

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Gregorič, E., 2016. Vplivi izpusta slanice iz razsoljevalnih naprav na okolje. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Brilly, M., somentor Žagar, D.): 61 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5787/>

Datum arhiviranja: 13-10-2016

University  
of Ljubljana  
Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Gregorič, E., 2016. Vplivi izpusta slanice iz razsoljevalnih naprav na okolje. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Brilly, M., co-supervisor Žagar, D.): 61 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5787/>

Archiving Date: 13-10-2016

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM VODARSTVO IN  
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

**ELIO GREGORIČ**

**VPLIVI IZPUSTA SLANICE IZ RAZSOLJEVALNIH  
NAPRAV NA OKOLJE**

Diplomska naloga št.: 324/VKI

**ENVIRONMENTAL IMPACT OF BRINE DISCHARGE  
FROM DESALINATION PLANT**

Graduation thesis No.: 324/VKI

**Mentor:**

prof. dr. Mitja Brilly

**Somentor:**

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Ljubljana, 13. 09. 2016

PAGINA ERRATA / STRAN ZA POPRAVKE

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

Spodaj podpisani študent Elio Gregorič, vpisna številka 26300074, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Vplivi izpusta slanice iz razsoljevalnih naprav na okolje.

### IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ljubljani

Datum: 17.avgusta.2016

Podpis študenta:

\_\_\_\_\_

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

<b>UDK:</b>	<b>551.463:502.5(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Elio Gregorič</b>
<b>Mentor:</b>	<b>prof. dr. Mitja Brilly</b>
<b>Somentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Dušan Žagar</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Vplivi izpusta slanice iz razsoljevalnih naprav na okolje</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomsko delo – Univerzitetni študij</b>
<b>Obseg:</b>	<b>61 strani, 26 slik, 22 preglednic, 6 grafikonov</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>razsoljevanje, reverzna osmoza, izpust slanice, okoljski vplivi</b>

### **IZVLEČEK:**

Zaradi večanja svetovne populacije in razvoja se potrebe po pitni vodi povečujejo. Ker so viri sladke vode omejeni ali že močno izkoriščeni, je po nekod potrebno zagotoviti pitno vodo iz drugih virov. Razsoljevanje nudi dobro alternativo klasičnim virom pitne vode, vendar ima vsaka tehnologija svoje vplive na okolje. Največjo obremenitev za okolje pogosto predstavlja odpadna slanica, saj vsebuje visoke koncentracije soli, v kateri so sledi drugih kemikalij, ki se uporabljajo pri razsoljevanju. V diplomskem delu so povzete raziskave o vplivih na okolje, ki so jih tuji raziskovalci izvedli na napravah, ki obratujejo že več let. Predstavljene so glavne kemične spojine, prisotne v odpadni slanici, in njihov vpliv na okolje. V drugi polovici naloge so prikazani načini izračuna razredčenja slanice v morju. Na podlagi analize podatkov iz oceanografske boje Vida sem za izračun začetnega razredčenja v različnih pogojih za teoretični izpust slanice v tržaškem zalivu uporabil statični mode. Izračuni so izdelani za tri možne iztoke iz manjše razsoljevalne naprave v različne okoljske pogoje in za različne dimenzije šobe.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDK:** 551.463:502.5(043.2)

**Author:** Elio Gregorič

**Supervisor:** Prof. Mitja Brilly Ph.D.

**Co supervisor:** Assoc. Prof. Dušan Žagar Ph.D.

**Title:** Environmental impact of brine discharge from desalination plant

**Document type:** Graduation thesis – University studies

**Notes:** 61 pages, 26 figures , 22 tables, 6 charts

**Key words:** desalination, reverse osmosis, brine discharge, diffusers, environmental impact

### **ABSTRACT**

Population growth demands constant increase in drinkable water production. Many developing countries have a shortage of fresh water so they have to tap into alternative water sources. Desalination technologies provide the possibility to produce fresh water from sea or brackish water. Every technological process has its by-products; the major one in desalination is the rejected brine. This thesis presents some research made on the influence of brine discharge on the marine environments and the brine chemical characteristics from the desalination plants in the Mediterranean region. The second half of the thesis is dedicated to brine discharge modelling and calculation of near zone dilution. Analysing data received from the oceanographic buoy Vida, the near zone dilution for a small desalination plant in the gulf of Trieste is being calculated. Calculations are made for three different output flows with different output diffusers with the average and critical temperatures and salt concentration of the sea environment.

## **Zahvala**

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Mitji Brillyju in somentorju izr. prof. dr. Dušanu Žagarju za pomoč in hitro dosegljivost v času pisanja diplome. Zahvaljujem se tudi dr. Borisu Petelinu iz Morske biološke postaje Piran in Nacionalnemu inštitutu za Biologijo za dostop do podatkov oceanografske boje Vida. Posebna zahvala vsem družinskim članom, ki so me podpirali v času študija.

Ta stran je namensko prazna



**KAZALO:**

UVOD .....	1
1. VODE.....	2
2. PREGLED TEHNOLOGIJ RAZSOLJEVANJA.....	3
3. PRIMERJAVA UČINKOVITOSTI SISTEMOV .....	5
4. PREGLED RAZSOLJEVALNIH KAPACITET PO SVETU .....	6
Razsoljevanje v Sredozemlju .....	7
5. PROJEKCIJE ZA PRIHODNOST.....	9
6. VPLIVI RAZSOLJEVANJA NA OKOLJE .....	11
7. ZAJEMI RAZSOLJEVALNIH NAPRAV .....	11
8. IZPUSTI IZ RAZSOLJEVALNIH PROCESOV .....	13
8.1 Kemične lastnosti slanice .....	14
Kemikalije proti oblogam.....	14
Polimerni odstranjevalci oblog (Polymer Scale Inhibitors) .....	14
Kemikalije proti biološkim odpovedim (Biofouling).....	15
Klorirani ogljikovodiki (Chlorinated Volatile Liquid Hydrocarbons – VLHs) .....	15
Aditivi proti penjenju .....	15
Kemikalije za čiščenje membran.....	16
9. UGOTOVITVE RAZISKAVE, FINANCIRANE S STRANI EU ZA OBMOČJE SREDOZEMLJA .....	17
Ocena količine soli v izpustih iz razsoljevalnih naprav v Sredozemsko morje v letu 2013.....	17
10. MERITVE IN ANALIZE IZ RO IZPUSTOV RAZSOLJEVALNIH NAPRAV .....	19
10.1 Izpusti na Kanarskih otokih.....	19
10.2 Meritve in analiza vplivov naprava Alicante .....	22
11. Okrevanje bentoških habitatov po uvedbi izboljšav na izpustu slanice za zmanjšanje vplivov na okolje.....	26
12. POZITIVNI UČINKI RAZSOLJEVALNIH NAPRAV .....	28
13. TEHNOLOGIJE ZA ZMANJŠANJE KOLIČINE SLANICE.....	28
13.1 Dovod slanice v čistilno napravo .....	28
13.2 Sončna evaporacija.....	29

13.3 Fitorazsoljevanje (rastlinsko razsoljevanje) .....	29
13.4 Izhlapovanje in kristalizacija .....	30
13.5 Podtlačna (vakuumska) membranska destilacija .....	30
13.6 Razsoljevanje brez izpustov .....	31
13.7 Injiciranje v tla.....	31
13.8 Izpust slanice v morje .....	33
14. MODELIRANJE IZPUSTOV SLANICE .....	36
14.1 Razredčenje v oddaljenem (Far Field) območju.....	37
14.2 Obnašanje izpusta v bližnjem območju .....	38
15. IZRAČUN ZAČETNEGA MEŠANJA ZA TEORETIČNI IZPUST SLANICE .....	41
16. ANALIZA PODATKOV SLOVENSKEGA MORJA .....	45
17. IZRAČUN PO MODELU BLIŽNJEGA VPLIVNEGA OBMOČJA .....	49
18. ZAKLJUČEK .....	59
VIRI:.....	60

## KAZALO SLIK:

Slika 1: Razdelitev sistemov glede na način ločevanja.....	4
Slika 2: Vgrajene kapacitete na Sredozemlju, po državah od leta 1970 do 2013.....	7
Slika 3: Razmerje med zajeto in proizvedeno vodo za obrate v Sredozemlju .....	8
Slika 4: Predpostavljena proizvodnja za leto 2016 .....	10
Slika 5: Rast svetovnih kapacitet razsoljevanja .....	10
Slika 6: Zajem z infiltracijo skozi morsko dno .....	12
Slika 7: Pokrov »Velocity cap« za odprti zajem in infiltracijski vodnjaki na obali .....	12
Slika 8: Zajem skozi premikajoče se sito .....	13
Slika 9: Koncentracije Lc50 klora za določene vrste .....	19
Slika 10: Razporeditev slanosti in temperature po globini v letnem ciklu.....	23
Slika 11: Prostorska razporeditev slanosti pri analizi izpustov na napravi Alicante.....	25
Slika 12: Prikaz poteka slanosti skozi opazovano obdobje v bližini razsoljevalne naprave San Pedro	27
Slika 13: Alternativne metode obdelave slanice .....	31
Slika 14: Princip delovanja membranske destilacije .....	31
Slika 15: Prikaz injiciranja slanice v tla.....	32
Slika 16: Satelitska slika zajema in izpusta Taweelah MSF naprave .....	33
Slika 17: Primer sodobnejšega sistema večjega izpusta v več šobami (multiport) .....	34
Slika 18: Slike iz avstralskega poročila o izpustih iz razsoljevalnih naprav .....	34
Slika 19: Shematski prikaz RO naprave Sidney, Australja .....	36
Slika 20: Prikaz ločitve med bližnjim in oddaljenim območjem .....	37
Slika 21: Prikaz obnašanja slanice na izpustu .....	39
Slika 22: Vpliv kota šobe na obliko začetnega oblaka slanice .....	40
Slika 23: Prikaz enot za izračun .....	41
Slika 24: Krivulje za grafično določanje $Z_{max}$ določanje .....	43
Slika 25: Krivulje faktorja razredčenja .....	43
Slika 26: Povezava med računsko krivuljo in laboratorijskimi meritvami .....	44

## KAZALO PREGLEDNIC:

Preglednica 1: Klasifikacija voda glede na vsebnost raztopljenih snovi .....	2
Preglednica 2: Sestava in lastnosti standardne morske vode .....	2
Preglednica 3: Primerjava porabe energije med sistemi .....	5
Preglednica 4: Stroški proizvodnje glede na raziskave določenih avtorjev .....	5
Preglednica 5: Primerjava izbranih sistemov .....	6
Preglednica 6: Količina svetovno proizvedene vode z razsoljevanjem v letu 2015 .....	9
Preglednica 7: Prikaz izpustov iz termičnih in hibridnih razsoljevalnih naprav .....	16
Preglednica 8: Tehnične specifikacije za Bocabarranco RO napravo .....	20
Preglednica 9: Dodatki v napravi za pridobivanje vode za kmetijske potrebe .....	21
Preglednica 10: Dovoljeno povečanje slanosti v določenih državah .....	35
Preglednica 11: Približni količniki razredčenja za različne vrste izpusta.....	40
Preglednica 12: Povprečne hitrosti po komponentah smeri .....	45
Preglednica 13: Povprečne letne hitrosti tokov .....	46
Preglednica 14: Povprečna mesečna temperatura in slanost .....	48
Preglednica 15: Analiza vrednosti.....	49
Preglednica 16: Izračun za povprečne vrednosti .....	50
Preglednica 17: Izračun za neugodne pogoje, nizka temperatura in visoka slanost .....	51
Preglednica 18: Izračun v neugodnih pogojih, pri pretoku 200 l/s.....	52
Preglednica 19: Izračun za pretok 300 l/s, v neugodnih pogojih.....	53
Preglednica 20: Izračun s pretokom 300 l/s in popravljeno dimenzijo šobe .....	54
Preglednica 21: Optimizirana oblika izpusta za pretok 100l/s .....	55
Preglednica 22: Optimiziran izpust pri povprečnih pogojih.....	57

## KAZALO GRAFIKONOV:

Grafikon 1: Prikaz prisotnosti iglokožcev in morske trave na analiziranih območjih .....	25
Grafikon 2 :Graf povprečnih letnih hitrosti.....	46
Grafikon 3: Grafični prikaz letnih povprečnih hitrosti po profilih.....	47
Grafikon 4: Grafični prikaz letnih nihanj temperature in slanosti.....	48
Grafikon 5: Prikaz razdalj začetnega vpliva razredčenja v odvisnosti od oblike šobe in pretoka .....	56
Grafikon 6: Koncentracije soli v točki stika toka slanice z dnom, v odvisnosti od kota šobe in pretoka. .....	56

### **Razlaga enot in okrajšav**

g	gram
kg	kilogram
t	tona
ppt	parts per thousand, enota za koncentracijo 1:1000
ppm	parts per milion, enota za koncentracijo 1:1000000
ppb	parts per bilion, enota za koncentracijo 1:1000 000 000
T	Temperatura [°C]
V	simbol za hitrost [m/s] ali [cm/s]
L	simbol za razdaljo v metrih
Q	pretok [m <sup>3</sup> /s]
$\rho$	gostota
D	premer [m]
g	gravitacijski pospešek 9,81 m/s <sup>2</sup>
$\pi$	število Pi
$\phi$	fi, premer [cm]
ft	feet, enota za razdaljo = 0,3048m
Re	Reynoldsovo število
Fr	Froudovo število
TDS	total dissolved solids, količina raztopljenih snovi
MEDRC	Middle East Desalination Research Center

Ta stran je namensko prazna

## UVOD

Svetovna populacija vztrajno narašča, voda pa je edinstven vir, ki omogoča življenje in s tem razvoj. Okoli leta 1950 so ocenili, da je bila populacija okoli 2,53 milijarde, v letu 2000 pa se je število več kot podvojilo na 6,12 milijarde. Sodeč po napovedih rasti populacije bo leta 2050 na svetu 9,19 milijarde ljudi (ZN, 2010). Za zagotovitev pitne vode bodočim generacijam in reševanje tudi trenutnega pomanjkanja se v razvitih državah in državah v razvoju investira v nove tehnologije pridobivanja pitne vode, da bi se omogočilo normalno rast in razvoj prebivalstva. V zadnjem desetletju so se ponekod kapacitete razsoljevanja povečale za več kot 500% (Khordagui, 2013). Že sedaj je na območju Sredozemskega morja, Rdečega morja in na Arabskem polotoku prisotna velika količina naprav, ki omogočajo pridobivanje pitne vode iz slane vode. V preteklosti so prevladale termične tehnologije, razvoj polimerov pa je omogočil izdelavo membran in hiter razvoj membranskih tehnologij. Čeprav je razsoljevanje videti kot rešitev za pomanjkanje vode v prihodnosti, pa ne smemo spregledati vseh učinkov na okolje. Kot vsak ima tudi proces razsoljevanja zahteve po vstopnih surovinah in odpadne ali stranske produkte. Glavna surovina za razsoljevanje je surova voda, ki je v večini primerov morska voda, lahko je pa tudi brakična. Glavni stranski produkt razsoljevanja je koncentrat, torej odpadna slanica, ki vsebuje vse snovi, ki jih je sistem razsoljevanja zavrnil ali niso prešle skozi filtre. Ker procesi večinoma odstranijo soli in ione, je ta koncentrat slanica. Slanica običajno vsebuje dvokratnik raztopljenih snovi v surovi vodi in lahko predstavlja dodatno ekološko obremenitev ali stres za okolje. Glede na vrsto vodnega vira, ki je izkoriščen za razsoljevanje, obstajajo tudi različne rešitve za odpadno slanico. Vsaka vrsta rešitve ima slabe lastnosti, zato je za vsako okolje potrebno preučiti slabosti in prednosti, ki ga ima določen način odlaganja ali izpusta slanice na danem območju. V vsakem izpustu pa ni problematična le visoka koncentracija soli, ampak tudi vsebnost drugih kemikalij, ki se uporabljajo pri obdelavi vode in čiščenju obratov. V diplomskem delu bom predstavil lastnosti izpustov in tehnologij za spopadanje z njimi. Predstavljeni so tudi empirični načini za izračun redčenja v morju.

Začetne predpostavke so, da je morsko okolje najbolj obremenjeno v poletnem času, ko je opazno tudi večje odmiranje morske trave in bodo posledično izračuni kritične slanosti v poletnih mesecih. Zaradi visoke slanosti Tržaškega zaliva bo verjetno že manjša količina dodatne slanice opazna.

## 1. VODE

Na zemlji je približno 14109 km<sup>3</sup> vode, od tega pa morska voda predstavlja 97,5%. Od preostalih 2,5% je kar 80% v ledenikih, tako da površinske vode (jezera, reke) predstavljajo le 0,5% vode, prisotne na zemlji. Glavna razlika med sladko in morsko vodo je v vsebnosti soli in raztopljenih snovi.

Sladka voda vsebuje do 1500ppm raztopljenih soli, medtem ko morska voda vsebuje od 10000ppm do 45000ppm soli, odvisno od lokalnih pritokov oziroma pomanjkanja le-teh ali velikega izhlapevanja. Glavni spojini, prisotni v vodi, sta natrij (30%) in klor (55%), kar je skupno 85% vseh raztopljenih snovi. Sledita žveplo z 8% ter magnezij s 4%. Čeprav so lahko koncentracije soli lokalno drugačne, se globalno gledano ta odstotek ne spreminja veliko, zato lahko govorimo o standardni morski vodi, ki ima 35000 ppm raztopljenih snovi. Standardna morska voda je osnova za izračun in analizo razsoljevalnih naprav, ima določeno vsebnost raztopljenih snovi in konstantno kemično sestavo. (Cipollina, 2009).

Kategorizacija voda glede na vsebnost raztopljenih snovi.

**Preglednica 1: Klasifikacija voda glede na vsebnost raztopljenih snovi**(Cipollina, 2009: str 3)

Vrsta	Količina raztopljenih snovi (ppm)	opombe
Sladka voda	do 1500	spremenljiva kemijska sestava
Brakična voda	1500 do 10 000	spremenljiva kemijska sestava
Slana voda	> 10 000	spremenljiva kemijska sestava
Morska voda	10 000 do 45 000	konstantna kemijska sestava
<b>Standardna morska voda</b>	<b>35 000</b>	<b>konstantna kemijska sestava</b>

**Preglednica 2: Sestava in lastnosti standardne morske vode**(Cipollina, 2009: str 4)

### Sestava

Kemikalija (ion)	Koncentracija (ppm)	Koncentracija %
Klor (Cl <sup>-</sup> )	19 345	55
Natrij (Na <sup>+</sup> )	10 752	30,6
Žveplov oksid (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2701	7,6
Magnezij (Mg <sup>+</sup> )	1295	3,7
Kalcij (Ca <sup>2+</sup> )	416	1,2
Kalij (K <sup>+</sup> )	390	1,1
Karbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	145	0,4
Bromid (Br <sup>-</sup> )	66	0,2
Borov oksid (BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> )	27	0,08
Stroncij (Sr <sup>2+</sup> )	13	0,04
Florid (F <sup>-</sup> )	1	0,003



**Fizikalne lastnosti standardne morske vode pri 20°C**

<b>Gostota (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1024</b>
Viskoznost (kg/ms)	1,074*10 <sup>-3</sup>
Specifična toplota(kJ/kg°C)	3,998
<b>Osmotski tlak (bar)</b>	<b>27</b>

**2. PREGLED TEHNOLOGIJ RAZSOLJEVANJA**

Pridobivanje sladke vode iz slane vedno zahteva določen tehnološki proces, saj se soli naravno ne izločajo iz vode. Najstarejši sistemi so uporabljali tehnologijo izhlapevanja s pomočjo sončne energije, kasneje je toploto dovajal sistem izgorevanja. Sistemi na tem principu se uporabljajo še danes, vendar na precej bolj kompleksni ravni predvsem zaradi zagotavljanja čim boljše energijske učinkovitosti.

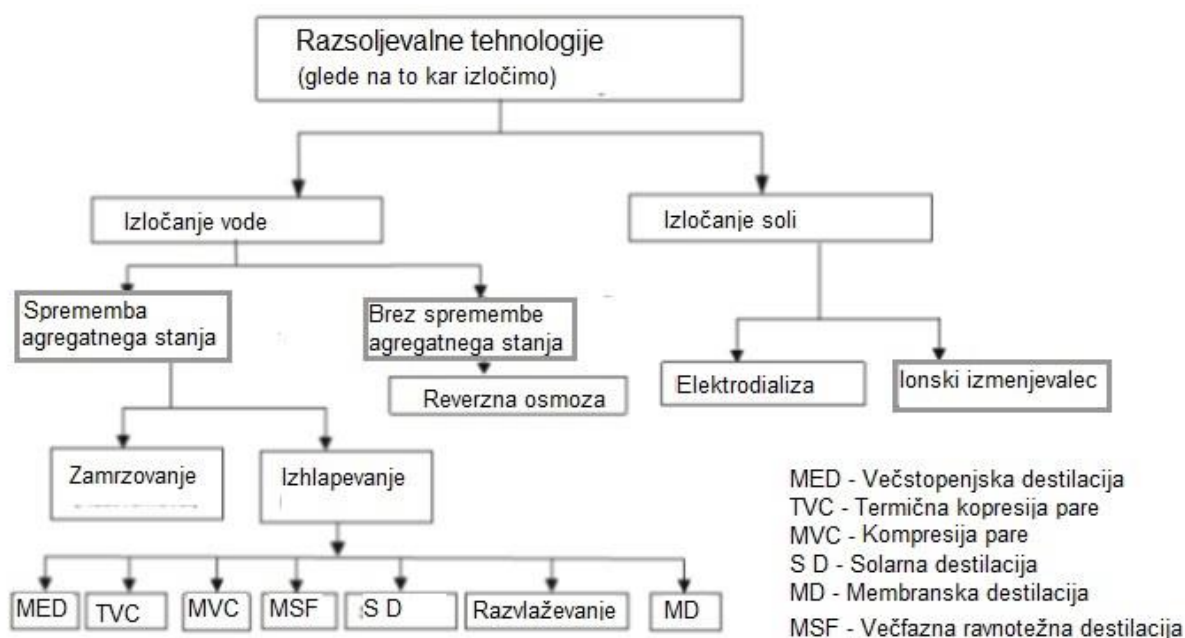
V zadnjem stoletju je razvoj polimernih materialov omogočil razvoj selektivnih (polprepustnih) membran in s tem razvoj membranskih tehnologij za razsoljevanje.

Čeprav je v morski vodi okoli 4% soli in bi se morda zdelo enostavneje odstraniti le sol, dajo boljše rezultate sistemi, ki ločijo čisto vodo iz morske. Sisteme za razsoljevanje lahko ločimo na več načinov, in sicer glede na to, kaj izločamo, ali glede na vir energije.

Pri termičnih sistemih se dovedena morska voda ogreva, vodna para pa se zbira v obliki kondenzata, ostane pa koncentrat ali slanica. Termični postopki so energijsko zahtevni zaradi visoke specifične toplote in izparilne energije vode, zato so taki sistemi pogosto v sklopu drugih obratov, ki proizvajajo velike količine toplote ali druge oblike energije. Za zmanjšanje potrebne energije se večina termičnih sistemov izvaja po stopnjah, energija se prenaša iz ene komore v drugo tako, da kondenzat preko izmenjevalcev toplote predgreva vstopno slano vodo. Prav tako večina sistemov deluje pri nizkem tlaku, da se z nižanjem izparilne temperature zagotovi boljše izhlapevanje. Pri termičnih postopkih pridobimo demineralizirano tehnično vodo, ki je direktno uporabna za industrijo, za gospodinjsko uporabo pa jo je potrebno ponovno mineralizirati. Za 1m<sup>3</sup> se pri termičnih procesih povprečno porabi okoli 50–70kWh energije. Membranski procesi, predvsem pogosta reverzna osmoza, zahtevajo nekajkrat manj energije, okoli 3–6kWh/m<sup>3</sup> pitne vode, vendar so lahko dražji procesi predpriprave; skoraj vedno sta zaradi občutljivosti filtrov potrebni mikrofiltracija in stabilizacija vode. Že nekaj desetletij se zaradi napredka na področju membranskih tehnologij cena filtrov vztrajno niža za vse membranske sisteme in uporaba reverzne osmoze vztrajno raste. Reverzna osmoza prevladuje predvsem tam, kjer ni viška industrijske pogonske pare ali drugih izredno ugodnih energetskih virov. Pri pridobivanju pitne vode z reverzno osmozo je skoraj vedno potrebna kontrola kakovosti pridobljene vode, saj demineralizirana voda ni primerna za gospodinjsko uporabo, zato sta potrebni remineralizacija in stabilizacija vode. V kolikor je

dostopna voda z nizko stopnjo slanosti in brez drugih onesnažil ali bakterij, je možno odstranjevanje soli iz vode z elektrodializo. Možno je tudi razsoljevanje z zmrzovanjem, vendar take tehnologije zaradi ogromne porabe energije niso prišle dlje kot do eksperimentalnih faz.

V zadnjih letih se vse bolj združuje obnovljive vire in razsoljevanje, saj je v zelo toplih in osončenih krajih pogosto pomanjkanje pitne vode, hkrati pa sonce predstavlja zanesljiv vir energije za sončne uparjalnike ali fotovoltaične celice. Drugod je na morskih obalah dokaj zanesljiv vir energije veter, kar dokazujejo že obstoječa polja vetrnic na morju; kjer pa imamo zagotovljeno električno energijo in morskovo vodo, je možno razsoljevanje. Edino, kar upočasnjuje razvoj teh tehnologij, je trenutno še visoka cena energije, pridobljene iz obnovljivih virov. (Cipollina, 2009)



**Slika 1: Razdelitev sistemov glede na način ločevanja**  
(Cipollina, 2009)

### 3. PRIMERJAVA UČINKOVITOSTI SISTEMOV

Poleg same energijske učinkovitosti in porabe energije na ekonomičnost proizvodnje pitne vode vplivajo tudi cena investicije, velikost naprave, pogoji pridobivanja surove vode in odlaganja odpada, cena izobražene delovne sile, doba amortizacije oziroma življenjska doba naprave ter obrestna mera.

**Preglednica3: Primerjava porabe energije med sistemi**(UN,2009: str 23)

Tehnologija	Električna	Termična energija –	Termična energija – v
	kWh/m <sup>3</sup>	energija samostojna naprava (MJ/m <sup>3</sup> )	sklopu energijskega obrata (MJ/m <sup>3</sup> )
MSF	3,5–5	250–300	160–170
MED	1,5–2,5	150–220	100
RO (morska)	5–9	brez	brez
RO(brakična)	0,5–2,5	brez	brez

Strošek za majhno napravo (1000m<sup>3</sup>/dan) za RO pri razsoljevanju brakične vode je lahko od 3 do 5\$/m<sup>3</sup>, predvsem zaradi nizke proizvodnje in fiksnih letnih stroškov. Drugače je, če pogledamo RO napravo na Floridi s kapaciteto 50 000 do 100 000 m<sup>3</sup> dnevno, pri kateri znaša strošek na m<sup>3</sup> približno 0,5\$. To je razlog, da se gradijo večinoma naprave zmogljivosti od 40 000 do skoraj 200 000m<sup>3</sup>dnevno, da bi se približali ali dosegli 0,5\$/m<sup>3</sup>. V zalivskih državah, kjer prevladujejo termični sistemi, so le-ti grajeni v sklopu industrijskih obratov in njihova proizvodnja presega 100 000m<sup>3</sup>/dan, zato se neglede na tehnologijo predpostavlja, da so stroški okoli 0,5\$/m<sup>3</sup>/dan. (Cipollina, 2009)

**Preglednica4: Stroški proizvodnje glede na raziskave določenih avtorjev**(Cipollina,2009:str: 105)

Avtorji	Sistem	Dnevna kapaciteta (m <sup>3</sup> )	strošek (\$/m <sup>3</sup> )
Frioui in Oumeddour	MVC	1000	1,02
	RO	1000	1,8
	MSF	1000	1,2–1,34
	MED	1000	1,38–1,45
Karagiannis in Soldators	MVC	1000–1200	
	RO	12000–60000	0,44–1,62
	MSF	23000–528000	0,52–1,75
	MED	12000–55000	0,95–1,95
Díaz-Caneja in Farinas	RO	65000–170000	0,7
Ophir in Lokiec	MED	100000	0,54
Borsani in Rebagliati	RO	205000	0,45
	MSF	205000	0,52
	MED	205000	0,52

**Preglednica5: Primerjava izbranih sistemov**

(Cipollina, 2009: str 105)

Mesto	Država	Tehnologija	Strošek (\$/m <sup>3</sup> )	Dnevna kapaciteta (m <sup>3</sup> )	Ocenjeno leto
	Združeni				
Shuweihat	arabski emirati	MSF	1,13	454610	2008
	Združeni				
Ras Laffa	arabski emirati	MSF	0,8	272520	2008
	Združeni				
Hidd	arabski emirati	MSF	0,69	400000	2008
Tenes	Alžirija	SWRO	0,59	200000	2008
Taunton	Massachusetts	SWRO	1,53	18925	2008
Palmachim	Izrael	SWRO	0,86	83270	2008
OuedSebt	Alžirija	SWRO	0,68	100000	2008
Hadera	Izrael	SWRO	0,86	330000	2008
Ashkelon	Izrael	SWRO	0,78	326144	2008
Tianjin	Kitajska	SWRO	0,95	150000	2007
Dhekelia	Ciper	SWRO	0,88	40000	2007
Carlsbad	Kalifornija	SWRO	0,77	189250	2007
Pert	Avstralija	SWRO	0,75	143700	2006
	Savdska				
Marafiq	Arabija	MED	0,83	758516	2006
	Savdska				
Shoaiba 3	Arabija	MSF	0,57	881150	2005
Reliancerefinery	Indija	MED	1,53	14400	2005

#### 4. PREGLED RAZSOLJEVALNIH KAPACITET PO SVETU

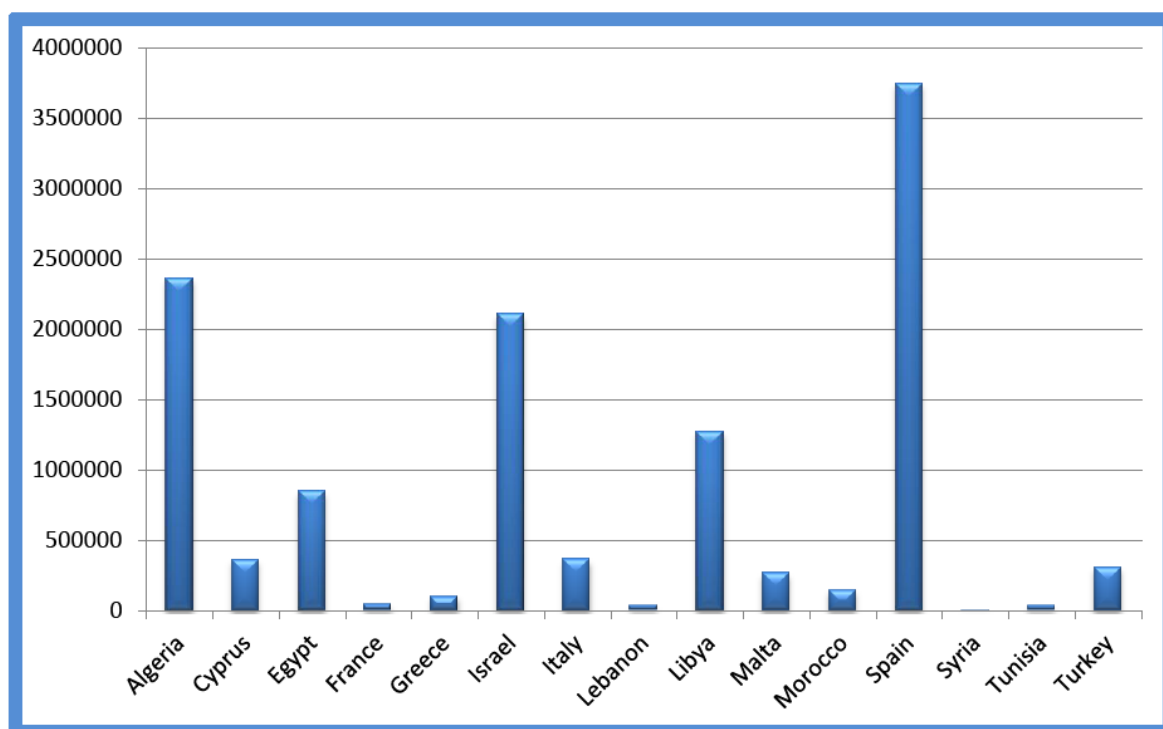
Približno 25% vseh kapacitet proizvodnje pitne vode z razsoljevanjem se nahaja v Savdski Arabiji. Na splošno so zalivske države največji koristnik sistemov za razsoljevanje za pridobivanje pitne vode in predstavljajo skupaj skoraj 45% vse proizvodnje. Zaradi energetskih virov, ki jih imajo na razpolago, je 81% vode pridobljene z MSF postopkom, ostalo obsegata MED (13%) in RO (6%). Podobno razporeditev ima tudi Rdeče morje. V Sredozemskem morju, iz katerega se črpa 14% svetovne proizvodnje, je stanje popolnoma drugačno, saj kar 70% proizvodnje predstavlja reverzna osmoza. Največji proizvajalec pitne vode z razsoljevanjem v Sredozemlju je Španija in 99% njenih naprav razsoljuje z RO. Tudi na italijanski obali se število RO naprav povečuje, najhitreje rastoče tržišče v

Sredozemlju za RO naprave pa je Alžirija, kjer naj bi vse vgrajene kapacitete leta 2020 dosegle skupno 4 milijone m<sup>3</sup>dnevno. Največja do sedaj zgrajena naprava za RO, Palmachin, se nahaja v Izraelu in naj bi leta 2020 dosegla proizvodnjo 1,8 milijona m<sup>3</sup>dnevno.

V Kaliforniji naj bi z vsemi napravami, že obratujočimi in še v izgradnji, do leta 2030 dosegli 1,7 milijona m<sup>3</sup>dnevno. Pomemben je sicer podatek, da v ZDA s filtrirnimi sistemi pridobivajo veliko pitne vode, vendar to večinoma iz brakičnih ali onesnaženih talnih voda; RO je uporabljena za čiščenje podtalnice, v katero so pronicale organske spojine, kot npr. gnojila. V Avstraliji je šele leta 2006 začela obratovati prva naprava za razsoljevanje, vendar se število projektov za večja mesta, kot so Sydney, Melburne, Brisbane in Perth, povečuje. Zanimiva je tudi Kitajska, kjer se kapacitete razsoljevanja vztrajno večajo, sicer v sklopu velikih industrijskih kompleksov in so zato na termični osnovi, vendar naj bi se od 2010 do 2020 proizvodnja povečala za večkratnik 100. (Biswas, 2009)

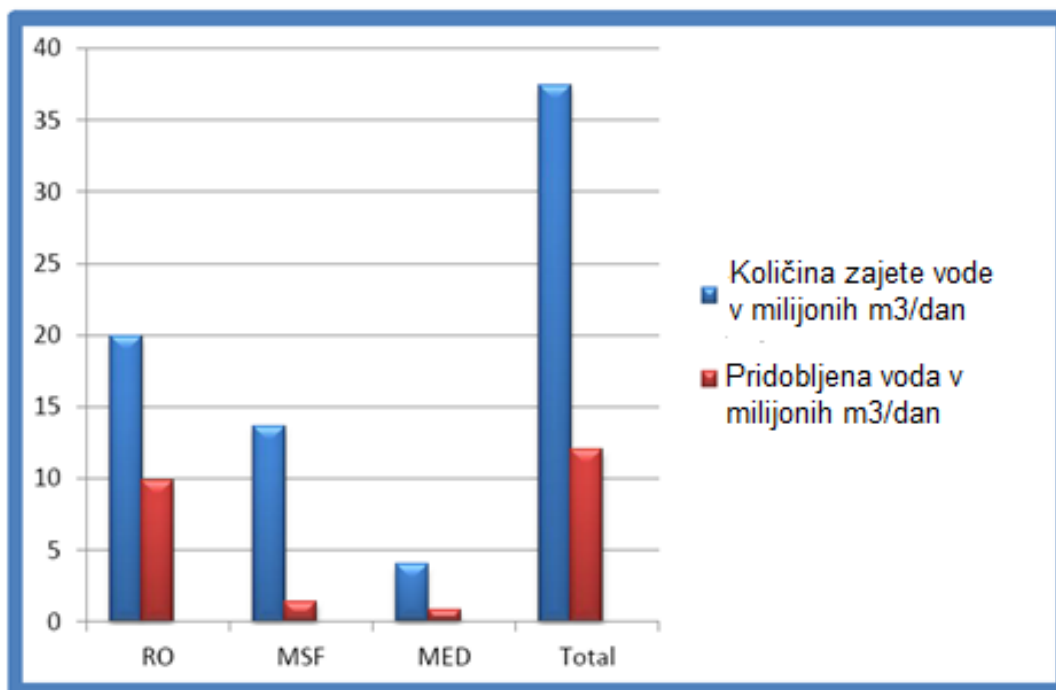
### Razsoljevanje v Sredozemlju

Od leta 1970 do 2013 je bilo v okolici Sredozemlja postavljenih več kot 1532 razsoljevalnih naprav, ki skupaj zmorejo proizvesti približno 12 milijonov m<sup>3</sup> pitne vode dnevno. Med leti 2000 in 2013 se je proizvodnja drastično povečala, kar za 560%. Bistveno sta k tej rasti pripomogla izboljšava in nižanje stroškov v RO tehnologiji; do 2013 je 82,3% vseh razsoljevalnih kapacitet na območju Sredozemlja predstavljala prav ta tehnologija. Kar pomeni cca. 9,9 milijonov m<sup>3</sup>/dnevno, sledi MSF z 1,4 milijona in MED z le 0,8 milijona. Večje države za razsoljevanje v Sredozemlju so Španija, ki proizvede 31% , Alžirija z 20%, Izrael z 18 % in Libija z 11%. (Khordagui, 2013)



Slika 2: Vgrajene kapacitete na Sredozemlju, po državah od leta 1970 do 2013

Slika prikazuje dnevne kapacitete po državah v kubičnih metrih. (Khordagui, 2013)



**Slika 3: Razmerje med zajeto in proizvedeno vodo za obrate v Sredozemlju**  
(Khordagui,2013)

Graf na sliki prikazuje izkoristek surove vode pri različnih tehnologijah razsoljevanja, pri termičnih je izkoristek okoli 15% pri RO pa okoli 50%.

## 5. PROJEKCIJE ZA PRIHODNOST

Objavljeni podatki niso tako sveži, saj napravah ni enotne evidence. Zbiranje podatkov po posameznih državah ali proizvajalcih je zato časovno zahtevno; do sedaj objavljeni podatki v strokovni literaturi so zbrani do leta 2011. Novejši podatki so razpršeni ali ne dovolj natančni za strokovno obdelavo. Vseeno lahko iz predstavljenih načrtov, literatur ter podatkov iz spletnih virov ugotovimo, da se razsoljevalne naprave vztrajno gradijo povsod po svetu, kjer se večja potreba po vodi ali poskuša zagotoviti višji standard. Gradivo, iz katerega sem izhajal, je delo večinoma evropskih avtorjev, zato sta predstavljena razvoj in stanje ob Sredozemskem morju ter bližnjih morjih in zalivih. V ZDA s tehnologijami razsoljevanja proizvedejo veliko pitne vode, vendar je njihov vir brakična voda, zato v literaturi, ki je posvečena morski vodi, niso tako zastopani. Kitajska in Mehika imata veliko razsoljevalnih kapacitet, ki pa niso tako podrobno predstavljene. V prilogah so z mljevidi, na katerih so vrisane večje razsoljevalne naprave, vendar so tudi ti podatki iz leta 2010. Najbolj ažurne podatke o količinah vode, proizvedene z razsoljevanjem, ima IDA International Desalination Association in so iz leta 2015.

Zaradi izredne prilagodljivosti polimernih materialov, ki omogočajo pridobivanje pitne vode iz morja, brakičnih voda in onesnažene podtalnice membranske tehnologije, zagotovo kažejo novo smer v proizvodnji pitne vode, saj ultrafiltracija in reverzna osmoza proizvedeta vodo brez mineralov, brez vonja in brez organskih kemikalij skoraj neodvisno od vira surove vode. Čeprav niso znane vse kapacitete, lahko prihodnost projiciramo iz finančnih planov držav. V Mehiki od leta 2007 neprestano gradijo nove RO naprave in imajo vzdolž obale okoli 124 naprav, Kitajska pa želi v desetih letih stokratno povečati proizvodnjo gradi MED naprave in je želela v letu 2015 doseči 2,2 milijona vode m<sup>3</sup>/dan iz razsoljevalnih naprav. (<http://cornerstonemag.net/>), (<http://www.cna.gob.mx/>)

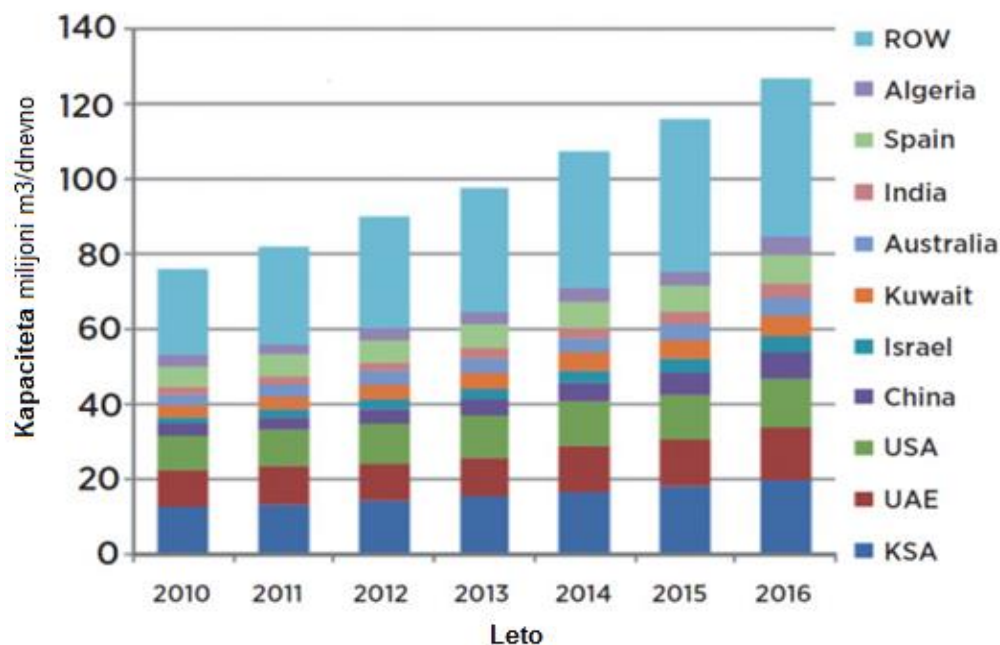
Zaradi industrijske gradnje vse večjih naprav je bila za letošnje leto napovedana količina svetovno proizvedene vode z razsoljevanjem 126 milijonov m<sup>3</sup>/dan, morda bo ta ocena presežena (Zotalis, 2014). Glede na Plan Bleu evropske unije (2010) naj bi se količina razsoljevalnih kapacitet v Sredozemlju povečala za trikrat in dosegla 40 milijonov m<sup>3</sup>/dnevno.

### **Preglednica6: Količina svetovno proizvedene vode z razsoljevanjem v letu 2015** (IDA, 2016)

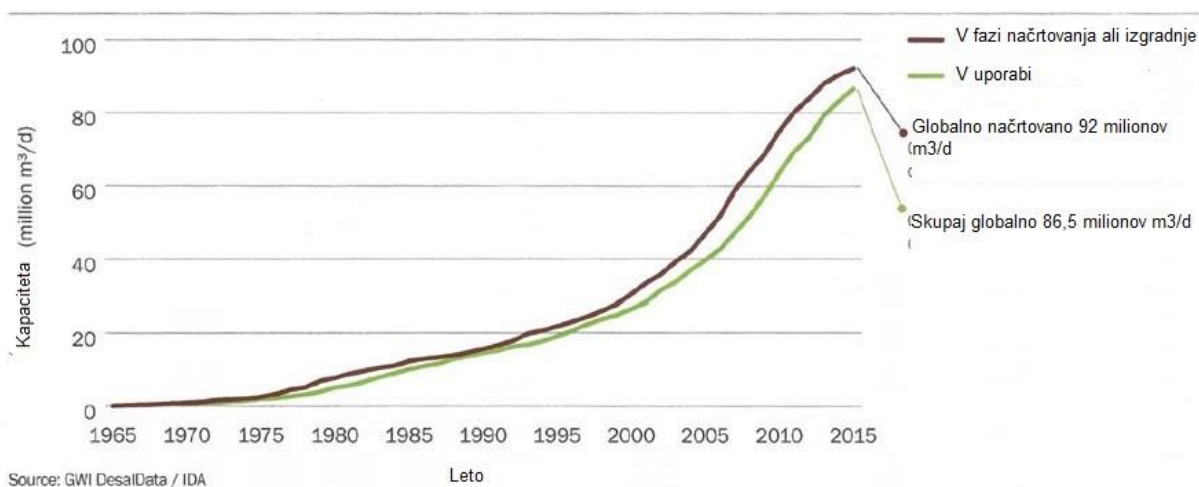
Število razsoljevalnih naprav	18426
Kapaciteta vseh svetovnih naprav	868 m <sup>3</sup> /dan
Število držav, ki uporabljajo razsoljevanje	150
Količina ljudi, odvisnih od razsoljevanja za pitno vodo	300 mio

\*podatki: junij 2015





**Slika4: Predpostavljena proizvodnja za leto 2016, 126 mio m<sup>3</sup>/dan**  
(Zotalis, 2014)



**Slika5: Rast svetovnih kapacitet razsoljevanja**

(<http://frog4webservices.com/alliance2015/index.html>)

Graf prikazuje skokovito naraščanje; zelena črta predstavlja kapacitete, predane v uporabo v tistem letu, rjava črta pa naprave v izgradnji ali v fazi načrtovanja od leta 1965 do 2015.



## 6. VPLIVI RAZSOLJEVANJA NA OKOLJE

Največjo skrb za okolje pri razsoljevanju povzročata vračanje odpadnih in hladilnih voda. Na določenih odsekih obal se nahaja večje število naprav za pridobivanje pitne vode iz morja, kar lahko povzroči lokalno večje koncentracije slanosti in višje temperature vode. Še zlasti je zaskrbljujoče, ker morja, iz katerih se črpa in tudi vrača stranske produkte teh procesov, nimajo velike pretočnosti; Sredozemsko in Rdeče morje ter Arabski zaliv so vir za 70% svetovnih kapacitet razsoljevanja. Za enkrat pa še ni bilo ugotovljenih resnejših vplivov na okolje. Razlogov za to je več: študije, ki so bile izvedene, so večinoma analizirale le krajše obdobje ali manjše območje vpliva, pomemben razlog pa je tudi prisotnost drugih industrij v območju. Večje naprave za razsoljevanje so pogosto v sklopu industrijskih obratov, zato onesnažila, toplogredni plini in ostali izpusti iz industrije prekrivajo ali prevladajo nad morebitnimi vplivi izpustov iz razsoljevalnih naprav. Največjo težavo pri določanju vplivov na okolje povzroči pomanjkanje predhodnih analiz. Za območja, kjer so razsoljevalne naprave postavljene že dlje časa, niso bile predhodno opravljene analize, da bi lahko primerjali stanje okolja pred in po vgradnji razsoljevalne naprave. Druga okoljska skrb je zajem vode iz morja. Ker sistemi zajamejo velike količine vode, je potrebno zagotoviti, da živali ne zaidejo v zajem ali ostanejo zatakne v mrežah. Zajemi na morskem dnu povzročijo lokalne turbulence, prav tako pa onemogočajo razvoj morskega dna. Zajemi na odprtem morju uničijo večje količine iker, alg in planktona, kar vpliva na sposobnost določenih vrst, da ohranjajo zadostno populacijo. Z zmanjšanjem hitrosti vode pri zajemu na 0,1 m/s omogočimo, da vsaj aktivne živali iz njega odplavajo.

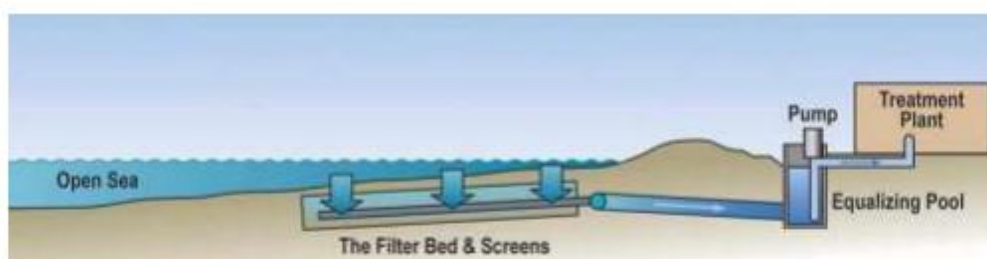
(Lattemann, 2009)

## 7. ZAJEMI RAZSOLJEVALNIH NAPRAV

Kot že omenjeno imajo na okolje lahko izredno velik vpliv zajemi, ki jih v pričujočem delu ne obravnavam natančneje, zato bom predstavil le nekaj tehničnih rešitev. V odvisnosti od pretoka in hitrosti lahko zajamejo večje količine morskih živali, predvsem kritičen je zajem ličink in mladice. Najpogosteje uporabljeni odprti zajemi na oddaljenosti od obale sicer res omogočajo nizke stroške in dober zajem vode, vendar zajemajo tudi večje količine majhnih živali. Mladice in ličinke se pogosto zadržujejo v priobalnih vodah in zaradi majhnosti z lahkoto preidejo skozi večja sita, namenjena ščitenju zajema vode. Tudi v primeru uporabe finih sit lahko živali ostanejo ujete v mreži, kjer je umrljivost visoka, in kljub tehnologijam izpiranja teh sit nekateri naravovarstveniki trdijo, da to ne zmanjša umrljivosti rib, saj fizično odstranjene ribe poginejo kasneje v morju zaradi šoka in poškodb. V okoljih, kjer so prisotne ogrožene vrste, je lahko to izredno problematično. Na podlagi analize zajema pilotne naprave v Kaliforniji, pri kateri so že v prvem dnevu obratovanja zajeli nekaj primerkov ogrožene vrste, so morali ustaviti nadaljnji razvoj razsoljevalnih na tistem odseku obale. Za zmanjšanje količine živali v zajemih je več možnih rešitev. Najenostavnejše so postavitve kap oziroma pokrovov nad zajeme, ki odvrčajo ribe, da bi se jim približevale. Kot že omenjeno zgoraj nekateri avtorji predlagajo tudi

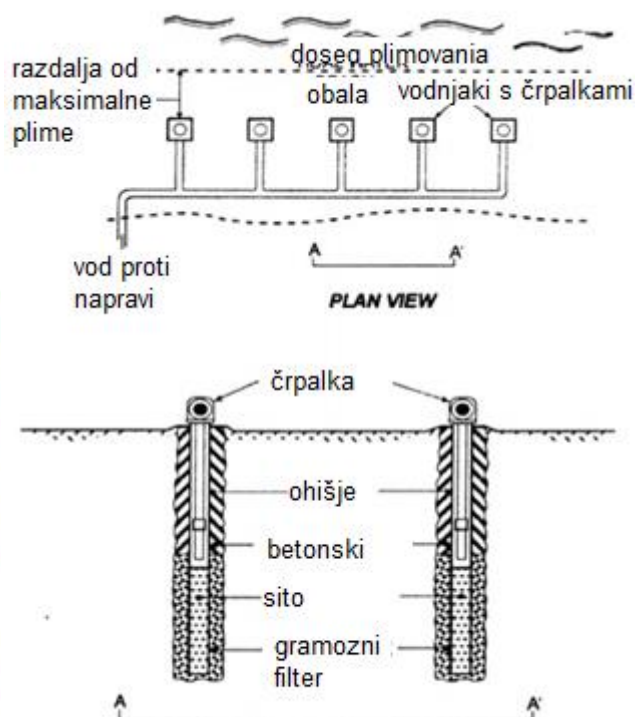
zmanjšanje hitrosti na zajemu na 0,1m/s, kar bi tudi počasneje plavajočim živalim omogočalo, da odplavajo iz zajetja. Najučinkovitejši sistem za zajem je z infiltracijo. Ta način je uporaben predvsem na področjih, kjer sta morsko dno ali obala sestavljena iz mivke ali proda, saj izkoristimo naravne filtracijske karakteristike dna, pri čemer se izognemo gradnji mehanskih sistemov za izpiranje mrež, je pa tak način zajema finančno bolj zahteven z vidika začetne investicije. Infiltracijski sistemi so lahko sestavljeni iz poroznih cevi, ki se širijo tudi kakšen kilometer pod morskim dnom, ali narejeni z obalnimi vodnjaki; včasih pa je uporabna kombinacija obeh.

(Peters, 2006)

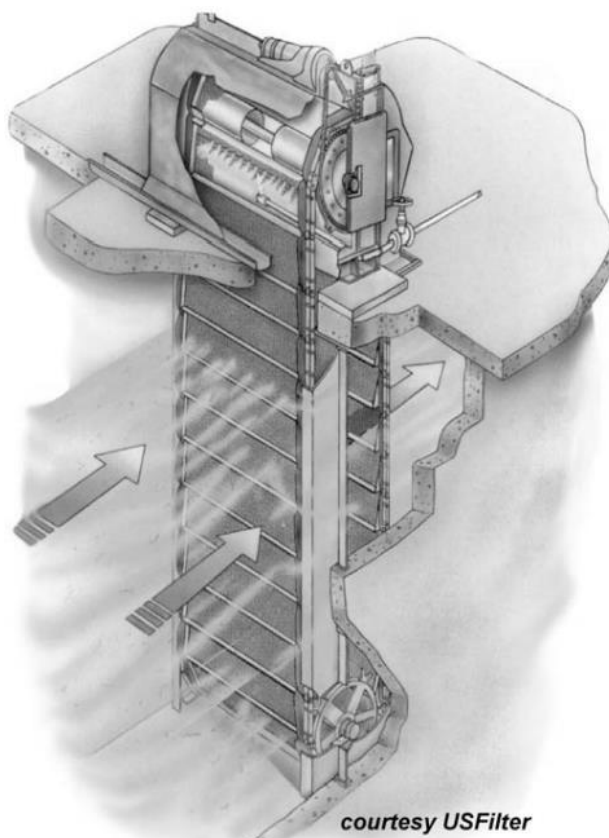


**Slika 6: Zajem z infiltracijo skozi morsko dno** (Beninger2010)

Prečni preseki obale z infiltracijskim sistemom za zajem vode; porozne cevi so speljane pod morskim dnom, glavna črpalka pa se nahaja v zbirnih vodnjakih.



**Slika 7: Pokrov »Velocity cap« za odprti zajem (levo) in infiltracijski vodnjaki na obali (desno)** (Beninger2010)



**Slika 8: Zajem skozi premikajoče se sito** (Pankratz, 2010)

Zajem s premikajočim se sitom in šobami za izpiranjem nečistoč in ujetih živali.

## 8. IZPUSTI IZ RAZSOLJEVALNIH PROCESOV

Odvisno od tehnologije imajo lahko naprave za razsoljevanje različne izpuste. Vsem je skupna slanica, ki sicer variira v koncentraciji slanosti, ampak je običajno slanost dvakratna od zajete vode. Pri brakičnih vodah je lahko slanost tudi večja, ampak ne več kot 60 g/l. Ob soli so v slanici prisotne še druge kemikalije, ki se uporabljajo v postopkih predpriprave vode ali za vzdrževanje naprav. Odplake čiščenja se bi se morale obravnavati ločeno, saj jih je potrebno nevtralizirati, preden grejo na deponijo ali v okolje, čeprav običajno končajo v slanici. Druge snovi, ki lahko škodujejo okolju, so kovine. Pri membranskih sistemih se sicer pojavljata krom in nikelj, ki se počasi izpirata iz delov, narejenih iz nerjavečega jekla; te koncentracije so izredno majhne. Precej višje so koncentracije kovin pri termičnih procesih; predvsem visoka je vsebnost bakra, iz katerega so večinoma izdelane cevi toplotnih izmenjevalcev zaradi dobre toplotne prevodnosti te kovine. Druga težava slanice iz toplotnih naprav je temperatura; ker se s temperaturo manjša topnost kisika, ima slanica manjšo koncentracijo raztopljenega kisika kot morska voda in lahko posledično privede do pomanjkanja biološko potrebnega kisika v vodi. Ne glede na postopek razsoljevanja je klor vedno prisoten, saj zmanjšuje biološko rast v vodi in

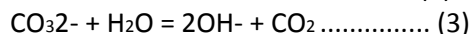
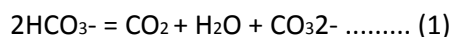
preprečuje nastajanje alg v sistemu. Klor je tudi v manjših količinah škodljiv, saj lahko z drugimi kemikalijami tvori rakotvorne spojine, ki so lahko škodljive za živali in človeka.

(Cooley, 2006)

## 8.1 Kemične lastnosti slanice

### Kemikalije proti oblogam

V termičnih razsoljevalnih napravah je možno nastajanje bazičnih oblog, ki nastanejo pri razpadu bikarbonata. Gretje povzroči, da iz bikarbonata v enaki koncentraciji nastane karbonat ali hidroksil. Pri temperaturah pod 82°C prevladuje reakcija št. 2, torej prevladujejo usedline iz CaCO<sub>3</sub>, nad to temperaturo pa prevladuje reakcija št.3, ki povzroči nastanek Mg(OH)<sub>2</sub>.



Za preprečevanje oblog iz kalcijevega karbonata se doda v dovod koncentrirano žveplovo kislino (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), kar povzroči:



Vendar tudi CaSO<sub>4</sub> ni vodotopen in se nalaga v izmenjevalcih toplote. Druga težava pri uporabi kisline je nižanje pH, ki ga je potrebno pred izpustim v morje ponovno dvigniti na ≈ 8.3.

(Khorudagui, 2013)

### Odstranjevalci/preprečevalci (inhibitors) oblog na osnovi fosfatov

Preprečevalci nastajanja oblog, sestavljeni iz natrijevega hexa-meta-fosfata in drugih spojin na osnovi lignina, v koncentracijah od 4 do 6 ppm, zmanjšujejo rast karbonatnih ali sulfatnih kristalov. Takšne fosfatne spojine so učinkovite do 90°C. Po mnenju MEDRC (2010) imajo fosfatne skupine dve slabosti; to, da niso primerne za termične procese zaradi nestabilnosti pri višjih temperaturah, največja slabost pa je vpliv na okolje. Zaradi fosforja, ki je omejevalni dejavnik v naravnem okolju, lahko te spojine povzročijo razraščanje rastlin in eutrofikacijo, kar ima lahko katastrofalne posledice na morsko okolje.

(Lettermann, 2008)

### Polimerni odstranjevalci oblog (Polymer Scale Inhibitors)

Za visokotemperaturno uporabo so se na tržiščih pojavili inhibitorji oblog na osnovah organskih polimernih kislin s komercialnimi imeni Belgard EV, Belgard EV2000, Flocon 247. Večina teh spojin se dodaja v predobdelavi v količini 2-4mg/l, Morton et al (1996) je v poročilu zapisal, da je koncentracija teh spojin v izpustu razsoljevalnih naprav okoli 0,53ppm. Khordagui je v poročilu leta 1997 to vrednost ocenil med 0,8 in 1. Po znanih podatkih proizvodnje iz leta 2013 in po konzervativni predpostavki, da je koncentracija na izpustu 0.5ppm, pomeni, da je letno v morje izpuščenih 4635 ton polimernih dodatkov iz razsoljevalnih naprav.(Khordagui, 2013)

### **Kemikalije proti biološkim odpovedim (Biofouling)**

Klor se uporablja že več kot pol stoletja za zmanjševanje odpovedi sistemov zaradi bioloških vplivov. Klor je zaradi velike učinkovitosti že pri majhnih koncentracijah že več desetletij sporna kemikalija za uporabo. Običajno doziranje klora v predobdelavi je 1 do 2mg/l, odvisno od kemične in biološke sestave vode. Pri sodobnih napravah za reverzno osmozo s poliamidnimi membranami je pred filtriranjem potrebna odstranitev klora, za kar se uporablja natrijev bisulfat. Natrijev bisulfat je močan antioksidant, ker se ga včasih predozira. Njegova doza je dvokratnik koncentracije klora (2-4mg/l), ki lahko povzroči nihanje količin prostega kisika v odpadni slanici in vodi, kamor se izliva. Še vedno pa ostaja klor problematičen tudi tam, kjer se ga odstranjuje, saj še vedno ostanejo minimalne koncentracije nevezanega klora. Drug izvir klora so občasni klor-šoki pri čiščenju bioloških oblog v sistemih. Klor v odpadni vodi ustvari obstojne toksične halogene organske spojine, kot npr. THM. Trihalometani (THM) so spojine, ki nastanejo po reakciji klora z organskimi molekulami iz alg, substrata in podobno. Če klor reagira z ioni bromida, se sprosti elementarni brom, ki nato reagira z organskimi molekulami in nastanejo bromirani ogljikovodiki, za katere je znano, da so kancerogeni in škodljivi za vodno okolje, morda tudi za človeka. Te molekule so tudi prevladujoča oblika halometanov v slanici. Bromoform ( $\text{CHBr}_3$ ) predstavlja 90%, sledi pa mu dibromov klorometan ( $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ). Večinoma koncentracija teh spojin ni problematična nikjer drugje kot na samem izlivu, saj je že kilometer od izliva tudi pri večjih napravah koncentracija manjša od 1ppb. Vseeno pa nekatere strokovnjake skrbijo možni učinki na morsko okolje v bližini izpusta. Pri termičnih napravah je morda zaskrbljujoče dejstvo, da lahko del THM-jev iz izpusta pride ponovno v zajem, se upari v postopku in gre v pitno vodo. (Letterman, 2008)

### **Klorirani ogljikovodiki (Chlorinated Volatile Liquid Hydrocarbons – VLHs)**

Destilat iz termičnih procesov je večinoma kemično čist, vendar lahke organske spojine, kot sta benzen in toluen, izhlapijo in končajo v destilatu, daljše ogljikove verige pa končajo v odpadni slanici, kjer lahko reagirajo s klorom v klorobenzen in klorofenole. Kljub znani škodljivosti teh spojin je malo raziskav o njihovem vplivu na morsko okolje. Khordagui je leta 1995 poročal o nizkih količinah VLH-jev v bližini Kuvajta, vendar je bil njihov izvor puščanje nafte in masti iz naprave za destilacijo. (Khordagui, 2013)

### **Aditivi proti penjenju**

So površinsko učinkovite snovi, v uporabi predvsem v termičnih napravah za razsoljevanje. Zmanjšujejo površinsko napetost vode in preprečujejo nastajanje pene zaradi odmiranja alg ali drugih reakcij planktona pri povišanih temperaturah. V uporabi so poliglikoli in maščobne kisline v nizkih koncentracijah, okoli 0,1mg/l, odvisno od kvalitete vode. V izpustu se običajno koncentracija zredči na približno 0,05mg/l. Najpogosteje je uporabljen polietilenglikol. (Khordagui, 2013)



### Kemikalije za čiščenje membran

Čistila se zelo razlikujejo v odvisnosti od kvalitete vode in materiala, iz katerega je izdelana membrana. Poleg klora, ki je bil že prej omenjen in se uporablja preventivno ter za čiščenje, so v vodi še kemikalije proti oblogam in biocidi. Biocidi, kot npr. natrijev hiperklorid, se uporabijo v 12% raztopini pri izpiranju membran z tokom v nasprotno smer. Za odstranjevanje raznih oblog se na membrani ustvari kisel pH v območju 2-3. Odvisno od spojin v vodi se lahko uporabijo še druge kemikalije; prav tako je pogostost čiščenja membran odvisna od kakovosti vode in načina predčiščenja. Skoraj vsi ti dodatki so prisotni v izstopni slanici in z njo izpuščeni v okolje. (Khordagui, 2013)

**Preglednica 7: Prikaz izpustov iz termičnih in hibridnih razsoljevalnih naprav**  
(Mushtaque, 2000, stran:157)

Lokacija razsoljevalne naprave	Abu- fintasDoha	Ajman	Um Quwain	Qidfa I Fujairah	Qidfa II Fujairah
Vodni vir	morska voda	brakična voda	brakična voda	morska voda	morska voda
Temperatura °C	40-44	30,6	32,4	32,2	29,1
pH	8,2	7,46	6,7	6,97	7,99
Električna prevodnost	ni podano	16,49	11,33	77	79,6
Ca (ppm)	1300-1400	312	173	631	631
Mg (ppm)	7600-7700	413	282	2025	2096
Na (ppm)	ni podano	2756	2315	17294	18293
HCO <sub>3</sub> (ppm)	3900	561	570	159	149,5
SO <sub>4</sub> (ppm)	3900	1500	2175	4200	4800
Cl (ppm)	2900	4572	2762	30487	31905
CL <sub>2</sub> prosti klor (ppm)	v sledeh	ni podano	ni podano	ni podano	ni podano
Sio <sub>2</sub> (ppm)	ni podano	23,7	145	1,02	17,6
Cu (ppb)	<20	ni podano	ni podano	ni podano	ni podano
Fe(ppm)	<20	ni podano	ni podano	ni podano	ni podano
Ni(ppb)	sledeh	ni podano	ni podano	ni podano	ni podano
TDS (ppm)	52000	10114	8276	54795	57935
Trdota(ppm)		ni podano	32	198	207
Preprečevalec oblog (ppm)	0,8-1	ni podano	ni podano	ni podano	ni podano
Proti penjenju (ppm)	0,04-0,05	ni podano	ni podano	ni podano	ni podano

\*QidfaFujairah je hibridni razsoljevalni kompleks, v katerem so vključeni termoelektrarna, MSF razsoljevanje in reverzna osmoza.

## 9. UGOTOVITVE RAZISKAVE, FINANCIRANE S STRANI EU ZA OBMOČJE SREDOZEMLJA

Študije so pokazale, da dlje časa trajajoče koncentracije soli v bentoškem pasu nad 45g/l močno zmanjšajo diverzitetu. Večina organizmov lahko preživi kratkotrajne koncentracije soli do 50g/l in se lahko navadi na intervalne spremembe med 1 in 2 g/l. Določeni organizmi pa takih sprememb ne prenesejo, na primer korale ne preživijo koncentracij preko 43g/l. Slanica presega te koncentracije in jo je zato potrebno obravnavati kot škodljivo snov, v kolikor je ne razredčimo dovolj preden doseže morsko okolje. Motnost zaradi izpustov povzroči slabšo prepustnost svetlobe in posledično slabšo fotosintezo alg, v kombinaciji s slanostjo pa lahko vpliva tudi na populacijo planktona. Največjo skrb za Sredozemlje povzroča vpliv slanosti na *Posidonioceanica* oziroma morsko travo, ki je pomembna pri vzdrževanju habitata za veliko število vrst. Že rahlo povečanje slanosti vpliva na rast rastlin, pri koncentraciji od 40g/l in naprej pa je opazen tudi delež odmiranja (Sánchez-Lizaso et al. 2008). V Sredozemskem morju je precej zalivov in polzaprtih območji, kjer bi lahko bili učinki izpustov slanice precej bolj opazni in škodljivi za lokalni habitat. Na podlagi laboratorijskih eksperimentov za zgoraj omenjeno *Posidonioceanicaso* ugotovili, da ni priporočljivo, da je koncentracija 38,5g/l presežena več kot 25% časa in da ne sme nikoli doseči ali preseči 40g/l. Študija Elene Gacia je pokazala, da koncentracija 45g/l povzroči 50% odmrte rastlin v 15 dneh in nova rast se zmanjša za 50%, ko je dosežena koncentracija 43g/l. Verjetno bi ob spremenjenih pogojih območje prevzela katera druga vrsta. Kljub pričujočim raziskavam se vpliv slanice na okolje smatra za manjšega, ker so določena območja Sredozemlja v ekstremnih sezonah že dosegla višje koncentracije slanosti in ni bilo večjih učinkov na biotsko raznovrstnost in okolje, zato se smatra, da izliv iz razsoljevalne naprave upoštevamo kot lokalni vpliv z omejenim območjem vpliva. Izpust slanice v odprto morje nima večjih vplivov zaradi sledečih razlogov: količina izpusta je v primerjavi s količino morja zelo majhna, sestava soli v slanici se ne spremeni in ostane enaka tisti v morju, izpusti iz naprav so pri novejših napravah opremljeni z difuzorji in oblikovani tako, da omogočijo čim boljše mešanje in redčenje slanice. (Khordagui, 2013)

### Ocena količine soli v izpustih iz razsoljevalnih naprav v Sredozemsko morje v letu 2013:

#### Iz naprave za reverzno osmozo

Povprečna slanost sredozemskega morja je 39g/l, kar je enakovredno 39kg/m<sup>3</sup>.

Dnevna proizvodnja RO naprav je bila 9 926 161 m<sup>3</sup>/dnevno. Ob predpostavki, da je izkoristek 50%, pomeni, da je zajeta količina vode 19 852 322 m<sup>3</sup>/dnevno in je količina odpadne slanice enaka količini proizvedene vode, torej 9 926 161 m<sup>3</sup>. Računamo, da je vsa sol iz zajete vode ostala v slanici, torej je količina oddane soli:  $19852322\text{m}^3/\text{d} \times 39\text{kg}/\text{m}^3 = 774240558\text{kg}/\text{dnevno} \approx 7742141\text{t}/\text{dnevno}$ .

To letno nanese na 2826 000 ton letno. Ker je že standardna slanost morja 39g/l, nas ne zanima, koliko je skupna količina oddane soli, ampak količina soli, ki jo dodamo in zvišuje slanost. Torej količina

odpadne soli je količina soli, ki je bila prisotna v pridobljeni vodi iz razsoljevanja. Torej je dodatna sol, ki obremenjuje okolje,  $9926161 \text{ m}^3/\text{d} \times 39\text{kg}/\text{m}^3 = 3871,20\text{ton}$ .

Izračun ponovimo še za ostale prisotne tehnologije.

Pri MSF tehnologiji je izkoristek okoli 10%, kar pri dnevni proizvodnji  $1\,357\,597 \text{ m}^3/\text{dnevno}$  pomeni, da je količina zajete vode  $13575970 \text{ m}^3$  in količina slanice  $12218373 \text{ m}^3$  s 110% koncentracijo soli. Količina odpadne soli je  $52946\text{ton}/\text{dnevno}$ .

MED naprave dnevno proizvedejo  $790711 \text{ m}^3$  in njihov izkoristek je 20%, kar pomeni, da je količina zajete vode  $3953555 \text{ m}^3/\text{d}$ , odpadne slanice s koncentracijo 120% je  $3162844 \text{ m}^3/\text{d}$  in dodane soli  $11315 \text{ ton}/\text{letno}$ .

Če zgornje podatke pretvorimo v letne količine soli, pomeni, da naprave za razsoljevanje z RO v Sredozemlje dodajo  $141299 \text{ ton}$ , MSF naprave  $19325 \text{ ton}$  in MED  $11256 \text{ ton}$ . Skupno je to skoraj  $172000 \text{ ton}$  dodatne soli v Sredozemlju.

Poleg vpliva slanosti je potrebno prišteti še vplive drugih kemikalij, ki pridejo z odpadno slanico v okolje. Pomembne so snovi, ki sene presnavljajo, ampak ostajajo v prehranski verigi in se lahko akumulirajo v organizmih. Biološko kopičenje ali bio-akumulacija je pojav, pri katerem se določene spojine, kot na primer težke kovine, ne razgradijo ali izločijo, in to privede do tega, da je koncentracija določene spojine ali kemikalije v organizmu višja kot v okolici. Posledica biološkega kopičenja je tudi možnost biomagnifikacije; ker se spojine iz organizma ne izločajo, se prenašajo navzgor po prehranjevalni verigi in v vsaki stopnji je koncentracija višja. Posledično lahko te koncentracije vplivajo na ljudi kot strupi, saj se nabirajo v večjih ribah, namenjenih za prehrano, npr. tunah.

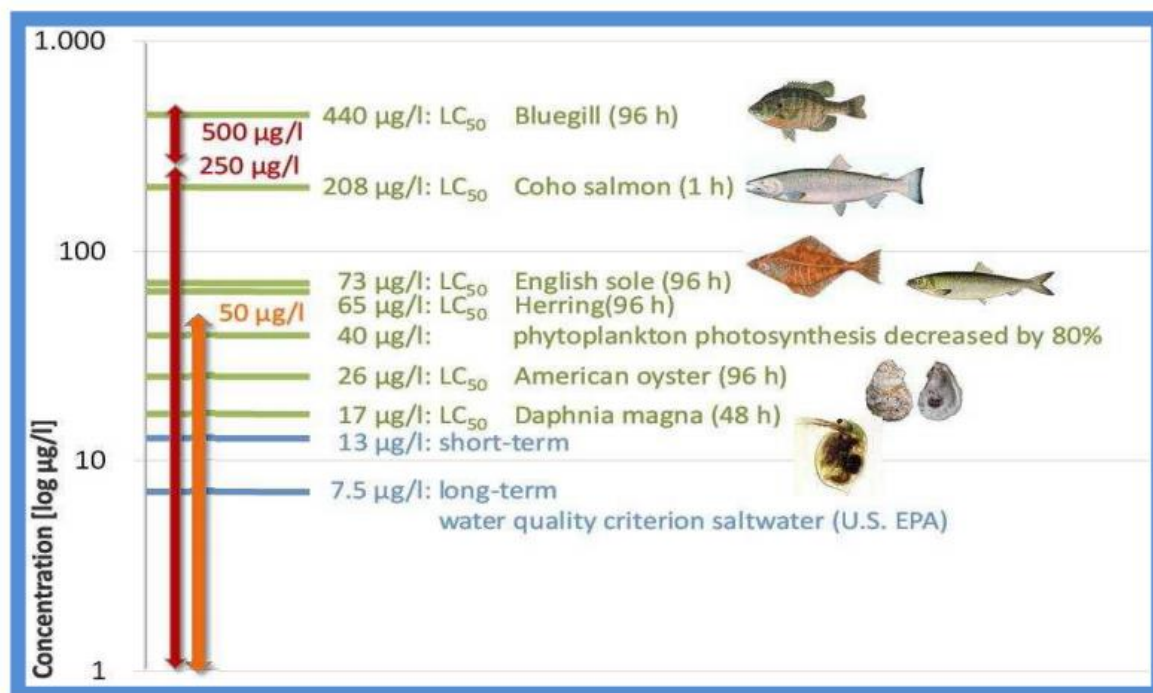
Za ugotavljanje teh vplivov je pomembno izvesti analize in modele, s katerimi je mogoče ugotoviti gibanje polutantov v okolju in njihove specifične, ali se nalagajo v sedimentih, v rastlinah ali živalih. Modeli upoštevajo razredčenje, raztapljanje in druge fizikalne ali kemične procese, kar zahteva veliko količino specifičnih meritev za posamezna okolja, za katera se modeli izdelujejo. Naprednejši modeli upoštevajo tudi dodatno organsko obremenitev zaradi razgradnje organizmov.

Največje vplive povzroči odpadna slanica na biotopih ob dnu. Zaradi večje gostote se kljub mešanju običajno spusti na dno in tam povzroči povečanje slanosti in koncentracije drugih polutantov. V primeru zalivov, pristanišč ali odsekov z majhno pretočnostjo lahko taki izpusti opustošijo habitat na dnu zaradi daljšega zadrževanja kemikalij, slanosti in možnosti pomanjkanja kisika.

MSF in MED lahko med obdobjem vzdrževalnih del in izpiranjem izpustijo dodatne količine kovin, ki se izperejo iz sistema, npr. baker, nikelj.

V prejšnjem poglavju omenjen klor je izredno toksičen; že  $20\mu\text{g}/\text{l}$  zmanjša količino fitoplanktona in upočasni fotosintezo. Toksičnost klora je odvisna od odpornosti organizma, vendar za manjše organizme že  $0\mu\text{g}/\text{l}$ - $50\mu\text{g}/\text{l}$  predstavlja letalno koncentracijo.





**Slika 9: Koncentracije Lc50 klora za določene vrste**

Slika prikazuje koncentracijo in čas izpostavljenosti za 50% umrljivost zaradi izpostavljenosti kolru za nekaj vrst morskih organizmov.

(Khordagui, 2013 )

## 10. MERITVE IN ANALIZE IZ RO IZPUSTOV RAZSOLJEVALNIH NAPRAV

### 10.1 Izpusti na Kanarskih otokih

V nadaljevanju predstavljam povzetek vplivov na okolje iz razsoljevalnih naprav na Kanarskih otokih, odkar je leta 1964 vgrajena prva MSF razsoljevalna naprava.

Bocabarranco razsoljevalna naprava se nahaja na Kanarskih otokih v bližini mesta Galdar. Izpust slanice je izveden v kombinaciji z izpustom odpadnih komunalnih voda. Za predčiščenje je uporabljen peščeni filter, čiščenje le-tega pa poteka približno enkrat tedensko. Vsa voda izpiranja se prav tako skupaj s slanico izlije v morje.

**Preglednica 8: Tehnične specifikacije za Bocabarranco RO napravo, sestava surove in odpadne vode** (Sadhvani, 2005 ; Stran: 5 )

Dnevna kapaciteta proizvodnje	7000m <sup>3</sup> /d
Izkoristek	45%
TDS v proizvedeni vodi	400ppm

Kemična kompozicija surove vode in odpadne slanice

Mg/l	Morska v oda	Slanice
Kalcij	450	814
Magnezij	1520	2751
Natrij	11415	20657
Kalij	450	814
Bikarbonat	250	452
Klorid	20800	37639
Sulfat	3110	5628
Silicij	5	9
Skupno TDS	38 000	68 764

Koncentracije spojin, uporabljenih na napravi za obdelavo vode:

Kemikalija	Količina (kg/m <sup>3</sup> )	Koncentracija (ppm)
NaOCl	0,053	3,0
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,068	16,4
NaHSO <sub>3</sub>	0,027	2,0
FeCl <sub>3</sub>	0,055	1,7
Kalcijevhipoklorid	0,005	2,8
Preprečevalec vodnega kamna	0,009	4,1

Razsoljevalna naprava za kmetijske potrebe je prav tako na Kanarskih otokih na lokaciji Arucas, specifikacije so podobne kot pri prej predstavljeni napravi, le kapaciteta je manjša. Kapaciteta proizvodnje je 5000m<sup>3</sup>/dnevno, izkoristek je 45% in proizvedena voda vsebuje 400ppm delcev. Večina naprav na Kanarskih otokih ima podobne specifikacije, malce se razlikujejo količine uporabljenih kemikalij glede na vrsto uporabe vode, torej ali je namenjena gospodinjski ali kmetijski rabi. V preglednici 9 so prikazane količine kemikalij, ki se dodajajo v napravi Arucas.

**Preglednica 9: Dodatki v napravi za pridobivanje vode za kmetijske potrebe**  
(Sadhvani, 2005 ; Stran: 6 )

Kemikalija	Kg/m <sup>3</sup>
NaOCl	0,0111
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,068
NaHSO <sub>3</sub>	0,0068
FeCl <sub>3</sub>	0,011
Kalcijev hidroksid	0,02
HSFM	0,0067

## 10.2 Meritve in analiza vplivov naprava Alicante

Na razsoljevalni napravi Alicante v Španiji, ki je začela obratovati leta 2003, je bilo od začetka obratovanja narejenih več raziskav. Ker je bilo na Sredozemskem morju narejenih malo raziskav, so podatki iz teh raziskav zelo uporabni za planiranje bodočih naprav za reverzno osmozo na tem območju. Raziskave so pokazale, da je razredčenje manjše od pričakovanega in da so vplivi na morsko okolje v bližini izpusta večji.

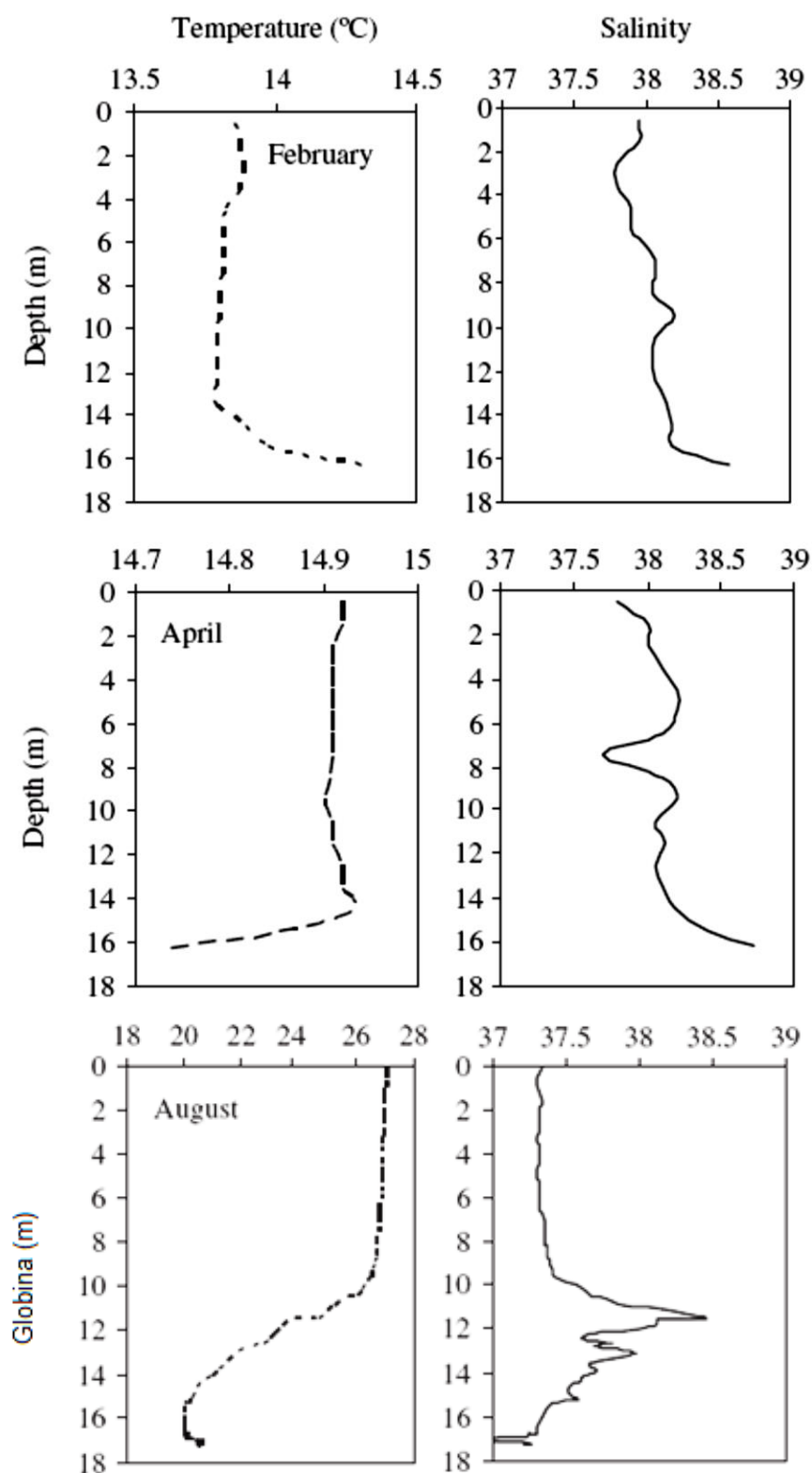
Slanica je izpuščena direktno v morje, kjer zaradi razlike v gostoti potone in se zadržuje pri dnu; vpliv na morski habitat je odvisen od koncentracije slanice. Študija preučuje vplive in širjenje slanice v prvem letu obratovanja naprave s poudarkom na analizi možnih vplivov na polja morske trave *Posidoniaoceanica*. (Del-Pilar-Ruso, 2014)

Naprava ima kapaciteto proizvodnje 50 000m<sup>3</sup>/d s 40% učinkovitostjo, kar pomeni, da je dnevno cca. 75 000m<sup>3</sup> slanice s koncentracijo soli 86 mg/l. Izpust se nahaja južno od mesta Alicante na območju pristanišča, ker tam zaradi predhodne industrijske degradacije okolja izgradnja izpusta ni predstavljala dodatne okoljske škode.

Meritve so bile opravljene februarja, aprila in avgusta 2004. Vsakokrat je bilo odvzetih več kot 100 vzorcev v bližini izpusta, da bi določili oblak in njegovo širjenje v območju. Pozicioniranje merilnih točk je bilo izvedeno s pomočjo GPS naprav, s čimer se je zagotovila ponovitvena natančnost na 5m napake. Na vsaki točki je bila izvedena meritev slanosti od površine do dna morja z RBR CTD sondo.

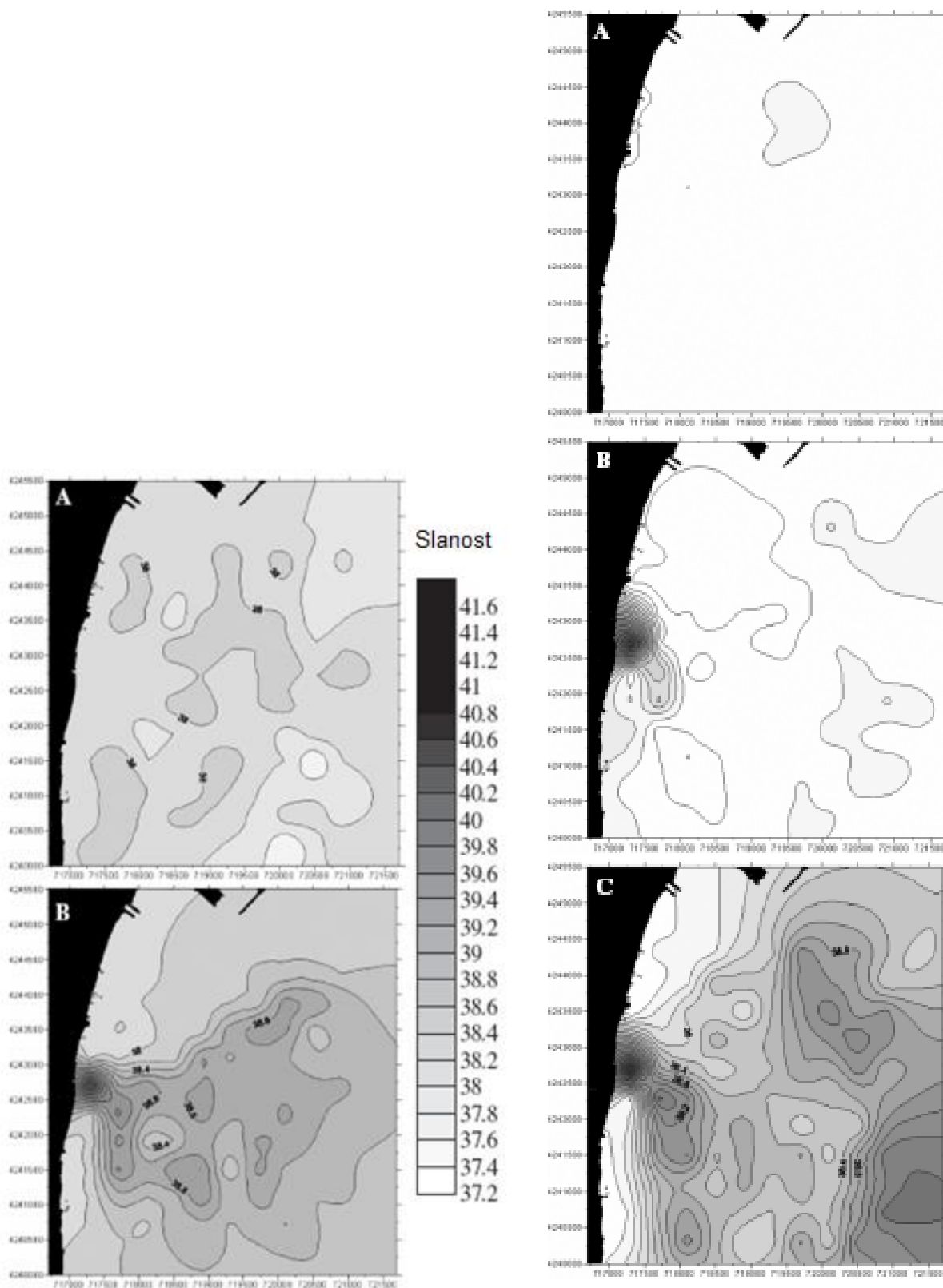
*Poseidoniaoceanica* je bila izbrana kot indikator zaradi njene občutljivosti na slanost in pomembnosti za ekosistem. Za analizo so bile izbrane tri lokacije; ena v neposredni bližini izpusta in dve kontrolni, ena dva kilometra južno in druga dva kilometra severno. Na vsaki lokaciji so postavili 12 mikro-kartografskih kvadratov dimenzij 40x40cm, v katerih so natančneje opazovali rast in odmiranje šopov morske trave in prisotnost iglokožcev (*Echinodermata*). (Del-Pilar-Ruso, 2014)

Grafi na sliki 10 prikazujejo razporeditev slanosti po globini; večinoma se pojavlja višja slanost pri dnu, le v mesecu avgustu je zaradi termokline pri dnu slanost nižja.



Slika 10: Razporeditev slanosti in temperature po globini v letnem ciklu (Fernandez-Torquemada, 2005)

Meritve so pokazale, da je redčenje v bližini izpusta zelo hitro in visoke koncentracije hitro upadajo, vendar je povečanje slanosti za 0,5 g/l opazno 4km od izpusta. Opaženo je bilo širjenje slanice po dnu, pri čemer ima največji vpliv na obliko širjenja morfologija morskega dna in je povečanje slanosti pri dnu opazno tudi na nekaj kilometrski oddaljenosti od izpusta.



### Slika 11: Prostorska razporeditev slanosti pri analizi izpustov na napravi Alicante

Na levi in desni predstavljajta oznaki (A) meritev na gladini, (B) meritev pri dnu, na desni sliki je dodana meritev (C), na termoklini.

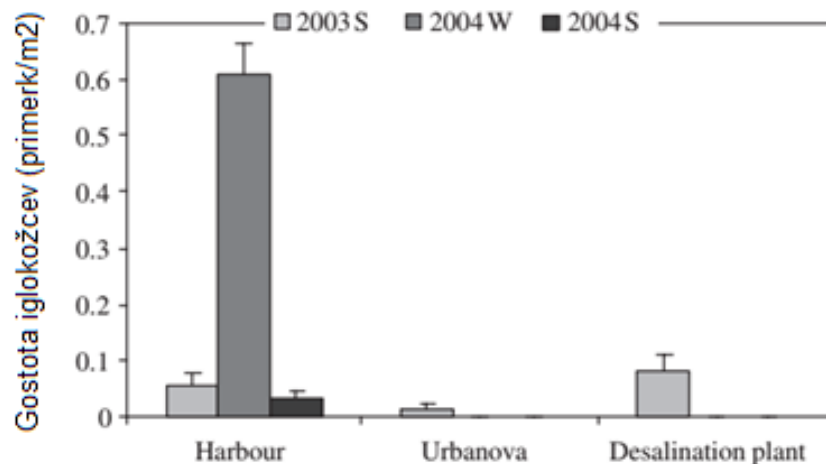
(Fernandez-Torquemada, 2005)

Na prostorskem prikazu slanosti na območju aprila in avgusta 2004 je zaradi termokline maksimalna slanost v avgustu višje od dna, ampak še vedno sledi maksimalna razporeditev slanosti določenemu vzorcu, zato sta si aprilski razporeditev na dnu in avgustovska nad termoklino podobni.

Analiza treh izbranih habitatov je pokazala, da so iglokožci na območju direktno pred izpustom in na južni lokaciji popolnoma izginili, na severni lokaciji pa se je njihovo število zmanjšalo, kar je skladno z obliko širjenja slanice. Iglokožci so bili izbrani kot indikatorska vrsta, ker ne morejo nadzirati osmotskega tlaka v lastnem telesu in imajo nizko toleranco za nihanje ali povečanje slanosti. Analiza umrljivost in nove rasti *Poseidonioceanica* je pokazala, da je rast novih šopov še vedno večja od umrljivosti, opazna pa je večja vitalnost polja na severni lokaciji, kjer je slanost manjša.

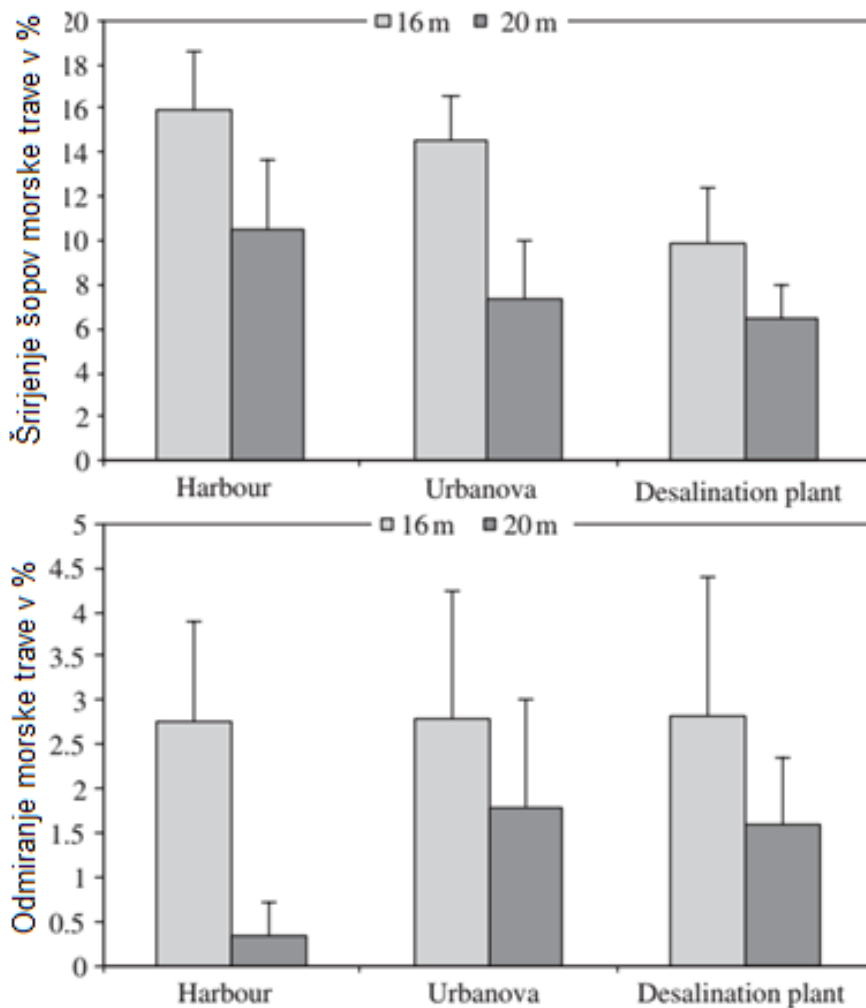
(Del-Pilar-Ruso, 2014)

Grafikon 1: Prikaz prisotnosti iglokožcev in morske trave na analiziranih območjih v bližini izpusta (Fernandez-Torquemada, 2005)



Gostota iglokožcev, število primerkov na m<sup>2</sup>, na treh opazovanih lokacijah v vseh treh obdobjih.

Opazovane lokacije so Harbour-pristanišče, Urbanova-severno od izpusta, Desalination plant- v neposredni bližini izpusta.



Odstotek širjenja(delitve) šopov morske trave(zgornji graf) in stopnjo umrljivosti (spodnji graf).

## 11. Okrevanje bentoških habitatov po uvedbi izboljšav na izpustu slanice za zmanjšanje vplivov na okolje

Na lokaciji San Pedro del Pintar v Španiji je bila izvedena osemletna študija. Leta 2006 je začela naprava izpuščati slanico v morje in kmalu je bil opažen upad števila in vrst mnogoščetincev na območju, kjer je slanost dosegala 49mg/l. Leta 2010 je bila zato na izpust vgrajena šoba za izboljšavo mešanja, in sicer v upanju, da se zmanjša vpliv na bentoške organizme. Po vgradnji je bila izmerjena slanost 38.5 in število mnogoščetincev se je vrnilo skoraj na raven pred izgradnjo izpusta, čeprav so nekatere podvrste hitreje okrevale, druge počasneje.

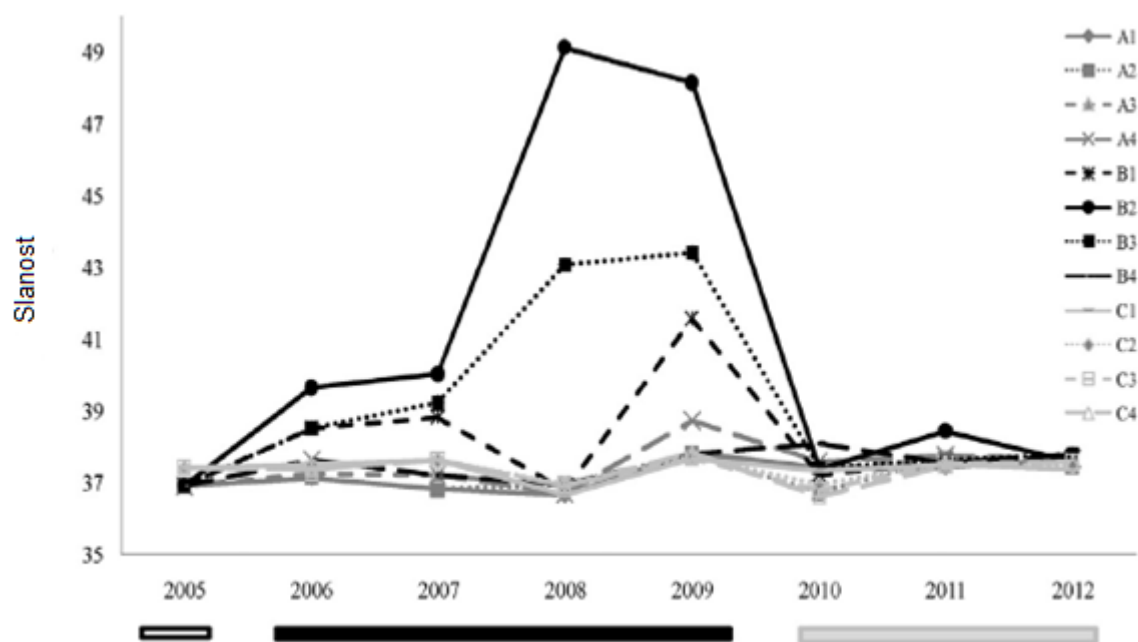
Naprava San Pedro se nahaja na jugovzhodu Španije, maksimalna dnevna proizvodnja je 65 000m<sup>3</sup>/dnevno, koncentracija izhodne slanice je okoli 70ppm, ob soli je glavni polutant preprečevalec



oblog PermaTreat® v koncentraciji 1,1 ppm. Slanica se izliva v morje po 5km dolgem cevovodu v globoko morje na globini 33m; hitrost tokov je 10,3cm/s.

Študija je podrobneje analizirala 12 opazovalnih točk, in sicer med leti 2005 in 2012. Prvo vzorčenje je potekalo leta 2005, preden je začela obratovati razsoljevalna naprava, nato je sledilo obdobje od 2006 do 2010, ko je bil izpust speljan neposredno v morje, in zadnje opazovalno obdobje, ko je bila izvedena nadgradnja –šoba.(Del-Pilar-Ruso, 2014)

**Slika 12: Prikaz poteka slanosti skozi opazovano obdobje v bližini razsoljevalne naprave San Pedro**



Slanost na pozameznih merilnih postajah v opazovanem obdobju.

(Del-Pilar-Ruso, 2014)

Kot je prikazano na zgornjem grafu, je bila največja slanost zaznana v jeseni 2008, v bližini izpusta, medtem ko 2km južneje in severneje ni bilo opaznega povečanja slanosti. Po vgradnji šobe je bila prekomerna slanost opažena le v ožjem radiu cca. 250m okoli izpusta, dlje vplivi niso bili opazni.

Na analiziranem območju je bilo prisotnih 47 družin mnogoščetincev, med katerimi so prevladali *Paraonidae* (17.85%), *Lumbrineridae* (11.6%), *Syllidae* (9%), *Magelonidae* (7.6%), *Cirratulidae* (6.5%) in *Nephtyidae* (5%); 27 družin je zastopalo manj kot 1% primerkov. Analiza občutljivosti določene družine na spremembe slanosti je bila izvedena s PERMANOVA analizo. Med proučevanim obdobjem se je predvsem pokazal velik upad biodiverzitete, saj je nekaj vrst, ki so manj občutljive na nihanje slanosti, prevzelo območje.(Del-Pilar-Ruso, 2014)

## 12. POZITIVNI UČINKI RAZSOLJEVALNIH NAPRAV

Razsoljevalne naprave imajo lahko tudi pozitivne učinke na okolje. Zanesljiv vir pitne vode lahko namreč zmanjša stres na druga vodna okolja ali potrebo po drugih posegih v okolje. Dodatna proizvodnja vode, čeprav je vloga razsoljevalnih naprav v Kaliforniji zagotavljanje pitne vode v sušnih obdobjih, je vprašljiva v obdobjih, ko ni pomanjkanja vode. Zaradi visokih fiksnih stroškov je ena izmed možnih rešitev bogatenje rezervoarjev za kasnejše koriščenje v sušnem obdobju in stem zmanjšanje količine črpanja iz podtalnice ali vodotokov. Zaradi možnosti recikliranja vode sta lahko končna izkoristek in upravičenost razsoljevanja večja, saj lahko pridobimo korist tudi na področjih, kjer je uporabna siva voda. Zagovorniki izgradnje razsoljevalne naprave v San Franciscu poudarjajo razbremenitev rek Russian in Eel in s tem izboljšanje naravnega okolja za lokalno populacijo lososa. Zaradi stroškov, povezanih z razsoljevanjem, je vseeno težko verjetno, da bi kateri izmed dobaviteljev vode z razsoljevanjem uporabil svoje kapacitete za bogatenje naravnega podtalnice ali drugih vodnih virov.. (Cooley, 2006)

## 13. TEHNOLOGIJE ZA ZMANJŠANJE KOLIČINE SLANICE

Odpadna slanica se največkrat spusti v morje, iz katerega je zajeta surova voda za obdelavo. Vendar v nekaterih primerih mešanje odpadne slanice z izvorom ni primerna ali možna odločitev, zato obstajajo tudi druge rešitve za odpadno slanico.

### 13.1 Dovod slanice v čistilno napravo

V primeru pridobivanja pitne vode iz brakičnih voda, mešanje zajema z izpustom iz razsoljevalne naprave ni primerna tehnologija, ker lahko s tem povečamo koncentracijo raztopljenih snovi v surovi vodi. Ena izmed rešitev je mešanje odpadne slanice s komunalno odpadno vodo. Ker slanica večinoma ne vsebuje večjih količin bakterij in virusov, jo lahko mešamo z izpustom iz čistilnih naprav in jo na tak način razredčimo, preden gre v okolje. Največji strošek takega sistema je cevovod, ker so čistilne naprave in naprave za razsoljevanje redko v bližini ali v sklopu enakega kompleksa. Običajno so naprave za obdelavo odpadne komunalne vode in tiste za pridelavo pitne vode čim dlje narazen, da nebi prišlo do morebitne kontaminacije. To pomeni, da bi potrebovali več kilometrov večjega cevovoda za povezavo takih naprav.

(Younos, 2005)

### 13.2 Sončno izhlapevanje (evaporacija)

Sončna evaporacija je najenostavnejša tehnologija za eliminiranje težav z odpadno slanico. Sistem je sestavljen iz plitkih bazenov, v katerih voda izhlapeva po naravnem postopku. Konstrukcijsko so evaporacijski bazeni v primerjavi z mehanskimi sistem in nezahtevni za izvedbo in vzdrževanje, pomembna pa je uporaba ustreznih materialov in vzdrževanja. Najpomembnejša je nepropustna podlaga bazena, ki je večinoma iz umetnih materialov, kot sta PVC in PET, možne pa so tudi bolj naravne izvedbe z glinenim dnom, pri katerih je pričakovano manjše pronicanje slanice v tla. Morebitno puščanje evaporacijskih bazenov bi lahko onesnažilo podtalnico. Solarno izhlapevanje je primerno za uporabo samo v sušnih podnebjih, kjer je so na razpolago velike površine, saj je globina takih bazenov od 25 do 45cm. Zaradi visokih stroškov za nakup se ta tehnologija večinoma ne uporablja v razvitih državah, saj je začetna investicija previsoka in je rešitev uporabna le za izredno majhne naprave. Kot alternativna rešitev oziroma izboljšava tehnologij je bila patentirana WAIV (Wind aided intensified evaporation technology), pri kateri se izkorišča vetrna energija za izhlapevanje s slanico namočenega medija. S tem načinom se drastično povečata površina izhlapevanja in izkoristek vetra, v kolikor ni dosežena maksimalna vlažnost zraka. Ob preizkusih se je izkazalo, da je lahko učinkovitost takega sistema ( $L/m^2$ ) od 50 do 90% večja od samih bazenov za izhlapevanje. Teoretično tak sistem poveča količino izhlapevanja za desetkrat na dano tlorisno površino v primerjavi z bazeni. V Izraelu je WAIV naprava s 500m<sup>2</sup> močenih površin uspela izhlapati od 0,55 do 1,7m<sup>3</sup>/h v šestih mesecih poskusnega obratovanja. Ta način izhlapevanja je še vedno energijsko in tehnološko manj zahteven od drugih, saj zahteva le črpalke in zadostno površino. Kakšna je učinkovitost na obsežnejši industrijski ravni, je še vprašljivo, saj bi pregosto postavljeni mediji prehitro nasičili zrak in bi učinkovitost padla, vendar pa so še možne izboljšave v materialih.(Morillo, 2014)

### 13.3 Fitorazsoljevanje (rastlinsko razsoljevanje)

Fitorazsoljevanje omogoča reševanje problematike z namakanjem polj s halofiti. Zelo majhen odstotek rastlin ima toleranco na visoko raven slanosti in zaradi te njihove sposobnosti je možno taka polja namakati s slanico oziroma mešanico slanice in vode. Vseeno je potrebno zmerno namakanje, saj visoke koncentracije natrija zmanjšajo propustnost tal in izhlapevanje, kar rastlinam oteži vpijanje vlage. Glenn et al. so testirali možnost vzgajanja *Atriplexnummulariain* pri tem nadzirali rast, infiltracijo in izhlapevanje vode. Ugotovili so, da je možno to vrsto dolgotrajno namakati s slanico koncentracije 41000 ppm in hkrati zagotoviti hitro rast, pri čemer se slanost tal ne poveča preko stopnje uporabnosti za vzgojo.

Fitodesalinacija je še vedno postopek v eksperimentalnih fazah. V zgoraj omenjenem poizkusu so kljub dobrim rezultatom ugotovili, da je s trenutnim poznavanjem halofitov za 16500m<sup>3</sup> slanice dnevno potrebnih cca. 200 hektarjev plantaže. Še vedno pa pri takem postopku obstaja možnost kopičenja natrija

v tleh in izpiranja v vodonosnik. Morda bo čez čas odkrita ali ustvarjena nova vrsta halofitov, s katero bi postal postopek bolj učinkovit. (Morillo, 2014)

### **13.4 Izhlapovanje in kristalizacija**

Z namenom iskanja rešitev za zmanjšanje vplivov izpustov slanice je več študij poskusilo najti sistem za učinkovito izhlapevanje slanice z izločanjem soli. V Cuevas de Almanzoras v pilotni napravi s postopkom, podobnim kot poteka pri MSF razsoljevanju, torej z gretjem slanice v podtlačnih pogojih do kristalizacije soli predelali prtok slanice 70l/h, vendar so bili stroški obratovanja takega sistema previsoki za komercialno uporabo.

Mickley in sorodni so raziskali tehnologije brez tekočih izpustov ali z visoko stopnjo rekuperacije. Te tehnologije so zajemale kombinacije mehčanja z apnom, toplotne koncentratorje in kristalizatorje za pridobivanje pitne in brakičnih voda s 96% izkoristkom. Tako visok izkoristek in tudi stroški obratovanja sistema so zelo povezani z vrsto surove vode; večina teh sistemov zahteva uporabo fosilnih goriv in trenutno niso finančno opravičljivi. Več raziskav bi bilo potrebnih za izboljšavo takih sistemov za povečanje njihove konkurenčnosti, saj so popolnoma odvisni od vira energije (para ali fosilna goriva), kar pomeni, da so neobčutljivi na klimatske pogoje in količino naravnega izhlapevanja ali sončnega obsevanja. (Morillo, 2014)

### **13.5 Podtlačna (vakuumska) membranska destilacija**

Podtlačna (vakuumska) membranska destilacija je enaka tehnologija kot za pridobivanje pitne vode iz morske vode. S testiranjem novih membran in uporabo podtlaka na strani permeata se lahko poveča količina izločene vode. Pri testiranju takega postopka so v laboratorijskih pogojih uspeli doseči koncentracijo slanice do 300g/l. Pri uporabi te metode v realnih aplikacijah je omejujoči faktor ustvarjanje oblog, zaradi slabe topnosti predvsem vodnega kamna ( $\text{CaCO}_3$ ) in kalcijevega sulfata ( $\text{CaSO}_4$ ). Obloge so v pilotni napravi povzročile padec pretoka za 24%, zaradi narave oblog pa te na srečo ne potrebujejo kompliciranega čiščenja, le občasno izpiranje. S simulacijo, ki so jo opravili na napravi s kapaciteto 40 000m<sup>3</sup>/dnevno, s surovo vodo slanosti 38.9g/l, v kombinaciji RO in VDM, so dosegli končni izkoristek 89%, pri čemer je VDM prispevala 40%.

Ji et al. (2010) so testirali učinkovitost membranske kristalizacije (MDC) z uporabo membran iz votlih vlaken. Iz umetno ustvarjene slane vode s slanostjo 21g/l in temperaturo 50°C so pri slanosti dosegli izkoristek 90%. Potrebna energija za ta postopek variira med 15 in 20kWh/m<sup>3</sup>, saj ima kristalizacija NaCl specifično porabo energije 30kWh/m<sup>3</sup>, pri čemer je taka poraba energije še vedno precej nižja od tehnologij izparevanja. Pri testiranju z naravno surovo vodo je prisotnost raztopljenih organskih snovi zmanjšala rast kristalov soli za 20% in permeata za 8%. (Morillo, 2014)

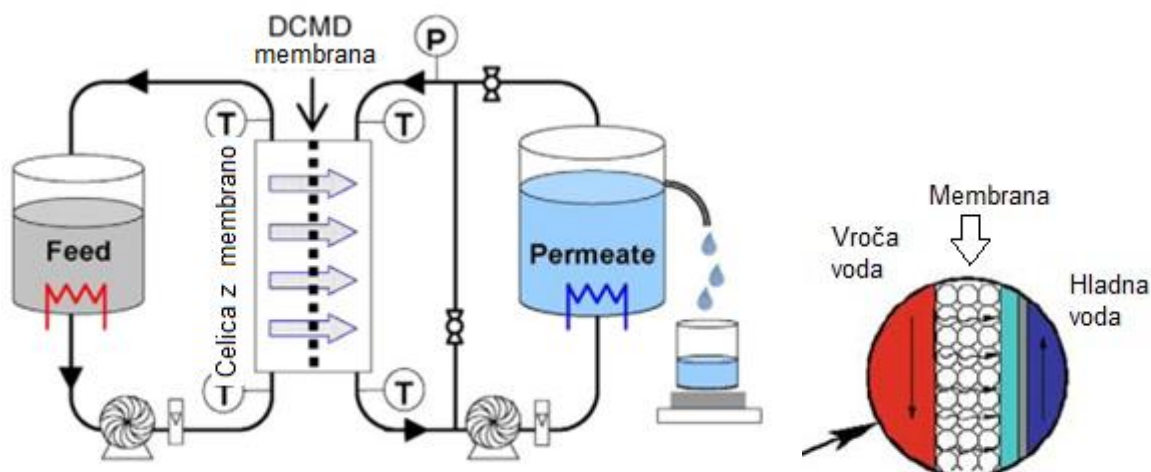
### 13.6 Razsoljevanje brez izpustov

Univerza v Južni Karolini je razvila tehnologijo, imenovano zero discharge desalination (ZD D), katere cilj je pridelava pitne vode ter pridobivanje soli ( $\text{NaCl}$ ) in tudi  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Br}_2$ . Možnih je več izvedb.  $\text{NaCl}$  se lahko pridobi z naravno kristalizacijo ali z dodatkom kristalizatorjev. V laboratorijskih poizkusih so uspeli izločiti do 75% soli iz slanice. Z dodatkom  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  za odstranitev kalcija je bil uspešno pridobljen tudi magnezijev hidroksid  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  z 99% čistostjo. Podobna tehnologija, razvita na omenjeni univerzi, je bila licenčno prodana podjetju Veolia, kar kaže na potencial in zanimanje investitorjev za boljši izkoristek in manjšanje okoljevarstvenih stroškov. Taka tehnologija lahko namreč omogoči 99% izkoristek pri pridobivanju vode, kristalizirani minerali pa se lahko uporabijo kot sol za posipanje, medtem ko so kalijev karbonat in druge snovi uporabni pri izdelavi mavčnih sten. (Morillo, 2014)

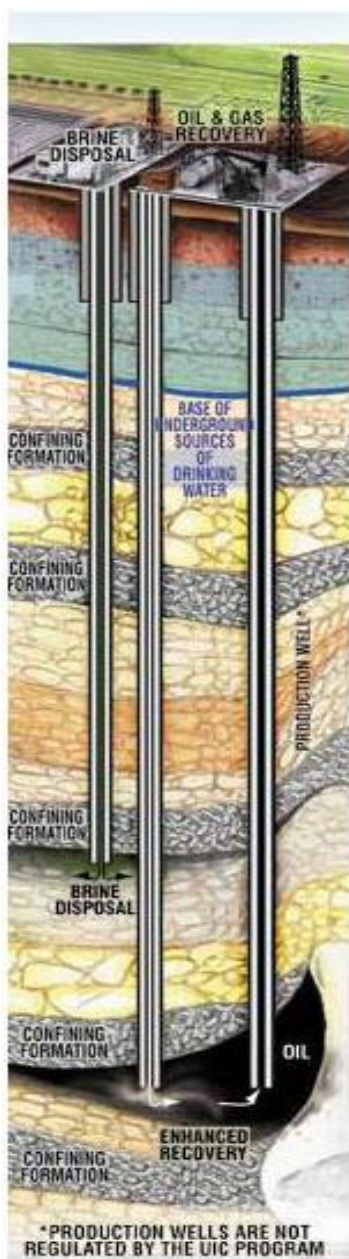
### 13.7 Injiciranje v tla

Slanica se injicira v žepe v dolomitu ali apnencu na globini od 300m do 2000m. Pomembno je, da so ti žepi prazni, vodotesni in nepovezani s podobnimi žepi, ki bi lahko vsebovali pitno vodo. Vseeno je potrebno vgraditi dodatna merilna sredstva in nadzorne jaške v bližini črpalnih jaškov, ki preverjajo stanje v podzemnih žepih, da nebi prišlo do puščanj ali mešanja čistih vodonosnikov s slanico. (Younos, 2005)

Slika 13: Alternativne metode obdelave slanice



Slika 14: Princip delovanja membranske destilacije (Bleninger, 2010; Cipollina 2009)



**Slika 15: Prikaz injiciranja slanice v tla**

Odpadna slanica se injicira v globoke zaprte vodonosnike.

(<https://www.epa.gov/uic/class-ii-oil-and-gas-related-injection-wells>)



### 13.8 Izpust slanice v morje

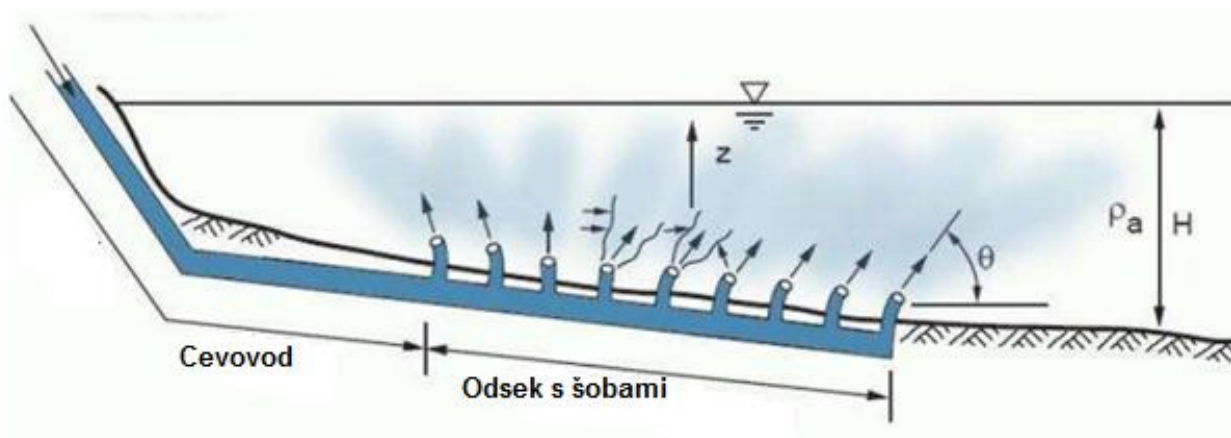
Izpusti v morje so najpogostejša oblika reševanja slanice in tudi najstarejša, zato je prisotnih več oblik in načinov izvedbe. Starejše naprave imajo pogosto izvedene le površinske izlive; pri termičnih napravah v vzhodnih državah je to standardni način izvedbe. Novejše naprave v bolj razvitih državah so projektirane z upoštevanjem vplivov na okolje, zato so razviti posebni sistemi za razpršenje ali mešanje slanice z morjem. Pred vsako izgradnjo razsoljevalne naprave, še posebej v primeru, da je prva na danem območju, se sedaj naredijo natančnejše analize vplivov na okolje in eksperimentiranje z oblikami razpršilnih naprav na pilotnih napravah.

Primer enostavnega izpusta termične razsoljevalne naprave s plavajočo slanico.



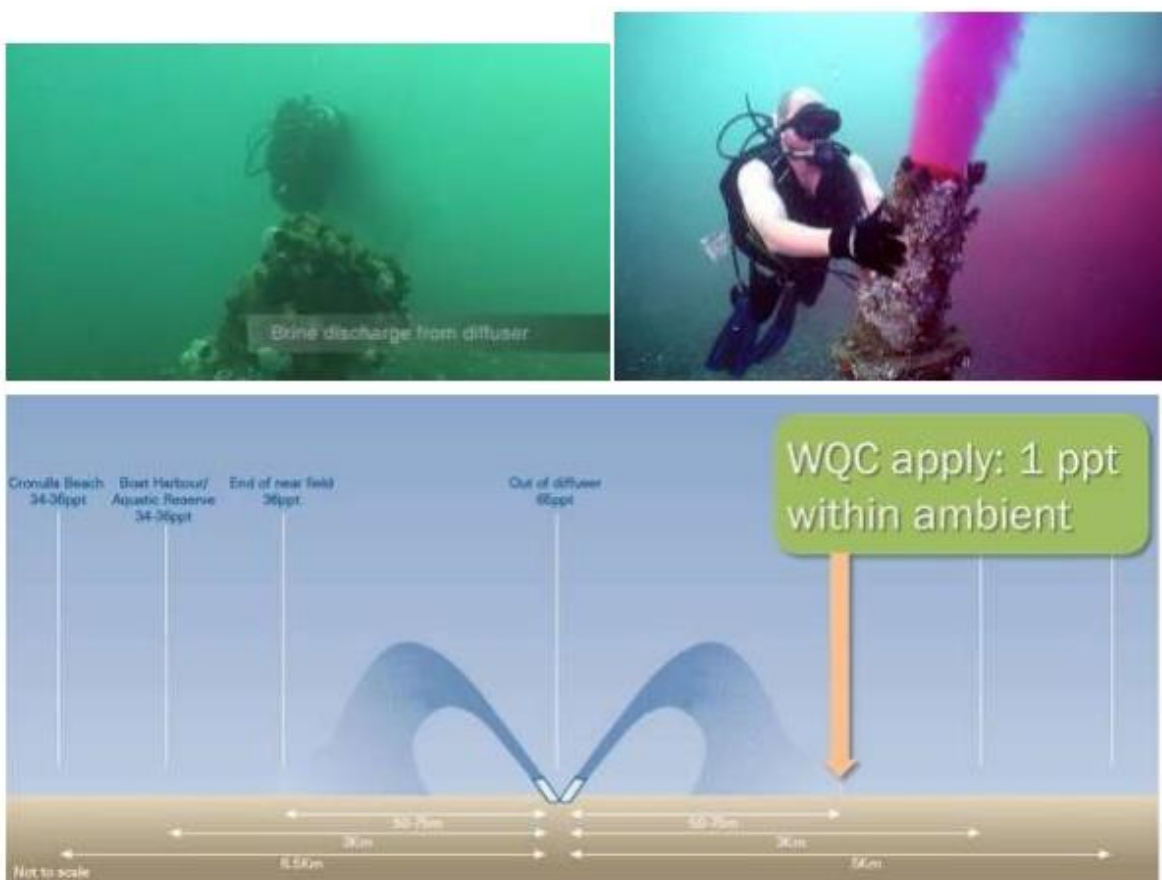
**Slika 16: Satelitska slika zajema in izpusta Taweelah MSF naprave s kapaciteto 1,12 mio m<sup>3</sup>/dnevno (Bleninger, 2010)**

Zaradi slabega mešanja lahko taki izpusti povzročijo večjo škodo v neposredni bližini in na obali, saj se v primeru slabšega kroženja toka ustavijo statična območja z visokimi koncentracijami slanosti. Tehnologija podvodnih izpustov ni nova, saj je uporabljena že pri izpustih za komunalne vode, glavna razlika je v tem, da komunalna odpadna voda in morje vsebujeta drugačne koncentracije snovi in gostote, zato je naravna difuzija močnejša. Pri podvodnih izpustih slanice je s tega vidika zelo pomembno ustrezno projektiranje.



**Slika 17: Primer sodobnejšega sistema večjega izpusta v več šobami (multiport)**  
(Bleninger, 2010)

Število šob, globina in dolžina, na kateri so vgrajeni, so odvisni od količine slanice, okoljskih pogojev in zahtev zakonodajalcev glede hitrosti rdečenja. Primer testiranja in zahtev v Avstraliji je pokazal, da je na oddaljenosti 75m od izpusta dovoljeno povečanje koncentracije slanosti 1ppt (1g/l).



**Slika 18: Slike iz avstralskega poročila o izpustih iz razsoljevalnih naprav**

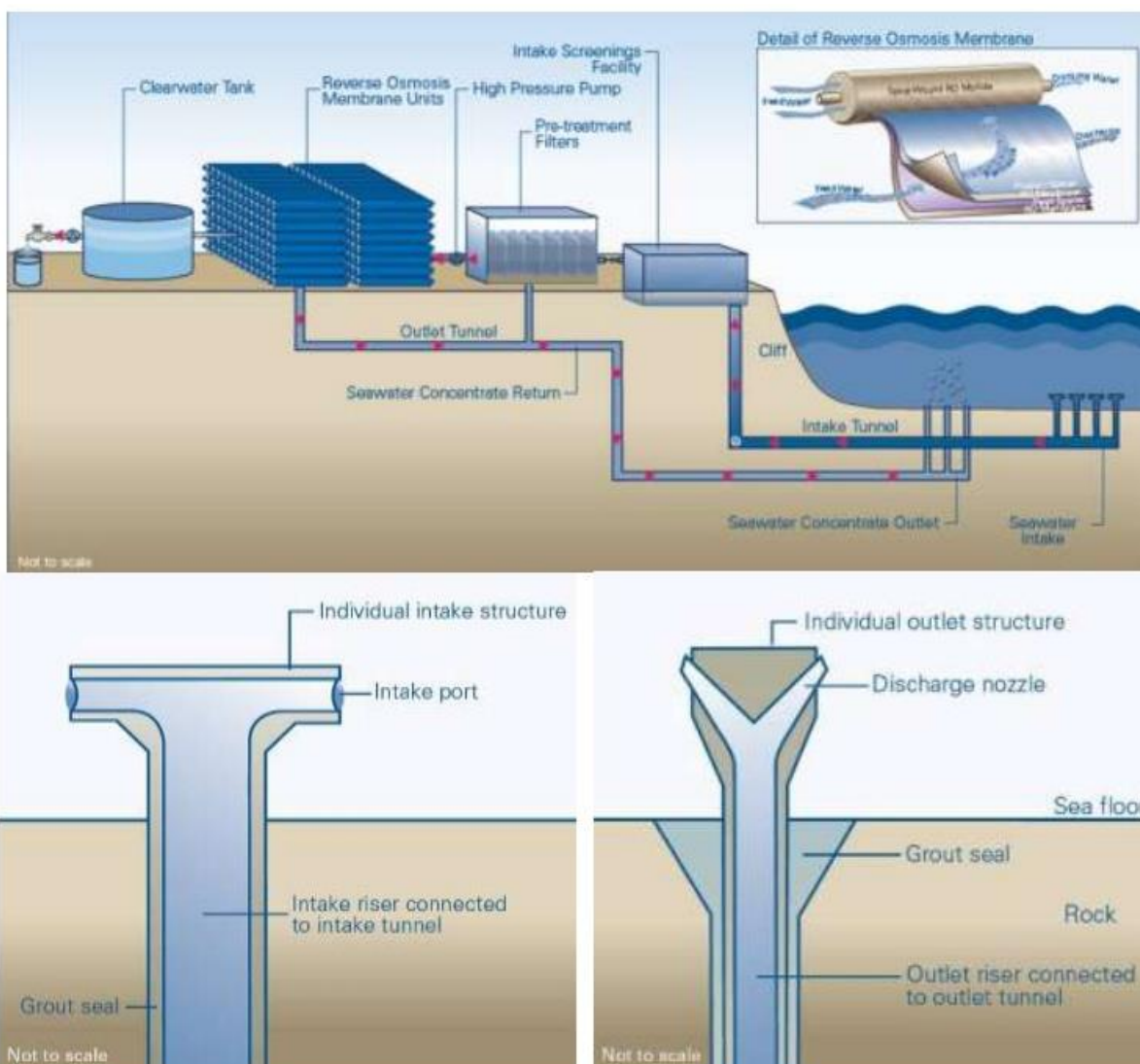


V zgornjem delu slike je potapljač ob šobi, v zgodnji desni sliki pa je prikazan potek eksperimenta za sledenje razredčenja. Spodnja slika prikazuje model razredčenja z oddaljenostjo in zahtevo WQC, da koncentracija ne sme biti višja od okoljske za več kot 1ppt v oddaljenosti 75m. (Bleninger, 2010)

Kot napisano, šobe drastično pripomorejo k izboljšanju mešanja, pri tem pa je potrebno dobiti ravnovesje med zelenim učinkom mešanja in hitrostjo vode na izpustu. Čeprav večje hitrosti zagotavljajo večjo turbulentnost in boljše mešanje, je potrebno upoštevati tudi lokalne spremembe v vodnem okolju, kjer lahko velike hitrosti škodujejo populaciji planktona in ličink.

**Preglednica 10: Dovoljeno povečanje slanosti v določenih državah** (Bleninger, 2010)

Območje/država	Omejitev	Točka meritve	Izdajatelj/pedpisa
US EPA	Dovoljeno povečanje do 4ppt	100 ft	
Carlsbad	Absolutno manjše od 40ppt	1000 ft	San Diego Regional Water Quality Control Board 2006
Huntington Beach, CA	Absolutno manjše od 40 ppt (ali izraženo kot razmeje mešanja 7.5:1)		Santa Ana Regional Water Quality Control Board 2012
Western Australia guidelines	Povečanje do 5%		
Oakajee Port, Western Australia	Povečanje do 1 ppt		The Waters of Victoria State Environment Protection Policy
Perth, Australia/Western Australia EPA	Povečanje do 1.2 ppt pri 50 m in do 0.8 ppt pri 1000m	50 in 100m	Wec, 2002
Sydney, Australia	Povečanje do 1 ppt	50–75m	ANZECC (2000)
Gold Coast, Australia	Povečanje do 2 ppt	120m	
Okinawa, Japan	Povečanje do 1 ppt	Na robu mešalnega območja	
Abu Dhabi	Povečanje do 5%	Na robu mešalnega območja	
Oman	Povečanje do 2 ppt	300m	



**Slika 19: Shematski prikaz RO naprave Sydney, Australija** (Jenkins, 2012)

Shematski prikaz zajema, izpusta in konfiguracije RO naprave kapacitete 125000 do 500000m<sup>3</sup>/dnevno za Sydney; podobna konfiguracija je uporabljena tudi za mesto Perth.

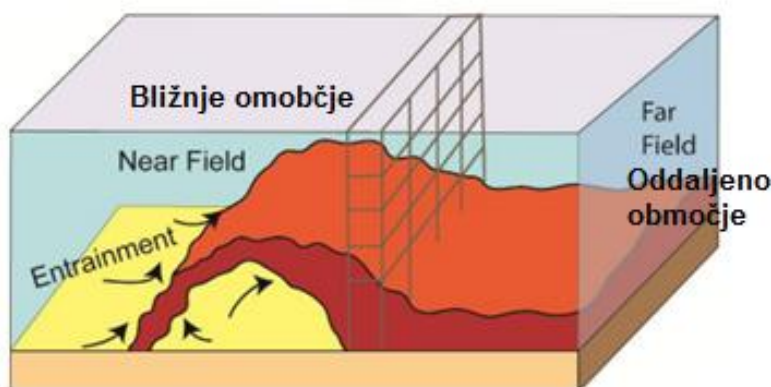
Zajemi se nahajajo cca. 200 do 300m od obale na globini 20–30m, medtem ko so šobe za izpust na oddaljenosti 250 do 350m in njihov kot je 60°.

(Jenkins,2012)

#### 14. MODELIRANJE IZPUSTOV SLANICE

Pri modeliranju izpustov se območje razdeli na območja, in sicer na bližnje območje ter oddaljeno območje. Območja se delijo glede na to, kateri vplivi so prevladujoči; v prvem območju prevladujejo fizikalne lastnosti izpusta, v vmesnem območju te izgubljajo vpliv in v zadnjem delu prevzame glavno vlogo pri širjenju onesažil tok in difuzija. Začetno območje se konča, ko se zmanjša vpliv začetne hitrosti in turbulence, slanicažadne toniti (v primeru za RO) in glavna mehanizma za širjenje postaneta

lebdenje in difuzija. Taka razdelitev omogoča precejšnje poenostavitve pri računanju vplivov na okolje, če nas ne zanima točna oblika širjenja, ampak povprečne vrednosti in približni pogoji, ki bodo nastali v morskem okolju. Enostavni izračuni se nanašajo na prvo območje, kjer se izračuna mešanje samo na podlagi curka in se zanemari vplive okolja, kot sta tok morja in difuzija. Prav tako so možni enostavni izračuni za zadnje območje, in sicer z uporabo "box" modelov, kjer se ustvari navidezni bazen, v katerega vmešamo izpuste in nato izračunamo povprečne vrednosti.



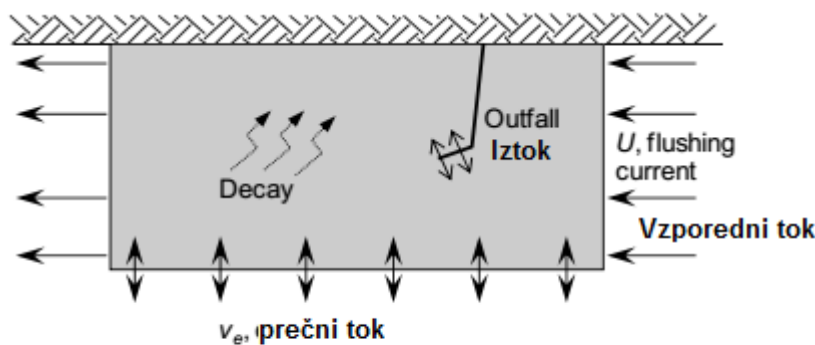
**Slika 20: Prikaz ločitve med bližnjim in oddaljenim območjem**  
(Roberts, 2012)

#### 14.1 Razredčenje v oddaljenem (Far Field) območju

Primer izračunov za oddaljeno območje je "long-term flushing" oziroma dolgoročno izpiranje. Meje računskega območja so določene s hitrostmi tokov in časom plimovanja,  $X = uT/2$  and  $Y = v T / 2$ , pri čemer je  $T$  čas plimovanja,  $u$  in  $v$  pa hitrosti plime v danih smereh. Dana enačba (1) je sicer univerzalna enačba za katero koli vrsto onesnaženja, saj zadnji člen vključuje faktor  $k$ , ki je faktor razpada v primeru kemikalij ali bakterij. Višina sloja, v katerem se onesnaženje širi, opišemo z višino  $h$ . Za sledeči prikaz je lahko  $5\text{m}$ , prtok polutanta pa  $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$$S_p = \frac{VhY}{Q} + \frac{vhX}{Q} + \frac{khXY}{Q} \quad (1)$$

$S_p$  – količnik razredčenja



**Box model za oceno dolgotrajnega razredčenja/kopičenja onsesnažil**

Če predpostavimo, da je hitrost toka zaradi plimovanja  $v_t = 2\text{cm/s}$  in  $u_t = 3\text{cm/s}$  hitrost prečnega toka  $V = 5\text{cm/s}$ , dobimo podatke:

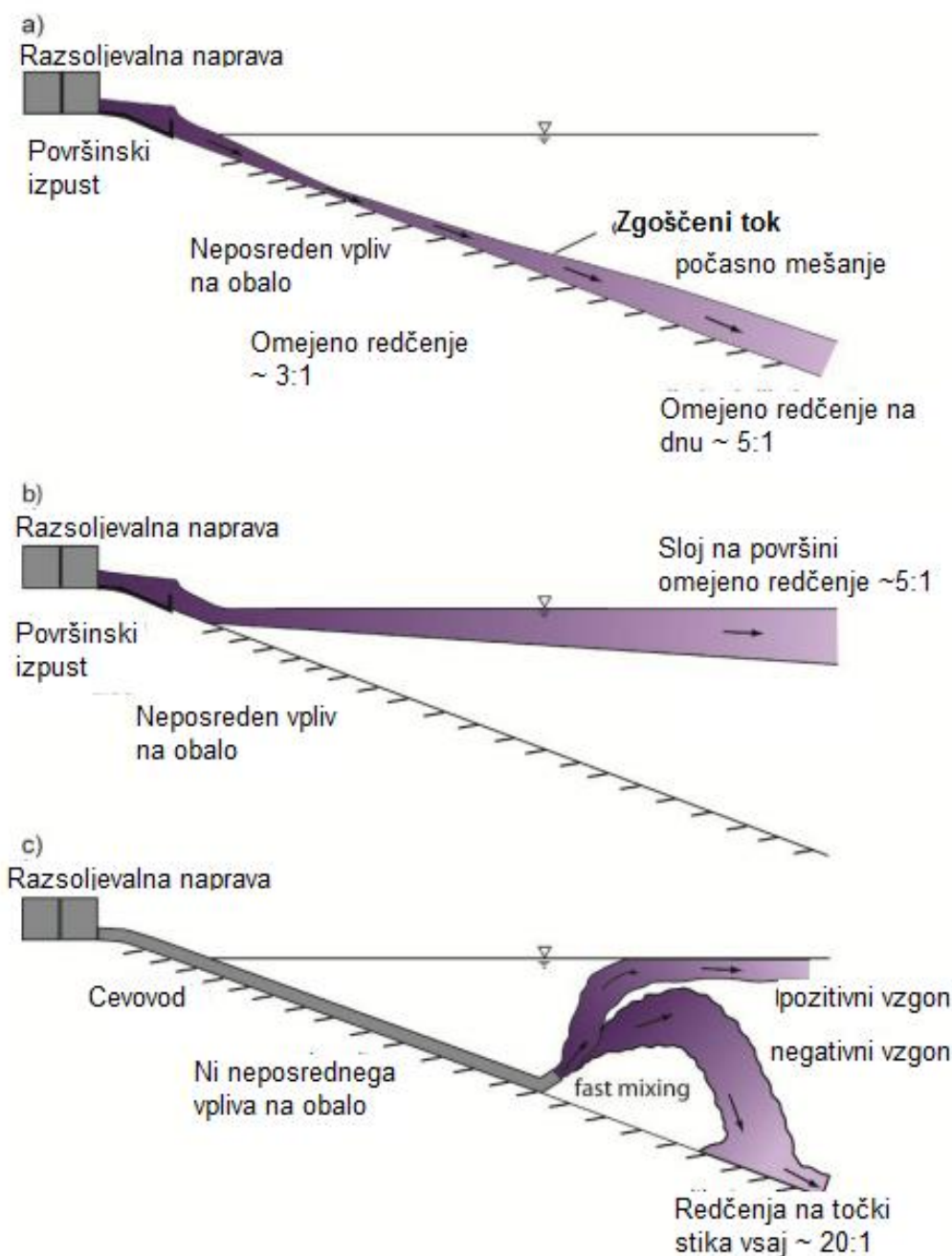
$$X = 0,03 \times 3600 \times 12 / 2 = 648\text{m}; Y = 0,02 \times 3600 \times 12 / 2 = 430\text{m}$$

$$S_p = \frac{0,05 \times 5 \times 430}{1} + \frac{0,02 \times 5 \times 648}{1} = 107,5 + 648,8 = 172,3$$

Tore je skupni učinek razredčenja, brez upoštevanega razpada, ker se sol ne razgradi, in znaša 172,3, kar nam ne pove nič natančnejšega, temveč je le ocena možne koncentracije določene snovi. Tudi območje velikosti cca.  $0,5 \times 0,5\text{km}$  je dokaj neuporabno za uporabi pri oceni razkrečenja v slovenskem morju zaradi velikosti področja. (Bleninger, 2010)

#### 14.2 Obnašanje izpusta v bližnjem območju

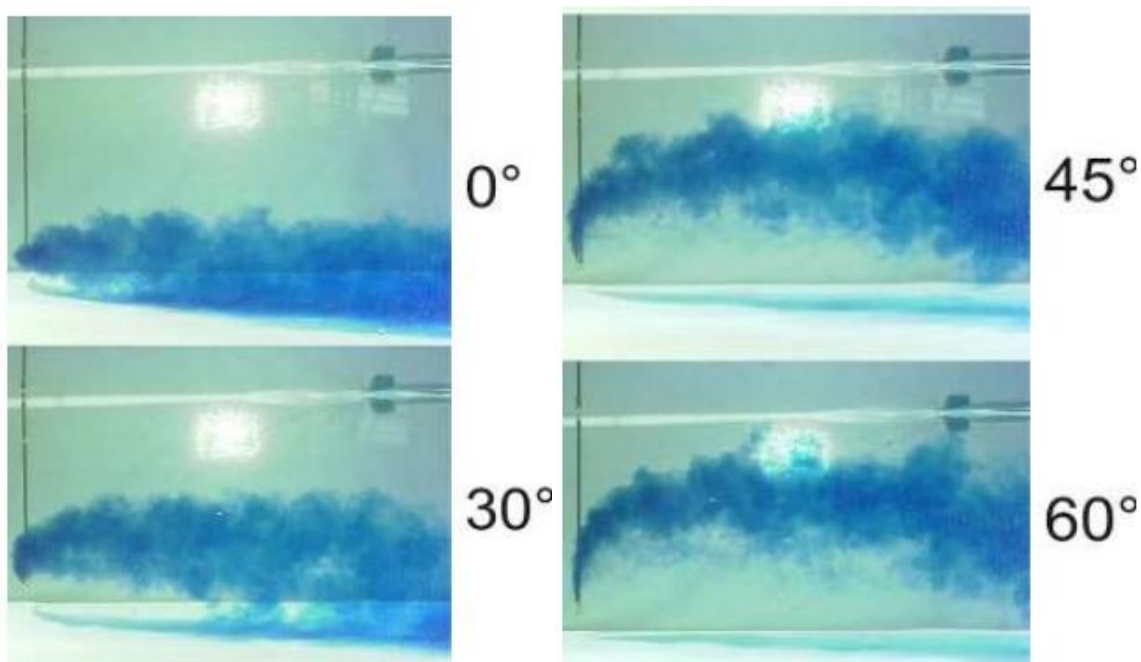
Tudi pri izpustu slanice se njeno obnašanje v morskem okolju zelo razlikuje glede na vrsto postopka razsoljevanja. Slanica iz večine termičnih postopkov vsebuje le 15% več soli in se v moje izpusti pri višji temperaturi od okolja, zato ima manjšo relativno gostoto in se širi pri površju. Pri membranskih postopkih, reverzni osmozi, ima slanica 100% več soli od vode, v katero je izpuščena, in je približno enake temperature, zato slanica tone in se širi po dnu. Zaradi razlike v gostoti je naravno mešanje slabo, saj slanica ustvari lastni sloj, zato je začetno mešanje izredno pomembno. Z ustreznimi šobami ali drugimi tehnologijami za ustvarjanje turbulentnih pogojev na izpustu se zagotovi dobro začetno mešanje, da ne pride do pretiranega usedanja slanice, kar lahko škoduje morskemu dnu. Drugi način za dobro začetno mešanje je že omenjena kombinacija izpustov iz razsoljevalnih naprav z izpusti hladilnih voda ali odpadnih komunalnih voda.



**Slika 21: Prikaz obnašanja slanice na izpustu**

(Jenkins, 2012)

Slika prikazuje začetno obnašanje slanice ob izpustu v morje. Slika (a) prikazuje tonjenje slanice iz membranskih tehnologij, zaradi velike gostote in enake temperature kot okolje. (b) je obnašanje slanice iz termičnih sistemov, kjer gostota slanice ni tako visoka in ima višjo temperaturo, zaradi česar plava na površju. (c) v obeh primerih uporaba šobe spremeni začetno obliko širjenja in izboljša mešanje.



**Slika 22: Vpliv kota šobe na obliko začetnega oblaka slanice** (Bleninger,2010)

Prikaz laboratorijskih raziskav za določanje povezav med naklonom šobe in širjenjem izpusta. Pri vseh so bili pogoji enaki, hitrost izpusta 5m/s in hitrost toka 0,2m/s. Edina razlika je v kotu šobe, kjer najboljše rezultate dosega kot 60°, vendar zahteva večjo globino in v primeru laboratorijskega eksperimenta globina komaj zadošča za tak kot, saj bi ob manjši globini tok izpusta prebil gladino.

**Preglednica 11: Približni količniki razredčenja za različne vrste izpusta**

(Palomar,2011, stran:288)

Približne vrednosti razredčenja za bližnje območje, za koncentrirano slanico		
Vrsta izpusta		Količnik razredčenja
Izpust na peščeni obali		2,5
Izpust preko kanalov ki se izlivajo v morje		4
Izpust na valobranu pristanišča		6
Vodoravni potopljeni izpust		10
Izpust preko preliva na klifu (odvisno od višine preliva in globine morja)		18
Izpusti preko enojne šobe (minimalno razredčenja v točki stika)	Potopljena šoba pod kotom 65°	30
	Potopljena vertikalna šoba, ob gladini	8,7
	Potopljena vodoravna šoba, ob gladini	10
	Vertikalna šoba, nad gladino	9
	Vodoravna šoba, nad gladino	23
Izpusti z več odprtini	Ena šoba	24
	Dve šobi v nasprotnih smereh	30

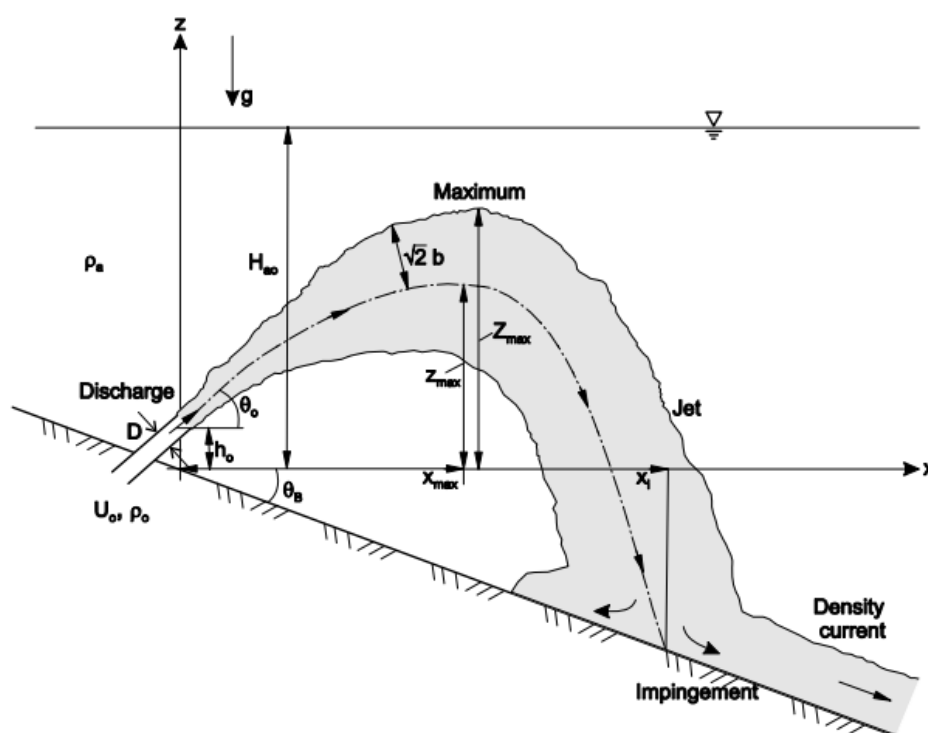
Količniki, pridobljeni z laboratorijskimi poizkusi.



## 15. IZRAČUN ZAČETNEGA MEŠANJA ZA TEORETIČNI IZPUST SLANICE

Zaradi zelo nizkih hitrosti tokov v nižjih slojih, kjer se gosta slanica širi, sem za izračun začetnega rdečenja uporabil statični model, ker so hitrosti v spodnjih slojih pod 10cm/s, torej manj kot 360m na uro. Model, ki je uporabljen za izračun premera in števila šob oziroma šob na izpustu, upošteva le obliko curka za fizično razredčenje brez upoštevanja morskih tokov ali difuzije.

Z minimalnimi spremembami, kot so recimo število in naklon šob, oddaljenost od obale in globina izpusta, vplivamo na mešanje in hitro izračunamo več možnih scenarijev. Za izračun so potrebne laboratorijsko pridobljene zveze.



**Slika 23: Prikaz enot za izračun**

(Bleninger,2010)

Izračun gostote vode, na podlagi izračuna El-Dessouky and Ettouny (2002), enačba (1), ki je merodajna za območje slanosti od 0 do 160 ppt (g/l) in temperaturo vode od 0 do 100°C pri atmosferskem tlaku 1atm oz. 1.013 bar. Temperatura (T), podana v stopinjah Celzija, in slanost (Sal) v ppt.

$$\rho = (A1F1 + A2F2 + A3F3 + A4F4) \cdot 10^3 \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1)$$

$$F1 = 0.5 \quad G1 = 0.5 \quad A1 = 4.032219G1 + 0.115313G2 + 3.26 \cdot 10^{-4}G3$$

$$F2 = A \quad G2 = B; \quad A2 = -0.108199G1 + 1.571 \cdot 10^{-3}G2 - 4.23 \cdot 10^{-4}G3$$

$$F3 = 2A^2 - 1 \quad G3 = 2B^2 - 1 \quad A3 = -0.012247G1 + 1.74 \cdot 10^{-3}G2 - 9.0 \cdot 10^{-6}G3;$$

$$F4 = 4A^3 - 3A; \quad A4 = 6.92 \cdot 10^{-4}G1 - 8.7 \cdot 10^{-5}G2 - 5.3 \cdot 10^{-5}G3;$$

$$A = (2T - 200)/160; \quad B = (2\text{Sal} - 150)/150$$

A1 do F4, brez dimenzijske komponente enačbe gostote

Dinamična viskoznost morske vode

$$\mu = \mu_W \cdot \mu_R \cdot 10^{-3} \quad [\text{kg}/(\text{ms})] \quad \nu = \mu / \rho \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

$$\ln(\mu_W) = -3.79418 + 604.129/(139.18 + T)$$

$$\mu_R = 1 + A \cdot \text{Sal} + B \cdot \text{Sal}^2$$

$$A = 1.474 \cdot 10^{-3} + 1.5 \cdot 10^{-5} T - 3.927 \cdot 10^{-8} T$$

Parametri za izračun geometričnih lastnosti curka:

$$V_0 = Q_0 / (D^2 \pi / 4) \quad M_0 = V Q_0 \quad J_0 = g_0' Q_0$$

$$g_0 = g(\rho_a - \rho_o) / \rho_a$$

$$L_Q = Q_0 / M_0^{1/2} \quad L_M = M_0^{3/4} / |J_0|^{1/2} \quad L_m = M_0^{1/2} / u_a$$

Froudovo število:

$$Fr = V_0 / (|g_0| D)^{1/2}$$

Širina toka je izražena kot  $\sqrt{2b}$ , kjer je  $b = 1/e$ , približno 37% .

Fr: Froudovo število

$L_M$ : razdalja, pri kateri se curek spremeni v oblak/madež.

$L_m$ : razdalja, preko katere tok močno vpliva na smer širjenja.

$H_{ao}$ : globina vode, pogoj  $Z_{\max} \leq 0.75 H_{ao}$ .

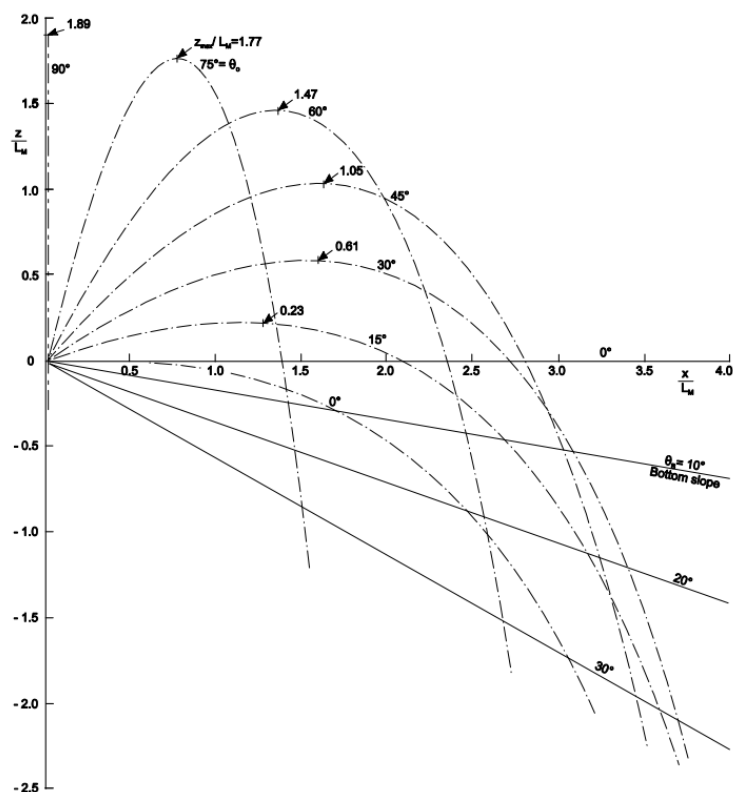
$g_0$ : vzgonski pospešek.

Re: Reynoldsovo število

(Bleninger, 2010)

Spodaj slika 24 prikazuje normalizirane trajektorije  $z/L_m$  in  $x/L_m$  in njihova presečišča s premicami, ki prikazujejo različne naklone dna. Kot izpusta  $\theta_0$  med  $30^\circ$  in  $45^\circ$  prikazuje največje razredčenje v točki stika z dnom, kar je najpomembnejši podatek za habitate na dnu v bližini izpusta. Program Core Jet, uporabljen v raziskavah, predvideva, da je optimalni kot šobe  $45^\circ$ , kar pa ni nujno, da je najbolj optimalna rešitev. Gledena globino vode in oddaljenost od obale je lahko optimalni kot izpusta med  $30$  do  $60^\circ$ ; pomembna je koncentracija soli v točki stika z morskim dnom. Manjši koti izpusta so primerni za plitkejše vode ali pa dna s strmejšim naklonom za doseganje točke stika z dnom dlje od obale, če je dno ravno, dosežemo največje razredčenje z kotom šobe med  $60$  in  $75^\circ$ , če nam globina morja to dopušča.

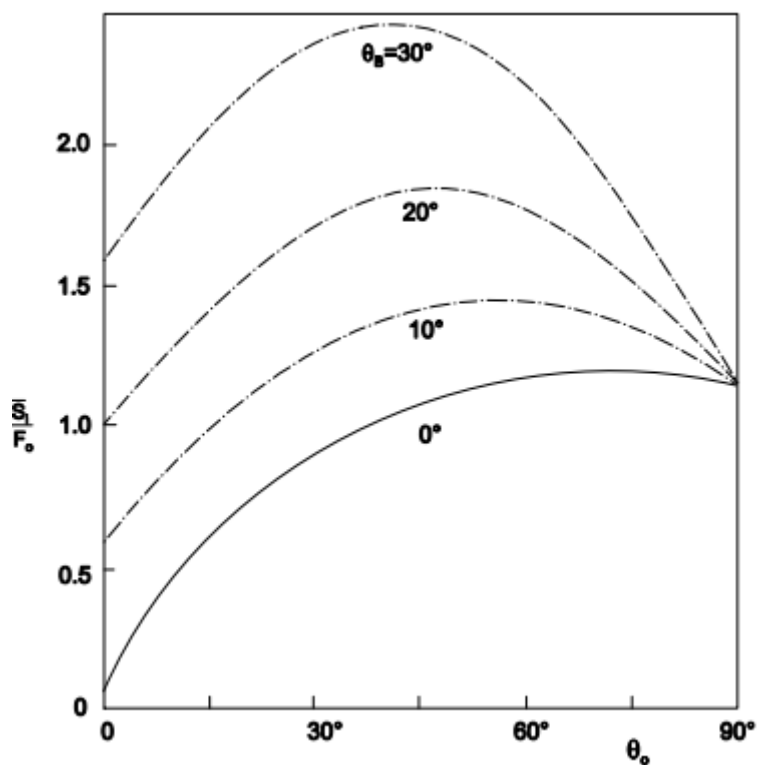




Slika 24: Krivulje za grafično določanje  $Z_{max}$  določanje (Bleninger, 2010)

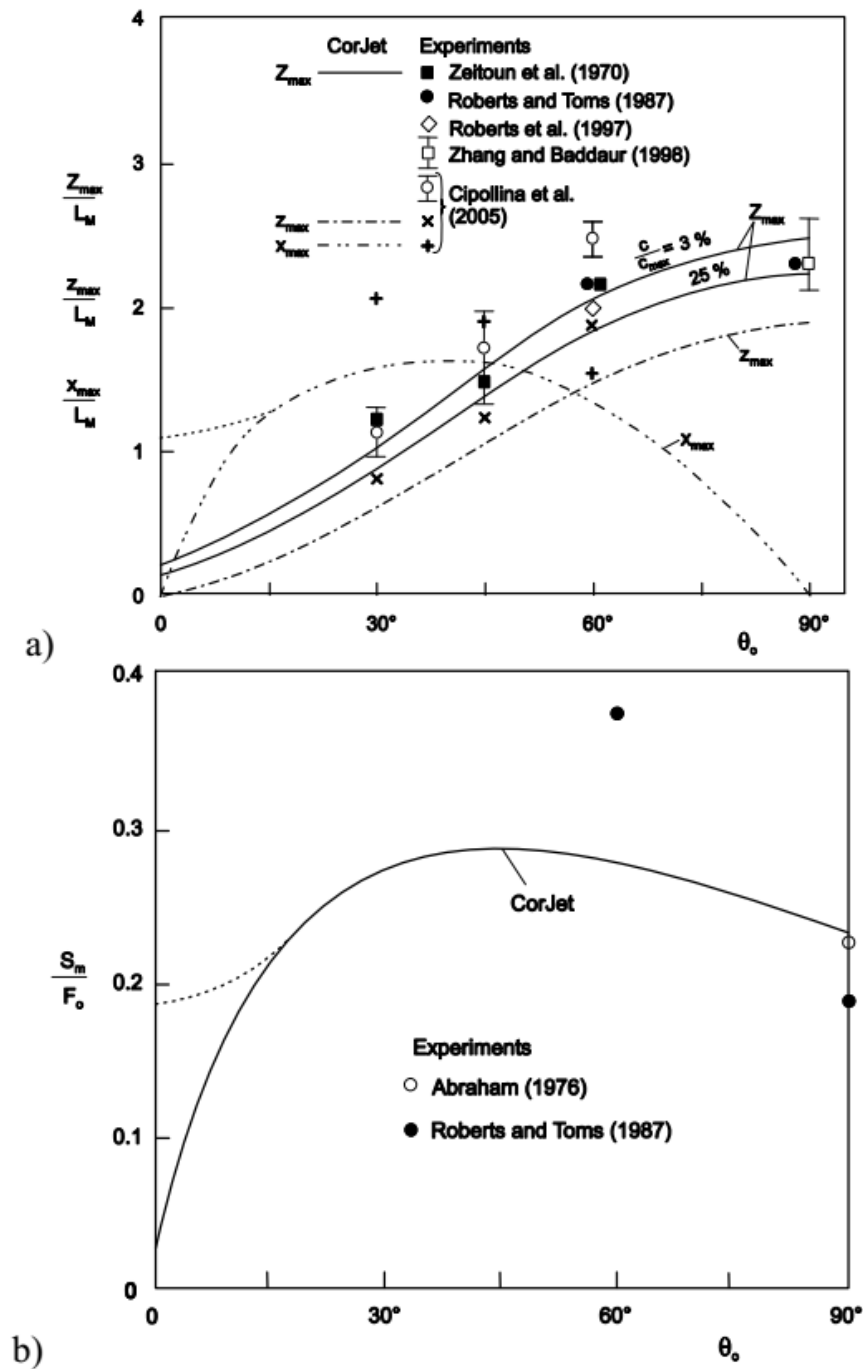
Krivulje za grafično določanje razmerji  $Z_{max}/L_m$  in  $X/L_m$  v odvisnosti parametrov izpusta in dna.

Boljša ločljivost je v prilogah.



Slika 25: Krivulje faktorja razredčenja (Bleninger, 2010)

Krivulje za grafično določanje faktorja razredčenja v odvisnosti od Reudovega števila.



**Slika 26: Povezava med računsko krivuljo in laboratorijskimi meritvami**

Slika a) razmerje  $Z_{\max}/L_m$  ; b) razmerje razredčenja  $S_m$  v odvisnosti od Froudovega števila

(Bleninger, 2010)

## 16. ANALIZA PODATKOV SLOVENSKEGA MORJA

Za določitev kritičnih pogojev in vrsto izračuna za redčenja slanice sem analiziral podatke za slovensko morje za obdobje zadnjih pet let. Podatke o morju, temperaturi, tokovih, slanosti in količini raztopljenega kisika vsakodnevno meri oceanografska boja Vida, last Nacionalnega inštituta za biologijo. Oceanografska boja meri tudi podate o zraku, hitrost in smeri vetra, vlažnosti zraka. Podatki o oceanografski boji so podani v prilogah; vsi podatki so izpisani kot povprečna vrednost v polurnih intervalih. Boja se nahaja na koncu piranskega rta Madonna, na poziciji: 45° 32' 55,68" N, 13° 33' 1,89" E (www.nib.si). V diplomskem delu sem analiziral le slanost in tokove. Tokovi se merijo po 22 profilih po globini, vsak meter, temperatura in slanost pa na globini 3m.

Podatki oceanografske boje in prikaz izpisa podatkov so v prilogah.

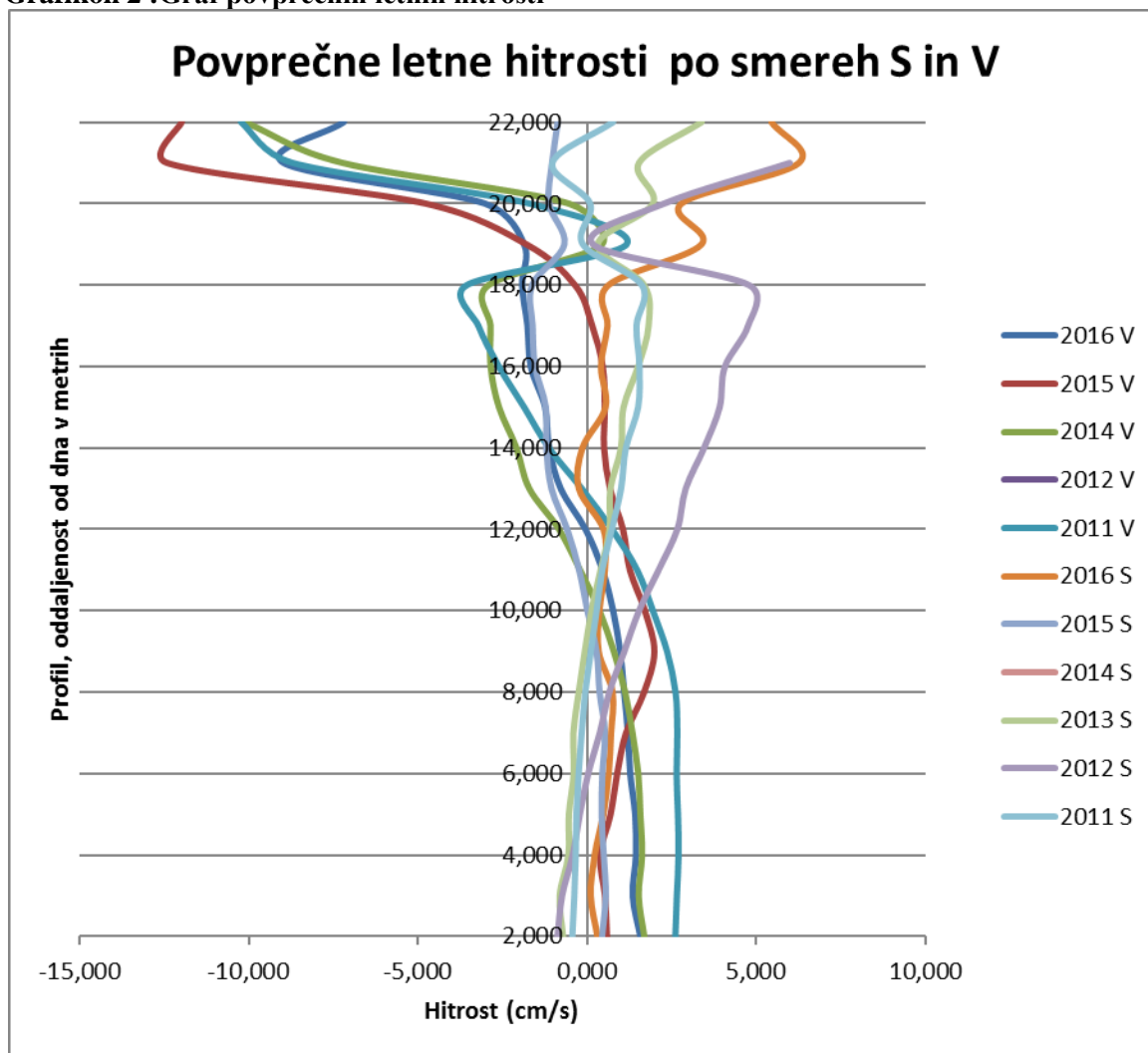
### Preglednica 12: Povprečne hitrosti po komponentah smeri

Prikaz povprečnih hitrosti po komponentah smeri vzhod in sever (cm/s) :

Višina	2016 V	2015 V	2014 V	2013 V	2012 V	2011 V	2016 S	2015 S	2014 S	2013 S	2012 S	2011 S
2,00	1,57	0,58	0,14	1,69	1,93	2,59	0,32	0,46	-0,25	-0,71	-0,86	-0,44
3,00	1,34	0,52	0,30	1,52	1,69	2,64	0,12	0,57	-0,13	-0,82	-0,73	-0,38
4,00	1,44	0,38	0,46	1,62	1,76	2,69	0,24	0,51	-0,05	-0,56	-0,41	-0,34
5,00	1,41	0,69	0,67	1,57	1,68	2,67	0,49	0,44	-0,06	-0,54	-0,21	-0,32
6,00	1,26	0,88	1,00	1,51	1,39	2,63	0,65	0,47	0,04	-0,40	0,04	-0,26
7,00	1,20	1,15	1,42	1,34	1,10	2,65	0,72	0,54	-0,05	-0,41	0,39	-0,17
8,00	1,08	1,68	1,77	1,12	0,70	2,60	0,77	0,38	0,02	-0,25	0,67	-0,06
9,00	0,97	1,99	2,02	0,79	0,03	2,35	0,36	0,29	0,06	-0,07	1,11	0,10
10,00	0,76	1,70	2,28	0,37	-0,86	1,93	0,38	0,02	-0,02	0,12	1,55	0,27
11,00	0,45	1,26	2,48	-0,20	-1,92	1,46	0,54	-0,22	-0,06	0,39	2,13	0,44
12,00	-0,06	1,06	2,70	-0,83	-3,39	0,72	0,50	-0,57	-0,12	0,65	2,68	0,72
13,00	-0,79	0,67	2,58	-1,71	-5,08	-0,17	-0,23	-1,04	-0,21	0,68	2,93	0,99
14,00	-1,13	0,50	2,62	-2,08	-6,40	-1,15	-0,12	-1,19	-0,24	0,99	3,47	1,13
15,00	-1,25	0,52	2,67	-2,60	-7,22	-1,88	0,56	-1,21	-0,26	1,07	3,94	1,49
16,00	-1,67	0,46	2,32	-2,85	-7,64	-2,62	0,42	-1,52	-0,30	1,50	4,09	1,53
17,00	-1,77	0,15	1,73	-2,85	-8,17	-3,23	0,62	-1,59	-0,38	1,81	4,78	1,45
18,00	-1,93	-0,36	0,90	-2,91	-8,42	-3,57	0,65	-1,61	-0,51	1,68	4,81	1,60
19,00	-1,87	-1,80	-2,31	0,44	-0,01	1,15	3,39	-0,66	-1,66	0,31	0,19	-0,13
20,00	-3,02	-4,78	-6,09	-0,54	-2,12	-1,72	2,80	-1,11	-1,23	1,94	2,28	0,08
21,00	-8,96	-12,43	-15,49	-7,22	-6,45	-8,72	6,27	-1,02	0,37	1,53	6,01	-1,03
22,00	-7,19	-12,00	-13,97	-10,11	-8,88	-10,25	5,46	-0,85	2,57	3,38	8,48	0,76

Višina (2-22) označuje oddaljenost merilne točke od dna v metrih, oznake V in S označujejo smer toka, V – Vzhod, S – Sever.

Grafikon 2 :Graf povprečnih letnih hitrosti

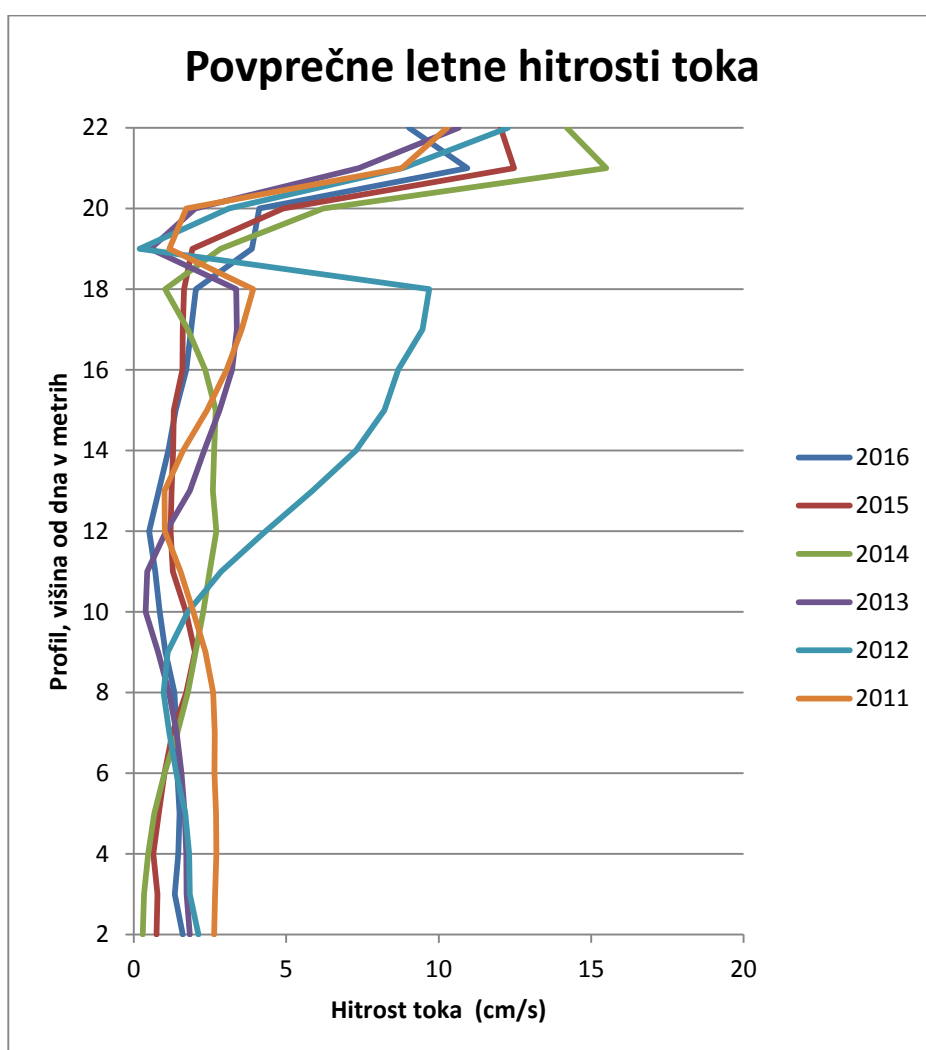


Preglednica 13: Povprečne letne hitrosti tokov

Profil	2016	2015	2014	2013	2012	2011	Skupno povprečje
2	1.60	0.74	0.29	1.83	2.11	2.63	1.54
3	1.34	0.77	0.33	1.73	1.84	2.67	1.45
4	1.46	0.63	0.47	1.72	1.81	2.71	1.47
5	1.49	0.82	0.67	1.66	1.69	2.69	1.50
6	1.42	1.00	1.00	1.56	1.39	2.64	1.50
7	1.40	1.27	1.42	1.40	1.17	2.66	1.55
8	1.33	1.72	1.77	1.15	0.97	2.60	1.59
9	1.03	2.01	2.02	0.79	1.11	2.35	1.55
10	0.85	1.70	2.28	0.39	1.77	1.95	1.49
11	0.70	1.28	2.48	0.44	2.86	1.53	1.55
12	0.50	1.20	2.71	1.05	4.32	1.02	1.80
13	0.82	1.24	2.59	1.84	5.86	1.01	2.23
14	1.14	1.29	2.63	2.31	7.28	1.61	2.71
							Se nadaljuje....

...nadaljevanje preglednice 13							
15	1.37	1.31	2.69	2.81	8.22	2.40	3.13
16	1.72	1.59	2.34	3.22	8.67	3.04	3.43
17	1.87	1.60	1.77	3.38	9.46	3.54	3.60
18	2.03	1.65	1.03	3.36	9.69	3.91	3.61
19	3.87	1.92	2.85	0.54	0.19	1.16	1.75
20	4.12	4.91	6.22	2.01	3.11	1.72	3.68
21	10.94	12.47	15.49	7.38	8.82	8.78	10.65
22	9.03	12.03	14.20	10.66	12.28	10.28	11.41

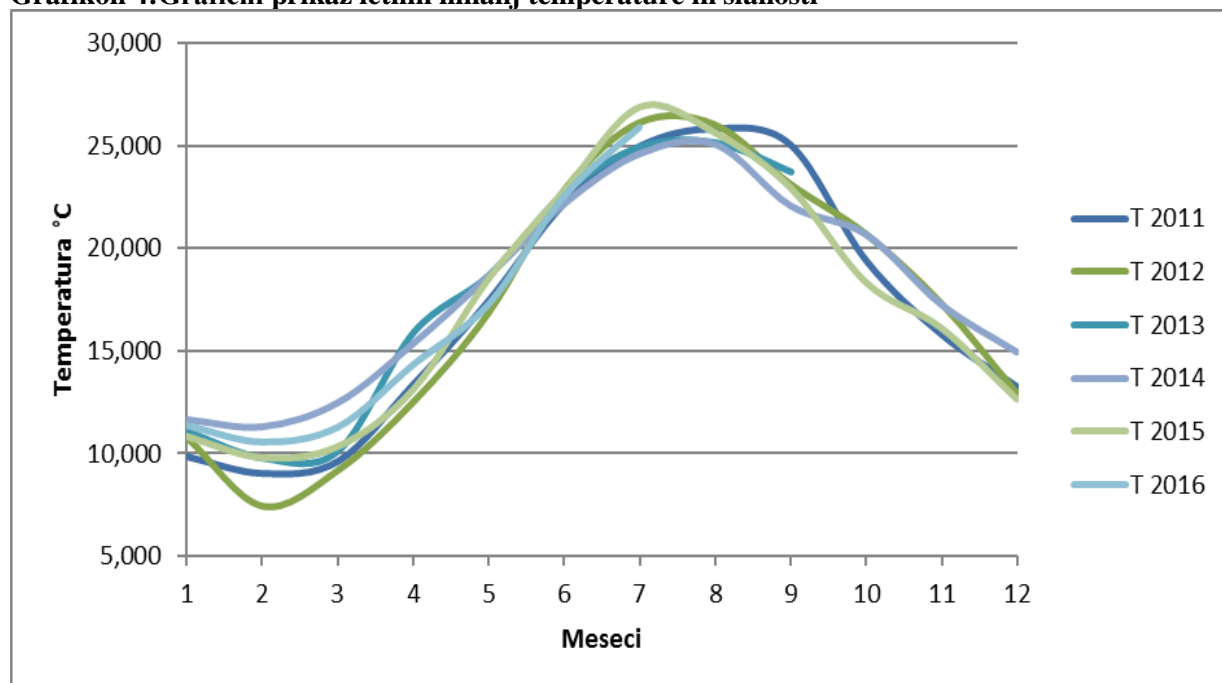
Grafikon 3: Grafični prikaz letnih povprečnih hitrosti po profilih

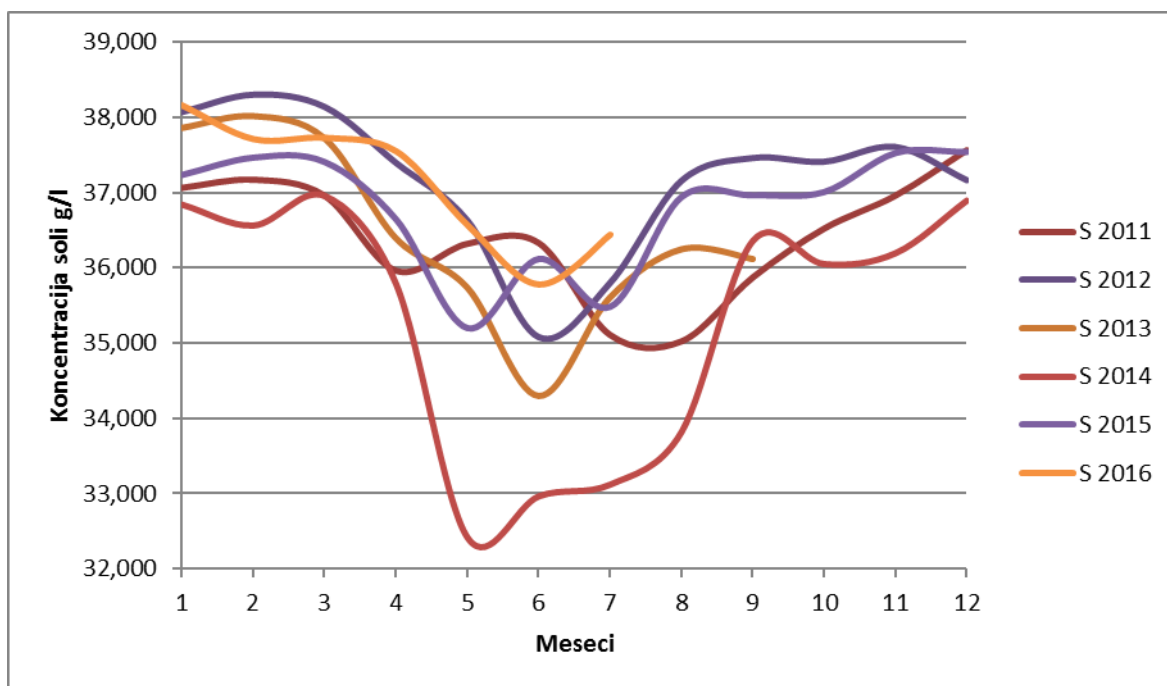


**Preglednica 14: Povprečna mesečna temperatura in slanost**

Koncentracija soli (g/l) in temperatura morja (°C).

mesec	T 2011	S 2011	T 2012	S 2012	T 2013	S 2013	T 2014	S 2014	T 2015	S 2015	T 2016	S 2016
Januar	9,88	37,06	10,77	38,07	11,09	37,87	11,63	36,83	10,83	37,24	11,39	38,16
Februar	9,06	37,16	7,43	38,30	9,79	38,02	11,29	36,56	9,80	37,47	10,59	37,71
Marec	9,65	36,95	9,18	38,14	10,13	37,73	12,46	36,95	10,35	37,41	11,32	37,73
April	13,40	35,96	12,51	37,39	15,91	36,40	15,34	35,78	13,13	36,65	14,37	37,55
Maj	17,48	36,31	16,87	36,63	18,70	35,74	18,65	32,41	18,53	35,20	17,31	36,57
Junij	22,22	36,32	22,85	35,08	22,70	34,30	22,15	32,96	22,82	36,12	22,58	35,78
Julij	24,99	35,10	26,13	35,80	24,95	35,61	24,59	33,11	26,89	35,49	25,94	36,44
Avgust	25,85	35,02	26,01	37,16	25,15	36,25	25,05	33,81	25,64	36,95		
September	25,06	35,87	23,12	37,46	23,72	36,12	22,05	36,35	22,96	36,97		
Oktober	19,44	36,52	20,69	37,41			20,66	36,04	18,34	37,01		
November	15,84	36,95	17,30	37,61			17,23	36,19	16,11	37,53		
December	13,29	37,55	12,94	37,16	12,09	36,12	14,92	36,89	12,64	37,55		

**Grafikon 4: Grafični prikaz letnih nihanj temperature in slanosti**



#### Preglednica 15: Analiza vrednosti

Skupno število meritev	96933
Povprečna slanost (g/l)	36,38
Meritve preko 38g/L	7180
Manjše ali enako 35g/l	13985
Meritve preko 38g/L v odstotkih	7,41%
Meritve enake ali pod 35g/l v odstotkih	14,43%
Srednja vrednost za slanost (g/l)	36,89
Povprečna temperatura °C	17,33

### 17. IZRAČUN REDČENJA PO MODELU BLIŽNJEGA VPLIVNEGA OBMOČJA

Po opaženih nizkih hitrostih tokov v nižjih slojih, kjer se gosta slanica širi, sem za izračun začetnega rdečenja uporabil statični model, ker so hitrosti v spodnjih slojih pod 10cm/s, torej manj kot 360m na uro. Model, ki je uporabljen za izračun premera in števila šob, oziroma šob na izpustu, upošteva le obliko curka za fizično razredčenje brez upoštevanja morskih tokov ali difuzije. Izračuni so predstavljeni v prejšnjem Poglavju 16, za okolijske podatke pa so uporabljeni podatki, izračunani iz podatkov oceanografske boje Vida. Za prvi okvirni izračun so uporabljeni povprečni podatki za obdobje 5,5let od 2011 do 2016in predpostavko, da je izpust slanice 100l/s.

**Preglednica 16: Izračun za povprečne vrednosti**

	Lastnosti zajema	Lastnosti odpadne slanice			
Temperatura	17,33	17,33 °C			
Koncentracija soli	36,38	72,76 g/l			
gostota	1026,31106	1054,15627 kg/m <sup>3</sup>			
pretok	0,2	0,1 m <sup>3</sup> /s			
g' (pospešek vzgona)		-0,2661586 m/s <sup>2</sup>			
Dinamična Viskoznost	0,001148	0,00125461 kg m s			
Kinetična viskoznost	1,12E-06	1,19E-06 m <sup>2</sup> /s			
<b>Karakteristike izpusta</b>					
Pretok	0,1	m <sup>3</sup> /s			
Premer izpusta	0,2	m			
Predpostavljen naklon dna	10	°			
<hr/>					
Izstopna hitrost (U)	3,18310155	m/s			
<b>Geometrijske lastnosti curka</b>					
M 0	0,31831016	m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>			
J	-0,0266159	m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>			
Lq	0,17724531	m			
Lm	2,59757211	m			
Fr	13,7963829				
Re	5,35E+05				
Zmax	1,58451899	m			
<hr/>					
<b>Oblika curka v odvisnosti od naklona šobe</b>					
<hr/>					
Kot θ	Zmax	Zmax(3%)	X	Xmax	Hmin
15	0,597	1,429	6,754	3,377	0,797
30	1,585	2,727	7,923	4,130	2,113
45	2,779	4,156	7,793	4,182	3,706
60	3,818	53,250	6,234	3,507	5,091
<hr/>					
<b>Razredčenje v odvisnosti od naklona šobe</b>					
Kot θ	Sm (v sredini curka v Zmax)	Si (v sredini curka v točki stika z dnom)	Teoretična koncentracija soli v točki stika		
15	2,966	13,796	38,839	g/l	
30	3,794	17,797	38,315	g/l	
45	3,973	19,453	38,159	g/l	
60	3,835	20,143	38,101	g/l	



Na podlagi analiziranih podatkov sem izbral najbolj neugodne pogoje, sicer so taki pogoji v izredno majhnem odstotku, vendar je prisotno večmesečno obdobje, ko so bili taki pogoji prisotni. Izbral sledeče parametre za neugodne pogoje, temperatura morja pod 10°C in slanost morja enaka ali višja od 38g/l.

Taki pogoji so se pojavili v opazovanem obdobju 3,4% meritev, natančneje :

27.1.2012 do 19.3.2013

27.12. 2013 do 5.3.2013 in 14.3.2013 do 25.3.2013

30.1.2016

### Preglednica 17: Izračun za neugodne pogoje, nizka temperatura in visoka slanost

	Lastnosti zajema	Lastnosti odpadne slanice			
Temperatura	10	10 °C			
Koncentracija soli	38	76 g/l			
Gostota	1029,36733	1058,77285 kg/m <sup>3</sup>			
Pretok	0,2	0,1 m <sup>3</sup> /s			
g' (pospešek vzgona)		-0,2802383 m/s <sup>2</sup>			
Dinamična Viskoznost	0,001389	0,00152393 kg m s			
Kinetična viskoznost	1,35E-06	1,44E-06 m <sup>2</sup> /s			
Karakteristike izpusta					
Pretok	0,1 m <sup>3</sup> /s				
Premer izpusta	0,2 m				
Predpostavljen naklon dna	10 °				
Izstopna hitrost (U)					
	3,18310155 m/s				
Geometrijske lastnosti curka					
M 0	0,31831016 m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>				
J	-0,0280238 m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>				
Lq	0,17724531 m				
Lm	2,53147761 m				
Fr	13,4453377				
Re	4,42E+05				
Oblika curka v odvisnosti od naklona šobe					
Kot θ	Zmax	Zmax(3%)	X	Xmax	Hmin
15	0,582	1,392	6,582	3,291	0,776
30	1,544	2,658	7,721	4,025	2,059
45	2,709	4,050	7,594	4,076	3,612
60	3,721	51,895	6,076	3,417	4,962
Razredčenje v odvisnosti od naklona šobe					
Kot θ	Sm (v sredini curka v Zmax)	Si (v sredini curka v točki stika z dnom)	Teoretična koncentracija soli v točki stika		
15	2,891	13,445	40,631	g/l	
30	3,697	17,344	40,071	g/l	
45	3,872	18,958	39,904	g/l	
60	3,738	19,630	39,842	g/l	

**Preglednica 18: Izračun v neugodnih pogojih, pri pretoku 200l/s.**

Lastnosti zajema		Lastnosti odpadne slanice			
Temperatura	10	10	°C		
Koncentracija soli	38	76	g/l		
Gostota	1029,36733	1058,77285	kg/m <sup>3</sup>		
Pretok	0,2	0,1	m <sup>3</sup> /s		
g' (pospešek vzgona)		-0,2802383	m/s <sup>2</sup>		
Dinamična Viskoznost	0,001389	0,00152393	kg m s		
Kinetična viskoznost	1,35E-06	1,44E-06	m <sup>2</sup> /s		
<b>Karakteristike izpusta</b>					
Pretok	<b>0,2</b>		m <sup>3</sup> /s		
Premer izpusta	0,2		m		
Predpostavljen naklon dna	10		°		
<b>Izstopna hitrost (U)</b>					
	6,3662031		m/s		
<b>Geometrijske lastnosti curka</b>					
M 0	1,27324062		m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>		
J	-0,0560477		m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>		
Lq	0,17724531		m		
Lm	5,06295522		m		
Fr	26,8906755				
Re	8,85E+05				
<b>Oblika curka v odvisnosti od naklona šobe</b>					
Kot θ	Zmax	Zmax(3%)	X (točka stika z dnom)	Xmax	Hmin
15	1,164	2,785	13,164	6,582	1,553
30	3,088	5,316	15,442	8,050	4,118
45	5,417	8,101	15,189	8,151	7,223
60	7,443	103,791	12,151	6,835	9,923
<b>Razredčenje v odvisnosti od naklona šobe</b>					
Kot θ	Sm (v sredini curka v Zmax)	Si (v sredini curka v točki stika z dnom)	Teoretična koncentracija soli v točki stika		
15	5,781	26,891	39,362	g/l	
30	7,395	34,689	39,065	g/l	
45	7,745	37,916	38,976	g/l	
60	7,476	39,260	38,944	g/l	

**Preglednica 19: Izračun za pretok 300l/s, v neugodnih pogojih.**

Spremenjeni vhodni podatki so poudarjeni.

	Lastnosti zajema	Lastnosti odpadne slanice				
Temperatura	10	10 °C				
Koncentracija soli	38	76 g/l				
Gostota	1029,36733	1058,77285 kg/m <sup>3</sup>				
Pretok	0,6	0,3 m <sup>3</sup> /s				
g' (pospešek vzgona)		-0,2802383 m/s <sup>2</sup>				
Dinamična Viskoznost	0,001389	0,00152393 kg m s				
Kinetična viskoznost	1,35E-06	1,44E-06 m <sup>2</sup> /s				
<b>Karakteristike izpusta</b>						
Pretok	<b>0,3</b>	m <sup>3</sup> /s				
Premer izpusta	0,2	m				
Predpostavljen naklon dna	10	°				
<hr/>						
Izstopna hitrost (V)	9,54930465	m/s				
<b>Geometrijske lastnosti curka</b>						
M 0	2,8647914	m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>				
J	-0,0840715	m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>				
Lq	0,17724531	m				
Lm	7,59443282	m				
Fr	40,3360132					
Re	1,33E+06					
<hr/>						
<b>Oblika curka v odvisnosti od naklona šobe</b>						
<hr/>						
	Kot θ	Zmax	Zmax(3%)	X (točka stika z dnom)	Xmax	Hmin
	15	1,747	4,177	19,746	9,873	2,329
	30	4,633	7,974	23,163	12,075	6,177
	45	8,126	12,151	22,783	12,227	10,835
	60	11,164	155,686	18,227	10,252	14,885
<hr/>						
<b>Razredčenje v odvisnosti od naklona šobe</b>						
	Kot θ	Sm (v sredini curka v Zmax)	Si (v sredini curka v točki stika z dnom)	Teoretična koncentracija soli v točki stika		
	15	8,672	40,336	38,919		
	30	11,092	52,033	38,717		
	45	11,617	56,874	38,657		
	60	11,213	58,891	38,634		

Izračun v neugodnih pogojih za pretok 300l/s; premer šobe je povečan na 30cm.

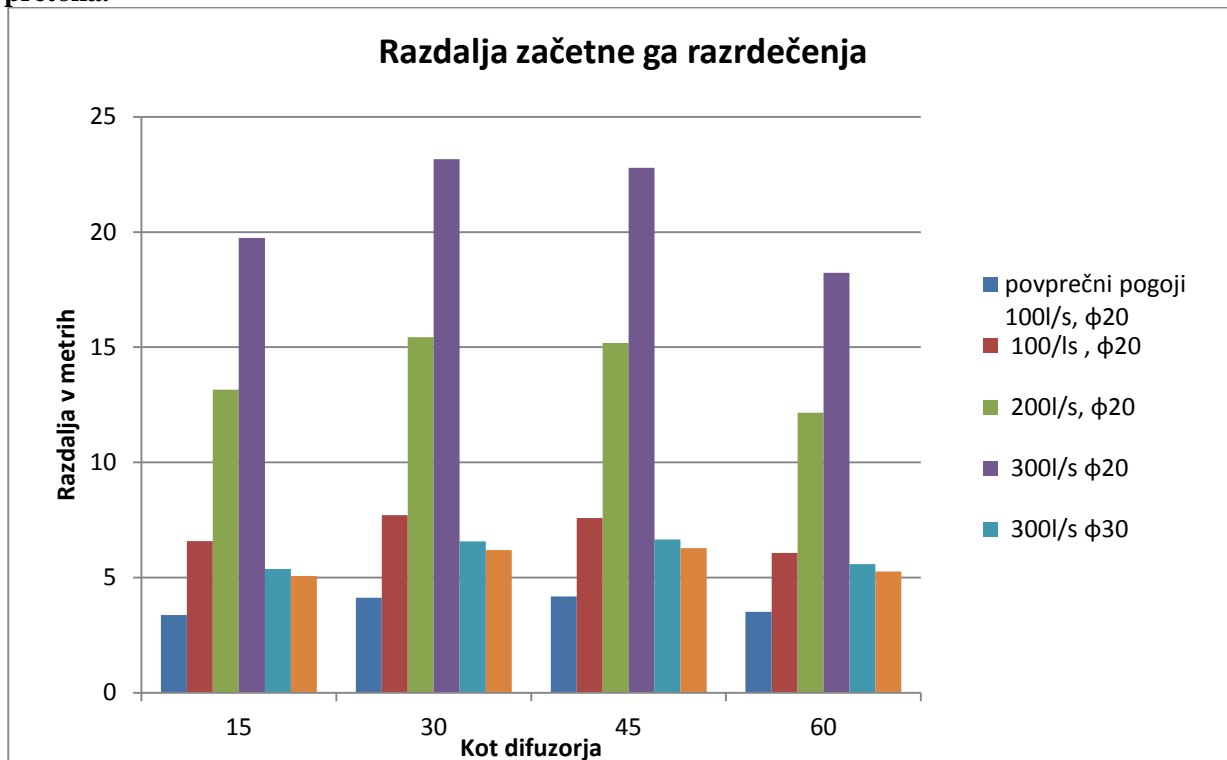
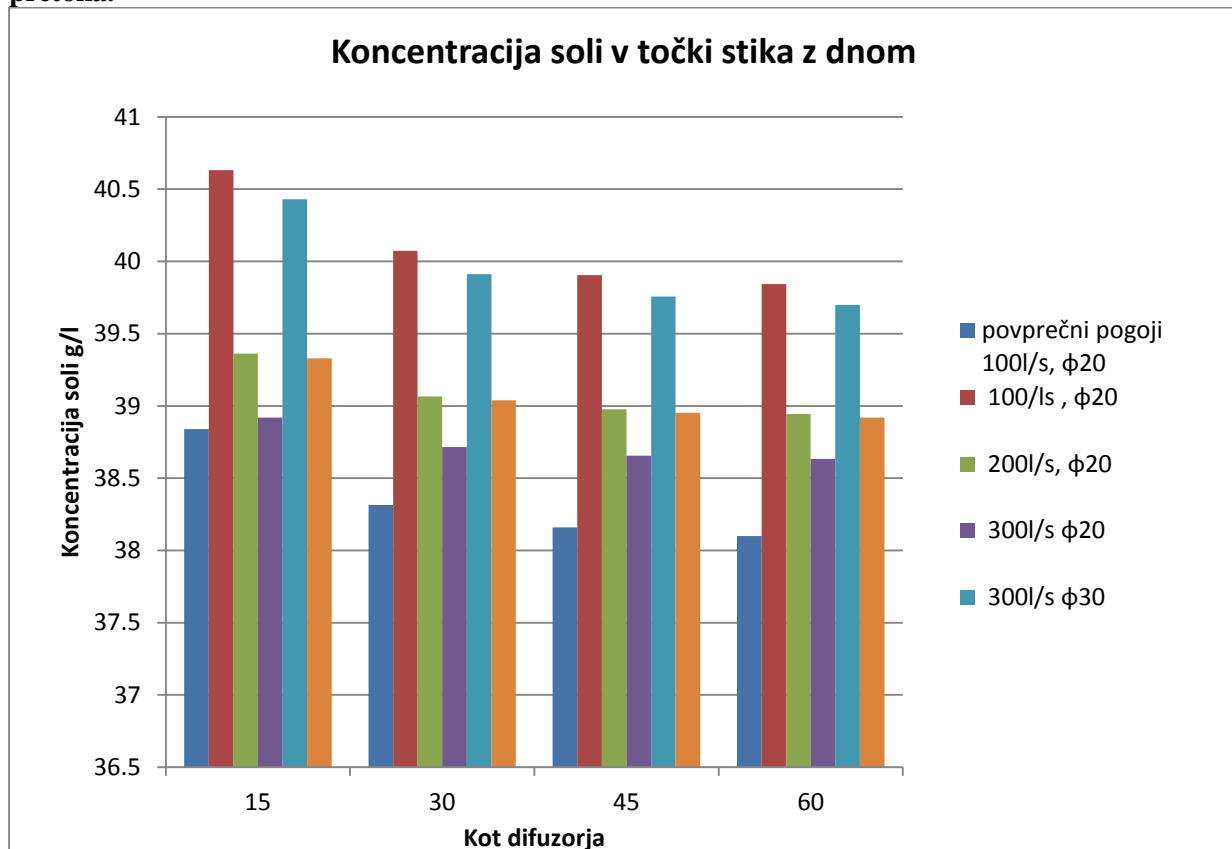
Primer šobe sem povečal zaradi boljše energijske učinkovitosti oziroma manjše energijske izgube in zaradi vpliva hitrosti na okolje, ker naj bi se hitrosti na izpustu poskušalo ohraniti pod 5m/s.

### Preglednica 20: Izračun s pretokom 300l/s in popravljeno dimenzijo šobe

	Lastnosti zajema	Lastnosti odpadne slanice			
Temperatura	10	10	°C		
Koncentracija soli	38	76	g/l		
Gostota	1029,36733	1058,77285	kg/m <sup>3</sup>		
Pretok	0,2	0,1	m <sup>3</sup> /s		
g' (pospešek vzgona)		-0,2802383	m/s <sup>2</sup>		
Dinamična Viskoznost	0,001389	0,00152393	kg m s		
Kinetična viskoznost	1,35E-06	1,44E-06	m <sup>2</sup> /s		
Karakteristike izpusta					
Pretok	<b>0,3</b>	m <sup>3</sup> /s			
Premer izpusta	<b>0,3</b>	m			
Predpostavljen naklon dna	10	°			
Izstopna hitrost (V)					
	4,2441354	m/s			
Geometrijske lastnosti curka					
M 0	1,27324062	m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>			
J	-0,0840715	m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>			
Lq	0,26586797	m			
Lm	4,13388562	m			
Fr	14,6374297				
Re	8,85E+05				
Oblika curka v odvisnosti od naklona šobe					
Kot θ	Zmax	Zmax(3%)	X (točka stika z dnom)	Xmax	Hmin
	15	0,951	2,274	10,748	1,268
	30	2,522	4,341	12,608	3,362
	45	4,423	6,614	12,402	5,898
	60	6,077	84,745	9,921	8,102
Razredčenje v odvisnosti od naklona šobe					
Kot θ	Sm (v sredini curka v Zmax)	Si (v sredini curka v točki stika z dnom)	Teoretična koncentracija soli v točki stika		
	15	3,147	14,637	40,430	
	30	4,025	18,882	39,911	
	45	4,216	20,639	39,756	
	60	4,069	21,371	39,699	

**Preglednica 21: Optimizirana oblika izpusta za pretok 100l/s**

	Lastnosti zajema	Lastnosti odpadne slanice			
Temperatura	10	10 °C			
Koncentracija soli	38	76 g/l			
Gostota	1029,36733	1058,77285 kg/m <sup>3</sup>			
Pretok	0,2	0,1 m <sup>3</sup> /s			
g' (pospešek vzgona)		-0,2802383 m/s <sup>2</sup>			
Dinamična viskoznost	0,001389	0,00152393 kg m s			
Kinetična viskoznost	1,35E-06	1,44E-06 m <sup>2</sup> /s			
<b>Karakteristike izpusta</b>					
Pretok	0,1 m <sup>3</sup> /s				
Premer izpusta	<b>0,15</b> m				
Predpostavljen naklon dna	10 °				
<b>Izstopna hitrost (U)</b>					
	5,6588472 m/s				
<b>Geometrijske lastnosti curka</b>					
M 0	0,56588472 m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>				
J	-0,0280238 m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>				
Lq	0,13293398 m				
Lm	3,89746474 m				
Fr	27,6006022				
Re	5,90E+05				
<b>Oblika curka v odvisnosti od naklona šobe</b>					
Kot θ	Zmax	Zmax(3%)	X (točka stika z dnom)	Xmax	Hmin
	15	0,896	2,144	10,133	5,067 1,195
	30	2,377	4,092	11,887	6,197 3,170
	45	4,170	6,236	11,692	6,275 5,560
	60	5,729	79,898	9,354	5,262 7,639
<b>Razredčenje v odvisnosti od naklona šobe</b>					
Kot θ	Sm (v sredini curka v Zmax)	Si (v sredini curka v točki stika z dnom)	Teoretična koncentracija soli v točki stika		
	15	5,934	27,601	39,329	
	30	7,590	35,605	39,038	
	45	7,949	38,917	38,952	
	60	7,673	40,297	38,920	

**Grafikon 5: Grafični prikaz razdalj začetnega vpliva razredčenja v odvisnosti od oblike šobe in pretoka.****Grafikon 6: Koncentracije soli v točki stika toka slanice z dnom, v odvisnosti od kota šobe in pretoka.**

Doseganje optimalnih pogojev za izpust 100l/s

**Preglednica 22: Optimiziran izpust pri povprečnih pogojih**

	Lastnosti zajema	Lastnosti odpadne slanice				
Temperatura	17,33	17,33 °C				
Koncentracija soli	36,38	72,76 g/l				
Gostota	1026,31106	1054,15627 kg/m <sup>3</sup>				
Pretok	0,2	0,1 m <sup>3</sup> /s				
g' (pospešek vzgona)		-0,2661586 m/s <sup>2</sup>				
Dinamična viskoznost	0,001148	0,00125461 kg m s				
Kinetična viskoznost	1,12E-06	1,19E-06 m <sup>2</sup> /s				
<b>Karakteristike izpusta</b>						
Pretok		0,1 m <sup>3</sup> /s				
Premer izpusta		0,15 m				
Predpostavljen naklon dna		10 °				
<hr/>						
Izstopna hitrost (U)		5,6588472 m/s				
<b>Geometrijske lastnosti curka</b>						
M 0		0,56588472 m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>				
J		-0,0266159 m <sup>4</sup> /s <sup>4</sup>				
Lq		0,13293398 m				
Lm		3,99922388 m				
Fr		28,3212279				
Re		7,13E+05				
<hr/>						
<b>Oblika curka v odvisnosti od naklona šobe</b>						
<hr/>						
	Kotθ	Zmax	Zmax(3%)	X (točka stika z dnom)	Xmax	Hmin
	15	0,920	2,200	10,398	5,199	1,226
	30	2,440	4,199	12,198	6,359	3,253
	45	4,279	6,399	11,998	6,439	5,706
	60	5,879	81,984	9,598	5,399	7,838
<hr/>						
<b>Razredčenje v odvisnosti od naklona šobe</b>						
	Kotθ	Sm (v sredini curka v Zmax)	Si (v sredini curka v točki stika z dnom)	Teoretična koncentracija soli v točki stika		
	15	6,089	28,321	37,621		
	30	7,788	36,534	37,349		
	45	8,157	39,933	37,269		
	60	7,873	41,349	37,239		

Prejšnji izračuni zagotavljajo, da je koncentracija na koncu prvega območja mešanja manjša od 40g/l soli. Iz člankov in raziskav je znano, da morska trava slabo prenese koncentracije nad 38,5 g/l, zato sem preveril, če je pri povprečnih pogojih možno zagotoviti koncentracije, ki nebi povzročale stresa morskemu okolju. Pri zadnjem izračunu so upoštevani strožji pogoj, povečanje slanosti za maksimalno povečanje 1ppt (oziroma 1g/l), je dosežen, v kolikor je kot šobe večji od 30°. Slanost v nobenem izmed primerov za povprečne pogoje morja ne preseže 38.5g/l. Zato lahko sklepam da je za tak pretok, oblika izpusta primerna.



## 18. ZAKLJUČEK

Število razsoljevalnih naprav strmo narašča in s tem tudi količine oddane slanice. Reševanje odpadne slanice je zato vse bolj zahtevna problematika. Postavitev vsake posamične naprave za razsoljevanje zahteva natančno analizo vplivov na okolje in ugotavljanje negativnih učinkov, ki jih povzroči. V pričujočem diplomskem delu je natančneje predstavljena le problematika odpadne slanice, vendar ima vsaka taka naprava tudi druge vplive na okolje, ki jih je prav tako potrebno preučiti. Tudi za slanico se razvijajo nove tehnologije in rešitve, predvsem v smeri možne industrijske izrabe za pridobivanje surovin in s tem drastično zmanjšanje izpustov ali celo delovanje brez tekočih izpustov. Večina tehnologij za pridobivanje soli in drugih mineralov iz slanice je trenutno energijsko zahtevnih in posledično še niso finančno smotrne za uporabo v večjih obratih. V vsaki svetovni regiji se s problematiko slanice spopadajo drugače. V diplomskem delu je predstavljenih nekaj možnih rešitev, med katerimi je še vedno prevladujoč izpust slanice v morje, iz katerega se črpa tudi voda za obdelavo. Pri izpustih v oceane to ne predstavlja takih okoljskih problemov, medtem ko so bolj zaskrbljujoči izpusti v zaprta morja, kot sta Rdeče in Sredozemsko morje. Trenutno je videti, da morsko okolje še sprejema te izpuste brez opaznih vplivov na širšem območju. Sredozemlje je posebno okolje zato, ker je izhlapevanje večje od pritokov in je Gibraltar edina točka, kjer se lahko izmenjujeta Atlantska in Sredozemska morska voda. Zaradi tega ima Sredozemlje že sedaj višjo slanost od oceanov, drastično povečanje razsoljevanja pa lahko to še poveča. V diplomskem delu sem prikazal tudi, kako manjši izpust slanice vpliva na lokalno povišanje slanosti. Tržaški zaliv je med bolj slanimi deli Sredozemskega morja, vendar se tudi pri taki naravni koncentraciji soli manjši izliv hitro razprši in nima vpliva na širšem območju. Meritve iz oceanografske boje Vida so pokazale, da so višje koncentracije slanosti v zimskem času, ko je topnost tudi soli slabša. Kljub visoki slanosti morja je mešanje dovolj hitro in učinkovito. Glede na predpostavljene pretoke sem lahko za vse tri vrste pretokov oblikoval izpust, da je začetno razredčenje pod 40g/l in znotraj 25m oddaljenosti od izliva slanice. Z izračuni smo pokazali, da je mogoče vpliv slanice z ustreznim mešanjem zmanjšati in da smo na začetku precenili velikost vpliva. Seveda pa moramo za potrditev rezultate računov podkrepiti še z meritvami in modelnimi rezultati.

## **VIRI:**

Alameddine I., El-Fadel M. 2007. Brine discharge from desalination plants: a modeling approach to an optimized outfall design. Elsevier Ltd. Desalination 214 Strani: 241–260

Bleninger T., Jirka G.H. 2010. Environmental planning, prediction and management of brine discharges from desalination plants. Middle East Desalination Research Center Muscat, Sultanate of Oman.

Bleninger T., Jirka G.H. 2008. Modelling and environmentally sound management of brine discharges from desalination plants. Elsevier Ltd. Desalination 221 : 585–597

Cipollina, A., Micale, G., Rizzuti, L.(ur.). 2009. Seawater Desalination, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Conagua, 2013. Fomenta Conagua La Desalación Como Medida De Adaptación A Los Efectos Del Cambio Climático, Comunicado de Prensa No. 757-13,  
<http://www.cna.gob.mx/SalaPrensa.aspx?n1=3571&n2=Comunicados> (30. 5. 2016.)

Cooley H, Ajami N., Heberger M., 2013. Key Issues in Seawater Desalination in California: Marine Impacts. Pacific Institute, Oakland, California.

Cooley H., Gleick P. H., Wolff G. 2006. Desalination, With A Grain Of Salt A California Perspective. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, California

Čermelj, B. 2013, Meritve na oceanografski boji Vida  
[https://www.nib.si/mbp/images/pdf/boja\\_dokumentacija/slo/Boja\\_vzorceanje.pdf](https://www.nib.si/mbp/images/pdf/boja_dokumentacija/slo/Boja_vzorceanje.pdf) (1. 8. 2016.)

Del-Pilar-Ruso Y., Martinez-Garcia E., Gimenez-Casaldueiro F., Loya-Fernandez A., Miguel Ferrero-Vicente L., Marco-Mendez C., de-la-Ossa-Carretero J.A., Sanchez-Lizaso J.L. 2014. Benthic community recovery from brine impact after the implementation of mitigation measures. Elsevier. Ltd. Water research 70 : 325 - 336

Fernandez-Torquemada Y., Sanchez-Lizaso J.L., Gonzalez-Correa J.M., 2005. Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alicante. Elsevier B.V. Desalination 182 : 395-402.

International Desalination Association, Desalination by the Numbers, IDA 2016  
<http://idadesal.org/desalination-101/desalination-by-the-numbers/> (15. 5. 2016.)

Jenkins S., Paduan J., Roberts P., Schlenk D., Weis J. 2012. Management of Brine Discharges to Coastal Waters Recommendations of a Science Advisory Panel California Water Resources Control Board.

Khordagui H. 2013. Assessment of potential cumulative environmental impacts of desalination plants around the mediterranean sea. Sustainable Water Integrated Management.

Lattemann S., Höpner T. 2008. Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. Elsevier Ltd. Desalination 220 : 1–15.

Lawrence, K. W. , Jiaping, P., C., Yung-Tse, H., Shammass, N., K. (ur.) 2011. Handbook of Environmental Engineering, Vol 13, Membrane and Desalination Technologies, Springer New York Dordrecht Heidelberg, London.

Lugarič, G. 2013. Razsoljevanje vode. Diplomsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Oddelek za kemijo (samozaložba Lugarič, G.).

Malačič V. Slpošni podatki oceanografske boje Vida.

<https://www.nib.si/mbp/sl/oceanografski-podatki/buoy-2/general-2> (1. 8. 2016.)

Morillo J., Usero J., Rosado D., Bakouri H., Rianza A., Bernaola F.J. 2014 Comparative study of brine management technologies for desalination plants, Elsevier Science, Desalination 336 (2014): 32–49

Mushtaque A., Shayyab W. H., Hoey D. , Mahendran A., Morris R., Al-Handaly-Handaly J. 2000 Use of evaporation ponds for brine disposal in desalination plants, Elsevier Science B.V, Desalination 130 : 155–168

Palomar P., Losada I. J., (2011). Impacts of Brine Discharge on the Marine Environment. Modelling as a Predictive Tool, Desalination, Trends and Technologies : 280–305.

Raventos N., Macpherson E. , Garcí'a-Rubí'e's A. Effect of brine discharge from a desalination plant on macrobenthic communities in the NW Mediterranean. Elsevier Ltd. Marine Environmental Research 62 strani: 1–14

Sadhwanía J. J. , Vezaa J.M., Santanab C. 2005. Case studies on environmental impact of seawater desalination. Elsevier Ltd. Desalination 185 : 1–8.

Tom Pankratz, An Overview of Seawater Intake Facilities for Seawater Desalination

<http://texaswater.tamu.edu/conservation/desalination.html> (21. 6. 2016.)

Younos T. 2005. Environmental Issues of Desalination. Universities council on water resources, Journal of contemporary water research & education issue 123 : 11–18.

Združeni Narodi. 2009. Escwawater development report 3, role of desalination in adressing water scarcity , New York.

Zotalis, K., Dialynas, E. G., Mamassis, N., Angelakis A. N. 2014. Desalination Technologies: Hellenic Experience (<http://www.mdpi.com/2073-4441/6/5/1134/htm>)

**Priloga A: Tehnični podatki oceanografske boje Vida**

Oceanografska boja vida, pozicija: 45° 32' 55,68" N, 13° 33' 1,89" E

Proizvajalec, instrument	Količina	Višina nad/pod gladino (m)	Perioda vzorčenja (s)	Število meritev/časovno enoto	Kontrola kvalitete <sup>1</sup>
VAISALA, HMP 45A	zračna temperatura in vlaga	5,0	10	6/minuto	DA
GillInstruments, WindMaster Pro Ultrasonic Anemometer	Hitrost in smer vetra	5,0	0,1	10/sekundo	DA
Xsens Technologies, MTI XSENS KOMPAS	3D kompas	5,0	0,1	10/sekundo	NE
VAISALA, GMP343	CO2 v zraku	4,0	120	1/2 minuti	NE
LICOR, LI-190SL-50	PAR	4,4	0,23	4,26/sekundo	NE
SeaBird, SeaBird 16plus SEACAT	Slanost in temperatura	-2,5 ± 0.2	300	1/5 minut	NE
Wetlabs, ECO Chlorophyll Fluorometer Chlorophyll-a (FL-CHL)	koncentracija klorofila	-2,0 ± 0.2	300	1/5 minut	NE
AANDERAA DATA INSTRUMENTS, Oxygenoptode 3835	kisik	-2,2 ± 0.2	60	1/minuto	NE
AANDERAA DATA INSTRUMENTS, Oxygenoptode 4835	kisik	-22,5 ± 0,5	60	1/minuto	NE
Nortek, Akustični tokomer AWAC 600kHz z NIP	Tokovi	-2,5 ± 0,5	1	600 v prvih 10 minutah polurnega intervala	NE
Nortek, Akustični tokomer AWAC 600kHz z NIP	Valovi	-22,5 ± 0,5	1	1024 v naslednjih 1024 sekundah polurnega intervala	NE

(Čermelj, 2013)

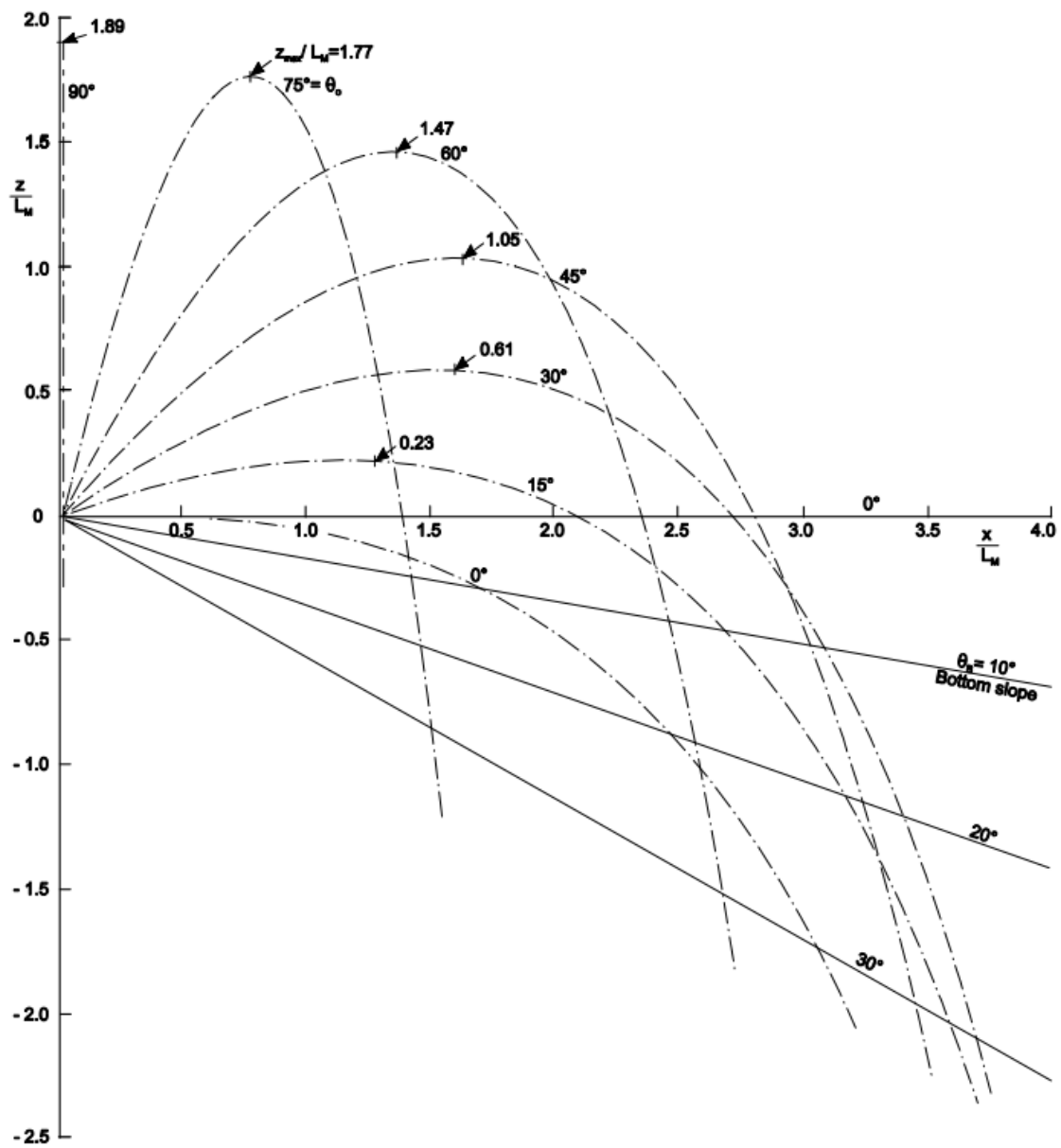
**Priloga B: Prikaz izpisa iz oceanografske boje za tokove**

Začetek meritve	Konec meritve	Oddaljenost od dna	Hitrost v smeri vzhoda	Hitrost v smeri severa
datestart	dateend	height	current_E	current_N
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	2	-2,2	-2,3
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	3	-0,2	0,0
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	4	-2,5	-3,7
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	5	0,0	-2,9
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	6	-5,3	-5,6
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	7	1,1	-6,9
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	8	0,0	-4,8
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	9	-2,6	-4,4
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	10	1,2	-3,2
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	11	-1,3	-1,0
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	12	-0,3	0,0
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	13	2,1	-6,1
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	14	0,0	-3,6
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	15	-3,3	-4,9
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	16	-1,0	-0,7
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	17	3,1	-3,3
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	18	-2,6	-8,2
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	19	-3,7	-6,5
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	20	0,8	-1,2
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	21	0,0	-2,3
1.1.2014 0:00	1.1.2014 0:30	22	0,6	-3,7
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	2	-0,3	-8,5
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	3	-0,7	-3,8
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	4	-0,9	-7,2
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	5	-2,5	-4,0
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	6	-2,1	-5,7
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	7	-0,5	-5,7
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	8	2,6	-0,9
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	9	-3,0	-6,0
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	10	-1,1	-3,3
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	11	1,5	-5,9
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	12	-2,1	-2,5
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	13	2,6	-4,9
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	14	-2,7	-4,6
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	15	-2,0	-1,0
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	16	-1,9	-2,4
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	17	1,9	-6,0
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	18	6,2	-5,3
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	19	1,6	-3,1
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	20	-1,5	-1,6
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	21	-23,1	0,6
1.1.2014 0:30	1.1.2014 1:00	22	-16,1	5,3

Približno število vrstic podatkov je 31000 mesečno.

**Priloga C: Prikaz izpisa iz oceanografske boje za slanost in temperaturo**

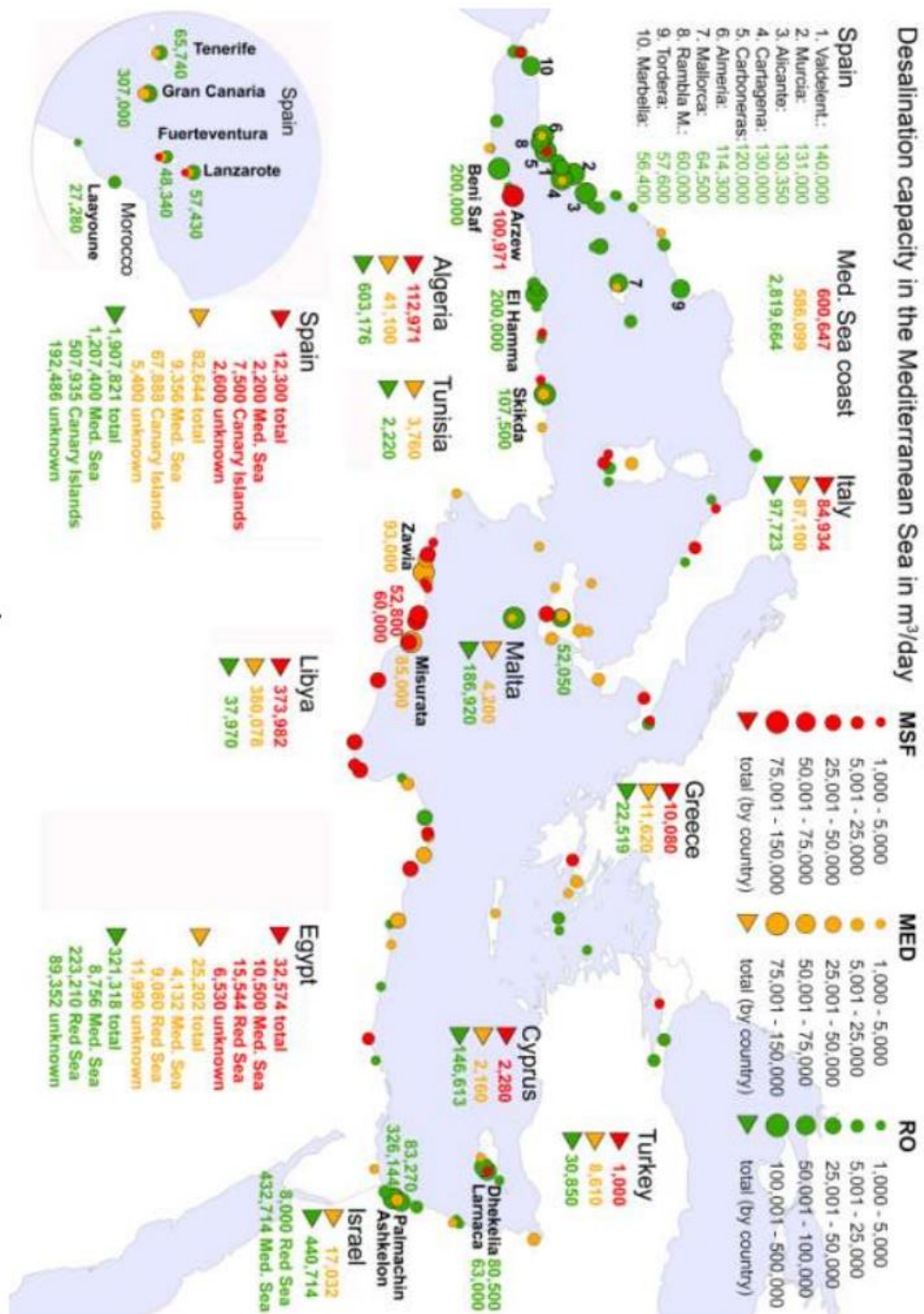
Začetek meritve	Konec meritve	Povprečna temperatura	Povprečna slanost	Povprečna koncentracija kisika
datestart	dateend	meantemp	meansalin	concentrationmean
1.6.2013 0:00	1.6.2013 0:30	17,69	36,43	0,24
1.6.2013 0:30	1.6.2013 1:00	17,70	36,44	0,24
1.6.2013 1:00	1.6.2013 1:30	17,70	36,49	0,24
1.6.2013 1:30	1.6.2013 2:00	17,68	36,49	0,25
1.6.2013 2:00	1.6.2013 2:30	17,68	36,51	0,25
1.6.2013 2:30	1.6.2013 3:00	17,65	36,52	0,25
1.6.2013 3:00	1.6.2013 3:30	17,60	36,42	0,24
1.6.2013 3:30	1.6.2013 4:00	17,64	36,36	0,24
1.6.2013 4:00	1.6.2013 4:30	17,65	36,25	0,24
1.6.2013 4:30	1.6.2013 5:00	17,61	36,10	0,24
1.6.2013 5:00	1.6.2013 5:30	17,59	36,03	0,24
1.6.2013 5:30	1.6.2013 6:00	17,56	35,92	0,24
1.6.2013 6:00	1.6.2013 6:30	17,60	35,80	0,24
1.6.2013 6:30	1.6.2013 7:00	17,64	35,70	0,24
1.6.2013 7:00	1.6.2013 7:30	17,66	35,63	0,24
1.6.2013 7:30	1.6.2013 8:00	17,69	35,61	0,23
1.6.2013 8:00	1.6.2013 8:30	17,70	35,60	0,24
1.6.2013 8:30	1.6.2013 9:00	17,70	35,63	0,23
1.6.2013 9:00	1.6.2013 9:30	17,67	35,67	0,23
1.6.2013 9:30	1.6.2013 10:00	17,69	35,71	0,24
1.6.2013 10:00	1.6.2013 10:30	17,75	35,79	0,24
1.6.2013 10:30	1.6.2013 11:00	17,83	35,86	0,23
1.6.2013 11:00	1.6.2013 11:30	17,87	35,94	0,24
1.6.2013 11:30	1.6.2013 12:00	17,90	35,98	0,23
1.6.2013 12:00	1.6.2013 12:30	17,97	36,02	0,24
1.6.2013 12:30	1.6.2013 13:00	18,03	36,07	0,24
1.6.2013 13:00	1.6.2013 13:30	18,07	36,11	0,24
1.6.2013 13:30	1.6.2013 14:00	18,01	36,20	0,24
1.6.2013 14:00	1.6.2013 14:30	17,96	36,30	0,24
1.6.2013 14:30	1.6.2013 15:00	17,98	36,39	0,24
1.6.2013 15:00	1.6.2013 15:30	17,99	36,39	0,24
1.6.2013 15:30	1.6.2013 16:00	18,09	36,28	0,24
1.6.2013 16:00	1.6.2013 16:30	18,19	36,18	0,24
1.6.2013 16:30	1.6.2013 17:00	18,21	36,13	0,23
1.6.2013 17:00	1.6.2013 17:30	18,28	36,07	0,23
1.6.2013 17:30	1.6.2013 18:00	18,34	36,00	0,23
1.6.2013 18:00	1.6.2013 18:30	18,35	35,95	0,23
1.6.2013 18:30	1.6.2013 19:00	18,31	35,93	0,23
1.6.2013 19:00	1.6.2013 19:30	18,26	35,88	0,23
1.6.2013 19:30	1.6.2013 20:00	18,24	35,78	0,23
1.6.2013 20:00	1.6.2013 20:30	18,22	35,65	0,23
1.6.2013 20:30	1.6.2013 21:00	18,19	35,57	0,23
1.6.2013 21:00	1.6.2013 21:30	18,18	35,54	0,23
1.6.2013 21:30	1.6.2013 22:00	18,17	35,53	0,23
1.6.2013 22:00	1.6.2013 22:30	18,14	35,50	0,23
1.6.2013 22:30	1.6.2013 23:00	18,09	35,45	0,23
1.6.2013 23:00	1.6.2013 23:30	18,09	35,45	0,23

**Priloga D: Krivulje za grafično določanje  $Z_{max}$  in  $X$** 

(Bleninger, 2010)



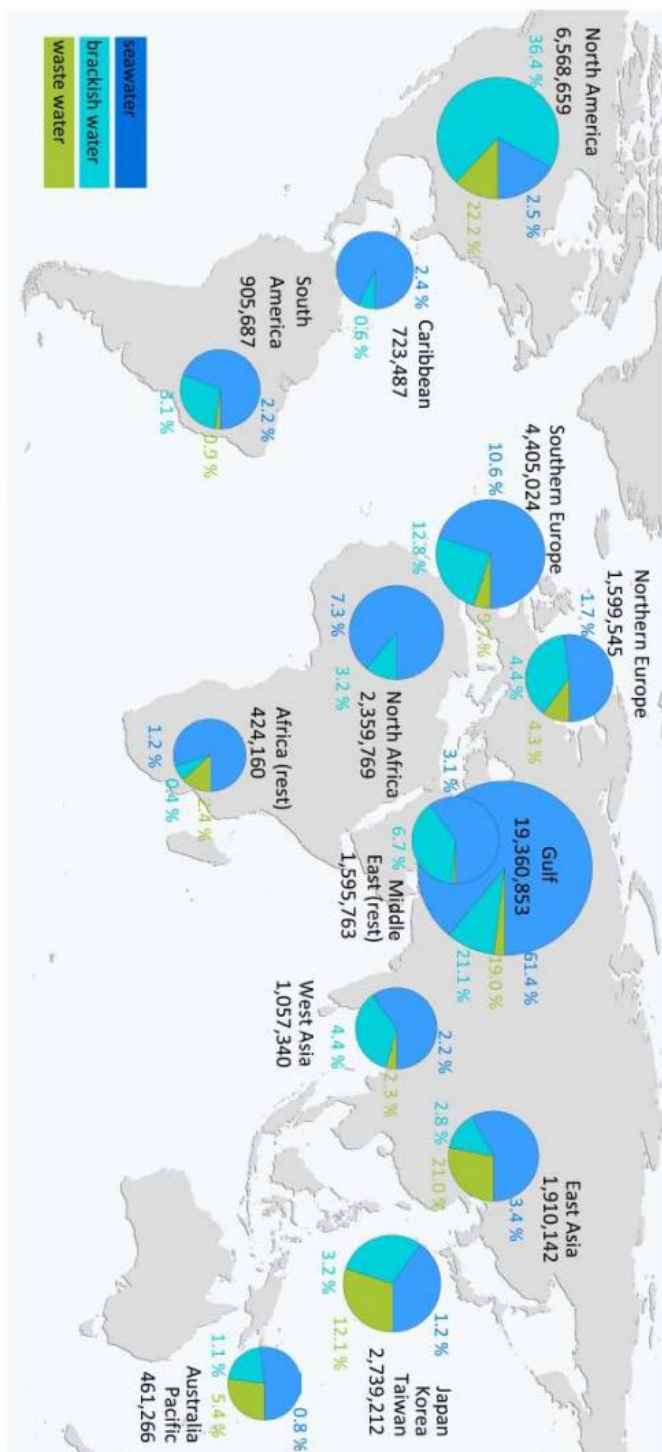
**Priloga E: Zemljevid večjih razsoljevalnih naprav v Sredozemlju**



(Blenger, 2010)



## Priloga F: Razsoljevalne kapacitete po svetu



Slika prikazuje razsoljevalne kapacitete v letu 2008, modri del predstavlja morsko vodo, turkizni brakične vode in zelenkasta barva pa odpadne vode. (Bleninger, 2010)