

NEKAJ MOŽNIH POSTOPKOV IZDELAVE HIDROFOBNIH IN OLEOFOBNIH POLIMERNIH MEMBRAN TER NJIHOVA UPORABA

HYDROPHOBIC AND OLEPHOBIC MEMBRANE USAGE AND PRODUCTION PROCESSES

Darko Drev¹, Jože Panjan²

¹Inštitut za vode RS, Hajdrihova 28c, 1000 Ljubljana, Slovenia

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova ul. 2, 1000 Ljubljana, Slovenia
darko.drev@gmail.com

Prejem rokopisa – received: 2009-09-17; sprejem za objavo – accepted for publication: 2009-12-07

Pri nekaterih vrstah uporabe so zelo zaželene hidrofobne in oleofobne lastnosti membran. To daje takšnim membranam odločilno prednost pred drugimi materiali. Na podlagi prikazanega postopka izdelave PTFE-membran je razvidno, da njihove pore ne morejo biti manjše od pribl. 0,01 μ m. To pomeni, da tovrstne membrane ne moremo uporabljati pri zelo finih filtracijah (ultrafiltracija, reverzna osmoza). Poleg politetrafluoretilena imajo zelo izražene hidrofobne in oleofobne lastnosti tudi polisiloksani. Tako kot obstajajo omejitve pri izdelavi PTFE-membran, so tudi pri polisiloksanih (silikonih). Polisiloksanskih membran žal ni mogoče izdelati po klasičnem postopku inverzije faz. Kot zelo grobi nadomestki za drage PTFE-membrane so se uveljavili tudi razni oleofobni in hidrofobni premazi na osnovi mehanskih pen in emulzij. V obeh primerih mora biti v osnovno matrico vgrajen ustrezeni hidrofobni in oleofobni material (na primer fluorokarbon). Odprtost strukture in velikost por pri tovrstnih materialih še zdaleč ni primerljiva s PTFE-membranami. V tem članku je opisan nov postopek izdelave asimetričnih polisiloksanskih membran, ki je osnova za rešitev nastalega problema. Na podlagi takšnega postopka bi bilo morda možno izdelati tudi zelo fine asimetrične polisiloksanske membrane, ki bi imele veliko primerjalno prednost pred vsemi drugimi polimernimi materiali.

Ključne besede: membrana, oleofobno, hidrofobno, filtracija

Hydrophobic and oleophobic membrane properties are very desirable for certain filtration process, giving them an advantage over other materials. A polytetrafluoroethylene (PTFE) membrane production process is presented, revealing a minimum membrane pore size of approximately 0.01 μ m. It follows that such membranes are not suitable for very fine filtration uses (ultrafiltration, reverse osmosis). In addition to PTFE, polysiloxanes are also marked by enhanced hydrophobic and oleophobic properties. However, polysiloxane membranes suffer from severe production process limitations as their production has thus far not been possible via classical phase inversion processes. Thus, several oleophobic and hydrophobic coatings based on mechanic foams and emulsions have been introduced as a crude replacement for expensive PTFE membranes. These require the introduction of a suitable hydrophobic or oleophobic material such as fluorocarbon into the polymer matrix. However, the degree of the resulting membrane openness and pore size are not comparable to those of PTFE membranes. In this paper, I present a new production process for asymmetric polysiloxane membranes that provides the basis of a solution to this problem. This process could allow the creation of very fine asymmetric polysiloxane membranes that would have a large comparative advantage to polymers existing today.

Keywords: membrane, oleophobic, hydrophobic, filtration

1 UVOD

C. E. Reid in E. J. Breton sta leta 1959 objavila članek o izdelavi in uporabi polimernih membran po postopku inverzije faz¹³. V njem sta objavila odkritje, da se lahko uspešno izločajo elektroliti iz vodnih raztopin z membrano iz acetata celuloze. Po tem postopku se tudi danes izdelujejo zelo fine membrane za ultrafiltracijo, nano-filtracijo in reverzno osmozo. Tehnologija izdelave PTFE-membran, ki so na trgu poznane kot membrane Gore-tex, izvira iz patenta W. L. Gore and Associates, Inc., Newark, iz leta 1971⁵. Pozneje so se na trgu pojavile nekatere podobne PTFE-membrane ter razni nadomestki na osnovi suspenzij, mehanskih pen, foto polimerizacije, radioaktivnega obsevanja folij, itd. Vendar pa do sedaj z nobenim drugim postopkom in materialom niso uspeli izdelati membran s podobnimi karakteristikami, kot jih imajo PTFE-membrane.

V članku obravnavamo konkretne preizkuse izdelave hidrofobnih in oleofobnih membran, ki smo jih izvedli na podlagi razpoložljivih podatkov (patenti, literatura, podatki proizvajalcev surovin, podatki proizvajalcev tehnološke opreme, izdelki na trgu, itd.) in lastnih zamisli. K inovativnim prispevkom pri tem lahko prištejemo nov način kaširanja PTFE-membran in folij na tekstilno podlogo⁸ ter postopek izdelave asimetrične mikroporozne polisiloksanske membrane⁹. Ker postopka nista bila zaščitena kot EU- ali US-patenta, se lahko prosto uporabljata zunaj Slovenije. Predpostavljamo, da pri laminiranju PTFE-membran uporabljajo podobno tehnologijo, kot je opisana v tem članku. Asimetričnih polisiloksanskih membran pa še ni na trgu, zato sklepamo, da teh raziskav še ni nihče implementiral v praksi.

Polimerne hidrofobne in oleofobne membrane so najpomembnejše za mikrofiltracijo. Razlog za to je velika odprtost strukture ter hidrofobne in oleofobne lastnosti. V zadnjem desetletju so postale nepogrešljive v

oblačilni in obutveni industriji. Veliko se uporabljajo tudi pri industrijskem odpraševanju, tekočinski filtraciji, bioloških čistilnih napravah itd. ^{1,2,14}. Zaradi relativno velikih por pa niso primerne za fino filtracijo (ultrafiltracija, nanofiltracija, reverzna osmoza).

Pri izbiri materialov za izdelavo polimernih membran je pomembno vedeti, kakšno vrsto membrane želimo izdelati, ter za kaj jo bomo uporabljali. Iz PTFE ne moremo izdelati membrane po postopku inverzije faz, temveč po postopku biaksialnega raztegovanja folije. Tako ne dobimo zelo finih por, kot jih lahko na primer

pri polivinilacetatni ali polisulfonski membrani. Vendar pa imajo PTFE-membrane zelo veliko odprtost površine ter hidroforne in oleoforne lastnosti. Polimerne membrane so v večini primerov premalo mehansko stabilne, zato potrebujejo tudi ustrezen nosilni material ^{1,2,11}. PETF-membrane se največkrat laminirajo na različne tekstilne podloge ⁸.

Posamezne polimerne folije imajo različne prepustnosti za različne pline, kar je prav tako pomembna lastnost pri izbiri materiala za membrano ^{3,4,10,12}. V tabelah 1 in 2 so prikazane prepustnosti polimernih folij za kisik, ogljikov dioksid in vodno paro.

Tabela 1: Prepustnost kisika pri različnih polimernih folijah ⁴

Table 1: Oxygen permeability of different plastic films ⁴

Polimerni sloj	Prepustnost 10 ⁹ cm ³ cm/(s cm ² kPa)
Dimetilsilikonska guma	45,01
Fluorsilikon	8,25
Nitrilna guma	6,37
Naravna guma	1,80
Butilna guma	0,105
Polistiren	0,090
Polietilen HD	0,075
Najlon 6	0,003
Polietilentereftalat	0,0014
Politetrafluoretilen	0,003

2 EKSPERIMENTALNI DEL

2.1 Mikroporozni sloji

Pri membranskih filtrih z mikroporoznimi sloji se formira mikroporozna plast neposredno na tekstilno podlago. Na tekstilni material se nanaša mikroporozna polimerna mehanska pena, ki se mora po nanosu ustrezno utrditi. Princip formiranja mehanske pene je relativno enostaven ^{6,7}: na specialnem stroju se pod tlakom umešava zrak v polimerno disperzijo. Nastane mehanska pena, podobna smetani za kavo. Kakovost in obstojnost mehanske pene je odvisna od gostote

Tabela 2: Prepustnost različnih polimernih folij za H₂O, O₂ in CO₂ pri 25 μm, 90 % RV in 38 °C (3)

Table 2: Permeability of different plastic films for H₂O, O₂ and CO₂ at 25 μm, 90 % RV and 38 °C

Folija	Prepustnost H ₂ O pare (g/m ² × 24 h)	Prepustnost O ₂ (10 ⁵ cm ³ /m ² 24 h Pa) 25 μm	Prepustnost CO ₂ 10 ⁵ cm ³ /m ² 24 h Pa) 25 μm
PES	25–30	40–50	300–350
PC	77–93	4559	27351
Ionomer	25–35	6000–7000	6000–7000
EVA	50–60	11000–14000	40000–50000
Najlon 1,1	40–80	507	1925
CA	100–320	2000–3000	15 702
Regenerirana celuloza	5–15	677	987
Orientirani PS	70–150	4500–6000	13169
PVDC	1,5–5,0	8–25	51
Mehčani PVC	15–40		
Trdi PVC	30–40	150–350	450–1000
Orientirani PE	7	2000–2500	7500–8500
PP	10–12	3748	10130
PE HD	5	1600–2000	30000–40000
PE LD	15–20	650–8500	30000–40000

Pojasnilo kratic:

PTFE = politetrafluoretilen

PES = poliester

EVA = etilvinilacetat

CA = celulozniacetat

PS = polisulfon

PVDC = polivinilidenklorid

PVC = polivinilklorid

PP = polipropilen

PE HD = visokomolekularni polietilen

PE LD = nizkomolekularni polietilen

Najlon 6, Najlon 11 = vrsti poliamida

disperzije, površinske napetosti, viskoznosti in drugih razmer pri delovanju stroja.

Postopek izdelave filter medijev na bazi tekstilne podlage in mikroporoznega polimernega sloja obsega naslednje tehnološke faze ¹¹:

- pripravo polimerne disperzije
- formiranje polimerne mehanske pene (**slika 1**)
- nanos polimerne mehanske pene na tekstilno podlago (**slika 2**)
- sušenje in kalandriranje (**slika 2**)
- utrjevanje (kondenzacija) polimernega nanosa (**slika 3**)

Na **sliki 4** je elektromikroskopski posnetek mikroporozne mehanske pene, ki je bila izdelana na podlagi navedene recepture in opisanega postopka.

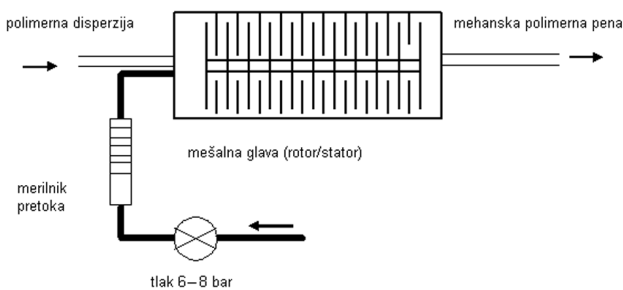
Primer recepture za izdelavo mikroporoznih premazov:

- 400 mas. d. DICRYLAN FL
- 300 mas. d. DICRYLAN 7331
- 300 mas. d. DICRYLAN PMC
- 100 mas. d. Helizarinweiß RTN
- 100 mas. d. SCOTCHGARD FC 251
- 100 mas. d. DICRYLAN-STABILIZATOR FO

Vmešavanje zraka: 210 g/L

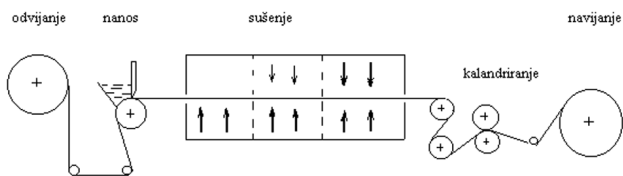
Sušenje: 70–110 °C

Kondenzacija: 150 °C



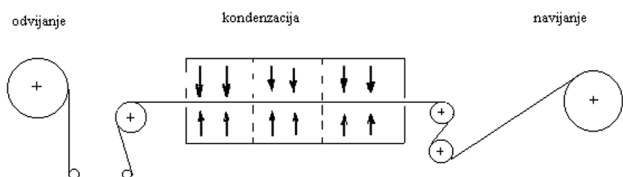
Slika 1: Shematski prikaz stroja za formiranje mehanske pene

Figure 1: Plan of the machine for mechanical foam



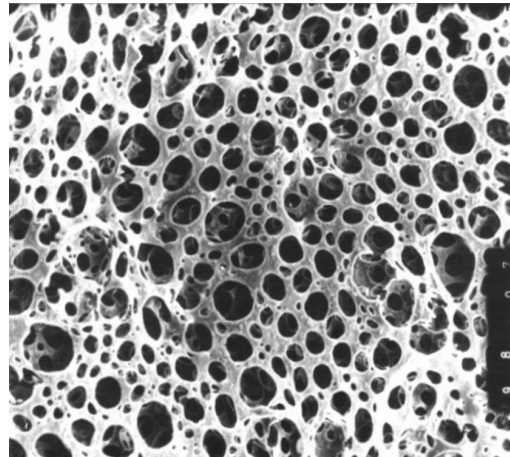
Slika 2: Nanos, sušenje in kalandriranje

Figure 2: Application, drying and calendaring



Slika 3: Kondenzacija

Figure 3: Condensation



Slika 4: Fotografija mikroporozne mehanske pene, izdelane na osnovi poliakrilatne disperzije in fluorkarbona, povečava 190-kratna

Figure 4: Photo of microporous mechanical foam produced on the basis of polyacrylate dispersion and fluorocarbon, magnification 190-times

2.2. Izdelava PTFE-membran

Po tem postopku se izdelujejo membrane iz polimernega prahu PTFE (5). V patentu (W. L. Gore) so zaščiteni le osnovni principi, tehnološki postopek pa je obsežnejši in obsega naslednje faze:

- ovlaženje PTFE-prahu z ustreznim drsnim sredstvom;
- homogenizacija navlaženega materiala;
- oblikovanje predoblikovanca ustreznega profila z ekstrudiranjem;
- oblikovanje folije s kalandriranjem;
- biaksialno raztegovanje folije;
- odstranjevanje drsnega sredstva iz folije;
- utrditev folije.

V **tabeli 3** so prikazani materiali, ki smo jih uporabljali pri laboratorijskih in pilotnih preizkusih. Na **sliki 5** pa je prikazana kompletna tehnološka shema izdelave PTFE-membran.

Tabela 3: Uporabljene surovine za izdelavo PTFE-membran

Table 3: The raw materials used to manufacture PTFE-membranes

Proizvajalec	PTFE-prah	Drsno sredstvo
DU POINT Fluoropolymer Division	Teflon 669 N, 62 N, 636 N	
ICI Plastics Division	Fluon, CD1	
HOECHST AG Werk Gendorf	Hostaflon TF 2028, TF 2027, TF 2025	
SHELL Industrial Chemicals		Shellsol T, Shellsol K, Shell Sinarol II

V odvisnosti od raztegovanja folije so lahko pore v membrani manjše ali večje ⁵. V **tabeli 4** so podane različne vrste Gore-tex-membran, ki so nastale zaradi različne stopnje raztegovanja. Postopek biaksialnega raztegovanja je najzahtevnejši del proizvodnje PTFE, saj

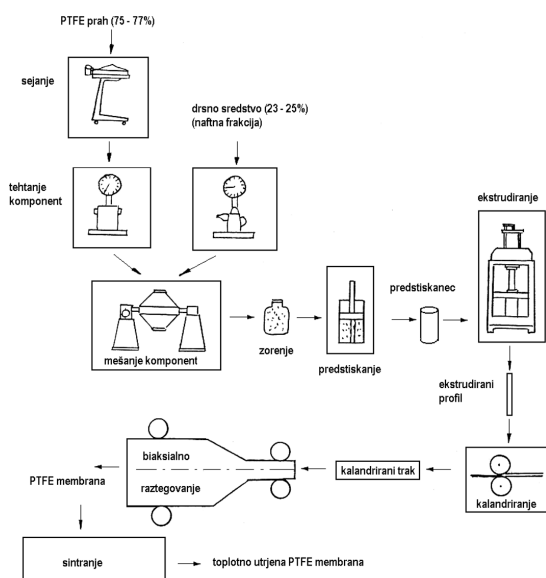
je potrebna velika hitrost raztegovanja za doseg ustrežne poroznosti (podatki iz patenta).

Tabela 4: Prikaz strukture in lastnosti različnih Gore–tex–membran
Table 4: Illustration of the structure and properties of different Gore–tex–membranes

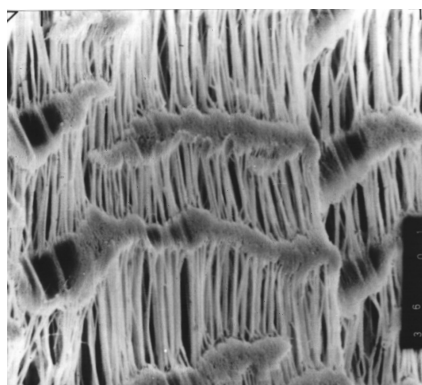
velikost por μm	debelina mm	poroznost %	pretok zraka* ml/ (min cm ²)	prestop vode** bar
0,02	0,080	50	2,3	24,00
0,20	0,060	78	72,0	2,75
0,45	0,080	84	190,0	1,35
1,00	0,080	91	370,0	0,48
3,00	0,025	95	930,0	0,13
5,00	0,025	95	3.870,0	0,07
10,00 – 15,00	0,013	98	11.300,0	0,03

* prepustnost zraka pri ΔP 0,01 bar

**minimalna prepustnost vode

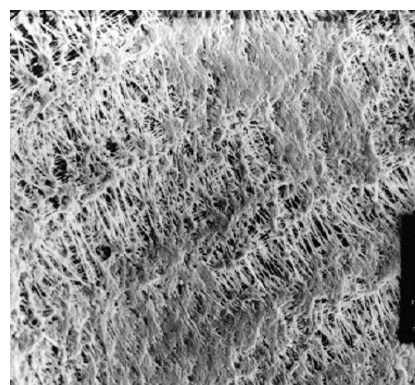


Slika 5: Postopek izdelave PTFE–membran
Figure 5: The process of manufacturing PTFE–membranes



Slika 6: Naša PTFE–membrana, ki je raztegnjena samo v eni smeri (elekt. mikroskop, povečava 1900–kratna)

Figure 6: Our PTFE–membrane stretched in one direction only (elect. microscope, magnification 1900–times)



Slika 7: Gore-tex PTFE–membrana na PES–filcu 500 g/m², (elekt. mikroskop, povečava 1900–kratna)

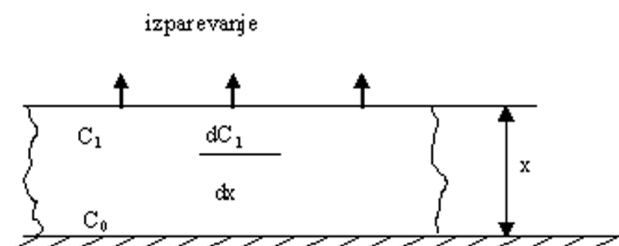
Figure 7: Gore-tex PTFE–membrane felt in the PES 500 g/m², (elect. microscope, magnification 1900–times)

Na **sliki 6** je prikazan vzorec PTFE–membrane, ki smo jo raztegovali samo v eni smeri. Na **sliki 7** pa je prikazan vzorec Gore–tex–membrane, ki je laminiran na poliestrskem filcu. S slike je razvidno, da je membranska struktura delno zaprta z lepilom. To pomanjkljivost smo odpravili tako, da smo na tekstilna vlakna nanesli v zelo tanki plasti ustrezno lepilo in na tako pripravljeno podlogo laminirali PTFE–membrano ⁸.

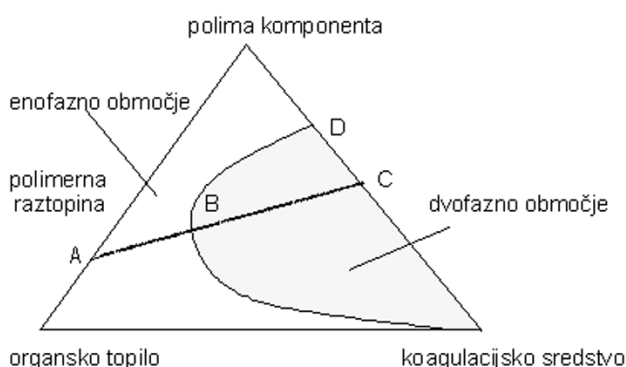
2.3 Koagulacijski postopek izdelave polimernih membran

S spreminjanjem tehnoloških parametrov lahko izdelamo polimerne membrane z različnimi karakteristikami. Če polimerno raztopino nanesemo na površino ali na nekakšen drug način, formiramo plast polimerne raztopine (v obliki cevčice) tako, da je na eni strani izparevanje toplila, na drugi pa neprepustna plast, se tvori koncentracijski gradient (**sliki 8 in 10**). Pri koagulaciji zato nastane asimetrična struktura membrane ^{1,2}. Na tistem delu, kjer je manj toplila, nastanejo fine pore, na preostalem delu pa gobasta struktura.

Koagulacija se opravlja v netopilu za polimer, ki je istočasno dobro razredčilo za topilo, v katerem je raztopljen polimer (**slika 9**). Pogosto se uporablja kot koagulacijsko sredstvo voda ali vodna para. Za raztapljanje polimernih materialov pa se uporabljajo v glavnem organska topila.



Slika 8: Izparevanje toplila pri sloju tanke polimerne plasti
Figure 8: Evaporation in thin layer of polymer layers



Slika 9: Diagram koagulacije polimerne membrane
Figure 9: Diagram of coagulation of polymeric membrane

V laboratorijskih razmerah smo izdelovali membrane po naslednjem postopku:

- priprava polimerne raztopine,
- nanašanje tankega sloja na ravno ploščo (stekleno),
- izparevanje pod kontroliranimi pogoji, da se tvori koncentracijski gradient,
- koagulacija (voda, organska topila),
- ekstrakcija organskih topil (voda, organska topila),
- sušenje v sušilniku.

Na **sliki 10** je shematsko prikazan laboratorijski postopek izdelave asimetričnih polimernih membran, ki smo ga uporabljali pri laboratorijskih preizkusih.

2.4 Možni postopek izdelave asimetričnih polisiloksan-skih membran

Po tem postopku formiramo asimetrično membrano z inverzijo faz. Mehansko stabilnost pa dosežemo kasneje z zamreženjem⁹. Zato je pomembno, da uporabljamo takšen postopek zamreženja, da se ne poškoduje asimetrična struktura membrane.

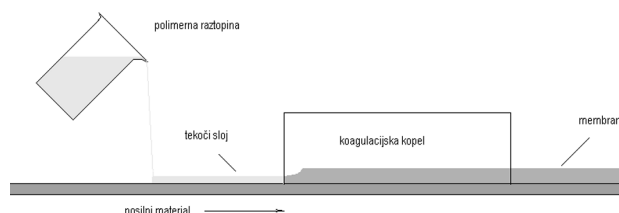
Polimerne verige imajo navadno od 200 do 800 enot. Končne skupine (X) so najpogostejše:

- (OH) za kondenzacijsko zamreženje
- (CH₂ = CH-) za adicijsko zamreženje
- (CH₃-) za peroksidno zamreženje

Kot reaktivne skupine (Y) se najpogosteje uporabljajo (CH₂ = CH-)- skupine. Zamreževalci morajo imeti najmanj tri funkcionalna mesta, preko katerih se opravlja zamreževanje. Najpogostejši zamreževalci so:

- metil-vodik-siloksani z več vodikovimi atomi v molekuli
- tri ali tetraalkoksilani
- triaminoalkilsilani

Reakcijo zamreženja sprožimo s katalizatorji, ki skrajšajo reakcijski čas. Kondenzacijsko zamreženje, ki



Slika 10: Shematski prikaz izdelave polimernih asimetričnih membran po postopku inverzije faz

Figure 10: Production of asymmetric polymeric membranes by phase inversion process

se odvija pri sobni temperaturi ob prisotnosti zračne vlage, za naše namene ni primerno, ker nastanejo pri tem reakcijski produkti, ki lahko poškodujejo relativno nestabilno strukturo membrane. Pri tem postopku se uporabljajo linearni silikoni s končnimi skupinami -OH. Kot zamreževalci pa se uporabljajo:

- H- silikoni
- estri silicijeve kisline

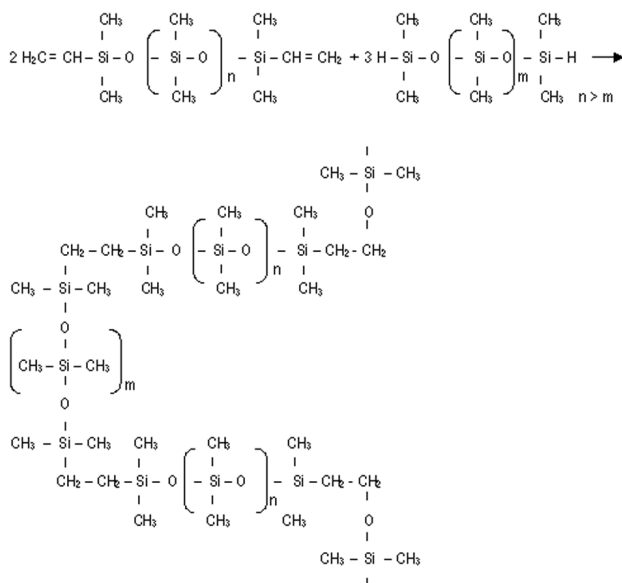
Kot katalizator se najpogosteje uporablja organski kompleks kositra, ki je raztopljen v ustreznem topilu. Kondenzacija poteka tako, da se odcepljajo vodik, voda in alkohol. Reakcijska hitrost je odvisna od reaktivnosti zamreževalca, katalizatorja in temperature. Pri temperaturi med 120 °C in 180 °C je čas zamreženja med 30 s in 3 min. Zamreženje poteka tudi pri sobni temperaturi, vendar pa je čas bistveno daljši (do 24 h).

Postopek peroksidnega zamreženja je najstarejši. Pri tem postopku je lahko veriga siloksan s CH₃ - končnimi skupinami ali pa s CH₂ = CH- stranskimi skupinami. Zamreževalec v tem primeru največkrat ni potreben, ker peroksidni katalizator aktivira CH₃ - skupino siloksanse verige in nastane preko nje zamreženje. Kot katalizatorji se najpogosteje uporabljajo različni peroksidi (benzoi-peroksid).

Adicijski postopek je najprimernejši za dokončno utrditev relativno nestabilne strukture membrane. Pri tem postopku se uporabljajo linearni silikoni s končnimi vinilnimi skupinami (CH₂ = CH-). Zamreževalci imajo proste - H atome. Kot katalizatorji se uporabljajo čisti metali. Pri tem postopku ne nastanejo stranski produkti, ki bi lahko poškodovali membransko strukturo. Adicijsko zamreženje se začne pri temperaturi med 90 °C in 100 °C in se nato med 140 °C in 170 °C močno poveča. Reakcijska hitrost zamreženja je pri 150 °C od 15s do 30 s in pri 120 °C od 30s do 60 s.

Zamreženje se lahko doseže tudi radioaktivnim obsevanjem. Radikali, ki so potrebni za zamreženje, se namreč lahko dobijo tudi s pospešenimi elektroni. Takšen postopek je primeren predvsem pri kontinuirnem tehnološkem postopku zamreženja silikonske membrane.

Postopek zamreženja poteka po naslednjem mehanizmu:



Tehnološki postopek izdelave sestavljajo naslednje tehnološke faze (9):

- tehtanje in mešanje komponent;
- razredčitev do primerne viskoznosti;
- odstranitev mehurčkov, če je raztopina preveč viskozna (vakumiranje);
- oblikovanje tankega sloja raztopine (ravna plast, formiranje cevne profila);
- v laboratorijskih razmerah je najenostavnejše nanašanje z ustreznim nožem na stekleno ploščo;
- sušenje oziroma tvorba koncentracijskega gradienta (odvisno od vrste topil, debeline sloja, temperature itd.);
- koagulacija (inverzija faz), pri čemer nastanejo asimetrične polisiloksanske (silikonske) membrane;
- odvisna je od vrste polimernih materialov, topil v polimerni plasti ter vrste koagulacijskega sredstva;
- zamreženje nastale polimerne membrane;
- odvisno je od polimernih materialov in vrste zamreženja.

Preizkuse smo izvedli v laboratorijskih razmerah. Na ravno stekleno ploščo smo nanесли pribl. 0,1 mm debel sloj polisiloksanske raztopine. Pri sobni temperaturi smo spreminjali čas sušenja v odvisnosti od razmerja topil metiletilketon/toluen. V primeru, da je topilo samo toluen, je čas sušenja bistveno daljši kot pri raztopini s precejšnjim deležem metiletilketona. Ko je nastal zaželen koncentracijski gradient, smo izvršili inverzijo faz v cikloheksanonu, ki je netopilo za polisiloksan. Cikloheksanon pa je dobro topilo za toluen in metiletilketon. Nastalo membrano smo nato osušili in s postopnim dvigovanjem temperature tudi utrdili z zamreženjem.

Veliko enostavneje lahko poteka postopek izdelave asimetričnih polisiloksanskih (silikonskih) membran pri izbiri drugih topil in vodi kot koagulacijskem sredstvu.

3 DISKUSIJA

Hidrofobne in oleofobne membrane imajo velike prednosti pred drugimi polimernimi in kompozitnimi membranami. Zaradi hidrofobnosti zadržujejo vodo tudi z relativno velikimi porami. Oleofobnost pa zagotavlja, da se na površini ne nabirajo razne nečistoče. Pri oblačilih se takšne membrane uporabljajo za vodo neprepustna oblačila, ki pa prepuščajo paro (Gore-tex). Pri filtririh za odpravevanje preprečujejo nabiranje oblog na filterskem mediju. Podobno velja tudi pri membranskih modulih¹⁴, ki se uporabljajo pri komunalnih čistilnih napravah. Asimetrične membrane z zelo fino strukturo bi lahko imele celo vrsto novih aplikacij, ki jih drugi polimerni materiali ne morajo ponuditi. Te aplikacije bi lahko temeljile na zelo veliki prepustnosti plinov. Polisiloksanska folija brez membranske strukture je več kot 100-krat bolj prepustna za CO₂, O₂, N₂ kot druge. Če bi imela folija še asimetrično membransko strukturo, bi bila ta prepustnost še mnogo večja. Ker pa je polisiloksan hidrofoben, bi preprečil prepuščanje vode. Morda je možno na osnovi asimetrične polisiloksanske membrane izdelati umetne škrge, ki bi omogočale uporabo kisika iz vode in odvajanje ogljikovega dioksida v njo. Sposobnost prepuščanja plinov in zadržavanje vode, ki jo imajo hidrofobne membrane, bi lahko uporabili tudi v raznih drugih separacijskih postopkih. Če imajo membrane še oleofobne lastnosti, so še toliko bolj uporabne. Zato ni čudno, da so v zadnjem času začeli uporabljati membranske filterske module na osnovi PTFE, PVDT in še nekaterih drugih membran v kombinaciji z biološkimi čistilnimi napravami s suspendirano biomaso¹⁴. V tem primeru se doseže bistveno večja koncentracija biomase v bazenu in je zato potreben mnogo manjši volumen. Poleg tega ne potrebujemo bazena za kasnejše usedanje ter posebne stopnje sterilizacije. Membrana z velikostjo por 0,2 μm zadrži poleg velikih delcev tudi vse bakterije.

4 SKLEP

Glavna slabost sedanjih hidrofobnih in oleofobnih membran je njihova omejenost za zelo fino filtracijo. Razlog za to je v tehnologiji izdelave tovrstnih membran. Zelo fine membrane z veliko odprtostjo strukture se namreč izdelujejo po postopku inverzije faz. Po tem postopku žal ni možno izdelati PTFE-membrane. Tudi polisiloksanskih membran z asimetrično strukturo por še ni na trgu. Morda bo postopek, ki je opisan v tem članku, spodbudil proizvajalce membran, da bi razmišljali o predlagani tehnološki rešitvi.

5 REFERENCE

- ¹ Handbook of Industrial Membrane Technology, Edited by: Porter, M. C., 1990 William Andrew Publishing/Noyes

- ² Rösler, H. W., Membrantechnologie in der Prozessindustrie – Polymer membranwerkstoffe, 77, No5, 2005, Chemie Ingenier Technik
- ³ Müller, K., Kunststoffflaschen und Verschlüssen-Messung und Modellierung der Stofftransportvorgänge, Ph. Thesis, Technische Universität München, 2003
- ⁴ Zhang, H., The permeability characteristics of silicone rubber, society for the advancement of material and process engineering, 2006
- ⁵ W. L. Gore and Associates Inc., Patent za izdelavo PTFE membran, 1972, Auslegenschrift 21 23 316
- ⁶ Wilson, A. J., Foams, Physics, chemistry and structure, 1989
- ⁷ Kornev, K. G., Neimark, A. N., Rozhkov, Foam in porous: thermodynamic and hydrodynamic peculiarities, Advances in colloid and interface science, 82 (1999)
- ⁸ Drev, D., Nov način kaširanja PTFE membran in folij na tekstilno podlogo. Patent 9200375, z dne 18. 10. 1994. Ljubljana: Urad Republike Slovenije za varstvo industrijske lastnine, 1994
- ⁹ Drev, D., Postopek izdelave asimetrične mikroporozne polisiloksan-ske membrane. Patent 21544. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2005
- ¹⁰ Zheng, J. P., Charbel, P. T., Kwok, H. S., Microporous silicon as a light trapping layer for photodiodes, Electrochemical and Solid-state Letters, 3 (2000) 7, 338–339
- ¹¹ Drev, D., Filtri za otprašivanje s mikroporoznim polimernim slojevima = Dust filtering with microporous polymer layers. Polimeri, 18 (1997) 5–6, 228–232
- ¹² United States Environmental Protection Agency, Office of water, membrane filtration guidance manual, EPA 815-R-06-009, November 2005
- ¹³ Glate, J., The early history of reverse osmosis membrane development, Desalination, 117 (1998), 297–309
- ¹⁴ Pinnekamp, J., Weitergehende Reinigung in kommunalen Kläranlagen mittels MBR-Technologie, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, oktober 2008