

# Desalinizacija morske i bočate vode

---

Ljubić, Franko-Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:159:438877>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-25**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

**Franko Dominik Ljubić**

**7143/PT**

**DESALINIZACIJA MORSKE I BOČATE VODE**

**ZAVRŠNI RAD**

Modul: Tehnologija vode

Mentor: prof.dr.sc. Marin Matošić

**ZAGREB, 2019**

## DOKUMENTACIJSKA KARTICA

ZAVRŠNI RAD

**Sveučilište u Zagrebu**

**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

**Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

**Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo**

**Laboratorij za tehnologiju vode**

### **DESALINIZACIJA MORSKE I BOČATE VODE**

*Franko Dominik Ljubić, 0114025675*

**SAŽETAK:** Sve većom oskudicom vode u svijetu i globalnim zatopljenjem pojavljuje se potreba za novim izvorima pitke vode. Desalinizacija je proces uklanjanja soli i drugih minerala iz morske i bočate vode radi dobivanja pitke vode za stanovništvo i navodnjavanje. Proces desalinizacije se dijeli na dva osnovna procesa: termalni i membranski proces. Termalni procesi se koriste u zemljama bogatima energijom poput zemalja bliskog istoka dok membranski procesi u zadnje vrijeme sve više zamjenjuju termalne procese zbog manje potrebe za energijom i većim iskorištenjem. Sam proces desalinizacije je skup, ali napretkom tehnologije zadnjih godina se cijena uporabe desalinizacijskih postrojenja smanjuje te sve više postaju komercijalno pristupačna. Problemi ove tehnologije se nalaze u velikoj količini koncentrata koji se stvara prilikom obrade vode i njegovim ispuštanjem u okoliš te velikim utroškom energije što je problem ako se energija dobiva izgaranjem fosilnih goriva radi ispuštanja stakleničkih plinova.

**Ključne riječi:** Desalinizacija, termalni procesi, membranski procesi, koncentrat, permeat

**Rad sadrži:** 31 stranica, 10 slika, 5 tablica, 11 literarnih navoda

**Jezik izvorni:** hrvatski

**Rad je u pisanom i elektroničkom obliku pohranjen u:** Knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

**Mentor:** prof.dr.sc. Marin Matošić

**Rad predan:** Rujan 2019.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Final work

**University of Zagreb**

**Faculty of Food Technology and Biotechnology**

**Undergraduate studies Food Technology**

**Department of Food Engineering**

**Laboratory for Water Technology**

### **DESALINATION OF SEAWATER AND BRACKISH WATER**

*Franko Dominik Ljubić, 0224025675*

**Abstract:** The increasing scarcity of water in the world and due to global warming the need for new sources of drinking water is getting more important. Desalination is the process of removing salt and other minerals from seawater and brackish water to obtain drinking water for the population and irrigation. The desalination process is divided into two basic processes: the thermal and the membrane process. Thermal processes are being used in energy-rich countries such as the Middle East countries, while membrane processes have recently been increasingly replacing thermal processes due to less energy consumption and greater utilization. The desalination process itself is expensive, but with the advancement of technology in recent years, the cost of using desalination plants has decreased and they are becoming more commercially available. The problems of this technology lies in the large amount of concentrate that is created during the treatment of water and its discharge into the environment, and the high consumption of energy, which is a problem if energy is obtained by burning fossil fuels which releases greenhouse gases.

**Keywords:** Desalination, thermal process, membrane process, concentrate, permeate

**Thesis contains:** 31 pages, 10 figures, 5 tables, 11 references,

**Original in:** Croatian

**Final work is printed and electronic version is deposited in:** Library of Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb

**Mentor:** prof.dr.sc. Marin Matošić

**Thesis delivered:** September 2019.

## **Sadržaj**

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2. DESALINIZACIJA</b>	<b>3</b>
2.1. Povijest desalinizacije	4
2.2. Predtretman vode za desalinizaciju	4
2.2.1. Ionska izmjena	5
2.3. Metode desalinizacije	6
2.4. Termalni procesi	8
2.4.1. Višestruka frakcijska destilacija (MSF)	9
2.4.2. Višestruka destilacija (MED)	11
2.4.3. Parno kompresijska destilacija (VCD)	12
2.4.4. Solarna destilacija	13
2.5. Membranski procesi	14
2.5.1. Reverzna osmoza (RO)	15
2.5.2. Elektrodijaliza (ED)	21
2.5.3. Napredna osmoza	23
2.5.4. Hibridna desalinizacija	23
<b>3. DESALINIZACIJA U SVIJETU</b>	<b>24</b>
<b>4. DESALINIZACIJA U HRVATSKOJ</b>	<b>27</b>
<b>5. ZAKLJUČAK</b>	<b>28</b>
<b>6. LITERATURE</b>	<b>30</b>

## 1. Uvod

Snabdijevanje pitkom vodom i očuvanje okoliša predstavljaju jedan od glavnih problema današnje civilizacije tako da pitka voda postaje jedan od glavnih resursa XXI. stoljeća. Razlog leži u činjenici kako dolazi do porasta broja stanovnika na Zemlji, a to na kraju uvjetuje i porast industrijske i poljoprivredne proizvodnje. S druge strane, viši životni standard, ali i duža „sušna razdoblja“ povećali su potrebu za pitkom vodom. Postoje tri najveća izvora onečišćenja pitke vode, a to su: industrija, poljoprivreda i veliki gradovi. Kako raste broj stanovnika na Zemlji, tako dolazi do povećane potražnje za hranom. To na kraju ima posljedicu da dolazi do povećane upotrebe herbicida, pesticida i insekticida koji onečišćuju izvore pitke vode. No razvojem svijesti o očuvanju okoliša postupno se dolazi do sve racionalnijeg korištenja pitke i tehnološke vode. Jedino je pitanje- da li se o tome moglo razmišljati i djelovati malo ranije?

Ljudski organizam dnevno troši svega nekoliko litara vode za piće, što ovisi prvenstveno o području u kojem živi. Danas se procjenjuje kako je potrošnja vode po stanovniku u Europi između 250 i 350 litara na dan (ta brojka uključuje potrošnju industrijske i tehnološke vode). Zbog globalnog zatopljenja, došlo je do pojave otapanja ledenjaka na zemljinim polovima. Istodobno se događa proces dezertifikacije tj. dolazi do povećanja površina pustinja zbog klimatskih promjena uzrokovanim umjetnim izvorima onečišćenja- industrijom. To na koncu dovodi do smanjenja količina pitke vode u pojedinim područjima kao što su Turska, Izrael, Kina i dr. Posljedica toga su potencijalni ratovi oko izvora kvalitetne pitke vode i prijetnja svjetskoj sigurnosti.

Tablica 1. Potrošnja vode po navedenim kategorijama (EUROSTAT, 2015)

2 L/dan	Dnevne potrebe za piće
4 – 6 L/dan	Dnevne potrebe za piće i kuhanje
20 L/dan	Petina populacije ima manju potrošnju od 20 L
50 L/dan	„tehnički minimum“ dnevne potrošnje vode za piće
100 L/dan	Vrijednost prosječne učinkovite potrošnje po stanovniku u razvijenom društvu
130 – 150 L/dan	Procjena vrijednosti prosječne potrošnje po stanovniku u Hrvatskoj
170 – 200 L/dan	Gubici zagrebačkog cjevovoda po stanovniku (uključujući i industriju)
295 L	Potrošnja vode po stanovniku u SAD-u
400 L/dan	Potrošnja vodu u Zagrebu po stanovniku (uključujući i industriju i gubitke)
3000 L/dan	Prosječna potrošnja po stanovniku u južnoj Kaliforniji (uključujući bazene i golf igrališta)

## 2. Desalinizacija

Odsoljavanje vode ili desalinizacija je postupak uklanjanja i smanjenja koncentracije minerala u morskoj ili boćatoj vodi u svrhu dobivanja pitke vode, tehnološke vode ili vode za navodnjavanje, te dobivanja soli kao dodatne tvari. Krajevi uz more i otoci često imaju velike poteškoće s opskrbom pitke i tehnološke vode, te zbog toga se sve češće javljaju stalne ili povremene nestašice vode i sve posljedice koje iz toga proizlaze.

Odsoljavanje morske vode često je na Bliskom Istoku, Karibima, u SAD-u, Sjevernoj Africi, Španjolskoj, Australiji i Kini. Desalinizacija vode se koristi i na brodovima i podmornicama, te na nekim otocima. Saudijska Arabija proizvodi 24% ovako proizvedene pitke vode u svijetu. Svjetska najveće postrojenje „Jebel Ali Desalination Plant“ u Ujedinjenim Arapskim Emiratima proizvodi 300 milijuna kubičnih metara vode godišnje. Prednosti su velika dostupnost sirovine, morska voda, dok je nedostatak da je odsoljavanje vode trenutno vrlo skupa u usporedbi s drugim izvorima slatke vode, jer zahtjeva veliki utrošak energije i skupu opremu.

Tablica 2. Udio vrsta voda na svijetu (Filipović, 2015)

Slana voda	67 %
Boćata voda	19 %
Riječna voda	8 %
Otpadna voda	6 %



## **2.1. Povijest desalinizacije**

Prve pojave desalinizacije u povijesti datiraju iz drevne antike iz eksperimenta Aristotela i drugih intelektualaca tog doba. Brilljantni umovi tog razdoblja došli su do spoznaje da uz pomoć destilacije i filtracije koristeći naslage tla mogu dobiti pitku vodu iz mora.

Uređaji za desalinizaciju temeljeni na isparavanju poznati su još i od prije nekoliko stoljeća, ali nisu bili ugrađeni u brodove sve do 16. stoljeća, što im je omogućilo da budu opskrbljeni u slučaju nužde. Prije Drugog svjetskog rata, sustavi desalinizacije temeljeni na isparavanju uobičajeno su se koristili u brodovima koji su prelazili oceane na dugim transatlantskim putovanjima.

Međutim, prvi veliki moderni proces desalinizacije koji se pojavio bio je višestupanjska flash destilacija (MSF) sredinom 20. stoljeća u SAD-u (1955.). Nadalje, iako je otkrivena višestruka destilacija (MED) koja je imala potencijal da bude učinkovitija od MSF-a, trebalo je neko vrijeme da se proces MED učini učinkovitim u industrijskim kapacitetima, a to se nije dogodilo do 1959. godine, kada je prvo MED postrojenje je izgrađeno u Arubi (Karipsko otočje).

Sljedeće godine, napravljena je prva sintetička i funkcionalna membrana od celuloznog acetata za reverznu osmozu na Sveučilištu u Kaliforniji. Ova membrana je bila sposobna blokirati soli dok je dopustila da voda prolazi kroz nju uz razumnu brzinu protoka pod visokim tlakom.

## **2.2. Predtretman vode za desalinizaciju**

Voda osim otopljenih soli sadrži i druge sastojke poput algi, bakterija, mulja i drugih oblika životinjskog svijeta. Potencijalni zagađivači koji su identificirani pod imenom TEP (Transparent Exopolymer Particles) su sastavljeni od otopljenih polimera izlučenih iz fitoplanktona ili bakterija koji su pronađeni u moru i čistoj pitkoj vodi u koncentraciji od 28-5000 čestica po mililitru, oni variraju u veličini od 2 do 200 mikrometara te mogu biti izvor hrane za pojedine mikroorganizme koji se nalaze u vodi. Navedene nečistoće mogu prouzročiti ozbiljne posljedice tijekom procesa desalinizacije poput začepljenja membrana ili

stvaranja biofilma na površini membrane što rezultira smanjenjem protoka i utječe na djelotvornost membrane povećavajući gubitke. Zbog toga proces desalinizacije mora imati predtretman. Predtretman se sastoji od flokulacije što rezultira aglomeriranju čestica nečistoće u veće i teže nakupine koje se uglavnom uklanjaju filtracijom ili sedimentacijom. Čista desalinizirana voda je blago kisela i korozivna te mora proći dodatne tretmane kako bi joj se smanjila kiselost te proizvela nekorozivna blago alkalna voda prije puštanja u upotrebu. Da bi se sam proces desalinizacije olakšao i da bi membrane imale duži vijek trajanja, prije samog procesa desalinizacije, voda se ponekad parcijalno omekšava ionskim izmjenjivačem. Procesom desalinizacije dobivaju se dva produkta, od kojih je jedan desalinizirana (čista) voda, a drugi je produkt koncentrat (sadrži puno veću koncentraciju otopljenih tvari od početnog sastava morske vode)

### **2.2.1. Ionska izmjena**

Ionska izmjena je postupak pri kojem se koristi sposobnost određenih tvari da ione iz vlastite molekule zamijene za ione iz kapljevine. Ionski izmjenjivači su netopive visokomolekularne tvari (ionske smole), s pozitivnim ili negativnim nabojem, koje ione izmjenjuju bez vidljivih fizičkih promjena. Prema kemijskom sastavu ionski izmjenjivači mogu biti anorganski ili organski, te prirodni ili sintetski. S obzirom na ulogu dijele se na kationske ili anionske ionske izmjenjivače. Vanjski oblik ionske smole je različit, pa mogu biti u obliku cijevi, kuglica, vlakana ili membrane. Različiti zahtjevi pročišćavanja vode primjenom ionske izmjene pri uklanjanju neželjenih iona iz vode mogu se postići primjenom samo jedne vrste ionske smole ili kombinacijom više njih. Prirodni anorganski alumosilikatni izmjenjivači su gline (npr. montmorilonit) i zeoliti (npr. analcit, kabazit), a sintetski gel permutiti (za omekšavanje vode). Prirodni organski izmjenjivači su npr. ugljen i celuloza, koja je hidrofилne i porozne naravi, pa je izmjena iona brza. Ona može biti neobrađena ili obrađena uvođenjem izmjenjivačkih skupina. U modernoj laboratorijskoj praksi prirodni ionski izmjenjivači zamijenjeni su sintetskim ionskim smolama koje datiraju negdje od polovice 20. stoljeća. Važni su i sintetski gel izmjenjivači dobiveni iz poprečno vezanog dekstrana (*Sephadex*) ili poliakrilamida (*Bio-Gel*). To su i molekularna sita. Svi navedeni ionsko-izmjenjivački materijali netopljivi su u vodi, ali mogu izmjenjivati vlastite pokretljive protuione s ionima iz okolnog medija, npr. iz morske vode koja sadrži ne više od  $0,7 \text{ mol/dm}^3$  elektrolita.

Ionska izmjena se ne koristi direktno u desalinizaciji već kao predtretman u mekšanju vode i kao posttretman reverzne osmoze radi uklanjanja bora.



Slika 4. Kolone za ionsku izmjenu

### **2.3. Metode desalinizacije**

Dvije su osnovne skupine procesa koje se koriste za provedbu procesa desalinizacije, dijele se na: termalne i membranske procese. U termalne procese se ubrajaju: višefazna frakcijska destilacija (MSF-Multistage flash distillation), višestruka destilacije (MED-Multiple effect distillation), parno kompresijska destilacija (VCD-Vapour compression distillation), solarna destilacija. U membranske procese se ubrajaju: reverzna osmoza (RO) i elektrodijaliza (ED).

Tablica 3. Prikaz upotrebe desalinizacijskih procesa u svijetu (Cooley i sur., 2006., Awerbuch, 2009.)

Desalinizacijski proces	Postotak korištenih uređaja (%)
Reverzna osmoza (RO)	59
Višefazna frakcijska destilacija (MSF)	27
Višestruka destilacija (MED)	5
Kompresijska destilacija (VC)	4
Elektrodijaliza (ED)	4
Ostale metode	1

Tablica 4. Prikaz električne vodljivosti u odnosu na vrstu vode (Dadić, 2000.)

Vrsta vode	Električna vodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Demineralizirana voda	< 0,05
Voda za piće	<2 500
Mineralna voda	1 000 – 3 000
Boćata voda	>1 000
Morska voda	>50 000

## 2.4. Termalni procesi

Rafinerije, elektrane i ostale industrije imaju potrebu za visoko kvalitetnom vodom. Proces termalne desalinizacije koristi energiju da bi preveo tekućinu u paru te je zatim ponovo kondenzirao u tekuće stanje. U postrojenjima u kojima se gubi toplinska energija ili se stvara višak električne energije, kao što je slučaj u navedenim industrijama, termalna desalinizacija je učinkovit način dobivanja čiste vode.

Destilacija je najstarija i najčešće korištena metoda desalinizacije. Prvo svjetsko postrojenje za desalinizaciju na kopnu, postrojenje za višestruku destilaciju (MED) kapaciteta 60 m<sup>3</sup>/dan, instalirano je na Curaçao, Nizozemski Antili, 1928. godine. Daljnji komercijalni razvoj kopnenih jedinica za destilaciju morske vode dogodio se krajem 1950-ih, te se u početku oslanjao na tehnologiju razvijenu za industrijske isparivače (kao što su šećerni koncentratori) i za brodske destilacijske pogone koji su izgrađeni tijekom Drugog svjetskog rata. Postupci višestupanjske frakcijske destilacije (MSF), višestruke destilacije (MED) i kompresije pare (VC) doveli su do raširene uporabe destilacije za desalinizaciju morske vode.

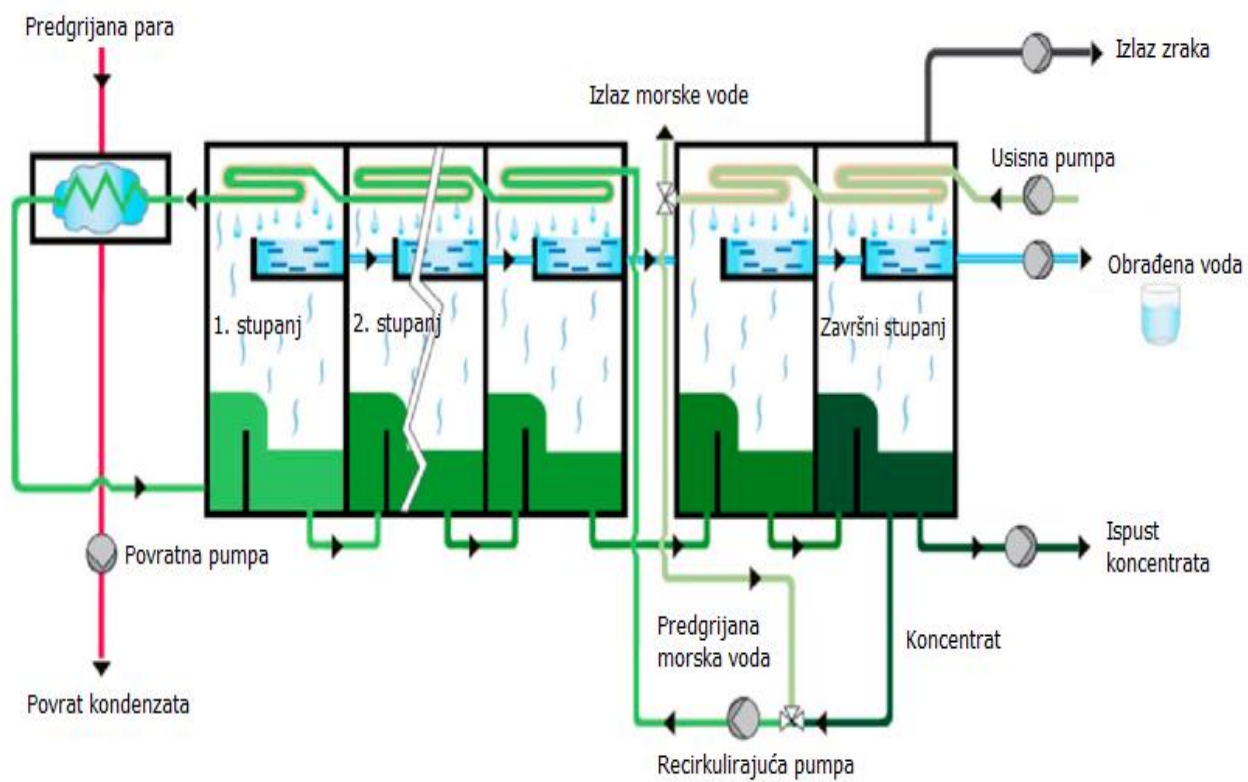
### Tehnički opis

Destilacija je metoda razdvajanja faza pri čemu se slanu vodu zagrijava da bi se dobila vodena para, koja se zatim kondenzira kako bi se proizvela slatka voda. Različiti procesi destilacije koji se koriste za proizvodnju pitke vode, uključujući MSF, MED, VC i isparivače toplinske energije, općenito rade na principu smanjenja tlaka pare vode unutar jedinice kako bi se omogućilo vrenje na nižim temperaturama, bez korištenje dodatne topline. Destilacijske jedinice rutinski koriste dizajne koji štede što više toplinske energije izmjenom topline kondenzacije i topline isparavanja unutar jedinica. Glavna potreba za energijom u procesu destilacije tako postaje toplina za isparavanje vode.

### **2.4.1. Višestruka frakcijska destilacija (MSF)**

Višefazna frakcijska destilacija (MSF-Multistage flash distillation) radi na principu zagrijavanja i isparavanja slane vode. Slatka voda nastaje kondenzacijom vodene pare, koja se sakuplja u svakoj fazi i prenosi od stupnja do stupnja paralelno sa slanom vodom. Zagrijavanjem slane vode u komori dolazi do rasta tlaka i temperature. Zagrijana voda se prenosi u drugu komoru s nižim tlakom gdje dolazi do isparavanja i nastajanja pare. Hladna morska voda, korištena u prvoj fazi zagrijavanja, se koristi za hlađenje pare i za njenu kondenzaciju.

Proces se ponavlja kroz serijski povezane komore sve dok se ne postigne atmosferski tlak. Broj komora MSF desalinizatora (Multistage flash distillation) iznosi između 4 do 40 komora. MSF desalinizacija može se odvijati s jednim prolazom ili s recirkuliranjem. Kod procesa s jednim prolazom smjesa se predgrijava, prolazeći kroz kondenzatore, konačno se zagrijava u grijaču te zatim prolazi kroz flash komore i kondenzira te se obrađena voda odvodi i koncentrat ispušta. Kod recirkulirajućeg procesa morska voda se prethodno tretira samo u jednoj trećini procesa, čime se postiže deaeracija morske vode i smanjenje korozije uređaja. Nakon izlaza iz isparivača, dio zagrijane vode se izbacuje u more, a dio vode se dalje obrađuje. Obrađena voda se ponovno propušta kroz komoru. Ovakvim načinom rada postiže se veće iskorištenje. Višak plinova koji nastaju tijekom procesa obrade vode ispušta se u atmosferu. Višefazna frakcijska destilacija smatra se najpouzdanijom destilacijom i najviše se upotrebljava. Glavni nedostatak MSF (Multistage flash distillation) je što za odvijanje procesa treba velika količina energije.



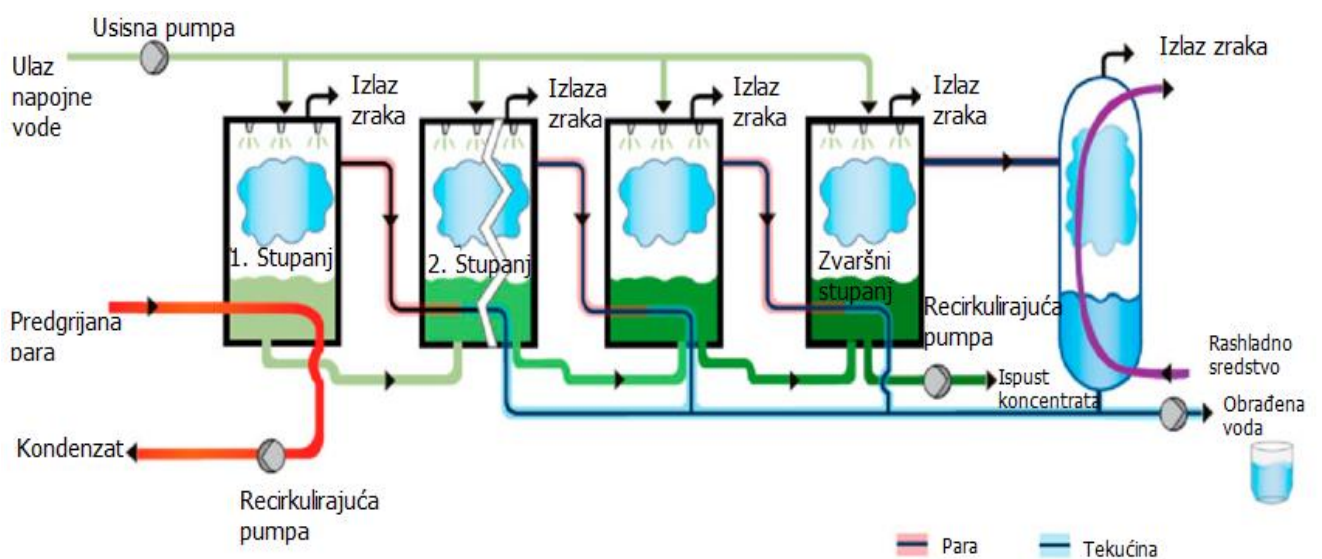
Slika 1. Prikaz MSF desalinizacijskog procesa

## 2.4.2. Višestruka destilacija (MED)

Zagrijana para unosi se u cijev koja recirkulira. Budući da se cijevi izvana hlade kapanjem morske vode, para se kondenzira u destilat unutar cijevi te ponovo ulazi u zagrijanu komoru u kojoj se grije i isprava. Proizvedena toplina se ponovno upotrebljava za zagrijavanje i nastajanje pare (Clayton, 2011.). Istovremeno se morska voda zagrijava i djelomično isparava te se para odvodi u drugi stupanj u kojem služi za grijanje morske vode te se postepeno hladi i kondenzira u pitku vodu.

Zbog isparavanja morska se voda lagano koncentrira kada teče niz snop cijevi i daje slanicu na dnu ćelije. Para koja nastaje isparavanjem morske vode je na nižoj temperaturi od pare za zagrijavanje. Snižavanje tlaka iz jedne ćelije u drugu omogućuje destilatu da se povuče u sljedeću ćeliju, gdje će se osloboditi dodatne količine pare pri nižem tlaku. Ta dodatna para će se kondenzirati u destilat unutar sljedeće stanice. Ovaj se postupak ponavlja u seriji ćelija. U posljednjoj ćeliji proizvedena se para kondenzira na konvencionalnom izmjenjivaču topline. Taj izmjenjivač, nazvan "kondenzator destilata", hladi se morskom vodom.

Na izlazu iz ovog kondenzatora dobiva se destilat i koncentrirana morska voda koja se ispušta. Jedno od najpoznatijih desalinizacijskih postrojenja s upotrebom MED-a je postrojenje u Saudijskoj Arabiji u Jubailu, pušteno u funkciju 2009. godine, proizvodi 800 000 m<sup>3</sup> vode po danu.



Slika 2. Prikaz MED desalinizacijskog procesa

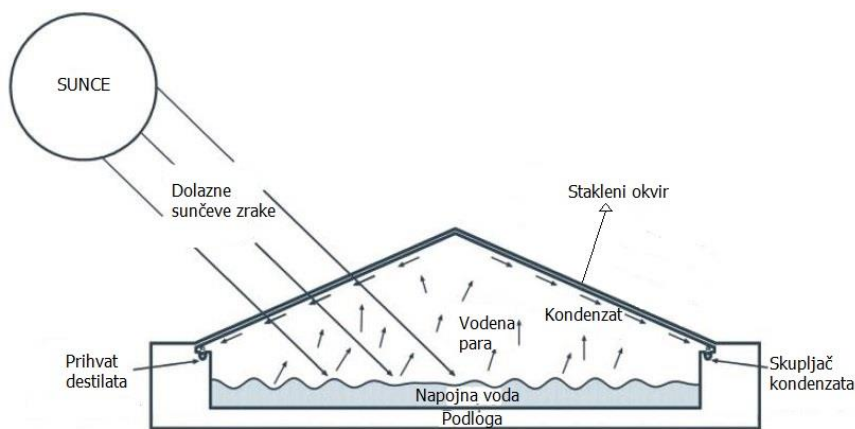


### **2.4.3. Parno kompresijska destilacija (VCD)**

U parno kompresijskoj destilaciji morska se vode predgrijava prolazeći kroz izmjenjivač topline. Predgrijava morska voda dolazi na grijače na kojima isparava te se pomoću uređaja za kompresiju komprimira čime se povećava njena temperatura i tlak. Morska voda koja dolazi u postrojenje koristi se za hlađenje komprimirane pare koja se zatim kondenzira u pročišćenu vodu, a u isto vrijeme se morska voda zagrijava kako bi se proizvelo više pare (Clayton, 2011.). Kompresija pare se može postići na dva načina, mehanički i toplinski. Kod mehaničke kompresije para se pokreće električnom strujom dok se kod toplinske kompresije koristi Venturijev otvor na parnoj mlaznici za odvod pare iz glavnog spremnika i ujedno joj snižava tlak. VCD desalinizacija se koristi u postrojenjima s malom potrebom kao što su brodovi, hoteli, apartmani. Parno kompresijska destilacija je postupak koji se može provoditi u kombinaciji s drugim procesima kao što je MED.

#### 2.4.4. Solarna destilacija

Solarna jedinica za desalinizaciju je uređaj koji pretvara slanu vodu u pitku vodu pretvarajući sunčevu energiju u toplinu, izravno ili neizravno, kako bi pokrenuo proces desalinizacije. Sunčeva destilacija predstavlja prirodni kružni proces vode. Morska voda se nalazi u spremniku koji je prekriven staklenom piramidom. Sunčeva toplina grije tanki film morske vode i dolazi do isparavanja. Para se skuplja na staklenom okviru te se kondenzira i slijeva u prihvatnu posudu. Za ovaj postupak nije potrebna prethodna predoobrađena vode. Dobivena pitka voda je potpuno čista i ne sadrži nikakve čestice ni mikroorganizme. Solarna energija može pokrenuti desalinizacijsko postrojenje toplinskom i električnom energijom iz solarnih toplinskih sustava ili fotonaponskih sustava. Sam proces je jeftin zbog skoro neograničenog izvora energije. Nedostaci ove tehnologije su pojava algi na staklenom okviru koje uzrokuju smanjenu propusnost topline i tehnologija ovisi o vremenskim uvjetima. Za vrijeme zimskih razdoblja dok nema sunčeve svjetlosti proces ne bi mogao raditi, stoga nije koristan za komercijalne upotrebe. Ovim procesom se može dobiti 5-10 L/dan što ga čini korisnim za male, obiteljske zajednice i male potrošače.



Slika 3. Shematski prikaz solarne destilacije

## 2.5. Membranski procesi

Danas membranski procesi čine više od polovice svih kapaciteta za desalinizaciju u svijetu i uglavnom zamjenjuju termalne procese desalinizacije. Membranski procesi se dijele ovisno o pokretačkoj sili: tlak, struja i ionska izmjena, te po veličini pora membrane koja se koristi, od čega su najpoznatije: mikrofiltracija (MF), ultrafiltracija (UF), nanofiltracija (NF) reverzna osmoza (RO) i elektrodijaliza (ED). Tlačni membranski procesi rade na principu prolaza morske vode pod visokim tlakom kroz semipermeabilnu membranu koja odvaja molekule vode od soli i ostalih nečistoća. Na izlazu iz membrane se dobiva čista voda ili permeat dok na membrani zaostaje koncentrirana otopina ili koncentrat. Fluks permeata definiran je volumnim protokom medija kroz jedinicu površine membrane ( $L/m^2 h$ ). Mikrofiltracija (MF) sadrži pore veličine 0.05 do 10  $\mu m$  te je najbližnja klasičnoj filtraciji, primijenjeni tlak je 0,1-1 bar. MF se koristi u mnogim postrojenjima te je kompatibilan s drugim membranskim procesima poput reverzne osmoze. Ultrafiltracija (UF) sadrži pore veličine 0,001- 0,02  $\mu m$  te se koristi za odvajanje organskih molekula veće molarne mase i koloida iz vode. Nanofiltracija (NF) se koristi za djelomično omekšavanje vode i dobivanje vode za piće te uklanjanje organskih tvari iz vode. NF koristi membrane slične izvedbe kao za reverznu osmozu samo s većim porama i potreban je niži tlak. Reverzna osmoza (RO) je postala prvak u postrojenjima za desalinizaciju zbog svoje visoke moći razdvajanja čestica te mogućnosti primjene u većim postrojenjima. Uz reverznu osmozu u posljednjim godinama se sve više primjenjuje i elektrodijaliza (ED).

Tablica 5. Tehnički važne membranske separacijske operacije

Operacija	Djelujuća sila procesa	Proces u membrani
Ultrafiltracija	Tlačni gradijent	Viskozni tlak, učinak prosijavanja
Reverzna osmoza		Difuzija otapala
Dijaliza	Koncentracijski gradijent	Difuzija otopljenih tvari
Elektrodijaliza	Električno polje	Izmjena iona

### **2.5.1. Reverzna osmoza (RO)**

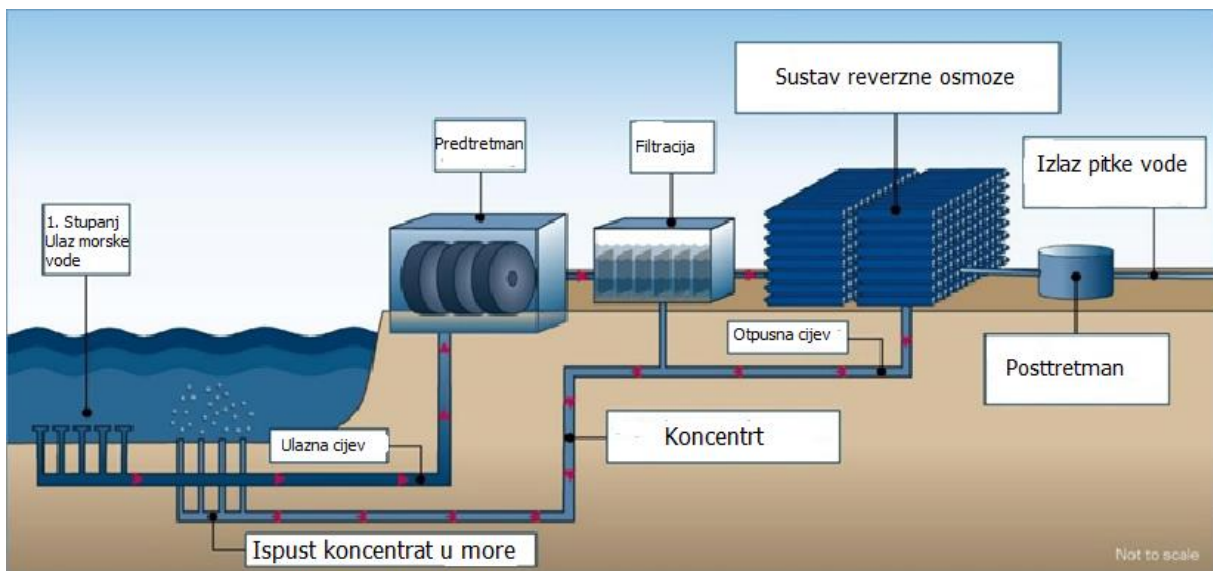
Osmoza se javlja kada polupropusna membrana odvaja dvije otopine različitih koncentracija. Polupropusna membrana propušta molekule otapala dok ne propušta otopljene tvari veće veličine od pora.

Molekule otapala se zbog različite koncentracije otopina gibaju s mjesta manje koncentracije prema mjestu veće koncentracije. Proces ima težnju odvijanja sve dok se ne izjednače koncentracije s obje strane membrane. Manje koncentrirana otopina postaje koncentriranija dok više koncentriranoj otopini se smanjuje koncentracija. Ova pojava se može najjednostavnije objasniti kinetičkom teorijom i činjenicom da na strani otopine s manjom koncentracijom otopljenih tvari ima više molekula otapala koje zato prelaze na stranu s manje molekula otapala.

Prijelazom molekula otapala iz jedne otopine u drugu dolazi do porasta volumena otopine na jednoj strani membrane i smanjenja volumena otopine na drugoj strani. Porast volumena otopine na jednoj strani stvara povišeni hidrostatski tlak koji se suprotstavlja procesu osmoze, to jest osmotskom tlaku koji djeluje na membranu. Kada se ta dva tlaka izjednače, uspostavlja se ravnoteža, gdje molekule vode i dalje difundiraju iz jedne otopine u drugu, ali u oba smjera uravnoteženo što rezultira stabilizacijom volumena u obje otopine.

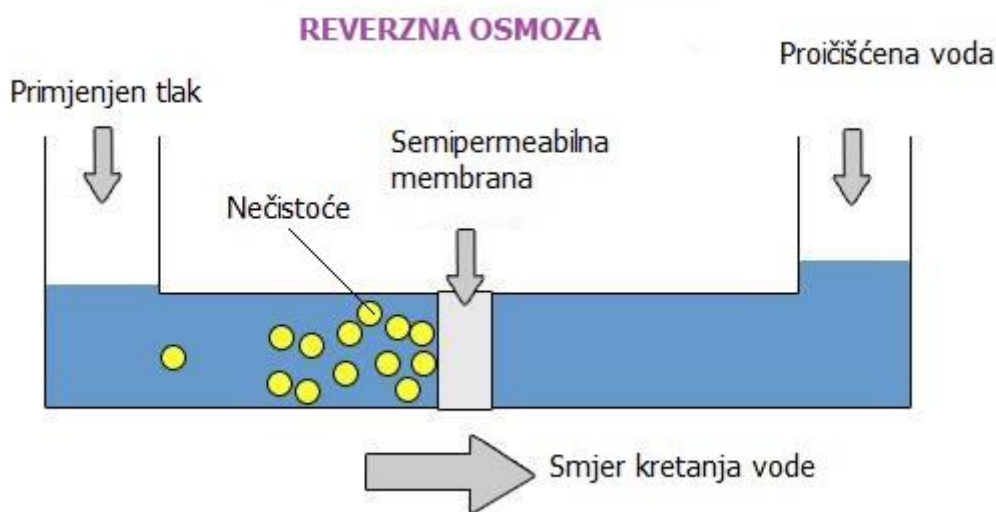
Tlak pri kojem se uspostavlja ova ravnoteža naziva se efektivni osmotski tlak. Osmotski tlak je veći što je veća razlika koncentracija otopina i obrnuto. Osmozu možemo promatrati kao poseban slučaj difuzije. Osmolaritet je relativna koncentracija otopljene tvari u sredini u kojoj se nađe stanica.

Reverzna osmoza radi u suprotnom smjeru od osmoze, gdje joj je glavni cilj nadjačati osmotski tlak. Dovođenjem tlaka u sustav morska se voda gura kroz polupropusnu membranu, u suprotnom smjeru nego kod klasične osmoze, tj. voda prelazi iz koncentriranije otopine u manje koncentriraniju i s druge strane dobivamo permeat ili čistu vodu koja se odvodi dok zaostaje koncentrat koji se odbacuje. Reverzna osmoza se smatra skoro savršenim procesom zbog svoje moći odvajanja i najsitnijih čestica iz vode. Membrane koje se koriste za reverznu osmozu imaju sitne pore veličine 0,1 nm do 5000 nm i da bi se savladao osmotski tlak trebaju se koristiti visoki tlakovi. Pri tome se npr. kod obrade slatke vode najčešće primjenjuje tlak od 2 do 17 bara, dok se kod filtracije morske vode primjenjuju tlakovi od 40 do 82 bar (osmotski tlak iznosi približno 27 bar i on se mora svladati) (Iličković, 2007). Unatoč velikoj moći odvajanja čestica vode od ostatka primjese, klor, amonijak i ugljikov dioksid prolaze kroz membranu te ih je potrebno odvojiti naknadno. Uz pomoć filtra s aktivnim ugljenom je moguće odvojiti klor koji je štetan za membrane. Uobičajeni sustav za reverznu osmozu se sastoji od sljedećih vitalnih dijelova: mehaničkog prefiltera, višestupanjske pumpe visokog tlaka, membrana, membranskih kućišta i CIP sustava za pranje.



Slika 5. Prikaz pogona za reverznu osmozu (RO)

Sam proces desalinizacije vode upotrebom RO nije dovoljan za uspješnu i dugoročnu upotrebu te mu je potreban predtretman i posttretman da bi iskorištenje bilo što veće i da životni vijek membrane bude što duži. Predtretman u procesu RO se radi da bi se uklonile čestice koje bi mogle dovesti do taloženja i rasta mikroorganizama na membrani. To uključuje konvencionalne metode poput filtracije, sedimentacije, koagulacije i flokulacije te ostale membranske procese poput mikrofiltracije i nanofiltracije. Izbor metoda predtretmana ovisi o brojnim čimbenicima poput: kvalitete vode namjenjene za desalinizaciju, dostupnosti prostora te zahtjevima RO membrane (Buros, 2000). Posttretman reverzne osmoze se sastoji od remineralizacije vode zbog toga jer voda koja je prošla kroz RO je kiselog karaktera te ju je potrebno remineralizirati neutralizacijom i otapanjem minimalne količine kalcija.



Slika 6. Prikaz procesa reverzne osmoze (RO)

Membrane koje se koriste za RO mogu biti različitih izvedba i najčešće su izrađene od organskih materijala poput acetata celuloze i aromatskih poliamida. Takve membrane imaju hidrofilni karakter, izvrsna permselektivna svojstva, dobra termička i kemijska svojstva te su jako osjetljive na klor. Također membrane mogu biti napravljene od polimera politetraflouretilen (PTFE), polivinilidenfluorid (PVDF), polietilen (PE), izotaktički polipropilen (PP), polikarbonat (PC) itd. Postoje i tzv. anorganske membrane, koje su najčešće načinjene od keramike. Ove membrane karakterizira visoka termička i kemijska otpornost te se stoga često primjenjuju za separaciju organskih otapala koje nije moguće separirati polimernim membranama, budući da bi došlo do otapanja polimernog materijala od kojeg je membrana napravljena (Mulder 1996). S obzirom na izvedbu postoji više vrsta membranskih modula: modul na principu filter-preše, modul u obliku spiralnog namotaja, cijevni modul i modul sastavljen od šupljih vlakana. Danas je najrašireniji modul sa spiralnim namotajem. Ovaj modul je dvostruka pločasta membrana namotana oko središnje perforirane cijevi koja služi za odvod permeata. Modul se sastoji od dvije membrane četvrtastog oblika između kojih se nalazi razdjelnik, napravljen od poroznog polimernog materijala. Membranski moduli sa spiralnim namotajem imaju na kraju oblik cilindra pri čemu ulazna voda ulazi u modul na jednoj bazi cilindra, a permeat i koncentrat izlaze na drugoj. Pri tome permeat uvijek izlazi iz središta baze cilindra zbog centralnog položaja perforirane cijevi (Iličković, 2007) Membrana predstavlja fizikalnu barijeru koja sprječava prolaz česticama i otopljenim tvarima, a kolika će biti njena selektivnost, ovisi o veličini pora cjelokupne membrane. Membrana je tanki kompozitni materijal koji se sastoji od tri dijela, to su: poliesterska potporna mreža – Polyester Base, mikroporozni polisulfonatni središnji sloj – Polysulfone Layer i jako tanki površinski sloj (načinjen od poliamida) – Polyamide Layer. Da bi se dobila membrana, to platno se presavije na pola te se doda mrežica za bolji protok i sve se skupa pričvrsti. Dobiveno platno se zatim omota oko centralne cijevi u koju se slijeva pročišćena voda ili permeat. Njen osnovni zadatak je zadržavanje otopljenih soli, virusa i bakterija u svrhu pročišćavanja sirove vode.

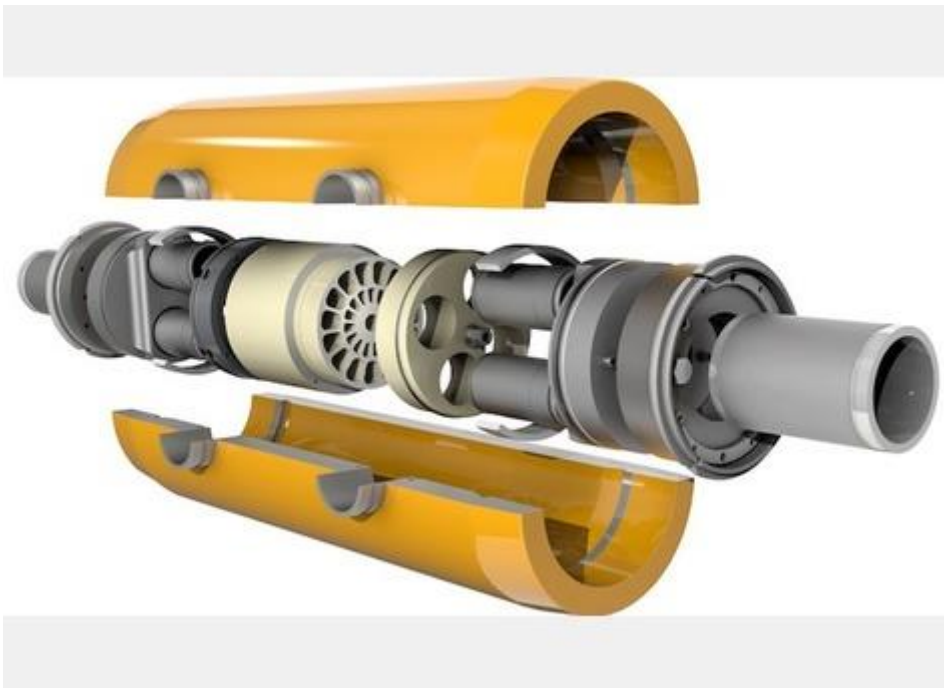
Membrane, zbog sitnih pora podliježu začepljenju, što ovisi o kvaliteti ulazne vode. Pod pojmom začepljivanja podrazumijeva se spontano povećanje pritiska pri filtraciji ili smanjenje fluksa permeata (Iličković, 2007). Radi dugovječnosti membrane njih je potrebno čistiti. Čišćenje membrane se radi ovisno o zahtjevima procesa te se može čistiti godišnje, mjesečno, tjedno ili dnevno. Do začepljenja može doći iz više razloga od čega su najznačajniji: adsorpcija organskih makromolekula i koloida, rast mikroorganizama i algi na površini membrane, taloženje anorganskih molekula te starenje membrane (mijenjanje strukture, polimerizacija). Membrane se mogu čistiti fizički, biološki ili kemijski. Fizičko čišćenje uključuje ručno pranje spužvom i vodom, za membrane na kojima je to moguće ili permeatom. Biološko čišćenje uključuje primjenu biocida za uklanjanje svih živih mikroorganizama, dok kemijsko čišćenje uključuje upotrebu CIP otopine kiseline i lužine za uklanjanje nečistoća.

Problem ove tehnologije je velika količina koncentrata koji se stvara kao nusproizvod procesa. Ovisno o lokaciji desalinizacijskog postrojenja, različiti su postupci obrade koncentrata. U priobalnim područjima se koncentrat direktno ispušta u more dok u unutrašnjosti se volumen koncentrata smanjuje radi lakšeg rukovanja (Tang and Ng, 2008). Metoda isparavanja se često koristila radi smanjenja volumena koncentrata i dobivanja krutog proizvoda koji se može lakše odlagati, ali i ponovo iskoristiti (Arnal et al, 2005). Napretkom tehnologije se pokušava naći ekonomičniji i okolišu prihvatljiviji način obrade koncentrata gdje bi se iz njega izolirale soli metodom isparavanja i kristalizacije poput NaCl, KCl,  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  i  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  koje bi se dalje mogle koristiti u različitim industrijama. Ispuštanjem neobrađenog koncentrata direktno u more šteti okolišu radi promjene saliniteta mora u području u kojem se ispušta, pogotovo utječe na lokalni biljni i životinjski svijet. Najraširenija metoda obrade koncentrata u priobalnom području je razrijeđivanje koncentrata s dobivenim permeatom radi smanjenja koncentracije otopljenih soli prije ispuštanja ili ako je moguće ispuštanje u sustav javne odvodnje bez obrade. Ostale tehnologije koje se danas primjenjuju su napredna osmoza i ekstrakcija tekuće-tekuće, ali još uvijek nisu dostigle industrijsku upotrebu. Primjer korištenja koncentrata iz RO radi uštede energije se može postići tako da se tlak koncentrata koristi za tlačenje ulazne vode. To se postiže pomoću tlačnog izmjenjivača koji koristi tlačnu energiju koncentrata i prenosi je



djelomično na ulaznu vodu čime se smanjuje energija potrebna za rad pumpe. Rješavanjem problema koncentrata, ekonomičnost reverzne osmoze bi se znatno povećala.

Reverzna osmoza, uz veliku moć odvajanja čestica, nije pogodna za odvajanje bora koji je u velikim koncentracijama toksičan za ljude. Bor u more dopijeva iz otpadnih voda, korištenjem različitih kemikalija i iz umjernih gnojiva. Njegova koncentracija u moru je proporcionalna salinitetu mora te se nalazi u obliku borne kiseline. RO uspješno uklanja borate dok uklanjanje borne kiseline ovisi o temperaturi. To je problem u toplijim morima poput Karipskog mora i Perzijskog zaljeva gdje zaostaje u nedozvoljenim koncentracijama. Stoga se koristi bor selektivna ionska izmjena kao posrednik reverzne osmoze.



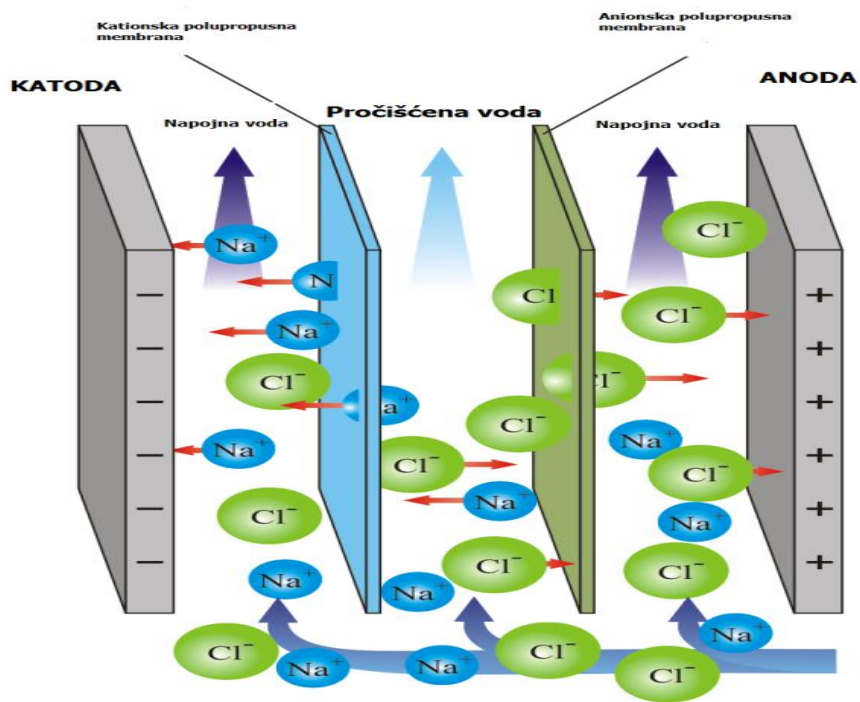
Slika 7. Tlačni izmjenjivač kod RO

### 2.5.2. Elektrodijaliza (ED)

Elektrodijaliza (ED) je elektrokemijski proces u kojem je napon pokretačka sila. Električni potencijal se upotrebljava za uklanjanje otopljenih minerala iz vode koji su u obliku iona. Uređaj se sastoji od anode na jednoj strani i katode na drugoj strani te su odvojeni polupropusnom membranom.

Membrane su obično načinjene tako da omogućuju privlačenje kationa na jednu, a aniona na drugu stranu te onemogućuju njihov prelaz nazad u otopinu. Središnji dio uređaja čini prolaz napojne vode. Djelovanjem električnog potencijala na vodu koja prolazi kroz ED anioni se kreću kroz polupropusnu membranu prema katodi, pozitivnom kraju, dok se kationi kreću prema anodi, negativnom kraju. U središnjem toku ostaje čista voda koja se odvaja. Nasuprot ostalih desalinizacijskih tehnika, ED koristi najmanje energije te je najjednostavniji za održavanje. Povećanjem temperature ulazne otopine se smanjuje električna otpornost i time se povećava iskorištenje. Optimalna temperatura ED-a je 55 stupnjeva celzijusa.

ED (Electrodialysis) se sastoji od nekoliko stotina ćelija povezanih sa elektrodama. (Buros, 2000.). Kada se određen broj ćelija odstrani radi čišćenja, kapacitet proizvodnje se ne mijenja, već se samo primjeni veći napon na preostale ćelije. Povratkom očišćenih ćelija, napon se samo vrati na početne kapacitete. Mane ED su što ne uklanja organske tvari i bakterije, tj. nenabijene čestice. Također ED se može koristiti samo za vode s nižim salinitetom. Povećanjem saliniteta vode se također mora pojačati energija ED-a što prilikom desalinizacije morske vode nebi bilo isplativo radi velike potrošnje energije, a i zbog visoke kapitalne investicije. Stoga ED je komercijalno isplativ za desalinizaciju bočate vode gdje salinitet nije previsok. Rješenje je predobrada vode reverznom osmozom i propuštanjem permeata kroz ED. Reverzibilna elektrodijaliza radi na sličnom principu kao obična ED osim što je središnji prostor kroz koji se odvaja pročišćena voda iste građe kao i prostor u kojem se skuplja koncentrat. Radi boljeg iskorištenja, tj. da nebi došlo do nakupina na membranama, kod reverzibilne elektrodijalize se svakih 15 – 20 minuta mijenja polaritet elektroda tako da permeat postaje koncentrat, a koncentrat postaje permeat. Time se smanjuje nakupljanje anorganskih čestica na membranama i njihovo začepljenje. Elektrodijaliza je prvi membranski proces s komercijalnim uspjehom. Jedno do prvih postrojenja ED je bilo u Tobruku u Libiji 1959. godine. Postrojenje je proizvodilo 55 m<sup>3</sup> vode na dan.



Slika 8. Prikaz procesa elektrodijalize (ED)

### **2.5.3. Napredna osmoza**

Napredna osmoza ili (direktna) osmoza je proces sličan reverznoj osmozi s razlikom u pokretačkoj sili. Dok kod reverzne osmoze visoki tlak tjera napojnu vodu kroz membranu, kod napredne osmoze se koristi sam proces osmoze tako da se permeat zasiti otopinom amonijevih soli ili sumporovim dioksidom. Zasićeni permeat ima znatno višu koncentraciju otopljenih tvari od napojne vode te dolazi do osmoze, tj. prelaza vode iz morske napojne vode u permeat do izjednačenja koncentracije. Dobiveni permeat se zatim zagrijava da bi došlo do isparavanja dodanih otopina te se dobiva čista voda. Sam proces koristi manje energije od reverzne osmoze.

### **2.5.4. Hibridna desalinizacija**

Hibridna desalinizacija je proces koji obuhvaća primjenu termalnih i membranskih procesa. Sam proces se sastoji od primjene MSF ili MED destilacije skupa s reverznom osmozom. Upotrebom hibridne desalinizacije se postiže ušteda na energiji, smanjuje se upotreba kemikalija, duži životni vijek membrana te se smanjuju zahtjevi za predobradom vode. Postrojenje za hibridnu destilaciju može biti izvedeno serijski ili paralelno. Kod serijske izvedbe, termalni i membranski procesi rade odvojeno jedan od drugoga te se obrađena voda ili permeat skupljaju u zajednički tok. Kod paralelnog sustava postoji više izvedba, npr. MSF ili MED destilacija primaju napojnu morsku vodu na predobradu, a njihov permeat služi kao napojna voda za reverznu osmozu. Ovisno o potrebama sustava, termalni i membranski proces mogu biti spojeni u različitom poretku. Najveće postrojenje u svijetu, Fujairah se nalazi u Ujedinjenim Arapskim Emiratima te proizvodi oko 500 000 m<sup>3</sup>/dan.

### 3. Desalinizacija u svijetu

Desalinizacija morske vode je najviše korištena u zemljama koje imaju problema s opskrbom pitkom vodom zbog različitih prirodnih čimbenika. Sam proces desalinizacije je skup, gledajući po potrošnji energije, te većina zemalja koje ga koriste moraju imati dovoljan izvor energije. Zemlje Bliskog Istoka poput Saudijske Arabije, Ujedinjenih Arapskih Emirata i Izrael su najveći proizvođači desalinizirane vode u svijetu. Uz njih, glavni proizvođači desalinizirane vode su SAD, Kina, Australija, Indija te Španjolska. Saudijska Arabija, kroz povijest, zbog svog položaja, pustinjske klime te stalnih suša, imala je velikih problema s opskrbljivanjem stanovništva pitkom vodom. Iz tog razloga je koristila velika ulaganja u proces desalinizacije te je danas najveći proizvođač desalinizirane vode u svijetu s oko 70% pitke vode dobivenom procesom desalinizacije. Među najvećim postrojenjima su Al-Jubail i Al-Khobar na obali Perzijskog zaljeva te Ras Al Khair, Shoaiba i Al Khafaji.



Slika 9. Postrojenje za desalinizaciju u Al-Jubail-u, Saudijska Arabija

Postrojenje Ras Al Khair izgrađeno je 2014. godine te radi na principu hibridne desalinizacije sastavljene od MSF i RO i proizvodi 1 036 000 m<sup>3</sup>/dan. Postrojenje se sastoji od 8 MSF jedinica i 17 RO jedinica. Postrojenje Al Khafaji, izgrađeno 2017. godine pokreće se fotonaponskim sustavom te radi na principu reverzne osmoze i proizvodi 60 000 m<sup>3</sup>/dan. Postrojenje koristi novu metodu desalinizacije reverznom osmozom slane vode (SWRO) s ultrafiltracijom (UF) za proces predtretmana. Postrojenje Jebel Ali u Ujedinjenim Arapskim Emiratima je jedno od najvećih postrojenja na svijetu. Proizvodi 140 000 m<sup>3</sup> po danu. Sastoji se od turbina koje stvaraju energiju te ispušne pare koja grije morsku vodu i pokreće 8 desalinizacijskih jedinica. Izrael, kao jedna od vodećih zemalja koja upotrebljava desalinizaciju za dobivanje pitke vode, dobiva više od trećine svojih potreba procesom desalinizacije. Najveća postrojenja su im Ashkelon, Palmachim, Hadera i Soreka koja rade na principu reverzne osmoze. Soreka postrojenje, koje se nalazi blizu Tel Aviva, izgrađeno je 2013. godine te proizvodi 624 000 m<sup>3</sup>/dan. Sastoji se od 16 jedinica RO i napojna voda se dobavlja kroz dvije cijevi udaljene 1.5 km od obale. Morska voda, prije nego što uđe u proces reverzne osmoze prolazi kroz predtretman te nakon obrade kroz RO prolazi kroz proces posttretmana radi remineralizacije i dezinfekcije. Prva europska zemlja koja je uvela sustav za desalinizaciju morske vode bila je Španjolska. Zbog svog demografskog položaja, razvoja industrije i turizma pojavila se potreba za izvorom pitke vode. Jug Španjolske uz Mediteran te Kanarski otoci zbog malih izvora pitke vode i sušnih razdoblja bili su prisiljeni pronaći način opskrbljivanja stanovništva pitkom vodom. Duž obalu Mediterana napravljeno je više od dvadeset desalinizacijskih postrojenja na principu reverzne osmoze s kapacitetima od 125 000 m<sup>3</sup>/dan. Više od 80% dobivene vode se koristi za poljoprivredu te se ostatak koristi u kućanstvima i industriji. Najveće postrojenje u Europi se nalazi blizu Barcelone na ušću rijeke Llobregata, izgrađeno 2009. godine s kapacitetom od 200 000 m<sup>3</sup>/dan što osigurava 20% potreba stanovništva. Napojna voda dolazi u sustav preko dva tornja koji se nalaze 31 m ispod razine mora te je dobavlja na sustav reverzne osmoze. Sam pogon na krovu zgrade sadrži 5200 fotonaponskih modula koji proizvode 1 MW električne energije godišnje uz vjetrenjače koje dodatno osiguravaju energiju za pogon. Dobiveni koncentrat se miješa s otpadnom vodom iz Baix Llobregat za obradu otpadnih voda te se time koncentrat razrjeđuje i smanjuje utjecaj na okoliš.



Slika 10. Postrojenje za desalinizaciju u Barceloni, Španjolska

Australija, zbog svoje pustinske klime, koristi desalinizaciju za opskrbu pitke vode. Prvo desalinizacijsko postrojenje je napravljeno 2006. godine u gradu Perthu i služi kao glavni izvor pitke vode za stanovništvo. Pogon radi na principu reverzne osmoze te joj je početni kapacitet bio 140 000 m<sup>3</sup>/dan. S dodatnom nadogradnjom danas proizvodi 250 000 m<sup>3</sup>/dan. Sam pogon zahtjeva 24 MW snage što dobiva iz obližnje vjetroelektrane Emu Downs.

#### 4. Desalinizacija u Hrvatskoj

Republika Hrvatska, za razliku od većine Europskih zemalja, ima velika količine raspoložive pitke vode. Procjenjuje se na 150 L/st/dan što je dovoljno za opskrbljivanje stanovništva, poljoprivrede i industrije.(EUROSTAT, 2015). Zbog svog geografskog položaja i klime, dijelovi Hrvatske nemaju stalne izvore pitke vode, pogotovo područja uz obalu i otoci. Uz malu stopu padalina kroz godinu, 600 do 1200 mm/god, otoci i priobalni pojas imaju oskudice vode za vrijeme ljetnih razdoblja. Veći otoci, koji su stalno naseljeni, poput Krka, Cres, Hvara, Raba, Brača imaju riješen problem dobave vode s kopna pomoću dugih cjevovoda koji se protežu ispod mora. Problem predstavljaju manji i udaljeniji otoci na kojima ne bi bilo isplativo izgraditi duge cjevovode. Za sada postoji par desalinizacijskih postrojenja na otocima.

Otok Lastvo tijekom turističke sezone ima oko 2500 stanovnika, ali nema površinskih izvora pitke vode. Zbog toga je napravljeno desalinizacijsko postrojenje u Prgovom polju 1998. godine za desalinizaciju bočate vode na principu reverzne omoze. Kapacitet pogona je 300 m<sup>3</sup>/dan. Predobrada vode se radi pomoću multimedijskog tlačnog filtera te posttretman se radi pomoću UV sterilizatora. Dobiveni koncentrat se ispušta u more. Otok Mljet sadrži par izvora vode koji u ljetnim mjesecima zaslane te im je potrebna obrada da bi se dobila pitka voda. Izgrađena su tri desalinizacijska postrojenja, Sobra kapaciteta 143.83 L/min, Blato kapaciteta 181 L/min te Kozarica. Dugi otok, kao i Mljet, ima par izvora pitke vode koji su također zaslanjeni te ih je potrebno desalinizirati. Postrojenje za desalinizaciju je napravljeno 2005. godine. Na otoku Pagu u mjestu Poveljane je također napravljeno desalinizacijsko postrojenje bočate vode zbog manjka izvora pitke vode na tom mjestu. Otoci Susak i Unije također imaju desalinizatore s kapacitetom od 8 m<sup>3</sup>/sat. Glavna razlika ova dva desalinizatora je to što se na Susku desalinizira morska voda dok na Unijama se desalinizira bočata voda. Otok Krk, makar dobro opskrbljen vodom, oko 99 % stanovništva, sadrži dva desalinizatora u Staroj Baški s kapacitetom od 25 i 5 m<sup>3</sup>/h. Kompleks hotela u Petrčanima sadrži desalinizacijsko postrojenje na principu reverzne osmoze. Morska se voda crpi s dubine od 15 m na udaljenosti od 150 m od obale. Predtretman vode se vrši kroz mehanički filter te uz pomoć separatora koji služi za odvajanje ulja. Kapacitet pogona je 25 m<sup>3</sup>/sat.



## 5. Zaključak

Zbog promjene klime i sve češćih sušnih razdoblja, te porasta broja stanovnika na zemlji, opskrba stanovništva pitkom vodom će postati jedna od glavnih prepreka čovječanstva. Razvojem industrije i poljoprivrede sve će se više trošiti pitki izvori vode, a ujedno i onečistiti. Desalinizacija je moguće rješenje zbog velikog izvora sirovine, ali se moraju riješiti različite prepreke primjeni te tehnologije. Sam proces desalinizacije je skup, ne samo zbog kapitalne investicije, nego i zbog održavanja i velike potrošnje energije koja je potrebna za normalni rad pogona. Zemlje Bliskog istoka, koje su bogate fosilnim gorivima, mogu proizvesti velike količine energije potrebne za rad, ali izgaranjem fosilnih goriva se ispuštaju velike količine ugljičnog monoksida, ugljičnog dioksida, sumpornog dioksida i drugih plinova koji su jako štetni za okoliš. Rješenje se može naći u obnovljivim izvorima energije poput sunčeve energije, vjetra, geotermalne energije i hidro energije.

Prelazak prema obnovljivim izvorima energije u zadnjim godinama je doveo do napretka u toj tehnologiji, ali još uvijek nije konkurentna tradicionalnim elektranama koje rade na fosilna goriva zbog ovisnosti o vremenskim uvjetima i položaju. Napretkom te tehnologije u budućnosti će se možda riješiti problem opskrbljivanja energije. Desalinizacijski procesi koji koriste neku vrstu destilacije, poput MSF ili MED destilacije, koriste puno veće količine energije od membranskih procesa poput reverzne osmoze, te se zbog toga membranski procesi koriste u zemljama sa sjupljim izvorima energije. Uz problem visoke potrošnje energije, proces desalinizacije ovisi o kakvoći ulazne vode koja se desalinizira. TDS morske vode iznosi oko 32 000 mg/L dok TDS bočate vode iznosi oko 3500 mg/L što je čini puno lakšom za desalinizirati nego morsku vodu. Desalinizacijom se uz pitku vodu dobiva i koncentrat koji ima veliki udjel otopljenih tvari koji se inače ispušta u more.

Ispuštanjem neobrađenog koncentrata u more se jako šteti okolišu i potrebna mu je obrada prije ispuštanja. Uz velike količine otopljenih tvari, koncentrat sadrži i velike količine kemikalija iz predobrade vode koje jako štete okolišu. Rješenje se može naći u miješanju koncentrata s određenom količinom permeata. Promjena temperature morske vode može znatno utjecati na ekosustav mora što je veliki problem kod destilacijskih procesa. Zadnjih godina se sve više primjenjuje reverzna osmoza umjesto destilacijskih procesa jer se pokazala ekonomičnijom i pouzdanijom tehnologijom.

Hrvatska za razliku od većine svjetskih zemalja ima velike količine pitke vode. Područja uz obalu i otoci koji nemaju stalne izvore vode bi mogli koristiti lokalna desalinizacijska

postrojenja koja bi radila na obnovljive izvore energije poput sunčeve energije ili vjetroelektrana. Problem opskrbe pitke vode u budućnosti će biti sve veći, promjenom klime i zbog globalnog zatopljenja čekaju nas sve češća sušna razdoblja koje će utjecati na postojeće izvore vode, pogotovo u zemljama s malim brojem izvora. Hrvatska, koja je bogata pitkom vodom, imat će manje problema usporedivši je s drugim dijelovima svijeta.

## 6. Literature

Al-Karaghoul A.A., Kazmerski L.L.(2011), Desalination, Trends and Technologies: Renewable Energy Opportunities in Water Desalination, (Schorr M., ured), str. 149-185.

Al-Karaghoul A., Renne D., Kazmerski L.L., Renewable and Sustainable Energy Reviews: Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions.// Elsevier, 11 May 2008., str. 2397-2407.

Al-Mutaz I.S. (1991), Common Fundamentals and Unit Operations in Thermal Desalination Systems: Enviromental Impact of Seawater Desalination Plants, Vol 16, str. 75-84

Arnal, J.M., Sancho, M., Iborra, I., Goza´lvez, J.M., Santafe´, A., Lora, J., 2005. Concentration of brines from RO desalination plants by natural evaporation. Desalination 182, 435e439.

Bernut X., Gibert O., Guiu R., Tobella J., Campos C.(2010.), Re-thinking Water and Food Security: The economics of desalination for variouses, (L.M.Cortina, A.Garrido, L.Mgunn, ured), str 329-346.

Buljan R., Marković T.,Zelenika M.(2006), Rudarsko-geološki-naftni zbornik, Vol 18, str. 15-27.

Buros, O.K. (2000), The ABCs of Desalting, International Desalination Association.

Clyton R. (2011), Desalination for water supply, Fundation for Water Resaerch, UK.

Dadić Ž. (2000), Priručnik o temeljnoj kakvoći vode u Hrvatskoj, Pula.

California Department Health Service (DHS) Surface Water Treatment Staff Guidance Manual, California, 1993.

Energy, transport and environment indicators, EUROSTAT, 2015.

Frenkel, V., Gourgi, T. 1994. Water Treatment Systems: Bed Filtration and Desalination by Reverse Osmosis (RO).

Filipović, I. (2015), TEHNOLOGIJA DESALINACIJE KORIŠTENJEM SOLARNE I VJETRO ENERGIJE, ZAGREB.

Frenkel, V., Pankratz, T., 2004. Desalination Methods, Technology and Economics. Desalination Conference, April 16, 2004, The Seminar Group, Santa Barbara, California.

Goosen M, Mahmoudi H., Ghaffour N., Sablani S.S. (2011), Desalination, Trends and Technologies: Application of Renewable Energies for Water Destilation, (Schorr M., ured), str. 89-118.

Iličković, Z. (2007) »Membranski procesi.« u U čistije tehnologije, Tehnološki fakultet u Tuzli.

Iveković, H., Kunst, B., Ivić, S. (1995.), Desaliniacija, 1. izd, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb.

Mulder, M. (1996), Basic principles of membrane technology. London: Kluwer Academic Publishers.

Kurita handbook of water treatment, Second English edition, 1999.

Sambailo D., Ivić J., Krstulović A. (2005), Desalination vol 179, Economic evolution of the first desalination plant in Croatia, str. 339-344.

Tang, W., Ng, H.Y., (2008), Concentration of brine by forward osmosis: performance and influence of membrane structure desalination 224, str. 143-153.

“The Guidebook to Membrane Desalination Technology. Reverse Osmosis, Nanofiltration and Hybrid Systems. Process, Design and Applications” by M. Wilf with chapters by C. Bartels, L. Awerbuch, M. Mickley, G. Pearce and N. Voutchkov, Balaban Desalination Publications, 2006.  
[5] L. Stevens, J. Kowal, K. Herd, M. Wilf, W. Bates, Tampa Bay seawater desalination facility: start to finish, Proceedings of IDA Water Desalination Conference, Bahamas (2003).

## Izjava o izvornosti

*Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.*

---

ime i prezime studenta