

# Eksperimentalna analiza saliniteta mora

---

**Henezi, Valentino**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:462174>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

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



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**EKSPERIMENTALNA ANALIZA SALINITETA MORA**

Rijeka, ožujak 2023.

Valentino Henezi

9996006295

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**EKSPERIMENTALNA ANALIZA SALINITETA MORA**

Mentor: Prof. dr. sc. Lado Kranjčević

Komentor: Doc. dr. sc. Ozren Bukovac

Rijeka, ožujak 2023.

Valentino Henezi

9996006295

Rijeka, 16. ožujka 2022.

Zavod: **Zavod za mehaniku fluida i računarsko inženjerstvo**  
Predmet: **Mehanika fluida**  
Grana: **2.15.04 mehanika fluida**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Valentino Henezi (9996006295)**  
Studij: **Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva**

Zadatak: **Eksperimentalna analiza saliniteta mora / Sea Water Salinity Experimental Analysis**

### Opis zadatka:

Provesti komparativnu analizu elektroprovodljivosti različitih fluida. Opisati utjecaj parametra saliniteta mora u modelima procjene mikrobiološkog onečišćenja mora u obalnom morskom području. Provesti laboratorijska i in situ mjerenja elektroprovodljivosti, saliniteta i temperature vode i mora.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

*Valentino Henezi*

Zadatak uručen pristupniku: 21. ožujka 2022.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

*K. Kranjčević*

*K. Lenić*

Prof. dr. sc. Lado Kranjčević

Prof. dr. sc. Kristian Lenić

*Ozren Bukovac*

Doc. dr. sc. Ozren Bukovac (komentor)

## IZJAVA

Izjavljujem da sam prema članku 8. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku studija preddiplomskih sveučilišnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, samostalno izradio završni rad naslova „Eksperimentalna analiza saliniteta mora“ pod mentorstvom prof. dr. sc. Lade Kranjčevića i doc. dr. sc. Ozrena Bukovca.

Rijeka, ožujak 2023.

---

Valentino Henezi  
9996006295

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se profesoru dr. sc. Ladi Kranjčeviću, docentu dr. sc. Ozrenu Bukovcu i asistentici Marti Alvir na njihovoj pomoći i smjernicama pri pisanju ovog završnog rada.

# SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
2.	PODRUČJE ANALIZE .....	2
2.1.	Općenito o Jadranskom moru .....	2
2.2.	Riječki zaljev .....	5
3.	SALINITET I DESALINIZACIJSKI POSTUPCI .....	6
3.1.	Salinitet .....	6
3.2.	Desalinizacijski postupci .....	7
3.2.1.	Procesi promjena faza (termalni procesi) .....	7
3.2.1.2.	Višestruka destilacija .....	8
3.2.1.2.	Kompresija pare .....	9
3.2.1.3.	Višestupnjevita flash destilacija .....	10
3.2.2.	Membranski postupci .....	12
3.2.2.1.	Reverzna osmoza .....	12
3.2.2.2.	Elektrodijaliza .....	14
4.	POSTUPAK MJERENJA I REZULTATI .....	16
4.1.	Uređaj Proswap Handheld with GPS .....	16
4.1.1.	Kalibracija uređaja .....	19
4.2.	Postupak mjerenja .....	21
5.	ZAKLJUČAK .....	26
6.	LITERATURA .....	27
7.	SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLJESKOM JEZIKU .....	28
7.1.	Sažetak .....	28
7.2.	Summary .....	28
7.3.	Ključne riječi .....	28
7.4.	Keywords .....	28

## 1. UVOD

U ovom radu biti će prikazana eksperimentalna analiza saliniteta mora na obalnom području Rijeke. Također uz navedenu analizu saliniteta prikazat će se podatci izmjera temperature i elektroprovodljivosti. Navedene podatke dobivamo in situ mjerenjem. Uz obalno područje Rijeke pojavljuju se razni izvori kojima ćemo posvetiti posebnu pažnju.

Morska voda kao svaki termodinamički sustav, karakterizira određena fizikalna svojstva koja predstavljaju kvantitativne značajke sustava. Te vrijednosti nazivaju se parametri ili karakteristike stanja sustava. Za morsku vodu parametri stanja su masa, volumen, tlak, temperatura i slanost. Prva tri od navedenih parametara su mehanički. Temperatura je termodinamički parametar, dok su slanost i elektroprovodljivost fizikalno-kemijski parametri. Umjesto mase i volumena najčešće se koriste izrazi poput specifična težina i gustoća. In situ temperatura je temperatura izmjerena u moru termometrom.

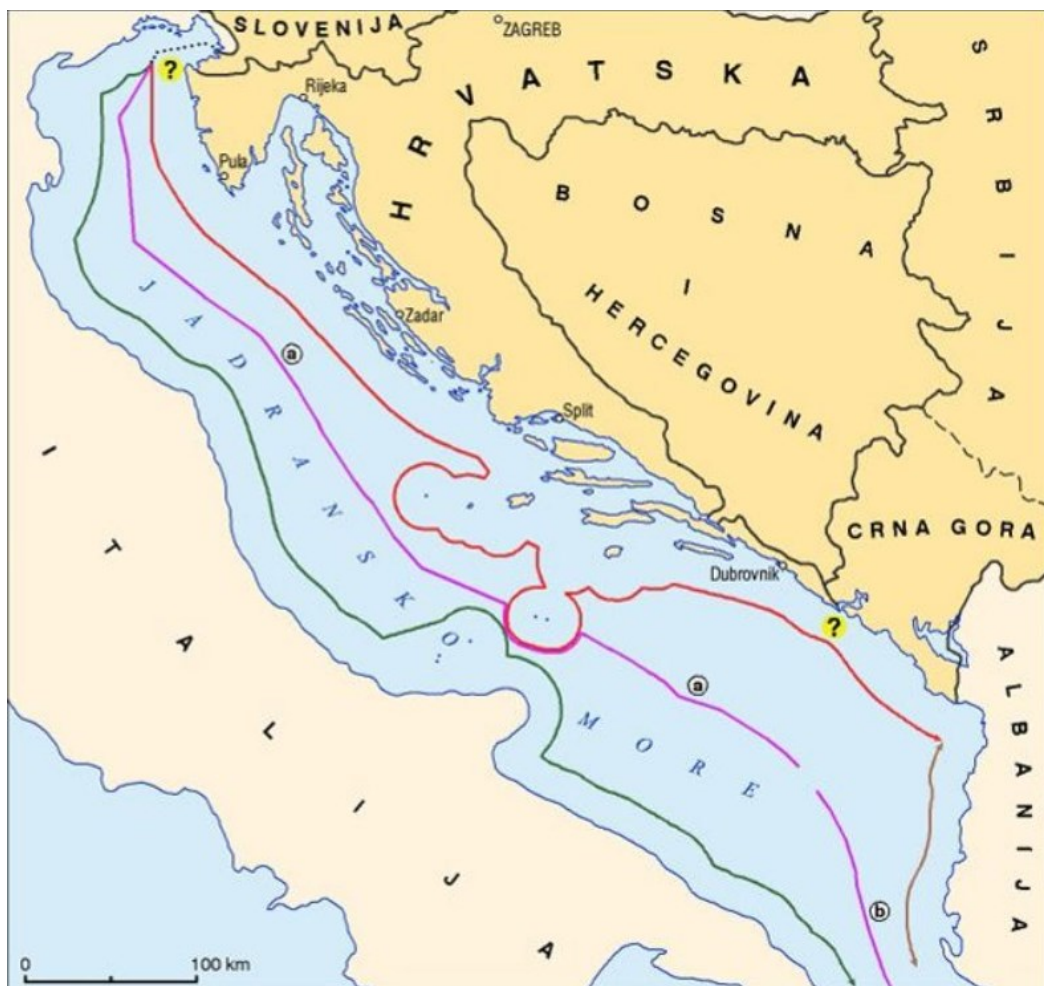
Zahvaljujući određivanju saliniteta i elektroprovodljivosti moći ćemo odrediti kolika će biti onečišćenja na obalnim morskim područjima. Za sve navedene parametre dobivamo podatke pomoću mjerenja specijalnim uređajem Proswap. Uređaj je prošao postupak kalibracije, stoga su podatci koje ćemo dobiti točni uz minimalna odstupanja.



## 2. PODRUČJE ANALIZE

### 2.1. Općenito o Jadranskom moru

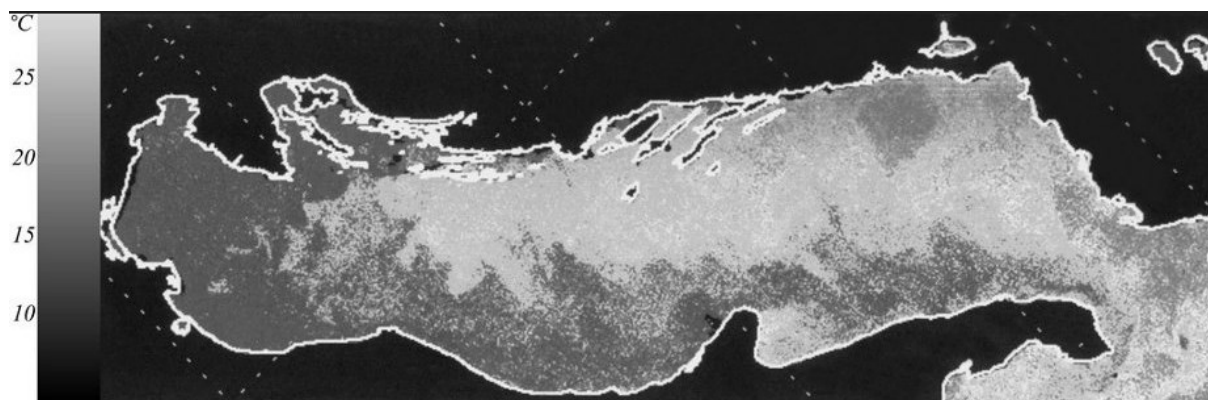
Jadransko more je dio Sredozemnoga mora koje se nalazi između Balkanskog i Apeninskoga poluotoka do Otrantskih vrata na jugoistočnom dijelu. Duljinom se proseže 783 km, dok prosječna širina iznosi 248,3 km. Dubina iznosi 173 m te obuhvaća površinu od 138 595 km<sup>2</sup>. Jadransko more je duga sinklinala, sjeverozapadni dio je aluvij alpskih rijeka poput rijeke Po, a krajnji jugoistočni dio je u neogenu presabran u kopno. Ovim procesom nastala su Otrantska vrata, koja spajaju Jadransko i Jonsko more [1]. Jadransko more je najpliće na krajnjem sjeverozapadu (Tršćanski zaljev, 24 do 26 m) [1].



Slika 2.1. Prikaz geografskog položaja Jadranskom mora [1]

Fizička svojstva i procesi u Jadranskom moru ovise o utjecaju atmosfere i kopnenih voda na more i međudjelovanju Jadranskog i Jonskog mora, pri čemu je topografija bazena važan kontrolni čimbenik. Kada je riječ o salinitetu, treba naglasiti da Jadransko more bazen dilucije, odnosno da primitak vode oborinom i kopnenim dotokom nadmašuje se gubitak tokom isparavanja, što znači da se sol unosi kroz Otrantska vrata. Slanost na površini opada s jugoistočnom dijela Jadrana u kojem iznosi 38‰ prema sjeverozapadnom dijelu bazena u kojem iznosi oko 35‰. U većim dubinama je veća i ujednačenija te iznosi oko 38,5‰. Na salinitet utječu vremenske promjene: godišnje (zbog manjeg saliniteta većeg dijela kopnene površine ljeti), međugodišnje (povezane s povremenim porastom saliniteta sredozemne vode koja otječe u Jadran – takozvanim jadranskim ingresijama) i dugogodišnje (prikazane kao blagi porast saliniteta u posljednjih nekoliko desetljeća) [1].

Temperatura mora uvelike je određena protokom topline na površini, koji uzrokuje zagrijavanje Jadrana tijekom toplijeg dijela godine i hlađenje tijekom hladnijeg dijela godine. Sve u svemu, Jadran predaje toplinu atmosferi, što znači da toplina ulazi kroz Otrantska vrata.

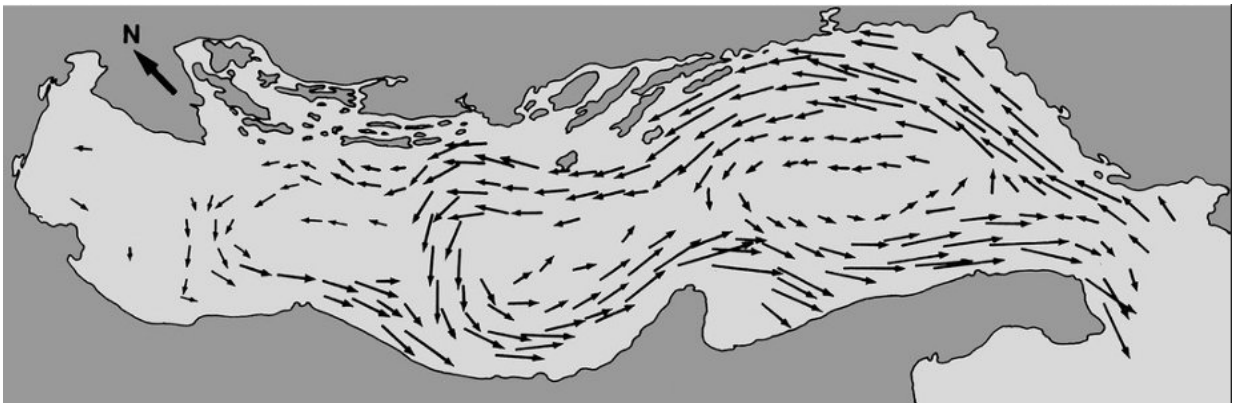


*Slika 2.2. Površinska snimka temperature mora snimljena satelitom [1]*

Površinske temperature najniže su u veljači i ožujku, a najviše u kolovozu, kada se u obalnom rezervatu uočavaju dnevna kolebanja temperature. Zimi su temperature okomito ujednačene u većem dijelu bazena, padajući od iznad 13 °C na jugu i istoku bazena do ispod 8 °C na sjeveru i zapadu. Ljeti je površinska temperatura relativno ujednačena između 24 i 25 °C, na dubinama između 10 i 30 m temperatura naglo opada s dubinom, dok je na većim dubinama između 12 °C i 14 °C [1].

Satelitski snimci Jadranskog mora pokazuju da su i zimska i ljetna temperaturna polja obilježena mnoštvom malih struktura poput vrtloga, niti itd. Vrlo su izražena i međugodišnja kolebanja temperature, tako da se u nekim zimama bilježe vrijednosti i do 4 °C, a u nekim ljetima vrijednosti su znatno više i od 28°C.

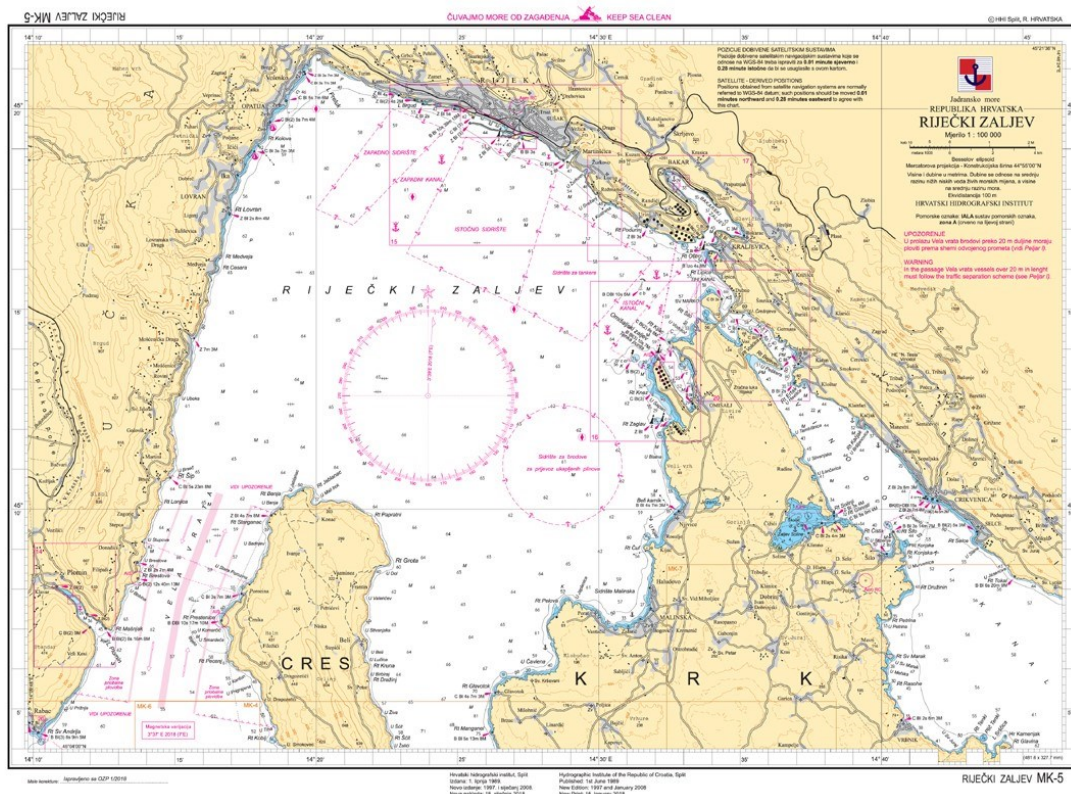
Opće strujanje na površini Jadrana je u smjeru suprotnom od kazaljke na satu, to jest strujanje teče uz hrvatsku obalu i izlazi na talijansku stranu, s nekoliko poprečnih tokova. Uočena su i odstupanja od ove jednostavne sheme, tako da se u toplijem dijelu godine uočavaju manja kružna strujanja u smjeru kazaljke na satu, a izlazna strujanja su razvijenija od ulaznih grana. Čak i na većim dubinama dominira strujanje u smjeru suprotnom od kazaljke na satu, pri čemu dominiraju priljevi u srednjim slojevima, a odljevi pri dnu [1].



*Slika 2.3. Površinska snimka strujanja mora snimljena satelitom [1]*

## 2.2. Riječki zaljev

Riječki zaljev, dio Jadranskog mora, smješten na istočnoj obali Istre, između Vinodola, Krka i Cresa, u unutrašnjosti Kvarnerskog zaljeva. Označeni akvatorij iznosi 450 četvornih kilometara, a ukupna duljina obalne crte iznosi 115 kilometara [2]. Kopneni okvir zaljeva određuje njegovu podvodnu topografiju. Dubina mora vrlo je ujednačena (dno zaljeva je uglavnom ravno), kreće se od 60 metara do 65 metara, a najveća je 67 metara kod rta Glavotok. Prosječni salinitet morske vode je 37,5‰, a zbog pojave jakih vrulja slanost mora niža je na ušću Rječine, Bakarskom zaljevu i od Opatije do Medveje. Postoji mala razlika (promjena mora 0,8 m) između plime i oseke. Dominantni vjetrovi su bura (često vrlo jaka), jugo i maestral [2]. Sve obale (osim otoka Krka) padaju prema moru, s nekoliko pogodnih prirodnih luka. U samom središtu zaljeva nalazi se Rijeka koja je ujedno i veliko lučko središte.

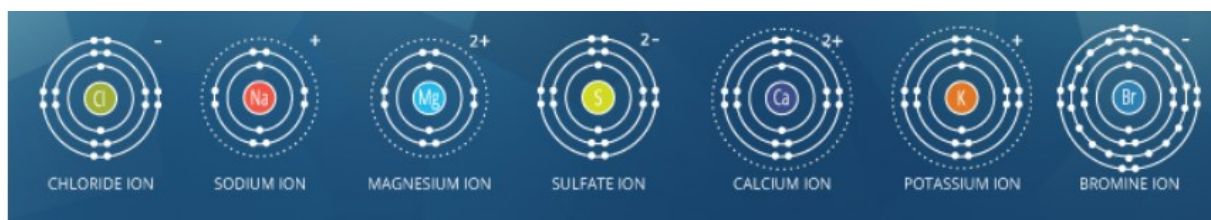


Slika 2.4. Prikaz Riječkog zaljeva na karti u mjerilu 1:100 000 [3]

### 3. SALINITET I DESALINIZACIJSKI POSTUPCI

#### 3.1. Salinitet

Kao osnovna definicija, salinitet je ukupna koncentracija svih otopljenih soli u vodi. Odnosno količina anorganskih soli izražena u gramima, a otopljena je u 1 kg morske vode. Izražava se u omjeru mase, kao bezdimenzijska jedinica, obično izražena u promilima (‰). Postoji mnogo različitih otopljenih soli koje doprinose salinitetu vode. Glavni ioni u morskoj vodi (s praktičnom slanošću od 35 ‰) su: klorid, natrij, magnezij, sulfat, kalcij, kalij, bikarbonat i brom. Mnogi od ovih iona također su prisutni u izvorima slatke vode, ali u puno manjim količinama. Ionski sastavi kopnenih izvora vode ovise o okolnom okolišu. Većina jezera i rijeka ima soli alkalnih i zemnoalkalijskih metala, s kalcijem, magnezijem, natrijem, karbonatima i kloridima koji čine visok postotak ionskog sastava. Slatka voda obično ima veći omjer bikarbonata dok morska voda ima veće koncentracije natrija i klorida.



Slika 3.1. Najčešći ioni u morskoj vodi [4]

Kao što vidimo (slike 3.1) u vodi su otopljene soli koje se sastoje od pozitivno i negativno nabijenih iona. Zbog toga salinitet snažno pridonosi elektroprovodljivosti. Elektroprovodljivost vode zavisi od koncentracije iona koji se nalaze u njoj. Morska voda sa velikom količinom soli je odličan vodič, dok destilirana voda koja je maksimalno pročišćena, gotovo i da ne može da provodi struju. Stoga zaključujemo, što je čišćija voda slabije provodi struju. Također, morska voda s većim udiom saliniteta imati će veću elektroprovodljivost.

### 3.2. Desalinizacijski postupci

Općenito, desalinizacija je postupak dobivanja vode iz slane otopine, tako da proizvod ne mora biti savršeno čista voda, već pitka voda s relativno niskom koncentracijom soli ( $> 500$  mg/l). U svijetu se koriste dvije glavne vrste tehnologije desalinizacije. Prvi se temelji na faznoj promjeni, a drugi na membranskim procesima. Obje zahtijevaju energiju kako bi mogle funkcionirati.



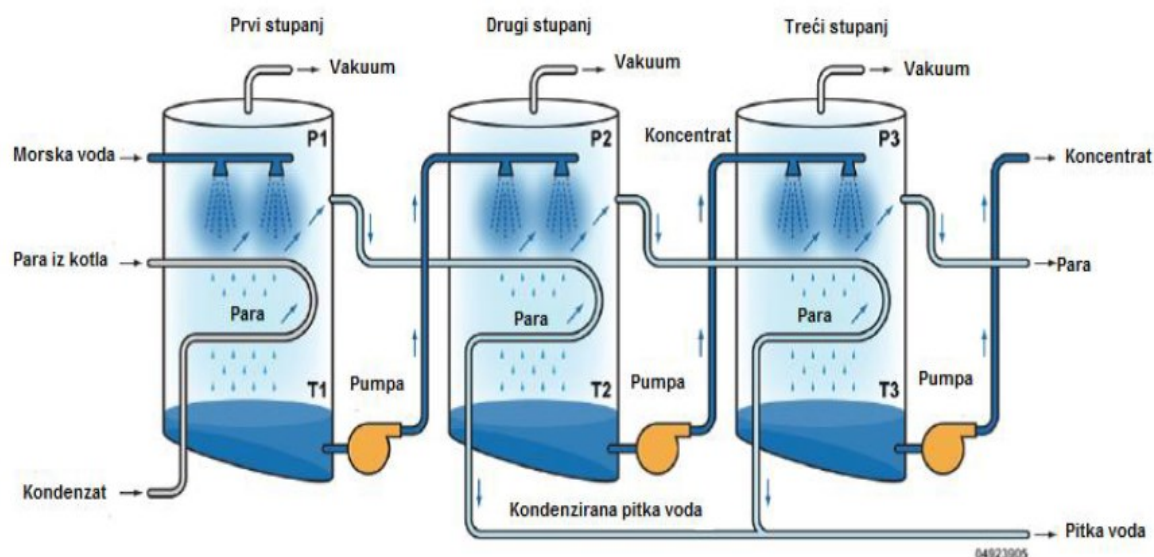
Slika 3.2. Shematski prikaz osnovnih desalinizacijskih tehnologija [5]

#### 3.2.1. Proces promjena faza (termalni procesi)

Procesi destilacije oponašaju ciklus vode u prirodi. Morska voda se zagrijava i proizvodi paru koja se kondenzira u vodu za piće. Trenutačno 25% postrojenja za desalinizaciju u svijetu radi na principu višestupnjevitog flash isparavanja. Zbog raspoložive i jeftinije toplinske energije te progresivnog razvoja tehnologije, koriste se višestruka destilacija i kompresija pare [5].

### 3.2.1.1. Višestruka destilacija

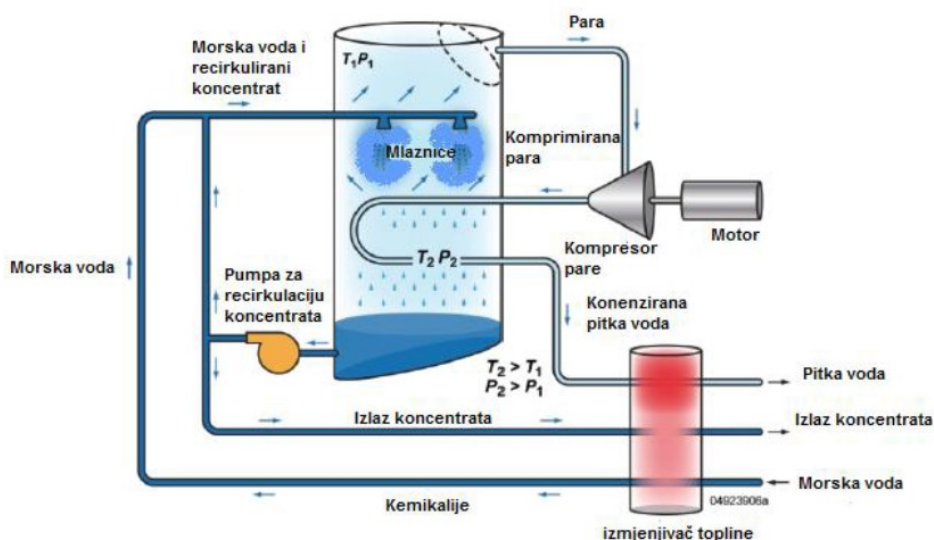
Postrojenje za višestruku destilaciju sastoji se od više isparivača u nizu. Morska voda se dovodi u prvi serijski isparivač gdje se neizravno zagrijava parom iz kotla ili drugog izvora energije. Novonastala para naziva se "sekundarna para" i usmjerava se u drugi isparivač gdje se koristi za zagrijavanje koncentrata morske vode iz prvog stupnja [5]. Energija koja se koristi za isparavanje slane vode je toplina kondenzacije pare u cijevima. Postupnim snižavanjem tlaka za nekoliko stupnjeva snižava se vrelište desalinizirane morske vode, omogućujući "sekundarnu paru" prethodne serije da zagrije desaliniziranu morsku vodu u sljedećoj seriji. Kondenzirana voda nastala nakon druge faze naziva se pitka voda. Prednost vertikalne destilacije je visoki stupanj iskorištenja topline. Njezin glavni nedostatak je stvaranje kamenca u kotlu, što zahtijeva velika ulaganja u opremu [6].



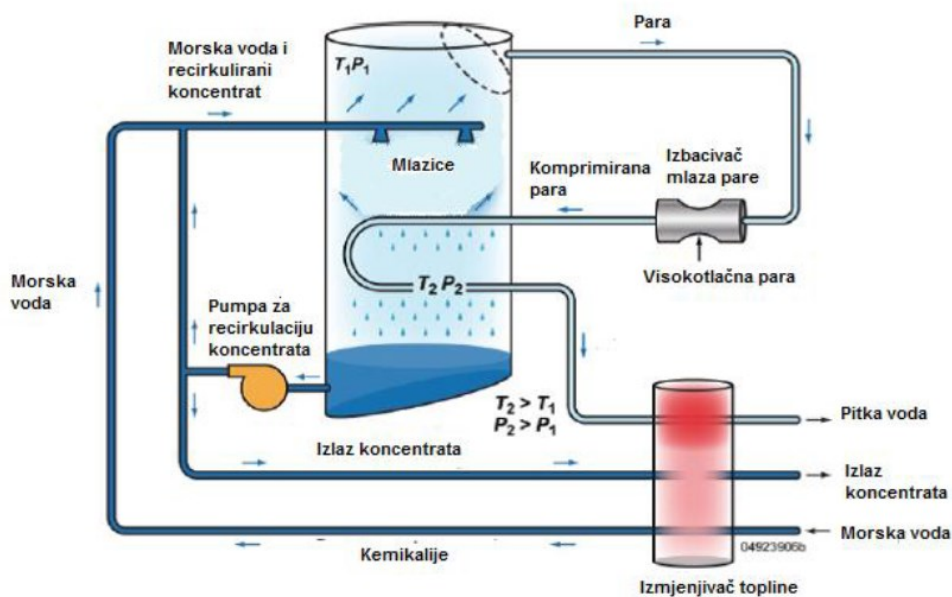
Slika 3.3. Shematski prikaz Destilacija u vertikalnim segmentima [5]

### 3.2.1.2. Kompresija pare

Destilacija kompresijom pare koristi se u malim i srednjim postrojenjima za desalinizaciju. Dvije osnovne metode koje se koriste su: (1) mehanička kompresija pare i (2) toplinska kompresija pare [6]. Mehanička kompresija pare obično se pokreće električnom strujom. Pomoću toplinskog kompresora pare, venturijeve cijev na parnoj mlaznici stvara i ispušta vodenu paru iz glavne posude i smanjuje tlak u posudi. Odvedena vodena para se komprimira s mlazom pare. Ta se smjesa kondenzira u cijevima, stvarajući toplinsku energiju za isparavanje morske vode [5].



Slika 3.4. Shematski prikaz desalinizacijskog postrojenja s mehaničkom kompresijom pare [5]



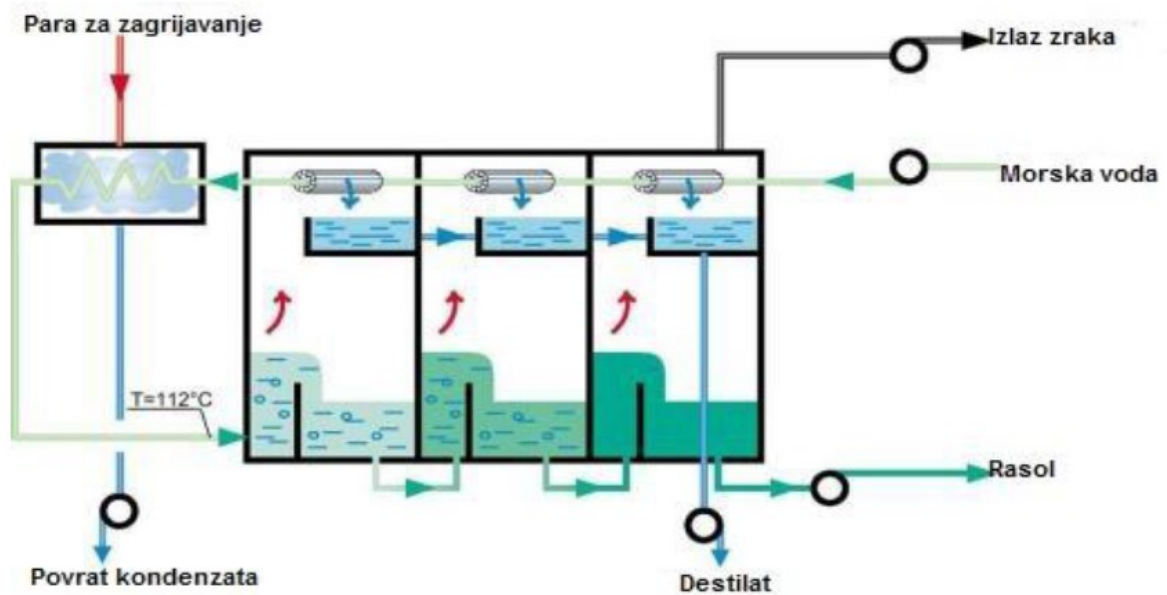
Slika 3.5. Shematski prikaz desalinizacijskog postrojenja s toplinskom kompresijom pare [5]



### 3.2.1.3. Višestupnjevita flash destilacija

Ova metoda primjenjuje se na dva načina: (1) sa jednim prolazom pojne vode kroz izmjenjivače topline i komore ili (2) dizajnom koji uključuje recirkulaciju rasola [7].

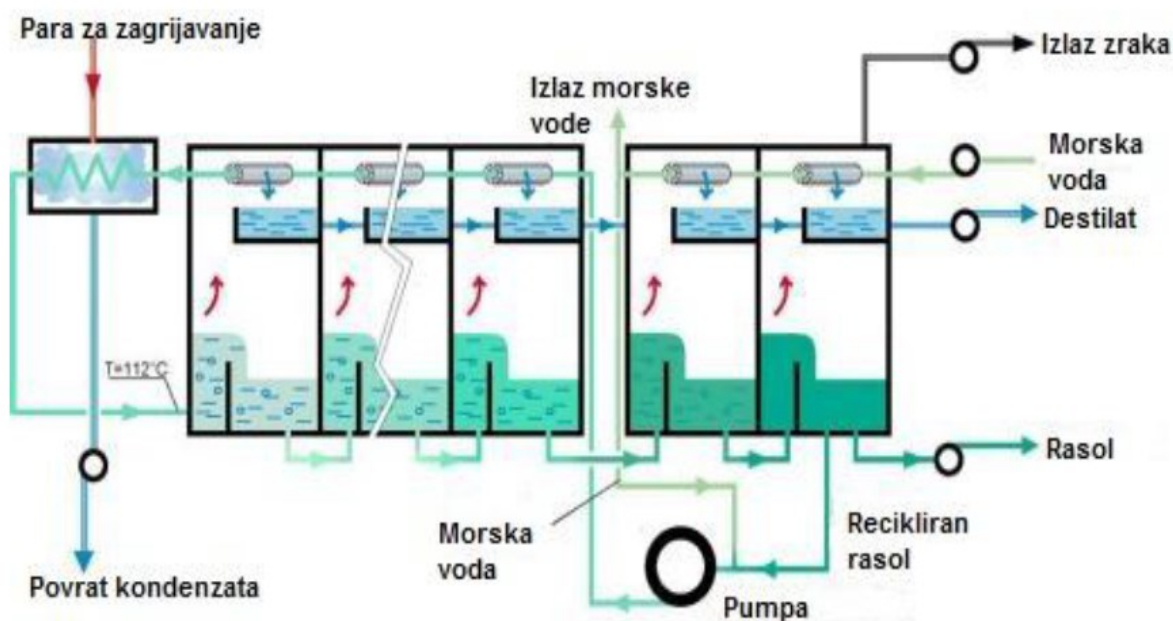
#### a) Višestupnjevita flash destilacija s jednim prolazom



Slika 3.6. Višestupnjevita flash destilacija s jednim prolazom pojne vode [7]

U višestupnjevitoj flash destilaciji s jednim prolazom ne postoji poseban dio za odbacivanje toplote. Pojna voda izravno ulazi u odjeljak za povrat toplote, prvo se zagrijava, onda prolazi kroz kondenzator te u konačnici se zagrijava u grijaču slane vode i potom prolazi kroz komore. U posljednjem dijelu ukupan protok slane vode je odbijen.

b) Višestupnjevita flash destilacija sa reciklirajućim rasolom



Slika 3.7. Višestupnjevita flash destilacija sa reciklirajućim rasolom [7]

Prednost konfiguracije recirkulacije slane vode je u tome što je prethodno obrađena morska voda veličine samo jedne trećine protočnog dizajna, većina snopova cijevi radi s deaeriranom slanom vodom s nižom korozijom, a otpušteni nekondenzivni plinovi se smanjuju čime se postiže veći stupanj učinkovitosti. Svaki stupanj sastoji se od flash komore i izmjenjivača topline u kojem se kondenzira para koja se isparava u komori. Nakon izlaska iz isparivača, jedan dio te zagrijane vode izbacuje se u more, dok se drugi dio koristi u samome postrojenju koji se potom obrađuje. Proizvodnja je također osigurana sa reciklirajućim rasolom iz zadnjeg stupnja prema kondenzatorima u ostalim stupnjevima, koji se nazivaju odjeljci za dobivanje topline i koja potom prolazi kroz grijač rasola.

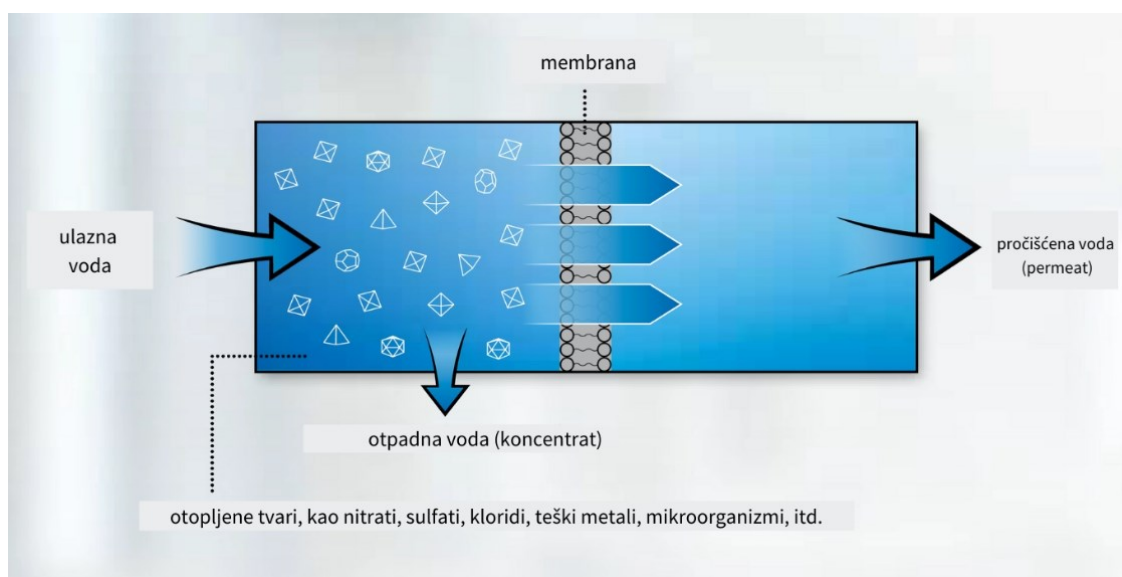
Višestupnjevita flash postrojenja sa reciklirajućim rasolom koriste se diljem svijeta [7]. Destilacija u jednom prolazu može se koristiti samo u manjim postrojenjima (kada trošak kemikalija nije jako bitan) i u regijama gdje temperatura mora ostaje konstantna tijekom cijele godine. Korozija je uobičajena u takvim postrojenjima, pa se mora koristiti nehrđajući čelik. Ipak, desalinizacija je najprimjenjivija u dijelovima svijeta gdje energije ima u izobilju i gdje je jeftina, poput Bliskog istoka.

### 3.2.2. Membranski procesi

Membranski procesi čine više od polovice ukupnog kapaciteta desalinizacije. Membrane i filtri selektivno dopuštaju ili onemogućuju prolaz određenim ionima i imaju važnu ulogu u odvajanju soli u prirodnim procesima dijalize i osmoze. Ovi prirodni principi koriste se u dva važna procesa desalinizacije: elektrodijalizi i reverznoj osmozi. Iako se obično koriste u desalinizaciji bočate vode, sve se više koriste u desalinizaciji morske vode. Velik broj sustava za desalinizaciju morske vode ugrađuje jedinice za filtriranje prije membranskih jedinica za uklanjanje onečišćivača koji utječu na dugotrajni rad filtera. Sustav filtracije uključuje Mikrofiltracija, nanofiltracija i ultrafiltracija [8].

#### 3.2.2.1. Reverzna osmoza

Reverzna osmoza (RO) je oblik tlačne filtracije u kojoj je filter polupropusna membrana koja propušta vodu, ali ne i sol [8]. Ovo odvajanje ne zahtijeva zagrijavanje ili fazne prijelaze, glavni energetski zahtjev je tlak pojne vode [5]. Raspon radnog tlaka za takva postrojenja je 17 do 27 bara za bočatu vodu i 55 do 82 bara za morsku vodu. Tipični sustav reverzne osmoze sastoji se od četiri glavna podsustava: sustav za prethodnu obradu, visokotlačne pumpe, membranski modul i sustav za nakon obradu. Priprema pojne vode, koja obično uključuje sterilizaciju pojne vode, filtraciju i dodavanje kemikalija za sprječavanje bioloških onečišćenja, ključno je jer su membrane osjetljive na onečišćenje. Sustav nakon obrade uključuje sterilizaciju, stabilizaciju i mineralno obogaćivanje proizvedene vode.

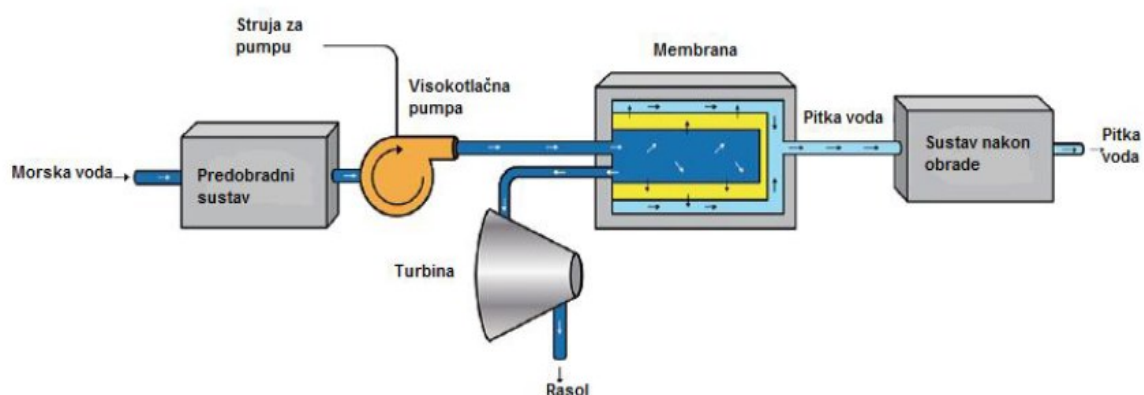


Slika 3.8. Prikaz reverzne osmoze [9]

U praksi se prethodno obrađena slana otopina pumpa u zatvorenu posudu uz pomoć visokotlačne pumpe koja istiskuje membranu. Kako dio vode prolazi kroz membranu, sadržaj soli u preostaloj napojnoj vodi se povećava jer ima manje vode uz istu ukupnu količinu otopljenih soli.

Istovremeno, dio pojne vode s većim sadržajem soli ispušta se kao koncentrirani tok otpadne vode pod visokim pritiskom bez prolaska kroz membranu. Membrane moraju imati veliku površinu i obično su izrađene od polimera. Dvije najčešće korištene membrane za reverznu osmozu na tržištu su spiralne membrane i membrane od šupljih vlakana. Membrane koje se koriste za desalinizaciju morske vode obično su izrađene od celuloznih diacetatnih i triacetatnih spojeva ili tankih folija koje su obično izrađene od poliamida ili polisulfona. Cijena, kvaliteta pojne vode i kapacitet proizvodnje vode mogu utjecati na odluku kada koristiti koju membranu.

Tijekom prošlog desetljeća dva su poboljšanja pomogla u smanjenju operativnih troškova postrojenja reverzne osmoze, a to su: razvoj membrana koje mogu učinkovito raditi pri nižim tlakovima i korištenje uređaja za regeneraciju energije [5]. Glavni proizvođači membrana u svijetu su Sjedinjene Države i Japan [8].

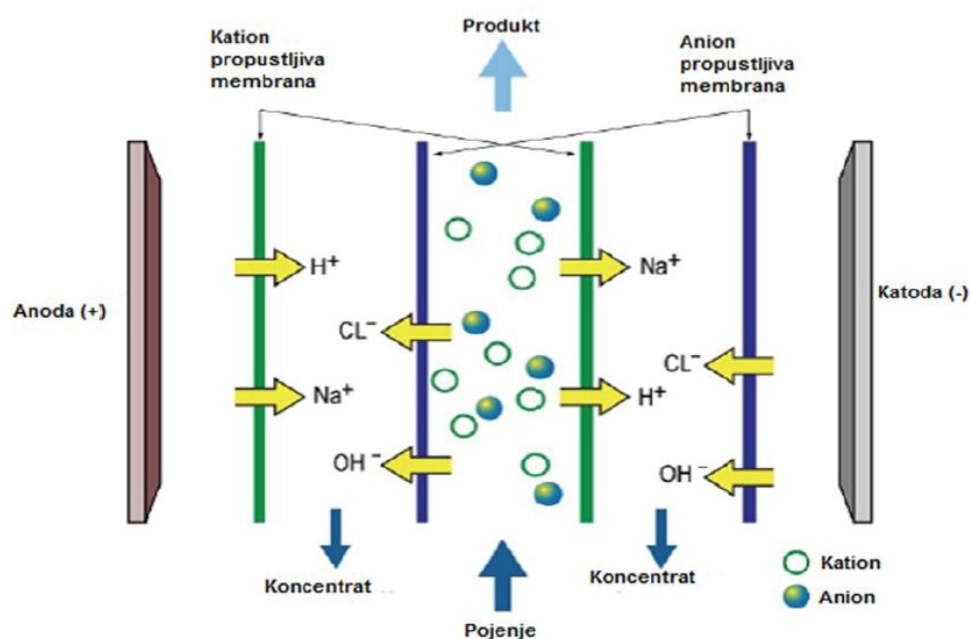


Slika 3.9. Shematski prikaz desalinizacijskog postrojenja uporabom reverzne osmoze [8]

### 3.2.2.2. Elektrodijaliza

Elektrodijaliza je proces elektrokemijske separacije koji koristi električnu struju za selektivno premještanje iona soli kroz membranu, stvarajući pitku vodu. Elektrodijaliza se sastoji od sljedećih osnovnih komponenti: predobradnog sustava, membranske zalihe, niskotlačne cirkulacijske pumpe, napajanja i sustava nakon obrade vode.

Elektrode su spojene na vanjski izvor istosmjerne struje u posudi slane vode, uzrokujući migriranje pozitivno nabijenih iona prema katodi, a negativno nabijenih iona prema anodi. Salinitet vode se uklanja dok voda prolazi kroz ionsko selektivne membrane smještene između dvije elektrode. Ove membrane sastoje se od ravnih polimera koji su prošli poseban tretman koji stvara mikropukotine na plastičnoj površini filma. Membrane propusne za anione dopuštaju anionima prolaz do pozitivne elektrode, ali odbijaju katione. Slično, membrane propusne za katione dopuštaju kationima da prođu do negativno nabijene elektrode, ali odbijaju anione.



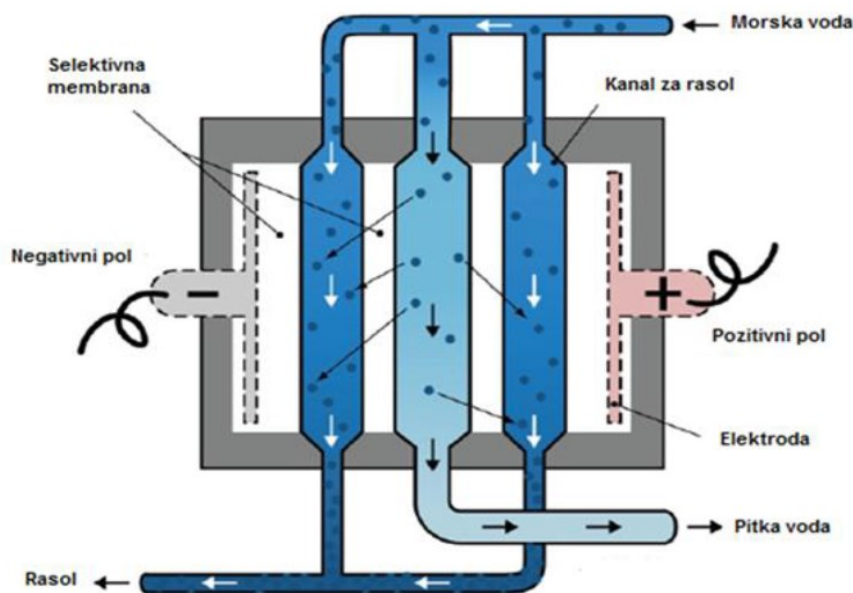
Slika 3.10. Ionske izmjene u procesu elektrodijalize [8]

U praksi se između para elektroda koristi više parova membrana, tvoreći snop elektrodijalize. Napojna voda prolazi kroz sve jedinice istovremeno u paralelnim stazama, osiguravajući kontinuirani protok proizvedene vode i rasola.

U novije vrijeme u upotrebi je proces reverzne elektrodijalize koja radi na istom principu kao i opće standardno postrojenje, osim što su proizvodni kanal i kanal za rasol oboje jednaki u izvedbi [8].

U intervalima od nekoliko puta na sat mijenja se polaritet elektroda i istovremeno se izmjenjuju struje tako da kanal rasola postaje kanal vode i obrnuto. Kao rezultat toga, ioni se privlače preko membrane u suprotnom smjeru. U intervalima od nekoliko puta na sat mijenja se polaritet elektroda i istovremeno se izmjenjuju struje tako da kanal rasola postaje kanal vode i obrnuto. Kao rezultat toga, ioni se privlače preko membrane u suprotnom smjeru. Čim se polaritet i protok obrnu, dovoljna količina proizvedene vode se odbacuje i vodovi se ispiru dok se ne uspostavi željena kvaliteta vode. To traje otprilike jednu do dvije minute, nakon čega jedinice mogu nastaviti proizvoditi vodu. Obrnuti proces koristan je za razgradnju i ispiranje vlage, mulja i drugih onečišćenja prije nego što postanu problem [5].

Reverzna elektrodijaliza zahtijeva minimalnu prethodnu obradu pojne vode i minimalnu upotrebu kemikalija za čišćenje membrane. Postupak elektrodijalize je obično prikladan samo za bočatu vodu sa salinitetom do 12 000 ppm. Pri većem salinitetu, proces brzo postaje skuplji od ostalih procesa desalinizacije jer je potrošnja energije izravno proporcionalna salinitetu vode [8].



Slika 3.11. Shematski prikaz desalinacijskog postrojenja koje koristi elektrodijalizu [8]

## 4. POSTUPAK MJERENJA I REZULTATI

### 4.1. Uređaj Proswap Handheld with GPS

Uređaj Proswap upakiran u paketu zajedno sa sondom za mjerenje elektroprovodljivosti i saliniteta. Također, potrebno je naglasiti da se uređaj može nadograditi novim sensorima te time postići nove funkcije koje trenutno ne mogu izmjeriti. Naravno, tokom eksperimenta su potrebni senzori za salinitet, elektroprovodljivost i temperaturu, stoga nisu potrebne dodatne nadogradnje.



*Slika 4.1. Prikaz dijelova prije samog sklapanja*

Na samom početku instalacije uređaja potrebno je raspakirati sve dijelove te potom prema uputama sklopiti u jedan funkcionalan uređaj za mjerenje. Paket se sastoji od: samog uređaja, sonde za temperaturu, posebnu sondu za salinitet i elektroprovodljivost, tekućine za kalibraciju, kabla i zaštitnog cilindra.

Prvobitno, potrebno je kablov s jedne strane priključiti u uređaj, a s druge strane staviti na Proswap Logger koji u sebi ima senzore za temperaturu i dubinu. Potom uključiti uređaj i provjeriti da li na ekranu prikazuje senzore vezane za dubinu i temperaturu. Sljedeći korak je maknuti zaštitne čepove koji su štitili osjetljive dijelove koji koriste za spajanje sa novim senzorom saliniteta i elektroprovodljivosti.



*Slika 4.2. Spajanje Pro Logger-a s senzorom saliniteta i elektroprovodljivosti*

Tokom spajanja Pro Logger-a zajedno sa senzorom saliniteta i elektroprovodljivosti, prvo je potrebno podmazati dijelove gdje je prsten od senzora. Nakon toga treba oprezno rotirati senzor sve dok se nisu međusobno priključili. Na kraju potrebno je zategnuti držač matice u smjeru kazaljke na satu sve dok ne upadnu u utore.

Ponovno uključivanje zaslona uređaja omogućuje provjeru da li su prepoznati senzori za salinitet i elektroprovodljivost. Pri završetku stavljamo zaštitni cilindar koji štiti osjetljive senzore od nepredviđenih udaraca tokom mjerenja.



Tokom završetka svih koraka dobivamo konačno sklopljen uređaj za mjerenje. Stoga, potrebno je ući pod postavke i postaviti mjerne jedinice radi lakšeg korištenja. Na početni zaslon također može staviti parametre koji su potrebni tijekom mjerenja. U eksperimentu su potrebni sljedeći: temperatura, elektroprovodljivost i salinitet. Stoga, ova tri parametra se nalaze na početnom zaslonu tokom paljenja uređaja u zadanim mjernim jedinicama.



*Slika 4.3. Konačan izgled uređaja sa svim dijelovima*

#### 4.1.1. Kalibracija uređaja

Odlaskom na nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije izvršilo se mjerenje vode u usporedbi s uređajem Pro30 Handheld. Pro30 Handheld bio je kalibiran te smo htjeli vidjeti odstupanja u usporedbi s Proswap Handheld uređajem. Mjerenja su provedena više puta kako bih bili sigurni u točnost Proswap uređaja. Odstupanja nisu bila primjetna, jedino Proswap ima zaokruživanje na drugoj decimali, a Pro30 na prvoj decimali. Tokom usporedbe vrše se provjere do decimale koju sadrže oba uređaja i rezultati se gotovo podudaraju.



Slika 4.4. Podatci mjerenja dobiveni Pro30 Handheld uređajem



*Slika 4.5. Podatci mjerenja dobiveni ProSwap Handheld uređajem*

Iz slika se vidi da podatci jednog i drugog uređaja odstupaju u nekim parametrima, ali odstupanja su u dozvoljenim intervalima. Stoga, nije potrebno dodatno kalibrirati uređaj za svaki parametar zasebno. Nakon određenog broja mjerenja potrebno je opet provjeriti točnost mjerenja na zavodu ili kalibrirati pomoću tekućina koja su dana zajedno s uređajem.

Također, važno je napomenuti da nakon svakog mjerenja potrebno uređaj očistiti i osušiti, kako bi mjerenja bila što točnija i preciznija.

## 4.2. Postupak mjerenja

Odlaskom na poznatu riječku plažu pod nazivom Kantrida, započinje postupak mjerenja. Ova lokacija od posebne važnosti zato jer na njenom području nailazimo na razne izvore. Posebnost mjerenja imaju lokacije gdje se nalaze sami izvori jer na tim lokacijama podatci znato osciliraju što ćemo vidjeti iz dobivenih rezultata. Mjesta na kojima izvršavamo mjerenja biti će prikazana na slici 4.6.



*Slika 4.6. Prikaz lokacija gdje su izvršena mjerenja*

Na lokalitetu mjerenja nisu izmjereni svi izvori koji postoje, zbog sigurnosti mjeritelja i opreme. Također, važno je naglasiti da su mjerenja obavljena u vrijeme kada nije bilo padalina dva tjedna te većina izvora koji postoje iznad površine mora je presušilo. Kad bi se mjerenja ponovila par dana nakon padalina bilo bi znatno više izvora, stoga bi oscilacija bile znatno veće tokom mjerenja. Postupak samog mjerenja bio jako jednostavan, pažljivo smo uronili uređaj u more na mjesto gdje se nalaze izvori, te učitali dobivene podatke.

Podatci koji su bili potrebni za eksperiment su salinitet, temperatura i elektroprovodljivost. Podatci kod učitavanja saliniteta i elektroprovodljivosti znatno su oscilirali. Iz tog razloga u tablici 4.1 su ti podatci prikazani u intervalnim razmacima.

Tablica 4.1. Rezultati mjerenja saliniteta, elektroprovodljivosti i temperature

Lokacija	Salinitet (‰)	Elektroprovodljivost ( $\frac{mS}{cm}$ )	Temperatura (°C)
1.	23,28 - 24,52	27,812 - 28,781	11,2
2.	25,03 - 26,01	29,204 - 30,642	11,6
3.	34,20 - 35,15	38,543 - 39,979	12,2
4.	22,11 - 27,72	26,191 - 32,120	11,1-11,5
5.	34,95	39,651	12,5
6.	0,26	0,391	10,8
7.	0,30	0,451	10,3
8.	22,35 – 26,72	26,320 - 30,963	10,8
9.	33,38 – 34,63	38,477 - 39,771	11,1
10.	1,70 – 21,86	2,403 - 25,724	11,5 - 12,3
11.	0,31	0,463	11,1
12.	0,30	0,451	10,4

Nakon izvršenog mjerenja, dobivamo podatke iz 9 različitih izvora. Prije samog argumentiranja lokacija na kojima se nalaze izvori, pod lokacijom 5 obavljeno mjerenje gdje nema izvora, stoga se vidi jasna razlika tokom mjerenja u odnosu na izvore.

Pod lokacijama 1 i 2 dobivamo relativno slične podatke mjerenja te protočnost je srednjeg intenziteta, dok lokacija pod brojem 3 ima jako nisku protočnost kao što vidimo iz dobivenih rezultata. Količina vode koja ulazi u more je relativno mala da bi utjecala na salinitet i temperaturu. Također, važno je napomenuti da su sva tri izvora ispod površine mora.

Pod lokacijama 6, 7, 11 i 12 je vidljivo relativno nizak salinitet, to jest salinitet pitke vode. Možemo primjetiti da temperatura na samom izvoru pitke vode manja čak do 2 °C s obzirom na more. Izvor na lokaciji 11 se nalazi iznad površine mora, dok ostali se nalaze ispod površine mora. Specifično je što kod toga izvora temperatura veća, što znači da na površini sunce zagrijava izvor.



*Slika 4.7. Prikaz izvora pod brojem 1*

Kod podvodnih izvora najčešće je uočljiva pojava ekscentričnih kružnica na površini mora, što je vidljivo iz slike 4.7.

Kod lokacija 4 i 10 vide se sličnosti u tome što imaju veća odstupanja u rezultatima od ostalih izvora. Jasno je vidljivo da kod broja 10 izuzetno osiliraju podatci. Kod tih izvora se dovode velike količine vode u more. Samim time se moru smanjuje salinitet u većim razmjerima, te temperatura također oscilira i nije stalna kao na ostalim izvorima. Izvor 4 je potopljeni izvor na dubini od 1 metar, dok izvor 10 nalazi se malo iznad razine površine mora.



*Slika 4.8. Prikaz izvora pod brojem 10*

Izuzetno specifično područje mjerenja su bile lokacije pod brojem 7, 8 i 9. Pod brojem 7 se nalazi izvor gdje su dobiveni podatci pitke vode, nakon toga obavljenim mjerenjem na 1 metar udaljenosti od samog izvora učitavamo podatke pod brojem 8. Stoga obavljenim mjerenjem na 2 metra udaljenosti od izvora učitavamo podatke pod brojem 9. Iz podataka možemo vidjeti kako se salinitet, elektroprovodljivost i temperatura povećavaju udaljavajući se od izvora. Stoga možemo zaključiti da nakon 2 metra već predvlada more.



*Slika 4.9. Mjeritelj tokom obavljanja mjerenja pod brojem 5*

Uz dobivene rezultate vidimo da na svakom izvoru temperatura manja u odnosu na ostatak dijelova mora i to za otprilike 1 do 3 °C. Dodatnim mjerenjem pomoću termalne kamere smo se uvjerali u točnost podataka vezanih za temperaturu. Salinitet je također manji kada se mješa zajedno sa vodom, a s smanjenjem saliniteta dolazi do smanjenja elektroprovodljivosti.

Važno je napomenuti da je salinitet fiksna vrijednost i ona utječe na povećanje ili smanjenje bakterija. Povećanjem udjela soli smanjuje se nastajanje bakterija. Najčešći uzrok nastajanja tih bakterija su izvori vode gdje su obavljena mjerenja.

Tokom mjerenja smo primjetili kako salinitet raste s porastom dubine, a temperatura opada. Porast saliniteta se događa zbog toga što je u dubini veća gustoća nego na površini. Mjerenja nisu bila obavljena na velikim dubinama, te rezultati nisu previše bili dugačiji osim uočljivih promjena na drugoj decimali.



## 5. ZAKLJUČAK

Nakon mjerenja saliniteta, elektroprovodljivosti i temperature na samim izvora uočavamo velike oscilacije. Oscilacije nam pokazuju područja gdje se voda iz izvora pomiješa s morem. Dobivenim rezultatima možemo zaključiti da pristizanjem veće količine vode znatno povećavaju oscilacije i intervalne razmake u rezultatima. Iznos saliniteta na samom izvoru je manji u odnosu na more, stoga elektroprovodljivost je bila također manja. Podatci o temperaturi se također smanjuju na izvorima gdje izvire hladnija voda u usporedbi s morem. Mjerenje na udaljenosti nekoliko metara od izvora dobivamo podatke koji karakteriziraju morsku vodu. Analizom smo uočili da voda iz izvora puno manje provodi električnu struju u odnosu na morsku vodu. Mjerenje na većim dubinama utječe na povećanje saliniteta zbog veće gustoće morske vode. Također, povećanjem dubine smanjuje se i temperatura. Uzrok nastajanja izvora su najčešće padaline, te podzemne vode koje se nalaze i slijevaju u more. Važno je napomenuti da područja s izvorima nisu baš pogodna za kupanje jer se stvaraju bakterije. Rezultati ove eksperimentalne analize u budućnosti biti će podloga za daljnja istraživanja Riječkog obalnog područja.

## 6. LITERATURA

- [1] „Jadransko more“, s interneta, <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=28478> 10. siječanj 2023.
- [2] „Riječki zaljev“, s interneta, <https://www.istrapedia.hr/en/natuknice/3048/rijecki-zaljev> 11. siječanj 2023.
- [3] „Riječki zaljev“, s interneta, <https://www.hhi.hr/en/e-services/notice-to-mariners/detail/pmid/2549> 11. siječanj 2023.
- [4] „Conductivity, Salinity & Total Dissolved Solids“, s interneta, <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/> 20. siječanj 2023.
- [5] Al-Karaghoulī, A. i dr.: „Renewable and Sustainable Energy“ 2008.
- [6] Kunst, B.: „Mjesto desalinacijskih postupaka u vodoopskrbi naših otoka“ 1998.
- [7] Tzen, E.: „Desalination Technologies“, s interneta, [http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/PRODES/DESALINATION\\_GENERAL\\_1.pdf](http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/PRODES/DESALINATION_GENERAL_1.pdf) 25. siječanj 2023.
- [8] Al-Karaghoulī, A. i dr.: „Renewable Energy Opportunities in Water Desalination“ 2011.
- [9] „Reverzne osmoze“, s interneta, <https://www.erwo.hr/prociscavanje-vode/reverzne-osmoze> 02. veljače 2023.

## **7. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLESKOM JEZIKU**

### **7.1. Sažetak**

U ovom radu objašnjen je pojam saliniteta i koji su postupci najčešće korišteni kod desalinizacije. Objasnjeno je načino pripreme i tijek samog mjerenja specijalim uređajem. Mjerenja se obavljaju na samim vodenim izvorima koji se nalaze iznad ili ispod površine mora. Dobiveni podatci mjerenja su salinitet, elektroprovodljivost i temperatura pomoću kojih se objašnjava utjecaj vodenih izvora u moru.

### **7.2. Summary**

This paper explains the concept of salinity and procedures which are most often used in desalination. The method of preparation and the course of the measurement itself with a special device are explained. Measurements are performed at the water sources, which are located above or below the surface of the sea. The obtained measurement data are salinity, electrical conductivity and temperature, which are used to explain the influence of water sources in the sea.

### **7.3. Ključne riječi**

Salinitet, desalinizacija, elektroprovodljivost, temperatura, dubina mora

### **7.4. Keywords**

Salinity, desalination, electrical conductivity, temperature, sea depth