

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
Ústav pro životní prostředí

Ekologie a ochrana prostředí
Ochrana životního prostředí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Odsolování mořské vody

Desalination of sea water

Zpracoval: Lukáš Pokorný

Školitel: Ing. Libuše Benešová, CSc.

Květen 2011

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval sám a všechny citace a prameny vyznačil v textu. Veškerou použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Praze dne 10. 5. 2011

.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Libuši Benešové, CSc. za odbornou pomoc a podnětné konzultace při vypracování této práce.

ABSTRAKT

S rostoucí populací na planetě, rostou i požadavky na zásobování vodou. Zdroje sladké vody již v některých zemích nestačí zásobovat obyvatele, průmysl, zemědělství. Jedná se zejména o aridní, přímořské oblasti jako je Blízký východ či Austrálie. Tyto oblasti jsou odkázány především na využití slané mořské vody. Slaná mořská voda obsahuje velké množství rozpuštěných látek, dosahujících koncentrací až 37 000 mg/l, kvůli těmto koncentracím není vhodná k dalšímu využití. Pomocí membránových procesů lze rozpuštěné látky z mořské vody odstranit a vodu dále využívat jako pitnou, k průmyslovému využití nebo v zemědělství. Nejvyužívanější metodou k úpravě slané mořské vody je reverzní osmóza, která poskytuje nejvyšší účinnost v poměru ku spotřebě energie.

Klíčová slova: pitná voda, odsolování, membránové procesy, reverzní osmóza

ABSTRACT

Along with the Earth's population growth the requirements for water supply increase. Resources of fresh water are already unable to supply citizens, industry and agriculture of some countries. This concerns in particular xeric, long-shore areas as Australia. These areas dispose of huge amount of water. Unfortunately it is saline water. Saline water contains lots of solute matter concentrated in 37000 mg per liter, which makes it unsuitable for any use. With an assistance of membrane processes it is possible to rid the water of this solute matter and hereafter use it as fresh water for industry or agriculture. The most exploited method of saline water purification is reverse osmosis, which offers the best performance in proportion to the consumption of electric energy.

Keywords: fresh water, desalination, membrane processes, reverse osmosis

OBSAH

1. Úvod	6
2. Membránové procesy	7
2.1. Reverzní osmóza	9
2.1.2. Výroba a druhy membrán	10
2.1.2.1. Celulózové membrány	10
2.1.2.2. Aromatické polyamidové membrány	11
2.1.2.3. Kompozitní membrány	11
2.1.2.4. Jiné typy membran	12
2.1.3. Hnací síly transportu	12
2.1.5. Zanášení membrán	12
2.1.5.1. Koncentrační polarizace	12
2.1.5.2. Tvorba gelů	13
2.1.5.3. Sraženiny	14
2.1.5.4. Biologické zanášení	15
2.1.6. Degradace membrán	15
2.1.7. Předčištění	15
2.1.7.1. Mikrofiltrace	16
2.1.7.2. Ultrafiltrace	16
2.1.7.3. Nanofiltrace	16
2.1.8. Čištění membrán	17
2.1.9. Využití reverzní osmózy	17
2.2. Elektrodialýza	18
2.2.1. Konstrukce	19
2.2.2. Režimy fungování	19
2.2.3. Provoz	19
2.2.4. Využití	20
2.3. Membránová destilace	22
2.3.1. Typy membránové destilace	23
3. Solární odsolování	25
3.1. Konstrukce	25
3.2. Klady a zápory solárního odsolování	26
4. Pitná voda	28
5. Odsolování v praxi	29
5.1. Austrálie - Sydney	29
5.2. Jiné části světa	30
6. Závěr	32
7. Literatura	33

1. Úvod

Poptávka po pitné vodě, ale i vodě vhodné pro využití v průmyslu celosvětově stále roste. Srážky, které se dají shromažďovat v kolektorech a dále upravovat, jsou značně variabilním zdrojem vody a nelze se na ně trvale spoléhat. Jejich množství by i za ideálních dešťových podmínek představovalo jen zlomek požadované poptávky. Podzemní vody mají rovněž omezenou vydatnost a taktéž by nestačily. Například Austrálii od roku 2003 po několik let sužovalo sucho, zásoby vody v přehradách rychle klesaly a ani čerpání podzemních vod nestačilo krýt požadavky spotřeby. Co tedy dál? Existuje nějaké řešení takovýchto situací?

Na světě je ohromné množství vody, ale pouze méně než tisícina procenta je voda sladká v tekuté formě. Prakticky 98 procent tvoří voda v oceánech a mořích - tedy voda slaná. Slaná voda je pro svůj obsah rozpuštěných látek značně nevhodná ke konzumaci ale i k jinému, např. průmyslovému, použití. Pokud voda obsahuje více jak 2000 mg/l rozpuštěných látek, je označována jako voda slaná a tedy nevhodná k pití. Obsah rozpuštěných látek ve vodě mořské se průměrně pohybuje mezi 33 000 až 37 000 mg/l. Aby takováto voda byla vhodná k pití, musel by se obsah rozpuštěných látek snížit na méně než 1000 mg/l (taková voda už je označována jako požitelná), nebo lépe až na hodnotu okolo 500 mg/l. (Kožíšek, 2001)

Možností jak snížit množství rozpuštěných látek existuje řada způsobů. Snížení obsahu rozpuštěných solí se obecně nazývá odsolování (desalination). V současné době je tématu odsolování věnována stále větší pozornost; pravidelně vychází časopis IDA Desalination a také nakladatelství Elsevier vydává řadu knih zabývajících se touto tematikou. K odsolování se využívá řada různých metod a technik, cílem této práce je srovnání nejpoužívanějších z nich.

2. Membránové procesy

Membránové procesy mají poměrně krátkou historii. Tento druh separačních procesů se začal rozvíjet asi před 60 lety a za tuto dobu se vyvinul v technologicky významnou skupinu postupů při úpravě vod.

Membránové procesy lze rozdělit do dvou skupin. Do první skupiny patří mikrofiltrace (MF), ultrafiltrace (UF), nanofiltrace (NF), reverzní osmóza (RO), elektrodialýza (ED) a dialýza (D). Ve druhé skupině membránových procesů se nacházejí metody dělení plynů (GS), pervaporace (PV), membránová destilace (MD) a separace kapalnými membránami (LM).

Membránové technologie mají uplatnění v řadě oborů a jsou využívány k nejrůznějším separačním postupům. Oproti jiným druhům separačních metod je zvýhodňuje například menší spotřeba elektrické energie, mohou být provozovány kontinuálně a dají se kombinovat s jinými separačními procesy. Membránové procesy mají ale i své nevýhody. Mezi ně patří především nízká selektivita membrán a také jejich nízká životnost v důsledku interakce s řadou chemických látek. V koncentrovaných roztocích dochází také k zanášení povrchu, což vede k postupné redukci účinnosti filtrování. Selektivita, životnost a míra zanášení závisí na daném typu separačního procesu a na daném typu použité membrány. V dnešní době se membránové technologie stále rozvíjejí a tak se i zdokonalují nové typy membrán.

Membránové procesy fungují na principu semipermeabilní membrány, která představuje překážku pro určitý typ látek. Látky jsou membránou oddělovány třemi způsoby. Prvním mechanismem je oddělování látek na základě rozdílné velikosti částic vyskytujících se v roztoku (síťový efekt). Síťový efekt funguje jednoduše - membrána je tvořena porézním povrchem a částice, které jsou větší než membránové póry, jimi jednoduše neprojdou. Druhý mechanismus separace částic je založen na rozdílném náboji částic. a třetí mechanismus separace je pak založen na rozdílné rozpustnosti látek v membráně. Separací schopnost membrány závisí na dvou faktorech: (i) na toku látky membránou (propustnosti), (ii) na selektivitě membrány (schopnosti separovat požadované částice). Transport membránou je určen hnací silou procesu, která působí na vstupní složky. Nejčastějšími hnacími silami u membránových procesů jsou rozdílné tlaky nebo rozdílné koncentrace na obou stranách membrány. Dalšími hnacími silami může být například rozdíl teplot nebo elektrický potenciál, který působí na částice nesoucí náboj. (Belford, 1984)

Roztok, který membrána pomocí svých separačních vlastností rozdělí je složen ze dvou částí. První část roztoku, která membránou neprošla a obsahuje tak separované částice, se nazývá **retentát** (koncentrovaný roztok) a druhá část, která membránou prošla a je tak tedy zbavena látek, které membránou neprošly, se nazývá **permeát**. (Bleha, 1996)

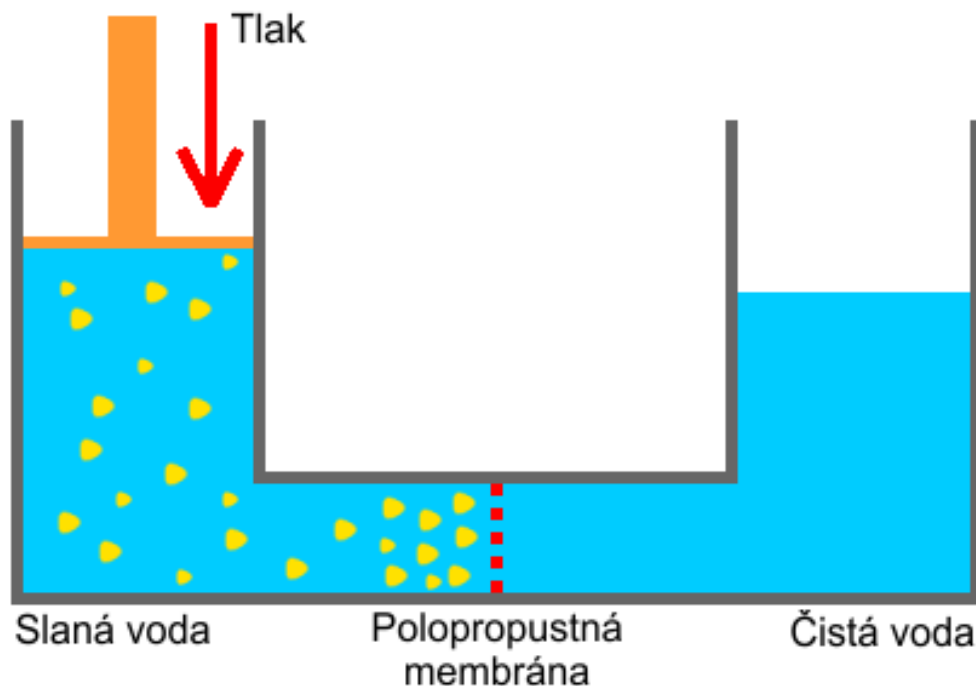
Separací vlastnosti membrán jsou určeny jejich selektivitou a propustností. Složení permeátu a účinnost dělení ovlivňuje právě selektivita, která je nepřímo úměrná velikosti plochy membrány. Separací vlastnosti membrán, jsou určeny molekulovou hmotností nejmenší částice, kterou je membrána schopna zachytit. Tato molekulová hmotnost se vyjadřuje v daltonech (D) a je nazývána hranicí dělení (Cut-off).

Permeabilita (propustnost) ovlivňuje rychlost transportu přes membránu. Rychlost transportu přes membránu se vyjadřuje objemovým tokem permeátu ku ploše membrány ($l \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$). Na tuto rychlost má vliv hustota pórů na povrchu membrány a jejich střední velikost. Kompenzace nedostatečné propustnosti může být realizována větší plochou membrány. Kromě těchto uvedených faktorů, závisí rychlost separace také na velikosti částic, rozmístění velikosti částic ve vstupním roztoku a na elektrostatické interakci částic s povrchem membrány. Největším problémem tlakových procesů je pokles toku permeátu, který je způsoben koncentrační polarizací, jako důsledek zanášení povrchu membrány (fouling effect). (Poter et., 1990)

2.1. Reverzní osmóza (RO)

Reverzní osmóza je proces založený na membránové filtraci, odstraňující rozpuštěné látky ze vstupního roztoku na základě osmotických tlaků. Po odfiltrování nežádoucích částic z roztoku se tyto molekuly hromadí u vstupní strany membrány a vytváří tak koncentrovanější roztok. Filtrát na druhé straně, ochuzený o tyto odfiltrované částice, má koncentraci nižší než výchozí roztok. Bez zásahu další síly by měl tento méně koncentrovanější roztok tendenci vrátit se zpět, naředit koncentrovanější roztok a dosáhnout tak rovnovážného stavu na obou stranách membrány (osmóza). Tomuto jevu se dá zabránit aplikací hydrostatického tlaku na vstupní stranu, kde se postupně vytváří koncentrovanější roztok. Velikost tlaku je závislá na síle, kterou je potřeba vyvinout pro zastavení osmózy. Po překročení této síly, tak získáváme obrácený děj k osmóze, tedy **reverzní osmózu** a směr pohybu roztoku nyní bude z koncentrovanější strany na stranu s nižší koncentrací. Viz obrázek 1.

Jestliže je membrána dostatečně propustná pro vodu a dokáže zabránit rozpuštěným látkám v průniku, získáme tak čistou vodu na druhé straně. Ovšem po odfiltrování vody, tak stoupne koncentrace rozpuštěných látek poblíže membrány, tento stav je známý jako koncentrační polarizace. Koncentrační polarizace je spojena s hromaděním rozpuštěných látek u povrchu membrány, vedoucí k vyšší koncentraci roztoku u membrány v porovnání se základním roztokem. Jako důsledek tohoto jevu se zvyšuje i osmotický tlak. Jakmile osmotický tlak vyrovná vyvíjený hydrostatický tlak, proudění se zastaví. Jestliže začneme zvyšovat tlak, aby proudění opět probíhalo, membrána se zahltí rozpuštěnými solemi a nerozpuštěným materiálem obsaženým ve vodě. Voda proudící do odpadního kanálu je koncentrovaným roztokem solí a nazývá se retentát. Ten obsahuje také nerozpustné látky, jako jsou bakterie, endotoxiny a koloidní částice. Účinnost přeměny zasolené vody na vodu čistou se pohybuje kolem 10 až 50 procent a závisí na vlastnostech vstupní vody a na vlastnostech membrány. (Gullinkala, 2010)



Obr. 1 Schéma reverzní osmózy (dle Gullinkala, 2010)

2.1.2. Výroba a druhy membrán

Membrány, převážně asymetrické, pro reverzní osmózu jsou vyráběny technikou inverze fází. Principem je řízená koagulace polymeru z roztoku v určitém rozpouštědle do vhodného, s tímto rozpouštědlem mísitelného, srážedla. První membrány tohoto typu byly připraveny z derivátů celulózy (hlavně acetáty); velmi rozšířeným materiálem jsou aromatické polyamidy nebo polyimidy. (Baker, 2004)

2.1.2.1.1. Celulózové membrány

První návrh RO byl představen kolem roku 1950 s použitím právě celulóзовých membrán. Tyto membrány jsou asymetrické a skládají se ze dvou vrstev. První je tenká a hustá vrstva ($0.2 \mu\text{m} - 0.5 \mu\text{m}$) a druhá je tlustá a pórovitá podvrstva. Tenká vrstva zajišťuje neprůchodnost rozpuštěných látek a tlustší spodní vrstva pak zajišťuje pevnost. (Baker, 2004)

Celulózové acetátové membrány jsou levné a snadno vyrobitelné, ale mají také několik nevýhod. Díky jejich asymetrické struktuře nemohou být použity při vysokých tlacích a zejména za zvýšených teplot. Pokud dojde k takovéto nevhodné situaci, tenčí vrstva na povrchu se začne spojovat se spodní vrstvou a to vede k postupnému snížení toku membránou. Tyto membrány mohou fungovat jen v určitém

intervalu pH (pH 3 – 5 (spodní mez) až pH 6 – 8 (horní mez)). Celulózové membrány zároveň podléhají degradaci při teplotách nad 35°C a jsou náchylné k působení bakterií. Jejich velkou výhodou je dobrá propustnost pro vodu; bohužel ale zároveň propouští i nízkomolekulární látky. (Baker, 2004)

Později byly vyvinuty celulózové tri-acetátové membrány, které mají řadu výhod oproti předchozí variantě. Jsou méně propustné pro soli, nejsou tolik citlivé na změny pH, snášejí vyšší teploty a jsou odolnější vůči mikrobiální činnosti. Tri-acetátové membrány jsou ve srovnání s acetátovými membránami méně propustné pro vodu. (Kucera, 2010)

2.1.2.1.2. Aromatické polyamidové membrány

Aromatické polyamidové membrány byly poprvé vyvinuty firmou DuPont. (Gullinkala, 2010) Jako předchozí celulózové membrány mají i tyto asymetrickou strukturu s tenkou (0.1 µm – 1.0 µm) a hustou vrstvou navrchu, vespod se nachází opět tlustší, pórovitá vrstva sloužící jako výztuha. Polyamidové membrány jsou odolnější vůči chemickému a biologickému působení než membrány celulózové. Mohou být použity při hodnotách pH 4 až 11; ovšem delší vystavení vyšším hodnotám pH vede k nevratné degradaci membrány. (Gullinkala, 2010) Jejich nasazení je také možné i při vyšších teplotách a tlacích (na rozdíl od celulózových membrán). Další výhodou je jejich lepší schopnosti zadržovat rozpuštěné soli. Hlavním nedostatkem polyamidových membrán je jejich snadné poškození oxidanty, jako je např. Chlór. (Gullinkala, 2010)

2.1.2.3. Kompozitní membrány

Kompozitní membrány se připravují dvoustupňově – na vyrobené porézní podložce se generuje velmi tenká, v ideálním případě monomolekulární separační vrstva. Z několika možných postupů se nejčastěji používá mezifázová polymerizace, při níž dva bifunkční monomery rozpuštěné v nemísitelných rozpouštědlech vytvářejí na jejich rozhraní nerozpustnou polymerní vrstvu. Pouze tato vrstva pak má separační vlastnosti. Na rozdíl od ultrafiltračních membrán, póry v této vrstvě jsou podstatně menší než 1 µm. Princip selektivity mikroporézní vrstvy u reverzně osmotických membrán není dosud zcela objasněn, nejčastěji se však předpokládá, že složky čištěného roztoku se různou mírou rozpouštějí v materiálu této vrstvy a různou rychlostí touto vrstvou difundují.

Stejně jako membrány polyamidové jsou i tyto velice citlivé na přítomnost oxidantů. (Kucera, 2010)

2.1.2.4. Jiné typy

Výjimečně mají reverzně osmotické membrány mikroporézní vrstvu tvořenou z polymeru nesoucího elektrický náboj. V tomto případě, vzhledem k elektrostatickému odpuzování, nemohou projít membránou ionty nesoucí stejný náboj jako membrána. Takové membrány jsou vhodné pro deionizaci vody obsahující malé množství solí. (Baker, 2004)

2.1.3. Hnací síly transportu

Mezi hlavní hnací sílu reverzní osmózy patří pracovní tlak a koncentrace roztoků.

Čím má roztok vstupující na membránu vyšší koncentraci solí, tím vyšší bude jeho osmotický tlak a tím vyšší pracovní tlak bude potřeba, aby došlo k jeho překonání. K přečištění vodovodní vody (max. 0,05% solí, osmotický tlak kolem 0,05 MPa) by postačil tlak ve vodovodním řadu, ale k čištění koncentrovanějších roztoků je zapotřebí složitějších a dražších technických zařízení. Například, 0,5% roztok NaCl má osmotický tlak přibližně 0,4 MPa, mořská voda (3,5% solí) má osmotický tlak 2,4 MPa a 10% roztok NaCl dokonce 9 MPa, což už je tlak, který se v reverzně osmotických zařízeních dosahuje velmi obtížně. (Nijmeijer et al., 2010)

Pokud se retentát nevypouští ale vrací se do zařízení k recirkulaci (vsádkový systém), dochází postupně ke zvyšování jeho solnosti. Tím také vzrůstá jeho osmotický tlak a protože retenční koeficient je konstantou, vzrůstá i koncentrace solí v permeátu. Proto je vhodné recirkulaci zastavit v okamžiku, kdy je osmotický tlak roztoku nebo koncentrace solí v permeátu na takové úrovni, kdy tyto veličiny stoupnou nad přípustnou úroveň a kdy již není další zakoncentrování výhodné. (Greig, 2000)

2.1.5. Zanášení membrán

2.1.5.1. Koncentrační polarizace

Koncentrační polarizace je termín označující hromadění roztoku solí, které neprošly přes membránu. V důsledku tohoto hromadění se tak zvyšuje koncentrace poblíž povrchu membrány. Jak voda prochází přes membránu, proudí i roztok k

membráně. Tento proud je silnější než schopnost koncentrovaného roztoku difundovat zpět, a tak dochází ke zvyšování koncentrace u povrchu.

Negativní účinky koncentrační polarizace jsou:

- 1) zpomalování proudu vody, kvůli narůstajícímu osmotickému tlaku
- 2) tvorba sraženin zanášejících
- 3) vliv na separační účinnost membrány.

Rozsah působení koncentrační polarizace může být zmírněn zajištěním promíchávání koncentrované části se zbytkem přitékajícího roztoku. Jedná-li se o režim cross – flow, problematika koncentrační polarizace je značně redukována.

2.1.5.2. Tvorba gelů

I přes předčištění vstupní vody pomocí koagulace a filtrováním přes nízkotlaké membrány (ultrafiltrace, mikrofiltrace) k odstranění větších částic a koloidů, mohou k membránám dojít dokonale rozpuštěné látky nebo velmi malé koloidní částice.

Tyto látky mohou postupem času vytvořit tzv. koláčovou vrstvu na povrchu membrány. Tvorbu této vrstvy ovlivňuje řada různých chemických a fyzikálních faktorů. Těmito faktory může být rozdílný tlak na obou stranách membrány (transmembrane pressure (TMP)), cross-flow velocity (CFV), velikost částic, iontová síla roztoku. Různé studie ukazují vliv těchto faktorů na rychlost proudění kapaliny. Například, když se zvětší rozdíl tlaků (TMP), docází k poklesu proudění permeátu. Příčinou toho negativního jevu jsou částice, které se nahromadí na povrchu membrány. Snížení proudění způsobuje také zvýšení iontové síly, zatím co při změně hodnoty pH roztoku se proudění nezměnilo. Důležitým faktorem je také velikost částic, která hraje klíčovou roli při zanášení membrán. Řada studií RO ukazuje, že k zanášení povrchu membrán daleko více přispívají malé koloidní částice, než-li částice větší. Tyto látky se poté hromadí v prostoru mezi membránou a koláčovou vrstvou, která brání zpětné difúzi látek do surového roztoku. (Gullinkala, 2010)

Makromolekulární (organické) látky tvořící koláčovou vrstvu

Zanášení membrán je často způsobenou tenkou vrstvou gelů na povrchu membrány - koláčové vrstvy. Látky, které se podílejí na tvorbě vrstvy při povrchu membrány, jsou často látky s velmi nízkým difúzním koeficientem. Jsou to například huminové látky, fenoly, pesticidy, makromolekulární látky (proteiny, oleje, atd.)

(Gullinkala, 2010). Všechny tyto látky tvoří vrstvu při povrchu membrány. Dokonce v případě proteinů a dalších makromolekulárních látek s extrémně nízkou difúzí nastává situace, kdy vstoupí do vazebného prostoru membrány a setrvávají v pórech a tím snižují účinnost membrány. Další situace může nastat tehdy, když se látka s opačným nábojem než je povrch membrány spojí s povrchem a tím změní jeho vlastnosti tak, že se tok vody membránou výrazně sníží. Mechanismus zanášení membrán huminovými látkami zatím nebyl zcela objasněn a stále se pracuje na teoriích zanášení.

Anorganické látky tvořící koláčovou vrstvu

Anorganické látky jsou úzce spojeny se sraženinami na povrchu membrán. Látky, které nejčastěji tvoří tuto vrstvu jsou: CaSO_4 , CaCO_3 , Mg(OH)_2 , SrSO_4 , Fe(OH)_3 , BaSO_4 . Podobně mnoho dalších hydroxidů kovů má tendenci k tvorbě těchto gelů. Velice nežádoucí látkou, která gely tvoří, je amorfni oxid křemičitý. Ten se jen velmi těžko odstraňuje, pokud se již gel utvoří. Nejvyšší přípustná koncentrace oxidu křemičitého, který ještě nepůsobí potíže je maximálně 10 ppm v krystalické formě a 120 ppm pro amorfni formu. (Gullinkala, 2010) Ostatní mírně rozpustné minerály mají různé sklony k zanášení, které závisí na různých faktorech, například na pH.

2.1.5.3. Sraženiny

Sraženiny jsou velmi podobné anorganickým látkám, která tvoří gelové vrstvy, protože je často tvoří stejné látky. V tomto případě se zanáší membrána sraženinami těchto látek. Mechanismus je jednoduchý, k tvorbě sraženin dochází v případě kdy roztok překročí hranici nasycení; roztok se stane přesyceným rozpuštěnými solemi a vytvoří se jejich sraženiny, které začnou zanášet membránu. K tomuto jevu je nutný, čas indukce (induction time); je to doba, která trvá než se roztok stane přesyceným. Nejčastějšími ionty, které tvoří sraženiny jsou: Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , křemičitany a různé formy železa. Vzniku sraženin lze předejít okyselením vstupní vody a zabránit tak vzniku sraženin uhličitanů anebo použitím látek bránícím vzniku sraženin sulfidů Ca^{2+} , Mg^{2+} a Sr^{2+} . Sraženinami železa jsou často Fe_2O_3 nebo Fe(OH)_3 , vznikající hydrolyzou Fe^{3+} . Sraženiny tohoto typu nepředstavují problém dokud jejich koncentrace nepřekročí 4 mg/l. (Kucera, 2010)

2.1.5.4. Biologické zanášení

Biologické zanášení membrán má dva základní mechanismy. První mechanismus funguje podobně jako sraženiny a zanáší membránu. Zde je rozdíl v tom, že membrána je zanášena různými typy organické hmoty jako jsou celé buňky, zbytky buněčných stěn, viry. Tyto biologické nečistoty mohou vytvářet vrstvu, která snižuje proudění anebo rovnou zanesou póry v membráně. Druhým mechanismem je v podstatě degradace membrán, způsobená útokem organismů. (Baker, 2004)

Biologické znečištění vod se nejvíce sleduje v elektronickém průmyslu, kde jsou velmi přísné požadavky na ultra čistou vodu, kde by porušení membrán znamenalo nedokonalé vyčištění vody.

2.1.6. Degradace membrán

Nejčastější příčiny degradace membrán jsou chemické reakce organických a anorganických látek obsažených ve vodě s membránou. Chlor, používaný k dezinfekci, může poškodit a změnit polymerní strukturu celulósových membrán. Ke změnám dochází hlavně v křehkosti membrán. Membrána, která už zreagovala a obsahuje více chlóru je křehčí než membrány bez chlóru. Jestliže jsou membrány vyrobeny z aromatických polyamidů jsou vystaveny ještě většímu nebezpečí. Chlór, který se k membráně dostane rozpustí polopropustnou vrstvu nebo jinak změní její strukturu, což vede až ke vzniku děr.

2.1.7. Předčištění

Pro zajištění správně fungujících RO membrán je potřeba dostatečně vyčistit vstupní vodu, která bude zpracovaná pomocí membrán. To znamená odstranit z vody organické látky, koloidy a biologické znečištění. Proces předčištění zahrnuje řadu různých postupů jako je agregace koloidů, sedimentace, filtrace, atd. K určení míry znečištění vody a tím potenciální zanášení membrán se používá kalový index (Silt density index – SDI). (Kucera, 2010)

V případě čištění vody pomocí chemikálií, hraje velmi významnou roli správné dávkování dané chemikálie. Alternativní metodou předčištění vody je serie filtračních procesů, například mikrofiltrace, ultrafiltrace a nanofiltrace.

2.1.7.1. Mikrofiltrace

Nejblíže klasické filtraci je mikrofiltrace, která probíhá při tlacích do 200 kPa a zachycuje částice o velikosti 5 - 0,03 μ m, což odpovídá bakteriím, olejovým emulzím apod. Z velikosti separovaných částic je odvozeno použití mikrofiltrace. Největšími aplikacemi jsou příprava pitné vody, předúprava vody pro reverzní osmózu či studená sterilizace nápojů. Mikrofiltrační membránové moduly jsou obvykle ploché nebo s dutými vlákny vyrobené z polymerů a trubkové či kapilární, pokud je výrobním materiálem keramika či slinutý kov. (American Water Works Association, 2005)

2.1.7.2. Ultrafiltrace

Ultrafiltrační membrána zachycuje makromolekuly o molárních hmotnostech 2-200 kDa (velikost cca 100 - 3nm), což odpovídá např. virům, bílkovinám, polysacharidům či koloidním částicím. Tlaky jsou o něco vyšší než u mikrofiltrace, avšak stále v řádu pascalů. Největšími aplikacemi ultrafiltrace jsou v potravinářském průmyslu na koncentraci mléka, při výrobě sýra, získávání bílkovin ze syrovátky či škrobu z brambor. Ultrafiltrační moduly jsou podobné mikrofiltračním, navíc se používají také spirálně vinuté membránové moduly. (American Water Works Association, 2005)

2.1.7.3. Nanofiltrace

Nanofiltrační membrány se pohybují na hranici rozeznatelných pórů. Selektivita nanofiltrace je dána různou rychlostí rozpouštění látek v polymeru a různou rychlostí difuze látek polymerem. Nanofiltrací se separují nízkomolekulární organické látky, velikost separovaných látek se udává spíše v jednotkách molekulární hmotnosti než ve velikostech. Nanofiltrace separuje látky přibližně do 20 kDa, což odpovídá např. molekulám sacharidů, pesticidů a herbicidů. Tlaky jsou o dost vyšší než u ultrafiltrace, pohybují se v desítkách pascalů, začíná se projevovat osmotický tlak. Největšími aplikacemi jsou změkčování vody, odstraňování pesticidů při výrobě pitné vody či odsolování barviv po diazotaci. Moduly se používají téměř výhradně spirálně vinuté, výjimečně dutá vlákna, vždy však vyrobené z polymerního materiálu. (Schäfer, 2005)

2.1.8. Čištění membrán

Nedílnou součástí ke správnému chodu membrán, patří jejich čištění, protože i přes důkladné předčištění vstupní vody, nelze zamezit zanášení membrán. Čištění membrán se nejčastěji provádí pomocí chemických látek. Odstraňování úsad z povrchu membrány se provádí v cyklech, podle povahy vody, která přichází s membránou do kontaktu. Cílem čištění je obnovit původní strukturu membrány, to znamená obnovit původní velikost a umístění pórů. Jestliže se činnost membrán nezastaví včas a jsou v provozu příliš dlouhou dobu, jejich zanesení může dosáhnout takových mezí, že již nelze navrátit membránu k jejímu původnímu stavu a zůstane trvale poškozená. Na druhou stranu časté čištění má také své nevýhody. Čištění membrán je velice nákladné a cena za tuto operaci často dosahuje až 20 procent ceny, při klasickém běhu membrán. (Gullinkala, 2010)

Efektivita čistícího procesu závisí na zvoleném čistícím prostředku (na použité koncentraci), který je nutno určit podle typu zanesení membrány, tak aby došlo k vhodné reakci. Jako čistící chemikálie jsou využívány nejrůznější kyseliny, zásady a povrchově aktivní látky. V některých případech lze k optimálnímu výsledku kombinovat různé čistící prostředky, jako například k odstraňování $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Analogický postup kombinace chemických látek je využíván při odstraňování některých organických usazenin.

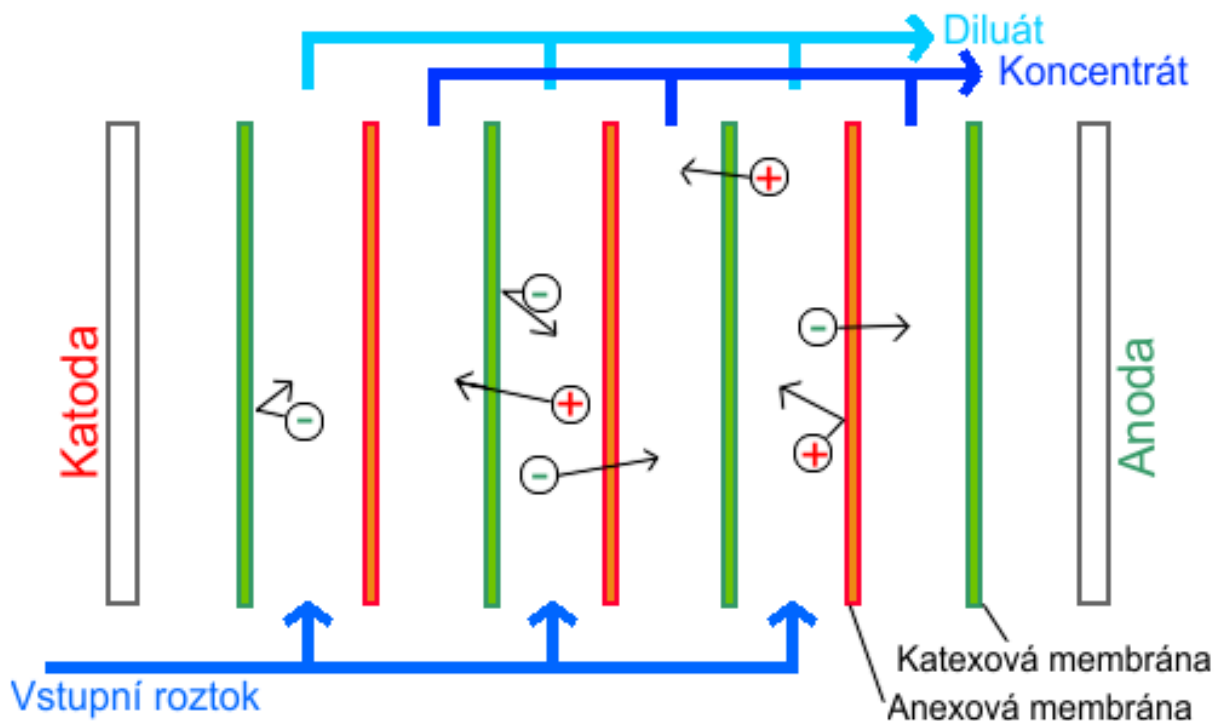
Čištění může být také prováděno solemi; ty se využívají při tvorbě „koláčové vrstvy“ gelů u povrchu membrány. Látka, která je použita k čištění proniká difúzí do vrstvy, která je tvořena nečistotami a odstraňuje ji. V některých případech je zdokumentováno, že nasazená látka byla tak agresivní až odstranila i vrchní vrstvu membrány. (Baker, 2004)

2.1.9. Využití reverzní osmózy

Reverzní osmóza se v současné době využívá především pro následující procesy (Kucera, 2010): odsolování mořské a braktické vody, výroba ultra čisté vody pro elektro-průmysl, farmaceutický průmysl, potravinářský průmysl, pivovarnictví, výroba nápojů atd. Recyklace použité vody z průmyslových závodů, domácí jednotky reverzní osmózy pro úpravu vody.

2.2. Elektrodialýza (ED)

Elektrodialýza je membránový proces, který ke své správné funkci využívá stejnosměrný proud. Vliv proudu má za následek pohyb disociovaných iontů. Jejich separaci zajišťují dva druhy membrán, membrány katexové a anexové. Membrány propouštějí pouze ionty, které mají příslušnou polaritu. Zařízení, kde elektrodialýza probíhá se jmenuje elektrodialyzér, který je tvořen komorami ohraničenými z jedné strany anexovými membránami a z druhé strany membránami katexovými. Typická tloušťka komor bývá do 1 mm. (Baker, 1991) Při nasazení této technologie například k odsolování vody jsou potřeba stovky takovýchto komor. Kromě komor kam roztok přichází jsou v elektrodialyzéru nutn komory za membránami, tedy komory anexové a katexové, označovány jako komory koncentrátové odkud odtéka koncentrovaný roztok. Poslední typ komor jsou diluátové, zde se shromažďuje roztok tzv. diluát, který je ochuzen od separovaných látek. Viz obrázek 2. Celý proces elektrodialýzy je relativně náročný na zásobování elektrickou energií. Napětí, které je důležité pro migraci iontů klesá o 1 až 2 volty na jednu komoru. Výsledné napětí, které je třeba pro všechny komory, se tak dostává až na hranici stovek voltů. (Hamann, 2007)



Obr. 2 Schéma elektrodialýzy (dle Hamann, 2007)

2.2.1. Konstrukce

Je třeba zajistit, aby byl vstupní roztok přiváděn na membrány v celé jejich ploše. Prvek nazývaný rozdělovač má funkci rovnoměrně rozvádět a promíchávat roztok po povrchu membrány. Slouží také jako výztuha a zabraňuje doteku membrán. Rozdělovačů je několik typů a dělí se podle typu konstrukce:

- Plošný rozdělovač, je tvořen rámem, který obsahuje turbulizační síť. Každé oko v síti slouží k promíchávání roztoku a dochází tak ke zmenšení difúzní vrstvy při povrchu membrány. Tok roztoku je přímočarý mezi nátokovými a odtokovými otvory. Rychlost proudění dosahuje 5 až 20 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Meandrový rozdělovač, podstatou tohoto rozdělovače jsou úzké kanálky, které mění směr toku roztoku. Rychlost proudění dosahuje 30 až 100 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$. (Murray, 1999)

2.2.2. Režimy fungování

Režimy fungování elektrodialyzéru se dělí podle způsobu dosažení požadovaného odsolení. Jsou to tři základní typy:

- Kontinuální režim (One - pass system) – Roztok, který je zpracováván protéká systémem elektrodialyzéru pouze jednou. K odsolení roztoku na stupeň, který je požadován je potřeba zařadit několik elektrodialyzérů za sebou. Tento postup se využívá je-li potřeba zpracovávat velký objem vstupních roztoků.
- Vsádkový režim (Batch System). Roztok prošlý elektrodialyzérem se vrací zpět do zásobníku. Celý proces se opakuje tak dlouho dokud není dosaženo žádoucího stupně odsolení. Tento režim je vhodný pro nasazení pro menším provozy, díky své nenáročnosti.
- Polokontinuální režim (Feed and Bleed) je režim založený na podobném principu jako vsádkový režim s tím rozdílem, že část roztoku se odvádí a část se vrací zpět do zásobníku. Touto metodou lze docílit vysoké odsolovací účinnosti. (Murray, 1999)

2.2.3. Provoz

Podobně jako u jiných membránových procesů, tak i v případě ED je nutné se vyvarovat látkám, které mohou poškodit membrány. Některé látky, zejména vícevalenční ionty, mohou poškodit strukturu membrány; obsadí funkční skupiny a tím mohou část membrány deaktivovat. Jiné látky, například slabě ionizované,

membránou pronikají velmi málo, takže se shromažďují na povrchu membrány a tvoří bariéru pro transport ostatních iontů. Povrchově aktivní látky také blokují povrch membrán; tato blokáce má za následek zvýšení odporu celé elektrodialyzační soustavy. K zablokování povrchu membrány přispívají také látky, které se přímo adsorbují na povrch. Jestliže se ve vstupním roztoku vyskytují pevné nerozpuštěné látky, tak se komory mohou zanášet a tím pádem narůstají tlakové ztráty. Tyto částice musí být odstraněny ve fázi předčištění.

V případě, že je požadovaným produktem roztok s co nejvyšším stupněm odsolení, je celý proces elektrodialýzy omezen vodivostí diluátu. S poklesem koncentrace iontů v diluátu klesá také vodivost a tím roste odpor elektrodialyzéru. Průchodem proudem tak dochází k ohřívání diluátu, což může mít za následek nevratné poškození celé soustavy. Proto se v praxi dosahuje odsolení maximálně desítek mg.l^{-1} . (Sequiera, 1994)

2.2.4. Využití

Jak již bylo zmíněno, elektrodialýza je elektro-membránový proces, který selektivně odstraňuje ionty obsažené v roztoku. Způsoby využití jsou tři, elektrodialýzou můžeme získávat koncentrovaný roztok solí, které byly pomocí membrán separovány; tento postup se například využívá při výrobě chloridu sodného z mořské vody. Další způsob klade důraz na využití obou složek z procesu, tedy koncentrátu i diluátu; tento proces je technicky nejsložitější. Poslední způsob využití se týká pouze diluátu, tedy složky, která je zbavena nežádoucích látek. Tento postup se využívá při odsolování vody.

Desalinační proces, pro který je důležitý pouze diluát z procesu elektrodialýzy, slouží k výrobě pitné vody ze slaných a braktických vod. Elektrodialýza je hojně využívána k odsolování vody, stejně tak jako proces reverzní osmózy.

Mezi těmito procesy však existují rozdíly a to hlavně v provozních podmínkách. Elektrodialýza je ekonomicky náročnější proces, hodí se zejména k odsolování méně zasolených vod. Čím salinita stoupá, tím je provoz ekonomicky náročnější, proto se uplatňuje zejména při odsolování vod braktických. Jakmile je koncentrace vstupního roztoku vyšší jak 200 g.l^{-1} (Noble, 1995), tak se využívá k procesu odsolení reverzní osmóza.

Při použití elektrodialýzy k odsolení více koncentrovaných roztoků stoupá její ekonomická a hlavně energetická náročnost přímo úměrně se zasolením. Například

k odsolení objemu 1 m³ roztoku NaCl o koncentraci 100 g.l⁻¹ se spotřebuje energie ~ 900 Wh; jestliže koncentrace činí 500 g.l⁻¹, spotřeba stoupne až na 3,3 kWh. I přes relativně velkou náročnost na provoz je elektrodialýza využívána jak v malých odsolovnách, tak i v odsolovnách, které mají produkci vody kolem 10 000m³ za jeden den. (Nobble, 1995)

Vedle odsolování vody je elektrodialýza využívána také v potravinářském průmyslu. Například k odsolování syrovátky. Koncentrace solí v odpadní syrovátce může dosahovat až 6,5 hmotnostních procent. Další využití je například ve vinařství při odstraňování kyseliny vinné z vína. (Peinrmann, 2010)

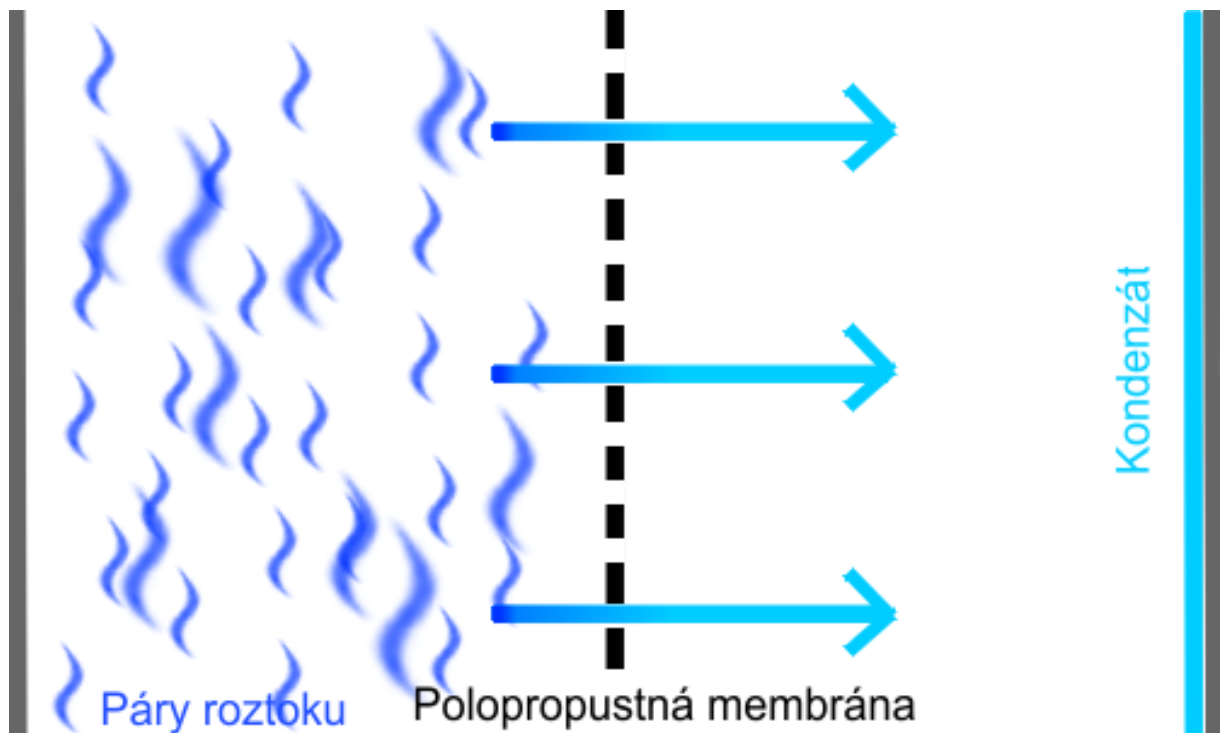
2.3. Membránová destilace (MD)

Membránová destilace je nově se rozvíjející technologie k odsolování vody. Tento separační proces využívá jako hnací sílu proudění par znečištěného roztoku, čímž se liší od ostatních membránových technologií, které jako hnací sílu využívají rozdíl tlaků nebo koncentrací.

Bariéru pro separaci opět představuje speciální pórovitá membrána podobně jako u RO s tím rozdílem, že k membráně nepřichází roztok v kapalném, ale plynném skupenství. Díky selektivitě membrány prochází pouze molekuly vodní páry, která na druhé straně zkondenzuje. Viz obrázek 3.

Membrány, které se využívají k membránové destilaci, jsou běžně vyráběny z hydrofóbních polymerů s póry o velikosti 0.05 – 0.2 μm (stejná velikost jako u mikrofiltrace). (Khayet, 2011) Hydrofóbní charakter materiálu tvořící membrány zabraňuje interakci molekul vody s membránou.

Efektivita celého procesu je závislá materiálu, z kterého je membrána tvořena, na uspořádání membrány v modulu a na teplotních podmínkách. Všechny tyto předpoklady musí být optimálně vyvážené, tak aby se dosáhlo maximální účinnosti procesu. I přes snahu zefektivnit proces je stále potřeba dodávat relativně velké teplo na zahřátí; odpadní teplo se pak může dále používat v jiných stupních procesu. Stejně jako u RO se membrány mohou zanášet a také jim klesá životnost. (Gullinkala, 2010)



Obr. 3 Scéma membránové destilace (dle Gullinkala, 2010)

2.3.1. Typy membránové destilace

Typy MD se rozlišují podle toho, jak je permeát získáván. Nejrozšířenější jsou čtyři základní metody: (Gullinkala, 2010)

Direct contact MD

Tato metoda je charakteristická tím, že permeát je v přímém kontaktu s membránou. Na obou stranách membrány je vodný roztok a pára se tvoří pouze ve vrstvě membrány. Kondenzace permeátu je pak kontrolován teplotou membrány na výstupní straně.

Vakuová MD

Zkráceně označována jako VDM. Princip této metody je v použití vakua na straně, kde vzniká permeát. Díky vakuu dochází ke kondenzaci permeátu mimo membránovou jednotku.

MD se vzduchovou mezerou (Airgap)

Zde vzduchová mezera vyplňuje prostor mezi membránou a plochou na níž dochází ke kondenzaci permeátu. Vzduchová mezera umožňuje použití širšího spektra teplot.

Plynová MD (sweeping gas)

Permeát je zde zachycován inertním plynem, který rychle proudí na straně permeátu a k jeho kondenzaci opět dochází mimo membránovou jednotku.

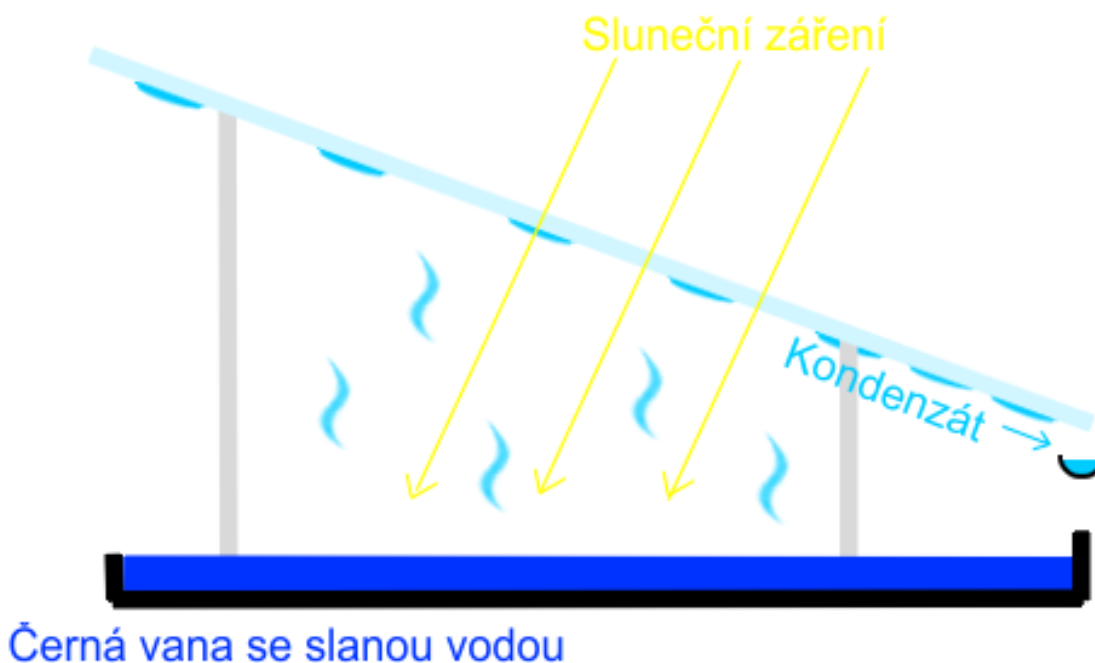
3. Solární odsolování

Sluneční energie, v podstatě neomezený zdroj energie, je stále jen z malé části využívána. Zejména v aridních oblastech má tento druh energie velký potenciál, v těchto oblastech je navíc nedostatek vody. Spojením těchto faktorů vzniká příležitost pro solární odsolování vody. Tento nápad byl uskutečněn již v roce 1872 Švédským inženýrem Charlesem Wilsonem v těžební oblasti Las Salinas v severní Chile. Tato odsolovna zásobovala přilehlé doly a fungovala dokud nebyly doly vyčerpány. Byla schopna odsolovat 23 m³ denně po dobu 40 let. (Cipollina, 2009) Jak čas plynul poptávka v oblastech s nedostatkem vody dále rostla. V roce 1958 vznikla výzkumná stanice solárního odsolování na Floridě; zde se vyvíjely nové lepší a efektivnější způsoby solárního odsolování. V dnešní době jde vývoj stále dopředu, zkoumají se vhodné materiály pro konstrukce odsolovacích bloků, proudění vodní páry a její kondenzace a další faktory ovlivňující rychlost produkce odsolené vody. (Cipollina, 2009)

3.1. Konstrukce

Základní jednotkou pro odsolování vody pomocí solární energie je transparentně kryté zařízení s mělkou (15 až 20 cm) vanou obsahující zasolenou vodu. Na vrchu je materiál propustný pro sluneční paprsky, například sklo. Základna, kde se nachází vana s vodou je nabarvena černou barvou, pro maximální absorpci solární energie. Sklo, které je navrchu zařízení, propustí sluneční záření a to je absorbováno černým povrchem vany. Jak je toto záření pohlcováno, roste teplota vany, která zahřívá slanou vodu uvnitř, postupně dochází ke zvlhčování vzduchu, který se nachází mezi černou vanou a skleněnou střechou. Kromě toho, že sklo propouští sluneční záření, je schopné odrazit infračervené záření, která je vyzařována černou vanou vespod objektu; energie je tedy zachycena uvnitř. Dostatečně ohřátá voda se vypařuje a kondenzuje na skleněném krytu, po kterém poté stéká do sběrného kanálku. Viz obrázek 4.

Typ jednotky podobné této se jmenuje nakloněná a to proto, že černý povrch vespod zařízení není vodorovně a voda v něm nestojí, ale protéká - celá jednotka včetně černého povrchu je nakloněna. Naklonění přináší mírně lepší výsledky zisku odsolené vody. Tyto výsledky však nejsou dostatečné vzhledem k ceně konstrukce, proto se tento typ moc nevyužívá. (Garg, 2000)



Obr. 4 Schéma konstrukce solárního odsolování (dle Garg, 2000)

3.2. Klady a zápory solárního odsolování

Jedním z největších kladů této odsolování metody je jednoznačně využití sluneční energie k ohřívání vody. Tato energie je lehce využitelná a lze jí využívat ještě po tisíce let, co bude Slunce aktivní. Nevýhodou získávání této energie může být dostupnost, zejména během oblačnosti, která zabraňuje slunečním paprskům dosáhnout země. Další podmínkou pro efektivní využití sluneční energie je zeměpisná poloha, kde se místo nachází - tedy úhel dopadu paprsků na zem.

Další výhodou je relativní technologická nenáročnost celého systému oproti ostatním např. membránovým procesům. U solárního odsolování stačí postavit základní jednotku z černého dna a průhledného krytí a celý proces může fungovat. Samozřejmě vše záleží na vhodně zvolených materiálech. V dnešní době se i z tohoto způsobu stává technologicky složitý postup k odsolování, zkoumají se různé materiály ke konstrukci, vhodný tvar a náklon jednotek a hloubka nádrží pro dosažení maximální účinnosti procesu.

Účinnost je možné označit za jeden z nedostatků této metody. K získání 15 litrů čisté vody za jeden den je potřeba plocha jeden metr čtvereční, takže k získání většího objemu odsolené vody je potřeba velká plocha zástavby a k tomu

odpovídající finance. (Wang, 2011) Solární odsolování se tedy využívá spíše v menších odsolovnách.

4. Pitná voda

Voda získaná jakýmkoliv způsobem uvedeným v této práci má charakter vody demineralizované, tedy zbavené rozpuštěných látek, jejichž obsah se pohybuje pod úrovní 1 mg/l. Voda, která se v přírodě vyskytuje a byla vždy využívána k pitným účelům, není čistou chemickou sloučeninou a obsahuje řadu rozpuštěných minerálů, organických látek a plynů. Toto složení je samozřejmě značně variabilní a závisí na geologických a jiných podmínkách kudy voda prochází. Na rozdíl od vody demineralizované, voda přírodní může obsahovat až stovky mg/l rozpuštěných látek.

Demineralizované, uměle vyrobené vody pomocí membránových procesů nebo destilace, byly donedávna využívány hlavně pro průmyslové potřeby. V 60. letech minulého století se začaly procesy vyrábějící demineralizovanou vodu uplatňovat v přímořských a aridních oblastech, kde nebyl jiný zdroj vody nebo byly zdroje jen omezené a poptávka stoupala se zvyšující se populací.

Voda v tomto stavu, tedy zbavená rozpuštěných látek je velice nevhodná k přímé konzumaci a to ze dvou hlavních důvodů. První důvod, který je zaznamenán ihned při požití demineralizované vody, je její chuť. Nedostatek minerálních látek rozpuštěných ve vodě, především vápník, ovlivňuje negativně chuťové vlastnosti vody. Druhý důvod nevhodnosti konzumace demineralizované vody je negativní dopad na zdraví chronického charakteru, ale i přímých účinků. Demineralizovaná voda představuje riziko například pro střevní sliznici, metabolismu a jiné tělesné funkce. Dále je to nulový příjem vápníku, hořčíku, esenciálních a jiných prvků. Kromě toho, že voda do těla nepřináší žádné rozpuštěné látky, ochotně přijímá látky z okolí, například pomocí osmotických tlaků.

Proto při výrobě pitné vody z vody slané následují po fázi demineralizace další fáze, jako je úprava minerálního složení, dezinfekce. Úprava minerálního složení se provádí některým ze tří způsobů:

- smícháním vody demineralizované s vodou neupravenou, tak aby bylo dosaženo optimálního složení,
- přidáním směsi minerálů,
- filtrací přes materiál, který vodu obohatí o požadované látky.

Po těchto úpravách by se měl minimální obsah rozpuštěných látek pohybovat kolem 100 mg/l, optimální obsah je stanoven na 250 – 500 mg/l. Nyní je proces úpravy vody kompletní a je připravena pro distribuci do vodovodní sítě. (Kožíšek, 2001)

5. Odsolování v praxi

5.1 Sydney

V letech 2003 a 2004 postihlo Austrálii extrémní sucho a zásoby vody rychle klesaly. Jako řešení vláda vydala řadu omezení k užívání vody a nařídila firmám zajišťujícím vodovodní síť, kontrolu potrubí k omezení nechtěných úniků vody. Ani jedno z těchto řešení, ale nezmění růst populace ani klima. Sucho bylo dále, poptávka po pitné vodě byla stále větší a její zásoby stále klesaly. V roce 2004 vláda nařídila vypracování plánu pro odsolovnu vody pro Sydney. Počáteční plán zahrnoval řadu otázek, které musely být zodpovězeny. Zkoumalo se jaká metoda se k odsolování využije, jakou energií bude budova napájena (vlastní zdroj x napojení do stávající sítě) (jestliže bude mít odsolovna svůj vlastní zdroje energie, tak jaký bude použit) a v neposlední řadě se zkoumalo nejvýhodnější místo, kde bude komplex postaven.

Sucha pokračovala až do roku 2006, který se stal vůbec nejsušším rokem v historii země. Do této doby plán nebyl realizován, došlo k čerpání zásob podzemní vody, byly vydány další omezující opatření, ale zásoby vody stále drasticky klesaly. Až v roce 2007 došlo ke schválení stavby odsolovny.

Komplex byl postaven v oblasti Kurnell; tato lokace byla zvolena jako nejvýhodnější i přesto, že upravená voda musí být do Sydney dopravována 18 km dlouhým potrubím přes Botany záliv. Bylo rozhodnuto, že jako zdroj energie se bude používat větrných farem, takže byla zahájena výstavbě, aby se zmírnil dopad stavby na životní prostředí. K monitorování stavu životního prostředí, zejména podmořského ekosystému podél potrubí v zálivu Botany, jednotek čerpajících vodu a jednotek vracejících koncentrovaný roztok do moře, byl zřízen program Marine Monitoring Program (MMP).

I přes využití nejmodernějších technologií reverzní osmózy, která byla zvolena za nejméně energeticky náročnou metodu, celý komplex potřebuje ke svému provozu 45 MW. Proto byla postavena větrná farma, jejíž výkon mnohonásobně převyšuje poptávku po energii potřebnou k odsolování. Díky využití větrné energie odpadly emise CO₂, které by jinak vznikaly při výrobě energie z neobnovitelných zdrojů.

Voda k procesu odsolení je čerpána z oblasti Tasmánského moře, nasávací jednotky jsou umístěny zhruba 300 m od pobřeží v hloubce 25 m. Nasávacích jednotek je několik, aby proudění vody do nasávacích otvorů bylo co nejmenší. Rychlost proudění byla změřena na 0,02 m/s; tato rychlost nepředstavuje pro

plovoucí makro organismy žádnou překážku. Nasávací otvory jsou navíc chráněny mřížemi. Jednotky navracející koncentrát do moře taktéž nepředstavují žádné nebezpečí, přestože denně vypustí do moře 398 000 m³ koncentráту o solnosti 60 mg/l. Celá jednotka je navržena tak, že již v okruhu 75 metru od ní se nachází koncentrace standardní solí v moři. (Trouadale et al., 2009)

Pitná voda zásobuje skoro 2 miliony lidí, kteří žijí v Sydney. Odsolovna funguje kontinuálně 24 hodin denně a je schopna maximální produkce 250 000 m³ vody za den a řadí se tak k největším odsolovnám na světě. (Trouadale et al., 2009) Pro srovnání úpravna vody Želivka, která zásobuje pitnou vodou Prahu a přilehlé oblasti, je schopna maximální úpravy 596 000 m³ vody za jeden den; využito této kapacity však není, dostačuje výkon kolem 50 procent. (Pražské vodovody a kanalizace, a.s., 2011)

5.2. Jiné části světa

Další zemí, která trpí nedostatkem vody je Irán. Suché klima s minimem srážek způsobuje nedostatek přírodně vyskytující se sladké vody. Proto i zde jsou jedinou možností k získání pitné a užitkové vody zařízení odsolující mořskou vodu.

Italská společnost WTD již v Iránu provozuje řadu komplexů pro odsolování vody, největší z nich mají kapacitu 10 000 m³ a 25 000 m³ za den. Tato firma v roce 2007 postavila největší odsolovnu na světě s kapacitou 120 000 m³ za den, toto prvenství ztratila po dokončení stavby v Sydney. Ovšem ani tyto již postavené komplexy nestíhají uspokojit poptávku po vodě bez solí. Odhaduje se, že do roku 2015 bude potřeba uspokojit poptávku po 1 248 425 m³ upravené vody za jeden den. V této hodnotě je zahrnuta i spotřeba průmyslu (687 000 m³) a zemědělství (100 000 m³). Všechny komplexy v Iránu financované firmou WTD využívají technologii reverzní osmózy. (Global Water Intelligence, 2008)

Jinou oblastí, která se potýká s nedostatkem vody je například Gibraltar; tato relativně malá oblast nemá žádné povrchové zdroje pitné vody. Dříve se využívala dešťová voda jako voda pitná. Srážky byly shromažďovány v kolektorech, které se nacházely na svazích skal. Poslední kolektor byl vybudován v 60. letech a dnes se již tato metoda k získávání pitné vody nevyužívá. V dnešní době je Gibraltar zásobován vodou získanou pouze z odsolování vody mořské. I zde se využívá metoda reverzní osmózy, která je mírně modifikovaná, aby se co nejvíce ušetřila spotřebovaná energie, protože elektrická energie v Gibraltaru je velice drahá a tato cena by se

negativně podepsala i na cenách vody. Modifikovaná metoda reverzní osmózy dovoluje ušetřit až 40 procent elektrické energie. Celková produkce vody z odsoloven se pohybuje kolem 750 m³ denně. (Veolia water, 2011)

6. Závěr

Z biologického hlediska je voda nepostradatelná pro správnou funkci organismu, ze sociálního hlediska vodu každodenně využíváme při dodržování hygieny. Voda je potřeba i jinde, některé typy průmyslu spotřebují velké množství vody, stejně tak i zemědělství. S rostoucí populací, kdy se průměrná spotřeba vody pohybuje kolem 120l na osobu za den, roste i poptávka po pitné vodě. Průmysl a jiná odvětví se také rozvíjejí a i zde roste spotřeba vody. V některých oblastech světa začíná být spotřeba větší než možnosti zdrojů sladké vody, na řadu tak přichází využití vody mořské, jejíž zásoby jsou obrovské. Tato voda v surové podobě je nevhodná ke konzumaci a nevhodné je i její použití v průmyslu a zemědělství. Zde nacházejí uplatnění membránové procesy, které dokáží z (mořské) vody odstranit nežádoucí rozpuštěné látky. Protože lidí přibývá, voda bude vždy žádaná, tudíž membránové procesy budou stále více využívány. Jejich využití má i jiné možnosti, například v České Republice se dají využít k čištění odpadních vod.

V dnešní době je nejpoužívanějším membránovým procesem pro odsolování mořské vody reverzní osmóza. Elektrodialýza je rozšířená při odsolování vod brakických. Každá z těchto metod potřebuje pro svůj chod elektickou energii, proto se výzkumy soustředí na zdokonalování těchto metod a zajistit tak nižší spotřebu a vyšší výkon. Metoda membránové destilace je zatím předmětem zkoumání, avšak má velký potenciál s kombinací využití solární energie.

7. Literatura

Belfort G., *Synthetic membrane processes: Fundamentals and water applications*, New York: Elsevier Science & Technology, 1984

Bleha M., *Separáční a analytick  metody v ochraně životního prostředí, Praha: Sborník přednášek, 1996*

Porter M. C., Rautenbach R., *Handbook of industrial membrane technology*, New Jersey: Noyes Publications, 1990

Gullinkala T., Digman B., Gorey C., Hausman R., *Desalination: Reverse Osmosis and Membrane Distillation*, Science and Engineering Volume 2, Elsevier, 2010, pp. 51-91

Kucera J., *Reverse Osmosis: Design, Processes, and Applications for Engineers*, New Jersey: Wiley, 2010

Baker W.R., *Membrane technology and applications*, USA: Wiley, 2004

K.Nijmeijer, S.Metz, *Salinity Gradient Energy*, Sustainability Science and Engineering Volume 2, Elsevier, 2010, pp. 95-10

J.A.Greig, *Ion exchange at the millennium: proceedings of IEX 2000*, UK: Society of Chemical Industry (SCI), 2000, pp. 14-15

American Water Works Association, *Microfiltration and ultrafiltration membranes for drinking water*, USA, 2005, pp. 5-65

Schäfer A.I., Fane A.G., Waite T.D., *Nanofiltration: principles and applications*, Elsevier Advanced Technology, 2005

Baker R.W., *Membrane separation systems: recent developments and future directions*, USA: Noyes Data Corporation, 1991, pp. 396-410

Peinrmann K.V., Nunes S.P., *Membranes for food applications*, Italia: Wiley, 2010

Hamann H.C., Hammett A., Vielstich W., *Electrochemistry*, Germany: Wiley, 2007, pp. 83-90

Sequiera C.A.C., *Environmental oriented electrochemistry*, The Netherlands: Elsevier, 1994

Murray P., *Electrodialysis and electrodialysis reversal*, American Water Works Association, USA, 1999

Noble R.D., Stern S.A., *Membrane separations technology: principles and applications*, The Netherlands: Elsevier, 1995, pp. 258-264

M.S.Khayet, T.Matsuura, *Membrane Distillation: Principles and Applications*, Elsevier Science & Technology, 2011

Cipollina A., Giorgio M., Rizzuti L., *Seawater Desalination: Conventional and Renewable Energy Processes*, Italy: Springer, 2009

Garg H.P., Prakash J., *Solar energy: fundamentals and applications*, India: Tata McGraw-Hill, 2000, pp. 178-180

Wang K.W., Chen J.P., Hung Y., Shammass N.K., *Membrane and Desalination Technologies*, USA: Humana Press, 2011

Kožíšek F. *Státní zdravotní ústav* [online]. Praha : 7.3.2001 [cit. 2011-05-05].
Zdravotní rizika pití demineralizované vody. Dostupné z WWW: <<http://www.szu.cz/>>

Trousdale S.; HENDERSON, Eloise. Innovation Addresses Enviromental Issues at Sydney Desalination Plant. *IDA Journal*. 2009, 1, 1, s. 52-63. Dostupný také z WWW: <www.idadesal.org>

Pražské vodovody a kanalizace, a.s. [online]. 2011 [cit. 2011-05-05]. Úpravna vody Želivka. Dostupné z WWW: <<http://www.pvk.cz/upravny-vody.html>>

Global Water Intelligence [online]. Iran : 2008 [cit. 2011-05-05]. WTD seals contract for Iran's largest ever desal plant. Dostupné z WWW: <<http://www.globalwaterintel.com/archive>>

Veolia water : Seawater Desalination Plant Gibraltar [online]. 2011 [cit. 2011-05-05]. Industrial Services. Dostupné z WWW: <<http://www.veoliawater.co.uk/uk-water/ressources/documents/1/9046,Case-Study-MoD-Gibraltar.pdf>>