

Využití membránových technologií

Use of membrane technology

Andrej Herba

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Andrej HERBA**

Osobní číslo: **A09588**

Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Využití membránových technologií**

Zásady pro vypracování:

- 1. Seznámit s pojmem membrány.**
- 2. Popište využití membrán v různých odvětvích.**
- 3. Uvedte jejich princip a složení.**
- 4. Zaměřte se na jednu oblast, popište vývoj a možné použití pro bezpečnostní technologie.**
- 5. Nastiňte výhody, využitelnost v dalších letech a trendy v oblasti membrán.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití [online]. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 2006 [cit. 2012-02-01]. ISBN 80-7080-617-6. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid_isbn-80-7080-617-6/anoťace/
2. JELÍNEK, Luděk a kol. Desalinační a separační metody v úpravě vody [online]. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2008 [cit. 2012-02-01]. ISBN 978-80-7080-705-7. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-978-80-7080-705-7/pages-img/
3. KLOUDA, Pavel. Moderní analytické metody. 2. upr. a dopl. vyd. Ostrava: Pavel Klouda, 2003. ISBN 80-86369-07-2.
4. DITL, Pavel. Difúzně separační pochody. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03972-4.
5. OPEKAR, František, Ivan JELÍNEK, Petr RYCHLOVSKÝ a Zbyněk PLZÁK. Základní analytická chemie. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2002. ISBN 80-246-0553-8.
6. KOTYK, Arnošt, Struktura a funkce biomembrán. 1.vyd. Brno, Masarykova univerzita, 1996. 173 s, ISBN 80-210-1316-8.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lucie Juříková

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

24. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012



L.S.

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o Využití membránových technologií.

Teoretická část popisuje membrány, různé typy membránových technologií, včetně jejich využití.

Praktická část popisuje palivové články, jejich praktické využití a také využití pro bezpečnostní průmysl.

Klíčová slova: membrána, PEMFC, DMFC

ABSTRACT

Bachelor thesis deals about Use of membrane technologies.

The theoretical part describes membranes, different types of membrane technologies including their uses.

The practical part describes fuel cells, their practical use and also use for security industry.

Keywords: membrane, PEMFC, DMFC

Chtěl bych poděkovat paní Ing. Lucii Juříkové za odborné vedení a poskytnutí potřebné literatury při tvorbě této bakalářské práce.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 MEMBRÁNY	12
1.1 ZÁKLADNÍ TECHNIKY VÝROBY MEMBRÁN	17
1.2 TLAKOVÉ MEMBRÁNOVÉ PROCESY	18
1.2.1 Mikrofiltrace.....	18
1.2.2 Ultrafiltrace	18
1.2.3 Reverzní osmóza	18
1.2.4 Nanofiltrace	18
1.3 ELEKTROMEMBRÁNOVÉ PROCESY	19
1.3.1 Elektrodialýza.....	19
1.3.2 Elektrodeionizace	20
1.3.3 Membránové systémy pro konverzi energie.....	21
1.4 SEPARACE PLYNŮ A PAR	22
1.5 PERVAPORACE.....	23
1.6 MEMBRÁNOVÉ MODULY	23
2 VYUŽITÍ MEMBRÁN V RŮZNÝCH ODVĚTVÍCH	26
2.1 ZDRAVOTNICTVÍ.....	28
2.2 POTRAVINÁŘSKÝ PRŮMYSL	29
2.3 STAVEBNICTVÍ.....	29
2.4 AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL	29
2.5 PRŮMYSLOVÉ APLIKACE.....	30
2.6 SPOTŘEBNÍ ELEKTRONIKA	31
2.6.1 Kapacitní dotykový displej.....	31
2.7 MEMS	31
2.7.1 Tisková hlava ink-jet s tepelnou deformací membrány	32
2.7.2 Membránová mikropumpa	32
2.7.3 MEMS mikrofony	33
2.8 PKB	34
2.8.1 Ultrazvukový detektor	34
2.8.2 Elektrodynamický cívkový mikrofon.....	34
3 PERSPEKTIVY A TRENDY MEMBRÁNOVÝCH TECHNOLOGIÍ	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	39
4 PALIVOVÉ ČLÁNKY	40
4.1 MEMBRÁNOVÉ PALIVOVÉ ČLÁNKY	40
4.1.1 Články PEMFC	41
4.1.2 Články DMFC	44

4.2	PRAKTICKÉ VYUŽITÍ PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ	46
4.3	MOŽNÉ VYUŽITÍ PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ V BEZPEČNOSTNÍM PRŮMYSLU	48
	ZÁVĚR	49
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	50
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	51
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57

ÚVOD

Na počátku 21. století prožíváme rychlý vzestup technického pokroku prakticky ve všech oblastech lidské činnosti, který je však doprovázen stejně rychlým odčerpáváním světových primárních energetických zdrojů (uhlí, ropy a zemního plynu). V blízké době hrozí jejich nedostatek. Také v důsledku hromadění obrovského množství oxidu uhličitého, který vzniká hořením, dochází ke globálnímu oteplování a vytváření skleníkového efektu. Proto je potřeba hledat nové zdroje, které by byly co možná nejekonomičtější a nejekologičtější.

Jedním ze způsobů, jak zajistit trvale udržitelný rozvoj společnosti, je nahrazení velkých, drahých a energeticky náročných technologických zařízení a procesů menšími, méně nákladnými a účinnějšími, která minimalizují dopad na životní prostředí, jsou bezpečnější a zajišťují vyšší kvalitu produktů.

V oblasti energetiky se jedná o náhradu fosilních paliv a jejich produktů ve výrobě elektřiny a tepla, v oblasti dopravy se předpokládá vytvoření nových systémů pohonů vozidel včetně železnice a letecké dopravy. Obnovitelné zdroje obecně znamenají vytvoření surovinové základny pro přípravu materiálů závislých na přírodních a perspektivně nedostatkových zdrojích. Je to zejména v oblasti petrochemie a výroby plastů a materiálů vyráběných z nerostných surovin.

Bezpochyby právě syntetické membrány a membránové technologie jsou tou správnou odpovědí na tyto různorodé požadavky.

Membránové procesy jsou vyvíjeny v průběhu posledních pěti desetiletí. Jsou to moderní vysoce energeticky účinné separační metody založené na molekulárních vlastnostech oddělovaných látek. Základním cílem tohoto vývoje je dosažení dokonalého oddělení produktu od příměsí při co nejnižší spotřebě energie.

Za počátek průmyslového rozvoje membrán lze pokládat šedesátá léta minulého století, kdy byla prvně uvedena do praxe zařízení na odsolení mořské vody na bázi technologie reverzní osmózy. Původně byly systémy úpravy vody používající princip reverzní osmózy vyvinuté na objednávku armády za účelem demineralizace mořské vody. Tato metoda se ukázala jako efektivnější a hospodárnější než jakékoliv jiné metody úpravy vody. [43] Záhy se stala klíčovou technologií výroby pitné vody v místech, kde jsou zdroje pitné vody nedostupné nebo limitované (v přímořských pouštních státech). Systémy využívající

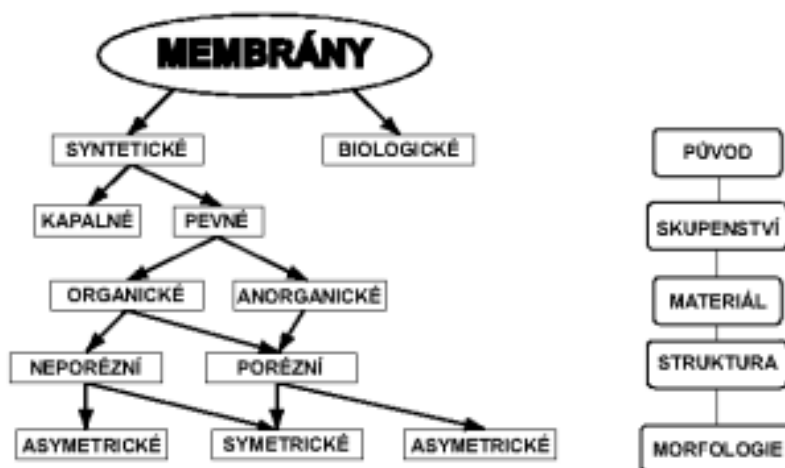
reverzní osmózy jsou rovněž nenahraditelné na orbitálních stanicích, ponorkách, zaoceánských lodích atd.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MEMBRÁNY

„Membrána je v zásadě komplexní vysoce výkonná multifunkční bariéra, která odděluje dvě média a usnadňuje, resp. brzdí či zabraňuje transportu různých látek.“ [17] Lze ji charakterizovat selektivitou, tedy účinnosti rozdělení transportovaných částic, a propustností (množstvím převedené látky). Selektivita je určena podle dokonalosti výroby membrány a charakterem použitého materiálu. [18]

Membrány, jež se používají v membránových separačních zařízeních, můžeme třídit do skupin dle různých hledisek: skupenství, materiálu použitého pro jejich výrobu, původu, vnitřní struktury a uspořádání vrstev (morfologie). [5]



Obr. 1 Klasifikace membrán z hlediska původu, vlastností a struktury [5]

„Membrány biologické představují jedny z nejdůležitějších struktur buněk mikrobiálních, rostlinných i živočišných.“ [5] V buňkách figurují jako selektivně propustné bariéry a řídí přenos molekul mezi buňkou a jejím okolím (popřípadě mezi buněčnými organelami a cytosolem). Membrána slouží k oddělení buňky od vnějšího prostoru, k výměně hmoty a informací mezi buňkou a okolím. V neposlední řadě může na membránách vznikat energie. Biomembrány jsou jedinou strukturální a organizační složkou buněk, kde lipidy tvoří základní konstrukční prvek. V tomto základním prvku nebo na něm mohou být uchyceny další buněčné složky (především proteiny). [2]

Membrány biologické jsou tvořeny z lipidů. Je to hlavně proto, že jsou nerozpustné ve vodě, i když se dají rozpouštět v organických rozpouštědlech (např. chloroform, aceton). Díky svým vlastnostem by se mohly uplatnit i při průmyslových separacích, ale jejich

chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti a mechanické parametry podmínkám průmyslových separačních procesů až na výjimky (např. dialyzační střevo biologického původu) nevyhovují. [5]

Syntetické membrány jsou pouze velice hrubou kopií membrán biologických buněk, které zajišťují veškeré životní funkce. Aby bylo možné přiblížit zpracování syntetických membrán jejich biologickému modelu, bude nutné řídit vlastnosti membránových materiálů na nano-, ne-li na molekulární úrovni. [17]

Syntetické membrány lze vyrobit tak, aby plně vyhověly, jak chemickými, fyzikálně-chemickými a mechanickými vlastnostmi, tak i technologickým podmínkám procesu, ve kterém budou užity. Pro separační procesy se membrány nejčastěji vyrábějí a používají v pevném skupenství v podobě tenkých listů nebo tenkostěnných trubek či kapilár, ale v některých aplikacích se užívají tzv. kapalné membrány. Kapalná membrána je tvořena vrstvou kapaliny, vhodným způsobem umístěnou (zakotvenou) mezi fázemi, mezi kterými dochází k transportu dělených složek.

Nejčastěji se při průmyslových membránových separacích používají pevné membrány, protože mají zároveň dobré mechanické a dělicí vlastnosti, jež lze navíc v širokých mezích měnit modifikacemi vnitřní struktury membrán. Pevné membrány se obvykle rozdělují podle povahy materiálu, ze kterého jsou vyrobeny, na membrány organické a membrány anorganické.

Anorganické membrány se vyrábějí z kovových materiálů a především různých křemičitých (keramických) materiálů. Vyznačují se dobrou odolností proti vysokým tlakovým rozdílům. Obvykle jsou dobře odolné i proti vysokým teplotám, zpravidla jsou však málo odolné proti nárazům a jinému mechanickému namáhání (snadno praskají nebo se lámou). Vyrábějí se typicky extruzí v podobě trubek a trubkových systémů a používají se ve vysokotlakých aplikacích.

Organické membrány se vyrábějí z přírodních nebo syntetických organických polymerů. Jejich chemické složení lze modifikovat ve velmi širokém rozmezí a lze tak měnit jejich separační a mechanické vlastnosti. Organické membrány se však, v porovnání s membránami anorganickými, typicky vyznačují nižší odolností proti vysokým tlakovým rozdílům a vysokým teplotám. Obvykle se vyrábějí v podobě plochých listů, kapilár, nebo tzv. dutých vláken (kapilár s velmi malým průměrem), která se uspořádávají do svazků. Polymerní membrány můžeme poměrně snadno tvarovat i do jiných geometrických forem.

Podle vnitřní mikrostruktury, kterou lze ovlivnit způsobem výroby, se separační membrány rozdělují na membrány porézní a membrány neporézní.

Membrány porézní obsahují ve své struktuře kanálky (póry), jež propojují oba povrchy membrány. Průměr pórů je tak velký, že umožňuje konvektivní tok tekutin membránou. Dělicí schopnost porézní membrány je určena velikostí pórů. Vliv vlastnosti materiálu, ze kterého je membrána zhotovena, na dělicí schopnost je obvykle zanedbatelný. Membránami neporézními jsou dělené složky transportovány difuzí (konvektivní tok tekutin neporézní strukturou membrány není možný). Dělení složek v neporézních membránách je dáno rozdílnými difuzivitami složek a jejich rozdílnou rozpustností v membráně. Z toho vyplývá, že dělení složek je vlastnostmi materiálu membrány výrazně ovlivněno. Neporézní membrány se téměř výhradně vyrábějí z polymerních organických materiálů, protože difuzivity a rozpustnosti složek v anorganických neporézních materiálech jsou pro praktické aplikace příliš nízké. [5]

Membrány mohou být z těchto materiálů: [1]

a) polymerní materiály

- deriváty celulózy
- akryláty
- polyamidy
- polysulfony
- polyestery
- polyvinylchlorid (PVC)
- polypropylen
- polykarbonát

b) anorganické materiály

- sintrované kovy
- porézní sklo
- grafit
- speciální typy keramiky

Největší podíl používaných membrán byl a je dosud vyráběn z organických polymerních sloučenin. Jejich předností je variabilita způsobu přípravy umožňující vytvářet potřebné fyzikální struktury membrán, jak v pevné fázi, tak z roztoku. [19]

Druhým typem materiálů, které nacházejí stále širší využití, jsou anorganické produkty.

Membrány z anorganických produktů mají oproti polymerním některé výhody (tepelnou, chemickou, mechanickou a mikrobiologickou odolnost a snadnou regeneraci). Naopak jejich nevýhodou je značná hmotnost a náročnost jejich přípravy. [1]

Membrány musí splňovat následující požadavky: [1]

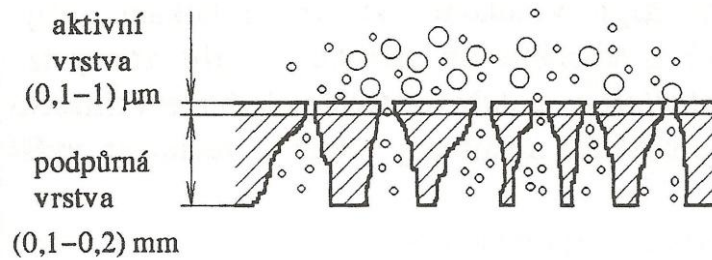
- vysoká a reprodukovatelná rozdělovací schopnost (selektivita)
- vysoká propustnost (permeabilita)
- chemická stálost proti vlivům zpracovávaných látek
- neměnnost charakteristik během provozu
- dostatečná mechanická pevnost
- odolnost vůči otěru a porušení
- odolnost proti mechanickému poškození při manipulaci
- vysoká trvanlivost
- nízká cena
- dobrá čistitelnost

Chemická a tepelná odolnost materiálů membrán je značně rozdílná podle způsobu použití a charakteru separovaných látek. Pro horké a vysoce korozivní kapaliny jsou např. vhodné sintrované kovy, uhlík a keramika. Neagresivní vodné suspenze o teplotě, jenž je blízká pokojové teplotě, lze zpracovávat pomocí membrán z derivátů celulózy, akrylátů, příp. polysulfonů. [1]

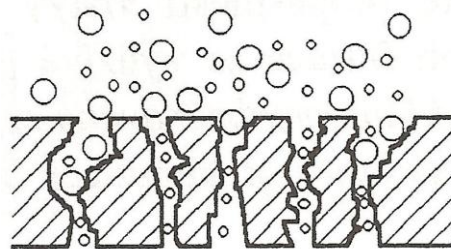
Z hlediska životnosti membrán je taktéž významná i jejich schopnost regenerace (čištění), která úzce souvisí s chemickou odolností membrán. [1]

Struktura membrány musí být taková, aby zajišťovala odpovídající selektivitu pro separované komponenty a minimální hydraulický odpor vůči toku permeátu membránou. [20]

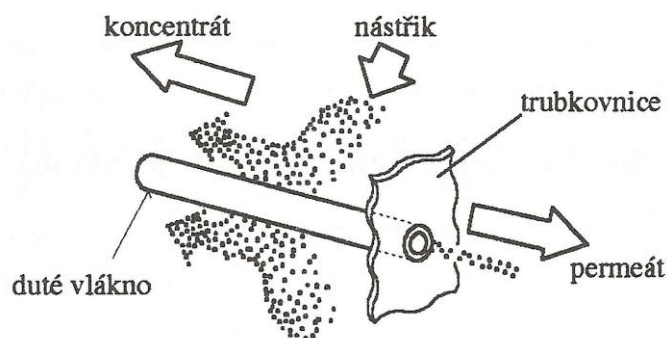
Podle morfologie rozlišujeme membrány homogenní (symetrické), nehomogenní (asymetrické), kompozitní a membrány z dutých vláken.



Obr. 2 Asymetrická membrána [1]



Obr. 3 Symetrická membrána [1]



Obr. 4 Princip membrány z dutého vlákna [1]

Membrány asymetrické mají aktivní vrstvu o tloušťce 0,1 – 1 μm , která je zhotovena na podpůrné vrstvě téhož materiálu v tloušťce 0,1 – 0,2 mm. Pro separační proces mají význam hlavně vlastnosti aktivní vrstvy (zvláště velikost a distribuce velikosti pórů).

Podpůrná vrstva slouží ke zlepšení mechanických vlastností membrány a má velikost pórů řádově větší než aktivní vrstva. Symetrická membrána je tvořena materiálem, který má po celé tloušťce (od 10 do 200 μm) shodnou velikost a tvar pórů. [1]

Kompozitní membrána je tvořena dvěma vrstvami – tenkou aktivní a podpůrnou. Na rozdíl od asymetrických membrán je kompozitní membrána vyráběna ve dvou fázích a obě vrstvy mohou být proto z různých materiálů. Proto je tento typ membrány vysoce flexibilní.

Membrány z dutých vláken mají většinou polysulfonový základ. Vyrábějí se vstřikováním z trysky přes jehlu (analogie bezešvých trubek) do lázně, kde polymerizují. Vnitřní rozměr vláken je 30 – 45 μm . [1]

1.1 Základní techniky výroby membrán

Membrány se vyrábí různými způsoby. Sintrování je metoda založená na spojení navrstvených částic působením tepla (částečné spečení). Membrány mají symetrickou strukturu.

Strečování je metoda, kdy se tenký polymerní film za určitých podmínek natáhne, čímž ve filmu vzniknou mikrotrhlíky. Membrány mají také symetrickou strukturu se stejným průměrem pórů v celé tloušťce filmu.

Při metodě inverze fází se roztok polymeru ve vhodném rozpouštědle odlije jako tenký film, nebo se vytlačí tryskou ve formě dutého vlákna, a tento roztok se ponoří do srážecí lázně a polymer vytvoří pevnou porézní membránu.

Při metodě ozáření-leptání je nejprve polymerní film ozářen zaostřeným paprskem v nukleárním reaktoru, kdy v místě průchodu paprsku dojde k pozměnění struktury filmu. Ve druhém kroku je ozářený film vložen do leptací lázně, kde dojde k odleptání narušené struktury ze stop po paprsku. Vznikne membrána s pravidelnými póry.

V mnoha případech při výrobě membrán je mnohem výhodnější kombinovat vlastnosti více materiálů dohromady. Při výrobě kompozitních membrán se nanáší tenká separační vrstva membrány na pevný mikroporézní nosič, což zvyšuje pevnost membrány.

Membránové procesy můžeme rozdělit podle druhu hnací síly (rozdíl tlaků před a za membránou, rozdíl koncentrace separované složky na obou stranách membrány, rozdíl elektrických potenciálů, nebo odpor na jedné straně membrány).

1.2 Tlakové membránové procesy

K tlakovým membránovým procesům patří mikrofiltrace, ultrafiltrace, reverzní osmóza a nanofiltrace.

1.2.1 Mikrofiltrace

Mikrofiltrace je proces blízký klasické filtraci. Používá se k oddělování částic o rozměrech 0,1 – 10 μm (např. suspendované pevné částice v kapalině (koloidy), bakterie, velké molekuly proteinů). Používaný tlak operace je 0,1 – 2 bar. Pomocí mikrofiltrace jsou nejčastěji zpracovávány emulze a suspenze. Často se rovněž využívá jako předúprava vody pro následné zpracování reverzní osmózou nebo elektrodialýzou.

1.2.2 Ultrafiltrace

Membrány mají póry od 3 do 50 nm a separují na základě síťového efektu. Pracovní tlaky jsou v rozsahu 0,1 – 0,5 MPa.

Tento proces (stejně jako mikrofiltrace) se používá v provozech povrchových úprav a strojirenství pro údržbu odmašťovacích lázní a pro separaci ropných látek z odpadních vod. [4]

1.2.3 Reverzní osmóza

Reverzní osmóza je využívána především k zakoncentrování roztoků, přípravě čisté vody apod. a to samostatně nebo v propojení s dalšími procesy jako je mikrofiltrace, ultrafiltrace nebo elektrodialýza. Membrána pro reverzní osmózu neobsahuje póry a cestu přes ni si najdou jen molekuly rozpouštědla. Molekuly vody jsou při reverzní osmóze protlačovány homogenní membránou tlakem, který je vyšší než osmotický tlak vstupního roztoku. Operační tlak se může pohybovat mezi 10 – 100 bar, při kterém se oddělí většina iontů a organických sloučenin. Typickými membránami pro reverzní osmózu jsou asymetrické membrány s integrovanou skinovou vrstvou nebo vrstvené kompozitní membrány. [17]

1.2.4 Nanofiltrace

Tento tlakový membránový proces pracuje na podobném principu jako reverzní osmóza, ale používá porézní membrány s velikostí pórů 1 – 3 nm a většinou nesoucí funkční skupiny se záporným nábojem (např. sulfoskupiny). U nanofiltračních membrán se uplatňuje síťový efekt (molekuly větší než póry membrány nemohou membránou

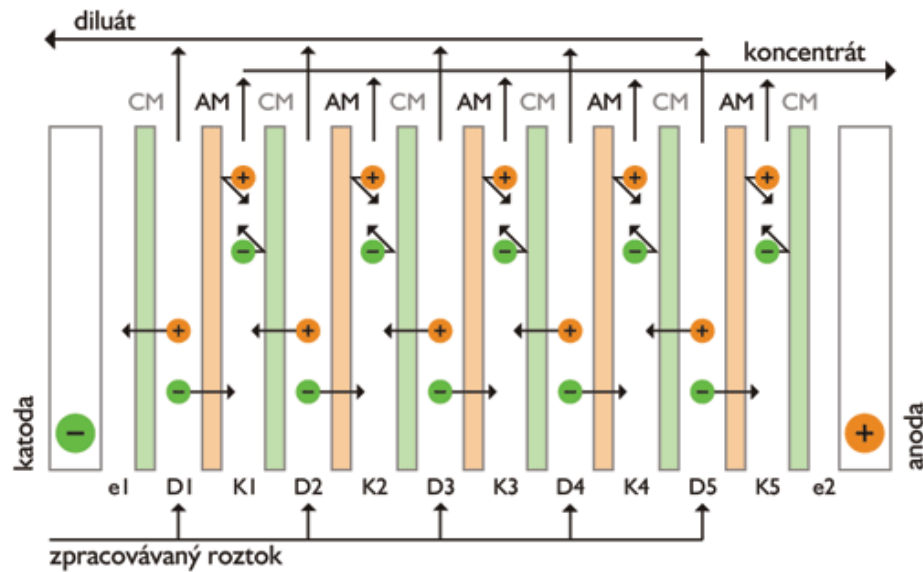
procházet), částečně efekt rozpouštění molekul v membráně, následovaný difúzí molekul přes membránu a desorpcí na druhé straně membrány a efekty vyplývající z přítomnosti elektrického náboje na polymeru membrány. Nanofiltrace je provozována při pracovních tlacích 0,5 – 1,5 MPa. [4]

1.3 Elektromembránové procesy

Elektromembránové procesy jsou procesy, při kterých dochází k separaci záporně nabitých částic od kladně nabitých podle jejich migrace k příslušným elektrodám. K řízení této migrace slouží iontoměničové membrány, kterými je transportován jen určitý druh iontů, podle jejich náboje. Řadíme sem elektrodialýzu a elektrodeionizaci.

1.3.1 Elektrodialýza

Při elektrodialýze působí stejnosměrné elektrické pole na pohyb disociovaných složek solí ve vodném roztoku tak, že kationty pohybující se ke katodě jsou propouštěny katexovými membránami a zadržovány anexovými membránami, zatímco anionty přitahované k anodě jsou propouštěny anexovými membránami a zadržovány na katexových membránách. Vhodnou kombinací katexových a anexových membrán dochází k dělení iontů ve vstupním roztoku a vytváří se proud odsolený, tzv. diluát a proud koncentrovaný, tzv. koncentrát. Proces elektrodialýzy probíhá ve vlastním elektrodialyzéru, což je zařízení tvořené stahovacími deskami s elektrodami a svazkem, který je složen z ionexových membrán a rozdělovačů. [21]

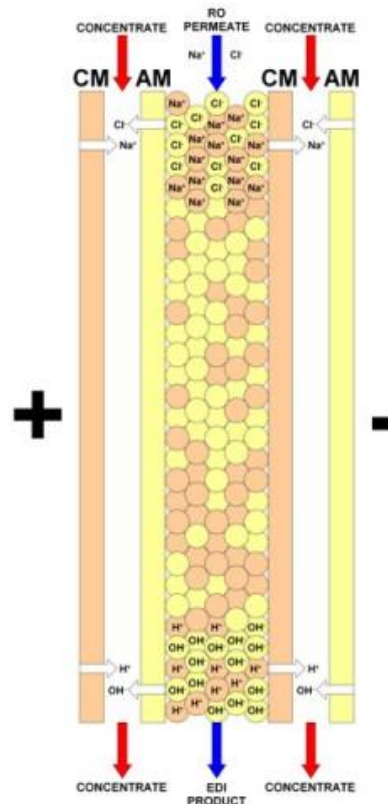


Obr. 5 Schematické znázornění elektrodialýzy [21]

CM – katexová membrána, *D* – diluátová komora, *e1,e2* – elektrodové komory,
AM – anexová membrána, *K* – koncentrátová komora

1.3.2 Elektrodeionizace

V elektrodeionizaci se separace iontů a málo disociovaných složek z vody dosahuje pomocí stejnosměrného elektrického proudu (analogicky jako v procesu elektrodialýzy). Hlavní rozdíl je ve vyplnění diluátových popřípadě koncentrátových komor směsným ionexovým ložem. Přítomnost ionexu koncentruje procházející ionty a výrazně tak zvyšuje vodivost v diluátových komorách. Elektrický náboj, v případě roztoků s nízkou vodivostí, prochází prakticky pouze přes částice ionexu. Současně s odsolením vody dochází k disociaci vody za vzniku H^+ a OH^- iontů, jež rovněž migrují v elektrickém poli a kontinuálně udržují částice katexu v H^+ a částice anexu v OH^- formě. [22]



Obr. 6 Princip elektrodeionizace [22]

1.3.3 Membránové systémy pro konverzi energie

Membránové procesy lze zařadit do skupiny tzv. zelených technologií. Důvodem je minimální množství odpadů produkovaných při jejich použití a jejich energetická nenáročnost. Významnou aplikací membránových procesů představují systémy pro konverzi chemické energie na elektrickou. Do této kategorie je možné zahrnout průtočné baterie, reverzní elektrodialýzu a membránové superkondenzátory.

Průtočné baterie představují systém kompenzující výkyvy v produkci a spotřebě elektrické energie, popřípadě záložní zdroje energie pro zařízení, která mohou být výpadkem elektrického proudu poškozena. Princip je blízký akumulátorům, tj. článkům umožňujícím opakované nabití a vybití bez výměny aktivní náplně. V průtočných bateriích jsou používány roztoky elektrochemicky aktivních redukčně-oxidačních párů a k uložení odpovídajícího množství energie je proto zapotřebí větší objem roztoku dané látky. Problémem je rovněž volba vhodného elektrochemického systému. Největšího rozšíření doznala baterie založená na různých oxidačních stavech vanadu. Mezi výhody patří vysoká flexibilita systému a minimální tendence k samovybití. Baterie je také konstruována

z běžně dostupných materiálů. Nevýhody jsou značné objemy roztoků a nutnost jejich přečerpávání. [7]

Reverzní elektrodialýza je opakem elektrodialýzy. Využívá postupné vyrovnávání koncentrací ve zředěném a koncentrovaném proudu a s tím spojené generování elektrického proudu. Aby nedošlo ke „zkratu“ článku, je zapotřebí oddělit oba roztoky iontově výměnnými membránami a umožnit selektivní průchod iontů. Praktickému využití této technologie brání velké ztráty napětí na iontově výměnných membránách a nutnost kontrolovat kvalitu roztoků vstupující do zařízení. Je zřejmé, že pokud by se našlo uspokojivé řešení uvedených problémů, je potenciál této technologie obrovský. [7]

Membránové superkondenzátory dosahují až 200krát vyšších kapacit než klasické kondenzátory. Základem jsou dvě elektrody s velkým povrchem propojené iontově vodivým prostředím. Vložení vnějšího napětí se na povrchu elektrod vytvoří molekulární elektrická dvojvrstva podle polaritě elektrody a tím se uloží elektrický náboj, který je možné následně opět uvolnit. Při nabíjení a vybíjení nedochází k žádné elektrodové reakci. Ačkoliv těmto procesům byla dosud věnována poměrně malá pozornost, výzkum i průmyslový zájem na tomto poli začíná v posledních letech nabývat na intenzitě. [7]

1.4 Separace plynů a par

Pro dělení směsí plynů nebo par se nejčastěji v technologické praxi používají kompozitní asymetrické polymerní membrány. Dostatečné propustnosti membrány (výkonu) a její selektivity je dosaženo tím, že asymetrická membrána má na povrchu neporézní separační vrstvu tloušťky 0,1 – 1 μm . V případě kompozitní membrány je na porézní podložce tloušťky 50 – 150 μm nanесena separační vrstva sklovitého polymeru nebo elastomeru o tloušťce 0,1 – 1 μm . Při dělení směsí plynů a par je hnací silou gradient tlaku. V některých případech je rozdíl tlaků po obou stranách membrány až 10 MPa. Proto musí mít separační membrány také dobré mechanické vlastnosti. Obtížnost dělení směsí plynů a par závisí na složení dělené směsi. Obecně platí, že snadno lze rozdělit „dobře“ propustné plyny od plynů relativně „špatně“ propustných. [7]

1.5 Pervaporace

Pervaporaci se dělí směsi kapalných složek tak, že se směs zahřátá na vyšší teplotu přivádí na vstupní (retentátovou) stranu membrány, ve které se složky směsi rozpouštějí, difundují membránou a na permeátové straně se odpařují. Toto odpařování složek je podpořeno snížením celkového tlaku (např. tím, že jsou páry ochlazeny a kondenzují) nebo prouděním inertního plynu podél permeátového povrchu membrány. [5] Pervaporace se využívá např. pro dělení azeotropických směsí nebo pro dělení směsí s velmi malým obsahem jedné složky.

1.6 Membránové moduly

Aby byl výkon membránových procesů co nejlepší, je nutné pracovat s co největším povrchem membrány. Proto jsou membrány tvarovány do nejrůznějších tvarů (modulů). Cílem je dosáhnout co největšího povrchu membrány vzhledem k objemu zařízení. Pro membrány, které pracují v dlouhodobém provozu, není výhodné používat uspořádání podobné filtraci. Důvodem je narůstání filtračního koláče na povrchu filtru (tzv. dead-end uspořádání). Pro zajištění dobré hydrodynamiky na povrchu membrány se častěji využívá tangenciální nátok (tzv. cross-flow), kdy zpracovávaný roztok protéká podél membrány. Při tomto uspořádání nedochází na povrchu membrán k hromadění látek a nedochází tak k nárůstu tlakových ztrát. [4]

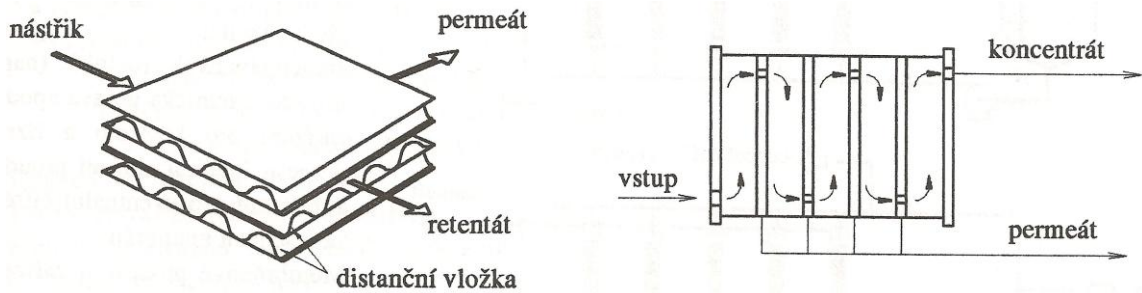
Na moduly jsou kladeny následující požadavky:

- velký povrch membrány na jednotkový objem modulu
- snadný přístup při čištění
- snadná výměna membrány
- levná výroba

Rozlišujeme pět hlavních typů modulů a to:

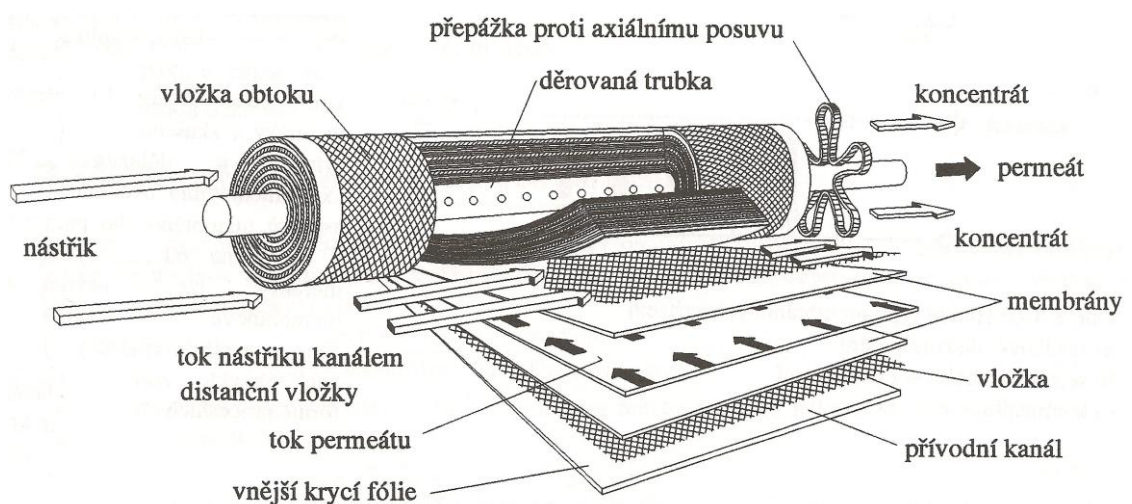
- deskové
- spirálově vinuté
- trubkové
- kapilární
- s dutými vlákny

Deskové moduly jsou z hlediska konstrukce nejjednodušší. Membrány jsou uchycené v rámech obdobně jako v kalolisu. Toto uspořádání však neumožňuje dosahovat velkých měrných ploch vzhledem k objemu zařízení. Tento typ se využívá především u elektromembránových procesů.



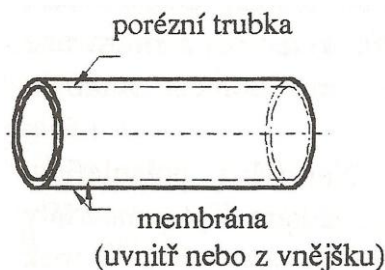
Obr. 7 Deskový modul [1]

Svinutím spojených membrán do spirály vznikne spirálový modul. Využívá se u tlakových membránových procesů. Jde o modul, ve kterém je mezi dvě svařené membrány (obálku) vložen spacer, který slouží k odvodu permeátu. Na aktivní straně membrány mezi vrstvami obálek je umístěn tzv. turbulizér sloužící k podporování míchání na povrchu membrány. Obálky membrán s vloženými sítěmi (turbulizéry) jsou pak spirálově navinuty okolo plastové perforované trubky, která slouží pro odvod permeátu. [4]



Obr. 8 Modul spirálově vinutý [1]

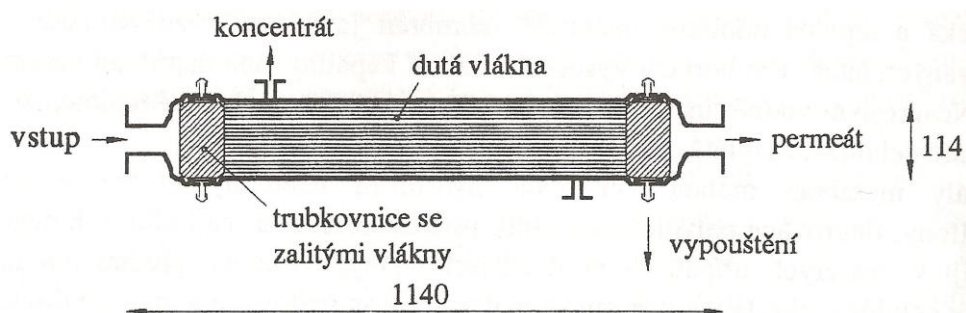
Dalším velmi častým uspořádáním u tlakových procesů jsou trubkové moduly. Mají tvar trubice. Aby bylo dosaženo co největší plochy a pevnosti, může být trubice uvnitř dále členěna na kanály o průměru 4 – 20 mm. Membrána je zpravidla nanášena na vnitřní straně kanálů a permeát odtéká z vnější strany modulu. Vysoká odolnost vůči zanášení membrán díky vhodné hydrodynamice toku je hlavní výhodou tohoto modulu.



Obr. 9 Trubkový modul [1]

Kapilární modul je složen z velkého množství úzkých trubiček (kapilár), které jsou umístěny do jednoho svazku. Vnitřní průměr kapilár je 1,5 – 4 mm. Nástřik se přivádí dovnitř kapilár.

Moduly s dutými vlákny pracují na stejném principu jako kapilární moduly. Mají nejvyšší hustotu uložení z hlediska poměru povrchu membrány k objemu reaktoru. Dutá vlákna mají vnitřní průměr do 1,5 mm. Vlákna jsou uspořádána ve svazcích a volné konce těchto vláken jsou fixovány v epoxidovém loži. Nástřik se zpravidla přivádí na vnější stranu, jinak by hrozilo zanášení (fouling).



Obr. 10 Modul s dutými vlákny [1]

2 VYUŽITÍ MEMBRÁN V RŮZNÝCH ODVĚTVÍCH

Membrány a membránové procesy patří mezi technologické operace nacházející uplatnění v širokém spektru lidských aktivit.

Největší uplatnění mají v dnešní době tlakové membránové procesy v oblasti přípravy užitkové vody, výroby pitné vody, případně demineralizované vody a pitné vody z vody povrchové, mořské, či brakické. Další široké možnosti použití jsou při čištění vody odpadní buď přímo pouze membránovým procesem, nebo v kombinaci s řadou již používaných chemických a biochemických metod.

Předností tlakových membránových procesů v porovnání s ostatními metodami úpravy vod je především to, že do zpracované vody se nedávkuje žádné chemikálie a v procesu úpravy nevznikají žádné odpady (kaly, prací vody). Účinnost separace tedy nezávisí na přesnosti dávkování činidel (velikosti dávek), které je nutno operativně měnit v závislosti na kolísání kvality vstupující vody. Hlavní provozní předností je pak to, že surová voda od upravené je oddělena pevnou přepážkou (membránou) a bez jejího násilného porušení je znemožněn průnik neupravené vody do vody vyčištěné.

Vzhledem k tomu, že není nutno dávkovat žádná chemická činidla a stále posuzovat průběh chemismu úpravy, jsou i podstatně nižší nároky na úroveň a časovou náročnost obsluhy. Účinnost zařízení je během provozu stabilní.

Při průmyslovém čištění odpadních vod se membránová filtrace používá především na obtížněji čistitelné vody nebo tam, kde chceme vodu recyklovat. I přesto, že má řadu výhod, má i svoje nevýhody. Mezi hlavní nevýhodu řadíme časté ucpávání membrán. S tímto problémem může pomoci technologie FMX. Princip technologie je založen na tzv. Kármánově víru, který je tvořen pomocí lopatky nacházející se mezi dvěma membránami. Rotací lopatky osazené na hřídeli vzniká turbulentní proudění, které strhává přichycené nečistoty na površích membrán a zabraňuje tím ucpávání. Materiál, z něhož jsou lopatky vyrobeny, je speciální odlehčený plast, který je odolný vůči chemikáliím a korozi. [42]

Membránové technologie čištění odpadních vod jsou založené na procesu aktivovaného kalu se separací kalu ponořeným membránovým modulem. Tato technologie, běžně nazývána jako membránové bioreaktory, byla poprvé komercializována v roce 1970 a 1980 pro malé aplikace jako čištění odpadních vod na lodích, pro výluhové vody ze skládek a vysoce koncentrované průmyslové odpadní vody.

Membránové bioreaktory jsou zařízení, ve kterých současně probíhá biochemická reakce za přítomnosti biokatalyzátorů (enzymů) a separace produktů reakce. Membránové bioreaktory můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin.

Tu první tvoří membránové bioreaktory, ve kterých membrána působí pouze jako separační přepážka ovlivňující transport složek z reakčního prostoru nebo do něj. Vlastní reakce probíhá na jiném místě než v membráně, a proto může být ovlivňována (např. selektivním odnímáním produktů, dávkováním reaktantů přes membránu nebo zadržováním katalyzátoru v reakčním objemu).

Druhou skupinu představují reaktory, kde vlastní reakce probíhá na úrovni membrány. Membrána tak přímo ovlivňuje reakci a to nejen svými transportními vlastnostmi, ale i vlastnostmi katalyzátoru, který se nachází přímo v membráně. Katalyzátor může být imobilizován v gelové vrstvě, v porézní struktuře nebo na povrchu membrány. Tento typ reaktoru bývá označován biokatalytický membránový reaktor. [7]

V současnosti nacházejí membránové bioreaktory největší uplatnění při odstraňování znečišťujících chemických látek (polutantů) z průmyslových a městských odpadních vod, kdy je v membránovém reaktoru kombinováno zpracování aktivovaného kalu s membránovou separací. Reaktor je provozován podobně jako při běžném zpracování aktivovaného kalu, ale bez nutnosti dalšího kroku čiření a filtrování.

Při zpracování odpadních vod se nejčastěji používají integrované membránové bioreaktory s membránovým modulem ponořeným do reakční suspenze nebo membránové bioreaktory s recyklem, kde roztok cirkuluje reaktorem a membránovou jednotkou umístěnou mimo bioreaktor. Zpracovaná odpadní voda je separovaná z aktivovaného kalu pomocí nízkotlakých membránových separací (mikrofiltrace nebo ultrafiltrace). Zde se používají běžně dostupné mikrofiltrační membrány se středními rozměry pórů v intervalu 0,01 – 0,4 μm nebo moduly s dutými vlákny. Protože používané membrány zabraňují průniku bakterií, v případě ultrafiltračních membrán i virů, do vyčištěné odpadní vody, zajišťují tyto procesy významný stupeň fyzikální dezinfekce. [7]

Membránové bioreaktory pro čištění odpadních vod našly uplatnění především tam, kde je vyčištěná voda opět ihned využívána, tedy zejména u menších čistíren odpadních vod a dále tam, kde jsou ceny stavebních pozemků vysoké.

Dnes je na světě v provozu více než 1000 membránových bioreaktorů pro čištění odpadních vod. Více než polovina z toho (66 %) se nachází v Japonsku a zbytek převážně

v Evropě a Severní Americe. V ČR se použití membrán při návrzích čistíren odpadních vod začíná uplatňovat významněji u menších jednotek.

2.1 Zdravotnictví

Hemodialýza (technologie umělé ledviny) je nepochybně jedno z nejrozšířenějších a známých medicínálních využití membrán. Její počátky se datují rokem 1966, kdy Brescia a Cimino vyvinuli tzv. píštěl – chirurgické spojení žíly s blízkou artérií (většinou na předloktí). Od tohoto momentu se hemodialýza rozšířila po celém světě jako metoda léčby osob s chronickým selháním ledvin.

Při hemodialýze je krev zbavována škodlivých látek a přebytečné vody pomocí dialyzačního přístroje (umělé ledviny). Krev je průběžně přiváděna systémem hadiček do dialyzační membránové jednotky (tzv. dialyzátoru), v němž je krev membránou oddělena od dialyzačního roztoku. Roztok vzniká z upravené čisté vody a solného koncentrátu v dialyzační mixážní jednotce, jež zajišťuje přesné složení dialyzačního roztoku, tak aby plně odpovídal mimobuněčné tělesné tekutině. Krev i dialyzační roztok procházejí při hemodialýze nepřetržitě dialyzátorem za pomoci mechanických pump. Škodlivé látky putují průběžně přes membránu z krve do dialyzačního roztoku, jsou odváděny a očištěná krev se vrací zpět pacientovi. [12]

Dalším využitím ve zdravotnictví je např. elektrická membránová odsávačka, která je určena k odsávání u lůžka pacienta, na operačních nebo porodních sálech, JIRP – jednotkách intenzivní péče pro patologické novorozence, dětských odděleních, observačních boxech v sanitních vozidlech apod. Je použitelná všude tam, kde jsou požadovány přístroje s jednoduchou obsluhou, vysokou spolehlivostí a prostorovou nenáročností. Při konstrukci tohoto přístroje byl použit velmi tichý, osvědčený membránový agregát se zabudovanou pohonnou jednotkou.

V rámci farmaceutického průmyslu jsou nejvíce používané sterilní filtrace, mikrofiltrace, separace a čištění látek podle molekulových vah a afinitních principů.

2.2 Potravinářský průmysl

Membránové technologie jsou využívány v potravinářském průmyslu již déle než 30 let. Membránová filtrace je příkladem jednoduché a účinné technologie, která se využívá pro zvýšení kvality potravin. Dokonalá separace částic hraje důležitou roli v potravinářském a nápojovém průmyslu, především při výrobě piva, jablečné šťávy a různých mléčných výrobků.

První reálnou inovací technologie v historii výroby sýrů je ultrafiltrace mléka. Během výrobního procesu dochází ke ztrátám některých živin, které zůstávají v syrovátce (např. sacharidy). Tyto ztráty negativně ovlivňují ekonomické parametry výrobního procesu. Použitím procesu ultrafiltrace je možné tyto složky výhodně získat a dále je využít při výrobě potravin.

Mikrofiltrační metody nahrazují tepelné ošetření mléka, protože dokážou snížit přítomnost bakterií a zvýšit mikrobiální bezpečnost mléčných výrobků při zachování chuťových vlastností. [27]

Během zpracování surovin v potravinářském průmyslu často hrozí ztráta nebo znehodnocení chuťových nebo vonných látek. Pervaporace je pro odstraňování a koncentrování aromát vhodným procesem, protože může být použita i za nízkých teplot, což je u potravin velmi důležité. Pervaporace se také používá na odstraňování alkoholu z piva a vína za účelem výroby nealkoholických verzí těchto nápojů.

2.3 Stavebnictví

Ve stavebnictví se používají střešní membrány, které představují ochranu podkroví před deštěm, sněhem, vlhkostí a prachem. Zajišťuje, aby případné zatékání do základní střešní vrstvy, voda z tajícího sněhu, či kondenzované páry byly odvedeny na vnější stranu střechy, aniž by vnikly do izolační vrstvy. [25]

2.4 Automobilový průmysl

V automobilovém průmyslu se používá kataforéza, což je metoda nanášení barvy elektroforézním způsobem. Při této metodě je barvený předmět zapojen jako katoda ve stejnosměrném poli anolytu (vodný roztok barvy) a přitahuje kationty barvy. Metoda

kataforézního lakování patří mezi nejmodernější technologie povrchové úpravy kovových výrobků, protože antikorozi odolnost karoserií a ostatních komponentů je středem zájmu všech výrobců aut.

V automobilech se také používají různé druhy membránových kompresorů, ventilů a snímačů tlaků. Jako příklad lze uvést expanzní ventil, který se používá u klimatizací, jenž pracuje s nízkými tlaky a kompresor není automaticky regulován. Ventil slouží jako rozhraní mezi vysoko- a nízkotlakovou částí klimatizačního okruhu.

Dále se např. používají snímače tlaků v hydraulických systémech, nebo u přímého vstřikování benzínu.

2.5 Průmyslové aplikace

Princip funkce deformačních tlakoměrů je založen na pružné deformaci, a tím i na změně geometrického tvaru vhodného tlakoměrného prvku vlivem působení měřeného tlaku.

Membránové tlakoměry používají jako tlakoměrný prvek kovovou membránu kruhového tvaru zvlněnou soustředěnými kruhy. Membrána je sevřena mezi dvěma přírubami a z jedné strany je přiváděn měřený tlak. Ten vyvolá průhyb membrány, který se přenáší na ukazovatel. Závislost zdvihu na tlaku je přibližně lineární.

Jsou vhodné především pro malé a střední tlaky do asi 4 MPa. Rovněž je možné je využít i k měření tlaku kašovitých látek, protože měřicí prostor lze poměrně snadno vyčistit. Výhodou membránových tlakoměrů jsou malé setrvačné hmoty systému. Takové snímače jsou vhodné pro měření i poměrně rychle pulsujících tlaků. Membrána snímače je velmi tenká, má malý průměr a její deformace lze elektricky snímat (např. kapacitně, indukčně či piezoelektricky). [39]

Membránový princip je již řadu let používán v nejrůznějších průmyslových aplikacích u pneumatických systémů. Jde zejména o přímočaré membránové pneumatory, membránové kompresory, membránové ventily a rozvaděče používané v automatizační technice nebo senzory a měřicí techniku, kde je membrána funkčním prvkem.

Široké uplatnění našel membránový vakuový lis. Slouží ke klasickému dýchování tvarovaných a rovných dílců a lze ho také využít při dýchování nábytku, nábytkových dílců, renovacích staršího a poškozeného nábytku, výrobě dveřních zárubní, lišt, výplní. Další možnosti využití lisu je tvarování termoplastických materiálů vhodných pro výrobu umyvadel, kuchyňských a stolních desek.

Membránový lis umožňuje povrchovými materiály potahovat také papír, dřevo, textil, plast, kov či dřevotřísku.

Membránové kompresory patří mezi speciální druhy kompresorů. Stlačují vzduch pohybem pružné membrány a na rozdíl od pístových kompresorů nemusí být mazány, proto mohou být používány v potravinářském průmyslu. Dosahují tlaku do 10 bar, dodávají stlačený vzduch bez olejové mlhy a jsou nenáročné na údržbu.

2.6 Spotřební elektronika

2.6.1 Kapacitní dotykový displej

V dnešní době jsou populární dotykové mobilní telefony, které také využívají membránu. Na povrchu displeje se nachází pružná membrána, která je zevnitř pokrytá tenkou kovovou vrstvou. Pod membránou je další vodivá vrstva, která je pevná. Mezi vrstvami se nachází velmi tenká vzduchová mezera vymezená podpěrami, které od sebe obě vodivé vrstvy izolují. Při dotyku se horní vrstva mírně prohne, dotkne se té spodní a v daném místě začne procházet elektrický proud. Na základě analýzy velikosti proudů pak vyhodnocovací jednotka vypočítá polohu bodu dotyku. [11]

2.7 MEMS

Membrány se využívají i v technologiích MEMS (Micro-electro-mechanical Systems). O MEMS se začalo hovořit v 90. letech 20. století jako o nastupující klíčové technice 21. století. Výhody MEMS jsou nesporné. Mikromechanické součástky jsou menší, lehčí, rychlejší a většinou přesnější než jejich makroskopické protějšky. [29]

V mikrosystémech jsou často začleněny i zcela nesourodé součásti. Vychází se z předpokladu, že v mikrosvětě se jednotlivé součásti systému výrazně vzájemně ovlivňují, na rozdíl od makrosvěta. [29]

V obecné formě se MEMS skládají z mechanických mikrostruktur, mikrosenzorů, mikroakčních členů a řídicí elektroniky integrovaných do jednoho systému.

2.7.1 Tisková hlava ink-jet s tepelnou deformací membrány

Příkladem zařízení, které využívá technologii MEMS, může být tisková hlava ink-jet s tepelnou deformací membrány. Používá se pro generování kapek inkoustu pomocí tepelného principu s akčním působením membrány přímo ohřívané ohřívacím členem. Membrána, která je kruhová, je vyrobená z vrstev SiO_2 a niklu má ve svém středu umístěn ohřívací rezistor elektricky izolovaný od membrány. Proud, jenž prochází rezistorem, zahřívá membránu. Pokud je vytvořené mechanické napětí v materiálu membrány větší než kritické, membrána se prohne směrem nahoru a impulsně vytlačí malé množství inkoustu do trysky. Rychlost, při průměru membrány $300 \mu\text{m}$, vystřelené kapky je $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se spotřebou $0,1 \text{ mJ}$. Pracovní frekvence vystřelování kapek inkoustu (membrány) je $1,8 \text{ kHz} - 5 \text{ kHz}$. [6]

2.7.2 Membránová mikropumpa

Dalším příkladem může být membránová mikropumpa, která je určena k dávkování velmi malých množství tekutin. Elektrostaticky ovládaná mikropumpa je složená ze čtyř křemíkových čipů realizovaných objemovým mikroobráběním. V horní části je aktuátorová část tvořená membránou a elektrodou, v dolní části jsou vstupní a výstupní ventily. Po přiložení napětí mezi membránu a elektrodu se membrána prohýbá, nasávání a výtlač jsou řízeny vtokovým a výtokovým ventilem. Membrána má plochu 16 mm^2 a tloušťku $50 \mu\text{m}$. Vzdálenost mezi membránou a elektrodou je $6 \mu\text{m}$. Při napětí 170 V a frekvenci pumpování 25 Hz je mikropumpa schopna dodat množství tekutiny v objemu $70 \mu\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$. Může pracovat s frekvencí do 100 Hz . Jeden cyklus dodává přesně stanovené objemové množství 10 až 50 nl (proto lze velmi přesně měřit dodané množství tekutiny). [29]

2.7.3 MEMS mikrofony

V případě MEMS mikrofonů se jedná o miniaturní křemíkové mikrofony vyráběné v provedení jedné integrované součástky (CMOS čipu). Součástka obsahuje snímací na tlak citlivou křemíkovou membránu upevněnou přímo na křemíkový čip, dále pak integrovaný předzesilovač a případně další pomocné obvody (např. různé aktivní filtry pro odstranění nežádoucích složek zvuku). Kvůli snadnému připojení k dnešním plně digitálním systémům dost často obsahuje integrovaný A/D převodník a výstup z „mikrofonu“ už jsou digitální sériově přenášená data. Ve většině případů je systém snímání tlaku ve formě měření změny kapacity (prakticky jde o kapacitní mikrofon). Jeho hlavní výhoda spočívá v možnosti monolitické integrace na společný křemíkový CMOS čip s elektronickými analogovými i digitálními obvody. Díky tomu se dá využít i obecně jako akustický senzor snímající i jiné frekvence než lidský hlas a je vhodný např. i pro systémy automatické detekce opotřebení strojů. [8]

Základním prvkem kapacitního mikrofonu je elektroakustický měnič realizovaný pro detekci vzduchem šířeného akustického tlaku. Skládá se ze dvou elektrod. První je pevná, umístěná na čipu, a druhá pohyblivá, umístěná na tenké malé křemíkové membráně. Pohyb membrány v důsledku měněního se akustického tlaku mění mezeru mezi elektrodami a tím pádem i kapacitu vzduchového kondenzátoru. Ten se hned vedle na stejném čipu umístěnými obvody převádí na napětí, proud nebo frekvence, který je k dispozici pro další zpracování na výstupním rozhraní. Elektrická zapojení musí být co nejjednodušší, aby bylo levné a snadno realizovatelné pro výrobu pomocí běžných CMOS výrobních postupů. Je zde také důležité, aby vše pracovalo při co nejmenší spotřebě elektrické energie, protože ve většině případů kapacitní mikrofony pracují v bateriově napájených systémech a aplikacích. [8]

MEMS mikrofony se využívají v mobilních telefonech, diktafonech, kamerách a fotoaparátech nebo handsfree sadách a podobných multimediálních zařízeních.



Obr. 11 MEMS mikrofony [8]

2.8 PKB

2.8.1 Ultrazvukový detektor

Ultrazvukový detektor se skládá z vysílače a přijímače ultrazvukových vln. Ultrazvukový vysílač, který se složen z piezoelektrického krystalu a membrány, přeměňuje elektrický signál na ultrazvukové vlny. Pokud přivedeme napětí na piezoelektrický krystal, začne měnit svůj tvar. A zase naopak, když bude piezoelektrický krystal namáhán, dojde k vytvoření napětí na jeho povrchu.

2.8.2 Elektrodynamický cívkový mikrofon

Membrána mikrofonu je připojena na cívku. Kmitající membrána přenáší kmity na cívku, která kmitá v magnetickém poli permanentního magnetu. Membrána kmitá a při dopadu zvukových vln se v cívce indukuje napětí a vzniká tak elektrický signál.

3 PERSPEKTIVY A TRENDY MEMBRÁNOVÝCH TECHNOLOGIÍ

V současnosti hraje membránová věda vedoucí roli v inovativních procesech ve všech vyspělých zemích světa. Je pochopitelné, že do budoucnosti membránové technologie, které již získaly své místo v různých aplikačních sférách se budou zdokonalovat a dále rozvíjet. Velký potenciál spočívá ve vývoji membrán. Vedle jejich tradiční separační funkce se objevují další požadavky pro specifická užití. Například při reakcích (katalýza, bipolární membrány), fázovém kontaktu (membránové stykače) se značně rozdílnými vlastnostmi vzhledem ke sféře použití. Také v různých oblastech jsou požadovány membrány se specifickými vlastnostmi povrchu (hydrofobicita, oleofobicita), membrány se zvýšenou odolností např. vůči rozpouštědlům a různým čistícím činidlům s odolností vůči vysokým teplotám nebo extrémním pH atd.

Dalším významným výzkumným problémem je dlouhodobá stabilita materiálu membrán. Snahou polymerních chemiků je proto připravit nové polymery, kopolymery, nebo polymerní směsi pro výrobu mechanicky, chemicky i tepelně stabilních membrán s vysokou propustností, dobrými separačními vlastnostmi a velkým volným objemem.

Základním cílem membránové technologie, jako každé jiné, je dosažení produktu požadované kvality za ekonomicky výhodných podmínek. To znamená vedle minimalizace negativních dopadů na životní prostředí, maximum vznikajících sekundárních produktů vrátit zpět do technologie nebo jinde alespoň částečně komerčně využít. To by umožnilo v budoucnosti vznik bezodpadové technologie. Je zřejmé, že tato problematika bude také středem zájmů vědců.

V oblasti membránových palivových článků se jedná o celkovou filozofii budoucího zásobování lidstva elektrickou energií. Zde také probíhá intenzivní výzkum, který se zaměřuje mimo jiné na náhradu drahého platinového katalyzátoru a vylepšení membrány.

Vědci z Massachusetts Institute of Technology (MIT) nedávno přišli s opravdovou novinkou. Vedoucí jejich výzkumného týmu, profesorka Paula T. Hammondová, tvrdí, že se jim podařilo připravit materiál, který nahradí tradiční membrány používané v palivových člancích. Tento materiál je levnější a přitom je schopen z článku dostat více energie. Když tímto materiálem pokryli klasickou membránu z Nafionu, tak takto vylepšený palivový článek dosáhl vyšší kapacity o více než 50%. Materiál by se měl také uplatnit i v dalších elektrochemických systémech (např. v bateriích).

Stále se vyvíjí nové typy katalyzátorů na bázi neušlechtilých kovů (např. porézního niklu). Ty však zatím nedosahují takových aplikačních vlastností jako platina.

Pokud se podaří v blízké době vyřešit problém katalyzátoru a membrány, tak širšímu praktickému využití palivových článků teoreticky nebude stát nic v cestě. I když tady je problém budoucího zdroje vodíku využívajícího obnovitelné zdroje energie a také problém účinného ukládání značného množství elektrické energie v době její nadprodukce. Ale tyto problémy se řeší souběžně.

Ve zdravotnictví lze předpokládat vývoj a použití umělých a bio-umělých orgánů a časově řízené podávání léků, hormonů a dalších léčivých látek pomocí rychlost určujících membrán.

Objemné a nepohodlné elektrody, které se používají pro sledování tělesných funkcí člověka, v blízké době nahradí elektronická „kůže“. Jedná se o monitorovací systém v podobě membrány, která je tenká jako lidský vlas (má méně než pět setin milimetru). Na vrstvičku pružného polyesteru jsou umístěny elektronické součástky (miniaturní senzory, indukční cívky, vysílače a přijímače). Díky tomu, že jsou tak tenké, si výsledný systém zachovává pružnost a ohebnost polyesterové membrány. Napomáhá tomu i složité vinutí vodičů, které se při ohybu jen tak nepolámou.

Membrána přilne ke kůži a pevně se s ní spojí čistě na fyzikálním principu, bez nutnosti použít nějakou lepidlovou látku. Spojení zajišťují van der Waalsovy síly (slabé přitažlivé síly mezi atomy). Dá se využít pro měření srdečního tepu, mozkové činnosti i elektrické projevy svalové práce. [15]

Globální oteplování a klimatické změny jsou způsobeny emisemi skleníkových plynů jako důsledku lidské činnosti. Proto membránová separace plynů bude hrát vůdčí roli v technologii zachytávání CO_2 (separace CO_2 , H_2 a O_2).

Prostřednictvím intenzifikace procesů za použití membránových technologií se podstatně zvýší úspora energie.

Dále se budou vyvíjet technologie, které mají velký potenciál v potravinářském průmyslu. Jde zejména o membránovou pervaporaci (dealkoholizace vína a piva), membránové reaktory (s využitím enzymů při biotransformacích či redukcí viskozity), membránové stykače (membránová evaporace pro zahušťování ovocných šťáv) atd.

Vedle zavedených membránových technologií probíhá intenzivní výzkum celé řady dalších procesů. Sem spadá například modifikace elektrodialýzy využívající tzv. bipolárních membrán. Takto zkonstruované elektrodialyzéry lze považovat za chemické reaktory umožňující přípravu kyselin či alkálií a tím zajišťovat provozování bezodpadových uzavřených technologií. Právě membránové reaktory jsou v současné době jednou z nejrychleji se rozvíjejících oblastí.

Americká vládní technologická a vojenská agentura DARPA připravuje nový typ špionážní družice. Projekt se jmenuje Membrane Optical Imager for Real-Time Exploitation (MOIRE). Optika této družice bude neobvyklá, protože místo běžného optického dalekohledu se skleněnými komponentami bude objektivem tenká a plochá drátěná membrána podobající se velkému sítu. Membrána bude v průměru měřit 20 metrů a její drátěnou výplň budou tvořit speciální vzory vypočtené počítačem.

Principem činnosti tohoto objektivu je řízený ohyb světelných vln na jemně strukturovaných překážkách, jež jim brání v přímé cestě. Světlo bude jemnou strukturou membrány ohýbáno a směřováno do senzoru, který bude umístěn hluboko v ohnisku za membránou. [14]

Vědci vyvinuli speciální snímací systém velice podobný lidskému oku, který pracuje na principu zakřívování jednotlivých částí. Má možnost jednoduchého zoomu díky synchronizovanému zakřívování snímacího senzoru a čočky pomocí komůrek naplněných vodou. Celý systém je velikosti malé mince.

Klíčovou inovací je fakt, že čočka i vlastní snímací senzor jsou umístěny na ohebném substrátu a hydraulickém systému, který může plynule měnit tvar substrátu, což umožňuje jednoduchý zoom.

Je zde použito pole vzájemně propojených křemíkových fotodetektorů (typ CMOS) umístěných na tenké elastické membráně, která může jednoduše měnit svůj tvar.

Integrovaná čočka je zkonstruovaná použitím tenké elastické membrány položené na vodní komůrce, pod kterou je umístěno číré skleněné okénko. V základu je senzor i čočka v rovné neprohnuté poloze. Pod oběma prvky jsou komůrky naplněné vodou. Při odčerpávání vody z komůrky pod senzorem dochází k prohýbání senzoru do tvaru duté polokoule. Pokud se voda opět přičerpá, dojde k narovnání snímače. Přičerpáním vody

do komůrky pod čočkou dojde k jevu opačnému. Membrána čočky se začne prohýbat opačným směrem do tvaru vypuklé polokoule. [13]

Budoucí uplatnění bude směřovat zejména do miniaturních zařízení, jako jsou fotomobily, či do lékařských oblastí.



Obr. 12 Snímač s ohebným CMOS [13]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PALIVOVÉ ČLÁNKY

Palivové články spadají do membránových systémů pro konverzi energie, které již své praktické uplatnění našly.

Princip palivového článku byl objeven v roce 1838 švýcarským vědcem Christianem Friedrich Schönbeinem. Na základě jeho publikace, která vyšla v lednu 1839, sestavil první fungující prototyp Sir William Grove. Předpokládá se, že termín „palivový článek“ použili jako první v roce 1889 Charles Langer a Ludwig Mond, kteří se pokusili vyvinout článek napájený svítiplynem. [32]

První použitelný článek byl vyroben v roce 1959. Měl výkon 5 kW a prezentoval ho jeho vynálezce Francis Thomas Bacon.

Svou skutečnou renesanci zažil palivový článek v 60. letech 20. století, díky kosmickému výzkumu, protože má proti jiným zdrojům výhodnější poměr energie/hmotnost. Byl použit např. v kosmické lodi programu Apollo. Palivové články využívají i současné raketoplány jako zdroje energie.

Palivový článek můžeme definovat jako elektrochemické zařízení uskutečňující přímou přeměnu chemické energie na energii elektrickou. Tato přeměna se děje katalytickými reakcemi na elektrodách.

V současnosti je nejrozšířenější dělení palivových článků podle provozní teploty. Podle tohoto kritéria rozlišujeme:

- nízkoteplotní
- středněteplotní
- vysokoteplotní

Mezi nízkoteplotní palivové články patří alkalické a membránové. Já se budu zabývat druhým zmíněným typem.

4.1 Membránové palivové články

Rozvoj membránových palivových článků začal později než u ostatních druhů, ale v posledních letech je jim věnovaná velká pozornost. Tyto články mají pevný nekorozivní elektrolyt (iontovýměnnou membránu) a jejich konstrukce i provoz je do určité míry jednodušší než u ostatních článků. Mají vůbec nejrychlejší kinetiku anodové oxidace

vodíku, proto dosahují vysoké účinnosti i vysoké energetické kapacity. Mohou pracovat i při nezvýšené teplotě. Reakce v nich je nastartována okamžitě po dodání paliva a plného výkonu dosahují velice rychle (do 30 vteřin po startu). Tyto palivové články nejsou citlivé na kysličník uhličitý, takže mohou používat reformovaná paliva. Rozsáhlejšímu využití napomáhají minimální nároky na údržbu, malé rozměry a také možnost modulového uspořádání. Jsou velmi vhodné pro pohon dopravních prostředků, především autobusů a osobních automobilů.

Jejich další výhodou je možnost miniaturizace (tzv. mikropalivové články). Navíc tzv. dýchací články potřebují pro svůj provoz pouze dodávku paliva. Oxidační činidlo (vzdušný kyslík) si odebírají sami z okolního prostředí. Ke svému provozu nepotřebují žádné periferní zařízení (komprese, chlazení, čerpání, reformování paliva apod.), které je nezbytné v ostatních případech. Mohou tedy být využívány jako malé přenosné energetické zdroje pro pohon spotřební elektroniky, protože jejich energetická kapacita je o hodně vyšší než u baterií a akumulátorů.

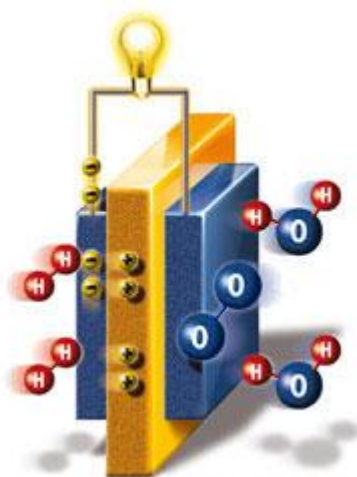
Existují také tzv. regenerativní membránové palivové články. Tyto články při dodávce paliva vyrábějí elektrickou energii, nebo při dodávce energie si mohou vyrábět potřebný vodík a kyslík elektrolýzou vody. V odlehlých místech a polních podmínkách mohou k tomuto účelu využívat i přírodní energetické zdroje, jako je např. energie solární a větrná. Toho se dá využít např. při provozu kosmických lodí, které si potřebnou energii pro výrobu paliva mohou získávat ze slunečního záření a využívat palivový článek jako zdroj elektrické energie v období letu na odvrácené straně od slunce.

Regenerativní palivové články se mohou používat i k nabíjení akumulátorů a dobíjitelných baterií. Dále mohou s těmito zdroji vytvářet výhodné kombinace ve formě tzv. hybridních článků.

4.1.1 Články PEMFC

Použití článků tohoto typu je univerzální. Je to nízkoteplotní článek a pracuje při teplotách 20 – 80 °C. Na elektrodách je nanesen jemný povlak (platina nebo nikl), který působí jako katalyzátor reakce. Díky vývoji technologií lze využít elektrody jen se slabou vrstvou platiny, což má zásadní vliv na cenu, která klesla na přiměřenou úroveň.

Princip činnosti palivového článku typu PEMFC si můžeme vysvětlit pomocí jednoduchého schématu.



Obr. 13 Schéma palivového článku PEMFC [31]

Palivový článek se skládá z elektrolytu nebo speciální membrány (žlutá barva), elektrod (modrá barva) a elektrického okruhu. Elektrolyt je polymerní membrána, která propouští jen pohyblivé ionty H^+ a pro elektrický proud musí být dielektrikem (nesmí propouštět elektrony). Na anodu se přivádí plyný vodík. Z vodíku, který se dostane na katalyzátorovou vrstvu, se uvolní elektrony. Tyto uvolněné částice projdou vnějším elektrickým obvodem a jsou poté přivedeny na katodu. Kationty H^+ rovněž dosáhnou katody, ale pohybem v elektrolytu. Na katodě dochází k reakci elektronů přicházejících z vnějšího obvodu, vodíkových kationtů a kyslíku jako oxidačního činidla. Výslednými odpadními produkty jsou voda a teplo.

Vodík může být do článku dodáván přímo v čisté podobě nebo jako součást sloučeniny, ze které se získává pomocí chemických katalytických reakcí. Během těchto reakcí dochází k uvolňování vodíku z uhlovodíků (zemní plyn, metan, metanol, etanol, čpavek).

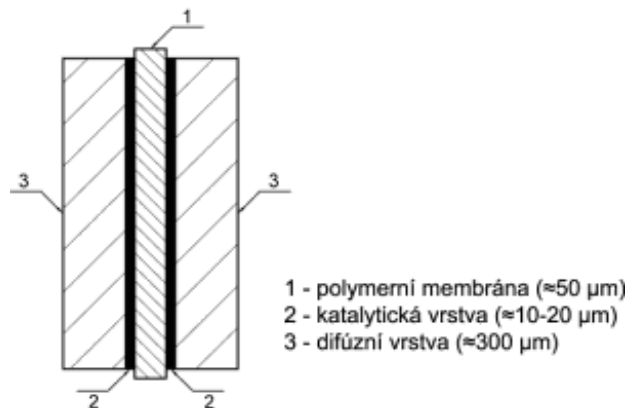
Důležitým požadavkem těchto typů článků je zajistit vysoký obsah vody v elektrolytu z důvodu iontové vodivosti. Voda musí být v kapalném stavu. Iontová vodivost elektrolytu je vyšší, když je membrána plně nasycena, což znamená nižší elektrický odpor a vyšší účinnost.

Tloušťka katalytické vrstvy záleží na tom, kolik platiny je na elektrodě použito. Pro katalytickou vrstvu obsahující $0,15 \text{ mg Pt/cm}^2$ vychází tloušťka méně než $10 \text{ }\mu\text{m}$. Síla elektrolytické membrány bývá kolem $200 \text{ }\mu\text{m}$.

Výhody pevného nebo polymerního elektrolytu jsou zřejmé. Funkce článku nezávisí na poloze, a proto se tyto články velmi dobře hodí pro mobilní aplikace či elektrickou trakci. Vzhledem k tomu, že jediná látka v kapalně fázi je voda, odpadají také problémy s vnější korozi. Také oproti AFC nevádí přítomnost CO_2 v přiváděných plynech. Bohužel jsou však kyselé polymerní membrány velice citlivé na ionty obecných kovů, které blokuji membránu. Z toho důvodu je nutné používat platinové katalyzátory. Navíc je nutné tyto články vkládat do pouzder odolných vůči korozi, například z pozlaceného titanu, což velice zvyšuje cenu PEMFC.

Účinnost PEMFC se pohybuje kolem 50 – 60 %.

V reálných aplikacích se využívá konstrukce zvaná „Membrane electrode assembly“ (MEA), což je označení pro polymerní membránu s nalisovanými katalytickými vrstvami kladné i záporné elektrody a opatřené difúzními vrstvami (viz. Obr. 14). Všechny části jsou umístěny mezi dvěma deskami vyrobenými z grafitu a označovány jako bipolární desky (Flow Field Plates, desky s kanálky pro rozvod plynů, paliva a okysličovačla). Díky tomu že celková tloušťka sestavy zpravidla nepřesahuje 1 mm, může se s ní velice snadno manipulovat. Výhodou je také technologická nenáročnost výroby.



Obr. 14 Nákres struktury MEA [24]

4.1.2 Články DMFC

Jako palivo se zde používá metanol. Princip je dosti podobný principu PEM článků. Na anodu se přivádí vodný roztok metanolu. Ionty vodíku vzniklé anodovou oxidací prostupují membránou (nejčastěji Nafion) ke katodě, kde za přísunu oxidačního činidla (kyslík) redukují na vodu. Na anodě se z molekuly metanolu odtrhávají volné elektrony, které jsou na katodu přiváděny vnějším obvodem. Vznikají tak vodíkové kladné ionty, které ke katodě tečou přes iontoměničnou membránu a uvolňuje se plynný oxid uhličitý. Ke konečné oxidaci na anodě dochází přes několik reakčních mezistupňů. Tyto mezistupně výrazně zpomalují průběh reakce. Při jednotlivých mezistupních vznikají skupiny jako COH, COOH, CO, které se adsorbují na katalyzátor (platinová čerň, Pt) snadněji než vodík a blokují tak jeho další adsorpci. Z toho důvodu se přidává do anodové vrstvy kokatalyzátor rutenium (Ru). Ru napomáhá další oxidaci uhlíkatých skupin na CO₂, který jako plyn uniká z katalytické vrstvy. Pro DMFC byl stanoven nejvýhodnější atomární poměr obou katalyzátorů Pt/Ru 1:1. Metanolvý článek má nižší svorkové napětí, protože oxidace metanolu je oproti oxidaci vodíku pomalejší. Reakce na katodě je velmi podobná katodické reakci u článků PEM.

Elektrická účinnost se pohybuje okolo 40 %. Články řadíme do nižší výkonové skupiny (jejich výkon je do 10 kW).

Metanol slučuje mnoho výhod, jako je např. snadná manipulace, velká energetická a skladovací hustota, nízké náklady za surovinu, snadné a bezpečné skladování a distribuování.

Výhodami DMFC je, že články nepracují s velkými tlaky, je u nich vyloučen únik plynného paliva a mohou pracovat i při pokojových teplotách.

Zásadní vliv na chování článku mají části tzv. membránové elektrody – iontoměničná membrána, katalytická vrstva a difúzní vrstva.

Iontoměničná membrána plní funkci elektrolytu s kladnou iontovou vodivostí (H⁺). Je to polymerní membrána s funkčními řetězci kyseliny na bázi S-F. Nejrozšířenější jsou membrány s obchodním názvem Nafion. Nedostatkem membrány je prosakování metanolu od anody přes membránu ke katodě. Průsak na katodě způsobuje zablokování katalyzátoru. Rozsah průsaku je do jisté míry úměrný velikosti odebíraného proudu. Na konstrukcích s co nejnižším průsakem se stále pracuje. Membrána se nesmí vystavovat teplotám vyšším než 130 °C. Toto je také limitní faktor provozu článku typu DMFC.

V katalytické vrstvě probíhá elektrochemická reakce. Je to mikroporézní struktura skládající se z katalyzátoru (Pt + Ru) a elektrolytu (fáze Nafionu). Katalyzátor může být použit samostatně (bez nosného substrátu nebo s uhlíkovými sazeňmi jako nosným substrátem). Bezsubstrátové katalytické vrstvy jsou tlustší než substrátové.

Difuzní vrstva plní několik funkcí. Především zajišťuje dopravu paliva a oxidačního činidla ke katalytické vrstvě, odvádí produkty z reakcí na elektrodách, zprostředkovává elektrickou vodivost. Je vyrobena z uhlíkové tkaniny impregnované teflonem.

V současné době se DMFC články uplatňují ve velké míře v různých zařízeních, která lze rozdělit do tří kategorií:

- mobilní
- stacionární
- přenosná

Stacionární zařízení

Jde o záložní napájecí agregáty a agregáty pomocného proudu, vysílací a přijímací stanice umístěné mimo rozvodnou síť, video- a audiosystémy v polních podmínkách, jakož i zařízení pro sledování dopravy, měřicí stanice a signální zařízení.

Mobilní zařízení

Do této kategorie patří zejména rekreační využívání palivových článků jako zdroje elektrické energie. Jde např. o zásobování elektrických spotřebičů elektrinou na palubě cestovních automobilů, plachetnic a v rekreačních či horských boudách, jakož i o pohon lehkých elektromobilů, dodávkových kol, malých městských dopravních vozítek, vozíků pro tělesně postižené osoby či golfových vozíků.

Přenosná zařízení

Zde jde především o napájení laptopů a satelitních telefonů, nejrůznější nabíječky či výstražná světla nebo osvětlovací systémy.



Obr. 15 DMFC nabíječka značky Toshiba [23]

Jedním z příkladů využití může být nabíječka Dynario od firmy Toshiba, která v sobě kombinuje palivový článěk s lithium-iontovou baterií (Obr. 14). Má nádržku na 14 ml metanolu, kterou naplníme z dodávané lahvičky během dvaceti sekund. Poté následně můžeme dobít dva běžné mobilní telefony. Jedno nabití vyjde přibližně na 17 Kč.

4.2 Praktické využití palivových článků

Palivové články typu PEM se velice často používají jako zdroje elektrické energie pro elektromobily rozličných velikostí a výkonů.

Výrobcem PEMFC článků je např. kanadská firma Ballard Power Systems Inc. Automobilka Daimler-Benz společně s touto firmou vyvíjí od roku 1993 dodávkový automobil NECAR (New Electric Car) už v několikáté verzi. U první verze byl palivem vodík, který byl uložen ve dvou tlakových kontejnerech na střeše vozidla. Odtud hadicemi rozváděn do článků. Vzduch byl do článků vháněn pomocí kompresorů. Celý proces byl řízen elektronicky. Vedlejším produktem byla pouze vodní pára.

Palivové články se dále vyvíjely. Je to už patrné např. při porovnání NECARU 3 z roku 1997 a NECARU 5 z roku 2000. NECAR 3 měl nejvyšší rychlost 110 km/h a dojezd 250 km. Když to NECAR 5 dosahoval rychlosti 150 km/hod a jeho dojezd byl 450 km.

V roce 1999 koncern Volkswagen představil první automobil poháněný palivovým článkem s názvem EU Capri Project. Šlo o článek typu PEM o výkonu 15 kW od kanadské firmy Ballard. Automobil (VW Golf III) měl dojezd 250 km. Palivem byl metanol.

Drahé pohonné hmoty a vidina další ropné krize nutí automobilové společnosti pracovat na vývoji alternativních pohonů. Jako nejperspektivnější se jeví palivové články. Proto největší světové automobilky (Chrysler, General Motors, Ford, Renault, Volkswagen) investují stovky milionů dolarů do vývoje palivových článků pro pohon automobilů. Mají své vlastní týmy vědců a techniků, kteří neustále pracují na jejich zdokonalení.

V současné době se světové automobilky předhánějí ve výrobě automobilu poháněných pomocí palivových článků. Toyota i GM je slibují přibližně na rok 2015. Jihokorejský Hyundai je chce mít k dispozici již začátkem roku příštího v počtu kolem 1000. Cena by podle magazínu Torquenews měla dosahovat 88 550 dolarů před dotacemi. Hyundai ale chce, aby do roku 2015 stála auta na vodík pod 50 000 dolarů. Právě vysoká cena je to, co ostatní automobilky zdržuje od uvedení aut s palivovými články na vodík na trh.

Palivové články (PEM) najdou uplatnění také u těžších vozidel. Společnost Ballard vyvíjí a vyrábí společně se známými automobilkami několik typů autobusů poháněných palivovými články. Např. v květnu 2003 dodala společnost Ballard do Španělska 30 autobusů Daimler-Chrysler vybavených 205 kW PEM článkem. V dalších letech se tyto čisté dopravní prostředky rozšířily i do Amsterdamu, Stockholmu, Reykjavíku, Londýna, Hamburгу, Luxemburгу, Porta a Stuttgartu (v rámci tzv. CUTE programu).

Také v ČR, roku 2009, představil Ústav jaderného výzkumu Řež a jeho partneři Škoda Electric, Proton Motor a Veolia Transport autobus s trihybridním pohonem TriHyBus (Triple Hybrid Hydrogen Bus). Jednalo se o první autobus s vodíkovými palivovými články vyvinutý ve střední a východní Evropě. Autobus je unikátní i mezi obdobnými vodíkovými vozidly. Využívá totiž systém trojitého hybridního pohonu: vodíkových článků, baterií a výkonných kondenzátorů zvaných ultrakapacity. Pracuje s mnohem vyšší účinností a delším dojezdem. Vozidlo bude sloužit pro běžnou městskou dopravu v Neratovicích.

Japonská společnost Panasonic vyrábí palivové články určené pro domácí užití. Chce je také dovážet do Evropy. Firma to sdělila na japonském veletrhu spotřební elektroniky

CEATEC. Jedná se o palivové články kombinované se zásobníky horké vody. První palivové články pro domácnosti by se na evropském trhu měly objevit už v roce 2013.

V Japonsku si vytápění, teplou vodu a veškerou elektřinu získávanou z palivového článku pořídilo přes 5000 domácností. Aktuální výkon palivového článku je 1 kW. Toto zařízení dokáže vytápět a zásobovat teplou vodou i elektřinou dva pokoje a koupelnu s kuchyní. Spotřeba počítá se čtyřmi lidmi v domácnosti. Společnost plánuje zvýšení výkonu palivového článku na 3 kW.

4.3 Možné využití palivových článků v bezpečnostním průmyslu

V bezpečnostních technologiích lze palivové články použít jako zdroj elektrické energie.

Jde zejména o místa, kde není přípojka elektrického proudu. Může se jednat o rekreační objekty, které leží v těžko dostupném terénu (např. horské chaty).

Pro tyto účely se mohou použít stacionární palivové články. Můžeme je využít v podstatě pro všechny bezpečnostní prvky, které potřebují napájení. Ať už se jedná např. o kamery, přístupový systém, ústřednu a detektory.

Mikropalivové články by se mohly využívat jako zdroj energie pro vysílačky např. u osobního strážce.

ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem zpracovával téma Využití membránových technologií.

V teoretické části jsem popsal všechno, co se týče membránových technologií – typy membrán, materiály pro jejich výrobu, různé membránové procesy a jejich praktické využití v různých aplikacích.

Membránové technologie jsou relativně mladé technologie, které ve většině případů hledají své místo ve výrobních aplikacích. V některých oblastech již úspěšně konkurují starším a tradičnějším technologiím nebo je dokonce nahrazují. Sem patří zejména příprava pitné vody z celého spektra zdrojů, včetně vody odpadní.

Membránové technologie jsou ekonomičtější a šetrnější k životnímu prostředí, protože minimalizují objem odpadu.

V praktické části jsem se věnoval membránovým palivovým článkům. Podle mínění odborníků právě palivové články budou zdrojem elektrické energie v budoucnu. Čím více se budou tenčit přírodní zdroje energie, tím rychlejší bude nástup membránových palivových článků. Popsal jsem i praktické využití membránových palivových článků.

Membránové technologie mají obrovský potenciál. Pokud těmto technologiím bude i nadále věnována stejná pozornost, pevně věřím, že jim bude patřit budoucnost.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

In my thesis I worked topic Use of membrane technology.

In the theoretical part I described everything in terms of membrane technologies – types of membranes, materials for their production, different membrane processes and their practical uses in different applications.

Membrane technologies are relatively young technologies which find their place in production applications. In some areas already successfully compete older and traditional technologies or even replaced them. Here belongs the preparation of drinking water from the whole range of sources, including wastewater.

Membrane technology are more economical and more considerate to environmental because minimize bulk of waste.

In the practical part I devoted membrane fuel cells. According to professionals fuel cells will be source of electrical energy in the future. The more will be thin natural energy sources the faster will be entrance of membrane fuel cells. I also described the practical use of membrane fuel cells.

Membrane technologies have gigantic potential. If these technologies will be give equal attention I firmly believe that will belong future them.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DITL, Pavel. Difúzně separační pochody. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03972-4.
- [2] KOTYK, Arnošt. *Struktura a funkce biomembrán*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1996, 173 s. ISBN 80-210-1316-8.
- [3] KORYTA, Jiří. *Ionty, elektrody, membrány*. 1. vyd. Praha: Academia, 1980, 173 s. ISBN (brož.).
- [4] JELÍNEK, Luděk a kol. Desalinační a separační metody v úpravě vody [online]. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2008 [cit. 2012-02-01]. ISBN 978-80-7080-705-7. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-978-80-7080-705-7/pages-img/
- [5] HASAL, Pavel, Igor SCHREIBER a Dalimil ŠNITA a kol. *Chemické inženýrství I* [online]. 2. přeprac. vyd. Praha: VŠCHT, 2007, 350 s. [cit. 2012-03-17]. ISBN 978-80-7080-002-7. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-978-80-7080-002-7/pages-img/obalka-1.html
- [6] HUSÁK, Miroslav. *Mikrosenzory a mikroaktuátory*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2008, 540 s. ISBN 978-80-200-1478-8.
- [7] PALATÝ, Zdeněk a Bohumil BERNAUER. *Membránové procesy*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2012, 282 s. ISBN 978-80-7080-808-5.
- [8] VOJÁČEK, Antonín. MEMS mikrofony – obecný popis struktury a funkce. *Automatizace.HW.cz* [online]. 27.4.2010 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/mems-mikrofony-obecny-popis-struktury-a-funkce>
- [9] KUŽNÍK, Jan. Za tři roky budeme doma v Evropě topit i svítit z palivových článků Panasonic. *IDNES.cz* [online]. 8.10.2010 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/za-tri-roky-budeme-doma-v-evrope-topit-i-svitit-z-palivovych-clanku-panasonic-18j-/tec_technika.aspx?c=A101007_163605_tec_technika_kuz
- [10] Citroen BX 1.9 GTi 16V Hydraulika a brzdy. *Diopan.cz* [online]. [1998] [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.diopan.cz/citroenbx/hydraulika.htm>

- [11] PROCHÁZKA, Juraj. Kapacitní dotykové displeje přebírají vládu. *MobilMania.cz* [online]. 1.6.2010 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.mobilmania.cz/clanky/kapacitni-dotykovye-displeje-prebiraji-vladu/sc-3-a-1125441>
- [12] Nemoci ledvin - Dialýza. *LedvinyProgres.cz: program renálního screeningu* [online]. (C) 2009 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.ledvinyprogres.cz/group/dialyza>
- [13] SRNA, Michal. Vynalezen snímač s ohebným CMOS a zoomem. *Digimanie* [online]. 20.1.2011 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: http://www.digimanie.cz/art_doc-5E890669B7CE223EC125781E003A19AB.html
- [14] VACHTL, Pavel. Družice uvidí v reálném čase. *Český rozhlas* [online]. 29.12.2011 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/leonardo/technologie/_zprava/druzice-uvidi-v-realnem-case--994433
- [15] VON. Elektronická "kůže" pohlídá životní funkce pacientů. *Týden.cz* [online]. 15.08.2011 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: http://www.tyden.cz/rubriky/veda/technologie/elektronicka-kuze-pohlida-zivotni-funkce-pacientu_209571.html
- [16] BARÁK, Petr. *Metody detekce pohybu v ochraně objektu* [online]. Zlín, 2010 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/13139/bar%C3%A1k_2010_dp.pdf?sequence=1. Diplomová práce. UTB Zlín. Vedoucí práce doc. Ing. Luděk Lukáš, CSc.
- [17] BLEHA, Miroslav a Darina BOUZKOVÁ. *Česká membránová platforma: Strategická výzkumná agenda*. Česká Lípa, 2009.
- [18] Obecné informace o membránových procesech. *Czemp* [online]. 2010-2012 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/cs/membranove-procesy/obecne-informace-o-membranovych-procesech>

- [19] Membránové materiály. *Czemp* [online]. 2010-2012 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/cs/membranove-procesy/membranove-materialy>
- [20] BLEHA, Miroslav. *Česká membránová platforma o.s.: „Implementační akční plán“*. Česká Lípa, 2011. Dostupné z: http://www.czemp.cz/sites/default/files/czemp_iap.pdf
- [21] Membránové procesy - elektrodialýza (ED). *MEGA a.s.* [online]. © 2006 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.mega.cz/elektrodialyza.html>
- [22] Membránové procesy - elektrodeionizace (EDI). *MEGA a.s.* [online]. © 2006 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.mega.cz/membranove-procesy---elektrodeionizace-edi.html>
- [23] CHRAMOSIL, Marek. Palivové články konečně v prodeji. *PCTuning* [online]. 22.10.2009 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=15286&catid=1&Itemid=57
- [24] Palivové články, rozdělení, principy, vlastnosti. *TZB-info* [online]. 5.7.2010 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/6617-palivove-clanky-rozdeleni-principy-vlastnosti>
- [25] *EUROTOP STŘEŠNÍ MEMBRÁNY* [online]. 2008 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.fakro.cz/att/foldery/EUROTOP.pdf>
- [26] JUŘIČKA, Petr. *Mikroelektromechanické systémy* [online]. Zlín, 2010 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14425/ju%C5%99i%C4%8Dka_2010_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. UTB Zlín.
- [27] Membránová filtrace – účinný způsob pro zvýšení kvality potravin. *EUFIC* [online]. 2005, 18.05.2012 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.eufic.org/article/cs/artid/membranova-filtrace-kvality-potravin/>
- [28] Elektroforézní boxy. *MEGA a.s.* [online]. © 2006 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.mega.cz/elektroforezni-boxy.html>

- [29] HUSÁK, Miroslav. Užití MEMS v průmyslu. *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2008, č. 12 [cit. 2012-05-14]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38277
- [30] *Membránové procesy* [online]. 2006 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.text.k27.membranove.procesy.pdf>
- [31] KOS, Miloš a Jan VRŇÁK. *Palivové články* [online]. 2010 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://fsinet.fsid.cvut.cz/stretech/2010/stretech_2010_sbornik/pdf/1002.pdf
- [32] Palivový článek. *Wikipedie* [online]. 22.4.2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD_%C4%8D%C3%A1nek
- [33] V Praze se představila budoucnost městské dopravy: TriHyBus – autobus na vodíkový pohon. *TriHyBus* [online]. © 2008 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.trihybus.cz/clanky/v_praze_se_predstavila_budoucnost_vodikove_dopravy
- [34] PAZDERA. Vylepšený palivový článek. *OSEL.CZ* [online]. 20.05.2008 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/index.php?clanek=3578>
- [35] HORÁK, Bohumil, Jiří KOZIOREK, Miroslav KOPŘIVA, Martin PAPOUŠEK a Zdeněk SLANINA. *STUDIE POHONU MOBILNÍHO PROSTŘEDKU S PALIVOVÝM ČLÁNKEM*. 2005. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/5064.pdf>
- [36] HORČÍK, Jan. Hyundai: do roku 2014 tisíce aut na vodík. *Hybrid.cz* [online]. 17.4.2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/hyundai-do-roku-2014-tisice-aut-na-vodik>
- [37] FURKA, David. *Palivové články* [online]. Praha, 2006 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://elm-fur.wz.cz/palivove_clanky.pdf. Semestrální práce. ČVUT, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektroenergetiky.
- [38] PORŠ, Zdeněk. *Palivové články* [online]. 2002 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>

- [39] KADLEC, Karel. Snímače tlaku - principy, vlastnosti a použití. *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2007, č. 2 [cit. 2012-05-15]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au020728.pdf>
- [40] LAUCKÝ, Vladimír. *Speciální bezpečnostní technologie*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009, 223 s. ISBN 978-80-7318-762-0.
- [41] Elektrické napájení z palivových článků. *ELEKTRO* [online]. 2009, č. 1 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38368.pdf>
- [42] TECHNOLOGIE FMX – NOVÉ ŘEŠENÍ MEMBRÁNOVÉ FILTRACE. *CHEMagazín: časopis pro chemicko-technologickou a laboratorní praxi* [online]. Pardubice: Ing. Miloslav Rotrekl, 2009, roč. 19, č. 2 [cit. 2012-05-15]. ISSN 1210-7409. Dostupné z: http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/chxix_2_cl2.pdf
- [43] Reverzní osmóza - technologie. *Cistickyvody.cz* [online]. © 2007-2010 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.cistickyvody.cz/stranka-reverzn-osmza-technologie-8>
- [44] *Reverzní osmóza*. 2007. Dostupné z: http://sisw.cz/sisw/downloads/SISW_reverzni_osmoza_RevC.pdf
- [45] *ELEKTRICKÁ MEMBRÁNOVÁ ODSÁVAČKA ES-93*. 2006. Dostupné z: http://www.alfamedic.cz/katalogy/cz/ES93_C.pdf
- [46] *Membránový vakuový lis: ideální řešení pro aplikaci dekorativních povrchů*. 2010. Dostupné z: http://www.adamikcompany.com/files/clanek_2011.pdf
- [47] OPEKAR, František. *Základní analytická chemie: pro studenty, pro něž analytická chemie není hlavním studijním oborem*. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 2003, 201 s. ISBN 80-246-0553-8.
- [48] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití* [online]. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. [cit. 2012-05-15]. ISBN 80-708-0617-6. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid_isbn-80-7080-617-6/anotace/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PKB Průmysl komerční bezpečnosti.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Klasifikace membrán z hlediska původu, vlastností a struktury [5].....	12
Obr. 2 Asymetrická membrána [1]	16
Obr. 3 Symetrická membrána [1].....	16
Obr. 4 Princip membrány z dutého vlákna [1].....	16
Obr. 5 Schematické znázornění elektrodialýzy [21].....	20
Obr. 6 Princip elektrodeionizace [22].....	21
Obr. 7 Deskový modul [1]	24
Obr. 8 Modul spirálově vinutý [1]	24
Obr. 9 Trubkový modul [1].....	25
Obr. 10 Modul s dutými vlákny [1]	25
Obr. 11 MEMS mikrofony [8].....	34
Obr. 12 Snímač s ohebným CMOS [13].....	38
Obr. 13 Schéma palivového článku PEMFC [31]	42
Obr. 14 Nákres struktury MEA [24]	43
Obr. 15 DMFC nabíječka značky Toshiba [23].....	46