

## LABORATORNÍ PŘÍSTROJE A POSTUPY

### OPTIMALIZACE PŘÍPRAVY HETEROGENNÍ ANIONTOVĚ VÝMĚNNÉ MEMBRÁNY NA BÁZI POLYPROPYLENU

KRISTÝNA WEINERTOVÁ, ELIŠKA  
STRÁNSKÁ, DAVID NEDĚLA a JAN KŘIVČÍK

MemBrain s.r.o., Pod Vinicí 87, 471 27 Stráž pod Ralskem  
kristyna.weinertova@membrain.cz

Došlo 31.10.17, přijato 10.1.18.

Klíčová slova: iontově výměnná membrána, polypropylen,  
distribuce velikosti částic

#### Úvod

Separční procesy hrají důležitou roli v mnoha průmyslových, analytických a experimentálních technikách, mezi nimiž jsou díky svému aplikačnímu potenciálu široce rozšířeny elektromembránové procesy využívající iontově výměnné membrány (IM)<sup>1–4</sup>. IM je semipermeabilní bariéra, kterou mohou ve vodném prostředí při působení gradientu elektrického pole procházet pouze ionty o dané polaritě. Selektivita je dána strukturou IM, ve které se nacházejí vázané funkční skupiny s pohyblivými protiionty. Protiionty jsou přenášeny přes IM, zatímco ionty mající stejný náboj jako funkční skupiny (koionty) jsou zadržovány, případně je jejich transport velmi omezený. IM se podle charakteru transportovaných protiiontů dělí na aniontově výměnné (AM) a kationtově výměnné membrány (CM)<sup>1–3,5</sup>. Dle způsobu výroby jsou rozlišovány homogenní IM tvořené funkcionalizovaným polymerem a heterogenní IM skládající se z iontově výměnné pryskyřice (ionexu) dispergované v inertní polymerní matici. Vlastnosti heterogenní IM je možné ovlivnit volbou ionexu, polymerního pojiva, případně aditiv, armující textilie a/nebo technologií výroby<sup>1–4</sup>. Mnoho autorů se zabývalo přípravou heterogenních IM s odlišným poměrem ionexu a pojiva, různými polymerními směsmi nebo funkčními skupinami ionexu. S rostoucím obsahem ionexu roste vodivost IM, ale současně se zhoršují mechanické vlastnosti. Pod určitým nejvyšším obsahem ionexu jsou částice v matici izolované a IM se stane elektricky nevodivou. Naopak nad určitým maximálním obsahem ionexu není možné připravit IM z důvodu ztráty integrity nebo neúměrného zhoršení jejích mechanických vlastností<sup>1,3,6</sup>.

Mnoho komerčně dostupných IM je tvořeno nízkohustotním polyethylenem (LDPE)<sup>1</sup>, ačkoli je známo, že

polyolefiny s lineární strukturou (lineární LDPE (LLDPE), vysokohustotní polyethylen (HDPE), izotaktický PP (iPP)) mají vysokou stabilitu v širokém rozmezí pH za současného působení elektrochemického prostředí a disponují lepšími mechanickými vlastnostmi než LDPE<sup>7</sup>. V literatuře existuje pouze několik článků popisujících IM na bázi polypropylenu (PP)<sup>7–11</sup>. Cílem této práce bylo nalezení optimálního složení heterogenní AM na bázi izotaktického randomního kopolymeru propylenu a ethylenu (PPR). Byly připraveny a charakterizovány AM s dvěma typy matrice a různým obsahem a distribucí velikosti částic anexu.

#### Experimentální část

##### Materiály

Byl využit silně bazický gelový anex na bázi poly(styren-co-divinylbenzenu) s kvarterními amoniiovými skupinami v Cl<sup>-</sup> formě (Indion GS 300, Ion Exchange Ltd) s iontově výměnnou kapacitou 3,83 mekv g<sup>-1</sup> a objemovou botnavostí 3,1 ml g<sup>-1</sup>. Jako matrice byly zvoleny dva typy PPR s odlišným indexem toku taveniny (ITT), Tipplen R660 (MOL Petrochemicals Co Ltd) a Lumicene<sup>®</sup> MR60MC2 (Total Petrochemicals & Refining S.A./N.V.). Teplota tání ( $t_t$ , °C) a krystalizace ( $t_k$ , °C) a měrná entalpie krystalizace ( $\Delta H_k$ , J g<sup>-1</sup>) pojiv byly charakterizovány kompenzační skenovací kalorimetrií (DSC 200 F3 Maia<sup>®</sup>, Netzsch-Gerätebau GmbH), hodnoty byly odečteny při 2. ohřevu. Rychlost ohřevu byla 5 °C min<sup>-1</sup>, maximální teplota byla z důvodu eliminace degradace pojiv zvolena tak, aby nepřekračovala teplotu tání o více než 40 °C, a zároveň korespondovala s nejvyššími zpracovatelskými teplotami. Vzorčky byly měřeny v uzavřených pánvičkách, při druhém ohřevu byly pozorovány dva píky tání ( $t_{t1}$  a  $t_{t2}$ ). Výsledky měření jsou shrnuty v tab. I spolu

Tabulka I  
Tepelné a mechanické vlastnosti pojiv R660 a MR60MC2

Parametr pojiva	R660	MR60MC2
ITT, g/10 min, 230 °C/2,16 kg	2,0	60,0
$t_{t1}$ , °C	135,5	133,5
$t_{t2}$ , °C	149,1	141,8
$t_k$ , °C	121,4	114,6
$\Delta H_k$ , J g <sup>-1</sup>	-50,34	-65,18
$E$ , MPa	900	1300
$s$ , MPa	28	31

Symbole veličin viz text

s mechanickými vlastnostmi, tj. modulem pružnosti v tahu  $E$  (MPa) a mezi kluzu v tahu  $\sigma$  (MPa).

#### Příprava aniontově výměnných membrán (AM)

Anex o vlhkosti pod 1,5 % byl namlet ve vibračním mlýnu (Vibrom 42S, Vibrom spol. s r.o.); volbou doby mletí (10, 15, 20, 30, 40 min) byly získány odlišné distribuce velikosti částic, které byly stanoveny laserovou difrakcí (Mastersizer 2000, Malvern Instruments); výsledky uvádí tab. II.

Mletý anex byl homogenizován s matricí na dvoušnekovém vytlačovacím stroji se souhlasným smyslem otáčení (PTW24/28, HAAKE PolyLab OS, Thermo Fisher Scientific Inc.) do formy granulátu s plněním 56, 60 a 64 hm.%. Teplotní profil extruze pro směsi s R660 byl v rozmezí 165–180 °C, pro MR60MC2 v rozmezí 145 až 160 °C. Granulát byl extrudován jednošnekovým vytlačovacím strojem (Rheomex 19/25, HAAKE PolyLab OS, Thermo Fisher Scientific Inc) s foliovou vytlačovací hlavou při shodném teplotním profilu. AM z MR60MC2 s 64 hm.% anexu mletého 30 a 40 min nebylo možné připravit. Během extruze AM byla sledována teplota taveniny. S ohledem na náchylnost anexu k teplotní degradaci je vhodné zabránit případnému nežádoucímu přehřívání směsi. Teploty tavenin AM z R660 nepřekročily 150 °C, u MR60MC2 139 °C. Nízká teplotní stabilita anexů v OH<sup>-</sup> formě je způsobena sníženou stabilitou benzylového uhlíku, na nějž je vázán kvarterní dusíkový atom. Kvarterní amoniové skupiny v OH<sup>-</sup> formě se transformují na terciární aminy a později zcela ztrácejí svou schopnost výměny aniontů přeměnou na skupiny bez bazických vlastností<sup>12</sup>. Ačkoli je teplotní stabilita anexu v Cl<sup>-</sup> formě vyšší než v OH<sup>-</sup> formě<sup>13</sup>, roste riziko degradace s expoziční dobou. Pro výrobu heterogenních AM je výhodná co nejnižší zpracovatelská teplota, neboť dochází k opakované teplotní zátěži – při sušení, homogenizaci, extruzi, případně při lisování. Z tohoto pohledu je výhodnější použití MR60MC2 namísto R660.

Stabilizace rozměrových změn AM souvisejících s botnáním byla zajištěna oboustranným vyztužením polyesterovou tkaninou na hydraulickém lisu (ZHOT60MT, Presshydraulika s.r.o.). Tloušťky suchých AM z R660 se nalézaly v rozmezí 464–754 μm, u MR60MC2 v rozmezí 322–754 μm. Rozdily v tloušťkách mezi jednotlivými AM

byly způsobeny lisováním za konstantního času.

#### Obsah vody a změna tloušťky po botnání

AM v Cl<sup>-</sup> formě s rozměry 15 × 5 cm byly sušeny v horkovzdušné sušárně při 75 °C do konstantní hmotnosti, následně byly botnány 24 h v demineralizované vodě při 23 °C. Před a po botnání byly zváženy a byla změřena jejich tloušťka. Změna hmotnosti nebo tloušťky ( $\Delta x$ ) byla vypočtena rovnicí (1):

$$\Delta x = \frac{x_z - x_s}{x_s} \cdot 100 \% \quad (1)$$

$x_z$  a  $x_s$  je hodnota parametru ve zbotnalém a v suchém stavu, chyba stanovení hmotnosti a rozměrů byla nižší než 0,5 %.

#### Iontově výměnná kapacita (IEC)

K 1 g vzorku vysušeného shodně jako v případě stanovení obsahu vody bylo přidáno 50 ml 4% NaNO<sub>3</sub> a vzorek byl intenzivně třepán 1 h. Následně bylo odebráno 10 ml roztoku, ke kterému byl přidán indikátor K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> a roztok byl titrován AgNO<sub>3</sub> (0,1 mol l<sup>-1</sup>) do bodu ekvivalence pomocí titroprocesoru Metrohm 682 (Gemini BV); chyba stanovení IEC byla nižší než 1 %. IEC (mekv g<sup>-1</sup>) byla vypočtena rovnicí (2):

$$IEC = \frac{c(\text{AgNO}_3) \cdot V(\text{AgNO}_3) \cdot V(\text{NaNO}_3)}{m_s \cdot V_1(\text{NaNO}_3)} \quad (2)$$

$c(\text{AgNO}_3)$  je koncentrace roztoku AgNO<sub>3</sub>,  $V(\text{AgNO}_3)$  objem roztoku AgNO<sub>3</sub>,  $V_1(\text{NaNO}_3)$  objem roztoku odebraného pro titraci a  $V(\text{NaNO}_3)$  objem roztoku NaNO<sub>3</sub> přidaného k AM,  $m_s$  je hmotnost suchého vzorku<sup>14</sup>.

#### Specifický odpor

AM botnaly 24 h v demineralizované vodě o teplotě 23 °C, poté byly kondicionovány střídavým ponořením do HCl (1 mol l<sup>-1</sup>) a NaOH (1 mol l<sup>-1</sup>), v každém roztoku 1 h. Celkem prošly třemi cykly v HCl a dvěma v NaOH. Poté byly opláchnuty demineralizovanou vodou a 24 h ekvilib-

Tabulka II  
Charakteristika částic anexu v závislosti na době mletí

Čas mletí [min]	Specifický povrch [m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ]	Šířka distribuce velikosti částic	Průměr částice (modus) [μm]
10	0,390	2,261	30,4
15	0,431	2,187	27,3
20	0,435	2,167	25,8
30	0,528	2,047	20,3
40	0,595	2,029	17,6

rovány v elektrolytu ( $\text{NaCl } 0,5 \text{ mol l}^{-1}$ ). Odpor byl stanoven ve dvoukomorové elektrochemické cele<sup>3</sup> při  $25^\circ\text{C}$  potenciometrickou kompenzační metodou při průchodu stejnosměrného proudu. Potenciál byl měřen argentchloridovými elektrodami. Specifický odpor ( $R_s$ ,  $\Omega \text{ cm}$ ) byl vypočten rovnicí (3) (cit.<sup>14</sup>):

$$R_s = \frac{(U_{AM+r} - U_r) \cdot S}{I \cdot h} \quad (3)$$

$U_{AM+r}$  a  $U_r$  (mV) je potenciál cely obsahující elektrolyt a AM, resp. elektrolyt,  $I$  (10 mA) vložený stejnosměrný proud,  $S$  ( $\text{cm}^2$ ) plocha a  $h$  (cm) tloušťka AM.

#### Analýza mikrostruktury pomocí SEM

Mikrostruktura AM byla charakterizována skenovací elektronovou mikroskopií (Quanta 250 FEG, Thermo Fisher Scientific Inc) s detektorem vCD (low-voltage high-contrast detector) a zdrojem FEG (field emission gun) při napětí 10 kV a tlaku v komoře 60 Pa v BSE (backscattered electrons) módu.

## Výsledky a diskuse

### Obsah vody a změna tloušťky po botnání

Nárůst tloušťky AM z R660 byl 20–36 %, u MR60MC2 28–43 %. Nejvyšší změny tlouštěk byly nalezeny s plněním 64 hm.%, kdy se blížíme hornímu limitu mechanické soudržnosti kompozitu a rozměrové změny se projevují významněji než při nižším obsahu ionexu. Vzorky z R660 měly v suchém stavu vyšší tloušťky díky nižší tekutosti taveniny, která neumožnila za daných podmínek takové dlužení a rozlisování jako

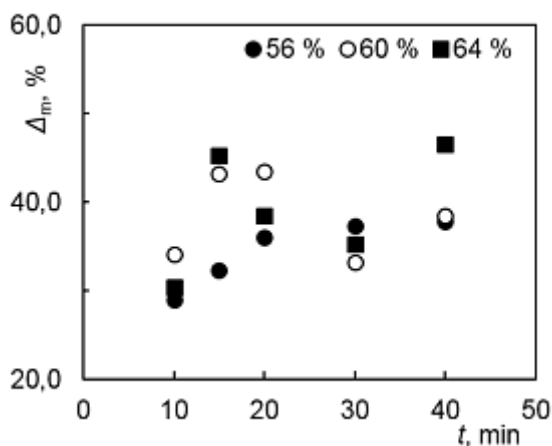
u vzorků z MR60MC2, změna tloušťky po zbotnání však byla nižší, z čehož vyplývá, že AM z R660 více odolávají botnání. Výsledky relativního obsahu vody uvádí obr. 1. Na základě korelační analýzy rozměrových změn byla mezi tloušťkami suchých a zbotnalých AM z MR60MC2 nalezena silnější závislost než u R660, což naznačuje homogennější distribuci anexu v MR60MC2.

Relativní obsah vody v IM je do jisté míry ovlivněn její tloušťkou, resp. počtem funkčních skupin. U většiny AM z R660 a u všech z MR60MC2 rostl obsah vody s obsahem anexu, nacházel se v rozmezí 29–47 hm.% u R660 a 37–49 hm.% u MR60MC2. Vliv distribuce velikosti částic anexu na relativní obsah vody nebyl pozorován. Při shodném dávkování anexu o určité distribuci velikosti částic umožňovala matrice z MR60MC2 vyšší příjem vody. Bez ohledu na typ pojiva byl obsah vody i při 64 hm.% anexu nižší než deklarovaný obsah komerčně dostupné heterogenní AM(H)-PES Ralex<sup>®</sup> (MEGA a.s., < 65 hm.%). Voda působí v IM jako změkčovadlo, přičemž s nárůstem jejího obsahu dochází ke zhoršení mechanických vlastností; uvedené výsledky tedy potvrzují přínos PPR matrice.

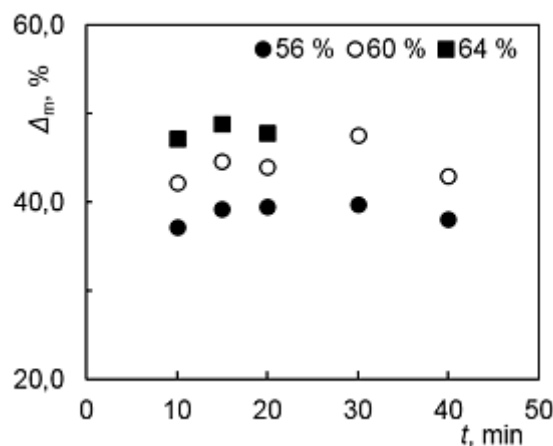
### Iontově výměnná kapacita (IEC)

Hodnota IEC IM v rovnováze s okolním roztokem je určena obsahem a typem funkčních skupin a dále stupněm zesílení ionexu a jeho distribucí a disperzací v pojivu. Při nízkém obsahu ionexu nemusí být dosažen perkolací práh, částice v matrici jsou izolované a některé mohou být navíc enkapsulované. Tím je snížen obsah vody, nedochází k disociaci funkčních skupin a IM není schopna iontové výměny. Naopak příliš vysoký obsah ionexu snižuje mechanickou soudržnost membrány. Vliv velikosti částic ionexu na IEC nebyl v literatuře prokázán<sup>3,15,16</sup>. Pojivo, což je elektrický izolant, se může zásadně podílet na snižování

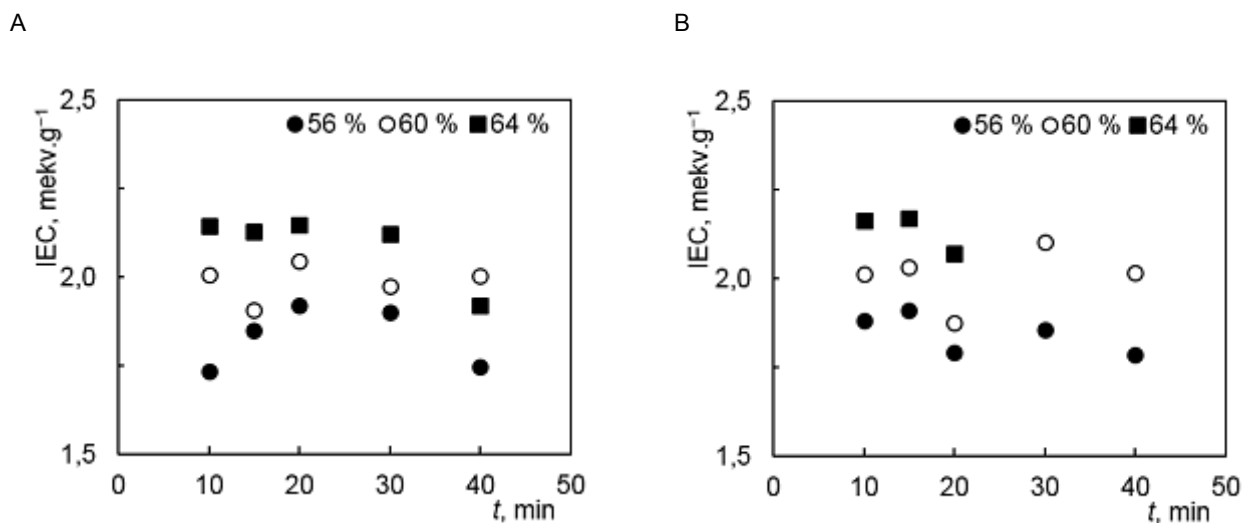
A



B



Obr. 1. Relativní obsah vody v membránách v závislosti na době mletí a obsahu anexu dle typu pojiva; A) R660, B) MR60MC2



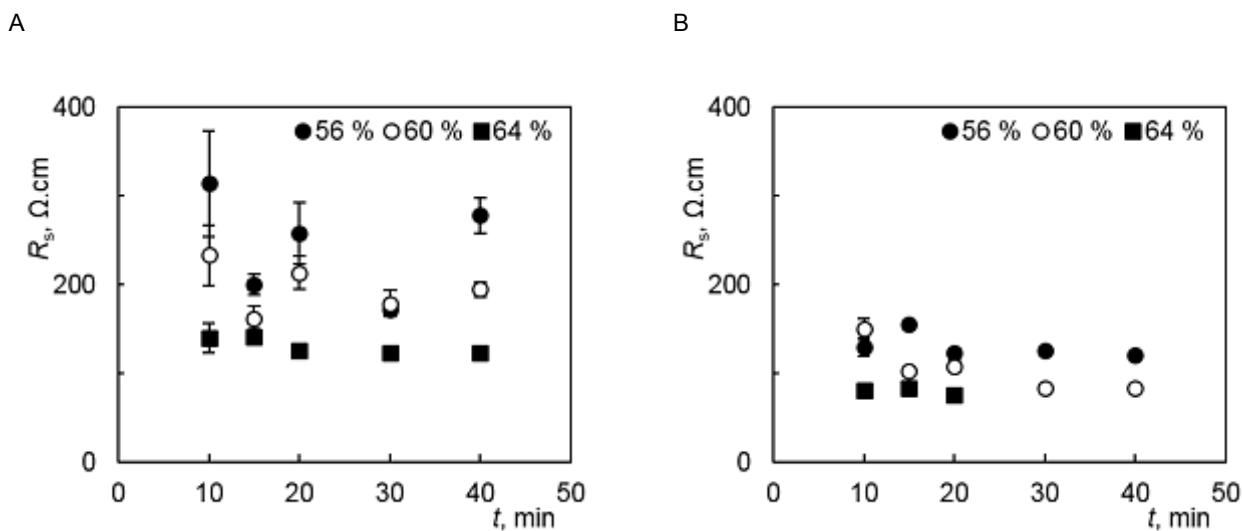
Obr. 2. Závislost iontovýměnné kapacity (IEC) membrán na době mletí a obsahu anexu dle typu pojiva; A) R660, B) MR60MC2

vání IEC membrány, a to charakterem povrchové vrstvy membrány a/nebo interakcí s částicemi ionexu. Hnat a spol.<sup>17</sup> popsali AM z poly(ethylen-co-methakrylové kyseliny) s plněním 66 hm.% s IEC pouze 0,03 mekv g<sup>-1</sup>; tyto výsledky souvisely s vysokou kompatibilitou matrice s anexem. IEC u R660 i MR60MC2 rostla s rostoucím plněním, vliv distribuce velikosti částic a typu pojiva nebyl pozorován. Výsledné hodnoty IEC (obr. 2) ležely v rozmezí 1,74–2,17 mekv g<sup>-1</sup>.

#### Specifický odpor

Specifický odpor má zásadní vliv na uplatnitelnost a provozní podmínky IM, neboť souvisí s mobilitou iontů

v membráně. Ideální IM disponuje vysokou selektivitou vůči protiiontům a současně co nejnižším odporem; zlepšení jedné vlastnosti však negativně ovlivňuje druhou. Svoboda a spol.<sup>5</sup> našli ve struktuře heterogenních IM značné množství pórů a vzduchových bublin. Po zbotnění jsou dutiny zaplněny vodou a zvyšují vodivost membrány. Bubliny ohraničené pojivem zůstávají vyplněny vzduchem a ke zvýšení vodivosti mohou přispět až po určitém čase, kdy dojde mechanickým namáháním pojiva k rozrušení ohraničené struktury. Výsledky specifických odporů jsou znázorněny na obr. 3. S rostoucím plněním došlo k poklesu specifických odporů; výjimkou byly AM z R660 s 60 hm.% anexu mletého 30 min a z MR60MC2 s 60 hm.% anexu mletého 10 min, které měly vyšší hodno-



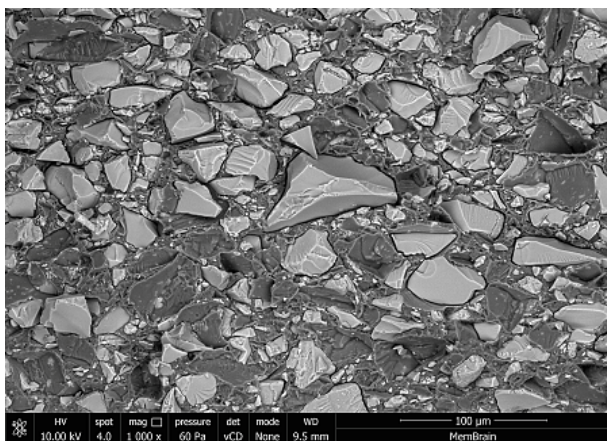
Obr. 3. Závislost specifického odporu membrán na době mletí a obsahu anexu dle typu pojiva; A) R660, B) MR60MC2

ty odporů než obdobné směsi s plněním 56 hm.%. AM z MR60MC2 s anexem mletým 15–40 min vykazovaly mírný pokles odporů s rostoucí jemností částic, což odpovídá zvýšení jejich měrného povrchu a snížení mezičásticové vzdálenosti. Očekávaný trend však nebyl potvrzen u vzorků z R660. Tyto výsledky jsou ovlivněny dvěma faktory: (1) Doby mletí byly na základě předchozí práce (nepublikováno) optimalizovány v poměrně úzkém rozmezí, při větších rozdílech distribucí velikosti částic by byly trendy odporů patrnější, jak bylo prokázáno v práci Stránské a spol.<sup>3</sup>; (2) vyšší ITT a nižší bod tání usnadnily zpracování AM z MR60MC2. Z výsledků vyplývá, že distribuce a dispergace anexu v R660 byla při shodném plnění a času mletí horší než v MR60MC2. Ze snímků lomových ploch AM pořízených pomocí SEM je navíc patrné, že pojivo R660 (obr. 4A a 4C) těsněji obklopuje částice anexu, zatímco ve struktuře AM z MR60MC2 (obr. 4B a 4D) bylo nalezeno vyšší množství kavit v okolí anexo-

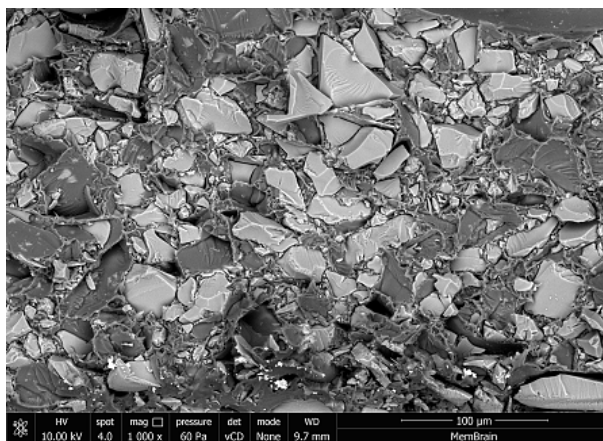
vých zrn a armující textilie (vlákno textilie patrné v dolní části obr. 4D). Kavity na snímcích odpovídají tmavě šedým až černým oblastem. AM získané z R660 měly vyšší heterogenitu struktury ve smyslu distribuce kavit a pórů umožňujících příjem vody a tudíž přenos iontů, což se spolu s nižším obsahem vody negativně odrazilo na hodnotách specifických odporů.

AM z R660 s plněním 64 hm.% anexem mletým 20 až 40 min měly specifické odpory (123–126  $\Omega$  cm) srovnatelné s komerčně dostupnou AM(H)-PES Ralex® (< 120  $\Omega$  cm); za daných podmínek postačí pro přípravu AM z R660 anex mletý 20–30 min. AM z MR60MC2 dosáhly velmi příznivých hodnot odporů již při plnění 60 hm.% anexem mletým 15 min (103  $\Omega$  cm); při plnění 64 hm.% poklesly hodnoty odporů pod 85  $\Omega$  cm. V případě pojiva MR60MC2 by pro získání AM s příznivým odporem stačilo plnění 60 hm.% anexem mletým 15 min. Použití MR60MC2 je výhodnější, neboť

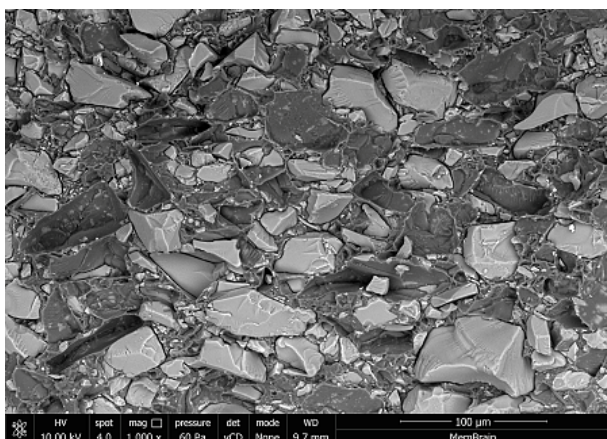
A



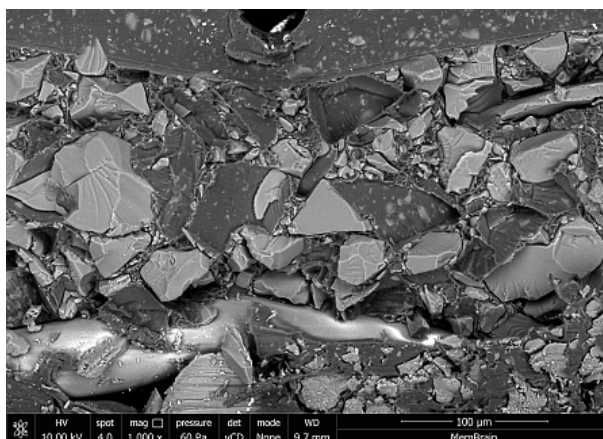
B



C



D



Obr. 4. Snímky lomu membrán ze SEM; 56 hm.% anexu A) R660, B) MR60MC2; 64 hm.% anexu C) R660, D) MR60MC2, ve všech případech s anexem mletým 20 min

umožňuje vyšší botnavost a tím dosažení nižších odporů než v případě komerčně dostupných AM(H)-PES Ralex<sup>®</sup> či MA-40 nebo MA-41 (JSC Shchekinoazot).

## Závěr

Vzorky anexových membrán (AM) byly připraveny obdobně jako v průmyslovém měřítku, jediným rozdílem byla dodatečná laminace v lisu, která je v průmyslovém měřítku realizována souběžně s extruzí. AM na bázi statistického kopolymery polypropylenu (PPR) MR60MC2 s 60 a 64 hm.% anexu měly srovnatelné nebo lepší odpory než komerčně dostupná AM(H)-PES Ralex<sup>®</sup>, MA-40 či MA-41 při současném snížení botnavosti. Voda působí v membráně jako změkčovadlo, lze tedy očekávat přínos PPR pro zlepšení mechanických vlastností iontové výměnných membrán (IM) oproti IM z dosud široce používaného LDPE. Z pohledu zpracovatelnosti je výhodnější MR60MC2, neboť lze využít nižších teplot a vyššího indexu toku taveniny, jež usnadňuje distribuci a dispergaci plniva. Struktura AM z MR60MC2 obsahovala ve srovnání s R660 vyšší množství kavit a pórů, které zesílily botnání a příznivě ovlivnily hodnotu specifického odporu. S rostoucí dobou mletí se zvyšuje nákladnost výroby, plnění 60 hm.% anexu mletého 15 min zlepšuje ekonomiku a výrobní kapacitu mlýnu.

*Tato práce vznikla v rámci projektu LO1418 „Progresivní rozvoj Membránového inovačního centra“ podporovaného programem NPU I Ministerstva školství a tělovýchovy České republiky s využitím infrastruktury Membránového inovačního centra.*

## LITERATURA

1. Křivčík J., Vladařová J., Hadrava J., Černín A., Brožová L.: *Desalin. Water Treat.* 14, 179 (2010).
2. Khodabakhshi A. R., Madaeni S. S., Hosseini S. M.: *Sep. Purif. Technol.* 77, 220 (2011).
3. Stránská E., Neděla D., Válek R., Křivčík J.: *Chem. Listy* 109, 701 (2015).
4. Dammak L., Larchet C., Grande D.: *Sep. Purif. Technol.* 69, 43 (2009).
5. Svoboda M., Beneš J., Vobecká L., Slouka Z.: *J. Membr. Sci.* 525, 195 (2017).
6. Schauer J., Kúdela V., Richau K., Mohr R.: *Desalination* 198, 256 (2006).

7. Zhang M., Liu J., Wang Y., An L., Guiverde M. D., Li N.: *J. Mater. Chem. A* 3, 12284 (2015).
8. Kikhavani T., Asrafizadeh S. N., Van der Bruggen B.: *Electrochim. Acta* 144, 341 (2014).
9. Hong J. H., Park M. C., Hong S. K.: *J. Appl. Polym. Sci.* 112, 830 (2009).
10. Compan V., Fernandez-Carretero F. J., Riande E., Linares A., Acosta J. L.: *J. Electrochem. Soc.* 154, B159 (2007).
11. Polat K., Sen M.: *eXPRESS Polym. Lett.* 11, 209 (2017).
12. Neagu V., Avram E., Lisa G.: *React. Funct. Polym.* 70, 88 (2010).
13. Ezzeldin H. A., Apblett A., Foutch G. L.: *Int. J. Polym. Sci.* 2010, 1.
14. Zárybnická L., Stránská E., Machotová J., Lencová G.: *Int. J. Polym. Sci.* 2016,
15. Vyas P. V., Shah B. G., Trivedi G. S., Ray P., Adhikary S. K., Rangarajan R.: *J. Membr. Sci.* 187, 39 (2001).
16. Hu K. Y., Xu T. W., Yang W. H., Fu Y. X.: *J. Appl. Polym. Sci.* 91, 167 (2004).
17. Hnát J., Paidar M., Schauer J., Žitka J., Bouzek K.: *J. Appl. Electrochem.* 41, 1043 (2011).

## K. Weinertová, E. Stránská, D. Neděla, and J. Křivčík (MemBrain s.r.o., Stráž pod Ralskem): Optimization of Preparation of Heterogeneous Anion Exchange Membrane Based on Polypropylene

Commercially available heterogeneous ion exchange membranes are often based on various types of polyethylene matrix, while the use of polypropylene based matrix has only rarely been mentioned in the literature. The objective of this paper was to optimize the composition of heterogeneous anion exchange membranes based on polypropylene random copolymer using varying content and particle size distribution of anion exchange resin. With respect to the type of polypropylene matrix, we observed significant differences in membrane thickness, water content, and specific resistance. The resulted membranes had better specific resistance than commercially available heterogeneous membranes at lower water content.

Keywords: ion exchange membrane, polypropylene, particle size distribution