

♠¹ 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 . Vypočítejte sílu, kterou musíte působit na desku, abyste překonali síly vazkého tření $3,06 \text{ N}$ a velikost výkonu disipovaného v kapalině $0,306 \text{ W}$. Výsledky porovnejte se silou potřebnou k tažení desky při suchém tření 1500 N , 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°C je 306 mPa s a při teplotě 60°C je 30 mPa s .

♠² Jaké množství tlakového oleje uniká trhlinou do volného prostředí $2,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; 810 l h^{-1} , jestliže vzdálenost ploch tvořících trhlinu je $0,6 \text{ mm}$, její šířka je 50 mm a tloušťka stěny v níž vznikla je 20 mm . Přetlak oleje vůči vnějšímu prostředí je 40 kPa . Dále vypočítejte střední $7,5 \text{ m s}^{-1}$ a maximální rychlost $11,25 \text{ m s}^{-1}$ vytékajícího oleje. Ověřte předpoklady výpočtu $Re = 956 < 2000$. Spočítejte též velikost výkonu disipovaného v kapalině 9 W .

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

♠³ Roztok glycerinu o koncentraci 85% a teplotě 20°C stéká v tenké vrstvě po stěně o šířce $0,5 \text{ m}$ svírající s vodorovnou rovinou úhel 30° . Určete, kolik glycerinu můžeme přivádět na stěnu $7,0751 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; $254,71 \text{ l h}^{-1}$, aby tloušťka stékající vrstvy nepřesáhla 2 mm . Vypočítejte rychlost povrchu stékající vrstvy $0,10613 \text{ m s}^{-1}$ a ověřte předpoklady výpočtu $Re = 6 < 25$.

Fyzikální parametry 85% glycerinu: dynamická viskozita při teplotě 20°C je $112,9 \text{ mPa s}$ a hustota $1221,8 \text{ kg m}^{-3}$.

♠⁴ 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 . Vypočítejte objemový průtok sirupu mezikružím $1,1675 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; $70,047 \text{ l min}^{-1}$, je-li tlaková ztráta vztažená na jednotku délky $10,5 \text{ kPa m}^{-1}$. Dále vypočítejte střední $0,074323 \text{ m s}^{-1}$ a maximální rychlost $0,11288 \text{ m s}^{-1}$ škrobového sirupu a polohu maxima rychlosti $\lambda = 0,63604$. Ověřte předpoklady výpočtu $Re = 0,35 < 2300$ a spočítejte též velikost výkonu disipovaného v kapalině $12,258 \text{ W}$. Porovnejte vypočtenou přesnou hodnotu objemového průtoku s hodnotou získanou nahrazením mezikruhuvé šterbiny kanálem mezi rovnoběžnými deskami pro případ rozvinutí dle středního poloměru $1,1454 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; $68,722 \text{ l min}^{-1}$.

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

♠⁵ Hřídel o průměru 25 mm je uložen v kluzném ložisku s radiální vůlí $0,03 \text{ mm}$ v délce 40 mm . Otáčky hřídele jsou 200 min^{-1} . Vypočítejte krouticí moment hřídele v ložisku potřebný k překonání vazkého tření (ztrátový krouticí moment) $0,10505 \text{ N m}$ a výkon zmařený v ložisku viskózní disipací $2,2 \text{ W}$. Vypočtený krouticí moment porovnejte s hodnotou krouticího momentu pro případ nahrazení mezikruhuvé šterbiny šterbinou rovinnou rozvinutou dle středního poloměru $0,10505 \text{ N m}$. Zanedbejte koncové efekty a ověřte předpoklady výpočtu $Re_1 = 0,023 < 116$. Určete velikost smykového napětí $2675,2 \text{ Pa}$ a rychlost smykové deformace 17485 s^{-1} na povrchu rotujícího hřídele.

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

♠⁶ 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 $5,1404 \text{ mN m}$; $0,108 \text{ W}$ a se středovým vybráním $4,4742 \text{ mN m}$; $0,0937 \text{ W}$ o průměru 30 mm . Hřídel se otáčí na olejovém filmu tloušťky $1,5 \text{ mm}$ otáčkami 200 min^{-1} .

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

♠⁷ Kuželový čep o průměru 100 mm se otáčí na olejovém filmu tloušťky $1,5 \text{ mm}$ otáčkami 200 min^{-1} . Určete krouticí moment $94,97 \text{ mN m}$ potřebný k překonání vazkého tření a velikost výkonu disipovaného v kapalině vazkou disipací $1,989 \text{ W}$. Vrcholový úhel kuželového čepu je 120° .

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

♠⁸ 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 $59,198 \text{ Pa s}$, 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 $2,169 \text{ mN m}$. Vypočítejte též objem vzorku $0,213 \text{ ml}$, který potřebujete, abyste mohli měření provést a dále vypočítejte velikost disipovaného výkonu v kapalině $0,114 \text{ mW}$. Určete též velikost smykového napětí $177,58 \text{ Pa}$ a rychlost smykové deformace $2,9997 \text{ s}^{-1}$ na povrchu rotujícího hřídele.

♣⁹ 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 W m⁻² K⁻¹, součinitel přestupu tepla na povrchu pece je 15 W m⁻² K⁻¹. Maximální teplota izolace nesmí přesáhnout 700 °C. Maximální teplota vnějšího povrchu pece nesmí překročit 60 °C. Vypočítejte tloušťku žáruvzdorné vyzdívky 0,54329 m, tloušťku vrstvy izolace 0,09955 m, tepelné ztráty na 1 m² plochy pece 450 W m⁻² a tepelné ztráty celé pece 45000 W, je-li její celkový povrch 100 m².

Termofyzikální vlastnosti: součinitel tepelné vodivosti pro žáruvzdorné cihly je 1,28 W m⁻¹ K⁻¹, struskovou vlnu je 0,07 W m⁻¹ K⁻¹ a ocelový plech je 48 W m⁻¹ K⁻¹.

♣¹⁰ Stanovte maximální přípustný proud 6,7993 A, který může protékat měděným vodičem, nesmí-li povrchová teplota vodiče kvůli izolaci překročit 60 °C. Průměr vodiče je 1 mm, tloušťka izolace 0,3 mm. Uvolněné teplo může být odvedeno pouze konvekcí do okolního klidného vzduchu. Součinitel přestupu tepla volnou konvekcí do okolního prostředí je 5 W m⁻² K⁻¹. Teplota okolního vzduchu 20 °C. Určete též povrchovou teplotu izolace 59,816 °C a proveďte kontrolu maximální teploty ve vodiči 60,0002 °C. { $\dot{Q}^{(g)} = 1,2741 \cdot 10^6 \text{ W m}^{-3}$, $\dot{Q}_1 = 1,0007 \text{ W m}^{-1}$, $R_{T,1} = 39,973 \text{ K W}^{-1} \text{ m}$ }

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

♣¹¹ Stanovte množství topné páry o teplotě 120 °C 0,022377 kg s⁻¹ potřebné k ohřevu 900 kg h⁻¹ anilinu z teploty 20 °C na 110 °C ve výměníku typu trubka v trubce. Anilin proudí vnitřní trubkou o vnějším průměru 20 mm s tloušťkou stěny 1 mm. Pára kondenzuje vně trubky a vzhledem k intenzivnímu přenosu tepla při kondenzaci uvažujte tento součinitel 10000 W m⁻² K⁻¹. Dále stanovte potřebnou teplosměnnou plochu 0,94711 m²; 1,0523 m², délku výměníku (délku trubky) 16,749 m a výkon výměníku tepla 49275 W. Součinitel tepelné vodivosti měděné trubky je 393 W m⁻¹ K⁻¹. { $\dot{m}_A = 0,25 \text{ kg s}^{-1}$, $\bar{u}_A = 1,0287 \text{ m s}^{-1}$, $Re_A = 22105 > 2300$, $Nu = 0,015 Re^{0,83} Pr^{0,42}$, $Nu_A = 161,65$, $\alpha_A = 1517,8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, $R_{T,1} = 0,013286 \text{ K W}^{-1} \text{ m}$, $\Delta T_{ln} = 39,087 \text{ K}$ }

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

Výparné teplo vody při teplotě 120 °C je 2202 kJ kg⁻¹.

♣¹² 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, které je vytvořeno trubkou o vnitřním průměru 75 mm. Stanovte spotřebu chladicí vody, nemá-li ohřátí chladicí vody být vyšší než 15 °C. Dále stanovte součinitel přestupu tepla vztažený na 1 m² vnitřního povrchu vnitřní trubky, potřebnou teplosměnnou plochu a potřebnou délku trubek. Předpokládejte vyvinutý rychlostní a teplotní profil. V případě turbulentního proudění v mezikruží mezi vnitřní a vnější trubkou použijte pro výpočet Nusseltova čísla korelaci pro přestup tepla v trubce kruhového průřezu založenou na hodnotě ekvivalentního průměru.

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

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 c_{p1} (T'_1 - T''_1) = \dot{m}_2 c_{p2} (T''_2 - T'_2) = \dot{m}_P \Delta h^{lg} = k S \Delta T_{ln}; \quad \Delta T_{ln} = \frac{\Delta' - \Delta''}{\ln \frac{\Delta'}{\Delta''}}$$

$$\Delta'_{pp} = T'_1 - T'_2; \quad \Delta''_{pp} = T''_1 - T''_2; \quad pp = \text{protiproud}$$

♣¹³ Za jak dlouho ^{1797,8 s} se ohřeje ocelová tyč o průměru 40 mm a délce 400 mm v konvektivní peci na teplotu 350 °C, je-li teplota proudu vzduchu v peci 500 °C a počáteční teplota tyče 20 °C? Rychlost proudění teplého vzduchu v peci je 2,175 m s⁻¹. Stanovte také množství tepla ^{6,4609 · 10⁵ J} dodané za daný čas a špičkový výkon potřebný pro ohřev tyče ^{608,02 W}. Při řešení zanedbejte změnu termofyzikálních vlastností vzduchu v blízkosti ohřívajícího povrchu (Sieder-Tate korekce). {Re = 1094,3, Nu = 17,298, α = 24 W m⁻² K⁻¹, Bi = 0,01 ≪ 1, V = 0,00050265 m³, S = 0,052779 m², M = 3,9157 kg, τ = 1545,6 s, Nu = 0,25 + (0,4√Re + 0,06Re^{2/3}) Pr^{0,4}}

Termofyzikální vlastnosti oceli: součinitel tepelné vodivosti 48 W m⁻¹ K⁻¹, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 0,5 kJ kg⁻¹ K⁻¹ a hustota 7790 kg m⁻³.

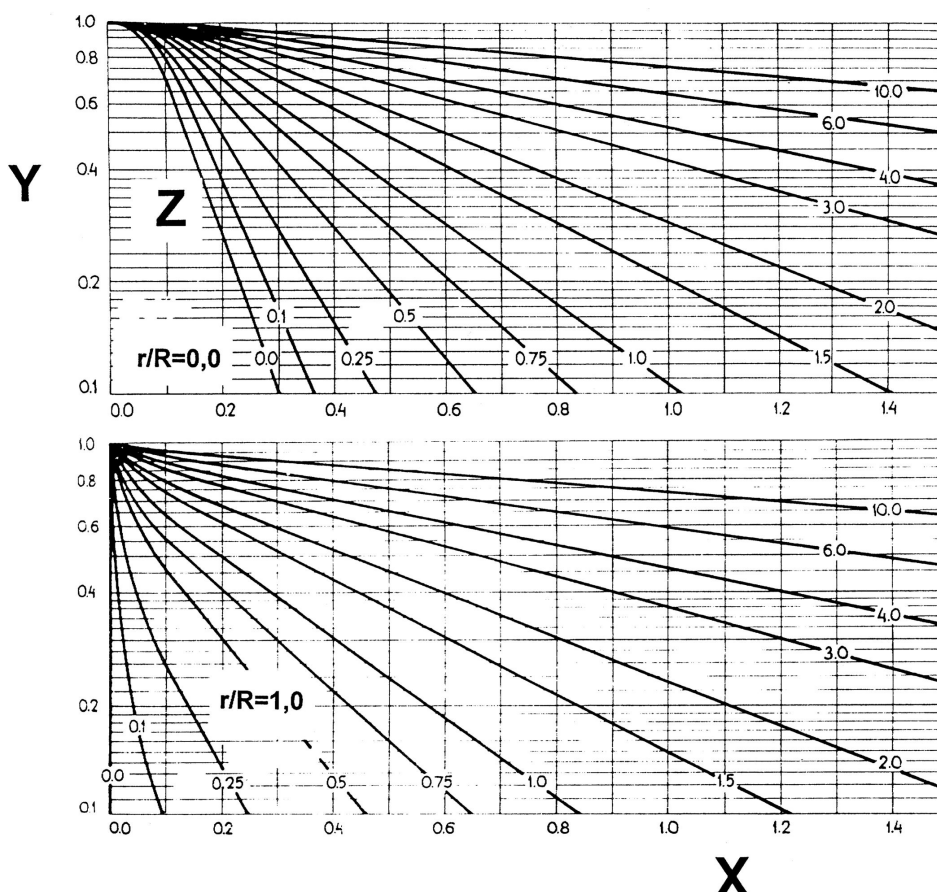
♣¹⁴ Jedním z moderních způsobů konzervace je zmrazování ve vypařujícím se chladivu (nejčastěji N₂ nebo CO₂). Jak dlouho ^{30,7 s (31,4 s)} musí být hrášek ve styku s parami vypařujícího se dusíku o teplotě -190 °C, aby maximální teplota v hrášku byla -18 °C? Jaká bude povrchová teplota v tomto čase? Počáteční teplota konzervovaného hrášku je 20 °C a jeho průměr 8 mm. [Střední součinitel přestupu tepla na povrchu hrášku je 15 W m⁻² K⁻¹.] **Hrášek je ochlazován proudícími parami chladiva o rychlosti 3,27 m s⁻¹.** Zanedbejte změny fyzikálních vlastností hrášku vlivem jeho zmrznutí i změny fyzikálních vlastností dusíku vlivem jeho oteplení v blízkosti hrášku. {u_∞ = 3,27 m s⁻¹, Re = 19071, Nu = 91,477, Pr = 0,7952, α = 92,506 W m⁻² K⁻¹, Bi = 1,0001 ≐ 1, Z = 1, T*_{|_{r*=0}} = 0,81905, t* = 0,17447, t = 30,675 s, t*_{first} = 0,17879, t_{first} = 31,436 s, Nu = 2 + (0,4√Re + 0,06Re^{2/3}) Pr^{0,4}}

Termofyzikální vlastnosti hrášku: součinitel tepelné vodivosti 0,37 W m⁻¹ K⁻¹, součinitel teplotní vodivosti 9,1 · 10⁻⁸ m² s⁻¹ a hustota 1062 kg m⁻³.

Termofyzikální vlastnosti dusíkových par při tlaku 101325 Pa a teplotě -190 °C: součinitel tepelné vodivosti 0,00809 W m⁻¹ K⁻¹, měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku 1102,7 J kg⁻¹ K⁻¹, dynamická viskozita 5,834 · 10⁻⁶ Pa s a hustota 4,253 kg m⁻³ (dle <http://webbok.nist.gov/chemistry>).

Koule

$$X = \frac{at}{R^2} = \text{Fo}, Y = \frac{T - T_f}{T_0 - T_f} = T^*, Z = \frac{\lambda}{\alpha R} = \frac{1}{\text{Bi}}$$



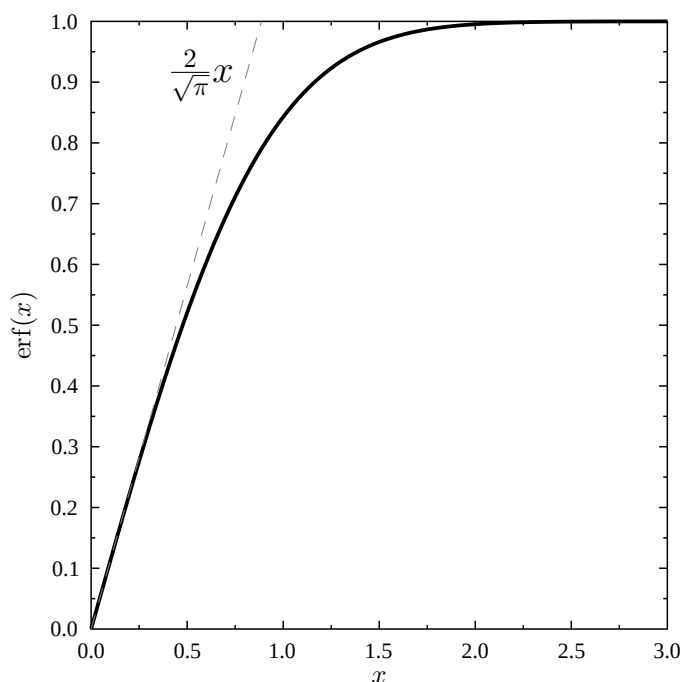
♡¹⁵ V zásobníku, který má tvar svislého válce o vnitřním průměru 2 m se skladuje benzen. Při opravě bylo sňato víko, takže zásobník zůstal po dobu opravy otevřen. Odhadněte, kolik benzenu se odpařilo (jaký byl pokles hladiny v nádrži během opravy), když oprava trvala 36 h. Teplota benzenu byla 15 °C a hladina benzenu byla původně vzdálena od horního okraje zásobníku 10 cm. Předpokládejte, že vrstva plynu uvnitř zásobníku je nehybná a že koncentrace benzenových par nad zásobníkem je zanedbatelná.

Difuzní součinitel benzenových par do vzduchu při daných podmínkách je $86,63 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.

♡¹⁶ Vlhký materiál je uzavřen v obalu z polyethylenové folie o tloušťce 0,1 mm a ploše povrchu 5 dm². Z vnější strany obalu je vzduch o teplotě 25 °C a relativní vlhkosti 50 %. Odhadněte časový úbytek hmotnosti materiálu difuzí vodní páry folií. Permeabilita folie je $1,25 \cdot 10^{-15} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$.

Z hlediska vnitřní struktury lze polymery řadit mezi tzv. tuhé látky s mikrostrukturou. Hnací silou pro přenos hmoty je v tomto případě rozdíl rovnovážných koncentrací složky na povrchu tuhé látky, které jsou však obtížně měřitelné. V případě pevných nekovových látek rozpustnost (koncentrace) složky v tuhé látce závisí lineárně na parciálním tlaku složky (obdobu Henryho zákona pro rozpustnost plynů v kapalinách) a tak se pro vyjádření hnací síly využívá snáze zjistitelný parciální tlak a místo vyhodnocení dvou parametrů, součinitele difuze a konstanty rozpustnosti, se definuje a měří pouze jeden souhrnný parametr, tzv. propustnost neboli permeabilita $\mathcal{P}$ ($\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$), který v sobě zahrnuje obě dílčí veličiny.

♡¹⁷ Při havárii cisternového vozu se na rovinný povrch půdy rozlije převážená agresivní těkavá kapalina. Kapalina se začne okamžitě vsakovat (difundovat) do půdy, ale současně také odpařovat do volného prostoru. Veškerá kapalina z povrchu půdy zmizí (ať již difuzí nebo odparem) za 30 minut od rozlití. Do jaké hloubky budou usmrceny živé organismy v půdě, předpokládáme-li, že smrtící koncentrace, vyjádřená pomocí hmotnostního podílu, je 0,1 %? Efektivní součinitel difuze kapaliny půdou je $9,81 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.



$$\frac{T - T_0}{T_S - T_0} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{at}}} e^{-\eta^2} d\eta = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right)$$

♡¹⁸ Kofein je vyluhován z kávových zrn organickým rozpouštědlem. Vypočítejte 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 zrnu (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.

♡¹⁹ Při neopatrné manipulaci s připojovací trubicí došlo při doplňování paliva do zásobníku benzínové 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 vál vánek o rychlosti 3 km h^{-1} . Určete rychlost odpařování z hladiny $0,0066943 \text{ kg s}^{-1}$ při teplotě vzduchu i benzínu 20°C a také dobu potřebnou k úplnému odpaření benzínu $33079 \text{ s} = 9,1886 \text{ h}$. $\{\text{Re} = 435730 < 500000, \text{Sh} = 0,664\sqrt{\text{Re}} \text{Sc}^{1/3}, \text{Sc} = 2,6562, \text{Sh} = 607,02, \beta = 0,00043705 \text{ m s}^{-1}, \text{zanedbáme konvektivní složku, tj. } \beta = \beta', p_B'' = 5151,4 \text{ Pa}, c_B = 2,1136 \text{ mol m}^{-3}, x_B = 5151,4/101325 = 0,05084, c_{B,f} = 0 \text{ (f = v proudu vzduchu)}, N_B = 0.00092375 \text{ mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}, \dot{m}_B = 0,0066943 \text{ kg s}^{-1}, t = 33079 \text{ s, přesné řešení (pro informaci) } N_B = 0.00094806 \text{ mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}, t = 32231 \text{ s}\}$

Při výpočtu nahraďte vlastnosti benzínu, který je tvořen směsí uhlovodíků, vlastnostmi isooktanu C_8H_{18} (2,2,4-trimethylpentan). Součinitel difuze benzínových par do vzduchu při daných podmínkách je $5,76 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.