

# POROVNÁNÍ MODULŮ V PROCESU MEMBRÁNOVÉ DESTILACE S VYUŽITÍM NANOVLÁKENNÉ MEMBRÁNY

Ing. Tomáš Dufek <tomas.dufek@tul.cz>

Membránová destilace je tepelně řízený separační proces, kde díky tepelnému gradientu dochází k odpařování vody ze vstupního proudu, transportu páry skrz membránu a ke kondenzaci na chladné straně. Membránová destilace dosahuje retence solí přes 99 % a výhodou je provoz při nízkých tlacích. Omezením je nízký hydraulický výkon a design membránového modulu. V rámci studie byly porovnány dva typy modulů: direct-contact (DCMD) a air-gap (AGMD). Oba moduly dosahují podobné krátkodobé retence (přes 99 % pro 0,5 mol · l<sup>-1</sup>. DCMD má vyšší průtok než AGMD. AGMD má nižší tepelné ztráty a déle trvající stabilní retenční schopnost (95 % po 30 dnech).

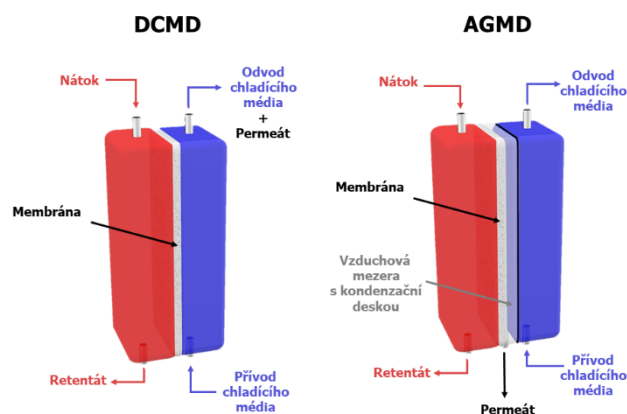
**Klíčová slova:** Nanovláknenné membrány, membránová destilace, electrospinning, odsolování, air-gap, direct-contact.

## ÚVOD

Membránová destilace (MD) je separační proces, který je na rozdíl od běžných tlakových procesů řízený teplotním gradientem. Skrz membránu prostupují pouze molekuly páry. MD se jeví jako slibná technologie v procesu odsolování vysoce koncentrovaných roztoků a čištění odpadních vod [1]. Výhodou procesu MD je především provoz systému při nízkých tlacích. Naopak hlavní omezení spočívá v nízkém hydraulickém výkonu membrán, jelikož membrány musí splňovat několik požadavků, které propustnost membrány snižují, jako je tloušťka vlastní membrány a s tím související dostatečná izolační vlastnost, distribuce a velikost pórů a vysoká a dlouhodobě stabilní hydrofobnost membránového povrchu. Dalším faktorem ovlivňující výkon procesu MD je vlastní membránový modul, respektive jeho design [2].

## METODIKA

V rámci této studie byly porovnány dva nejběžnější membránové moduly používané pro proces MD, a to tzv. direct-contact (DCMD) a air-gap modul (AGMD). V prvním případě se jedná o modul, kde je permeát, který vzniká kondenzací prošlé páry na membráně v chladnějším okruhu, v přímém kontaktu s touto membránou. V druhém případě se jedná o systém, kdy je za membránou na permeátové straně vzduchová mezera a ke kondenzaci dochází na chlazené kondenzační desce – vznikající permeát tedy není v přímém kontaktu s vodou v chladícím okruhu (viz obr. 1) [3]. Oba dva moduly byly testovány za totožných laboratorních podmínek s nanovláknennou membránou připravenou bezjehlovým elektrostatickým zvlákněním na přístroji Nanospider™ z roztoku polymeru polyvinylidenfluoridu.



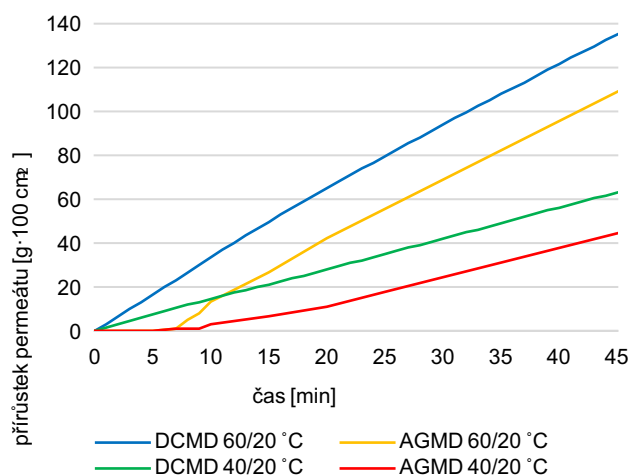
**Obrázek 1:** Schéma modulu a) v kontaktním režimu (DCMD), b) se vzduchovou mezerou (AGMD).

Separací testy byly provedeny se solnými roztoky o koncentraci 0,5 mol · l<sup>-1</sup> v případě krátkodobých testů (45 min) a 0,25 mol · l<sup>-1</sup> v případě testů střednědobých (5 dnů). Všechny testy byly provedeny s teplotou chladícího okruhu 20 °C při stejném průtoku 0,75 L · min<sup>-1</sup>. Teplota separovaného roztoku byla udržována na 60 a 40 °C. Z testů byly určeny hodnoty středního logaritického rozdílu teplot (LMTD), fluxu a retence soli.



## VÝSLEDKY A DISKUZE

V krátkodobých laboratorních testech s roztokem NaCl o koncentraci  $0,5 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  bylo dosaženo retence přes 99 % s modulem DCMD, u modulu AGMD byla zaznamenána mírně nižší retence u testu s vyšší teplotou (97,7 %). Na obrázku 2 je znázorněn graf přírůstku permeátu během separačních testů, který je přepočítán na  $100 \text{ cm}^2$ , protože membrány v obou modulech mají různou velikost povrchu membrány. Při testech s modulem DCMD bylo dosaženo většího fluxu při obou nastavení teplot než s modulem AGMD. V grafu je možné také pozorovat pomalejší nárůst váhy permeátu na začátku testu s AGMD. Je to způsobeno tím, že v případě AGMD nějakou dobu trvá, než se kondenzační deska pokryje kondenzovanou párou a permeát začne stékat do nádoby.



**Obrázek 2:** Graf přírůstku permeátu v průběhu krátkodobých separačních testů se solným roztokem.

Přestože flux během střednědobých separačních testů v případě DCMD modulu dosahoval průměrné hodnoty  $14,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  oproti  $11,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  pro modul AGMD, (při nastavení teploty vstupního roztoku na  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  a chladicího obvodu na  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) AGMD vykazoval nižší tepelné ztráty. LMTD přesahovala v případě AGMD  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  oproti  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  v případě DCMD. Z toho vyplývá, že v případě modulu AGMD dochází k nižším tepelným ztrátám, tudíž AGMD modul je i přes nižší flux energeticky výhodnější. Navíc v případě AGMD modulu byla při vícedenních laboratorních testech potvrzena také déle trvající konstantní retenční schopnost membrány, kdy i po 30 dnech nepřetržitého provozu přesahovala retence roztoku NaCl o původní koncentraci  $0,25 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  95 %. Výběr vhodného modulu je tedy nutné provést především s ohledem na požadovanou kvalitu permeátu a hydraulickou výkonnost systému.

## ZÁVĚR

Oba dva testované membránové moduly vykázaly s totožnou membránou podobné vlastnosti, a to jak v případě krátkodobých testů, tak v případě střednědobých testů. Výběr vhodného modulu je tedy nutné provést především s ohledem na požadovanou kvalitu permeátu a hydraulickou výkonnost systému v závislosti na životnosti membrány. Vzhledem k významnému smáčení je životnost membrány v modulech DCMD výrazně kratší než v modulech AGMD.

## PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2023.

## REFERENCE

- [1] ALKHUHIRI, Abdullah, Naif DARWISH a Nidal HILAL, 2012. Membrane distillation: A comprehensive review. Desalination. 287, Special Issue in honour of Professor Takeshi Matsuura on his 75th Birthday, 2–18. ISSN 0011-9164. Dostupné z: doi:10.1016/j.desal.2011.08.027
- [2] KHALIFA, Atia E. a Dahiru U. LAWAL, 2015. Performance and Optimization of Air Gap Membrane Distillation System for Water Desalination. Arabian Journal for Science and Engineering. 40(12), 3627–3639. ISSN 2191-4281. Dostupné z: doi:10.1007/s13369-015-1772-0
- [3] EYKENS, L., T. REYNS, K. DE SITTER, C. DOTREMONT, L. PINOY a B. VAN DER BRUGGEN, 2016. How to select a membrane distillation configuration? Process conditions and membrane influence unraveled. Desalination. 399, 105–115. ISSN 0011-9164. Dostupné z: doi:10.1016/j.desal.2016.08.019

