

U8.1

Permeabilita paladiové membrány pro vodík byla zjišťována permeačním pokusem s čistým vodíkem. V ustáleném stavu bylo zjištěno, že membránou o tloušťce 1 mm a s plochou o velikosti 9 cm² projde při teplotě 30°C za 50 s 1,526 molu vodíku. Tlakový rozdíl vodíku mezi retentátovou a permeátovou stranou membrány byl udržován na hodnotě 1,44 MPa. Určete hodnotu permeability membrány pro vodík.

Výsledek: Permeabilita membrány má hodnotu $2,355 \cdot 10^{-8} \text{ mol s}^{-1} \text{ Pa}^{-1} \text{ m}^{-1}$.

U8.2

Permeabilita polyethylénové fólie pro kyslík má hodnotu $2,315 \cdot 10^{-12} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ (při teplotě 30°C). Fólií o tloušťce 150 μm je obalena perforovaná papírová krabice s ovocem, které metabolickými procesy spotřebovává 2,1 g kyslíku za hodinu. Krabice má rozměry 0,5×0,6×0,3 m. Odpor vlastní krabice proti transportu kyslíku je zanedbatelný. Jakou hodnotu bude mít parciální tlak kyslíku v krabici v ustáleném stavu, je-li krabice obklopena vzduchem o tlaku 98 kPa?

Výsledek: Parciální tlak kyslíku v krabici bude mít hodnotu 20550 Pa.

U8.3

Plyn vystupující z bioreaktoru je veden hadičkou ze silikonového kaučuku o vnějším průměru 5 mm a s tloušťkou stěny 0,25 mm do analyzátoru. Hadička má délku 5,2 m. Tlak plynu v hadičce je 125 kPa, okolní tlak je 99 kPa. Plyn vystupující z bioreaktoru obsahuje 4,5 obj.% oxidu uhličitého, 16,5 obj.% kyslíku a 4,3 obj.% vodní páry, zbytek představuje dusík. Permeabilita silikonového kaučuku pro kyslík je $2,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3(\text{m s Pa})^{-1}$, pro oxid uhličitý $1,78 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3(\text{m s Pa})^{-1}$, pro vodní páru $2,38 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3(\text{m s Pa})^{-1}$ – hodnoty permeabilit byly určeny za podmínek permeace. Určete, jaká množství uvedených složek unikají stěnou hadičky. Způsobí tyto úniky významnou změnu složení vzorku před vstupem do analyzátoru?

Výsledek: Kyslík bude pronikat do hadičky v množství $1,46 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, unikne $3,27 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ oxidu uhličitého a $4,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ vodní páry. Složení plynu se významně změní.

U8.4

V jednostupňovém membránovém zařízení se má obohacovat vzduch kyslíkem tak, aby jeho koncentrace v permeátu stoupla na 30 obj.%. Na vstupní (retentátové) straně membrány je udržován tlak 1 MPa, na straně permeátu je tlak 0,2 MPa. Permeát vystupuje při teplotě 40°C. Permeabilita použité membrány pro kyslík má hodnotu $4,5 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ (při normálních podmínkách). Tloušťka aktivní vrstvy membrány je 10 μm. Selektivita membrány pro kyslík vůči dusíku má hodnotu 2,2. Požadovaný výkon zařízení je $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ obohaceného vzduchu (při podmínkách permeátu). Určete složení retentátu, potřebnou plochu membrány a relativní podíl permeátu. Na obou stranách membrány uvažujte ideální promíchávání.

Výsledek: Retentát bude obsahovat 19 mol.% kyslíku. Potřebná plocha membrány je 2,5 m². Podíl permeátu je roven 0,179.

U8.5

Experimentální membrána pro reversní osmózu byla použita ke zpracování odpadní vody obsahující rozpuštěný Na_2CO_3 . Pokusem byla zjištěna intenzita objemového toku čisté vody membránou při tlakovém rozdílu 3 MPa a teplotě 30°C o hodnotě $1,5 \text{ m}^3$ na 1 m^2 membrány za 1 den. Provozní zpracování odpadní vody reversní osmózou má probíhat při stejné teplotě, ale při tlakovém rozdílu 5 MPa. Retentát má obsahovat $0,05 \text{ kmol m}^{-3}$ uhličitanu. Proudění po obou stranách membrány lze považovat za ideálně promíchávané. Určete intenzitu objemového toku permeátu ideální membránou za předpokladu, že lze zanedbat koncentrační polarizaci membrány. Určete též potřebnou plochu membrány, má-li se za 1 den zpracovat 125 m^3 odpadní vody obsahující $0,027 \text{ kmol m}^{-3}$ Na_2CO_3 .

Výsledek: Intenzita obj. toku permeátu bude mít hodnotu $2,675 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$. Potřebná plocha membrány činí $24,9 \text{ m}^2$.

U8.6

Reversní osmózou (RO) se zpracovává vodný roztok nízkomolekulárních látek, který do RO modulu přitéká s objemovým průtokem 26 m^3 za den. Koncentrace rozpuštěných látek v roztoku je rovna $0,1 \text{ kmol m}^{-3}$ a osmotický tlak tohoto roztoku je 0,46 MPa. Lze předpokládat, že osmotický tlak roztoků uvedených látek je přímo úměrný jejich koncentraci v roztoku. Koncentrační polarizaci membrány při RO lze zanedbat. Při RO je aplikován tlakový rozdíl 3,0 MPa a relativní podíl permeátu Θ má hodnotu 0,4. Retenční faktor RO modulu je roven 0,9. Pokusně zjištěná permeance membrány ($P_m = P/\delta_m$) pro čistou vodu je rovna $5 \cdot 10^{-13} \text{ m s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$. Určete objemové průtoky permeátu a retentátu, koncentraci rozpuštěných látek v obou prouděch a potřebnou plochu membrány v RO modulu.

Výsledek: Objemový průtok permeátu je $10,4 \text{ m}^3/\text{den}$, průtok retentátu $15,6 \text{ m}^3/\text{den}$. Retentát obsahuje $0,1563 \text{ kmol m}^{-3}$ rozp. látek, permeát obsahuje $0,01563 \text{ kmol m}^{-3}$ rozp. látek. Je zapotřebí membrána o ploše 103 m^2 .

U8.7

Pomocí membránového zařízení s membránou ze silikonového kaučuku se obohacuje vzduch kyslíkem. Je požadován permeát obsahující 27 mol.% kyslíku. Selektivita membrány pro kyslík vůči dusíku má za podmínek separace hodnotu 2,1. Redukovaný tlak při separaci $r_{\text{red}} = 2,86$. Na jakou hodnotu musí být nastaven relativní podíl permeátu, Θ , aby permeát měl požadované složení?

Výsledek: Relativní podíl permeátu musí být nastaven na hodnotu 0,233.

U8.8

V membránovém separačním zařízení se methan zbavuje zbytkového oxidu uhličitého. separace probíhá při teplotě 35°C a při tlaku 2 MPa na vstupní (retentátové) straně membrány. Permeabilita membrány pro CO_2 za podmínek separace je rovna $1,125 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, pro methan $3,6 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ (permeability jsou vztaženy k podmínkám na retentátové straně membrány). Plyn vstupující do separátoru obsahuje 90 mol.% CH_4 a 10 mol.% CO_2 . Tlak na straně permeátu je roven 0,11 MPa, relativní podíl permeátu má hodnotu 0,5. Tloušťka aktivní vrstvy membrány je $1 \mu\text{m}$. Určete hodnotu selektivity membrány pro CO_2 vůči CH_4 , složení

permeátu a retentátu a intenzity objemových toků obou výstupních proudů. Jaký bude výkon separátoru, měřený objemovým tokem permeátu, je-li plocha membrány rovna 200 m^2 ?

Výsledek: Selektivita membrány je rovna 31,25. Retentát bude obsahovat 1,68 obj.% oxidu uhličitého a permeát 18,3 obj.%. Objemový průtok permeátu je $108 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ (za podmínek na permeátové straně).

U8.9

Z vodného roztoku methanolu se má odstraňovat voda pervaporací (PV) kompositní PVA-PAN membránou při pracovní teplotě pervaporačního modulu 70°C . Na retentátové straně membrány je udržován tlak $0,2 \text{ MPa}$. Hmotnostní zlomek vody v retentátu má mít maximální hodnotu $0,01$, relativní množství permeátu je rovno $0,115$. Lze předpokládat, že selektivita membrány pro vodu vůči methanolu má přibližně konstantní hodnotu $7,75$. Určete složení suroviny, které zajistí požadované složení permeátu a dále určete plochu membrány potřebnou pro zpracování 460 kg h^{-1} suroviny. Na jakou teplotu musí být zahřáta surovina, nemá-li být do PV modulu dodáváno žádné další teplo? Měřením zjištěná závislost intenzity hmotnostního toku vody membránou na hmotnostním zlomku vody v retentátu je dána tabulkou:

w_{AR}	0	0,001	0,002	0,005	0,0075	0,010	0,0125	0,015
$\Phi_{\text{mA}} [\text{kg m}^{-2}\text{h}^{-1}]$	0	0,61	1,09	1,39	1,72	2,15	2,35	2,52

Měrná tepelná kapacita methanolu při pracovní teplotě PV modulu je $2,85 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, měrná výparná enthalpie vody je rovna 2334 kJ kg^{-1} a měrná výparná enthalpie methanolu je 1100 kJ kg^{-1} .

Výsledek: Surovina může obsahovat maximálně $1,72 \text{ hm.}\%$ vody. Surovinu je nutno zahřát na teplotu 120°C . Potřebná plocha membrány je $1,8 \text{ m}^2$.

U8.10

Z vodného roztoku bílkoviny se odstraňuje rozpuštěná sůl dialýzou. Roztok bílkoviny má objem 50 cm^3 a je uzavřen v dialyzační trubici s celkovým povrchem o velikosti 110 cm^2 . Dialyzační trubice je tvořena membránou o tloušťce $120 \mu\text{m}$, ve které má rozpuštěná sůl difusní koeficient o hodnotě $7,21 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. Počáteční koncentrace soli je $0,37 \text{ mol dm}^{-3}$. Součinitel přestupu hmoty na vnitřní (retentátové) straně trubice je roven $1,6 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ a na vnější straně má hodnotu $7,8 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$. Trubice je ponořena v čisté vodě, jejíž objem je oproti objemu roztoku v trubici mnohonásobně větší. Určete, za jak dlouho poklesne koncentrace soli v trubici na 10% počáteční hodnoty.

Výsledek: K požadovanému poklesu koncentrace soli dojde za 2530 s .

U8.11

Roztok makromolekulárních látek obsahuje jako nežádoucí nečistotu fenol. K odstranění fenolu je navrhováno použití kontinuální dialýzy v zařízení sestávajícím z trubky o vnitřním průměru 8 cm , ve které je umístěno 20 dialyzačních membránových trubic zhotovených

z kopolymeru polykarbonátu a polyéteru. Trubice mají vnější průměr 10 mm a tloušťku stěny 50 μm . Difuzivita fenolu v materiálu membrány má hodnotu $1,05 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Roztok makromolekulárních látek protéká vnitřkem trubic, koncentrace fenolu na vstupu je rovna $0,028 \text{ mol dm}^{-3}$ a objemový průtok roztoku má hodnotu $0,25 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Dialyzační trubice jsou na vnějším povrchu obtékány vodou, která do zařízení vstupuje s nulovou koncentrací fenolu a s objemovým průtokem $1,525 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Určete potřebnou délku dialyzačních trubic při protiproudém uspořádání toků, má-li koncentrace fenolu ve vystupujícím roztoku poklesnout na 10% hodnoty vstupní koncentrace. Koeficient přestupu hmoty na vnitřním povrchu trubic má hodnotu $5,6 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$, na povrchu vnějším má hodnotu $1,37 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$.

Výsledek: Potřebná délka trubic je 14,2 m.

U8.12

V pervaporačním membránovém zařízení se má odstraňovat voda ze směsi s isopropanolem. Zpracovávaná směs obsahuje 15 hmotn.% vody a je požadováno, aby její koncentrace v retentátu nepřesáhla 2 hmotn.%. Použitá membrána má tak vysokou selektivitu, že je možno permeát považovat za čistou vodu. Do zařízení vstupuje 10000 kg h^{-1} směsi. Měrná výparná enthalpie permeátu je rovna 2260 kJ kg^{-1} a jeho měrná tepelná kapacita je $4,2 \text{ kJ kg K}^{-1}$. Měrné tepelné kapacity suroviny a retentátu mají stejnou hodnotu $3,3 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Pracovní teplota modulu je 75°C . Určete velikost relativního podílu permeátu při pervaporaci a potřebnou plochu membrány. Intenzita hmotnostního toku permeátu membránou je dána vztahem $\Phi_{\text{mP}} = 10 w_{\text{F}}$, kde w_{F} je hmotnostní zlomek vody v surovině a intenzita toku je v $\text{kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Výsledek: Relativní podíl permeátu má hodnotu 0,1327, potřebná plocha membrány je 884 m^2 , surovinu je třeba zahřát na teplotu 166°C .