Seawater Steam Engine - Obrada procesnih voda

Došen, Mia

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:098356

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

FKITMCMXIX

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

Mia Došen

Seawater Steam Engine – Obrada procesnih voda

DIPLOMSKI RAD

Voditelji rada:	izv. prof. dr. sc. Zvonimir Glasnović
	dr. sc. Karmen Margeta
Članovi ispitne komisije:	izv. prof. dr. sc. Zvonimir Glasnović
	prof. dr. sc. Juraj Šipušić
	dr. sc. Karmen Margeta

Zagreb, 2018.

SAŽETAK

U radu su analizirane mogućnosti implementacije nove, *Seawater Steam Engine* (SSE) tehnologije, s obzirom na klimatološke karakteristike i specifična onečišćenja morske vode, za četiri odabrane lokacije: Naha (Japan), Dubai (UAE), Miami (SAD) i Vis (Hrvatska). Isto tako, u radu su prikazane i sve procesne vode SSE tehnologije te ključni parametri koji utječu na efikasnost SSE sustava, kao i postupci predobrade i naknadne obrade voda s obzirom na opisana specifična onečišćenja. Obzirom na klimatološke karakteristike, dobiveni rezultati analize pokazuju da su područja odabranih lokacija Miamija, Visa i Dubaija vrlo pogodne za implementaciju ove tehnologije, dok je lokacija Nahe djelomično prihvatljiva jer je na njoj relativno manja količina direktnog solarnog zračenja. Nadalje, zbog širokog spektra onečišćujućih tvari na području Miamija, potreban je odabir nekog drugog područja u blizini, dok u tom smislu ostale odabrane lokacije, a posebice Vis, u potpunosti zadovoljavaju zahtjevima SSE tehnologije. Obzirom na specifična onečišćenja odabranih lokacija rezultati analize pokazuju da se postupcima predobrade, morska voda može obraditi do stupnja koji je prihvatljiv za mogućnost implementacije SSE tehnologije. Specifična onečišćenja mora na odabranim lokacijama mogu uzrokovati razne tehničke probleme u radu sustava i imati značajan utjecaj na učinkovitost tehnologije. Radikalno nova SSE tehnologija, koja korištenjem tri prirodna resursa: Sunca, morske vode (kao radnog fluida) i gravitacije, može istovremeno proizvoditi i energiju i pitku vodu te naselja i gradove učiniti potpuno održivim i neovisnim o vanjskim izvorima vode i energije, a što je put prema izgradnji održivih zajednica i zaustavljanju klimatskih promjena.

Ključne riječi: *Seawater Steam Engine, procesne vode, obrada voda, pitka voda, Miami, Vis, Dubai, Naha*

ABSTRACT

The implementation analysis of the new, *Seawater Steam Engine* technology, considering the climatological characteristics and specific pollutants for chosen locations: Naha (Japan), Dubai (UAE), Miami (SAD) and Vis (Croatia), was studied in this work. Process waters and crucial parameters which affect the efficiency of the SSE system, along with methods of treatment and pre-treatment for specific pollutants, were also presented. According to the climatological characteristics, results show that the locations of Miami, Vis and Dubai are suitable for the implementation of this technology, while Naha is only partially suitable due to the shortage of direct solar irradiation. Furthermore, due to the wide range of pollutants in the area of Miami, a new location is required, while all the other locations, especially Vis, fully satisfy the requirements of the SSE technology. According to the analysed specific pollutants, results show that seawater can be easily treated by the means of different pre-treatment methods, providing satisfactory characteristics for the implementation of SSE technology. Certain pollutants can cause a wide variety of technical problems and have a great impact on the efficiency of the technology. The radical, new *Seawater Steam Engine* technology, which utilizes three natural resources: Sun, seawater (as the working fluid in the system) and gravity, could simultaneously produce energy and drinking water and thus make settlements and cities completely independent of external sources of water and energy, which is the pathway to the establishment of sustainable communities and stopping climate change.

Key words: *Seawater Steam Engine, process waters, water treatment, drinking water, Miami, Vis, Dubai, Naha*

SADRŽAJ

1. UVOD ... 1

2. OPĆI DIO ... 3

2.1. Kratak povijesni pregled tehnika obrade slatke vode za dobivanje vode za piće ... 3

2.2. Kratak povijesni pregled tehnika obrada slane (morske) vode za dobivanje vode za piće ... 5

2.3. Nove tehnologije desalinacije – integrirani sustavi ... 7

2.3.1. *Seawater Steam Engine* tehnologija ... 8

2.4. Procesne vode *Seawater Steam Engine* tehnologije ... 10

2.4.1. Karakteristike morske vode ... 12

2.4.2. Postupci predobrade procesne vode - ulazne vode ... 17

2.4.3. Praćenje ključnih parametara morske vode prije ulaska u solarni parabolični kolektor i prije ulaska u visokotlačni separator ... 23

2.4.4. Postupci naknadne obrade procesne vode – pitke vode ... 25

2.5. Mogućnost implementacije SSE tehnologije ovisno o karakteristikama odabranih lokacija ... 28

2.5.1. Geografske i klimatološke karakteristike odabranih lokacija ... 28

2.5.2. Specifična onečišćenja i postupci predobrade morske vode odabranih lokacija ... 30

3. EKSPERIMENTALNI DIO ... 42

3.1. Klimatološke karakteristike odabranih lokacija ... 42

3.2. Specifična onečišćenja odabranih lokacija i postupci predobrade morske vode kao radnog fluida ... 43

3.3. Mogućnost implementacije SSE tehnologije s obzirom na analizirane podatke ... 43

4. REZULTATI I RASPRAVA ... 44

4.1. Analiza klimatoloških karakteristika odabranih lokacija ... 44

4.2. Analiza specifičnih onečišćenja i učinkovitost postupaka predobrade morske vode ... 47

4.2.1. Naha (Japan) ... 47

4.2.2. Dubai (UAE) ... 49

4.2.3. Miami (SAD) ... 51

4.2.4. Vis (Hrvatska) ... 53

4.3. Prednosti i nedostaci odabranih lokacija za implementaciju SSE tehnologije ... 54

4.4. Prihvatljivost implementacije SSE tehnologije na odabranim lokacijama s obzirom na sve analizirane karakteristike ... 55

5. ZAKLJUČAK ... 57

6. LITERATURA ... 58

ŽIVOTOPIS ... 68

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojim mentorima izv. prof. dr. sc. Zvonimiru Glasnoviću i dr. sc. Karmen Margeti na pruženoj pomoći, savjetima, stručnom znanju te strpljenju prilikom izrade ovog rada.

Također, zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na neizmjernoj podršci tokom studiranja.

1. UVOD

Prema izvješću ‘’World Commission on Water’’ (2000.) svijet će se u iduća dva desetljeća suočiti sa alarmantnim nedostatkom vode. Zbog porasta broja stanovnika na Zemlji, rasta industrijske proizvodnje i povećanja potražnje vode u poljoprivredi uzrokovane velikim sušama, u idućih 20 godina potreba za vodom povećati će se za 40 % [1].

Uzimajući u obzir i klimatske promjene, gotovo pola svjetske populacije će osjetiti ovaj nedostatak sve do 2030. godine, a u područjima kao što su Afrika i Srednji istok, ovaj problem već dostiže kritične razine s drastičnim posljedicama na život ljudi, životinja i na okoliš [2].

Iako je na Zemlji 71% površine pokrivene vodom, voda je nedostupna za otprilike 800 milijuna ljudi. Budući da dostupnost pitke vode nije samo vezana uz količinu resursa pojedine zemlje, ona je vezana i za politike upravljanja tim resursima, kako na lokalnoj tako i na globalnoj razini. Povijest čovječanstva obilježava borbu za resurse (nafta, zemni plin), a u skorijoj budućnosti, nažalost, ratovi će se voditi za dostupnost pitkoj vodi [3].

Oceani i mora su prirodni resursi iz kojih možemo dobiti pitku vodu i današnja istraživanja sve više se okreću razvoju tehnologija za dobivanje pitke vode iz slane vode. Jedan od uspješnih procesa dobivanja pitke vode iz mora i oceana je proces desalinacije koji je poznat još od 1791. godine [4].

Korištenje obnovljivih izvora energije u kombinaciji sa procesom desalinacije, tzv. “RES desalinacija”; iako ona ovisi o mnogim faktorima kao što su veličina postrojenja, udaljenost, dostupnost električnoj mreži, tehničkoj infrastrukturi, salinitetu mora i oceana; danas je metoda koja ima veliku primjenu u zemljama širom svijeta za dobivanje pitke vode iz slane vode [5].

Međutim, tijekom posljednjih desetljeća porasla je i potrošnja energije (pretežno iz fosilnih goriva) što ima za posljedicu onečišćenje okoliša koje je direktna posljedica klimatskih promjena. Zbog toga je sve više nastojanja da se uređaji za desalinaciju pogone iz obnovljivih izvora energije.

S obzirom da su za izgradnju postrojenja u kojem bi se odvijao proces desalinacije potrebna velika ulaganja i velika količina energije tijekom eksploatacije, ovaj proces nije dostupan svima. Upravo iz tog razloga hrvatski znanstvenici su osmislili radikalno novu tehnologiju *Seawater Steam Engine* (SSE) kojom se iz slane (morske) vode istovremeno može

dobiti i energija i pitka voda korištenjem triju prirodnih izvora: obnovljivih izvora energije (Sunce, vjetar), morske vode i gravitacije [6,7].

Budući da je za implementaciju SSE tehnologije potrebno obratiti posebnu pozornost na fizikalno kemijske karakteristike procesnih voda što uključuje i karakteristike ulazne morske vode, kao radnog fluida, u ovom radu analizirana je predobrada i naknadna obrada svih procesnih voda, a isto tako i postupci predobrade s obzirom na specifična onečišćenja karakteristična za odabrane lokacije: Naha (Japan), Dubai (UAE), Miami (SAD) i Vis (Hrvatska). Također, analizirane su i klimatološke karakteristike za odabrane lokacije sve u svrhu procjene mogućnosti implementacije SSE tehnologije.

2. OPĆI DIO

Potrošnja vode znatno je porasla tijekom posljednjih desetljeća i prouzročila prekomjernu eksploataciju slatke vode iz prirodnih izvora (rijeka i jezera). Porast broja stanovnika u urbanim područjima, a time i povećanje potrebe za pitkom vodom kao i povećanje potreba za vodom u industriji, poljoprivredi i domaćinstvima doprinijeli su povećanju ovog problema. Kao posljedica toga, postoji nekoliko regija u svijetu gdje je gotovo nemoguće udovoljiti zahtjevima vode korištenjem raspoloživih vodnih resursa slatke vode. U tom kontekstu moguća je uporaba alternativnih vodnih resursa kao što je slana (morska) voda iz koje se postupkom predobrade, procesom desalinacije i naknadnom obradom dobiva pitka voda, odnosno voda koja se može koristiti i za ostale namjene stanovništva na Zemlji. Osim vode dobivene desalinacijom, kao vodni resursi (za usku lokalnu primjenu) mogu se koristiti i obrađene otpadne vode i kišnica.

2.1. Kratak povijesni pregled tehnika obrade slatke vode za dobivanje vode za piće

Između 1500. – 1300. g. pr. Kr. Egipćani su koristili mnoge metode obrade voda kao što su: (i) prokuhavanje (koristeći vatru ili Sunčevo zračenje), (ii) uranjanje ugrijanog željeza u vodu i (iii) filtraciju (kroz šljunak i pijesak) [8]. Nakon 1500. g. pr. Kr., otkriven je princip koagulacije (soli aluminija korištene su u svrhu taloženja krutih čestica) [9]. Na zidovima grobnica Amenophisa II i Ramsesa II pronađeni su prikazi tadašnjeg ‘’uređaja’’ za pročišćavanje voda (Slika 1a) [8]. Između 300. i 200. g. pr. Kr. Rimljani su izgradili prve akvadukte koji su korišteni za transport vode od izvora do lokacije gdje je voda bila potrebna (najčešće za navodnjavanje i potrebe stanovništva). Lokacija akvadukta se uglavnom određivala na temelju geografskih, ekonomskih te socijalnih faktora (Slika 1b) [10]. U Tablici 1. prikazane su važne prekretnice u postupcima obrade slatke vode.

a)



b)



***Slika 1**. a) Uređaj za pročišćavanje voda u drevnom Egiptu, b) Rimski akvadukt* [8].

Tablica 1. *Povijesni pregled razvoja najvažnijih tehnika obrade voda* [11].

GODINA	***DOGAĐAJ***
4000. g. pr. Kr.	Drevni grčki spisi impliciraju da bi se onečišćena voda trebala prokuhati iznad vatre, ispod Sunca, uranjanjem zagrijanog željeza ili filtracijom kroz pijesak i šljunak.
3000. – 1500. g. pr. Kr.	Kretska civilizacija razvija tehnologiju obrade voda te je prenosi na mediteransko područje.
1500. g. pr. Kr.	Egipćani koriste aluminijske soli u svrhu koagulacije te razvijaju ''uređaj'' za pročišćavanje vode.
5. st. pr. Kr.	Hipokrat, otac medicine, u svrhu pročišćavanja kišnice izrađuje procjeđivač vode napravljen od tkanine.
1. st. pr. Kr.	Razvijeni sustavi izvora vode u Rimu, Grčkoj, Kartagi i Egiptu.
340. g. pr. Kr. – 225.	Rimljani grade akvadukte.
1703.	Francuski znanstvenik La Hire predlaže da bi svako kućanstvo trebalo imati pješčani filter ili sustav za prikupljanje kišnice.
1746.	Francuski znanstvenik Joseph Amy patentira prvi komercijalizirani filter, napravljen od spužve, ugljena i vune.
1804. – 1829.	Jedno od prvih postrojenja za obradu voda izgrađeno u Škotskoj i Engleskoj.
1864.	Nakon prve epidemije kolere, Louis Pasteur otkriva uzročnike mikrobnih zaraza.
1881.	Robert Koch otkriva inaktivaciju bakterija klorom, a 1884. otkriva uzročnika kolere.
1893.	Nakon epidemije kolere 1892. u Hamburgu, u SAD-u se prvi put izrađuje pješčani filter.
1902.	Prvi put provedeno kloriranje vode u Belgiji.
1906.	U Francuskoj prvi put korišten ozon kao dezinfekcijsko sredstvo.
1914. – 1947.	Donešeni prvi standardi za pitku vodu, Safe Drinking Water Act (SDWA) - 1974.

2.2. Kratak povijesni pregled tehnika obrada slane (morske) vode za dobivanje vode za piće

Desalinacija ima dugu povijest u mitologiji i praksi, a pojam desalinacije pojavljuje se i u Bibliji (Izlazak 15: 22-26).

Pojam desalinacije, u znanstvenom smislu, vezan je uz obradu slane vode postupkom destilacije. U svojem tekstu u Meteorologici, Aristotel je opisao da kad se slana voda pretvori u paru, pare koje se kondenziraju ne stvaraju ponovno slanu vodu (*Aristotel, cit.: "Salt water when it turns into vapour becomes sweet and the vapour does not form salt water again when it condenses"*). Aristotel je time opisao destilaciju, proces koji se koristi za stvaranje slatke vode iz morske vode, a čija je veća tehnološka primjena počela tek nakon 1930. godine. Tehnologije na bazi destilacije, odnosno toplinski postupci desalinacije, bili su glavni postupci dobivanja slatke vode iz slane vode sve do razvoja membrana. U toplinskim postupcima slana voda se u sustavu isparava dodavanjem topline, a u mnogim slučajevima i uz pomoć vakuuma. Isparena voda se zatim kondenzira pri čemu se dobije desalinirana voda. Nekoliko velikih postrojenja, prvenstveno na Bliskom Istoku, koristilo je toplinsku destilaciju i od početka njezine tehnološke primjene, odnosno od 1930. godine.

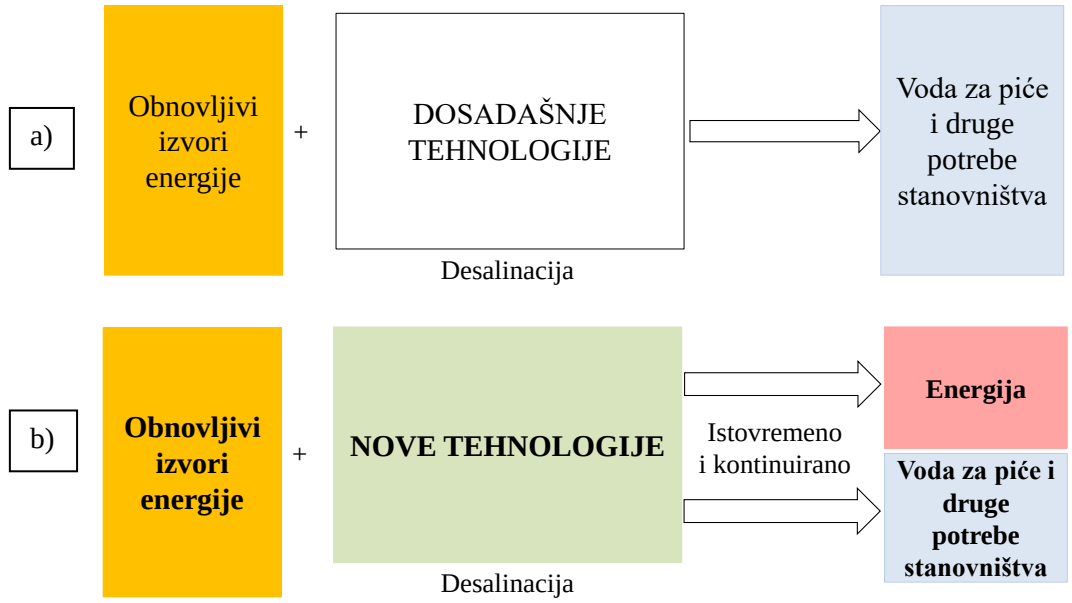
Za razliku od toplinskih postupaka, membranske tehnologije nastale su kao posljedica istraživanja i primjene polimernih filmova za odvajanje soli iz vode kasnih 1950-ih, odnosno ranih 1960-ih. Iako su membranske tehnologije (reverzna osmoza, eletrodijaliza i reverzibilna elektrodijaliza) u procesima desalinacije do danas imale brz napredak u razvoju i implementaciji još uvijek postoje praktični izazovi njezine održive implementacije, bez obzira što se smatraju najučinkovitijim metodama [12]. Pregled dosadašnjih i novih tehnologija u procesima desalinacije nalazi se u Tablici 2.

Tablica 2. *Pregled razvoja tehnika desalinacije.*

DOSADAŠNJE TEHNOLOGIJE DESALINACIJE		
	POČETAK PRIMJENA	*LITERATURA*
DESTILACIJSKI POSTUPCI		
Višefazno naglo isparavanje (MSF)	1960.	[13]
Višestruko isparavanje (MED)	1950.	[14]
Kompresija vodene pare (VC)	1970.	[15]
MEMBRANSKI PROCESI		
Reverzibilna elektrodijaliza (EDR)	1960.	[16]
Reverzna osmoza (RO)	1977.	[17]
Solarna reverzna osmoza	1982.	[18]
Nanofiltracija (NF)	1991.	[19]
Membranska destilacija (MD)	1963. - danas	[20]
Napredna osmoza (FO)	1970. - danas	[21]
OSTALI PROCESI		
Ionska izmjena	1905.	[22]
Desalinacija zamrzavanjem	1960.	[23]
Geotermalna desalinacija	1995. - danas	[24]
Desalinacija uporabom energije valova	2015.	[25]
PROCESI SOLARNE DESALINACIJE		
Solarno ovlaživanje - odvlaživanje (HDH)	1980. - danas	[26]
Višestruko ovlaživanje (MEH)	2004. - danas	[26]
Desalinacija efektom staklenika	2010.	[27]
NOVE TEHNOLOGIJE DESALINACIJE		
	POČETAK PRIMJENA	*LITERATURA*
NOVI INTEGRIRANI SUSTAVI		
Seawater Steam Engine tehnologija	*u fazi istraživanja*	[3], [6], [7]
Solarna desalinacija	*u fazi istraživanja*	[28]
NOVI OSTALI SUSTAVI		
Elektrodijaliza - MIT	*u fazi istraživanja*	[29]

2.3. Nove tehnologije desalinacije – integrirani sustavi

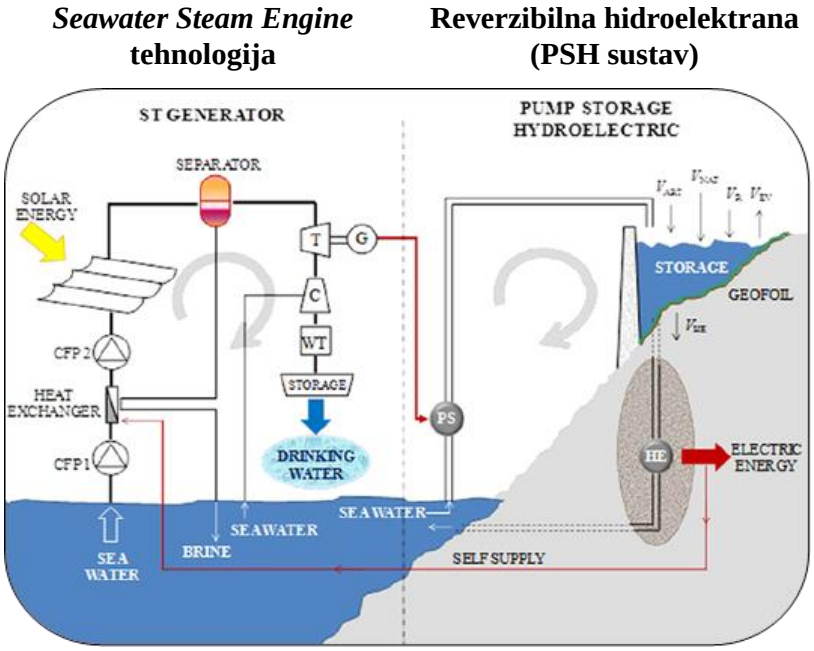
U dosadašnjim procesima desalinacije (membranskim ili toplinskim procesima) kao energenti su korišteni primarni izvori energije (ugljen, nafta). Pri korištenju toplinskih ili membranskih procesa u postupku desalinacije potrebno je utrošiti veliku količinu ulazne energije. Budući da je svijet suočen s klimatskim promjenama koje su uzrokovane upravo nekontroliranom upotrebom fosilnih goriva, tijekom posljednjih desetljeća pronalaze se nova rješenja kojima bi se primarni izvori zamijenili s obnovljivim izvorima energije kao što su Sunce, vjetar i drugi prirodni obnovljivi izvori (Slika 2a). Novija istraživanja usmjerena su prema integriranim sustavima u kojima bi se, uz učinkovit proces desalinacije (dobivanje pitke vode), istovremeno i proizvodila energija u samom sustavu bez dodatne potrošnje energije iz vanjskih izvora. Napredak u tehnologiji toplinske desalinacije i niža cijena integriranog sustava za prikupljanje i skladištenje solarno-toplinske energije mogli bi u konačnici i smanjiti troškove desalinacije (Slika 2b).



***Slika 2**. Razlika između (a) dosadašnjih i (b) novih tehnologija u odnosu na izlazne komponente.*

2.3.1. *Seawater Steam Engine* tehnologija

Inovativnim konceptom nove tehnologije koju su kreirali hrvatski znanstvenici 2014. godine pod nazivom "*Seawater Steam Engine''* (SSE), opisane u radu "*Could Key Engine, as a new open-source for RES technology development, start the third industrial revolution? (Key Engine = Seawater Steam Engine)*", može se istovremeno i kontinuirano dobiti i energija i pitka voda iz morske vode ili iz drugih nečistih izvora vode (rijeka, jezera) (Slika 3.) **[**6,7].



Slika 3. *Integrirani sustav: Seawater Steam Engine tehnologije (lijevo) i reverzibilna hidroelektrana - PSH sustav (desno)* [6].

U predloženom inovativnom konceptu *Seawater Steam Engine* tehnologije (Slika 3, lijevo), koji je još u početnoj fazi istraživanja, kao radni fluid koristi se morska voda. U tom smislu napravljen je iskorak u odnosu na dosadašnja korištenja radnih fluida (destilirane vode, ulja, otopina anorganskih soli), kao što je to s tehnologijom nazvanoj *Direct Steam Generation* (DSG) [6], a u kojoj se kao radni fluid koristi demineralizirana voda.

Prethodno obrađena morska voda prolazi kroz SSE sustav te se u solarnom paraboličnom kolektoru zagrijava pomoću Sunčeve energije. Ulaskom morske vode u visokotlačni separator dolazi do razdvajanja parne i tekuće faze morske vode. Dobivena pregrijana para pokreće turbine, a njezinim hlađenjem (kondenzacijom) dobiva se procesna

voda (destilirana voda) koja se naknadnim postupcima obrađuje i skladišti kao voda za piće [6].

Proces separacije morske vode (parne faze od tekuće faze) odvijat će se u visokotlačnom separatoru, kojeg su autori ove tehnologije nazvali "srce" sistema [3]. Prototip visokotlačnog separatora napravljen je na Fakultetu za strojništvo Sveučilišta u Ljubljani u suradnji s tvrkom Ecom-Ruše (Slovenija) te su provedena prva preliminarna istraživanja na karakteristikama visokotlačnog separatora [3]. Preliminarna istraživanja provedena u ovoj fazi, napravljena su kod nižih tlakova i temperatura nego što zahtjevaju procesni uvjeti za SSE tehnologiju (370ºC i tlak od 80 bara).

Reverzibilna hidroelektrana prikazana na Slici 3. (desno) integrirana zajedno s SSE tehnologijom, omogućava sezonsko skladištenje energije i na taj način poravnanje ljetnih viškova i zimskih manjkova solarne energije, odnosno kontinuirano napajanje energijom tijekom cijele godine [6].

Slijedom prethodno opisane tehnologije, Američki *Odjel za energetiku* (*Department of Energy, USA*) je 2018. godine odobrio financiranje programa "***SOLAR DESALINATION***", ulažući pri tome 21 milijun dolara i okupljajući čak 14 elitnih znanstveno-istraživačkih institucija, kojim će se istražiti nove tehnologije za korištenje solarno-toplinske energije u svrhu dobivanja slatke/pitke vode iz morske vode, boćate vode ili iz neke druge onečišćene vode (Slika 4.) [31].



Slika 4. *Program "SOLAR DESALINATION" (SAD, 2018)* [30].

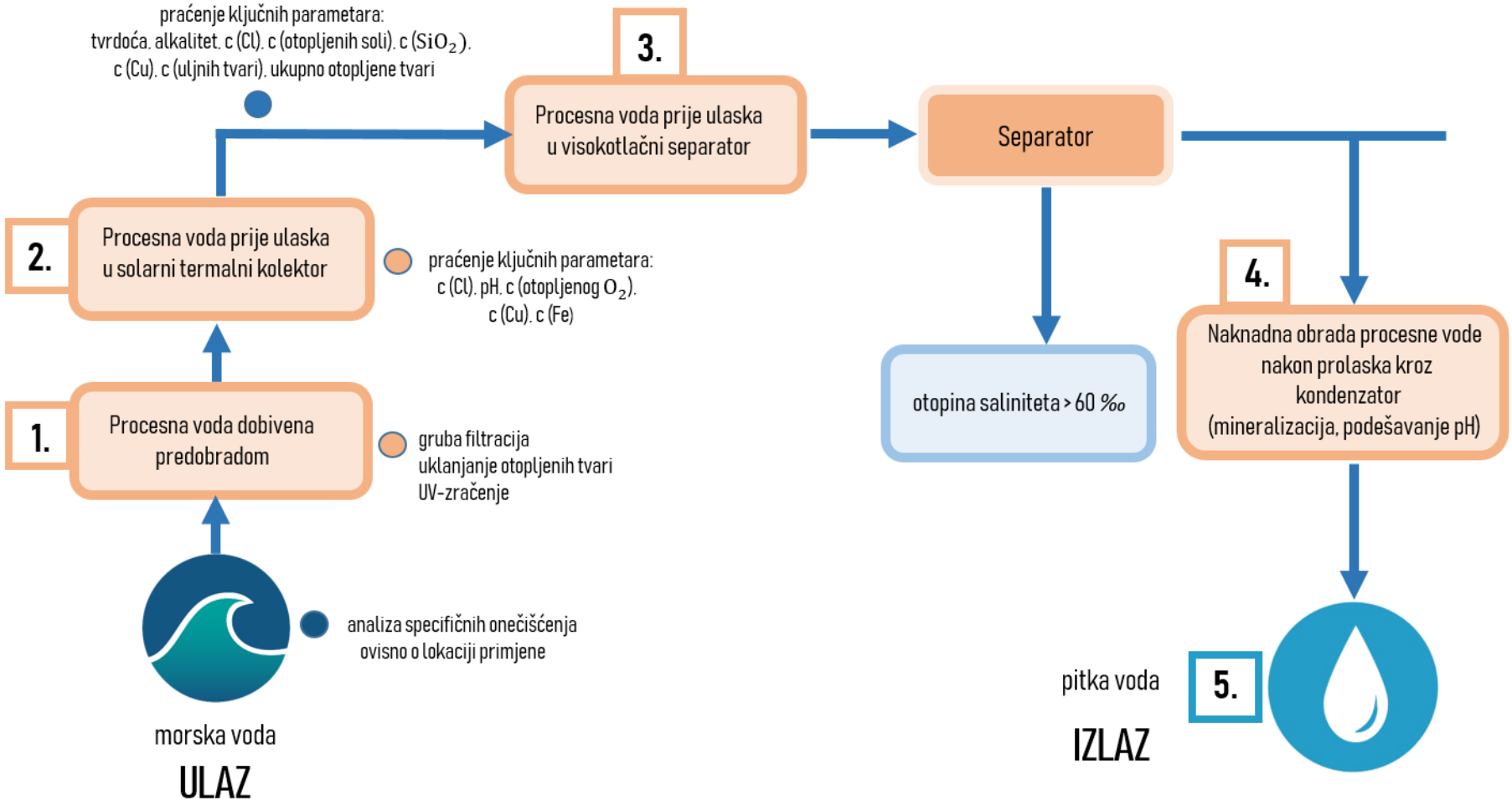
2.4. Procesne vode *Seawater Steam Engine* tehnologije

U tehnologiji *Seawater Steam Engine,* ulaznu morsku vodu kao radni fluid, potrebno je obraditi postupcima predobrade kako bi se izbjegli i/ili smanjili problemi taloženja unutar sustava i osigurala učinkovita separacija parne faze od tekuće faze (morske vode) u visokotlačnom separatoru. Kontinuiranim praćenjem svih važnih fizikalno kemijskih parametara u procesnim vodama *Seawater Steam Engine* tehnologije i pravovremenim uočavanjem i otklanjanjem nastalih problema, omogućuje se postizanje očekivane efikasnosti sustava i u konačnici dobivanje konačnih produkata – energije i pitke vode.

Procesnu vodu dobivenu kondenzacijom parne faze na izlazu iz sustava (destiliranu vodu) potrebno je naknadno obraditi kako bi se dobila zdravstveno ispravna voda za piće.

Procesne vode u *Seawater Steam Engine* tehnologiji prikazane su na Slici 5. i mogu se podijeliti na:

- *Procesna voda obrađena postupcima predobrade (**ulazna morska voda**) (1)*
- *Procesna voda prije ulaska u solarni parabolični kolektor (2)*
- *Procesna voda prije ulaska u visokotlačni separator (3)*
- *Procesna voda nakon kondenzacije - destilirana voda (**izlazna pitka voda**) (4,5)*



Slika 5. *Procesne vode Seawater Steam Engine sustava.*

2.4.1. Karakteristike morske vode

Za efikasnu primjenu postupaka predobrade potrebno je poznavati osnovne *fizikalne* i *kemijske karakteristike* morske vode kao radnog fluida. Posebnu pažnju treba obratiti na *salinitet* morske vode, količinu *ukupno otopljenih tvari* u morskoj vodi, *temperaturu* morske vode te *korozivna svojstva* morske vode, a sve s ciljem kako bi obrađena ulazna morska voda bila učinkovit radni fluid kod implementacije *Seawater Steam Engine* tehnologije.

Fizikalne i kemijske karakteristike morske vode

Osnovni kemijski sastav morske (slane) vode u odnosu na slatku vodu prikazan je u Tablici 3. Većina otopljenih spojeva u morskoj vodi : Cl^-, SO_4^{2-}, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, K^+ čine čak 98 % ukupno otopljenih tvari, od čega natrijevi i kloridni ioni čine visokih 85 %. Jedna od metoda za određivanje sastava morske vode je i evaporacija pri čemu dolazi do taloženja prisutnih soli u morskoj vodi [31].

Tablica 3. *Usporedba osnovnog kemijskog sastava slane i slatke vode (w, %)* [32].

Kemijski sastav*	**Slana (morska) voda (%)**	**Slatka voda (%)**
silicijev dioksid (SiO_2)	-	14.51
željezo (Fe)	-	0.74
kalcij (Ca)	1.19	16.62
magnezij (Mg)	3.72	4.54
natrij (Na)	30.53	6.98
kalij (K)	1.11	2.55
bikarbonati (HCO_3)	0.42	31.90
sulfati (SO_4)	7.67	12.41
kloridi (Cl)	55.16	8.64
nitrati (NO_3)	-	1.11
bromidi (Br)	0.20	-

** slatke, a pogotovo slane vode su vrlo kompleksni sustavi koji sadrže još* i *niz drugih komponenti koje nisu uključene u prikazani osnovni kemijski sastav*

Iako je NaCl najzastupljeniji u morskoj vodi, važno je spomenuti i ostale komponente kao što su hranjive tvari (natrij (N), fosfor (P), silicij (Si)) koji su esencijalni za rast svih

biljaka (koncentracije se kreću u rasponu od 0.07 do 3 ppm). Elemente u tragovima kao što su mangan (Mn), olovo (Pb), živa (Mg), zlato (Au), jod (I) i željezo (Fe) (koncentracije niže od 1 ppm) također se mogu pronaći u morskoj vodi. U morskoj vodi prisutni su i plinovi poput dušika (N_2), kisika (O_2), ugljikovog dioksida (CO_2), vodika (H_2) te plemeniti plinovi poput argona (Ar), neona (Ne) i helija (He), čije koncentracije znatno variraju ovisno o području na kojem se analizirane vode nalaze. Organski spojevi kao što su lipidi (masti), proteini, ugljikohidrati, hormoni i vitamini koji nastaju raznim metaboličkim procesima i raspadom organizama uglavnom su prisutni u niskim koncentracijama [31].

U Tablici 4. prikazane su fizikalne karakteristike morske (slane) vode u odnosu na slatku vodu. Posebno je prikazana usporedba električne vodljivosti za različite vrste voda (Tablica 5.) jer nam ti podaci govore o stupnju mineralizacije analizirane vode, odnosno koja je voda korištena.

***Tablica 4**. Usporedba fizikalnih karkateristika slane (morske) i slatke vode* [33].

Fizikalne karakteristike	**Slana (morska) voda (prosječnog saliniteta 35 ‰)**	**Slatka voda**
gustoća, g cm^{-3} (25 °C)	1.02412	1.0029
viskoznost, Pa s (25 °C)	$9.2 \cdot 10^{-4}$	$8.9 \cdot 10^{-4}$
tlak pare, mm Hg (20 °C)	17.4	17.34
temperatura maksimalne gustoće, °C	-3.25	3.98
točka ledišta, °C	-1.91	0.00
površinska napetost, J m^{-2} (25 °C)	0.072	0.071
specifična toplina, J g^{-1} (17.5 °C)	3.898	4.182

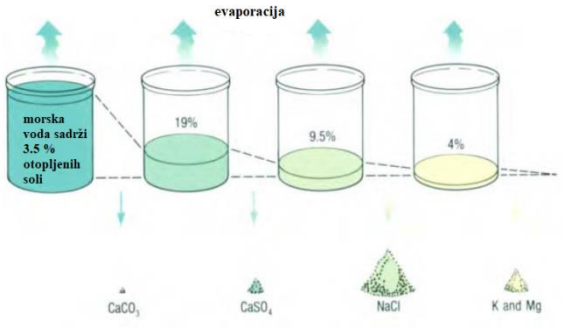
***Tablica 5.** Usporedne vrijednosti električne vodljivosti za različite vrsta voda* [34].

Vrsta vode	**Električna vodljivost (µS/cm)**
Demineralizirana voda	< 0,05
Pitka voda	< 1 000
Bočata voda	> 1 000
Morska voda	> 50 000

Salinitet

Osnovna razlika između slatke i slane vode je salinitet. Salinitet je jedno od najvažnijih svojstava morske vode. Prosječan salinitet svjetskog mora iznosi 35‰, a slanost mora i oceana može se kretati u rasponu od oko 6‰ (Baltičko more) do oko 40‰ (Crveno more). Mora koja primaju manju količinu padalina i koja imaju manji dotok tekućica, a intenzivnije isparavaju, slanija su, a u obrnutim slučajevima uslijed velikog pritjecanja i relativno slabog isparavanja, manje su slana [35,36].

Tijekom isparavanja (evaporacije), manje topljive soli prve dostižu točku zasićenja, iz čega možemo zaključiti da redoslijed taloženja ovisi o topljivosti soli, a ne o njihovoj količini. Slikovni prikaz redoslijeda taloženja soli u morskoj vodi prikazan je na Slici 6. Najprije dolazi do taloženja kalcijevog karbonata ($CaCO_3$) prvenstveno zbog relativno malog prisustva karbonatnih i bikarbonatnih iona, zatim slijedi taloženje kalcijevog sulfata ($CaSO_4$) koji se taloži uglavnom kao dihidrat ili gips ($CaSO_4 \times 2H_2O$) pri 19 % ukupnog volumena uzorka morske vode. Na kraju, natrijev klorid (NaCl), koji se taloži na 9.5 % ukupnog volumena uzorka morske vode, s obzirom na njegov visoki udio u ukupnom sastavu morske vode i veliku topljivost. Ostatak taloga uglavnom sadrži magnezijeve i kalijeve kloride, s obzirom da ove soli imaju najveću topljivost od svih ostalih prisutnih komponenti [35]. U Tablici 6. prikazane su vrijednosti konstante produkta topljivosti pri 25 °C za specifične soli.

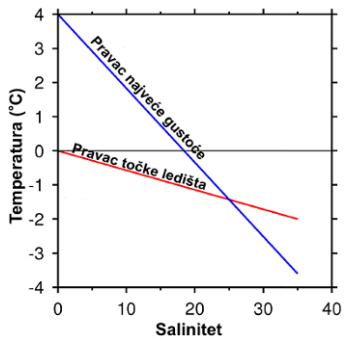


Slika 6. *Redoslijed taloženja soli u morskoj vodi* [35].

Tablica 6*. Konstante produkta topljivosti K_{pt} za soli u morskoj vodi* [37].

Soli	K_{pt} **(mol²/dm⁶)**
$CaCO_3$	$3.8 \cdot 10^{-9}$
$CaSO_4$	$9{,}1 \cdot 10^{-6}$
NaCl	36
$MgCl_2$	738
$MgCO_3$	$3.5 \cdot 10^{-8}$
$MgSO_4$	4.67
KCl	21.7

Prisutnost velikih količina soli u morskoj vodi, kao i utjecaj fizikalnih procesa (npr. evaporacije) doprinosi povećanju saliniteta, čime se točka ledišta morske vode smanjuje, a što ima za posljedicu da se slanija mora sporije zaleđuju (Slika 7.) [35].



Slika 7. *Ovisnost temperature ledišta o salinitetu* [38].

Budući da povišeni salinitet morske vode negativno utječe na rad implementiranih sustava i tehnologija (razvodni sustavi, crpke i ventili podložni su stvaranju naslaga koje mogu izazvati procese korozije), u tehnološkom smislu rješavanju ovog problema treba pristupiti s posebnom pažnjom.

Ukupno otopljene tvari u vodi

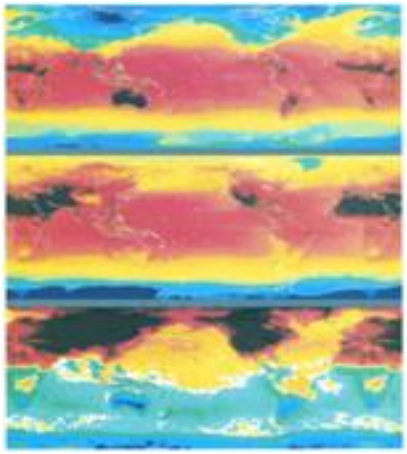
Ukupno otopljene tvari u vodi potječu od prirodnih izvora odnosno otopljenih anorganskih soli i onečišćenja. Većinu otopljenih anorganskih soli čine kalcij, magnezij, natrij, kalij, karbonati, hidrogenkarbonati, kloridi, sulfati i nitrati, a onečišćenja potječu od *organskih tvari* (sintetskih i hlapljivih organskih spojeva kao nusproizvoda industrijskih procesa i proizvodnje nafte), *dezinficijensa i njihovih nusprodukata*, *radioaktivnih onečišćenja* (prirodnih ili kao rezultat proizvodnje nafte i plina) te *mikrobioloških onečišćenja* (virusa i bakterija) [39].

Budući da morska voda sadrži veliku količinu otopljenih anorganskih soli, ukupna količina otopljenih tvari dostiže vrijednost veću od 35000 mg/L. Visoke koncentracije klorida, sulfata, magnezija, kalcija i karbonata utječu na nastanak procesa korozije i na taloženje kamenca unutar sustava, a koji posljedično utječe na značajne energetske gubitke u sustavu. Također, visoka koncentracija ukupno otopljenih tvari zahtjeva i upotrebu viših tlakova u sistemu [39].

Povišene koncentracije otopljenih tvari u vodi utječu i na okus proizvedene pitke vode kao izlaznog produkta. Za učinkovito uklanjanje ukupno otopljenih tvari koriste se metode isparavanja, membranski procesi te desalinacija zamrzavanjem. Efikasnost navedenih metoda kreće se u rasponu od 67% do 93% [40].

Temperatura morske vode

Temperatura morske vode najviše ovisi o količini solarnog zračenja. Iako oko 70 % zračenja dopire do Zemljine površine kroz atmosferu, 30 % se reflektira od oblaka i čestica prašine. Od 70 % koji dopire do površine, 17 % se apsorbira u atmosferi, 23 % dospijeva na površinu u obliku svijetlosti, a 30 % dopire u obliku direktne Sunčeve svijetlosti. Sunčevo zračenje koje i dođe do Zemljine površine ne apsorbira se u potpunosti, već se reflektira, a takva pojava se zove ‘’albedo’’ određene površine [35].



Slika 8. *Varijacije u temperaturi izmjerene satelitskim infracrvenim senzorima* [35].

Upotrebom satelitskih infracrvenih senzora može se izmjeriti razlika u površinskoj temperaturi mora i oceana tijekom cijele godine. Rezultati dobiveni na Slici 8. daju nam informacije u kojem je području temperatura mora ispod 0 ^{o}C (obojeno plavom i zelenom bojom), a u kojem je području dolazi do viših temperatura mora (promjena boje od žute prema crvenoj) [35].

Korozivna svojstva

Morska voda je poznata po svojoj korozivnosti upravo zbog visokog udjela soli (saliniteta). Međutim, i ostali faktori poput otopljenog kisika i ugljikovog dioksida, temperature, gustoće i električne vodljivosti mogu utjecati na brzinu i tip korozije [40]. Primjerice, korozija uzrokovana morskom vodom se najčešće može uočiti u cijevovodima kao što je prikazano na Slici 9. Korozija u cijevi za cirkulaciju morske vode brzinom od 2 m/s izazvana je galvanskom reakcijom između čelične cijevi i brončanog ventila.



Slika 9. *Korozija u cijevi izazvana morskom vodom* [41].

Isto tako, prisutnost povišenih koncentracija klorida koje doprinose povećanju električne vodljivosti morske vode, također su uzrok nastanka korozijskih procesa [41].

2.4.2. Postupci predobrade procesne vode - ulazne vode

Predobrada ulazne (morske) vode provodi se u svrhu smanjenja onečišćujuće tvari i poboljšanja kvalitete ulazne vode, kako bi se izbjegla moguća oštećenja na procesnim uređajima koji se nalaze unutar sistema. Također, predobrada vode provodi se i zbog opasnosti od rizika za zdravlje i sigurnost ljudi, kao i ostalih živih bića koji obrađenu vodu koriste. Predobrada voda sastoji se od mehaničke, kemijske i biološke obrade.

MEHANIČKA OBRADA

Mehanička obrada se zasniva na tri principa: *gravitaciji*, *plovnosti* te *veličini prisutnih čestica*. Procesi korišteni u sklopu mehaničke obrade ne mijenjaju niti fizikalne niti kemijske karakteristike prisutnih tvari, već ih samo uklanjaju iz onečišćene vode. Krute tvari prisutne u onečišćenoj vodi mogu uzrokovati začepljenja u cijevima, ventilima i ostalim dijelovima tehnologija koje se koriste za dobivanje pitke vode iz slane ili slatke vode [42].

- ***Gravitacijska separacija (ili sedimentacija)*** je jedna od najstarijih metoda za obradu voda. Voda se u uvodi u veliki bazen, pri čemu se nakon određenog vremena na dnu talože većina većih čestica. Brzina taloženja čestica ovisi o njihovoj gustoći. Voda sadrži i mineralne i organske tvari, ali s obzirom da je gustoća organskih tvari manja, trebat će dulje vremena da se takve čestice istalože [11].

- ***Flotacija*** je postupak odvajanja onečišćujućih tvari koji se temelji se na razlici površinskih svojstava prisutnih čestica i djelovanju privlačnih sila između tih čestica i molekula vode. Ovaj postupak se koristi za čestice manjih brzina taloženja, a princip smanjenja onečišćenja je vrlo jednostavan. Naime, ukoliko se unutar flotacijske ćelije uvede zrak, stvorit će se pjena, a hidrofobne čestice vezat će se za mjehure pjene. S obzirom da su nakupina čestica i zračnog mjehura manje gustoće, te će nakupine isplivati na površinu. Nastala pjena se potom skuplja i odvodi, a čvrste čestice se odvajaju od vode zgušnjavanjem ili filtracijom. Flotacija se pokazala uspješnom u uklanjanju raznih dispergiranih koloida, čvrstih tvari, mikroorganizama i ulja [43].

- ***Filtracija*** je jedna od najstarijih metoda mehaničke obrade, a temelji se na različitoj veličini prisutnih čestica. Uključuje razdvajanje heterogene smjese kapljevitih i čvrstih tvari pomoću šupljikave pregrade koja je propusna samo za kapljevinu. Čestice koje zaostaju na površini filtra stvaraju filtarski kolač, dok se voda koja prolazi kroz filtarsko sredstvo naziva filtrat. Danas su poznate mnoge metode filtracije s obzirom na veličinu čestica: mikrofiltracija (MF), ultrafitracija (UF), nanofiltracija (NF) itd. [44]. U procesima u kojima se upotrebljavaju membranske tehnologije potrebno je provesti odgovarajuću predobradu korištenjem multimedijskog filtra (Slika 10).



Slika 10. *Multimedijski filter [45].*

Multimedijski filtri služe za uklanjanje širokog spektra suspendirajućih čestica u ulaznoj vodi, uključujući: mulj, glinu, šljunak, organske tvari, alge i mikroorganizme. Sastoje se od slojeva antracita, pijeska (SiO_2) i gline, a kao potpora se obično koristi magnetit. Razlog odabira različitih medija upravo je različita veličina čestica i tvari koje je potrebno odvojiti te se tako veće čestice zadržavaju na gornjem, lakšem sloju (antracitu), a teže (ali manje) čestice će se zadržati na dnu [46].

KEMIJSKA OBRADA

Kemijska obrada se provodi nakon odgovarajuće mehaničke obrade te uključuje dodatak različitih kemikalija u svrhu uklanjanja ili stabilizacije onečišćujuće tvari. Procesi kemijske obrade obuhvaćaju *koagulaciju, flokulaciju, precipitaciju, oksidaciju/redukciju* i *ionsku izmjenu* [47].

- ***Koagulacija i flokulacija*** su procesi u kojima se formiraju veće nakupine čestica dodatkom određenih kemikalija (aluminijeve soli, škrob, željezni spojevi, silicij (SiO_2)) Također, mogu se upotrebljavati i kationski, anionski i ne-ionski polimeri ali njihova primjena je u odnosu na navedena koagulacijska sredstva manja s obzirom na

njihovu cijenu [48]. U procesu koagulacije dolazi do stvaranja želatinozne mase koja se kasnije taloži, a u procesu flokulacije se, uslijed nježnog miješanja ili mućkanja, stvaraju aglomerati koji su dovoljno veliki za proces filtracije [48].

- ***Precipitacija*** se temelji se na smanjenju topljivosti otopljenih onečišćujućih tvari pri čemu dolazi do nastanka mulja koji se potom odvaja. Topljivost se može smanjiti dodatkom kemikalija (aluminijevi spojevi, natrijev bikarbonat, željezovi kloridi, sulfati te vapno) ili sniženjem temperature vode. Ovim postupkom moguće je ukloniti i do 60 % onečišćujućih tvari, a najčešće se koristi za omekšavanje vode te uklanjanje teških metala i fosfata [47].

- ***Kemijska oksidacija i redukcija*** su dva glavna procesa kojima se organske i anorganske tvari uklanjaju iz voda ili se pretvaraju u oblike koji su manje štetni [42]. Procesom oksidacije se organske tvari prevode u vodu i ugljikov dioksid, kao i u druge biorazgradive produkte kao što su: alkoholi, aldehidi, ketoni ili karboksilne kiseline [47]. Tvari koje se koriste kao oksidansi su: klor, ozon, klorov dioksid, kalijev permanganat i vodikov peroksid. Kemijska oksidacija se u procesima predobrade najčešće koristi za kontrolu vodikovog sulfida i željeza, za uklanjanje mangana te za dezinfekciju, a u konačnici za poboljšanje okusa, mirisa i boje obrađene vode [42].
  Ovom metodom se uspješno uklanjaju i spojevi kao što su amonijak, fenoli, bojila, ugljikovodici te ostali organski spojevi [47]. Primjerice, amonijak se iz vode uklanja pomoću klora pri čemu nastaje dušik prikazan jednadžbom (1).

$$2NH_4^+ + 3Cl_2 \rightarrow N_2 + 6Cl^- + 8H^+ \quad (1)$$

Napredne oksidacijske tehnologije (NOT) koriste se za učinkovito pročišćavanje vode, a pri čemu visoko reaktivni hidroksi radikali ($OH^{\cdot}$), brzo i neselektivno djeluju na onečišćujuću tvar. U usporedbi sa ostalim konvencionalnim oksidansima (Tablica 7.), hidroksi radikal ima najviši oksidacijski potencijal te time i veliku brzinu reakcije oksidacije [49].

Tablica 7. *Usporedba oksidacijskih potencijala različitih oksidansa* [49].

Oksidans	Oksidacijski potencijal (V)
·OH	2.80
O	2.42
O_3	2.08
H_2O_2	1.78
ClO^-	1.49
Cl_2	1.36
ClO_2	1.27
O_2	1.23

Iako se naprednim oksidacijskim tehnologijama (NOT) postiže učinkovito uklanjanje širokog spektra onečišćujućih tvari, one se ne koriste kao glavna metoda, već kao predobrada prije ostalih klasičnih procesa obrade voda [50].

Najjednostavniji primjer naprednih oksidacijskih tehnologija je Fentonov proces koji je pojednostavljeno prikazan dolje navedenim jednadžbama (2-5). Nastanak hidroksi radikala u Fentonovom procesu postiže se dodatkom Fentonovog reagensa (miješavina H_2O_2 i Fe^{2+} soli), pri čemu radikali mogu reagirati sa željezovim ionima dajući Fe^{3+} ione ili reagirati s onečišćujućom organskom tvari. Također, reakcijom hidroksi radikala s vodikovim peroksidom nastaju i slobodni radikali $HO_2\cdot$ koji mogu reagirati s onečišćujućom tvari [49].

$$H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow \cdot OH + OH^- + Fe^{3+} \quad (2)$$

$$\cdot OH + Fe^{2+} \rightarrow OH^- + Fe^{3+} \quad (3)$$

$$\cdot OH + organska\ tvar \rightarrow produkti \quad (4)$$

$$OH \cdot + H_2O_2 \rightarrow H_2O + HO_2 \cdot \quad (5)$$

Hidroksi radikali u foto-Fentonovom procesu mogu nastati djelovanjem UV zračenja prema navedenim jednadžbama (6-7).

$$H_2O_2 + UV\ zračenje \rightarrow \cdot OH + \cdot OH \quad (6)$$

$$Fe^{3+} + H_2O + UV\ zračenje \rightarrow \cdot OH + Fe^{2+} + H^+ \quad (7)$$

Ovaj proces se najčešće koristi za uklanjanje različitih vrsta bojila iz onečišćenih voda.

Kombinacijom različitih vrsta naprednih oksidacijskih tehnologija (O_3/H_2O_2, O_3/Fe^{2+}, $UV/O_3/H_2O_2$, $UV/TiO_2/O_3$, $UV/O_3/H_2O_2/Fe^{2+}$, itd.) moguće je postići zadovoljavajuće rezultate uklanjanja onečišćujućih tvari [49].

Općenito, napredne oksidacijske tehnologije karakteriziraju velike brzine reakcija, veliki potencijal smanjenja onečišćujućih tvari, a u usporedbi sa klasičnim metodama ne stvaraju otpad ili mulj koji je potrebno dalje obrađivati [49].

- ***Alkalitet*** je jedan od ključnih parametara prilikom analize vode. Ovaj parametar obuhvaća koncentraciju svih alkalnih tvari otopljenih u vodi (karbonata, bikarbonata, hidroksida), a koje imaju ulogu da neutraliziraju prisutne kiseline (povišenje pH vrijednosti i održavanje tih vrijednosti nastankom pufer sistema). Alkalitet vode se određuje titracijom s kiselinom (HCl), a rezultat se iskazuje u mg/L $CaCO_3$. Alkalitet je pokazatelj i tvrdoće vode [51].

- ***Ionska izmjena*** je proces u kojem dolazi do izmjene između iona istog naboja (bilo kationa ili aniona) pri čemu se tijekom izmjene otpušta stehiometrijski ekvivalentna količina istovrsnog naboja [47]. Proces ionske izmjene može se pojednostavljeno prikazati jednadžbom (8).

$$R\text{-}H(s) + A^+(l) \rightarrow R\text{-}A(s) + H^+(l) \quad (8)$$

(s) – izmjenjivač, (l) – vodena otopina

Proces ionske izmjene ovisi o parametrima kao što su pH, temperatura, početna koncentracija onečišćujućih tvari i vrijeme kontakta, a prednost ove metode je što se ionski izmjenjivači mogu regenerirati i ponovno koristiti. Opisana metoda koristi se za obradu nižih koncentracija organskih i anorganskih tvari pri čemu je učinkovitost ove metode i do 95% [47].

BIOLOŠKA OBRADA

Biološka obrada se temelji na razgradnji onečišćujućih tvari prisutnih u vodi pomoću različitih vrsta mikroorganizama, pri određenim uvjetima. S obzirom na vrstu mikroorganizama koji se koriste, biološka obrada se dijeli na aerobnu i anaerobnu [52].

- ***Aerobna obrada*** odvija se u prisutnosti kisika koji pogoduje aerobnim mikroorganizmima u pretvorbi organskih onečišćujućih tvari u ugljikov dioksid, vodu i biomasu. Uspješnost procesa razgradnje direktno ovisi o koncentraciji prisutnog kisika, retencijskom vremenu, temperaturi i biološkoj aktivnosti bakterija. Aerobna obrada se koristi u uklanjanju otopljenih i suspendiranih organskih tvari, hlapljivih organskih tvari, nitrata, fosfata te smanjenju kemijske potrošnje kisika (KPK) i biološke potrošnje kisika (BPK). Razgradnja organskih tvari aerobnom obradom može se prikazati pojednostavljenom jednadžbom (9) [47].

$$organska\ tvar + O_2 + bakterije \rightarrow CO_2 + H_2O + bakterije + nusprodukti \quad (9)$$

Upotreba aktivnog mulja je jedna od najčešće korištenih metoda aerobne obrade. Onečišćena voda se uvodi u biospremnik u kojem su raspršeni mikroorganizmi te se istovremeno provodi prozračivanje i miješanje vode što ubrzava dodir mikroorganizama s organskim tvarima. Nedostatak aerobne obrade je nastajanje otpadnog mulja koji je potrebno dodatno obraditi i zbrinuti [52].

Anaerobna obrada se provodi bez prisustva kisika te pogoduje anaerobnim mikroorganizmima koji razgrađuju onečišćujuću organsku tvar u metan, ugljikov dioksid i biomasu. Razgradnja organskih tvari anaerobnom obradom može se prikazati pojednostavljenom jednadžbom (10) [47].

$$organska\ tvar + bakterije \rightarrow CO_2 + CH_4 + bakterije + biomasa \quad (10)$$

U usporedbi sa aerobnim procesom, anaerobnom obradom proizvode se manje količine proizvodene biomase (i manji je trošak zbrinjavanja) te je manja potreba za hranjivim sastojcima, a proizvedeni metan se može koristiti kao gnojivo [52].

DEZINFEKCIJA

Osim primjene navedenih procesa mehaničke, kemijske i biološke obrade, u postupku predobrade ulazne morske vode potrebno je provesti i postupak dezinfekcije, odnosno postupak uklanjanja mikroorganizama (bakterija, plijesni i algi) koji nastaju na stijenkama spremnika predobrađene ulazne morske vode. Dezinfekcija se može provesti dodatkom

sredstava za dezinfekciju kao što su: plinoviti klor i spojevi klora (klor dioksid, kalcijev i natrijev hipoklorit) ili alternativnim metodama kao što je ozonacija i dezinfekcija UV zračenjem (Slika 11.) [53].



Slika 11. *Postupak dezinfekcije vode UV zračenjem* [54].

Osim što UV zrake učinkovito uništavaju opasne mikroorganizme, u usporedbi sa tradicionalnim procesima dezinfekcije, ne nastaju štetni nusprodukti, a izbjegnuta je i uporaba opasnih kemikalija [55].

2.4.3. Praćenje ključnih parametara morske vode prije ulaska u solarni parabolični kolektor i prije ulaska u visokotlačni separator

Nakon provođenja postupka predobrade potrebno je kontinuirano pratiti ključne parametre koji utječu na učinkovitost procesa, a odnose se na kontrolu parametara u procesnoj vodi prije ulaska solarni termalni kolektor (Tablica 8.) i kontrolu parametara u procesnoj vodi prije ulaska u separator (Tablica 10.). Preporučene vrijednosti parametara morske vode prije ulaska u solarni parabolični kolektor (Tablica 9.) i preporučene vrijednosti parametara morske vode prije ulaska u visokotlačni separator (Tablica 11.) za određene tlakove poznate su iz dostupne literature.

Budući da je SSE nova tehnologija, dosadašnja iskustva u procesima (toplinske) desalinacije osnova su i kod primjene navedene tehnologije.

Tablica 8. *Ključni parametri u procesnoj vodi prije ulaska u solarni termalni kolektor.*

	Ključni parametri
Procesna voda prije ulaska solarni termalni kolektor	- koncentracija klorida (Cl^-)
	- pH vrijednost
	- količina otopljenog kisika (O_2)
	- koncentracija bakra (Cu)
	- koncentracija željeza (Fe)

Tablica 9. *Preporučene vrijednosti parametara morske vode prije ulaska u solarni parabolični kolektor za određene tlakove* [56].

Radni tlak/bar	*0-15*	*15-30*	*30-40*	***60-80***
Koncentracija klora/ mg/L	5.0	5.0	1.0	**1.0**
pH	-	8.5-9.5	8.5-9.5	**8.5-9.5**
Koncentracija otopljenog kisika/ mg/L	-	0.04	0.02	**0.007**
Koncentracija bakra/ mg/L	-	-	-	**0.005**
Koncentracija željeza/ mg/L	-	-	-	**0.01**

Tablica 10. *Ključni parametri u procesnoj vodi prije ulaska u visokotlačni separator.*

	Ključni parametri
Procesna voda prije ulaska solarni termalni kolektor	- koncentracija klorida (Cl^-)
	- tvrdoća vode
	- koncentracija silicijevog dioksida (SiO_2)
	- koncentracija bakra (Cu)
	- koncentracija uljnih tvari
	- koncentracija ukupno otopljenih tvari

Tablica 11. *Preporučene vrijednosti parametara morske vode prije ulaska u visokotlačni separator za određene tlakove* [56].

Radni tlak/ bar	*0-15*	*15-30*	*30-40*	***60-80***
Tvrdoća/ mg/L $CaCO_3$	0	0	0	**0**
Alkalitet/ mg/L $CaCO_3$	50-300	150-300	100-150	**500-80**
Koncentracija klora/ mg/L $CaCO_3$	300	150	100	**30**
Koncentracija otopljenih soli/ mg/L	1500	1000	500	**300**
Koncentracija silicija/ mg/L SiO_2	-	-	-	**3**
Koncentracija bakra/ mg/L	0.05	0.025	0.02	**0.01**
Koncentracija uljnih tvari/ mg/L	1	1	0.5	**0.2**
Koncentracija ukupno otopljenih tvari/ mg/L	4000	3000	1500-2000	**100-300**

2.4.4. Postupci naknadne obrade procesne vode – pitke vode

Postupcima predobrade**,** ulazna procesna voda postiže zadovoljavajuće karakteristike kako bi se mogla upotrijebiti u daljnjem procesu, odnosno kako bi se u konačnici dobio željeni produkt na izlazu iz sistema, a to je zdravstveno ispravna pitka voda. U tu svrhu nakon dobivanja izlazne procesne vode provode se postupci naknadne obrade koji obuhvaćaju postupke *mineralizacije*, *podešavanja pH vrijednosti*, *kloriranje*, *dezinfekciju* i *fluoriranje*.

- ***Mineralizacija*** je postupak podešavanja koncentracija ključnih elemenata: magnezija, kalcija i natrija kako bi se osigurala kvaliteta pitke vode, a čije koncentracije u pitkoj vodi su propisana nacionalnim propisima. Prema definiciji Svjetske zdravstvene organizacije (World Health Organization - WHO), slabo mineralizirana voda je ona koja sadrži vrlo malo ili gotovo ništa otopljenih minerala, a često se dobiva kao produkt destilacije, deionizacije, membranske filtracije, elektrodijalize ili nekih drugih sličnih tehnologija. S druge strane, visoko mineralizirana voda je ona koja sadrži visoke koncentracije kalcijevih i magnezijevih iona te bikarbonata. Propisi koji određuju koncentracije pojedinih minerala u pitkoj vodi znatno se razlikuju od države do države, a u Tablici 12. prikazan je primjer sastava 75 različitih flaširanih voda koje su u komercijalnoj prodaji u Španjolskoj [57].

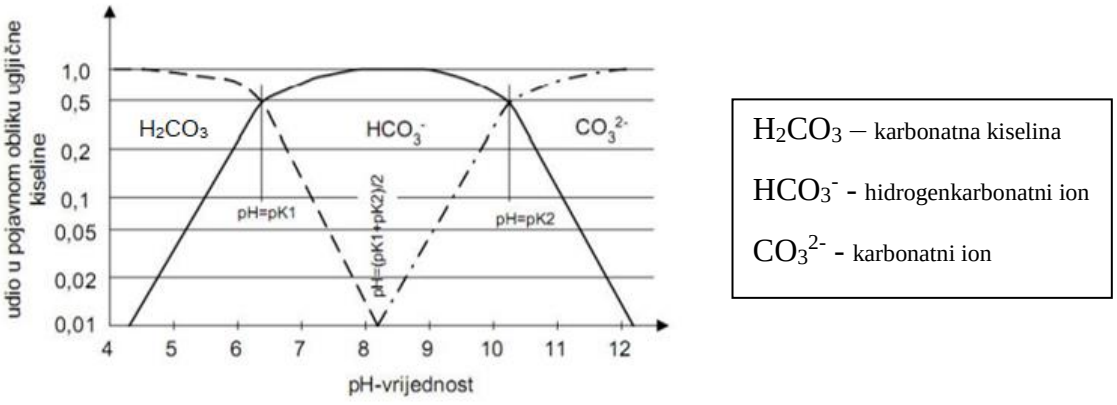
Tablica 12. *Prosječne koncentracije natrija, kalcija i magnezija u 70 različitih flaširanih voda u komercijalnoj prodaji (Španjolska)* [57].

Stupanj mineralizacije	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)
veoma nisko mineralizirana voda	3.1	2.4	1.7
nisko mineralizirana voda	11.7	50.0	10.9
srednje mineralizirana voda	39.5	92.0	36.5
visoko mineralizirana voda	892.0	67.4	27.8

Ukoliko se destilirana (demineralizirana) voda naknadno ne obradi postupkom mineralizacije, a koristi se kao voda za piće, takva voda može imati štetan utjecaj na ljudski metabolizam [58]. U svrhu mineralizacije najčešće se koriste filtri ispunjeni kalcitom ili Corosexom (mješavina magnezija), pri čemu destilirana voda prolazi kroz filtar i dolazi do otapanja dijela filtarskog medija [59].

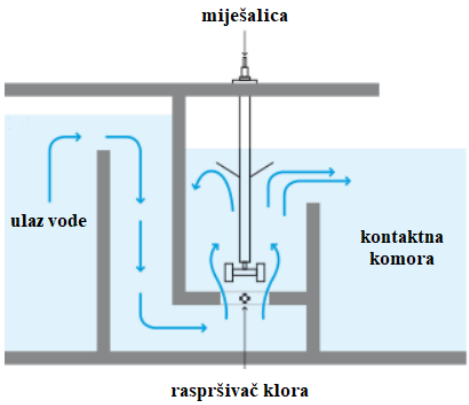
- ***Stabilizacija pH vrijednosti*** se najčešće provodi dodatkom kemijskih spojeva kao što su: vapno, natrijev karbonat, natrijev hidroksid, ugljikov dioksid i kalijev hidroksid. Važno je napomenuti kako pH stabilizacija nije pogodna za vodu niske do srednje tvrdoće i alkaliteta (između 80 i 150 mg/L $CaCO_3$) [54].

Na kiselost (pH < 7), odnosno alkalitet pitke vode (pH > 7) utječe prisutnost ugljičnog dioksida (CO_2) čijim otapanjem u vodi nastaje karbonatna kiselina (H_2CO_3), koja disocijacijom može postojati u različitim ionskim oblicima kao što je prikazano na Slici 12. [60].



Slika 12. *Udio pojedinih iona u pojavnom obliku ugljične kiseline ovisno o pH-vrijednosti* [60].

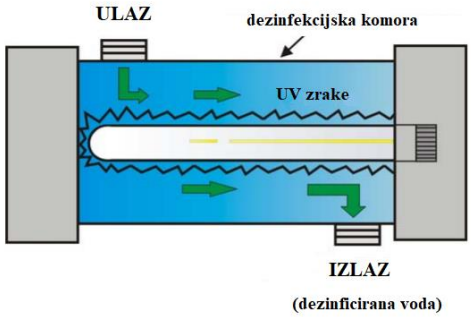
- ***Dezinfekcija klorom*** je postupak naknadne obrade koji se provodi u svrhu uklanjanja mikroorganizama (bakterija, plijesni i algi) koji nastaju na stijenkama spremnika pitke vode. Tijekom postupka naknadne obrade dodaju se sredstva za dezinfekciju kao što su: plinoviti klor i spojevi klora (klor dioksid, kalcijev i natrijev hipoklorit). Male količine klora prisutne u vodi ne mogu naštetiti ljudskom zdravlju, a svjetska zdravstvena organizacija (WHO) propisuje graničnu vrijednost od 5 mg/L klora u pitkoj vodi. Alternativne metode dezinfekcije su ozonacija i dezinfekcija UV-zračenjem [54].



Slika 12. *Pojednostavljeni prikaz kloriranja [61].*

Dezinfekcija ozonacijom uključuje prolazak zraka kroz visokonaponsko električno pražnjenje, pri čemu nastaje ozon koncentracije od približno 10000 mg/L koji se potom upuhuje u spremnik za dezinfekciju vode. Općenito, ozon ima veću efikasnost u uništavanju bakterija i virusa od klora, brzo se razlaže (nije potrebna dodatna obrada), a sam proces ozonacije je relativno brz (10 do 30 minuta) [62].

Dezinfekcija UV zračenjem uključuje protok onečišćene vode kroz cijev osvjetljenu UV lampama, pri čemu intenzivno UV zračenje uzrokuje promjenu u molekulama DNA i RNA prisutnih mikroorganizama [56]. Pojednostavljena shema dezinfekcije UV zračenjem prikazana je na Slici 13.



Slika 13. *Pojednostavljena shema sustava dezinfekcije UV zračenjem* [56].

- ***Fluoriranje*** je postupak dodavanja spojeva fluora (najčešće natrijevog heksafluorsilikata (Na_2SiF_6), natrijevog fluorida (NaF), fluorosilicijeve kiseline (H_2SiF_6) u procesu naknadne obrade voda. Prva zemlja koja je uvela postupak fluoriranja je SAD (1945. godine), a kasnije su ga uvele i druge zemlje širom svijeta. Međutim, danas je upitna njegova prednost u korištenju budući da postoje znanstvene studije koje ukazuju na negativne utjecaje većih koncentracija fluorida u vodi na ljudsko zdravlje. U Hrvatskoj ne postoji praksa provođenja postupka fluoriranja u procesima naknadne obrade voda kao niti u većini europskih zemalja [63].

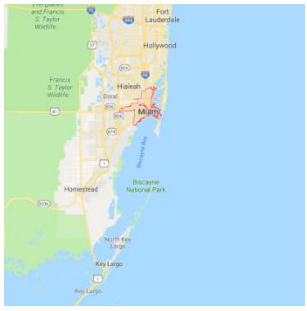
2.5. Mogućnost implementacije SSE tehnologije ovisno o karakteristikama odabranih lokacija

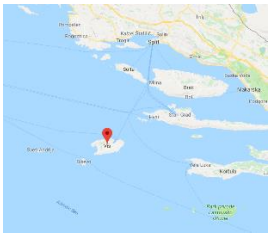
Tehnologija *Seawater Steam Engine* može biti implementirana na svim mjestima gdje ljudi žive budući da se kao radni fluid, umjesto morske vode, ovom tehnologijom može upotrijebiti i bilo koji drugi nečisti izvor kao što su rijeke i jezera, dok se umjesto Sunca mogu koristiti i drugi obnovljivi izvori energije (prije svega vjetar, jer predstavlja značajniji obnovljivi izvor energije).

U ovom radu odabrane su proizvoljno četiri lokacije: Naha (Japan), Dubai (UAE), Miami (SAD) i Vis (Hrvatska) koje će se analizirati s obzirom na klimatološke karakteristike i specifična onečišćenja koja postoje u okruženju te postupke predobrade tih onečišćenja za učinkovitu implementaciju *Seawater Steam Engine* tehnologije.

2.5.1. Geografske i klimatološke karakteristike odabranih lokacija

NAHA (JAPAN)	
 ***Slika 14****. Naha, otok Okinawa.*	Grad Naha nalazi na južnom dijelu otoka Okinawe smještenog u Pacifičkom oceanu (Slika 14.) koji se sastoji od dvije trećine Ryukyu otoka – arhipelaga koji razdvaja Istočno kinesko more na sjeverozapadu i Filipinsko more na jugoistoku. Okinawa jest najveći otok, dug 112 km i širok 11 km, površine od 1199 km^2 [64]. Grad Naha koji je prijestolnica otoka Okinawe ima 325000 stanovnika te je političko, ekonomsko i edukacijsko središte Ryukyu otočja [65]. Naha je također, turističko središte, a budući da se čak 200 poznatih koraljnih grebena (od ukupno 500) nalazi upravo na području otoka Okinawe, što Nahu čini najpopularnijim središtem za ronilačko istraživanje koraljnih grebena i druge raznovrsne flore i faune [66]. U smislu klimatoloških karakteristika područje Okinawe pripada suptropskom području, sa veoma blagim zimama te dugim, vlažnim i kišnim ljetima. Kiše su česte na ovom području dok su sunčana razdoblja kratka i rijetka [67].

DUBAI (UAE)	
 ***Slika 15.*** *Dubai, Ujedinjeni Arapski Emirati.*	Dubai je najveći i najnaseljeniji grad Ujedinjenih Arapskih Emirata, a nalazi se uzduž kanala Perzijskog zaljeva. Drugi je najveći emirat (od šest Emirata) s površinom od 3.885 km^2, sa 3103000 stanovnika [68]. U prošlosti, Dubai je živio od ribolova, lova na školjkaše i uzgoja deva, a pronalaskom nafte UAE-i postali su jedni od najvećih svjetskih proizvođača [69]. Također, nedostatak vode karakterističan za Srednji istok, potaknuo je zemlje Perzijskog zaljeva na uporabu desalinacijskih tehnologija, u svrhu proizvodnje čiste i pitke vode. Saudijska Arabija, SAD i UAE su na vrhu liste najvećih investitora desalinacijskih tehnologija [70]. Dubai pripada području tropske pustinjske klime, a karakteriziraju ga ekstremno vruća i sparna ljeta, rijetka kišna razdoblja i duga sunčana razdoblja tokom cijele godine [71].
MIAMI, FLORIDA (SAD)	
 ***Slika 16.*** *Miami, Florida (SAD).*	Miami se nalazi u jugozapadnom dijelu SAD-a, i jedan je od najvećih gradova savezne države Floride, sa površinom od 143.1 km^2 i populacijom od 5.5 milijuna stanovnika [72]. Biscayne zaljev se vrlo često dijeli na tri područja: sjeverni, centralni i južni. Sjeverni dio je urbaniziran, a 40 % zaljeva je posipano ili ispunjeno, dok je većina obalne linije ograđena nasipima. Ovo područje uključuje mnoge industrijske zone, luku Miamija i rijeku Miami. Centralni dio predstavlja tranzicijsku zonu između urbaniziranog sjevera i manje razvijenog juga. Uz južni dio najviše se vežu poljoprivredne djelatnosti [73]. Miami ima tropsku klimu, sa vrućim i sparnim ljetima te kratkim i toplim zimama. Kišna razdoblja su posebice česta ljeti, a pojavljuju se u obliku kratkotrajnih grmljavinskih oluja [74].

VIS (HRVATSKA)	
 ***Slika 17.*** *Vis (Hrvatska).*	Otok Vis se nalazi u srednjodalmatinskom području, južno od otoka Šolte (udaljen 30 km), jugozapadno od otoka Hvara (16 km) i Brača (30 km) te zapadno od Korčule (32 km). Otok Vis je od obale udaljen 44 km, dug je 17 km, a širok do 80 km, sa površinom od 89.72 km^2 [75]. Povijest otoka Visa seže u daleku prapovijest, a uz njega vežemo i važnu antičku grčku koloniju – *Issu*. Tijekom mnogih stoljeća Vis je predstavljao gospodarsko središte, sa izrazito razvijenim vinarstvom i ribolovom [75]. Očuvanost prirode jedna je od vrijednosti koja je centar turističke atrakcije [75]. Otok Vis pripada mediteranskoj klimi, sa vrućim ljetima i dugim sunčanim razdobljima od čak 2600 sati godišnje. Otprilike samo 800 mm padalina padne godišnje, a s obzirom na povoljne klimatske uvjete, otok je bogat raznolikom florom i faunom [76].

2.5.2. Specifična onečišćenja i postupci predobrade morske vode odabranih lokacija

NAHA (JAPAN)



Slika 18. *Onečišćenje morske vode crvenicom na otoku Okinawi* [78].

Specifična onečišćenja crvenicom, vrstom tla karakterističnom upravo za suptropska područja, jedan je od ključnih problema otoka Okinawe. Nošene padalinama (kišama, tajfunima) čestice crvenice priobalnoj morskoj vodi daju crvenkastu boju (nazvane "red soil pollution"), iz razloga što sadrže okside željeza i aluminija (Slika 18.) [77].

Onečišćenje je prepoznato u 1980-ima, a glavni je uzrok inhibicije rasta raznovrsnih koralja i riba [77].

Onečišćenja spojevima željeza

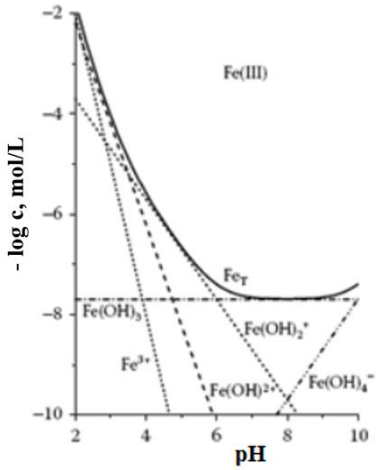
Ukoliko razmatramo Nahu kao moguću lokaciju implementacije SSE sustava, potrebno je obratiti pozornost na povećane koncentracije željeza u morskoj vodi. Naime, čestice željezovih (III) oksida i hidroksida mogu uzrokovati tehničke probleme (taloženje unutar sustava). Također, otopljeni Fe (II) ioni mogu uzrokovati nastajanje i drugih spojeva željeza. U areobnim uvjetima (u prisutnosti kisika) dolazi do procesa oksidacije Fe (II) iona u Fe (III) ione. S obzirom da je produkt topljivosti željezovog (III) hidroksida jako malen ($2.0 \cdot 10^{-39}$ pri 25 °C), Fe (III) ioni će veoma brzo hidrolizirati u nakupine željezo (III) hidroksida (prikazano jednadžbama 11 i 12). Ukupna jednadžba oksidacije i hidrolize dana je jednadžbom (13), a na Slici 19. prikazan je dijagram topljivosti željezovih spojeva [79].

Oksidacija: $4Fe^{2+} + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe^{3+} + 4OH^-$ (11)

Hidroliza: $4Fe^{3+} + 4OH^- + (2x+2)H_2O \rightarrow 2(Fe_2O_3\ x\ H_2O) + 8H^+$ (12)

Ukupna jednadžba : $4Fe^{2+} + O_2 + (2x+4)H_2O \leftrightarrow 2(Fe_2O_3\ x\ H_2O) + 8H^+$ (13)

Oksidacija i hidroliza ovise o pH vrijednosti – pri niskim pH vrijednostima brzina reakcije oksidacije/hidrolize je malena, dok je pri višim vrijednostima veća [79].

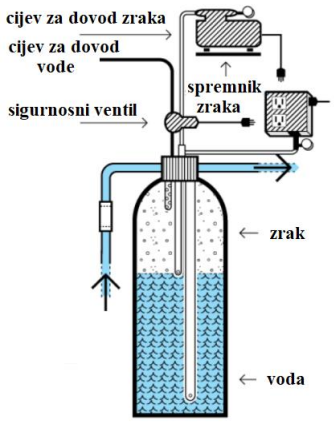


Slika 19. *Dijagram topljivosti željezovih spojeva* [80].

Metode za uklanjanje povećane koncentracije željeza, kao specifičnog onečišćenja u postupcima predobrade za odabranu lokaciju, mogu se ukloniti metodama aeracije, filtracije i

taloženja te ionskom izmjenom. Osim navedenih postupaka mogu se koristiti i napredne oksidacijske tehnologije koje su već opisane u poglavlju 2.4.2..

Jedni od tradicionalnih procesa uklanjanja željeza su aeracija i filtracija, uz uvjet da pH vrijednost prilikom aeracije bude najmanje 7.2 te je potrebno održavati pH vrijednost od 7.5 do 8.0 .[78] Nakon postupka aeracije kao što je opisano u prethodnim jednadžbama (11-13), željezov (III) hidroksid, s obzirom da je netopljiv, uklanja se pročišćivanjem ili filtracijom. Ponekad je potrebna i uporaba oksidansa kao što su klor ili kalijev permanganat, u svrhu osiguravanja potpune oksidacije [81]. Na Slici 20. prikazan je jednostavan aeracijski sustav za uklanjanje željeza.



Slika 20. *Aeracijski sustav za uklanjanje željeza* [82].

Zrak iz spremnika formira maglicu na gornjoj trećini rezervoara. Kako voda ulazi, zaustavlja se na najkraćoj cijevi s lijeve strane te se raspršuje kroz maglicu zraka. Voda se dodatno oksidira u samom rezervoaru, a odvodi se najduljom cijevi s desne strane [82].

Nadalje, ionska izmjena je također jedan od mogućih postupaka uklanjanja željeza. Ovakav proces temelji se na vezanju iona otopljenih u onečišćenoj vodi na kruti ionski izmjenjivač koji otpušta stehiometrijski ekvivalentnu količinu iona istovrsnog naboja, odnosno kationi se izmjenjuju kationima, a anioni anionima. Nakon provedbe ionske izmjene i zasićenja aktivnih grupa, izmjenjivač se regenerira čime se ponovno prevodi u početni ionski oblik [83]. Općenito, željezov bikarbonat koji je često prisutan u vodi (a nastaje reakcijom željeza sa CO_2), uspješno se uklanja ionskom izmjenom prema jednadžbi (14):

$$2RNa + Fe(HCO_3)_2 + O_2 \rightarrow R_2Fe + 2NaHCO_3 \qquad (14)$$

Otopina visoke koncentracije soli (8-26 %), uzrokuje povrat reakcije, kao što je prikazano u jednadžbi (15) [83].

$$R_2Fe + 2NaCl \rightarrow 2RNa + FeCl_2 \quad (15)$$

Uzimajući navedeno u obzir, potrebna je odgovarajuća predobrada u svrhu smanjenja koncentracije željeza u morskoj vodi, kao radnom fluidu, kako bi se izbjeglo taloženje željezovih hidroksida u sistemu SSE tehnologije.

Hidroksi radikali u morskoj vodi

Vodikov peroksid (HOOH) i hidroksi radikali (·OH) snažni su oksidansi koji se pojavljuju u prirodi. Vodikov peroksid se može formirati u morskoj vodi fotokemijskim reakcijama otopljenih organskih spojeva. Hidroksi radikali mogu reagirati sa organskim spojevima pri velikim reakcijskim brzinama, a formiraju se fotolizom različitih spojeva kao što su nitrati, nitriti, otopljene organske tvari i $Fe(OH)^{2+}$. Hidroksi radikali također mogu nastati foto-Fentonovom reakcijom između Fe(II) iona i HOOH, kao što je prikazano u jednadžbi (16) [77].

$$Fe(II) + HOOH \rightarrow \cdot OH + OH^- + Fe(III) \quad (16)$$

Prisutnost spojeva kao što su vodikov peroksid i Fe(II) iona direktno utječu na stvaranje hidroksi radikala.

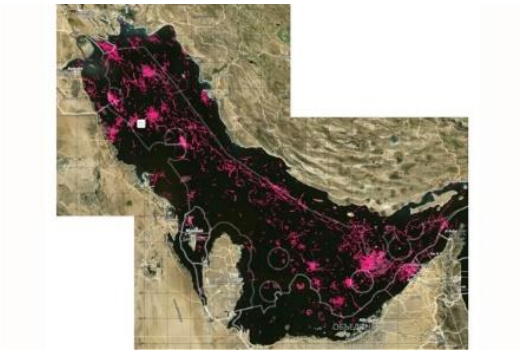
Onečišćenje padalinama i pojavom kiselih kiša

Padaline, kao jedna od učestalih pojava na Okinawi, predstavljaju još jedan izvor onečišćenja. U proteklih nekoliko godina, ozbiljan problem je onečišćenje uzrokovano kiselim kišama nošenih s Azijskog kontinenta [84]. Zbog povećanih koncentracija atmosferskog CO_2 (uz ostala onečišćenja SO_x, NO_x i dr.) dolazi do smanjenja pH vrijednosti u prirodnom ciklusu te do nastajanja kiselih kiša. Općenito, ugljikov dioksid reagira s vodom pri čemu nastaje karbonatna kiselina (H_2CO_3), koja potom disocira na bikarbonatne (HCO_3^-) i karbonatne ione (CO_3^{2-}). Dakle, disocijacijom karbonatne kiseline dolazi do povećanja koncentracije vodikovih iona (H^+) što posljedično povećava pH vrijednost morske vode.

Ovakve reakcije su reverzibilne, a za površinsku morsku vodu pH vrijednosti 8.1, otprilike 90 % anorganskog ugljika u obliku je bikarbonatnog iona, a 9 % u obliku karbonatnog iona, uz samo 1 % CO_2. Opisani ugljični ciklus mora i oceana prikazan je jednostavnom jednadžbom (17) [85].

$$CO_{2\,(atmosfera)} \leftrightarrow CO_{2\,(aq)} + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow 2H^+ + CO_3^{2-} \quad (17)$$

DUBAI (UAE)



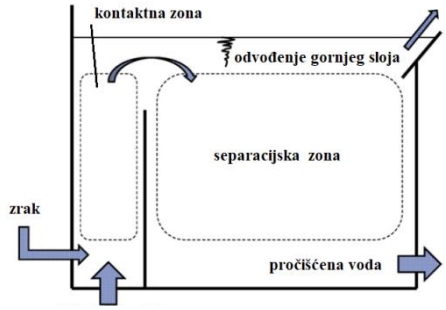
Slika 21. *Satelitska snimka naftnog onečišćenja Perzijskog zaljeva* [88]

Iako su Ujedinjeni Arapski Emirati (UAE) jedni od vodećih proizvođača na naftnom tržištu, štetan utjecaj naftnog onečišćenja daleko nadilazi bilo kakve ekonomske profite. Proizvodnja, iskopavanje, transport, curenje, te ispuštanje otpadnih voda, predstavljaju veliku opasnost za floru i faunu. Izljevanje nafte unutar Perzijskog zaljeva najčešće se veže uz razna ratna događanja te slučajne izljeve iz tankera, platformi, bušenjem te propuštanjem iz cijevovoda i brodova [86, 87]. Na Slici 21. prikazane su satelitske snimke (2017.) koje pokazuju prisutnost naftnog onečišćenja diljem Perzijskog zaljeva [87].

Nadalje, nedostatak vode potaknuo je zemlje Perzijskog zaljeva i na uporabu desalinacijskih tehnologija, u svrhu proizvodnje pitke vode [70]. No, ispuštanje prezasićene otopine veće koncentracije soli (> 70%) kao nusprodukt postupka desalinacije, utječe ne samo na ekosustav nego i na cijenu pitke vode dobivene desalinacijom [89].

Naftno onečišćenje u morskoj vodi

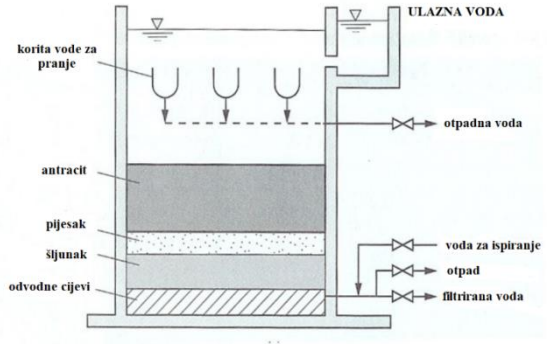
S obzirom na moguća naftna onečišćenja koja su karakteristična za Perzijski zaljev, potrebno je izvršiti odgovarajuću predobradu kako bi se izbjegli mogući problemi u implementiranom sustavu. Neki od razmotrenih procesa predobrade onečišćene vode su koagulacija, flokulacija i napredne oksidacijske tehnologije (opisani u poglavlju 2.4.2.), flotacija otopljenim kisikom (DAF) i filtracija dvostrukim medijem (DMF) te adsorpcija aktivnim ugljenom.



Slika 22. *Pojednostavljena shema DAF procesa* [90].

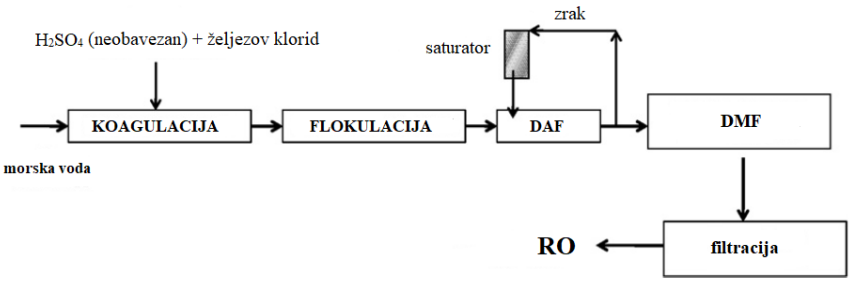
DAF (flotacija otopljenim zrakom) je gravitacijski separacijski proces veoma učinkovit u uklanjanju ugljikovodika iz morske vode. Provodi se uvođenjem zraka u suspenziju flokurirane vode, nakon čega nastali agregati isplivaju na površinu, dok se pročišćena voda odvodi sa dna reaktora, a pojednostavljena shema ovog procesa prikazana je na Slici 22.. Učinkovitost DAF procesa očituje se u uspješnom smanjenju mutnoće, ukupnog organskog ugljika te uklanjanju algi, ulja i masti [90].

DMF (filtracija dvostrukim medijem) je također separacijski proces koji uključuje uporabu filtra sastavljenih od više različitih tvari. Najčešće korištene tvari su silicijev dioksid, pijesak i antracit (Slika 23.). Općenito, korištene tvari moraju zadovoljiti određene karakteristike kao što su veličina zrna, površinska svojstva zrna, gustoća, poroznost, topljivost te izdržljivost. Kao i multimedijski filtri opisani u poglavlju 2.4.2., pokazali su se efikasni u uklanjanju širokog spektra onečišćujućih tvari, pa tako i ugljikovodika [91].

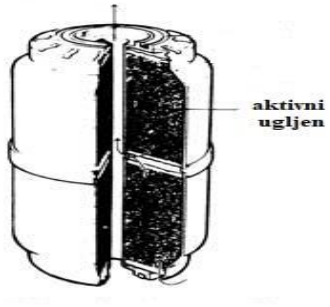


Slika 23. *Pojednostavljena shema DMF procesa* [92].

S obzirom na karakteristike DAF i DMF procesa moguća je i njihova kombinacija nakon odgovarajućeg postupka koagulacije i flokulacije, čime se učinkovitost uklanjanja onečišćujućih tvari (i naftnog onečišćenja) izrazito povećava [90]. Na Slici 24. shematski je prikazan primjer jednog takvog procesa prije postupka reverzne osmoze.



Slika 24. *Shematski prikaz kombinirane predobrade prije postupka reverzne osmoze* [90].



Slika 25. *Skica filtera sa aktivnim ugljenom* [94].

Adsorpcija aktivnim ugljenom pokazala se učinkovitom u uklanjanju ugljikovodika porijeklom iz naftnih onečišćenja, a vrlo često se koristi i za adsorpciju prirodnih organskih tvari, tvari koje uzrokuju nepoželjan okus i miris, te sintetičkih organskih kemikalija. Aktivni ugljen je izvrstan adsorbens, posebice zbog njegove visoke poroznosti i velike specifične površine [93].

Povećane koncentracije ukupno otopljenih tvari i salinitet Perzijskog zaljeva

Iako se desalinacijom osigurava i povećava kvaliteta života (dostupnost pitkoj vodi), postoje i određeni negativni utjecaji. Naime, ispuštanjem prezasićene otopine (preslane vode) i raznih kemikalija u morsku vodu, narušava se kvaliteta morske vode, odnosno dovodi se u opasnost morska flora i fauna. Također, ispuštena voda uzrokuje lokalno povišenje temperature, što direktno može utjecati na prisutne organizme, a smanjiti i koncentracije kisika. Ovakva otpadna voda često sadrži razne kemikalije korištene u desalinacijskom procesu i u procesima predobrade kao što su natrijev hipoklorit (korišten za kloriranje), željezov i aluminijev klorid (flokulanti) te razni aditivi i kiseline kao što su sulfatna i klorovodična kiselina (za stabilizaciju pH). Sve navedeno štetno utječe na salinitet, alkalitet, temperaturu te morske organizme [95].

Analiza kvalitete morske vode provedena 2012. godine na uzorcima uzetim duž obale Dubaija, pokazali su vrijednosti ukupno otopljenih tvari od otprilike 59 256 mg/L, a saliniteta 46.87 mg/L. Ove vrijednosti su međusobno povezane s obzirom da povećane koncentracije Na^+ i Cl^- iona doprinose i povećanju vrijednosti ukupno otopljenih tvari. Općenito, navedene vrijednosti su direktno povezane s prekomjernim ispuštanjem prezasićene otopine iz desalincijskih postrojenja [96]. Uzimajući navedeno u obzir, ne začuđuje činjenica da salinitet Perzijskog zaljeva doseže veće vrijednosti (čak i do 40 ‰) nego u ostalim oceanima i morima [97].

U svrhu smanjenja koncentracije ukupno otopljenih tvari, a sukladno tome i koncentraciji soli, često se upotrebljavaju procesi mikrofiltracije, ultrafiltracije i nanofiltracije u postupcima predobrade. Mikrofiltracijske membrane obično imaju veličine pora od 0.1 do 10 μm, a karakterizira ih najveća poroznost među svim ostalim membranama. S druge strane,

ultrafiltracijske membrane imaju veličine pora u rasponu od 0.1 do 0.001 μm, a s obzirom na manju veličinu pore, ovakve membrane uklanjanju širi spektar onečišćujućih tvari nego mikrofiltracijske membrane [98]. Veličine pora nanofiltracijskih membrana su relativno male (1–5 nm), a gotovo sve otopljene tvari prisutne u vodi uspješno se odvajaju ovom metodom , s obzirom da električni negativni naboj koji se nalazi unutar ili na membrani daje ion-selektivni karakter ovoj metodi [99, 100]. U Tablici 13. prikazana je usporedba učinkovitosti navedenih membranskih procesa kod uklanjanja pojedinih onečišćujućih tvari. Nanofiltracija je učinkovita metoda za najširi spektar onečišćujućih tvari.

Tablica 13. *Usporedba učinkovitosti pojedinih membranskih procesa u uklanjanju onečišćujućih tvari* [101].

Metoda	**Voda**	**Monovalentni ioni**	**Viševalentni ioni**	**Virusi**	**Bakterije**	**Suspendirane čvrste tvari**
Mikrofiltracija	✗	✗	✗	✗	✓	✓
Ultrafiltracija	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Nanofiltracija	✗	✗	✓	✓	✓	✓

MIAMI (SAD)



Slika 27. *Biscayne zaljev, Miami* [104].

Biscayne Bay je zaljev koji se proteže uz obalu Miamija, dugačak je 56 km, a širok 13 km [102]. Ovaj zaljev se već dugi niz godina kontinuirano izlaže utjecaju ekstenzivnog porasta populacije i ubrzanog obalnog razvoja. Dugotrajno ispuštanje otpadnih voda u zaljev (iz kanalizacijske odvodnje, industrija i poljoprivrednih djelatnosti), rezultiralo je porastom koncentracije hranjivih tvari, lokalnim povećanim/sniženim salinitetom, cvjetanjem algi, izumiranjem morskih trava te toksičnim onečišćenjem (metalima, policikličkim aromatskim ugljikovodicima (PAH) i polikloriranim bifenilima PCB)). Kvaliteta morske vode Biscayne zaljeva znatno je narušena razlikama u kvaliteti,

kvantiteti i distribuciji ispuštanja otpadnih vada iz kanala povezanih sa poljoprivrednim i urbanim područjima [103].

Povećane koncentracije ukupnog organskog ugljika

Statistički rezultati analize morske vode Biscayne zaljeva od 1994. - 2003. pokazuju izuzetno veliki raspon koncentracija ukupnog organskog ugljika: 0.459 do 11.982 mg/L, pri čemu su uz obalu koncentracije najviše upravo zbog povećanog dotoka otpadnih voda iz kanala. Tijekom kišnih razdoblja dolazi do porasta koncentracija ukupnog organskog ugljika, a tijekom sušnih razdoblja koncentracije se smanjuju [73].

Izvore ukupnog organskog ugljika dijelimo na prirodne organske tvari te sintetičke tvari. Uz prirodne organske tvari vežemo huminsku i fulvinsku kiselinu, amine te ureu, dok najčešće u sintetičke tvari ubrajamo deterdžente, pesticide, herbicide, gnojiva, industrijske kemikalije te klorirane organske tvari [105]. S obzirom na široki spektar onečišćujućih tvari koji vežemo uz ukupni organski ugljik teško je specificirati određenu tvar i povezati je sa izvorom, što bi zahtjevalo ekstenzivnu analizu kvalitete vode.

Usprkos navedenom, neki od razmotrenih postupaka predobrade mogu se koristiti u u svrhu smanjenja koncentracije ukupnog organskog ugljika: ultraljubičasto (UV) zračenje, napredne oksidacijske tehnologije, ionska izmjena (opisani u poglavlju 2.4.2.) i membranska filtracija (opisana u poglavlju 2.5.2.).

Salinitet Biscayne zaljeva

Salinitet Biscayne zaljeva ovisi o precipitaciji, dotoku svježe voda sa kopna, kanalizacijskoj odvodnji, podzemnim vodama te plimnim tokovima oceana. Sveukupni utjecaj navedenih izvora očituje se u raznovrsnim vrijednostima saliniteta diljem zaljeva. Općenito, niži salinitet je vidljiv uz obalu (gdje je veći dotok svježe vode), dok je na istoku, prema oceanu, viši i konzistentniji sa standardnim salinitetom ostalih svjetskih oceana [106].

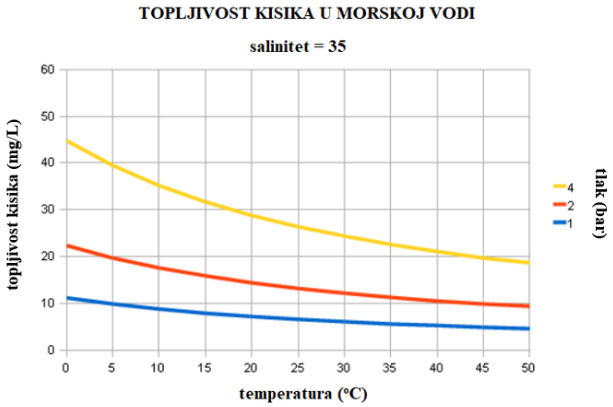
Statistički rezultati analize morske vode Biscayne zaljeva od 1994. - 2003. pokazuju gradijent od obale prema oceanu u rasponu od 6.21 – 42.30 mg/L, a u sjevernom dijelu zaljeva (područje Miamija) uočen je najveći gradijent tokom različitih godišnjih doba [73].

Povećane koncentracije klorofila (CHLA) i smanjene koncentracije kisika

Klorofil (klorofil zelenih biljaka), esencijalan je u fotosintezi, a mjera (CHLA) je količine rastućih algi u vodenom tijelu. Iako su alge prirodni dio raznih ekosustava, prekomjeran broj može uzrokovati različite estetske probleme poput obojenja i neugodnih mirisa te smanjenja koncentracije otopljenog kisika. Neke alge proizvode i toksine, koji ako se pojave u visokim koncentracijama, mogu predstavljati opasnost za ljude. Općenito, vode sa visokim koncentracijama hranjivih tvari porijeklom iz gnojiva, septičkih sustava, postrojenja za obradu otpadnih voda i otjecanja sa urbanih površina, mogu imati i povećane koncentracije CHLA, a posljedično i pojačani rast algi [107,108].

Stoga, između ostalih parametara, uočene su i povećane koncentracije CHLA u sjevernom dijelu Biscayne zaljeva: od 0.956 μg/L do 0.226 μg/L, što je čak tri puta veće nego u bilo kojem drugom dijelu zaljeva [73]. Povećane koncentracije CHLA mogu se direktno povezati sa pojačanim rastom algi u zaljevu koje se obično vrlo lako uklanjaju iz morske vode filtracijom s obzirom da njihove stanice pucaju pod relativno niskim tlakovima od 0.4 do 0.6 bara. Kada te stanice pucaju, one otpuštaju svoju staničnu citoplazmu bogatu polisaharidima koja služi kao hrana bakterijama, a kada koncentracija ovih polisaharida premaši graničnu vrijednost u filtriranoj vodi, tada dolazi do rasta mikroorganizama, koji posljedično mogu izazvati začepljenje membrana te ostalih oštećenja sustava [109].

S obzirom na povećane koncentracije CHLA, tijekom sušnih razdoblja zamjećene su i niže koncentracije otopljenog kisika od 6.5 mg/L, a tijekom kišnih razdoblja koncentracije od 5.6 mg/L [73]. Na Slici 28. prikazana je topljivost kisika u morskoj vodi u ovisnosti o tlaku i temperaturi. Općenito, topljivost kisika ovisi o temperaturi, tlaku i salinitetu, a koncentracije otopljenog kisika su otprilike 20 % manje u morskoj vodi u usporedbi sa slatkom vodom. Otopljeni kisik je veoma bitan za prisutne žive organizme, a povećane koncentracije mogu imat korozivni učinak [110].



Slika 28. *Topljivost kisika u morskoj vodi* [110].

VIS (HRVATSKA)

Netaknuta priroda otoka Visa smjestila ga je među najljepši otok na Jadranskom moru. Svjetska organizacija za zaštitu okoliša proglasila je Vis jednim od 10 najočuvanijih otoka u Mediteranu (Slika 29a). Ljepota Visa očituje se u raznolikoj flori i fauni, a okolno more bogato je ribom (sardinama, skušom i inćunima) [76]. Na otočiću Biševu nedaleko od Visa nalazi se i poznata Modra špilja (Slika 29b), a na otocima Jabuci i Brusniku moguće je pronaći i endemske biljke Jadrana, što je samo jedan od dokaza očuvanosti prirode područja otoka Visa [111].



Slika 29. *a) otok Vis, Hrvatska b) Modra špilja na Biševu* [111].

Moguća onečišćenja na području otoka Visa

Jadransko more je jedno od najčišćih mora u Europi, a to dokazuje istraživanje provedeno od strane Europske komisije i Europske agencije za okoliš. Naime, 94.2 % uzoraka uzetih diljem Jadranske obale (preko 20 000 lokacija), pokazalo je izvanredne rezultate, vezane uz kakvoću vode [112]. Visoka čistoća Jadranskog mora u području Visa ne zahtjeva specifične postupke predobrade, s obzirom da onečišćujuće tvari prisutne u morskoj vodi ne predstavljaju velike probleme te ih je lako ukloniti. Doduše, onečišćenja koja mogu biti prisutna uglavnom vežemo uz turizam i nautičke djelatnosti.

Povećanje turističkih posjeta rezultira povećanim neodgovornim odlaganjem otpada na plažama i u morskoj vodi [113]. U Tablici 14. prikazana je zastupljenost pojedinih vrsta otpada u morskim lukama diljem Jadranske obale.

Tablica 14. *Zastupljenost pojedinih vrsta otpada u morskim lukama diljem Jadranske obale* [113].

Vrsta otpada	**Zastupljenost onečišćenja (%)**
hrana	38
ambalaža	17
plastika	16
aluminij	16
staklo/metal	13

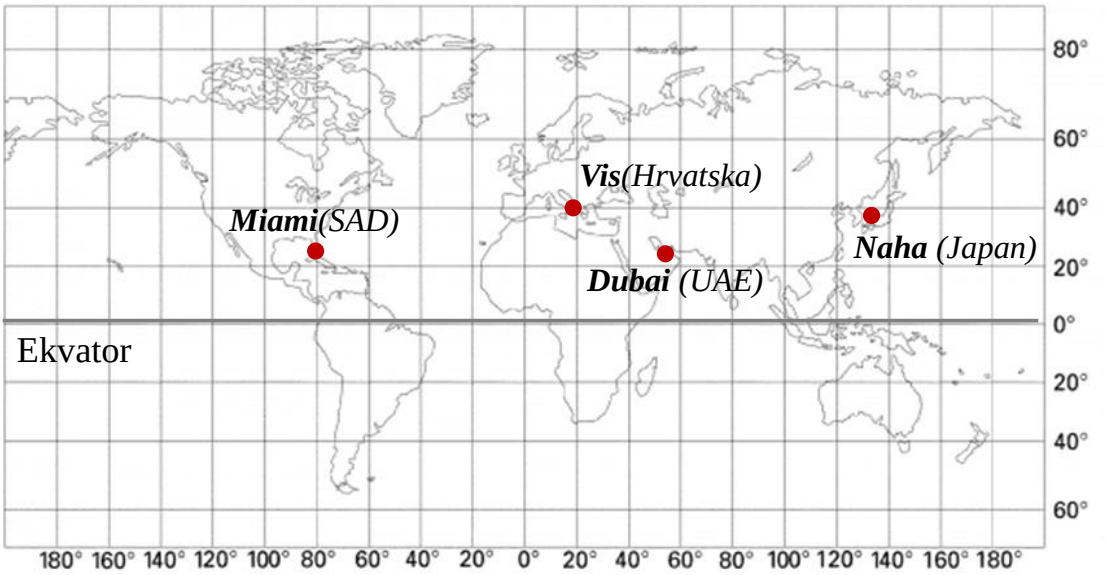
Ovakva onečišćenja, iako u većim količinama mogu narušiti kvalitetu morske vode, ne predstavljaju veliki problem, no mogu prouzrokovati začepljenja i oštećenja opreme. Stoga, bitno je provesti odgovarajuću predobradu u vidu mehaničke obrade (opisana u poglavlju 2.4.2.), kako bi se izbjegli navedeni problemi. Nadalje, s obzirom na učestalu plovidbu i nautičke djelatnosti, mogu se očekivati i povećane koncentracije ugljikovodika u lukama (iako ne doseže vrijednosti kao primjerice u Perzijskom zaljevu koji je konstantno izložen eksploataciji nafte). Prisutni ugljikovidici (ukoliko se utvrde analizom morske vode) vrlo lako se uklone postupcima navedenim u poglavlju 2.5.2..

Također, nemoguće je isključiti i nesreće poput slučajnog izljevanja onečišćenih voda u morsku vodu. Jedan takav slučaj zabilježen je 2016. godine, kada je zbog kvara došlo do prelijevanja kanalizacije iz crpne stanice Lapad u more [114]. Iako su ovakve nesreće rijetke, one mogu itekako prouzročiti ozbiljne posljedice po pitanju kvalitete morske vode, a postupci predobrade znatno ovise o sastavu otpadnih voda koje mogu dospjeti u morsku vodu.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

Za procjenu mogućnosti implementacije tehnologije *Seawater Steam Engine* (SSE) na proizvoljno odabranim lokacijama: Naha (Japan), Dubai (UAE), Miami (SAD) i Vis (Hrvatska), prikazanim na Slici 30. analizirat će se:

1) klimatološke karakteristike odabranih lokacija
2) specifična onečišćenja odabranih lokacija i postupci predobrade morske vode kao radnog fluida
3) mogućnost implementacije SSE tehnologije s obzirom na analizirane podatke



Slika 30. *Odabrane lokacije za analizu mogućnosti implementacije SSE tehnologije s obzirom na klimatološke parametre i onečišćenja.*

3.1. Klimatološke karakteristike odabranih lokacija

Klimatološke karakteristike za određene lokacije opisane u poglavlju 2.5.1. analizirat će se s obzirom geografski položaj i morfologiju koja uvjetuju specifična i raznolika klimatska obilježja. Budući da se u SSE tehnologiji predviđa korištenje Sunčeve energije kao obnovljivog izvora energije broj sunčanih dana u godini na odabranoj lokaciji važan je faktor za implementaciju navedene tehnologije i efikasnost sustava.

Također, analizirat će se i temperatura morske vode budući da ona može imati veliki utjecaj na određene fizikalno-kemijske procese. Osim navedenog, analizirat će se i prosječne količine oborina na odabranim lokacijama.

3.2. Specifična onečišćenja odabranih lokacija i postupci predobrade morske vode kao radnog fluida

Pored saznanja o karakteristikama morske vode na odabranim lokacijama, analizirati će se i specifična onečišćenja te učinkovitost metoda predobrade voda za odabrane lokacije. U poglavlju 2.5.2. opisana su specifična onečišćenja za odabrane lokacije, a koje mogu uzrokovati dodatne poteškoće u korištenju morske vode kao radnog fluida u SSE tehnologiji.

Također, kako bi se smanjio utjecaj specifičnih onečišćenja, ulaznu morsku vodu potrebno je obraditi postupcima predobrade opisanim u poglavlju 2.5.2..

3.3. Mogućnost implementacije SSE tehnologije s obzirom na analizirane podatke

S obzirom na gore navedene podatke analizirat će se mogućnost implementacije SSE tehnologije na odabranim lokacijama i definirati koje prednosti i nedostatke imaju odabrane lokacije za primjenu SSE tehnologije opisane u poglavlju 2.3.1..

4. REZULTATI I RASPRAVA

U ovom radu su za odabrane lokacije: Nahu (Japan), Dubai (UAE), Miami (SAD) i Vis (Hrvatska) analizirane klimatološke karakteristike te specifična onečišćenja morske vode na odabranim lokacijama kao i učinkoviti postupci za predobradu onečišćenih morskih voda, a koje bi se koristile kao radni fluid kod implementacije *Seawater Steam Engine* tehnologije.

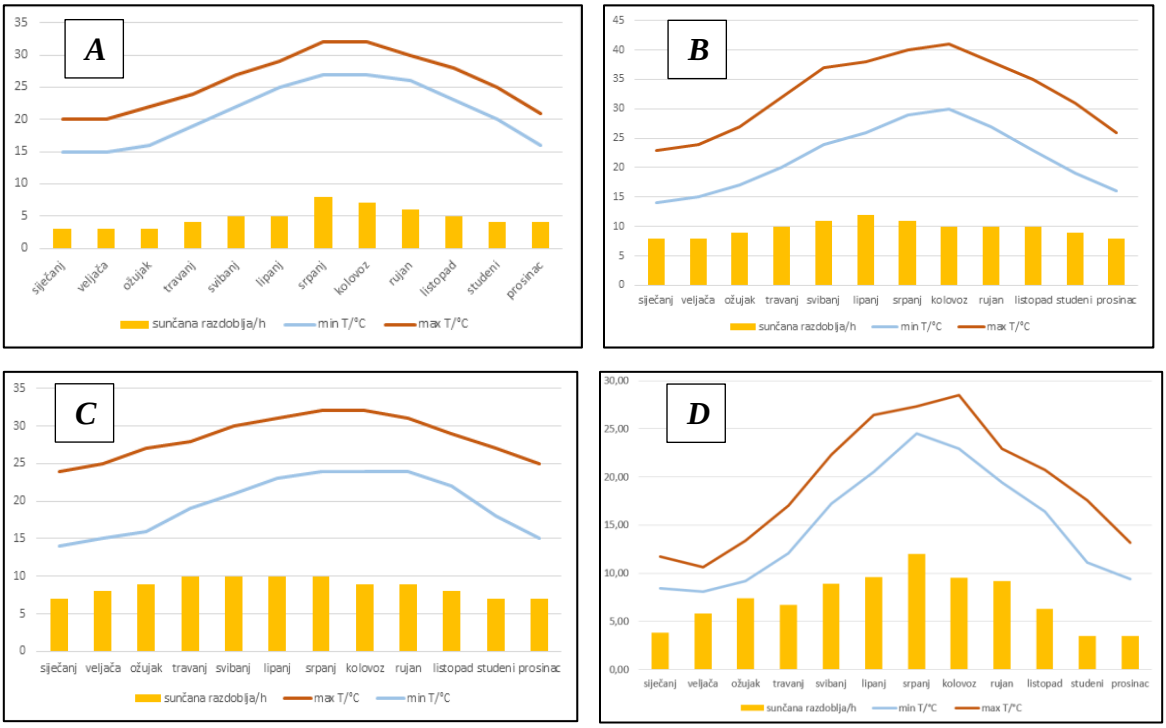
4.1. Analiza klimatoloških karakteristika odabranih lokacija

Na Slici 31. prikazan je prosječan broj sunčanih dana, minimalnih i maksimalnih temperatura, a u Tablici 15. prikazane su prosječne godišnje količine padalina za pojedine odabrane lokacije. U Tablici 16. prikazane su također i prosječne godišnje temperature morske vode za pojedine lokacije. Prema klimatološkim karakteristikama Naha pripada području suptropske klime, sa veoma blagim zimama te dugim, vlažnim i kišnim ljetima kao što je opisano u poglavlju 2.5.1.. Negativni klimatološki aspekt lokacije Nahe očituje se u manjem broju sunčanih dana. S obzirom da efikasnost paraboličnog kolektora direktno ovisi o količini solarne energije, nedostatak i rijetkost sunčanih razdoblja može biti ozbiljan problem.

Nadalje, Dubai pripada tropskoj pustinjskoj klimi, sa ekstremno vrućim i sparnim ljetima, kao što je opisano u poglavlju 2.5.1.. U usporedbi sa Nahom, Dubai karakteriziraju dulja sunčana razdoblja, s rijetkim padalinama. Ovakve klimatološke karakteristike su izrazito povoljne za implementaciju SSE tehnologije iz razloga što je moguće osigurati dovoljnu količinu solarne energije zbog sunčanih razdoblja koja su gotovo jednaka tokom cijele godine.

Miami pripada području tropske klime, sa vrućim i sparnim ljetima te kratkim i toplim zimama kao što je opisano u poglavlju 2.5.1.. Sunčana razdoblja uglavnom najviše prevladavaju ljeti, dok su zimi sunčana razdoblja kraća. S druge strane, padaline su obilnije ljeti te vrlo često u kratkom vremenskom periodu padne velika količina padalina. U usporedbi sa Dubaijem, iako Miami ima kraća sunčana razdoblja, moguća je dovoljna opskrba solarnom energijom tokom cijele godine (najviše ljeti), a padaline ne predstavljaju problem s obzirom da, iako jesu česte, ne traju dugo.

Otok Vis pripada mediteranskoj klimi, a karakteriziraju ga vruća ljeta i duga sunčana razdoblja kao što je opisano u poglavlju 2.5.1.. Vis kao najsunčaniji otok u Jadranskom moru, predstavlja povoljnu lokaciju za implementaciju SSE tehnologije, a u usporedbi sa ostalim lokacijama prosječne godišnje količine padaline su najmanje, što je samo još jedna od klimatoloških prednosti ove lokacije.



Slika 31. *Prosječan broj sunčanih dana, minimalnih i maksimalnih temperatura za odabrane lokacije: (A) Nahu (Japan), (B) Dubai (UAE), (C) Miami (SAD) i (D) Vis (Hrvatska)*

Tablica 15. *Prosječne godišnje količine padalina za odabrane lokacije: Nahu (Japan), Dubai (UAE), Miami (SAD) i Vis (Hrvatska).*

	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac
Naha (Japan)												
padaline (mm)	105	120	160	165	230	245	140	240	260	155	110	105
broj kišnih dana	13	12	14	12	13	12	10	14	12	10	10	10
Dubai (UAE)												
padaline (mm)	10	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20
broj kišnih dana	6	4	6	2	0	0	0	0	0	0	1	4
Miami (SAD)												
padaline (mm)	50	50	60	100	160	190	170	180	240	210	70	45
broj kišnih dana	5	5	5	6	8	11	14	13	15	12	7	6
Vis (Hrvatska)												
padaline (mm)	2.1	0.8	4.0	1.7	0.1	0.8	1.7	3.7	4.2	3.0	4.4	2.3

Tablica 16. *Prosječne godišnje temperature morske vode za odabrane lokacije: Nahu (Japan), Dubai (UAE), Miami (SAD) i Vis (Hrvatska).*

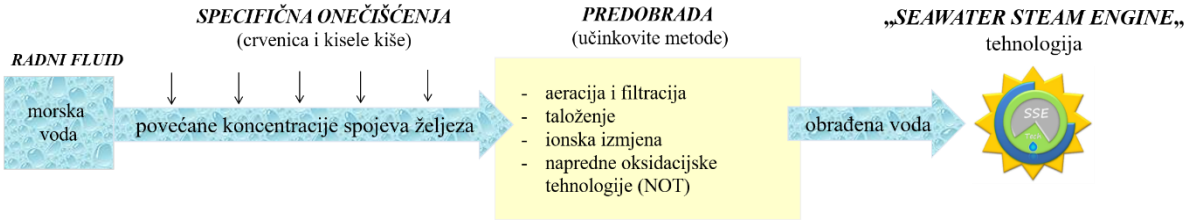
Naha (Japan)												
	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac
T (ºC)	23	22	22	24	25	27	29	29	28	27	25	24
Dubai (UAE)												
T (ºC)	21	21	22	25	28	31	32	33	32	30	27	23
Miami (SAD)												
T (ºC)	24	24	24	25	27	29	29	30	29	28	26	25
Vis (Hrvatska)												
T (ºC)	14	13.8	14.2	15.4	18.4	22.4	24.5	24.9	23.9	20.4	18.4	16.2

4.2. Analiza specifičnih onečišćenja i učinkovitost postupaka predobrade morske vode

S obzirom na prikupljene podatke vezane uz kvalitetu vode odabranih lokacija, analizirana je učinkovitost postupaka predobrade u svrhu uklanjanja specifičnih onečišćenja.

4.2.1. Naha (Japan)

Specifičnost onečišćenja na lokaciji Naha (Japan) odnosi se na povećane koncentracije željeza i željezovih spojeva zbog prisutnosti crvenice u morskoj vodi, kao i na onečišćenja koja su uzrokovana kiselim kišama, a koja bi utjecala na učinkovitost SSE tehnologije, kad bi se kao radni fluid koristila morska voda s tog područja.



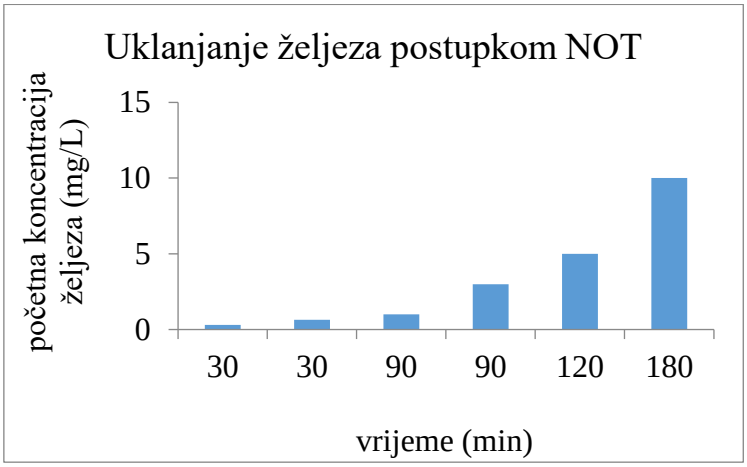
Slika 32. *Specifična onečišćenja za lokaciju Naha (Japan) i postupci predobrade onečišćene vode.*

Istraživanja su pokazala kako koncentracije Fe (II) iona i ukupnog željeza (Fe_{tot}) pokazuju znatno veće vrijednosti nego u ostalim područjima (58 % i 19 % više) [77]. Oksidacijom navedenih spojeva dolazi do nastanka željezovog hidroksida, koji se uklanja postupcima filtracije i taloženja. Međutim, s obzirom da je tkz. "red soil pollution" privremeno onečišćenje, potrebno je fokusirati se na prisutne koncentracije željeza koje nisu vremenski ovisne. Povećane koncentracije spojeva željeza (oksida, hidroksida i drugih oblika željeznih spojeva) uzrokovane su vrlo malim promjenama u okolišu (promjene pH vrijednosti, temperatura, koncentracija i dr.).

Sve navedene metode predobrade pokazuju veliku učinkovitost za uklanjanje željeza, ali poseban problem predstavlja željezni hidroksid koji je potrebno naknadno ukloniti. Postupak aeracije je efikasna i jednostavna metoda koja ne uzrokuje neugodne mirise (kao ostali oksidacijski procesi), no dulje provođenje procesa aeracije zahtjeva više energije (više troškova), a dodatak klora ili kalijevog permanganata (ukoliko se želi osigurati potpuna oksidacija) može samo dodatno onečistiti vodu. S druge strane, iako ionska izmjena također

pokazuje visoku učinkovitost, uporabom natrijevih spojeva (unutar medija) i natrijevog klorida za regeneraciju, posljedično se povećava koncentracija Na^+ iona, kao i kiselost vode. Također, potrebno je i učestalije čišćenje, što zahtjeva visoke operativne troškove. Od svih navedenih metoda predobrade najučinkovitija metoda za uklanjanje željeza je metoda naprednih oksidacijskih procesa, odnosno UV/H_2O_2 proces.

Primjenom metode naprednih oksidacijskih procesa opisane u poglavlju 2.4.2. učinkovitost uklanjanja povećanih koncentracija željeza u procesu predobrade morske vode ovisi o početnoj koncentraciji željeza, a sukladno tome i o vremenskom trajanja procesa. Što je dulje trajanje procesa efikasnost uklanjanja je veća kao što je prikazano na Slici 34.. Važni faktori koji utječu na uspješnost ovog procesa su početna koncentracija onečišćujuće tvari, koncentracija korištenog H_2O_2, pH, prisutnost bikarbonata i reakcijsko vrijeme [115].



Slika 33. *Uklanjanje željeza metodom naprednih oksidacijskih tehnologija* [115].

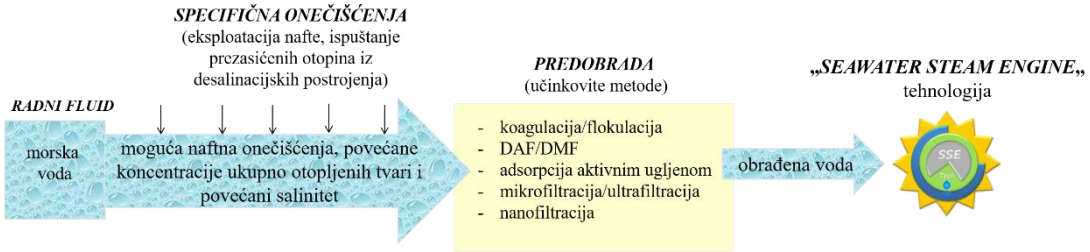
Istraživanje provedeno od strane Kumar et. al (2016.) pokazalo je da kod nižih početnih koncentracija željeza (0.3 mg/L i 0.65 mg/L), do smanjenja koncentracije željeza za više od 50 % dolazi nakon 30 minuta, dok za više koncentracije (10 mg/L) smanjenje koncentracije željeza od 50 - 70% dolazi nakon 180 minuta [115]. Općenito, UV/H_2O_2 proces ima znatno niže troškove nasuprot ostalih procesa, a izbjegnuta je i uporaba štetnih oksidansa.

Jedini nedostatak ovoga postupka je moguća inhibicija nastanka hidroksi radikala (kod velike tvrdoće vode odnosno prisutnosti visokih koncentracija HCO_3^- i CO_3^-). Ovakav scenarij je moguće očekivati s obzirom na učestale kisele kiše na području Nahe, a samim time i većom koncentracijom CO_2 u morskoj vodi.

Također, s obzirom na veće koncentracije Fe (II) iona, kao i prirodnog vodikovog peroksida u morskoj vodi, dolazi do bržeg nastanka hidroksi radikala. Ovakva oksidacijska moć omogućava prirodnu razgradnju mnogih onečišćujućih tvari porijeklom iz raznih poljoprivrednih zemljišta i otpada nastalog ljudskom aktivnošću [77].

4.2.2. Dubai (UAE)

Naftna onečišćenja, povećane koncentracije ukupno otopljenih tvari kao i posljedično povećani salinitet, direktno su povezani sa prethodno spomenutim ljudskim aktivnostima koje vežemo uz eksploataciju nafte i učestalog ispuštanja koncentrata (prezasićene slane vode) direktno u morsku vodu iz različitih desalinacijskih postrojenja na području Perzijskog zaljeva.



Slika 34. *Specifična onečišćenja za lokaciju Dubai (UAE) i postupci predobrade onečišćene vode.*

S obzirom na moguća naftna onečišćenja mogu se koristiti procesi predobrade kao što su koagulacija, flokulacija, napredne oksidacijske tehnologije (opisani u poglavlju 2.4.2.), te DAF, DMF i adsorpcija aktivnim ugljenom (opisani u poglavlju 2.5.2.).

Koagulacija i flokulacija kao jedne od najčešćih metoda prilikom obrade voda, za morsku vodu mogu biti poprilično otežane. Naime, zbog povećane koncentracije otopljenih iona (kao što su kalcij i magnezij), zeta-potencijal koloida je smanjen, a oni su uglavnom stabilizirani prisutnim organskim tvarima. Dodatak koagulansa mogao bi imati jako slab učinak [116]. Jian et al. (1999.) u sklopu istraživanja proveli su predobradu naftno onečišćene morske vode koagulacijom sa $FeCl_3$ i polialuminijskim kloridom (PAC) kao flokulantom. Rezultati su pokazali smanjenje sirove nafte u onečišćenoj vodi manje od 20 % za korištene tvari, što samo potvrđuje prethodno navedenu tvrdnju [117].

Teoretski, uporabom naprednih oksidacijskih tehnologija, prisutni OH radikali bi oksidirali prisutne organske tvari, čime bi kao produkti nastali CO_2 i voda. Međutim, prema istraživanju Jian et al. (1999.) napredni oksidacijski procesi nisu se pokazali efikasni u uklanjanju naftnog onečišćenja. Naime, uporabom UV/H_2O_2 procesa otprilike 26 % otopljenog organskog ugljika je uklonjeno, a 25 % mineralizirano u biorazgradive produkte,

dok je UV/O_3 procesom uspješno uklonjeno tek 23 % lož ulja, a tek 12 % sirove nafte je mineralizirano u biorazgradive produkte [117].

U usporedbi sa navedenim procesima, DAF proces omogućava efikasno smanjenje zamućenja vode, suspendiranih čvrstih tvari te posebice ugljikovodika [118]. Kim et al. (2011.) istražili su efikasnost DAF i DMF procesa kao postupaka predobrade morske vode. Rezultati su pokazali da je DAF procesom postignuto smanjenje zamućenja za 62 %, dok je DMF procesom postignuto 95 % - tno smanjenje. DAF procesom uspješno su uklonjene veće čestice, no proces nije bio zadovoljavajuć za manje čestice (2 – 4 μm), dok je s druge strane DMF proces postigao efikasnost uklanjanja od čak 90 % manjih čestica. Uklanjanje organskih tvari pokazalo se učinkovitim u oba procesa – za DAF 38 %, a za DMF 43 %. Iako se učinkovitost DAF procesa pokazala zadovoljavajućom po pitanju uklanjanja organskih tvari, s obzirom da ne zadovoljava ostale zahtjeve, njegova uporaba nebi bila efikasna, stoga DAF proces se ne može samostalno koristiti kao postupak predobrade s obzirom na veću učinkovitost DMF procesa [119].

Između ostalih fizikalnih postupaka obrade, jedna od najčešće korištenih metoda u obradi naftno onečišćenih voda jest adsorpcija aktivnim ugljenom. Prema istraživanju Roccaro et al. (2014.), adsorpcijom aktivnim ugljenom iz onečišćene slane vode uspješno su uklonjeni benzen i toluen. Međutim, relativno brzo zasićenje aktivnog ugljena zahtjeva učestalo odlaganje i zamjenu, što povećava troškove predobrade [120].

S obzirom da su koagulacija, flokulacija i napredne oksidacijske tehnologije nedovoljno učinkoviti u uklanjanju naftnih onečišćenja, a adsorpcija aktivnim ugljenom zahtjeva učestalo čišćenje i zamjenu, DAF i DMF procesi pokazali su se kao jedna od najboljih opcija. S obzirom na veliku učinkovitost oba procesa u uklanjanju organskih tvari, moguća je uporaba svakog procesa pojedinačno ili u kombinaciji sa prethodnom koagulacijom i flokulacijom kao što je opisano i prikazano u poglavlju 2.5.2.. No, usprkos svemu, potrebna je detaljnija analiza kvalitete vode (ovisno o lokaciji unutar Perzijskog zaljeva), kako bi se utvrdilo da li je predobrada ovakvog razmjera uopće potrebna, čime bi se znatno smanjili i troškovi cjelokupnog sustava.

Najčešći postupci predobrade morske vode su mikrofiltracija (MF) i ultrafiltracija (UF) (opisani u poglavlju 2.5.2.) kojima se smanjuje koncentracija ukupno otopljenih tvari. Istraživanja su pokazala smanjenje mutnoće vode uporabom navedenih procesa < 0.1 NTU, bez obzira na početne vrijednosti. Također, mnoga istraživanja su pokazala da se uporabom kombiniranog procesa MF/UF prije samog postupka desalinacija postiže još veća efikasnost u

uklanjanju onečišćujućih tvari i tvari koje bi mogle uzrokovati začepljenja i oštećenja u sustavu [121].

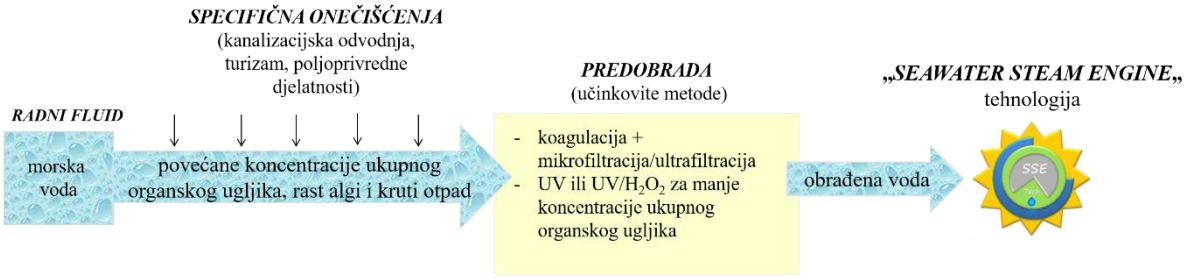
Povećane vrijednosti saliniteta u Perzijskom zaljevu još jedna je važna karakteristika koju je potrebno razmotriti prilikom predobrade morske vode. Kao jedna od najčešćih metoda predobrade jest nanofiltracija (opisana u poglavlju 2.5.2.).

Hilal et al. (2005.) ispitali su retencijsku sposobnost nanofiltracijskih membrana u obradi otopina visokih koncentracija soli (NaCl) od 5 000 do 25 000 ppm. Rezultati su pokazali izrazitu retenciju soli od 95 % sa početnom koncentracijom od 5 000 ppm i pri tlaku od 9 bara, te retenciju soli od 41 % sa početnom koncentracijom od 25 000 ppm pri istom tlaku [122].

Nadalje, Kaya et al. (2015.) ispitali su efikasnost dvije nanofiltracijske membrane (NF270 i NF90) korištene u postupcima predobrade prije provođenja postupka reverzne osmoze. NF90 membrana je pokazala veću efikasnost, a rezultati ispitivanja pokazali su smanjenje električne vodljivosti za 48 %, saliniteta 45 %, ukupno otopljenih tvari od 49 % te koncentracije natrijevih iona (Na^+) za 50 %, a koncentracije kloridnih iona (Cl^-) za 44 % [123].

4.2.3. Miami (SAD)

Specifična onečišćenja koja vežemo uz Miami, odnosno Biscayne Bay, uglavnom se odnose na onečišćujuće tvari porijeklom iz kanalizacijskih sustava odvodnje, industrije, turizma, te poljoprivrednih djelatnosti.



Slika 35. *Specifična onečišćenja za lokaciju Miami (SAD) i postupci predobrade onečišćene vode.*

U svrhu smanjenja koncentracija ukupnog organskog ugljika, razmotreni su procesi: ultraljubičasto (UV) zračenje i NOT (opisani u poglavlju 2.4.2.) te membranski procesi (opisani u poglavlju 2.5.2.).

Penru et al. (2013.) proveli su istraživanje u svrhu utvrđivanja efikasnosti UV dezinfekcije za uklanjanje određenih onečišćujućih tvari. Istraživanja su pokazala da minimalna doza UV zračenja ovisi o karakteristikama morske vode (prisutnim bakterijama, mutnoći, suspendiranim čvrstim tvarima, itd.). Upotreba UV zračenja pokazala je male promjene u kvaliteti morske vode, sa samo malim dijelom mineraliziranog ukupnog organskog ugljika (4.2 %) [124].

Nadalje, Penru et al. (2012.) ispitali su i učinkovitost UV/H_2O_2 procesa za uklanjanje organskih tvari iz morske vode. Nažalost, ti rezultati, iako malo efikasniji od UV-zračenja, nisu pokazali zadovoljavajuće vrijednosti (samo 10 % - tno smanjenje ukupnog organskog ugljika) [125].

Membranski procesi su moguća rješenja za smanjenje koncentracije ukupnog organskog ugljika, no poznato je da su mikrofiltracijske, ultrafiltracijske i nanofiltracijske membrane neučinkovite u uklanjanju navedenih tvari, s obzirom da su te tvari topljive u vodi i one slobodno prolaze kroz membrane. Kako bi se poboljšala učinkovitost membranskih procesa potrebna je prethodna koagulacija ili flokulacija koja bi smanjila topljivost organskih tvari.

S obzirom na široki spektar tvari koju ukupni organski ugljik predstavlja (anorganski i organski ugljici) te na raznolike izvore onečišćujućih tvari, nemoguće je odabrati samo jednu metodu predobrade koja bi učinkovito smanjila ukupnu koncentraciju organskog ugljika. Ukoliko bi se prilikom implementacije SSE tehnologije, koncentracije ukupnog organskog ugljika pokazale izrazito velike, tada bi bila potrebna detaljnija analiza kvalitete vode kako bi se utvrdilo koje su onečišćujuće tvari prisutne u najvećim koncentracijama, a koje bi mogle uzrokovati probleme u radu sustava.

S druge strane, ukoliko su prisutne male koncentracije ukupnog organskog ugljika (one koje nebi uzrokovale ozbiljnije probleme), moguće je primijeniti UV-zračenje ili UV/H_2O_2, primarno zbog nižih troškova u usporedbi sa membranskim procesima.

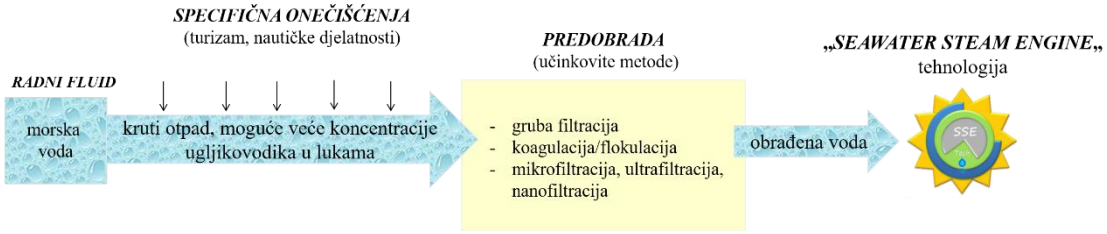
Nadalje, povećane koncentracije CHLA (*klorofila*), kao i smanjene koncentracije otopljenog kisika, direktno su povezane sa učestalim cvjetanjem algi unutar zaljeva. S obzirom da koncentracije CHLA ne uzrokuju ozbiljne posljedice po pitanju ekosustava morske vode, one mogu uzrokovati rast nepoželjnih mikroorganizama na stijenkama uređaja (kao što je opisano u poglavlju 2.5.2.). S obzirom da je na dubinama od 10 m ili dublje,

koncentracija CHLA znatno manja nego na površini, moguće je lako izbjeći ovaj problem tako da morska voda ulazi u sustav pri većim dubinama [109].

Iako smanjene koncentracije otopljenog kisika ne predstavljaju problem u smislu rada opreme, one su indikator nepovoljnih uvjeta za život organizama, a i prisutnosti drugih onečišćujućih tvari. Predobrada u svrhu povećanja koncentracije otopljenog kisika ne bi bila potrebna s obzirom da višak kisika ima korozivni učinak, što je nepoželjno za SSE sustav.

4.2.4. Vis (Hrvatska)

S obzirom na čistoću Jadranskog mora u području otoka Visa, nije potreban specifičan postupak predobrade u svrhu uklanjanja određene onečišćujuće tvari.



Slika 36. *Specifična onečišćenja za lokaciju Vis (Hrvatska) i postupci predobrade onečišćene vode.*

Onečišćenja kao posljedica turizma i nautičkih djelatnosti vrlo jednostavno se uklone postupcima predobrade u sklopu mehaničke obrade (opisane u poglavlju 2.4.2.). Iako je čistoća i kvaliteta morske vode zadovoljavajuća, moguće je dodatno unaprijediti učinkovitost postupaka predobrade kao što su koagulacija/flokulacija (opisana u poglavlju 2.4.2.), procesima mikrofiltracije, ultrafiltracije i nanofiltracije (opisani u poglavlju 2.5.2.). Ukoliko se provedu navedeni postupci, kvaliteta morske vode kao "feed" biti će i više nego zadovoljavajuća te neće prouzrokovati ozbiljnije probleme u sustavu, iako se samim time posljedično povećavaju i troškovi tehnologije.

4.3. Prednosti i nedostaci odabranih lokacija za implementaciju SSE tehnologije

U Tablici 17. navedeni su prednosti lokacije i nedostaci (mogući problemi) koji mogu nastati u postupcima predobrade morske vode kao radnog fluida, a koji bi imali utjecaj na implementaciju tehnologije *Seawater Steam Engine*.

Tablica 17. *Implementacija SSE tehnologije s obzirom na specifičnost lokacije.*

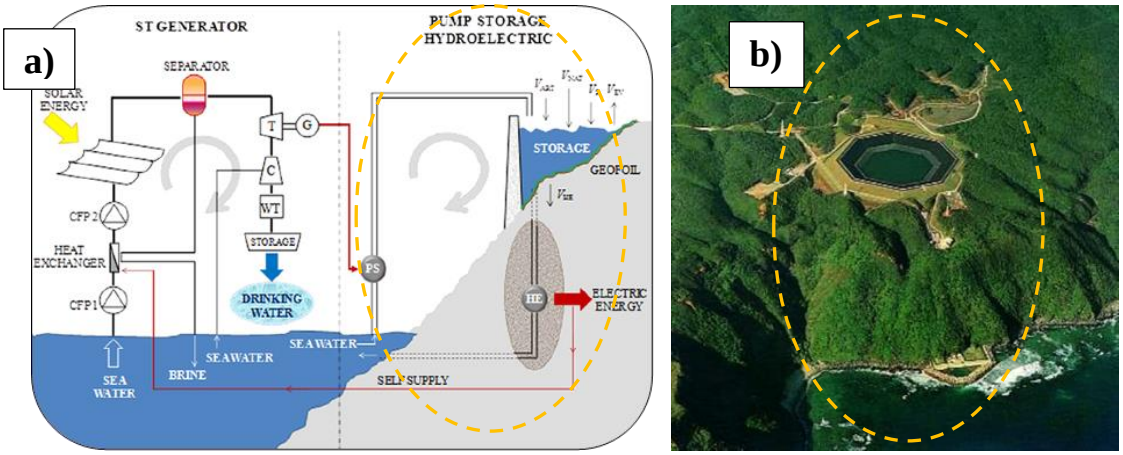
IMPLEMENTACIJA „SEAWATER STEAM ENGINE" (SSE) TEHNOLOGIJE (ovisno o specifičnostima lokacija)	
Lokacija: **Naha (Japan)**	
PREDNOSTI	- povoljna lokacija za gradnju sustava - ekonomski prihvatljiv projekt - lokalno inženjersko iskustvo i vještine - prihvatljiv salinitet morske vode
MOGUĆI PROBLEMI	- povećana koncentracija željeznih i aluminijevih oksida uslijed onečišćenja crvenicom - problem taloženja željezovog hidroksida
RJEŠENJA ZA MOGUĆE PROBLEME	- aeracija i filtracija - primjena naprednih oksidacijskih tehnologija (NOT)

Lokacija: **Dubai (UAE)**	
PREDNOSTI	- povoljna lokacija za gradnju sistema - izvanredne klimatološke karakteristike - dovoljan broj sunčanih dana tokom cijele godine - inženjersko iskustvo u desalinacijskim procesima - sklonost novim obnovljivim izvorima energije
MOGUĆI PROBLEMI	- moguće naftno onečišćenje - povećane koncentracije ukupno otopljenih tvari i povećani salinitet
RJEŠENJA ZA MOGUĆE PROBLEME	- postupci koagulacije/flokulacije, DAF i DMF procesi - adsorpcija aktivnim ugljenom - mikrofiltracija/ultrafiltracija - nanofiltracija

Lokacija: **Miami (SAD)**	
PREDNOSTI	- manji salinitet - povoljne klimatološke karakteristike - dovoljan broj sunčanih dana
MOGUĆI PROBLEMI	- onečišćujuće tvari u morskoj vodi porijeklom iz kanalizacijske odvodnje, poljoprivrednih i industrijskih djelatnosti - povećane koncentracije ukupnog organskog ugljika i rast algi
RJEŠENJA ZA MOGUĆE PROBLEME	- koagulacija/flokulacija + mikrofiltracija/ultrafiltracija - UV ili UV/H_2O_2 za niže koncentracije ukupnog organskog ugljika

Lokacija: **Vis (Hrvatska)**	
PREDNOSTI	- povoljna lokacija za gradnju sistema - moguća opskrba energijom i pitkom vodom cijelog otoka - zadovoljavajuće klimatološke karakteristike - dovoljan broj sunčanih dana - izvanredna čistoća morske vode
MOGUĆI PROBLEMI	- prisutnost krutog otpada u morskoj vodi - moguće prisustvo ugljikovodika u lukama
RJEŠENJA ZA MOGUĆE PROBLEME	- mehanička obrada - koagulacija/flokulacija - mikrofiltracija, ultrafiltracija, nanofiltracija

Odabrana lokacija na otoku Okinawa zanimljiva je iz razloga jer je 1991. izgrađeno prvo postrojenje za proizvodnju električne energije iz morske vode (*Pump Storage Hydroelectric – PSH*). Glavni rezervoar nalazio se u selu Kunigami, otprilike 600 m od obale te na 150 m nadmorske visine (Slika 37.). Međutim, prema zadnjim informacijama, 2016. godine postrojenje je stavljeno izvan pogona [126], ali što ne znači da se ne može vrlo lako ponovo staviti u funkciju te povezati sa SSE tehnologijom.



Slika 37. *a) Seawater Steam Engine tehnologija, b) PSH postrojenje na otoku Okinawi* [127].

4.4. Prihvatljivost implementacije SSE tehnologije na odabranim lokacijama s obzirom na sve analizirane karakteristike

Prihvatljivost moguće implementacije SSE tehnologije s obzirom na klimatološke karakteristike, specifična onečišćenja te učinkovitost predobrade morske vode kao radnog fluida prikazana je u Tablici 18.

Analiza klimatoloških karakteristika grada Nahe pokazala je da je odabrana lokacija djelomično povoljna za implementaciju SSE tehnologije, upravo zbog nedostatka direktnog solarnog zračenja. S druge strane, specifična onečišćenja karakteristična za ovo područje (onečišćenje crvenicom) ne predstavljaju znatan problem te se može lako ukloniti učinkovitim postupcima predobrade navedenim u poglavlju 4.2.1.. Prednost ove lokacije (otoka Okinawe) je u tome što se na njemu već nalazi reverzibilna elektrana na morsku vodu (prikazana na Slici 37b) koja bi mogla biti integrirana sa SSE tehnologijom.

Klimatološke karakteristike Dubaija povoljne su za implementaciju SSE tehnologije, jer omogućuju dovoljne količine solarne energije tokom cijele godine. Specifična onečišćenja karakteristična za ovo područje (naftna onečišćenja i povećani salinitet), iako mogu predstavljati problem, učinkovito se mogu riješiti postupcima predobrade opisanim u poglavlju 4.2.1.. Također Dubai se može smatrati povoljnom lokacijom za implementaciju SSE tehnologije i u odnosu na efikasno uklanjanje prisutnih specifičnih onečišćenja.

Miami, slično kao i Dubai, ima zadovoljavajuće klimatološke karakteristike u vidu opskrbe solarnom energijom. S obzirom na široki spektar onečišćujućih tvari karakterističnih za ovo područje, a što iziskuje upotrebu različitih metoda predobrade (time i veće troškove) Miami, kao odabrana lokacija samo je djelomično prihvatljiva za implementaciju SSE tehnologije. Uzimajući u obzir činjenicu da Biscayne zaljev ne zadovoljava zahtjeve ove

tehnologije, potrebno je odabrati neku drugu lokaciju npr. Miami Beach koji se nalazi na otvorenom oceanu (manja koncentracija onečišćujućih tvari u morskoj vodi). Međutim, s obzirom na sve učestalije pojave katastrofalnih uragana implementacija SSE tehnologije zahtjeva ipak neko zaštičenije mjesto od otvorenog oceana ili mora.

Otok Vis, od svih odabranih lokacija, zadovoljava sve analizirane karakteristike. Povoljni klimatski uvjeti, nedostatak onečišćujućih tvari, a prema tome i manja potreba za predobradom čini otok Vis idealnom lokacijom za implementaciju SSE tehnologije.

Tablica 18: *Prihvatljivost implementacija SSE tehnologije s obzirom na klimatološke karakteristike, specifična onečišćenja te učinkovitost predobrade morske vode kao radnog fluida.*

Implementacija „*Seawater Steam Engine*“ tehnologije			
Lokacija	Obzirom na klimatološke karakteristike	Obzirom na moguća specifična onečišćenja	Obzirom na učinkovitost predobrade morske vode kao radnog fluida
Naha (Japan)		✓	✓
Dubai (UAE)	✓	✓	✓
Miami (SAD)	✓		
Vis (Hrvatska)	✓	✓	✓

5. ZAKLJUČAK

Na temelju analiziranih klimatoloških karakteristika, specifičnih onečišćenja i učinkovitosti predobrade morske vode odabranih lokacija: Naha (Japan), Dubai (UAE), Miami (SAD) i Vis (Hrvatska) utvrđena je potpuna ili djelomična prihvatljivost implementacije SSE tehnologije.

Na temelju analize klimatoloških karakteristika, Dubai, Miami i Vis, kao odabrane lokacije, pokazale su se jednako pogodne za implementaciju SSE tehnologije s obzirom na dovoljne količine solarne energije tokom cijele godine, pri čemu je lokacija u Dubaiju procijenjena kao najpovoljnija. S druge strane, zbog nedostatka solarnog zračenja (veliki udio difuzne komponente solarnog zračenja koja iznosi čak 58% od globalnog solarnog zračenja) lokacija Nahe djelomično je povoljna za implementaciju SSE tehnologije.

Iz provedene analize zaključeno je da specifična onečišćenja i mogućnosti njihova uklanjanja mogu biti bitan faktor za implementaciju SSE tehnologije. Procijenjeno je da specifična onečišćenja na područja Nahe i Visa ne bi trebala uzrokovati ozbiljnije probleme u radu implementiranog sustava, a detektirana onečišćenja mogu se lako ukloniti postupcima prethodne obrade. S druge strane, onečišćujuće tvari unutar Perzijskog zaljeva (UAE) zahtijevaju intezivnije postupke predobrade, kao i one u zaljevu Biscayne (Miami, SAD).

S obzirom na širi spektar onečišćujućih tvari na području Miamija, u usporedbi sa Dubaijem, lokacija u Miamiju se smatra djelomično prihvatljivom za implementaciju SSE tehnologije.

Od svih proizvoljno odabranih lokacija otok Vis zadovoljava sve zahtjeve koji se postavljaju za implementaciju SSE tehnologije. Povoljne klimatološke karakteristike, male količine (koncentracije) specifičnih onečišćenja i učinkoviti postupci predobrade morske vode, lokacija Vis može se smatrati potpuno prihvatljivom za implementaciju SSE tehnologije.

Cilj ovog rada nije bio odabrati samo prihvatljive lokacije, nego i neke lokacije koje imaju specifične karakteristike, bez obzira da li se one odnose na klimatološke karakteristike ili specifična onečišćenja, kako bi se procijenila mogućnost implementacije SSE tehnologije.

6. LITERATURA

[1] F. Tarras, M. Benjelloun; The effects of water shortages on health and human development, Perspectives in Public Health, 132 (5): 240-244 (2012)

[2] S. Islam, L. Susskind; Understanding the water crisis in Africa and the Middle East: How can science inform policy and practice?, Bulletin of the Atomic Scientists, 71 (2): 39-49 (2015)

[3] K. Margeta, Z. Glasnović; Seawater Steam Engine – The most powerful technology for building sustainable communities and stopping the climate change, II International Energy & Environmental Summit – 2017, Dubai, UAE, 18-20.11.2017.

[4] T. Jefferson; VI. Affidavit of the Secretary of State on the Result of the Experiments, Philadelphia (1791)

[5] S. A. Kalogirou; Seawater desalination using renewable energy sources, Progress in Energy and Combustion Science, 31 (3): 242-281 (2005)

[6] Z. Glasnovic, K. Margeta, K. Premec; Could Key Engine, as a new open-source for RES technology development, start the third industrial revolution?, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57: 1194-1209 (2016)

[7] Z. Glasnovic, K. Margeta; Seawater Steam Engine as a prime mover for third industrial revolution, LAP Lambert Academic Publishing (2017)

[8] https://www.freedrinkingwater.com/resource-history-of-clean-drinking-water.htm (pristup 23.6.2018)

[9] https://www.lenntech.com/history-water-treatment.htm (pristup 23.6.2018)

[10] L. Mays; Ancient Water Technologies, Springer, Netherlands, 2010, str. 116-117

[11] J.C. Crittenden, R. Rhodes Trussell, D. W. Hand, K.J. Howe, G. Tchobanoglous; MWH's Water Treatment - Principles and Design, John Wiley & Sons, 2012, str. 4-6

[12] M. Kumar, T. Culp, Y. Shen; Water desalination: history, advances and challenges, Frontiers of Engineering, Reports on Leading-Edge Engineering from the 2016 Symposium (2017)

[13] R. S. Silver; Multi-stage flash distillation. The first 10 years, Desalination, 9 (1): 3-17 (1971)

[14] R. Semiat; Multi-effect distillation (MED), Water and waste water treatment technologies, Encyclopedia of Life Support Systems

[15] M. Ibrahimi, Y. Aoura, A. Arbaoui; Economical and thermal study of a mechanical vapor compression desalination unit, 13ème Congrès de Mécanique (2017)

[16] W. E. Katz; The electrodialysis reversal (EDR) process, Desalination, 28 (1): 31-40 (1979)

[17] City of Cape Coral; 2012 Annual consumer report on the quality of tap water

[18] W. W. Boesch; World's first solar powered reverse osmosis desalination plant, Desalination, 41: 233-237 (1982)

[19] S. J. Modise, H. M. Krieg; Evaluation of nanofiltration for the treatment of rural groundwater for potable water use, Report to the Water Research Commission (2004)

[20] M. K. Souhaimi, T. Matsuura; Membrane Distillation 1st Edition, Elsevier, 2011, str. 5-9

[21] G. Chao, Y. Shuili, S. Yufei, G. Zhengyang, Y. Wangzhen, R. Liumo; A review of ultrafiltration and forward osmosis: application and modification, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 128 (2018)

[22] http://dardel.info/IX/other_info/history.html (pristup 5.8.2018)

[23] Z. Lu, L. Xu; Freezing desalination process, Thermal desalination processes – Vol. II, Encyclopedia of Desalination and Water Resources

[24] K. Bourouni, R. Martin, L. Tadrist, M. T. Chaibi; Heat transfer and evaporation in geothermal desalination units, Applied Energy, 64 (1-4): 129-147 (1999)

[25] https://www.engineersaustralia.org.au/portal/news/worlds-first-wave-powered-desalination-plant-now-operational-perth (pristup 5.8.2018)

[26] M. B. Amara, I. Houcine, A. Guizani, M. Maalej; Experimental study of a multiple-effect humidification solar desalination technique, Desalination, 170: 209-221 (2004)

[27] https://seawatergreenhouse.com (pristup 5.8.2018)

[28] H. M. Qiblawey, F. Banat; Solar thermal desalination technologies, Desalination, 220 (1-3): 633-644 (2008)

[29] https://tatacenter.mit.edu/portfolio/photovoltaic-powered-village-scale-electrodialysis-desalination-systems/ (pristup 5.8.2018)

[30] https://www.energy.gov/eere/solar/solar-desalination (pristup 5.8.2018)

[31] P. R. Pinet; Invitation to Oceanography, Jones & Bartlett Publishers, 2011, str. 94-95

[32] http://gotbooks.miracosta.edu/earth_science/chapter12.html (pristup 5.8.2018)

[33] J. W. Murray; Properties of Water and Seawater (Chapter 3), 2004, str. 9

[34] https://stemsoup.wordpress.com/2011/01/27/electrical-conductivity-and-water-purity/ (pristup 5.8.2018)

[35] J. M. Wright, A. Colling, G. Bearman; Sewater: its Composition, Properties and Behaviour (Second Edition), Butterworth Heinemann, Oxford, 1995., str. 14-15, 17, 29, 31-32,

[36] P. Castro, M. Huber; Marine Biology, Fourth Edition, The McGraw-Hill Companies, 2003, str 47-48

[37] https://saltlakemetals.com/solubilityproducts/ (pristup 20.8.2018)

[38] http://skola.gfz.hr/ (pristup 20.8.2018)

[39] http://www.premierwatermn.com/water-quality/water-contaminants/total-dissolved-solids/ (pristup 20.8.2018)

[40] K. A. Chandler; Marine and Offshore Corrosion: Marine Engineering Series, Elsevier, 2014, str. 38-39

[41] Maney Publication; Illustrated Case Histories of Marine Corrosion, CRC Press, 1991, str. 27

[42] https://www.gunt.de/en/ (pristup 21.8.2018)

[43] J. Rubio, E. Carissimi, J.J. Rosa; Flotation in water and wastewater treatment and reuse: recent trends in Brazil, International Journal of Environment and Pollution, 30 (2): 193-207 (2007)

[44] H.H. Hahn, R. Klute; Pretreatment in chemical water and wastewater treatment, Springer-Verlag, Gothenburg, 1988, str. 3-4

[45] http://www.bluewaterbio.com/filterclear/ (pristup 23.8.2018)

[46] https://puretecwater.com (pristup 23.8.2018)

[47] V.K. Gupta, I. Ali, T.A. Saleh, A. Nayak, S. Agarwal; Chemical treatment technologies for waste-water recycling – an overview, RSC Advances, 2: 6380-6388 (2012)

[48] T. E. Engelhardt; Coagulation, flocculation and clarification of drinking water, Hach Company

[49] S. Sharma, J.P. Ruparelia, M. Patel; A general review on Advanced Oxidation Processes for waste water treatment, International conference on current trends in technology (2011)

[50] Y. Deng, R. Zhao; Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment, Current Pollution Reports, 1: 167-176 (2015)

[51] https://wrrc.umass.edu/research/projects/acid-rain-monitoring-project/analysis-method-ph-and-alkalinity (pristup 12.9.2018)

[52] A. Mittal; Biological Wastewater Treatment, Water Today, 2011

[53] The World Chlorine Council (WCC), Drinking water chlorination, World Chlorine Council position paper (2008)

[54] http://www.waterspoutt.eu/what-we-do/the-technology (pristup 24.8.2018)

[55] Agriculture and Agri-Food Canada; Ultraviolet disinfection of private water supplies for household or agricultural uses (2008)

[56] https://www.lenntech.com/applications/process/boiler/boiler-feedwater-characteristics.htm (pristup 24.8.2018)

[57] C. Ferreira-Pêgo, N. Babio, F. M. Eyzaguirre, I. V. Miñana; Water mineralization and its importance for health, Alimentacion, Nutricion y Salud, 23 (1): 4–18 (2016)

[58] F. Kozisek, Health risks from drinking demineralised water, National Institute of Public Health, Czech Republic

[59] https://www.aquatell.ca/blogs/aquatell/remineralizing-reverse-osmosis-systems (pristup 24.8.2018)

[60] I.S. Al-Mutaz, M. A. Al-Ghunaim; pH control in water treatment plant by the addition of carbon dioxide, The Ida World Congress on desalination and water reuse, Bahrain (2001)

[61] https://www.sswm.info/node/8295 (pristup 25.8.2018)

[62] C. Solomon, P. Casey, C. Mackne, A. Lake; Ozone disinfection, National Small Flows Clearinghouse (1998)

[63] H.F. Pollick; Water fluoridation and the environment, International Journal of Occupational and Environmental Health, 10: 343-350 (2004)

[64] https://www.britannica.com/place/Okinawa-prefecture-Japan#ref16114(pristup 25.8.2018)

[65] https://okinawa-japan.com/naha-city/ (pristup 25.8.2018)

[66] Kazuhiko Sakai, Okinawa Island, str. 182,184

[67] https://www.climatestotravel.com/climate/japan/okinawa (pristup 25.8.2018)

[68] https://www.dubai.com/v/geography/ (pristup 25.8.2018)

[69] M. L. Stephenson; Tourism, development and 'destination Dubai': cultural diemmas and future challenges, Current Issues in Tourism, Routledge, 17 (8): 723-738 (2014)

[70] E.K. Paleologos, M.T. Al Nahyan, S. Farouk; Risks and threats of desalination in the Arabian Gulf, Conference paper (2018)

[71] https://www.holiday-weather.com/dubai (pristup 26.8.2018)

[72] https://www.encyclopedia.com/places/united-states-and-canada/us-political-geography/miami (pristup 26.8.2018)

[73] V.G. Caccia, J.N. Boyer; Spatial patterning of water quality in Biscayne Bay, Florida as a function of land use and water management, Marine Pollution Bulletin, 50: 1416-1429 (2005)

[74] https://www.climatestotravel.com/climate/united-states/miami (pristup 26.8.2018)

[75] http://www.enciklopedija.hr (pristup 26.8.2018)

[76] https://www.visinfo.org/island-vis/climate.htm (pristup 26.8.2018)

[77] T. Arakaki, H. Fujimura, A.M. Hamdun, K. Okada, H. Kondo, T. Oomori, A. Tanahara, H. Taira; Simultaneous measurement of hydrogen peroxide and Fe species (Fe(II) and $Fe_{(tot)}$) in Okinawa island seawater: Impacts of red soil pollution, Journal of Oceanography, 61: 561-568 (2005)

[78] https://www.oist.jp/news-center/news/2017/1/27/surf-and-turf-how-land-use-okinawa-affects-ocean (pristup 27.8.2018)

[79] K. Teunissen, A. Abrahamse, H. Leijssen, L. Rietveld, H. Van Dijk; Removal of both dissolved and particulate iron from groundwater, Drinking Water Engineering and Science Discussions, 1: 87-115 (2008)

[80] D. Ghernaout, A. I. Al-Ghonamy, A. Boucherit, B. Ghernaout, M. W. Naceur, N. A. Messaoudene, M. Aichouni, A. A. Mahjoubi, N. A. Elboughdiri; Brownian motion and coagulation process, American Journal of Environmental Protection, 4 (1-5): 1-15 (2015)

[81] https://www.suezwatertechnologies.com/handbook/ext_treatment/ch_4_aeration.jsp (pristup 27.8.2018)

[82] http://www.purewateroccasional.net/hwaerationtank.html (pristup 27.8.2018)

[83] M. Keller; Iron removal by ion exchange: standing on solid ground, Water Conditioning & Purification (2004)

[84] H. Sakihama, M. Ishiki, A. Tokuyama; Chemical characteristics of precipitation in Okinawa Island, Japan, Atmospheric Environment, Elsevier, 42: 2320-2335 (2008)

[85] S. C. Doney, V. J. Fabry, R. A. Feely, J. A. Kleypas; Ocean acidification: The other CO_2 problem, Annual Review of Marine Science, 1: 169-192 (2009)

[86] N. Issa, S. Vempatti; Oil spills in the Arabian Gulf: A case study and environmental review, Environment and Natural Resources Research, vol. 8, no. 2 (2018)

[87] http://www.maritimeherald.com/2018/satellite-monitoring-confirmed-serious-pollution-persian-gulf/ (pristup 2.9.2018)

[88] http://www.scanex.ru/en/company/news/satellite-monitoring-of-oil-pollution-in-the-persian-gulf/ (pristup 2.9.2018)

[89] R.A.I. Bashitialshaaer, K.M. Persson, M. Aljaradin; Estimated future salinity in the Arabian gulf, the Mediterranean sea and the Red sea consequences of brine discharge from desalination, International Journal of Academic Research, vol.3, no.1. (2011)

[90] J. Haarhoff, J. K. Edzwald; Adapting dissolved air flotation for the clarification of seawater, Desalination, 311: 90-94 (2013)

[91] S.T. Mitrouli, A. J. Karabelas, S. G. Yiantsios, P. A. Kjølseth; New granular materials for dual-media filtration of seawater: Pilot testing, Separation and Purificiation Technology, 65: 147-155 (2009)

[92] S. Hatten; Introduction to the mini-pilot treatment system CEEN 572 Environmental engineering pilot plant laboratory, Presentation

[93] https://iaspub.epa.gov (pristup 8.9.2018)

[94] http://www.sedifilt.com (pristup 8.9.2018)

[95] M.A. Dawoud, M. Al Mulla; Environmental impacts of seawater desalination: Arabian Gulf Case Study, International Journal of Environment and Sustainability, 1 (3): 22-37 (2012)

[96] A. Falah, R. El Khatib, N. Yahfoufi; Water quality survey of Arabian peninsula in regions of Dubai in the United Arab Emirates, Chemical Engineering & Technology, Canadian Journal, vol. 3, no. 1 (2012)

[97] R. Smith, A. Purnama, H.H. Al-Barwani; Sensitivity of hypersaline Arabian Gulf to seawater desalination plants, Applied Mathematical Modelling, 31: 2347-2354 (2007)

[98] SAMCO Technologies, The essential guide to microfiltration and ultrafiltration membrane systems

[99] T. Bora, J. Dutta; Application of nanotechnology in wastewater treatment – a review, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 14: 613-626 (2014)

[100] A. Orecki, M. Tomaszewska, K. Karakulski, A. W. Morawski, Surface water treatment by the nanofiltration method, Desalination, 162: 47-54 (2004)

[101] https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2017/1/23/ultrafiltrationnanoandro(pristup 8.9.2018)

[102] https://www.national-park.com/welcome-to-biscayne-national-park/#his(pristup 8.9.2018)

[103] V. G. Caccia, J. N. Boyer; A nutrient loading budget for Biscayne Bay, Florida, Marine Pollution Bulletin, 54: 994-1008 (2007)

[104] http://yachtchartersofmiami.com/46-skater-speed-boat/attachment/overview-of-miami-beach-and-biscayne-bay/ (pristup 9.9.2018)

[105] D. W. Hendricks, Water treatment unit processes: physical and chemical, CRC Press, Boca Raton, 2007, str. 44-62

[106] D. Lirman, W. P. Cropper; The influence of salinity on seagrass growth, survivorship and distribution within Biscayne Bay, Florida: field, experimental, and modeling studies, Estuaries, 26 (1): 131-141

[107] https://www.water-research.net/index.php/ecosystem-and-lake-productivity-chlorophyll-analysis (pristup 10.9.2018)

[108] https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-chlorophyll (pristup 10.9.2018)

[109] N. Voutchkov; Considerations for selection of seawater filtration pretreatment system, Desalination, 261: 354-364 (2010)

[110] http://www.watertreatmentguide.com/ultraviolet_systems1.htm (pristup 12.9.2018)

[111] https://www.adriatic.hr/hr/vodic/dalmacija-otok-vis/ri-11 (pristup 10.9.2018)

[112] http://www.croatia-times.com/like-croatia/adriatic-sea-among-cleanest-europe/ (pristup 10.9.2018)

[113] M.A. Andrés, E. Madariaga, O. Delgado, J. E. Martinez; Marine pollution in the nautical seaports in Croatia by the effluent of tourists, European Transport, 64 (3): 1825-3997 (2017)

[114] http://www.zzjzdnz.hr/hr/home/obavijesti/1024 (pristup 10.9.2018)

[115] L. A. Kumar, V. Meera; Advanced oxidation process (AOP) for removing high concentration of iron in drinking water sources, International Conferences on Sustainable Design, Engineering and Construction – SDEC 2016

[116] R. Huehmer, L. Henthorne; Advances in reverse osmosis pretreatment technologies (2006)

[117] W. Jian, A. Kitanaka, W. Nishijima, A. U. Baes, M. Okada; Removal of oil pollutants in seawater as pretreatment of reverse osmosis desalination process, Water Research, 33 (8): 1857-1863 (1999)

[118] V. Bonnelye, M. A. Sanz, J. P. Durand, L. Plasse, F. Gueguen, P. Mazounie; Reverse osmosis on open intake seawater: pre-treatment strategy, Desalination, 167: 191-200 (2004)

[119] S.H. Kim, C.S. Min, S. Lee; Application of dissolved air flotation as pretreatment of seawater desalination, Desalination and Water Treatment, 33: 261 – 266 (2011)

[120] P. Roccaro, G. Lombardo, F. G. A. Vagliasindi; Offline bioregeneration of spent activated carbon loaded with real produced water and its adsorption capacity for benzene and toluene, Desalination and Water Treatment, 55: 756-766 (2015)

[121] S. Ebrahim, S. Bou-Hamed, M. Abdel-Jawad, N. Burney, Microfiltration system as a pretreatment for RO units: technical and economic assessment, Desalination, 109: 165-175 (1997)

[122] N. Hilal, H. Al-Zoubi, A. W. Mohammad, N. A. Darwish, Nanofiltration of highly concentrated salt solution up to seawater salinity, Desalination, 184: 315-326 (2005)

[123] C. Kaya, G. Sert, N. Kabay, M. Arda, M. Yüksel, O. Egemen; Pre-treatment with nanofiltration (NF) in seawater desalination – preliminary integrated membrane tests in Urla, Turkey, Desalination, 369: 10-17 (2015)

[124] Y. Penru, A. R. Guastalli, S. Esplugas, S. Baig; Disinfection of seawater: application of UV and ozone, Ozone: Science & Engineering, 35: 63-70 (2013)

[125] Y. Penru, A. R. Guastalli, S. Esplugas, S. Baig; Application of UV and UV/H_2O_2 to seawater: disinfection and natural organic matter removal, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 233: 40-45 (2012)

[126] IEA Hydropower Implementing Agreement Annexx VIII, Case study 01-01: Biological Diversity – Okinawa Seawater Pumped Storage Power Plant, Japan

[127] https://www.theguardian.com/australia-news/2017/mar/17/seawater-could-provide-the-solution-to-south-australias-power-woes (pristup 12.9.2018)

ŽIVOTOPIS

[redacted] Završila je OŠ Horvati u Zagrebu. Nakon završene osnovne škole upisala je Gornjogradsku gimnaziju, maturirala 2012. godine, te iste upisala Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, studij Ekoinženjerstvo. 2016. godine steknula je akademski naziv bakalaureus ekoinženjerstva, a iste godine upisuje sveučilišni diplomski studij.

Godine 2018., zajedno sa studenticama Ivanom Peran i Kristinom Azinović, sudjeluje na Stručnom skupu studenata 9. Zagrebačkog energetskog tjedna sa studentskim projektom/istraživanjem: ‘’*Naše rješenje i vizija održivosti: Seawater Steam Engine*’’, na kojem je sudjelovalo 7 sastavnica Sveučilišta u Zagrebu iz tehničkog područja, s ukupno 15 studentskih izlaganja te zajedno sa studenticama dobiva *Priznanje za 1. mjesto u kategoriji Najboljeg studentskog projekta.*