do kapaliny. Určete dynamickou viskozitu (zdánlivou viskozitu) kapaliny jestliže byl pro otáčky válečku 40 min^{-1} naměřen krouticí moment na hřídeli rotujícího válečku 1 mN m. Vypočtete rychlost smykové deformace $\dot{\gamma}$ na povrchu rotujícího válečku při níž bylo měření dynamické viskozity provedeno. Při řešení zanedbejte koncové efekty a tření kapaliny o čela válečku. Nezapomeňte uvést předpoklady řešení s pomocí slovních formulací, které vyjádřete vhodnými symboly, rovnicemi, Jak byste s pomocí tohoto reometru zjistili jestli měříte vlastnosti kapaliny newtonské a nebo nenewtonské (jaké parametry byste museli měnit a jaké detekovat a jak by se měly měnit)?



H.49 Provozní viskozimetr 7

K měření reologických vlastností kapaliny v rozlehlé zásobní nádrži byl použit rotující ponorný váleček o průměru 50 mm a délce 200 mm. Určete reologické vlastnosti kapaliny, jestliže byla naměřena níže uvedená závislost krouticího momentu a otáček ponořeného válečku. Nakreslete reogram a určete druh kapaliny a parametry jeho reologického modelu (newtonská, binghamská či mocninová). Při řešení zanedbejte koncové efekty a tření kapaliny o čela válečku.



$n \text{ min}^{-1}$	10	20	30	40	50	60	70
$M_k \text{ mN m}$	0,26	0,51	0,80	1,00	1,35	1,48	1,82

V případě, že nevíte jak spočítat koeficienty lineární regresní přímky $y = a + bx$, snad Vám pomohou vztahy: $b = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$, $a = \bar{y} - b\bar{x}$. V případě, že chcete proložit přímkou procházející počátkem $y = bx$, použijte $b = \sum_{i=1}^N x_i y_i / \sum_{i=1}^N x_i^2$.

H.50 Tok rajského protlaku v trubce

Rajský protlak je dopravován trubkou o průměru 60 mm a délce 10 m. Na trubce vznikne tlaková ztráta 0,1 MPa. Jaký je hmotnostní průtok rajského protlaku potrubím, můžeme-li považovat rajský protlak za Binghamskou kapalinu s mezí toku 50 Pa a plastickou viskozitou 20 Pa.s. Odhadněte velikost oteplení rajského protlaku vlivem disipace mechanické energie, je-li hustota rajského protlaku 1050 kg m^{-3} , součinitel tepelné vodivosti $0,48 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a měrná tepelná kapacita $3500 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

H. 51 Ropovod

Ropovodem dlouhým 32 km je dopravováno 5000 barelů ($1 \text{ barel} = 0,15898 \text{ m}^3$) ropy za jeden den. Jaká bude nová denní kapacita ropovodu, jestliže provedeme modernizaci starého ropovodu tím, že podél posledních 18 km zapojíme paralelně potrubí stejného průměru. Předpokládejte, že proudění v obou případech je laminární a taktéž tlaková ztráta celého ropovodu zůstává stejná. Sestavte též vztah pro kontrolu režimu proudění v jednotlivých větvích ropovodu, pomocí něhož by obsluha ropovodu mohla na základě změřené tlakové ztráty na větvi dané délky a průměru a vlastností ropy určit zda proudění ve větvi je ještě laminární.

H.52 Škrobový sirup

Prostorem mezi dvěma souosými válci protéká ve směru osy roztok škrobového sirupu. Vnitřní průměr vnějšího válce je 150 mm a vnější průměr vnitřního válce je 50 mm. Vypočtete objemový průtok sirupu mezikružím, je-li tlaková ztráta vztažená na jednotku délky $10,5 \text{ kPa m}^{-1}$. Dále vypočtete střední a maximální rychlost škrobového sirupu a polohu maxima rychlosti. Ověřte předpoklady výpočtu.

Fyzikální parametry škrobového sirupu: dynamická viskozita je 30 Pa s a hustota 1425 kg m^{-3} .

H.53 Štěrbina

Jaké množství tlakové suspenze uniká štěrbinou do volného prostředí, jestliže vzdálenost ploch tvořící štěrbinu je 0,2 mm, šířka štěrbiny je 700 mm a délka štěrbiny je 1200 mm. Přetlak suspenze vůči vnějšímu prostředí je 1 bar. Dále vypočtěte střední a maximální rychlost vytékající suspenze. Odvoďte polohu maximální rychlosti ve štěrbině (nestačí jen odhadnout!). Ověřte předpoklady výpočtu.

Fyzikální parametry suspenze: viskozita 33 mPa s, hustota 1020 kg m^{-3} .

H.54 Únik oleje

Jaké množství tlakového oleje uniká štěrbinou do volného prostředí, jestliže vzdálenost ploch tvořících štěrbinu je 0,6 mm, šířka štěrbiny je 50 mm a délka štěrbiny je 20 mm. Přetlak oleje vůči vnějšímu prostředí je 40 kPa. Dále vypočtete střední a maximální rychlost vytékajícího oleje. Ověřte předpoklady výpočtu.

Fyzikální parametry oleje: dynamická viskozita je 8 mPa s a hustota 850 kg m^{-3} .

H.55 Stékání glycerinu

Roztok glycerinu o koncentraci 85 % a teplotě 20 °C stéká v tenké vrstvě po stěně o šířce 0,5 m svírající s vodorovnou rovinou úhel 30 °. Určete, kolik glycerinu můžeme přivádět na stěnu, aby tloušťka stékající vrstvy nepřesáhla 2 mm. Vypočtěte rychlost povrchu stékající vrstvy.

Fyzikální parametry 85% glycerinu: dynamická viskozita při teplotě 20 °C je 112,9 mPa s a hustota 1221,8 kg m⁻³.

H.56 Viskozimetrické měření

Jaká je dynamická viskozita kapaliny při teplotě $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, byl-li při této teplotě na rotačním viskozimetru se sousými válci při otáčkách vnitřního válce 40 min^{-1} naměřen krouticí moment $1,924\text{ N mm}$. Vnitřní průměr vnějšího (nepohyblivého) válce je $48,8\text{ mm}$, vnitřní rotující válec má vnější průměr $47,8\text{ mm}$ a délku $67,5\text{ mm}$. Dále vypočtete nenulovou složku tenzoru dynamického napětí na stěně pohyblivého i nepohyblivého válce a nenulovou složku tenzoru rychlosti deformace na stěně nepohyblivého válce. Koncové efekty zanedbejte.

H.57 Viskozimetrické měření 2

Jaká je dynamická viskozita kapaliny při teplotě $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, byl-li při této teplotě na rotačním viskozimetru se sousými válci při otáčkách vnitřního válce 20 min^{-1} naměřen krouticí moment $1,537\text{ N mm}$? Vnitřní průměr vnějšího (nepohyblivého) válce je $52,6\text{ mm}$, vnitřní rotující válec má vnější průměr $51,8\text{ mm}$ a délku $67,5\text{ mm}$. Hustota látky je 1200 kg m^{-3} . Dále vypočtete nenulovou složku tenzoru dynamického napětí na stěně pohyblivého válce a nenulovou složku tenzoru rychlosti deformace na stěně nepohyblivého válce. Zkontrolujte předpoklady výpočtu. Koncové efekty válců zanedbejte.

H.58 Viskozimetrické měření 3

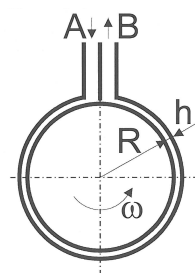
Jaká je dynamická viskozita kapaliny při teplotě $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, byl-li při této teplotě na rotačním viskozimetru se sousými válci při otáčkách vnitřního válce 25 min^{-1} naměřen krouticí moment $1,922\text{ N mm}$? Vnitřní průměr vnějšího (nepohyblivého) válce je $51,8\text{ mm}$, vnitřní rotující válec má vnější průměr $51,0\text{ mm}$ a délku $69,5\text{ mm}$. Hustota látky je 1150 kg m^{-3} . Dále vypočtete nenulovou složku tenzoru dynamického napětí na stěně pohyblivého válce a nenulovou složku tenzoru rychlosti deformace na stěně nepohyblivého válce. Zkontrolujte předpoklady výpočtu. Koncové efekty válců zanedbejte.

H.59 Rotační viskozimetr

S pomocí rotačního viskozimetru s uspořádáním kužel–deska byla měřena dynamická viskozita medu při teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jaká byla dynamická viskozita medu při této teplotě, byl-li při použití kužele o průměru 36 mm a vrcholovém úhlu 178° , který se otáčel otáčkami $0,5\text{ min}^{-1}$, naměřen krouticí moment $2,169\text{ N mm}$. Vypočítejte též objem vzorku, který potřebujete, abyste mohli měření provést a dále vypočítejte velikost disipovaného výkonu v kapalině. Výpočet proveďte s pomocí přibližného řešení.

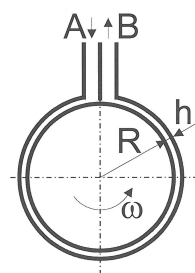
H.60 Viskozitní čerpadlo

Pro čerpání vysoce viskózních kapalin může být použito viskozitní čerpadlo znázorněné na obrázku. Toto čerpadlo sestává z rotujícího válce uloženého souose v pevném tělese čerpadla. Kapalina proudí štěrbinou mezi statorem a otáčejícím se válcem. Poloměr vnitřního válce rotujícího úhlovou rychlostí 12 s^{-1} je 50 mm. Délka rotujícího válce je 50 mm a šířka štěrbiny mezi rotorem a statorem je 1 mm. Čerpadlem je dopravována kapalina s dynamickou viskozitou 500 mPa s. Určete velikost průtoku kapaliny čerpadlem v případě nulového rozdílu tlaků na čerpané látce, tj. $\Delta p_{A-B} = 0$. Dále spočítejte velikost maximálního tlakového spádu na čerpadle Δp_{A-B} (tj. velikost tlakového spádu kdy už čerpadlo nebude čerpat kapalinu z místa A do místa B) a pro tento případ určete velikost krouticího momentu potřebného pro otáčení rotoru. Předpokládejte laminární proudění ve štěrbině a zanedbejte křivost štěrbiny.



H.61 Viskozitní čerpadlo 2

Pro čerpání vysoce viskózních kapalin může být použito viskozitní čerpadlo. Toto čerpadlo je znázorněné na obrázku a sestává z rotujícího válce, který je uložen v pevném tělese viskozitního čerpadla. Válcové těleso a vnitřní rotující válec jsou souosé. Kapalina vstupuje do čerpadla v místě A, proudí štěrbinou mezi rotujícím válcem a tělesem čerpadla a opouští čerpadlo v místě B. Tlak v místě B je větší než tlak v místě A. Tlaková ztráta mezi těmito dvěma místy je Δp . Poloměr rotujícího válce je R , šířka B a šířka štěrbiny mezi rotujícím válcem a tělesem h . Šířka h je mnohem menší než poloměr R . Vnitřní válec rotuje úhlovou rychlostí ω .



Odvoďte vztah vyjadřující hydraulickou charakteristiku tohoto viskozitního čerpadla, tj. závislost objemového průtoku jakožto funkce tlakové ztráty a dalších parametrů v případě, že čerpáme newtonskou kapalinu a proudění ve štěrbině mezi rotujícím válcem a tělesem je laminární.

Welty, J. R., Wicks, C. E., Wilson, R. E.: Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer, John Wiley & Sons, New York (1984), p. 110

H.62 Výroba plastových trubek

Při výrobě plastových trubek je tavenina o hustotě 800 kg m^{-3} a zdánlivé viskozitě 40 Pa s protlačována mezikruhovou hlavou o délce 20 mm . Vnější průměr hlavy je 63 mm , průměr trnu 57 mm . Pod jakým tlakem a v jakém množství musí dodávat čerpadlo taveninu do vytlačovací hlavy, aby bylo dosaženo produkce 1 m trubky za sekundu. Na výstupu ze stroje je atmosférický tlak. Stanovte také hodnotu maximální rychlosti taveniny a určete, jaké síle musí odolávat ukotvení vnitřního trnu, aby nedošlo k jeho vytlačení spolu s taveninou, působí-li na trn pouze třecí síla proudící taveniny. Ověřte předpoklady výpočtu.

H.63 Výroba plastových trubek 2

Při výrobě plastových trubek je tavenina o hustotě 800 kg m^{-3} a zdánlivé viskozitě 40 Pa s protlačována mezikruhovou hlavou o délce 20 mm . Vnější průměr hlavy je 63 mm , průměr trnu 57 mm . Pod jakým tlakem a v jakém množství musí dodávat čerpadlo taveninu do vytlačovací hlavy, aby bylo dosaženo produkce 1 m trubky za sekundu. Na výstupu ze stroje je atmosférický tlak. Stanovte také hodnotu maximální rychlosti taveniny v hlavě a ověřte předpoklady výpočtu.

H.64 Výroba plastových trubek 3

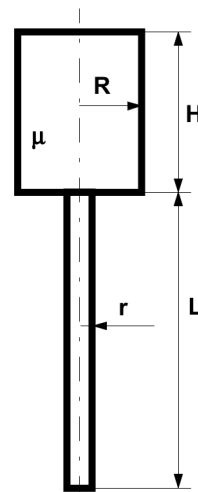
Při výrobě plastových trubek je tavenina o hustotě 800 kg m^{-3} a zdánlivé viskozitě 40 Pa s protlačována mezikruhovou hlavou o délce 20 mm . Vnější průměr hlavy je 63 mm , průměr trnu 57 mm . Pod jakým tlakem a v jakém množství musí dodávat čerpadlo taveninu do vytlačovací hlavy, aby bylo dosaženo produkce 1 m trubky za sekundu. Na výstupu ze stroje je atmosférický tlak. Stanovte také hodnotu maximální rychlosti taveniny a určete, jaké síle (vyvolané třením kapaliny o vnitřní trn) musí odolávat ukotvení vnitřního trnu, aby nedošlo k jeho vytlačení spolu s taveninou. Ověřte předpoklady výpočtu.

H.65 Výtok z nádoby

Nádoba i trubka, viz obrázek, jsou naplněny 80% roztokem glycerinu ve vodě. Odvoďte a spočítejte čas potřebný k vyprázdnění nádrže (nikoliv trubky). Při řešení zanedbejte ztráty na vstupu do trubky a předpokládejte, že proudění v trubce je vždy laminární. Zanedbejte též kinetickou energii vytékajícího proudu. Spočítejte velikost Reynoldsova čísla ve výtokové trubce na počátku a na konci vyprazdňování. Poloměr nádoby je 0,5 m, výška nádoby je 1,5 m, poloměr trubky je 10 mm a její délka je 3 m.

Glycerin $C_3H_8O_3$ s koncentrací 80 % při teplotě 20 °C: hustota 1208,5 kg m⁻³, dynamická viskozita 62 mPa s.

Poznámka: Při řešení využijte Vašich znalostí z aplikace Bernoulliovy rovnice na řešení kvazistacionárních úloh, rovnice kontinuity a Darcy-Weisbachovy rovnice.



Bird, R. B., Stewart, W. E., Lightfoot, E. N.: Přenosové jevy, Sdílení hybnosti, energie a hmoty , Academia, Praha (1968), s. 253, přeloženo z anglického originálu ... : Transport Phenomena, John Wiley & Sons, New York (1960).

T.1 Anemometr

Dlouhý konstantanový drát o průměru 0,5 mm je v proudu vzduchu o teplotě 40°C. Teplota drátu se vyrovnala s teplotou okolního vzduchu. Drátem náhle začne protékat elektrický proud o intenzitě 0,4 A. Po 60 s stoupla teplota drátu o půl stupně Celsia. Určete střední součinitel přestupu tepla z drátu do vzduchu a odhadněte (vypočtete) hodnotu složky rychlosti vzduchu kolmé k ose drátu.

Konstantan (54 % Cu, 45 % Ni, 1 % Mn) při teplotě 20°C: hustota 8920 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 410 J kg⁻¹ K⁻¹, součinitel tepelné vodivosti 22,2 W m⁻¹ K⁻¹. Součinitel tepelné vodivosti při teplotě 0°C je 22,2 W m⁻¹ K⁻¹ a při teplotě 100°C je 23,4 W m⁻¹ K⁻¹. Měrný odpor konstantanu (ρ) je $0,50 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$.

T.2 Brambory

Vypočtete, jak dlouho bychom měli vařit brambory ve vodě, abychom zajistili, že minimální teplota uvnitř brambor dosáhne teploty $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Předpokládejte, že brambory mají přibližně tvar koule o průměru 30 mm , jejich tepelná vodivost je $0,34\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$, hustota 1100 kg m^{-3} , měrná tepelná kapacita $3,6\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$, počáteční teplota $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a že jsou vkládány do vroucí vody (vaření při atmosférickém tlaku). Určete také, jak dlouho by bylo třeba nechat každou bramboru po uvaření na talíři, než by došlo ke snížení její maximální teploty na $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ za předpokladu, že během přendávání brambor z hrnce na talíř dojde k vyrovnání teploty v celém průřezu brambory na teplotu rovnou teplotě ve středu brambory a zároveň, že na talíři bude brambora ochlazována vzduchem obtékajícím bramboru rychlostí 2 m s^{-1} . Stanovte také, kolik energie ušetříte, budete-li ohřívat brambory ve 3 litrech namísto v 5 litrech vody. Při určování úspory energie počítejte s ohřevem vody z $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rychlost odparu vody při vaření je 10 ml min^{-1} a měrné skupenské teplo varu vody je 2257 kJ kg^{-1} .

T.3 Disipace v mezikruží

Odvoďte vztah popisující teplotní profil při tangenciálním toku newtonské kapaliny v mezikruží v případě, že vezmete v úvahu disipaci mechanické energie. Vnější válec (stojící) je udržován na konstantní teplotě (okrajová podmínka prvního druhu) a vnitřní válec je dokonale tepelně izolován (okrajová podmínka druhého druhu). Křivost štěrbině mezi oběma souosými válci nelze zanedbat. Řešením Navierových a Stokesových rovnic, lze pro rychlostní profil ve štěrbině odvodit vztah $\frac{u_\varphi}{u_0} = \frac{\kappa}{\kappa^2 - 1} \left(\frac{r}{R_2} - \frac{R_2}{r} \right)$, kde u_0 je obvodová rychlost na povrchu vnitřního rotujícího válce, r je obecný poloměr, R_2 je poloměr vnějšího pevného válce a κ je poměr vnitřního a vnějšího poloměru.

Při měření dynamické viskozity medu na rotačním reometru se souosými válci byl při otáčkách vnitřního válce 10 min^{-1} naměřen krouticí moment $0,03 \text{ N m}$. Průměr vnitřního válce je 24 mm , průměr vnějšího válce je 30 mm a délka obou válců je 100 mm . Teplota vnějšího válce byla udržována na konstantní teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Jaké bylo při měření maximální oteplení medu, je-li jeho součinitel tepelné vodivosti $0,36 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$?

T.4 Elektrický ohřívač vzduchu

Stanovte maximální přípustný proud, který může protékat topným odporovým drátem ($1,428 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ m}$, $20 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) o průměru 2 mm elektrického ohřívače, proudí-li ohřívačem kolmo na osu drátu ohříváný suchý vzduch o teplotě 60°C rychlostí 5 m s^{-1} . Maximální přípustná teplota odporového drátu je 800°C . Drát je pokryt tenkou vrstvičkou slídy ($0,58 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) o tloušťce 0,5 mm. Dále vypočítejte povrchovou teplotu slídy a výkon, který je za těchto podmínek schopen drát přenést do okolního vzduchu, vztažený na jednotkovou délku drátu. Sdílení tepla zářením neuvažujte. Při výpočtu zanedbejte změnu termofyzikálních vlastností suchého vzduchu vlivem jeho oteplení.

T.5 Elektrický ohřívač vzduchu 2

Stanovte maximální přípustný proud, který může protékat topným odporovým drátem o průměru 6 mm elektrického ohřívače, proudí-li ohřívačem ohříváný suchý vzduch o teplotě 40 °C rychlostí 10 m s⁻¹. Maximální přípustná teplota odporového drátu je 1200 °C. Dále vypočítejte povrchovou teplotu topného drátu a výkon, který je za těchto podmínek schopen drát přenést do okolního vzduchu vztahený na jednotkovou délku drátu. Sdílení tepla zářením neuvažujte. Při výpočtu zanedbejte změnu termofyzikálních vlastností suchého vzduchu vlivem jeho oteplení odporovým drátem.

Při výpočtu použijte následující parametry topného odporového drátu: měrný elektrický odpor $1,428 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ m}^{-1}$ a součinitel tepelné vodivosti $20 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

T.6 Elektrický ohříváč vzduchu 3

Stanovte maximální přípustný proud, který může protékat topným odporovým drátem o průměru 5 mm elektrického ohříváče, proudí-li ohříváčem ohříváný suchý vzduch o teplotě $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ rychlostí 5 m s^{-1} . Maximální přípustná teplota odporového drátu je $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dále vypočítejte povrchovou teplotu topného drátu a výkon, který je za těchto podmínek schopen drát přenést do okolního vzduchu vztahený na jednotkovou délku drátu. Sdílení tepla zářením neuvažujte. Při výpočtu zanedbejte změnu termofyzikálních vlastností suchého vzduchu vlivem jeho oteplení odporovým drátem.

Při výpočtu použijte následující parametry topného odporového drátu: měrný elektrický odpor $1,428 \cdot 10^{-6}\text{ }\Omega\text{ m}^{-1}$ a součinitel tepelné vodivosti $20\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$.

T.7 Elektrický vodič

Stanovte maximální přípustný proud, který může protékat hliníkovým vodičem, nesmí-li povrchová teplota vodiče kvůli izolaci překročit $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Průměr vodiče je 1 mm , tloušťka izolace $0,3\text{ mm}$. Uvolněné teplo může být odvedeno pouze konvekcí do okolního vzduchu o teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, který proudí rychlostí 1 m s^{-1} kolmo k podélné ose drátu. Jaká bude povrchová teplota izolace?

	Parametry hliníkového vodiče	Parametry izolace
Měrný elektrický odpor	$11,5 \cdot 10^{-8}\text{ }\Omega\text{ m}$	
Součinitel tepelné vodivosti	$237\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$	$0,406\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku	$0,896\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$	$2,82\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$
Hustota	2700 kg m^{-3}	906 kg m^{-3}

T.8 Elektrický vodič 2

Stanovte maximální přípustný proud, který může protékat hliníkovým vodičem, nesmí-li povrchová teplota vodiče kvůli izolaci překročit $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Průměr vodiče je 2 mm , tloušťka izolace $0,4\text{ mm}$. Uvolněné teplo může být odvedeno pouze konvekcí do okolního vzduchu o teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, který proudí rychlostí 3 m s^{-1} kolmo k podélné ose drátu. Jaká bude povrchová teplota izolace?

	Parametry hliníkového vodiče	Parametry izolace
Měrný elektrický odpor	$11,5 \cdot 10^{-8}\text{ }\Omega\text{ m}$	
Součinitel tepelné vodivosti	$237\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$	$0,406\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku	$0,896\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$	$2,82\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$
Hustota	2700 kg m^{-3}	906 kg m^{-3}

T.9 Elektrický vodič 3

Stanovte maximální přípustný proud, který může protékat hliníkovým vodičem, nesmí-li povrchová teplota vodiče kvůli izolaci překročit $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Průřez vodiče je $2,5\text{ mm}^2$, tloušťka izolace $0,4\text{ mm}$. Uvolněné teplo může být odvedeno pouze konvekcí do okolního vzduchu o teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, který proudí rychlostí 2 m s^{-1} kolmo k podélné ose drátu. Jaká bude povrchová teplota izolace, bude-li vodičem procházet maximální možný proud? Při výpočtu je třeba stanovit součinitel přestupu tepla na povrchu drátu a také velikost poměru vnitřního (konduktivního) a vnějšího (konvektivního) tepelného odporu.

	Parametry hliníkového vodiče	Parametry izolace
Měrný elektrický odpor	$11,5 \cdot 10^{-8}\text{ }\Omega\text{ m}$	
Součinitel tepelné vodivosti	$237\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$	$0,406\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku	$0,896\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$	$2,82\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$
Hustota	2700 kg m^{-3}	906 kg m^{-3}

T.10 Elektrický vodič 4

Stanovte maximální přípustný proud, který může protékat měděným vodičem, nesmí-li povrchová teplota vodiče kvůli izolaci překročit $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Průměr vodiče je 1 mm , tloušťka izolace $0,3\text{ mm}$. Uvolněné teplo může být odvedeno pouze konvekcí do okolního klidného vzduchu. Součinitel přestupu tepla volnou konvekcí do okolního prostředí je $5\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-1}$. Teplota okolního vzduchu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

	Parametry měděného vodiče	Parametry izolace
Měrný elektrický odpor	$1,7 \cdot 10^{-8}\text{ }\Omega\text{ m}$	
Součinitel tepelné vodivosti	$393\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$	$0,406\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku	$0,396\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$	$2,82\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$
Hustota	8930 kg m^{-3}	906 kg m^{-3}

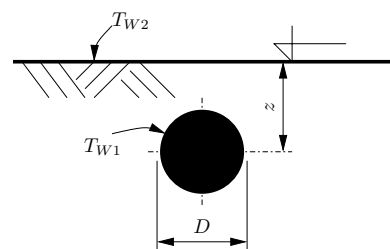
T.11 Proudové zatížení vodiče

Spočítejte maximální proud procházející kruhovým měděným vodičem o průřezu $2,5 \text{ mm}^2$ uloženým v polovině cihlové příčky o tloušťce 8 cm tak, aby povrchová teplota měděného vodiče nebyla vyšší než $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Vodič je pokrytý vrstvou izolace o tloušťce 0,8 mm. Teplota v místnostech na obou stranách příčky je $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a součinitel přestupu tepla $10 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Dvourozměrné vedení tepla v příčce modelujte mezikruhovou vrstvou zdiva o tloušťce rovné polovině tloušťky příčky se stejnými vlastnostmi jako má příčka.

	<i>Parametry vodiče</i>	<i>Parametry izolace</i>	<i>Parametry zdiva</i>
<i>Měrný elektrický odpor</i>	$1,7 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega \text{ m}$		
<i>Součinitel tepelné vodivosti</i>	$393 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0,406 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0,3 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
<i>Měrná tepelná kapacita za konst. tlaku</i>	$396 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$282 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	
<i>Hustota</i>	8930 kg m^{-3}	906 kg m^{-3}	

T.12 Proudové zatížení vodiče 2

Spočítejte maximální proud procházející kruhovým měděným vodičem o průřezu $2,5 \text{ mm}^2$ uloženým v hloubce 2 cm pod povrchem cihlové přičky o tloušťce 30 cm tak, aby povrchová teplota měděného vodiče nebyla vyšší než $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Vodič je pokrytý vrstvou izolace o tloušťce $0,8 \text{ mm}$. Teplota v místnosti je $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a součinitel přestupu tepla na stěně $10 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.



Při výpočtu využijte vztah (mimo jiných), který se vám podařilo najít v literatuře, vyjadřující konduktivní tepelný tok $\dot{Q}$ mezi válcem o průměru D a délce L (pro případ $L \gg D$) uloženým v hloubce z pod povrchem poloneomezeného tělesa (tj. zanedbejte vliv tloušťky stěny a uvažujte, že je (polo)neomezená).

$$\dot{Q} = \frac{2\pi L\lambda}{\cosh^{-1}\left(\frac{2z}{D}\right)} (T_{W1} - T_{W2}) = \frac{2\pi L\lambda}{\cosh^{-1}\left(\frac{2 \cdot 20}{3,384}\right)} (T_{W1} - T_{W2}) = \frac{2\pi L\lambda}{3,16114} (T_{W1} - T_{W2})$$

	Parametry vodiče	Parametry izolace	Parametry zdiva
Měrný elektrický odpor	$1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$		
Součinitel tepelné vodivosti	$393 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0,406 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0,3 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita za konst. tlaku	$396 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$282 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	
Hustota	8930 kg m^{-3}	906 kg m^{-3}	

T.13 Proudové zatížení drátu

Kolmo na izolovaný měděný elektrický vodič o průměru 2 mm proudí vzduch o teplotě 20 °C rychlostí 5 m s⁻¹. Povrchová teplota izolace nesmí přesáhnout 40 °C. Určete maximální přípustnou intenzitu elektrického proudu, je-li vodič dlouhý 2 m a je-li na vodiči rozdíl potenciálů 220 V.

Čistá měď při teplotě 20 °C: hustota 8930 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 386 J kg⁻¹ K⁻¹, součinitel tepelné vodivosti 398 W m⁻¹ K⁻¹. Součinitel tepelné vodivosti při teplotě 0 °C je 401 W m⁻¹ K⁻¹ a při teplotě 100 °C je 393 W m⁻¹ K⁻¹. Měrný odpor mědi (ρ) je 0,0155 · 10⁻⁶ Ω m² m⁻¹.

T.14 Chladnutí výkovku

Výkovek ve tvaru hranolu se čtvercovou podstavou o délce hrany 500 mm a výšce 1500 mm chladne na vzduchu z kovací teploty 980 °C. Jaká a kde bude maximální a minimální teplota výkovku po 10 hodinách? Výkovek je vyroben z oceli třídy 12, která má měrnou tepelnou vodivost $50 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, měrnou tepelnou kapacitu $0,5 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a hustotu 7720 kg m^{-3} . Výkovek chladne ve výrobní hale na nehybném vzduchu o teplotě 25 °C. Součinitel přestupu tepla na straně vzduchu byl odhadnut na $15 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

T.15 Konzervace hrášku

Jedním z moderních způsobů konzervace je zmrazování ve vypařujícím se chladivu (nejčastěji N_2 nebo CO_2). Jak dlouho musí být hrášek ve styku s parami vypařujícího se dusíku o teplotě $-190\text{ }^\circ\text{C}$, aby maximální teplota v hrášku byla $-18\text{ }^\circ\text{C}$? Jaká bude povrchová teplota v tomto čase? Dále vypočtete v jakém čase bude dosažena v hrášku teplota $0\text{ }^\circ\text{C}$. Počáteční teplota konzervovaného hrášku je $20\text{ }^\circ\text{C}$ a jeho průměr 8 mm. Střední součinitel přestupu tepla na povrchu hrášku je $15\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-1}$. Zanedbejte změny fyzikálních vlastností hrášku vlivem jeho zmrznutí.

Termofyzikální vlastnosti hrášku: součinitel tepelné vodivosti $0,37\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$, součinitel teplotní vodivosti $9,1 \cdot 10^{-8}\text{ m}^2\text{ s}^{-1}$ a hustota 1062 kg m^{-3} .

T.16 Chlazení mosazné koule

Určete dobu potřebnou k chlazení mosazné koule o průměru 80 mm z počáteční teploty 300 °C na teplotu 40 °C (nejchladnější místo v kouli má teplotu právě 40 °C). Chlazení probíhá ofukováním koule vzduchem o teplotě 20 °C s rychlostí 5 m s⁻¹. Jaká je velikost středního součinitele konvektivního přenosu tepla? Spočítejte též celkové množství tepla odebrané z koule během jejího chlazení. Při výpočtu doby chlazení neuvažujte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení/ochlazení koulí. Určete velikost Sieder-Tateova korekčního faktoru pro střední teplotu povrchu koule a vysvětlete jeho účel a použití.

Při výpočtu budete možná potřebovat následující termofyzikální vlastnosti mosazné koule: hustota 8500 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 0,38 kJ kg⁻¹ K⁻¹ a součinitel tepelné vodivosti 106 W m⁻¹ K⁻¹ a vlastnosti suchého vzduchu.

T (°C)	ρ (kg m ⁻³)	c_p (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	λ (W m ⁻¹ K ⁻¹)	ν (m ² s ⁻¹)
20	1,1887	1006	0,0256	15,3 · 10 ⁻⁶
100	0,9334	1011	0,0314	23,8 · 10 ⁻⁶
200	0,7359	1026	0,0385	35,0 · 10 ⁻⁶
300	0,6076	1047	0,0447	48,5 · 10 ⁻⁶

T.17 Chlazení mosazné koule 2

Určete dobu potřebnou k chlazení mosazné koule o průměru 80 mm z počáteční teploty 300 °C na teplotu 40 °C (nejchladnější místo v kouli má teplotu právě 40 °C). Chlazení probíhá ofukováním koule vzduchem o teplotě 20 °C s rychlostí 5 m s⁻¹. Jaká je velikost středního součinitele konvektivního přenosu tepla? Spočítejte též celkové množství tepla odebrané z koule během jejího chlazení. Určete také maximální tepelný tok, který musí být během chlazení odveden chladicím vzduchem. Při výpočtu doby chlazení neuvažujte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení/ochlazení koulí.

Při výpočtu budete možná potřebovat následující termofyzikální vlastnosti mosazné koule: hustota 8500 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 0,38 kJ kg⁻¹ K⁻¹ a součinitel tepelné vodivosti 106 W m⁻¹ K⁻¹. Vlastnosti suchého vzduchu naleznete v tabulce.

T (°C)	ρ (kg m ⁻³)	c_p (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	λ (W m ⁻¹ K ⁻¹)	ν (m ² s ⁻¹)
20	1,1887	1006	0,0256	$15,3 \cdot 10^{-6}$
100	0,9334	1011	0,0314	$23,8 \cdot 10^{-6}$
200	0,7359	1026	0,0385	$35,0 \cdot 10^{-6}$
300	0,6076	1047	0,0447	$48,5 \cdot 10^{-6}$

T.18 Chlazení mosazné koule 3

Určete dobu potřebnou k chlazení mosazné koule o průměru 80 mm z počáteční teploty 300°C na teplotu 40°C (nejchladnější místo v kouli má teplotu právě 40°C). Chlazení probíhá ofukováním koule vzduchem o teplotě 20°C s rychlostí 5 m s⁻¹. Jaká je velikost středního součinitele konvekčního přenosu tepla? Při výpočtu doby chlazení neuvažujte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení/ochlazení koulí.

Při výpočtu budete možná potřebovat následující termofyzikální vlastnosti mosazné koule: hustota 8500 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 0,38 kJ kg⁻¹ K⁻¹ a součinitel tepelné vodivosti 106 W m⁻¹ K⁻¹ a vlastnosti suchého vzduchu.

T (°C)	ρ (kg m ⁻³)	c_p (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	λ (W m ⁻¹ K ⁻¹)	ν (m ² s ⁻¹)
20	1,1887	1006	0,0256	$15,3 \cdot 10^{-6}$
100	0,9334	1011	0,0314	$23,8 \cdot 10^{-6}$
200	0,7359	1026	0,0385	$35,0 \cdot 10^{-6}$
300	0,6076	1047	0,0447	$48,5 \cdot 10^{-6}$

T.19 Chlazení mosazné koule 4

Určete dobu potřebnou k chlazení smaltované mosazné koule o průměru 80 mm z počáteční teploty 300 °C na teplotu 40 °C (nejteplejší místo v kouli má teplotu právě 40 °C). Koule je pokryta vrstvou smaltu o tloušťce 2 mm. Chlazení probíhá ofukováním koule vzduchem o teplotě 20 °C s rychlostí 10 m s⁻¹. Jaká je velikost středního součinitele konvektivního přenosu tepla? Při výpočtu doby chlazení neuvažujte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení/ochlazení koulí.

Při výpočtu budete možná potřebovat následující termofyzikální vlastnosti mosazné koule: hustota 8500 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 0,38 kJ kg⁻¹ K⁻¹ a součinitel tepelné vodivosti 106 W m⁻¹ K⁻¹, vlastnosti suchého vzduchu a součinitel tepelné vodivosti smaltu (sklo) 0,76 W m⁻¹ K⁻¹.

T.20 Chlazení ocelové koule

Určete dobu potřebnou k ochlazení ocelové koule o průměru 150 mm z počáteční teploty 200 °C na teplotu 100 °C (nejteplejší místo v kouli má teplotu právě 100 °C). Ochlazení se děje ofukováním koule vzduchem, který má teplotu 20 °C a rychlost 5 m s⁻¹. Jaká je velikost středního součinitele konvektivního přenosu tepla. Spočítejte též celkové množství tepla, které bylo nutno z koule odebrat. Při řešení neuvažujte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení koulí.

Při výpočtu budete možná potřebovat následující termofyzikální vlastnosti ocelové koule: hustota 7870 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 0,5 kJ kg⁻¹ K⁻¹ a součinitel tepelné vodivosti 42 W m⁻¹ K⁻¹.

T.21 Chlazení ocelové koule 2

Určete dobu potřebnou k ochlazení ocelové koule o průměru 120 mm z počáteční teploty 220 °C na teplotu 80 °C (teplota nejteplejšího místa v kouli je právě 80 °C). Ochlazení se děje ofukováním koule vzduchem, který má teplotu 20 °C a rychlost 5 m s⁻¹. Určete, jaká je velikost středního součinitele konvektivního přenosu tepla. Spočítejte též celkové množství tepla, které je nutné z koule odebrat. Při řešení neuvažujte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení koulí.

Při výpočtu budete možná potřebovat následující termofyzikální vlastnosti ocelové koule: hustota 7870 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 0,5 kJ kg⁻¹ K⁻¹ a součinitel tepelné vodivosti 42 W m⁻¹ K⁻¹.

T.22 Chlazení ocelové koule 3

Určete dobu potřebnou k ochlazení ocelové koule o průměru 98 mm z počáteční teploty 230 °C na teplotu 70 °C (teplota nejteplejšího místa v kouli je právě 70 °C). Ochlazení se děje ofukováním koule vzduchem, který má teplotu 20 °C a rychlost 5 m s⁻¹. Určete, jaká je velikost středního součinitele konvektivního přenosu tepla. Spočítejte též celkové množství tepla, které je nutné z koule odebrat. Při řešení neuvažujte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení koulí.

Při výpočtu budete možná potřebovat následující termofyzikální vlastnosti ocelové koule: hustota 7870 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 0,5 kJ kg⁻¹ K⁻¹ a součinitel tepelné vodivosti 42 W m⁻¹ K⁻¹.

T.23 Chlazení ocelové koule 4

Určete dobu potřebnou k ochlazení ocelové koule o průměru 200 mm, vyrobené z uhlíkové oceli, z počáteční teploty 300 °C na teplotu 100 °C (nejteplejší místo v kouli má teplotu právě 100 °C). Ochlazení se děje ofukováním koule vzduchem, který má teplotu 20 °C a rychlost 10 m s⁻¹. Jaká je velikost středního součinitele konvektivního přenosu tepla? Uvažte význam Sider–Tate korekce a pokud možno ji zahrňte do svých výpočtů.

T.24 Chlazení ocelové koule 5

Určete dobu potřebnou k ochlazení ocelové koule o průměru 200 mm, vyrobené z uhlíkové oceli, z počáteční teploty 300 °C na teplotu 100 °C (nejteplejší místo v kouli má teplotu právě 100 °C). Ochlazení se děje ponořením koule do míchané olejové lázně o teplotě 20 °C. Střední hodnota součinitele konvektivního přenosu tepla na povrchu ochlazované koule je $362 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Jaká bude v tomto okamžiku minimální teplota v kouli? Při řešení předpokládejte, že olejová lázeň má nekonečně velkou tepelnou kapacitu.

T.25 Izolace malého reaktoru

Stěna malého reaktoru je složena z vrstvy ohnivzdorné vyzdívky a vrstvy izolace. Součinitel tepelné vodivosti ohnivzdorné vyzdívky je $1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a součinitel tepelné vodivosti izolace je $0,04 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Teplota uvnitř reaktoru je $1050 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplota vně reaktoru je $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Součinitel přestupu tepla uvnitř reaktoru je $150 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ a součinitel přestupu tepla vně $8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Maximální teplota izolace nesmí přesáhnout $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a maximální teplota povrchu reaktoru nesmí přesáhnout $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Spočítejte tloušťku vrstvy ohnivzdorné vyzdívky a tloušťku vrstvy izolace.

T.26 Automat na kafe

Navrhněte ohřívač vody automatu na kávu. Voda protéká měděnou trubičkou ($393 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $1,69 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$), jejíž vnější povrchová teplota je 120°C . Trubička má vnější průměr $5,4 \text{ mm}$ a tloušťku stěny $0,2 \text{ mm}$. Voda se ohřívá z teploty 25°C na teplotu 95°C . Kelímek na kávu má objem 200 ml a doba plnění nesmí dle požadavků zákazníka překročit 20 s . Navrhněte délku trubičky. Stanovte tepelný výkon potřebný k ohřevu vody. V případě, že je teplota trubičky udržována Jouleovým teplem průchodem elektrického proudu, stanovte velikost tohoto proudu. Při výpočtu použijte vlastnosti vody odpovídající střední teplotě vody během jejího ohřevu.

T.27 Ohřev konzervy s lančmítem

Jaká bude nejnižší a nejvyšší teplota obsahu ohřívané konzervy o průměru 11 cm a výšce 7 cm po jedné hodině jejího ohřevu ve vodě vroucí za atmosférického tlaku. Počáteční teplota plechovky včetně jejího obsahu byla $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Předpokládejte, že součinitel přestupu tepla na všech stěnách plechovky je $500\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-1}$. Stěna plechovky je tvořena tenkým plechem o tloušťce 0,5 mm s tepelnou vodivostí $50\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$. Při výpočtu můžete použít následující termofyzikální parametry obsahu plechovky: hustota 950 kg m^{-3} , součinitel tepelné vodivosti $0,41\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$ a měrná tepelná kapacita za konstatního tlaku $2,18\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$.

T.28 Koulovitý anemometr

Pro odhad rychlosti proudění atmosférického vzduchu byl na střeše budovy instalován experimentální anemometr. Anemometr je tvořen hliníkovou koulí ($198 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) o průměru 50 mm volně obtékanou proudícím vzduchem. Koule je uvnitř vyhřívána elektrickým topným tělískem o výkonu 5 W. V určitém okamžiku měření, kdy bylo dosaženo ustáleného stavu, byla odečtena teplota hliníkové koule $32,5^\circ\text{C}$ při změřené teplotě okolního proudícího vzduchu 20°C . Stanovte rychlost proudění vzduchu. Zanedbejte přenos tepla zářením a teplotní závislost termofyzikálních vlastností vzduchu. S jakou časovou konstantou bude reagovat anemometr v případě, že se náhle (skokem) změnila teplota okolního vzduchu. Jak víte, časová konstanta je čas, který systém potřebuje k ustavení nové termodynamické rovnováhy v případě, že by se jeho teplota měnila pořád stejnou rychlostí, jako na počátku, tj. v okamžiku skokové změny (hint¹: teplota by se měnila lineárně, hint² $\exp(-t/\tau)$).

T.29 Koulovitý anemometr 2

Jako skoroabsolventa předmětu Přenos hybnosti, tepla a hmoty vás napadlo, jakým způsobem by šla měřit rychlost proudění. Běžně se pro měření rychlosti proudění používá metoda žhaveného drátku, kdy tenkým platinovým drátkem o malém průměru protéká elektrický proud. Tento proud drátek ohřívá vlivem Jouleova tepla. Protože je drátek obtékán proudící kapalinou/tekutinou, dochází vlivem přestupu tepla mezi drátkem a okolním proudícím prostředím k ustavení rovnováhy. Ve stacionárním režimu tedy můžeme na základě rovnosti rychlosti generování tepla v drátku a rychlosti konvektivního odvodu tepla určit součinitel přestupu tepla na povrchu drátku. Protože víte, že součinitel přestupu tepla závisí v případě nucené konvekce na rychlosti proudění, můžeme pak stanovit rychlost proudění. Také jste si však uvědomili, že pro výpočet přestupu tepla na površích těles rozličných geometrických tvarů můžete nalézt různé korelace a rozhodli jste se, že použijete znalostí o konvektivním přenosu tepla na povrchu koule.

Pro odhad rychlosti proudění atmosférického vzduchu byl na střeše budovy instalován experimentální anemometr. Anemometr je tvořen hliníkovou koulí ($198 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) o průměru 50 mm volně obtékanou proudícím vzduchem (použijte vlastnosti suchého vzduchu). Koule je uvnitř vyhřívána elektrickým topným tělískem o výkonu 5 W. V určitém okamžiku měření, kdy bylo dosaženo ustáleného stavu, byla odečtena teplota hliníkové koule $32,5^\circ \text{C}$ při změřené teplotě okolního proudícího vzduchu 20°C . Stanovte rychlost proudění vzduchu. Zanedbejte přenos tepla zářením a teplotní závislost termofyzikálních vlastností vzduchu. Nezapomeňte ověřit předpoklady vašeho výpočtu.

T.30 Koulovitý anemometr 3

Pro odhad rychlosti proudění atmosférického vzduchu byl na střeše budovy instalován experimentální anemometr. Anemometr je tvořen hliníkovou koulí o průměru 50 mm volně obtékanou proudícím vzduchem. Koule je uvnitř vyhřívána elektrickým topným tělískem o výkonu 5 W. V určitém okamžiku měření, kdy bylo dosaženo ustáleného stavu, byla odečtena teplota hliníkové koule $32,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ při změřené teplotě okolního proudícího vzduchu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Stanovte rychlost proudění vzduchu. Zanedbejte přenos tepla zářením a teplotní závislost termofyzikálních vlastností vzduchu.

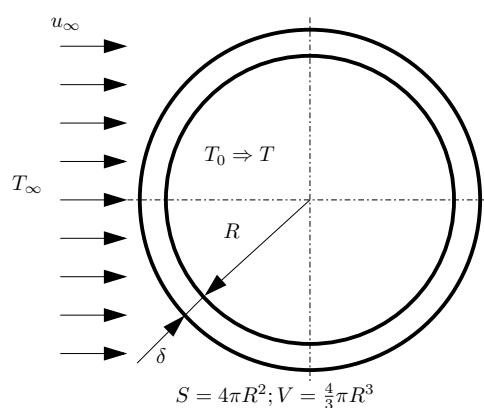
T.31 Měření teploty Pt100

K měření teploty vzduchu proudícího rychlostí 5 m s^{-1} použijeme platinového odporového teploměru ve tvaru válečku jehož podélná osa je orientována kolmo ke směru proudícího vzduchu. Platinový měřicí drátek je zalit v šamotovém tělísku ($2,8 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $960 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, 2050 kg m^{-3}) ve tvaru válce o průměru 3,2 mm a délce 15 mm. Spočítejte časovou konstantu platinového odporového teploměru za předpokladu, že byla měřena teplota 160°C . Za jak dlouho naměřil teploměr teplotu 159°C , byla-li počáteční teplota teploměru 20°C . Při výpočtech uvažujte stejnou hodnotu součinitele přestupu tepla na válcovém povrchu teploměru tak na jeho čelech a zanedbejte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho ochlazení teploměrem. Odhadněte velikost chyby, kterou způsobí měřicí proud 10 mA protékající teploměrem, tj. jakou teplotu vzduchu teploměr naměří. *Časová konstanta je čas, za který by teploměr naměřil správnou teplotu, kdyby nárůst teploty probíhal lineárně stejnou rychlostí jakou má skutečný průběh na počátku procesu, tj. okamžitě po vložení teploměru do proudu vzduchu.*

T.32 Měření teploty vzduchu termočlánkem

Pro měření teploty proudícího vzduchu je použit termočlánek vyrobený ze slitiny mědi a niklu. Měřicí spoj termočláunku má tvar koule o průměru 1,4 mm a je pokryt tenkou vrstvičkou teflonu o tloušťce 0,3 mm. Vzduch o teplotě 60 °C proudí okolo termočláunku rychlostí 1 m s⁻¹. Za jak dlouho se teplota T , kterou teplotní čidlo registruje, přiblíží skutečné teplotě na 99 % počátečního rozdílu teplot (rozdílu mezi teplotou vzduchu T_∞ a počáteční teploty termočláunku T_0)?

Při výpočtu použijte následující vlastnosti slitiny z níž je termočlánek vyroben: hustota 8930 kg m⁻³, součinitel tepelné vodivosti 393 W m⁻¹ K⁻¹ a měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 396 J kg⁻¹ K⁻¹. Součinitel tepelné vodivosti teflonu je 0,25 W m⁻¹ K⁻¹ a při výpočtu zanedbejte tepelnou kapacitu teflonového povlaku.



T.33 Měření teploty termočlánkem

V trubce o průměru 100 mm proudí vzduch o neznámé teplotě rychlostí $1,5 \text{ m s}^{-1}$. Teplotu vzduchu měříme termočlánkem umístěným v ose trubky. Termočlánek, který naměřil teplotu 160°C , je umístěn v jímce vyrobené z nerezové trubičky o průměru 5 mm a tloušťce stěny 1,6 mm. Jaká je skutečná teplota vzduchu proudícího v trubce, je-li teplota stěny trubky 100°C ? Při řešení zanedbejte odvod tepla čelem jímky.

Parametry suchého vzduchu při teplotě 160°C : hustota $0,8043 \text{ kg m}^{-3}$, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku $1,018 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, součinitel tepelné vodivosti $0,0358 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, kinematická viskozita $30,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, Prandtlovo číslo 0,69.

T.34 Mlecí koule

Při výrobě ocelových mlecích koulí je třeba dochlazovat koule na konci technologického procesu tak, aby s nimi mohlo být bezpečně manipulováno rukou. Stanovte, jak dlouho by měla být ofukována koule o průměru 35 mm vzduchem, který má teplotu 20 °C a proudí rychlostí 5 m s⁻¹. Počáteční teplota koule je 170 °C, bezpečná dotyková teplota je 35 °C. Určete také maximální teplotu v kouli na konci procesu ochlazování a odhadněte množství energie, kterou předá koule do vzduchu během chlazení. Při výpočtech rovněž určete velikost středního součinitele konvektivního přenosu tepla. Při řešení neuvažujte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení koulí.

Při výpočtu budete možná potřebovat následující termofyzikální vlastnosti ocelové koule: hustota 7870 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 0,5 kJ kg⁻¹ K⁻¹ a součinitel tepelné vodivosti 42 W m⁻¹ K⁻¹.

T.35 Ohřev hřídele

Určete dobu potřebnou k ohřátí ocelového hřídele o průměru 50 mm a délce 230 mm z počáteční teploty 20 °C na žíhací teplotu 450 °C (nejchladnější místo má teplotu právě 450 °C). Ohřev se provádí v konvektivní peci ofukováním hřídele vzduchem, který má teplotu 530 °C a rychlost 5 m s⁻¹. Jaká je velikost středního součinitele konvektivního přenosu tepla? Spočítejte také celkové množství tepla, které bylo nutno z hřídele odebrat. Při řešení neuvažujte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení hřídelem.

Ocel 11 503, ze které je hřídel vyroben, má následující termofyzikální vlastnosti: hustota 7870 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 0,5 kJ kg⁻¹ K⁻¹, součinitel tepelné vodivosti 42 W m⁻¹ K⁻¹.

T.36 Ohřev mosazné koule

Určete dobu potřebnou k ohřevu mosazné koule o průměru 120 mm z počáteční teploty 25 °C na teplotu 320 °C (nejteplejší místo v kouli má teplotu právě 320 °C). Ohřev probíhá ofukováním koule vzduchem o teplotě 400 °C a rychlosti 5 m s⁻¹. Jaká je velikost středního součinitele konvektivního přenosu tepla? Spočítejte též celkové množství tepla, které bylo nutno kouli dodat a minimální příkon elektrické topné spirály ohřívací pece, která by byla ještě schopna ohřev zajistit. Při řešení neuvažujte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení/ochlazení koulí.

Při výpočtu budete možná potřebovat následující termofyzikální vlastnosti mosazné koule: hustota 8500 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 0,38 kJ kg⁻¹ K⁻¹ a součinitel tepelné vodivosti 106 W m⁻¹ K⁻¹.

T.37 Ohřev tyče

Za jak dlouho se ohřeje ocelová tyč o průměru 40 mm a délce 300 mm v komorové peci na teplotu 350 °C, je-li teplota v peci 450 °C a počáteční teplota tyče 20 °C? Stanovte také množství tepla dodané za daný čas. Součinitel přestupu tepla mezi tyčí a prostředím v peci stanovte dle empirického vztahu (Macek, Zuna, Janovec) $\alpha = 15 + 0,105 \cdot (T/100)^3$, kde α ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$) je součinitel přestupu tepla při teplotě T (K) v peci.

Termofyzikální vlastnosti oceli: součinitel tepelné vodivosti $48 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku $0,5 \text{ kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ a hustota 7790 kg m^{-3} .

T.38 Palivový článek

Deskový palivový článek jaderného reaktoru má tloušťku 8 mm a je potažen po obou stranách vrstvou hliníku o tloušťce 1 mm. V článku se generuje teplo rychlostí 15 kW kg^{-1} . Určete povrchovou teplotu hliníkové vrstvy, teplotu rozhraní hliník - uranový článek a teplotu uprostřed palivového článku. Teplota chladicího média obklopujícího článek je $140 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a součinitel přestupu tepla mezi povrchem článku (vnějším povrchem hliníkové vrstvy) a chladivem je $30000 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

	Vlastnosti hliníku	Vlastnosti uranu
Součinitel tepelné vodivosti	$236 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$27,4 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku	$0,902 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0,116 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Hustota	2710 kg m^{-3}	19070 kg m^{-3}

T.39 Palivový článek 2

V deskovém palivovém článku jaderného reaktoru o tloušťce 10 mm potaženém po obou stranách vrstvou hliníku o tloušťce 1 mm se generuje teplo rychlostí 18 kW kg^{-1} . Určete povrchovou teplotu článku (teplotu hliníkové vrstvy) a maximální teplotu v palivovém článku. Teplota chladicího média obklopujícího článek je 240°C a součinitel přestupu tepla na povrchu článku je $30000 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

Při výpočtu možná použijete následující parametry hliníku: $236 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, 2710 kg m^{-3} a $902 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ či uranu: $27,4 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, 19070 kg m^{-3} a $116 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

T.40 Palivový článek 3

Deskový palivový článek jaderného reaktoru má tloušťku 7 mm a je potažen po obou stranách vrstvou hliníku 2 mm silnou. V článku se generuje teplo rychlostí 30 kW kg^{-1} . Určete povrchovou teplotu hliníkové vrstvy, teplotu rozhraní hliník – uranový článek a teplotu uprostřed palivového článku. Teplota chladicího média je $140 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a součinitel přestupu tepla mezi povrchem článku (vnějším povrchem hliníkové vrstvy) a chladivem je $28400 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

T.41 Požár

Policie vyšetřuje příčiny požáru dřevostavby. Jednou z možných variant je špatná elektroinstalace (sít' 230 V). Vypočtete, zda mohlo dojít k roztavení izolace elektrického kabelu o průřezu $2,5 \text{ mm}^2$, byla-li jeho délka 24 m a bylo-li na něj napojeno 5 zařízení o celkovém příkonu 2,4 kW (měrný elektrický odpor drátu je $1,78 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$). K porušení izolace dojde, přesáhne-li její teplota hodnotu 90°C . Izolace kabelu měla tloušťku 0,4 mm. Kabel byl uložen uprostřed stěny dřevostavby, jejíž tloušťka byla 8 cm. Při započítávání tepelného odporu stěny dřevostavby pracujte s ekvivalentním odporem válcové stěny (vnější průměr je roven tloušťce stěny), jehož velikost je rovna 0,92 násobku tepelného odporu poloviny rovinné stěny dřevostavby. Z vnějších stran stěny stavby předpokládejte volnou konvekci se součinitelem přestupu tepla $5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Teplota vzduchu v místnosti byla 28°C . Kromě teploty izolace stanovte i maximální velikost elektrického proudu, který drátem procházel při zapnutí všech spotřebičů a velikost generovaného tepla.

	Drát	Izolace	Stěna domu
Součinitel tepelné vodivosti	$393 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0,406 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0,21 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

T.42 Součinitel přestupu tepla

Dlouhý měděný drát o průměru 6 mm byl vložen do proudu vzduchu o teplotě 38 °C. Po 30 sekundách vzrostla průměrná teplota drátu z 10 °C na 27 °C. Určete střední součinitel přestupu tepla ze vzduchu do drátu.

Budete potřebovat termofyzikální a transportní vlastnosti mědi a vzduchu?

Čistá měď při teplotě 20 °C: hustota 8930 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 386 J kg⁻¹ K⁻¹, součinitel tepelné vodivosti 398 W m⁻¹ K⁻¹.

T.43 Sterilace hrášku

Plechovka s hráškem je sterilována v proudu suchého vzduchu o rychlosti 10 m s^{-1} a teplotě 120°C . Plechovka má průměr 10 cm a výšku 15 cm a její osa je orientována kolmo ke směru nabíhajícího proudu vzduchu. Budeme-li předpokládat, že náplň (hrášek v nálevu) je možno považovat za homogenní a izotropní prostředí, pak je součinitel tepelné vodivosti hrášku v nálevu $0,31 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, měrná tepelná kapacita $1820 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a hustota 995 kg m^{-3} . Jaká bude nejnižší teplota v plechovce za dvě hodiny od začátku ohřevu, byla-li počáteční teplota obsahu plechovky 20°C ? Při výpočtech uvažujte hodnotu součinitele přestupu tepla na čelech plechovky stejnou jako na válcovém povrchu plechovky.

T.44 Sterilace hrášku 2

Plechovka s hráškem je sterilována v proudu suchého vzduchu o rychlosti 10 m s^{-1} a teplotě 120°C . Plechovka má průměr 10 cm a výšku 15 cm a její osa je orientována kolmo ke směru nabíhajícího proudu vzduchu. Budeme-li předpokládat, že náplň (hrášek v nálevu) je možno považovat za homogenní a izotropní prostředí, pak je součinitel tepelné vodivosti hrášku v nálevu $0,31 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, měrná tepelná kapacita $1,82 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a hustota 995 kg m^{-3} . Za jak dlouho přesáhla nejnižší teplota v plechovce hodnotu 80°C , byla-li počáteční teplota obsahu plechovky 20°C ? Při výpočtech uvažujte hodnotu součinitele přestupu tepla na čelech plechovky stejnou jako na válcovém povrchu plechovky.

T.45 Tepelné ztráty potrubí

Určete velikost tepelných ztrát přímého úseku parovodního potrubí o délce 50 m a vnějším průměru 200 mm. Potrubí je umístěno vně budovy. Při výpočtu předpokládejte, že teplota stěny potrubí je po celé délce potrubí konstantní a je rovna 140 °C a potrubí je ochlazováno chladným vzduchem o teplotě 20 °C proudícím kolmo na podélnou osu potrubí rychlostí 15 m s⁻¹.

Určete tloušťku izolace tohoto potrubí tak, abyste zmenšili velikost tepelných ztrát na polovinu. Součinitel tepelné vodivosti minerální vaty je 0,035 W m⁻¹ K⁻¹.

Zanedbejte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení/ochlazení v blízkosti potrubí. Při výpočtu tloušťky izolace předpokládejte, že na povrchu potrubí bude stejný součinitel přestupu tepla, jako v případě bez izolace.

T.46 Tepelné ztráty potrubí 2

Určete velikost tepelných ztrát přímého úseku parovodního potrubí o délce 50 m a vnějším průměru 200 mm. Potrubí je umístěno vně budovy. Při výpočtu předpokládejte, že teplota stěny potrubí je po celé délce potrubí konstantní a je rovna 140 °C a potrubí je ochlazováno chladným vzduchem o teplotě 20 °C proudícím kolmo na podélnou osu potrubí rychlostí 15 m s⁻¹.

Určete tloušťku izolace tohoto potrubí tak, abyste zmenšili velikost tepelných ztrát na setinu původní hodnoty. Součinitel tepelné vodivosti minerální vaty je 0,035 W m⁻¹ K⁻¹.

Zanedbejte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení/ochlazení v blízkosti potrubí. Při výpočtu tloušťky izolace předpokládejte, že na povrchu potrubí bude stejný součinitel přestupu tepla, jako v případě bez izolace. Nezapomeňte, že výraz pro konduktivní termický odpor rovinné stěny $\delta/\lambda S$ můžete použít pouze v případě, že tloušťka válcové stěny je mnohem menší než její poloměr.

T.47 Teplovod

Teplovod mezi elektrárnou Opatovice a Pardubicemi je tvořen ocelovým potrubím o vnitřním průměru 1000 mm. Tloušťka stěny je 20 mm. Potrubí je izolováno vrstvou izolace o tloušťce 250 mm. Součinitel tepelné vodivosti izolace je $0,03 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Potrubím proudí horká voda o teplotě 160°C . Vně potrubí proudí kolmo k ose potrubí vzduch o teplotě 20°C rychlostí 3 m s^{-1} . Potrubí je dlouhé 12 km a střední doba prodlení částic vody v potrubí je 8 hod. Spočítejte hustotu ztrátového tepelného toku vztaženou na povrch vnitřní stěny trubky a odhadněte o kolik se ochladí voda během své cesty potrubím.

Střední doba prodlení je podíl objemu systému a objemového průtoku.

Parametry suchého vzduchu při teplotě 20°C : hustota $1,1887 \text{ kg m}^{-3}$, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku $1,006 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, součinitel tepelné vodivosti $0,0256 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, kinematická viskozita $15,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, Prandtlovo číslo 0,71. Parametry syté vody při teplotě 160°C : hustota $907,4 \text{ kg m}^{-3}$, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku $4,342 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, součinitel tepelné vodivosti $0,682 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, kinematická viskozita $0,189 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, Prandtlovo číslo 1,09.

T.48 Teplovzdušná pistole

Topné těleso teplovzdušné pistole o výkonu 1500 W je vyrobeno z odporového drátu o průměru 1 mm. Zkontrolujte povrchovou teplotu odporového drátu a jeho maximální teplotu. Předpokládejte, že okolo topného tělesa proudí suchý vzduch o teplotě 20 °C rychlostí 10 m s⁻¹.

Sdílení tepla zářením neuvažujte. Při výpočtu zanedbejte změnu termofyzikálních vlastností suchého vzduchu vlivem jeho oteplení odporovým drátem. Pistole je připojena do standardní jednofázové rozvodné sítě.

Při výpočtu použijte následující parametry topného odporového drátu: měrný elektrický odpor $1,428 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ m}$ a součinitel tepelné vodivosti 20 W m⁻¹ K⁻¹.

T.49 Trolejové vedení

Stanovte proud, který může protékat vodičem měděného trolejového vedení o průřezu 100 mm^2 během klidné jarní noci v případě, že povolené oteplení povrchu vodiče vlivem průtoku elektrického proudu je $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota klidného okolního prostředí je $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Určete současně velikost součinitele přestupu tepla na povrchu vodiče. Neuvažujte sdílení tepla zářením.

Velikost měrného elektrického odporu mědi je $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega \text{ m}$ a velikost součinitele tepelné vodivosti mědi je $393 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

T.50 Trubkový odporový ohříváč

Nerezovou trubkou o délce 5 m, vnitřním průměru 25 mm a tloušťce stěny 2 mm protéká voda s hmotnostním průtokem 1 kg s^{-1} . Určete velikost elektrického proudu, který musí protékat stěnou trubky tak, aby se protékající voda ohřála z teploty 20°C na teplotu 40°C . Určete též velikost střední povrchové teploty na vnitřní stěně trubky (určete ji pro případ, že trubkou protéká kapalina se střední teplotou a v tomto případě neuvažujte křivost stěny trubky a považujte ji za rovinnou stěnu). Vnější plocha nerezové trubky je od okolí dokonale tepelně izolována, tj. zanedbejte ztráty do okolí a dále neuvažujte ani vliv teploty na změnu termofyzikálních vlastností vody.

	Ocel 17 249	Voda při 30°C
Měrný elektrický odpor	$72 \mu\Omega \text{ cm}$	
Součinitel tepelné vodivosti	$15 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0,618 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku	$0,502 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$4,178 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Hustota	7900 kg m^{-3}	996 kg m^{-3}
Kinematická viskozita		$0,801 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

T.51 Trubkový odporový ohříváč 2

Nerezovou trubkou o délce 5 m, vnitřním průměru 25 mm a tloušťce stěny 2 mm protéká voda s hmotnostním průtokem 1 kg s^{-1} . Určete velikost elektrického proudu, který musí protékat stěnou trubky tak, aby se protékající voda ohřála z teploty 20°C na teplotu 40°C . Určete též velikost střední povrchové teploty na vnitřní stěně trubky (určete ji pro případ, že trubkou protéká kapalina se střední teplotou a v tomto případě, budete-li potřebovat, neuvažujte křivost stěny trubky a považujte ji za rovinnou stěnu). Vnější plocha nerezové trubky je od okolí dokonale tepelně izolována, tj. zanedbejte ztráty do okolí a dále neuvažujte ani vliv teploty na změnu termofyzikálních vlastností vody. Učiníte-li jakékoliv předpoklady, předpoklady запиšte a zdůvodněte.

	Ocel 17 249	Voda při 30°C
Měrný elektrický odpor	$72 \mu\Omega \text{ cm}$	
Součinitel tepelné vodivosti	$15 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0,618 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku	$0,502 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$4,178 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Hustota	7900 kg m^{-3}	996 kg m^{-3}
Kinematická viskozita		$0,801 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

T.52 Vrháčské náčiní

Pro vrh koulí se v mužském odvětví používají koule o hmotnosti 7,26 kg a průměru 13 cm. Při jejich výrobě je třeba dochlazovat koule z teploty 170 °C na teplotu 50 °C (teplota nejteplejšího místa v kouli je právě 50 °C). Ochlazení se děje ofukováním koule vzduchem, který má teplotu 20 °C a rychlost 5 m s⁻¹. Určete, jak dlouho musí být koule ofukována, aby došlo k požadovanému snížení teploty. Ověřte také, že povrchová teplota koule na konci procesu chlazení bude nižší než 35 °C. Při výpočtu rovněž určete velikost středního součinitele konvektivního přenosu tepla a navrhnete postup výpočtu tepla, které je nutné z koule odebrat při jejím chlazení během stanovené doby ochlazování. Při řešení neuvažujte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení koulí.

Při výpočtu budete možná potřebovat následující termofyzikální vlastnosti ocelové koule: hustota 7870 kg m⁻³, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 0,5 kJ kg⁻¹ K⁻¹ a součinitel tepelné vodivosti 42 W m⁻¹ K⁻¹.

T.53 Výměník tepla

V protiproudém výměníku typu trubka v trubce se chladí 100 kg h^{-1} vody z teploty 80°C na teplotu 70°C chladícím vzduchem. K dispozici je chladicí vzduch o teplotě 20°C , který se může ohřát až na teplotu 60°C . Stanovte potřebné množství chladicího vzduchu, který proudí vnější trubkou. Dále stanovte součinitel přestupu tepla na 1 m délky výměníku, součinitel prostupu tepla vztažený na 1 m^2 vnějšího povrchu vnitřní trubičky s vodou, potřebnou teplosměnnou plochu a délku trubky. Vnitřní průměr vnitřní trubičky je 5 mm, vnější průměr vnitřní trubičky je 6 mm. Vnitřní průměr vnější trubky je 120 mm. Tepelná vodivost stěny trubičky je $300 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Součinitel přestupu tepla na vnější straně vnitřní trubičky je $15 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Při výpočtu uvažujte střední hodnotu termofyzikálních veličin pro zadané teploty proudu.

T.54 Výměník tepla 2

V souproudém výměníku tepla typu trubka v trubce se chladí 10000 kg h^{-1} kapaliny z teploty 90°C na teplotu 40°C chladicí vodou o teplotě 25°C . Kapalina proudí vnitřní trubicí o vnějším průměru 50 mm s tloušťkou stěny 2 mm . Chladicí voda proudí vně. Výměník je nerezový (součinitel tepelné vodivosti $15 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Stanovte spotřebu chladicí vody, nemá-li být její ohřátí ve výměníku vyšší než 10°C . Dále určete součinitel prostupu tepla vztažený na 1 m^2 vnější plochy vnitřní trubky, tepelný výkon výměníku a potřebnou teplosměnnou plochu. Součinitel přestupu tepla na vnější straně vnitřní trubky je $4850 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

	Parametry kapaliny	Parametry chladicí vody
Součinitel tepelné vodivosti	$0,314 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0,618 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku	$2,74 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$4,18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Hustota	850 kg m^{-3}	995 kg m^{-3}
Dynamická viskozita	$1,24 \text{ mPa s}$	$0,8 \text{ mPa s}$

T.55 Výměník tepla 3

Stanovte množství topné páry o teplotě $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ potřebné k ohřevu 900 kg h^{-1} anilinu z teploty $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve výměníku typu trubka v trubce. Anilin proudí vnitřní trubkou o vnějším průměru 20 mm s tloušťkou stěny 1 mm . Pára kondenzuje vně. Dále stanovte potřebnou teplosměnnou plochu a délku výměníku (délku na vývin profilu neuvažujte). Součinitel tepelné vodivosti trubky je $393\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$.

Fyzikální vlastnosti anilinu: součinitel tepelné vodivosti $0,169\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku $2,19\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$, hustota 955 kg m^{-3} a dynamická viskozita $0,8\text{ mPa s}$.

Výparné teplo vody při teplotě $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ je 2202 kJ kg^{-1} .

T.56 Výměník tepla 4

V protiproudém výměníku typu trubka v trubce se chladí 11880 kg h^{-1} metanolu z teploty 64°C na teplotu 30°C chladicí vodou o teplotě 25°C . Metanol proudí ve vnitřní trubce o vnějším průměru 54 mm s tloušťkou stěny 2 mm . Chladicí voda proudí v mezikruží jehož vnitřní průměr je 75 mm . Stanovte spotřebu chladicí vody, nemá-li ohřátí chladicí vody být vyšší než 15°C . Dále stanovte součinitel prostupu tepla vztažený na 1 m délky, součinitel prostupu tepla vztažený na 1 m^2 vnějšího povrchu, potřebnou teplosměnnou plochu a potřebnou délku trubek. Předpokládejte vyvinutý rychlostní a teplotní profil. Pro přestup tepla při turbulentním proudění mezikruhovou šterbinou (dle Kutatěladze, Borišanskij) můžete použít korelaci $Nu = 0,015Re^{0,8}Pr^{0,4}(D_2/D_1)^{0,25}$, kde D_2 je vnější průměr mezikruží a D_1 vnitřní průměr mezikruží.

	Parametry metanolu	Parametry chladicí vody
Součinitel tepelné vodivosti	$0,314 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0,618 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku	$2,74 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$4,18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Hustota	850 kg m^{-3}	995 kg m^{-3}
Dynamická viskozita	$1,24 \text{ mPa s}$	$0,8 \text{ mPa s}$

T.57 Výměník tepla 5

V trubce o průměru 0,1 m a délce 10 m protéká voda (samozřejmě by to mohla být jakákoliv jiná látka - mléko, ...) s hmotnostním průtokem $0,02 \text{ kg s}^{-1}$. Teplota vody na vstupu do trubky je 200°C . Stěna trubky je udržována na konstantní teplotě 5°C . Určete průběh střední kalorimetrické teploty podél trubky a spočítejte výstupní teplotu. Při výpočtu zanedbejte změnu vlastností vody v závislosti na teplotě.

Budete potřebovat termofyzikální a transportní vlastnosti vody? Parametry syté vody při teplotě 200°C : hustota $864,7 \text{ kg m}^{-3}$, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku $4,497 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, součinitel tepelné vodivosti $0,665 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, kinematická viskozita $0,158 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, Prandtlovo číslo 0,92. Parametry syté vody při teplotě 100°C : hustota $958,4 \text{ kg m}^{-3}$, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku $4,216 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, součinitel tepelné vodivosti $0,682 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, kinematická viskozita $0,295 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, Prandtlovo číslo 1,75. Parametry syté vody při teplotě 20°C : hustota $998,2 \text{ kg m}^{-3}$, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku $4,182 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, součinitel tepelné vodivosti $0,604 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, kinematická viskozita $1,004 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, Prandtlovo číslo 6,94.

T.58 Zakalíme, popustíme

Ocelový hřídel (7790 kg m^{-3} , $500 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $48 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) o průměru 25 mm a délce 500 mm byl ohřát během normalizačního žíhání na teplotu 920°C . Ochlazování hřídele normálně probíhá jeho pomalým chladnutím v prostředí klidného vzduchu o teplotě 20°C . Kolem hřídele však náhodou na začátku ochlazování začal proudit vzduch rychlostí 10 m s^{-1} kolmo na osu hřídele. Technologové potřebují určit maximální rychlosti poklesu teploty hřídele během jeho ochlazování. Spočítejte také jak dlouho bude trvat ochlazování hřídele v případě, že jste ochotni vzít do rukou součást o teplotě 50°C a také energii, kterou jste předali okolnímu vzduchu. Při výpočtu zanedbejte vliv změny termofyzikálních vlastností vzduchu s teplotou. Ověřte platnost podmínek řešení.

T.59 Zakalíme, popustíme 2

Ocelový hřídel (7790 kg m^{-3} , $500 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $48 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) o průměru 25 mm a délce 500 mm má být ohřát během žíhání naměkko z jeho počáteční teploty 25°C na teplotu 650°C . K ohřevu dochází konvektivním přenosem tepla ze vzduchu o teplotě 1000°C ($0,273 \text{ kg m}^{-3}$, $1193 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $0,0791 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $175 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$). Ohřev probíhá v konvektivní peci, kde proudí horký vzduch rychlostí 20 m s^{-1} kolmo na osu hřídele. Spočítejte jak dlouho bude trvat ohřev hřídele a jaká bude cena energie potřebná pro ohřev v případě, že jedna kWh stojí 1 Kč. Při výpočtu zanedbejte vliv změny termofyzikálních vlastností vzduchu s teplotou a také tepelné ztráty pece. Ověřte platnost podmínek řešení.

T.60 Zakalíme, popustíme 3

Určete dobu potřebnou k ohřátí ocelového hřídele o průměru 50 mm (7790 kg m^{-3} , $500 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $48 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) a délce 230 mm z počáteční teploty 20°C na žíhací teplotu 450°C (nejchladnější místo má teplotu právě 450°C). Ohřev se provádí v konvektivní peci ofukováním hřídele vzduchem, který má teplotu 530°C a rychlost 5 m s^{-1} . Jaká je velikost středního součinitele konvektivního přenosu tepla α (pro jeho výpočet vyberte vhodný vztah z přiložených podkladů). Spočítejte také celkové množství tepla, které bylo nutno z hřídele odebrat. Při řešení neuvažujte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu vlivem jeho oteplení hřídelem.

T.61 Žíhací pec

Stěna pece o rozměrech 8 m x 4 m x 3 m (délka x šířka x výška) se skládá z vrstvy žárovzdorných šamotových cihel o tloušťce 40 cm, vrstvy stavebních cihel o tloušťce 25 cm, vrstvy izolace (skleněná vlna) o tloušťce 60 mm a vnějšího krycího ocelového plechu tloušťky 1 mm. V peci je dosaženo teploty 650 °C, teplota okolního prostředí je 25 °C. Součinitel přestupu tepla mezi stěnou a prostředím v peci stanovte dle vztahu $\alpha = 15 + 0,105(T/100)^3$, kde α ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) je součinitel přestupu tepla při teplotě T (K) v peci. Součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu pece uvažujte $10 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Určete součinitel prostupu tepla, teplotu povrchu pece, celkové tepelné ztráty pece a zkontrolujte, jaká by měla být hodnota součinitele přestupu tepla na vnějším povrchu pece vlivem přirozené konvekce.

	Šamotové cihly	Stavební cihly	Izolace	Plech
Souč. tepelné vodivosti	1,28 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	0,29 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	0,04 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	48 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T.62 Žíhací pec 2

Stěna pece o rozměrech 8 m x 4 m x 3 m (délka x šířka x výška) se skládá z vrstvy žárovzdorných šamotových cihel o tloušťce 40 cm, vrstvy stavebních cihel o tloušťce 25 cm, vrstvy izolace (skleněná vlna) o tloušťce 60 mm a vnějšího krycího ocelového plechu tloušťky 1 mm. V peci je dosaženo teploty 650 °C, teplota okolního prostředí je 25 °C. Součinitel přestupu tepla mezi stěnou a prostředím v peci stanovte dle vztahu $\alpha = 15 + 0,105(T/100)^3$, kde α ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) je součinitel přestupu tepla při teplotě T (K) v peci. Součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu pece uvažujte $10 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Určete celkový součinitel prostupu tepla, teplotu povrchu pece a celkové tepelné ztráty pece (předpokládejte, že podstava pece je dokonale izolovaná).

	Šamotové cihly	Stavební cihly	Izolace	Plech
Souč. tepelné vodivosti	1,28 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	0,29 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	0,04 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	48 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T.63 Žíhací pec 3

Stěna pece o rozměrech 8 m x 4 m x 3 m (délka x šířka x výška) se skládá z vrstvy žáruvzdorných šamotových cihel o tloušťce 40 cm, vrstvy stavebních cihel o tloušťce 25 cm, vrstvy izolace (skleněná vlna) o tloušťce 60 mm a vnějšího krycího ocelového plechu tloušťky 1 mm. V peci je dosaženo teploty 960 °C, teplota okolního prostředí je 25 °C. Součinitel přestupu tepla mezi stěnou a prostředím v peci stanovte dle vztahu $\alpha = 15 + 0,105(T/100)^3$, kde α ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) je součinitel přestupu tepla při teplotě T (K) v peci. Součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu pece uvažujte $10 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Určete součinitel prostupu tepla, teplotu povrchu pece, celkové tepelné ztráty pece a zkontrolujte, jaká by měla být hodnota součinitele přestupu tepla na vnějším povrchu pece vlivem přirozené konvekce.

	Šamotové cihly	Stavební cihly	Izolace	Plech
Souč. tepelné vodivosti	1,28 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	0,29 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	0,04 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	48 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T.64 Žíhací pec 4

Stěna pece se skládá z vrstvy žáruvzdorných šamotových cihel, vrstvy izolace a vnějšího krycího ocelového plechu tloušťky 1 mm. Teplota uvnitř pece je 900 °C. Teplota okolního prostředí 30 °C. Součinitel přestupu tepla uvnitř pece je $50 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, součinitel přestupu tepla na povrchu pece je $15 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Maximální teplota izolace nesmí přesáhnout 700 °C. Maximální teplota vnějšího povrchu pece nesmí překročit 60 °C. Vypočtete tloušťku žáruvzdorné vyzdívky, tloušťku vrstvy izolace, tepelné ztráty na 1 m^2 plochy pece a tepelné ztráty celé pece, jsou-li její rozměry $4 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$.

Termofyzikální vlastnosti: součinitel tepelné vodivosti pro žáruvzdorné cihly je $1,28 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, struskovou vlnu je $0,07 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a ocelový plech je $48 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

D.1 Stavíme bazén v baráku

Pro správný návrh otopné soustavy a izolace rodinného domu s vnitřním bazénem je zapotřebí znát hodnotu součinitele difúze vodní páry do vzduchu (kvůli odpařování vody z bazénu). Použitím výsledků z experimentu stanovte hodnotu difúzního součinitele. Experimentální zkumavka je naplněna vodou. Tato zkumavka je uložena do prostředí, kde cirkuluje suchý vzduch. Teplota experimentální sestavy je $54\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlak 101325 Pa . Na počátku experimentu byla vzdálenost hladiny vody od ústí zkumavky 127 mm . Stanovte hodnotu součinitele difúze vodní páry do vzduchu, poklesne-li hladina vody ve zkumavce za 290 h o 25 mm . Dále stanovte molární hustotu směsi a molární zlomek vodních par nad hladinou. Tlak nasycených par vodní páry je 15 kPa . Molární hmotnost vody $18,016\text{ kg kmol}^{-1}$ a měrný objem vodní páry je $1,014 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$.

D.2 Benzinová kaluž

Při neopatrné manipulaci s připojovací trubicí došlo při doplňování paliva do zásobníku benzinové stanice k úniku benzínu a jeho rozlití na rovinnou plochu přibližně čtvercového tvaru o délce strany 6 m. Výška vrstvy rozlitého benzínu byla 4 mm. Rovnoběžně s délkou strany čtvercové plochy vál vánek o rychlosti 3 km h^{-1} . Určete hodnotu součinitele přestupu hmoty na povrchu benzinové kaluže. Stanovte rychlost odpařování benzínu a také dobu potřebnou k úplnému odpaření benzínu při teplotě vzduchu i benzínu 20°C .

Při výpočtu použijte následující vlastnosti benzínu (směs uhlovodíků tvořící benzin nahrad'te vlastnostmi iso-oktanu C_8H_{18}): molární hmotnost $0,1142 \text{ kg mol}^{-1}$, tlak nasycených par při teplotě 20°C je 5150 Pa , hustota syté kapaliny při této teplotě je $692,4 \text{ kg m}^{-3}$ a součinitel difuze do vzduchu $5,76 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

D.3 Benzinová kaluž 2

Při neopatrné manipulaci s připojovací trubicí došlo při doplňování paliva do zásobníku benzinové stanice k úniku benzínu a jeho rozlití na rovinnou plochu přibližně čtvercového tvaru o délce strany 8 m. Výška vrstvy rozlitého benzínu byla 5 mm. Rovnoběžně s délkou strany čtvercové plochy váleček o rychlosti 3 km h^{-1} . Určete dobu potřebnou k úplnému odpaření benzínu při teplotě vzduchu i benzínu 20°C .

Při výpočtu použijte následující vlastnosti benzínu (směs uhlovodíků tvořící benzin nahrad'te vlastnostmi iso-oktanu C_8H_{18}): molární hmotnost $0,1142 \text{ kg mol}^{-1}$, tlak nasycených par při teplotě 20°C je 5150 Pa , hustota syté kapaliny při této teplotě je $692,4 \text{ kg m}^{-3}$ a součinitel difuze do vzduchu $5,76 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

D.4 Brikety

Výrobce dřevěných briket DŘEBRI veze na nákladním autě brikety o průměru 10 cm a délce 50 cm. Porézní brikety jsou dokonale suché, když náhle začne pršet. Jaká bude vlhkost v geometrickém středu briket po hodinovém vytrvalém dešti? Efektivní difuzní součinitel je $1,25 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

Relativní vlhkost je definována jako podíl parciálního tlaku vodní páry a tlaku nasycených par vody pro danou teplotu, tj. $\varphi = p_w/p_w''$.

D.5 Kapky deště

Ve výšce 600 m nad zemí se vytvořila kupovitá oblačnost, ze které začalo pršet. První kapky vody, které dopadaly na zem měly před dopadem průměr 3 mm. Odhadněte (s pomocí výpočtu), jaká byla okamžitá rychlost odpařování vody z kapičky do vzduchu za předpokladu, že rychlost pádu kapky je 420 cm s^{-1} , průměrná relativní vlhkost vzduchu 60 % a teplota vody i vzduchu 10°C . Atmosférický tlak měl v danou chvíli hodnotu 998,6 kPa. Parciální tlak syté vodní páry lze stanovit z rovnice $\log p'' = 10,196213 - 1730,63/(T + 233,426)$, kde tlak je v Pa a teplota ve $^\circ\text{C}$. Difúzní součinitel vody ve vzduchu je $0,292 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Určete, jaké množství vody by ubylo z kapky během jejího pádu k zemi, pokud bychom předpokládali, že se nemění vlastnosti vzduchu, ani průměr kapky. Z úbytku hmotnosti pak odhadněte, jaký průměr měla kapka při pádu z mraku.

D.6 Difúzní součinitel

Difúzní součinitel dvojice plynů kyslík – chlorid uhličitý byl měřen s pomocí pozorování ustáleného stavu při vypařování chloridu uhličitého do trubky naplněné kyslíkem. Průřez trubky je $0,82 \text{ cm}^2$ a vzdálenost mezi hladinou kapalného chloridu uhličitého a horním okrajem trubky vyplněné kyslíkem byla $17,1 \text{ cm}$. Během měření bylo zjištěno, že po dosažení ustáleného stavu se vypařilo za 10 hodin $0,0208 \text{ cm}^3$ chloridu uhličitého. Celkový tlak v systému byl $100,6 \text{ kPa}$ a teplota 0°C . Tlak nasycených par chloridu uhličitého při této teplotě je 4400 Pa . Stanovte difúzní součinitel dvojice plynů chlorid uhličitý – kyslík?

Vlastnosti chloridu uhličitého CCl_4 : molární hmotnost 154 kg kmol^{-1} , hustota $1,59 \text{ g cm}^{-3}$ při teplotě 0°C .

D.7 Součinitel difuze

Při výpočtech přenosu hmoty je jednou ze základních veličin součinitel difuze $\mathcal{D}_{AB}$. Měření součinitele difuze v binárních plynných směsích bylo provedeno s pomocí měření poklesu hladiny v tenké trubici naplněné měřenou kapalinou. Jaký je difuzní součinitel acetonu $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ do vzduchu při teplotě $20\text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku 101325 Pa , byl-li v trubici naměřen pokles hladiny acetonu za jednu hodinu od počátku měření o $1,9\text{ mm}$. Počáteční vzdálenost hladiny k hrdlu trubice byla 11 mm . Tlak nasycených par acetonu při teplotě měření je 24646 Pa , jeho hustota 791 kg m^{-3} a molární hmotnost $0,05808\text{ kg mol}^{-1}$. Uveďte také stručně předpoklady vašeho řešení (co a do čeho difunduje, jaké předpokládáte koncentrace, ...)

D.8 Součinitel difuze 2

Při výpočtech přenosu hmoty je jednou ze základních veličin součinitel difuze $\mathcal{D}_{AB}$. Měření součinitele difuze v binárních plynných směsích bylo provedeno s pomocí měření poklesu hladiny v tenké trubici naplněné měřenou kapalinou. Jaký je difuzní součinitel acetonu $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ do vzduchu při teplotě 20°C a tlaku 101325 Pa , byl-li v trubici naměřen pokles hladiny acetonu za jednu hodinu od počátku měření o $1,9\text{ mm}$. Počáteční vzdálenost hladiny k hrdlu trubice byla 11 mm . Tlak nasycených par acetonu při teplotě měření je 24646 Pa , jeho hustota 791 kg m^{-3} a molární hmotnost $0,05808\text{ kg mol}^{-1}$.

Určete velikost difuzního součinitele pro případ kdy budete uvažovat zanedbatelnou složku konvektivního pohybu hmoty (stejně jako v případě malých koncentrací) a pak pro případ kdy tuto složku nezanedbáte. Jistě si bohužel pamatujete, že v tomto případě (jednosměrná difuze) je možné celkovou hustotu molárního toku složky vyjádřit s pomocí vztahu

$$N_{Az} = \frac{c\mathcal{D}_{AB}}{z_2 - z_1} \ln \frac{1 - x_{A2}}{1 - x_{A1}}.$$

Při výpočtu předpokládejte, že koncentrace difundující látky v blízkosti ústí trubice je zanedbatelná, koncentrační profil se obnovuje rychleji než je rychlost poklesu hladiny a vzduch nepřechází přes hladinu do kapalného roztoku.

D.9 Dopravní nehoda

Při dopravní nehodě cisterny převážející palivo došlo k proražení boku cisterny a úniku paliva na vozovku. Palivo utvořilo souvislou vrstvu přibližně obdélníkového tvaru podél okraje vozovky. Výška této vrstvy byla 10 mm, délka 30 m a šířka 1,5 m. Určete, kolik paliva vydifundovalo z vozovky za dobu 2 hodin, než bylo započato s jeho odstraňováním. Teplota vzduchu i benzinu byla 20 °C. Ve směru silnice vál po celou dobu vítr o rychlosti 36 km h⁻¹. Při výpočtu také určete, jaká byla hustota hmotnostního toku benzinu do vzduchu a jakou hodnotu měl v danou chvíli součinitel přestupu hmoty mezi povrchem benzinové kaluže a okolním vzduchem.

Při výpočtu použijte následující vlastnosti benzinu (směs uhlovodíků tvořící benzin lze nahradit vlastnostmi iso-oktanu C₈H₁₈): molární hmotnost 0,1142 kg mol⁻¹, tlak nasycených par při teplotě 20 °C je 5150 Pa, hustota syté kapaliny při této teplotě 692,4 kg m⁻³, součinitel difuze do vzduchu 5,76 · 10⁻⁶ m² s⁻¹.

D.10 Dopravní nehoda 2

Při dopravní nehodě cisterny převážející palivo došlo k proražení boku cisterny a úniku paliva na vozovku. Palivo utvořilo souvislou vrstvu obdélníkového tvaru podél okraje vozovky. Výška této vrstvy byla 10 mm, délka 50 m a šířka 1 m. Určete, kolik paliva se odpařilo z vozovky za dobu 2 hodin, než bylo započato s jeho odstraňováním. Teplota vzduchu i benzinu byla 20 °C. Ve směru silnice vál po celou dobu vítr o rychlosti 36 km h⁻¹. Při výpočtu rovněž určete, jaká byla rychlost odpařování benzinu a uveďte, jaká byla v danou chvíli hodnota součinitele přestupu hmoty mezi povrchem benzinové kaluže a okolním vzduchem.

Při výpočtu použijte následující vlastnosti benzinu (směs uhlovodíků tvořící benzin lze nahradit vlastnostmi iso-oktanu C₈H₁₈): molární hmotnost 0,1142 kg mol⁻¹, tlak nasycených par při teplotě 20 °C je 5150 Pa, hustota syté kapaliny při této teplotě 692,4 kg m⁻³, součinitel difuze do vzduchu 5,76 · 10⁻⁶ m² s⁻¹.

D.11 Ekologický diletant

Neopatrný motorista rozlil při doplňování nádrže svého oblíbeného automobilu benzín na rovinnou neporézní podlahu garáže. Benzínová kaluž měla přibližně čtvercový tvar o ploše $0,25 \text{ m}^2$. Tloušťka kaluže byla 2 mm . V prostorách garáže, kde k incidentu došlo, je stálá teplota 20°C a v prostorách proudí neustále, prakticky konstantní rychlostí, čerstvý vzduch o stejné teplotě. Během jednoho dne došlo k *úplnému odpaření* kaluže. Vypracujte znalecký posudek, který by měl ozřejmit, jestli je možné, že k odpaření kaluže došlo přirozeným způsobem.

Při výpočtu použijte následující vlastnosti benzinu (směs uhlovodíků tvořící benzin nahrad'te vlastnostmi iso-oktanu C_8H_{18}): molární hmotnost $0,1142 \text{ kg mol}^{-1}$, tlak nasycených par při teplotě 20°C je 5150 Pa , hustota syté kapaliny při této teplotě je $692,4 \text{ kg m}^{-3}$ a součinitel difuze do vzduchu $5,76 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

D.12 Vyluhování kofeinu

Kofein je vyluhován z kávových zrn organickým rozpouštědlem. Vypočtete dobu potřebnou k tomu, aby se obsah kofeinu snížil na 10 % původní hodnoty, jestliže efektivní difuzní součinitel je $1,8 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a kávová zrna mají tvar koule s průměrem 3 mm. Efektivní součinitel přestupu hmoty na povrchu kávových zrn je $9 \cdot 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$.

Při výpočtu uvažujte zjednodušený model vyluhování kofeinu kdy dojde k okamžitému vytvoření počátečního spojitého konstantního profilu kofeinu v rozpouštědle v celém zrně (toto lze předpokládat v případě rychlého nasycení zrna rozpouštědlem a rychlého rozpuštění kofeinu v rozpouštědle). Následně pak dochází k nestacionární difuzi kofeinu rozpouštědlem ze zrna do volného proudu rozpouštědla (v případě reálného procesu zmíněné fáze probíhají současně).

Vzhledem k tomu, že řešení nestacionárního přenosu hmoty je vyjádřeno v bezrozměrné formě pomocí bezrozměrných čísel, není nutné znát absolutní hodnoty koncentrací, ale stačí znát relativní změnu koncentrace.

D.13 Čokomangokuličky

Před obalením sušeného ovoce do čokolády je nutné kousek ovoce usušit. Jak dlouho musíme sušit kuličku manga (vykrojenou z plodnice), která má počáteční vlhkost $50 \times 10^{-4} \text{ kmol m}^{-3}$ vody na konečnou vlhkost vody $15 \times 10^{-4} \text{ kmol m}^{-3}$ v proudu sušicího vzduchu o teplotě 60°C , difúzním součiniteli $6 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a součiniteli přestupu hmoty $9 \times 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$. Průměr kuličky je 13 mm. Předpokládejte, že proudící vzduch je zcela suchý. Jak se změní doba sušení, když bude mít vzduch 10% relativní vlhkost? Tlak nasycených vodních par můžete spočítat ze vztahu $\ln p'' = 23,58 - 4044,2 / (235 + T)$ kde tlak dosazujeme v Pa a teplotu ve stupních Celsia.

D.14 Suchá sklenice

Po vymytí sklenice, která má tvar válce o vnitřním průměru 45 mm a vzdálenost horního okraje ode dna 17 cm, zůstala na jejím dně vrstvička vody o výšce 0,1 mm. Vypočtěte, jak dlouho bude trvat, než tato vrstvička vody vydifunduje do okolní atmosféry za předpokladu, že teplota vody i vzduchu v místnosti je 20 °C a relativní vlhkost vzduchu (poměr parciálního tlaku a tlaku sytých par vody ve vzduchu) je 40 %. Hodnota difúzního součinitele voda–vzduch je $0,244 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Pro určení tlaku sytých par vody můžete použít Antoineovu rovnici ve tvaru $\log p'' = 7,19621 - 1730,63/(T + 233,426)$, kde p'' (kPa) a T (°C). Molární hmotnost vody je $18,02 \text{ kg kmol}^{-1}$ a vzduchu $28,96 \text{ kg kmol}^{-1}$. Případné další chybějící vlastnosti vody či vzduchu naleznete v tabulkách (viz pomocník). Kromě doby odpařování určete také množství vody ve sklenici na počátku, molární hustotu směsi vzduch–voda v plynné fázi, hustotu molárního toku vody do vzduchu a rychlost hmotnostního úbytku vody ve sklenici.

D.15 Páteční večírek

Po večírku zůstala v místnosti na stole sklenice s vodou. Vnitřní průměr sklenice je 45 mm a vzdálenost jejího dna od horního okraje je 17 cm. Voda je ve sklenici naplněna do výšky 12 cm. Vypočtete, kolik vody zmizí ze skleničky díky difúzi, zůstane-li sklenice na stole po dobu 12 hodin za předpokladu, že teplota vody i vzduchu v místnosti bude po celou dobu konstantní 20 °C a relativní vlhkost vzduchu (poměr parciálního tlaku a tlaku sytých par vody ve vzduchu) bude 40 %. Hodnota difúzního součinitele voda–vzduch je $0,244 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Pro určení tlaku sytých par vody můžete použít Antoineovu rovnici ve tvaru $\log p'' = 7,19621 - 1730,63/(T + 233,426)$, kde p'' (kPa) a T (°C). Molární hmotnost vody je $18,02 \text{ kg kmol}^{-1}$ a vzduchu $28,96 \text{ kg kmol}^{-1}$. Případné další chybějící vlastnosti vody či vzduchu naleznete v tabulkách (viz pomocník). Kromě množství vody, která vydifunduje, určete také změnu výšky hladiny ve sklenici, molární hustotu směsi vzduch–voda v plynné fázi, hustotu molárního toku vody do vzduchu a rychlost hmotnostního úbytku vody ve sklenici.

D.16 Sobotní večírek

Po večírku zůstala v místnosti na stole sklenice s čistým ethanolem. Vnitřní průměr sklenice je 45 mm a ve sklenici zůstalo takové množství ethanolu, že vzdálenost mezi vrchním okrajem a hladinou byla 100 mm. Jaká je v tomto případě počáteční rychlost poklesu hladiny ethanolu ($0,0461 \text{ kg mol}^{-1}$, 789 kg m^{-3}) vlivem difuze za předpokladu, že teplota ethanolu i vzduchu v místnosti bude po celou dobu 20°C . Hodnota difuzního součinitele ethanol–vzduch je $0,115 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Tlak nasycených par ethanolu při dané teplotě je 5870 Pa.

D.17 Zásobník benzenu

V zásobníku, který má tvar svislého válce o vnitřním průměru 4 m se skladuje benzen. Při opravě bylo sňato víko, takže zásobník zůstal po dobu opravy otevřený. Odhadněte, kolik benzenu se odpařilo (jaký byl pokles hladiny v nádrži během opravy), když oprava trvala 72 h. Teplota benzenu byla 15 °C a hladina benzenu byla původně vzdálena od horního okraje zásobníku 50 cm. Předpokládejte, že vrstva plynu uvnitř zásobníku je nehybná a že koncentrace benzenových par nad zásobníkem je zanedbatelná. Hustota benzenu 882,44 kg m⁻³, molární hmotnost 78,114 kg kmol⁻¹ a difúzní součinitel benzenu ve vzduchu $86,63 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Tlak nasycených par můžete spočítat s pomocí Antoineovy rovnice $\log p'' = 6,01907 - 1204,682 / (220,78 + T)$ kde tlak dosazujeme v kPa a teplotu ve stupních Celsia.