

ZÁKLADNÍ  
MEMBRÁNOVÉ  
PROCESY

MILAN ŠÍPEK

Publikace Základní membránové procesy vznikla s finanční podporou těchto členů České membránové platformy, z.s.: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Ústav environmentálního a chemického inženýrství, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Kemwater ProChemie s.r.o., Kemifloc a.s., MEGA a.s., MemBrain s.r.o.





VYSOKÁ ŠKOLA  
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ  
V PRAZE



# ZÁKLADNÍ MEMBRÁNOVÉ PROCESY

MILAN ŠÍPEK

PRAHA 2018

Membránové procesy v současné době nacházejí uplatnění v průmyslu chemickém, petrochemickém, potravinářském, vodárenském, elektrotechnickém, automobilovém, ve zdravotnictví, v energetice, v ochraně životního prostředí a mnohých oblastech našeho běžného života. O významu základních membránových procesů, které patří k technologiím 21. století, se lze dočíst právě v této brožuře.

Brožura je určena především učitelům technických předmětů a jejich studentům na středních školách, neboť informuje o nejdůležitějších membránových procesech, jejich principech a využití.

V kapitole o tlakových membránových procesech je popsána mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace, reverzní osmóza a oblasti jejich použití. V kapitolách o membránovém dělení plynů a par a pervaporaci jsou vedle mechanismů těchto procesů ukázány možnosti membrán při dělení různých plynných i kapalných směsí. Kapitola o elektromembránových procesech se věnuje aplikačním možnostem těchto procesů při separaci nebo syntéze látek a také při konverzi energie.

V brožuře jsou také odkazy na českou odbornou literaturu věnovanou problematice membránových procesů, kde se čtenář může dozvědět více a podrobněji o řadě dalších membránových procesů.

Text odborně posoudil Ing. Pavel Izák, Ph.D., DSc.

© Milan Šípek, 2018

Cover Design © Dana Husníková, 2018

Typo and Prepress © Blanka Klimešová, 2018

ISBN 978-80-7592-023-2 (VŠCHT Praha)

ISBN 978-80-906831-5-0 (CZEMP)

# OBSAH

Seznam symbolů a zkratk	6
Předmluva	9
1 Úvod	11
2 Tlakové membránové procesy	17
2.1 Popis tlakových membránových procesů	17
2.1.1 Mikrofiltrace	18
2.1.2 Ultrafiltrace	18
2.1.3 Nanofiltrace	19
2.1.4 Reverzní osmóza	19
2.2 Stručná historie tlakových membránových procesů	21
2.3 Současný stav a závěr	22
3 Membránové dělení plynů a par	25
3.1 Popis membránového dělení plynů a par	25
3.2 Průmyslové dělení směsí plynů nebo par	28
3.2.1 Separace vodíku	29
3.2.2 Separace helia	31
3.2.3 Separace oxidu uhličitého	31
3.2.4 Dělení vzduchu	32
3.2.5 Separace par organických látek	33
3.2.6 Separace vodních par	34
3.2.7 Separace zemního plynu a bioplynu	34
3.2.8 Membránové čištění spalin	36
3.3 Stručná historie membránového dělení plynů a par	37
3.4 Současný stav a závěr	38
4. Pervaporace	41
4.1 Popis pervaporace	41
4.2 Stručná historie pervaporace	44
4.3 Současný stav a závěr	44
5. Elektromembránové procesy	47
5.1 Popis elektromembránových procesů	47
5.1.1 Elektromembránové separační procesy	48
5.1.2 Elektromembránové syntézní procesy	50
5.1.3 Membránové procesy pro konverzi energie	51
5.2 Stručná historie elektromembránových procesů	55
5.3 Současný stav a závěr	57
6 ZÁVĚR	59
Rejstřík	61

# PŘEDMLUVA

Membránové procesy, zejména membránové separační procesy, jsou součástí mnoha technologií v řadě průmyslových odvětví. Přesto jsou znalosti o těchto dělicích procesech v široké veřejnosti, včetně učitelů technických předmětů a žáků středních škol, velmi malé. To byl důvod k sepsání této brožury, popisující základní membránové procesy a jejich praktické využití.

Brožura vznikla na základě Strategické výzkumné agendy, vypracované v rámci projektu **Membránové procesy (MEMPRO)**. Tento projekt je financován **Evropským fondem pro regionální rozvoj, Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost** a příjemcem podpory je Česká membránová platforma, z.s. Na vypracování Strategické výzkumné agendy se podílely jednotlivé expertní skupiny. Vedoucím expertní skupiny Tlakové membránové procesy je prof. Ing. Petr Mikulášek, CSc., z Univerzity Pardubice, vedoucím skupiny Membránové dělení plynů a par a pervaporace je Ing. Pavel Izák, DSc., z Ústavu chemické techniky AV ČR, v.v.i., vedoucím expertní skupiny Elektromembránové procesy je Ing. Petr Křížánek, Ph.D., z výzkumného centra MemBrain, s.r.o., a vedoucím expertní skupiny Membránové materiály je Ing. Miroslav Bleha, CSc., z výzkumného centra MemBrain, s.r.o. Vedoucím všech expertních skupin projektu je doc. Ing. Milan Šípek, CSc., z výzkumného centra MemBrain, s.r.o.

Ačkoliv teoretické základy řady membránových procesů byly známy již v devatenáctém století, praktického využití se dočkaly až v polovině minulého století, a to především díky rozvoji makromolekulární chemie. Membránové separace jsou totiž typickým příkladem technologie, jejíž rozvoj je podmíněn rozvojem jiného průmyslového odvětví. Membrán různých struktur a tvarů, zhotovených z nejrůznějších, převážně syntetických látek, se k oddělení jednotlivých složek směsí začalo používat teprve v relativně nedávné době. Důvodů bylo a je mnoho.

Vedle dostupnosti vhodných membrán s dostatečnou propustností a dělicí schopností to byly důvody ekonomické i ekologické. Energetická krize z počátku sedmdesátých let si vynutila vývoj a použití energeticky méně náročných technologických procesů obecně. I laik na jednoduchém příkladu pochopí, že získat dusík ze vzduchu pomocí separační polymerní membrány je energeticky podstatně výhodnější než použít kryogenní metodu, kdy je nutno vzduch nejdříve zkapalnit a pak oddělit kyslík od dusíku destilací. Rovněž zvyšující se nedostatek surovin je ekonomickým důvodem pro úsilí o jejich lepší využití nebo opětné získání cenných látek při řadě technologických procesů.

Příčinou rychlého rozvoje membránových procesů jsou vedle energetických a ekologických důvodů také požadavky chemického, petrochemického, farmaceutického i potravinářského průmyslu. Rozvoj elektrotechnického průmyslu v minulém století byl podmíněn vývojem a aplikací reverzně osmotické technologie získání ultračisté vody, použití membránových procesů (elektrodialýzy) při odsolování mořské vody nyní i v budoucnosti bude řešit problém nedostatku pitné vody nejen v zemích Afriky a Blízkého východu.

Rovněž rozvoj biotechnologií obecně není možný bez rozvoje membránových procesů. V biostanicích se k oddělení methanu od oxidu uhličitého používají membrány, pomocí membrán se dnes ze vzduchu odstraňují páry organických látek, ze spalin se na membránách odstraňují oxidy uhlíku, síry i dusíku. Rozvoj palivových článků pro pohon elektromobilů je podmíněn vývojem účinných polymerních membrán, moderní elektrolýza je založena na použití polymerních membrán vhodných vlastností.

Membránové procesy jsou právem považovány za technologie 21. století, jak bude podrobně ukázáno v jednotlivých kapitolách této brožury. Budou zde popsány jen základní a nejdůležitější membránové procesy – tlakové membránové procesy, membránové dělení plynů a par, pervaporace a elektromembránové procesy. O jiných membránových procesech (např. membránové destilaci, membránové krystalizaci, difuzní dialýze) se hloubavý čtenář může dozvědět z příslušných monografií. Existuje mnoho knih o membránových separačních procesech, převážně však v angličtině. Jelikož tato brožura je určena širší veřejnosti, nebudou v textu brožury uváděny odkazy na cizojazyčnou literaturu. O jednotlivých membránových procesech se čtenář může podrobněji dozvědět z těchto českých monografií vydaných Českou membránovou platformou, o.s. (CZEMP, o.s.):

1. **Membránové procesy.** Zdeněk Palatý, Ed. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2012. ISBN 978-80-7080-808-5.
2. **Tlakové membránové procesy.** Petr Mikulášek a kolektiv. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2013. ISBN 978-80-7080-862-7.
3. **Membránové dělení plynů a par.** Milan Šípek, Ed. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2014. ISBN 978-80-7080-864-1.
4. **Elektromembránové procesy.** Luboš Novák, Ed. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2014. ISBN 978-80-7080-865-8.

CZEMP, o.s., vydala v roce 2010 také **Anglicko-český a česko-anglický membranologický výkladový slovník**. Autoři slovníku jsou Vlastimil Kůdela, Petr Mikulášek a Zdeněk Palatý, editoři jsou Vlastimil Kůdela a Darina Bouzková, ISBN 978-80-904517-0-4.

Praha, červen 2018  
Milan Šípek  
vedoucí expertních skupin projektu MEMPRO