Tehnologija desalinacije korištenjem solarne i vjetro energije

Filipović, Ivona

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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:149:490092

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Ivona Filipović

TEHNOLOGIJA DESALINACIJE KORIŠTENJEM SOLARNE I VJETRO ENERGIJE

WATER DESALINATION TECHNOLOGY USING SOLAR AND WIND ENERGY

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Glasnović

Članovi ispitnog povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Glasnović

Izv. prof. dr. sc. Juraj Šipušić

Izv. prof. dr. sc. Igor Sutlović

Zagreb, rujan 2015.

SAŽETAK

Povećani utrošak energije za pretvorbu onečišćenih voda u vodu upotrebljivu za piće i industrijske poslove kao posljedicu ima stalno poskupljivanje pitke vode. Tehnologija desalinacije ima veliki prostor za razvoj u moderno doba te postaje jedna od važnijih načina dobivanja vode za piće i poljoprivredu u nekim regijama svijeta. Glavni izvori koji se koriste za proces desalinacije jesu morska voda, slane podzemne vode, rijeke te slana jezera, a osnovni načini dobivanja pitke vode jesu: (1) termalni i (2) membranski procesi. Radom su prikazane tehnologije desalinacije korištenjem solarne i vjetro energije. Dane su metode višestupnjevite flash destilacije (MSF), višestruke destilacije (MED), mehaničke kompresije pare (MVC) i reverzne osmoze (RO). Za odabir najpovoljnijeg procesa desalinacije koja koristi obnovljive izvore energije treba uzeti u obzir niz faktora kao što su: potrebna količina vode, salinitet pojne vode, udaljenost, lokalna klima, vodni resursi, potrošnja, tip i potencijal lokalnog obnovljivog izvora energije. Procjena najpovoljnije metode ovisiti će o ukupnim troškovima za sustav (fotonaponski sustav i metoda desalinacije). Primjena navedenih tehnologija desalinacije korištenjem solarnog zračenja dana je za slučaj otoka Visa. Dobiveni rezultati pokazuju da je metoda višestruke destilacije najpovoljnija jer su troškovi ulaganja u fotonaponske kolektore i desalinacijski sustav najmanji. Desalinacija oceanske vode učestala je na Bliskom Istoku, Karibima, u SAD-u, Sjevernoj Africi, Španjolskoj, Australiji i Kini. Prednost je velika dostupnost sirovine, a nedostatak cijena tako proizvedene vode u usporedbi s drugim izvorima slatke vode, jer zahtjeva veliki utrošak energije i skupu opremu.

Ključne riječi: pitka voda, tehnologija desalinacije, solarna energija, vjetro energija

SUMMARY

Increased energy consumption for conversion of polluted waters into the water usable for drinking and industrial applications results in a permanent increase of costs of drinking water. Desalination technology can develop more in the modern era and became one of the most important ways of getting water for drinking and agriculture in some regions of the world. The main sources used for the desalination process are sea water, saline groundwater, rivers and salt lakes, and the basic ways of getting potable water are: (1) thermal and (2) membrane processes. The paper presented desalination technologies using solar and wind energy. In paper are described methods as multi-stage flash distillation (MSF), multi-effect distillation (MED), mechanical vapor compression (MVC) and reverse osmosis (RO). To select the winning desalination process using renewable energy sources should take into account a number of factors such as: the required amount of water, the salinity of the water mains, distance, local climate, water resources, energy, type and potential of local renewable energy sources. Assessing the best method will depend on the total cost of the system (photovoltaic system + desalination method). The adoption of these desalination technologies using solar radiation is given to the case of the island Vis. The results show that the method of multi-effect distillation is the best because the costs of investment in photovoltaic panels and desalination system is the lowest. Desalination of ocean water is common in the Middle East, the Caribbean, the US, North Africa, Spain, Australia and China. The advantage is the availability of raw materials and disadvantage is price of the produced water, as compared with other sources of fresh water, as it requires a large expenditure of energy and expensive equipment.

Keywords: drinking water, desalination technologies, solar energy, wind energy

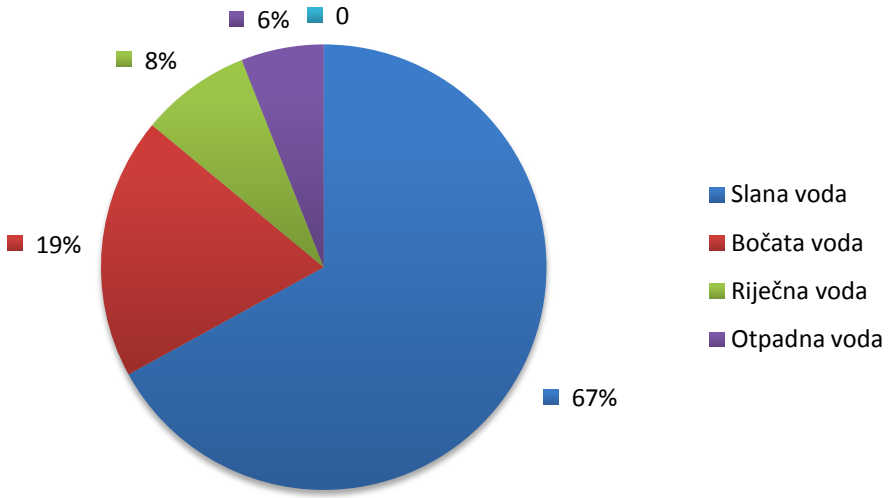
SADRŽAJ

1. UVOD.....5
2. OPĆI DIO.....9
2.1. Osnovne desalinacijske tehnologije.....9
2.1.1. Procesi promjene faza(termalni procesi).....10
2.1.1.1. Višestupnjevita flash destilacija.....10
2.1.1.2. Višestruka destilacija.....12
2.1.1.3. Kompresija pare.....12
2.1.2. Membranski procesi.....14
2.1.2.1.Reverzna osmoza.....14
2.1.2.2. Elektrodijaliza.....15
2.2. Sustavi desalinacije koji koriste solarnu i vjetro energiju.....17
2.2.1. Desalinacijski sustavi koji koriste solarnu energiju.....18
2.2.1.1. Desalinacijski sustavi koji koriste solarnu toplinsku energiju.....18
2.2.1.2. Desalinacija korištenjem solarnih fotonaponskih kolektora.....25
2.2.2. Tehnologija desalinacije korištenjem vjetra.....26
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....28
3.1. Problem vodoopskrbe otoka Visa i integralni pristup gospodarenja voda.....28
3.2. Ulazni podaci za otok Vis.....29
4. REZULTATI.....33
5. RASPRAVA.....38
6. ZAKLJUČAK.....39
7. POPIS SIMBOLA.....40
8. LITERATURA.....41
9. ŽIVOTOPIS.....42

1. UVOD

Odsoljavanje vode ili desalinacija je postupak uklanjanja minerala iz vode (obično morske vode) za dobivanje pitke vode, tehnološke vode ili vode za navodnjavanje te dobivanja soli kao dodatne tvari. Priobalna područja i otoci često imaju velike poteškoće s opskrbom pitke i tehnološke vode, te se zbog toga javljaju stalne ili povremene nestašice vode i sve posljedice koje iz toga proizlaze. Desalinacija oceanske vode učestala je na Bliskom Istoku, Karibima, u SAD-u, Sjevernoj Africi, Španjolskoj, Australiji i Kini. Prednost je velika dostupnost sirovine, a nedostatak cijena tako proizvedene vode u usporedbi s drugim izvorima slatke vode, jer zahtjeva veliki utrošak energije i skupu opremu [1].

Pojna voda kod procesa desalinacije najčešće je morska voda, zatim slijedi bočata voda, riječna voda te sa najmanjim udjelom sudjeluje otpadna voda. U nastavku (slika 1.) je prikazan postotni udio navedenih izvora pojne smjese [2].



Slika 1. Svjetski udio pojne vode koji se upotrebljava kod tehnologije desalinacije [2].

Desalinacijom proizvedena pitka ili tehnološka voda mora biti pogodna za korištenje stanovništvu i industriji, a to se postiže na način da se određeni sastojci ukupno otopljene krute tvari (Total Dissolved Solids-TDS) smanjuju i svode u granice određene za kvalitetu pitke ili tehnološke vode. TDS je izraz koji predstavlja anorganske soli i male količine organskih tvari prisutne u vodi.

Većinom su to kationi (natrij, kalij, magnezij, kalcij) i anioni (karbonati, bikarbonati, sulfati, nitrati, kloridi). Na okus vode utječu otopljene čestice krutih tvari, a prihvatljivost vode za piće određuje se upravo prema razini ukupno otopljenih krutih tvari u vodi [3].

Tablica 1. Kakvoća vode u ovisnosti od TDS-a [3].

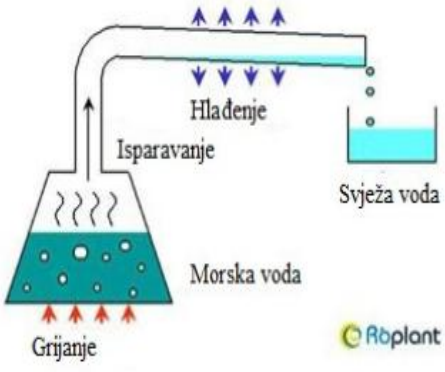
ODLIČNA VODA	TDS 300 mg/l
DOBRA VODA	TDS 300-600 mg/l
ZADOVOLJAVAJUĆA VODA	TDS 600-900 mg/l
NEPRIHVATLJIVA VODA	>1200 mg/l

Općenito dijelimo postupke desalinacije na:

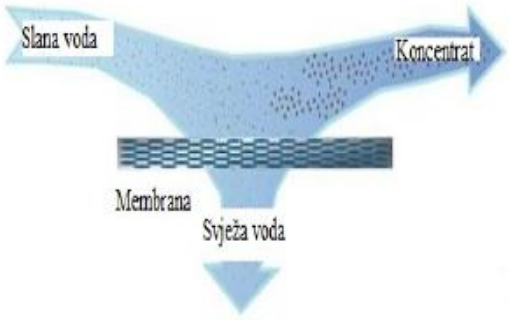
a) one kojima se slatka voda odvaja od soli te preostaje salamura (ugušćena slana voda)
b) postupke kojima se iz slane vode odvajaju soli, a preostaje slatka voda

Tehnike desalinacije klasificiraju se na:

a) procese koji se temelje na faznoj promjeni stanja vode
b) procese koji koriste membranu te primjenjuju koncept filtracije [4].

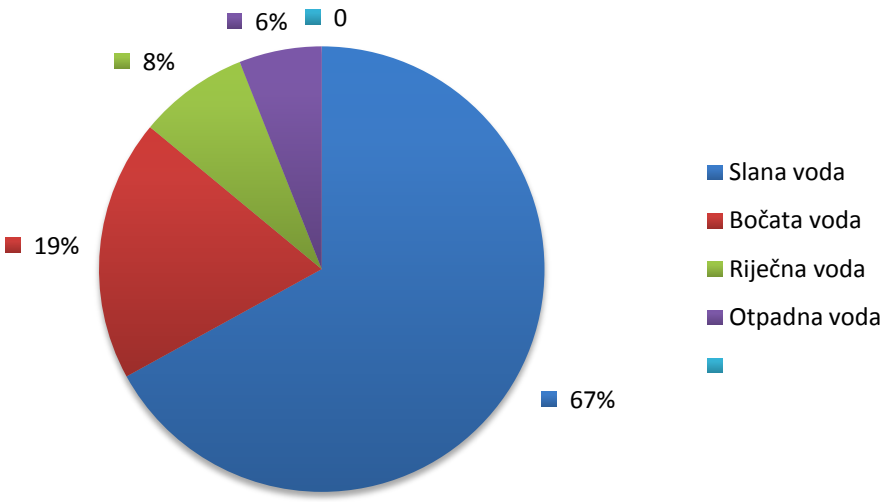


Slika 2. Procesi promjene faza [5].



Slika 3. Membranski procesi [5].

Na temelju dosadašnjih ugrađenih kapaciteta, reverzna osmoza vodeći je postupak desalinacije s ukupnim udjelom od 53%. Druga najčešća metoda u primjeni je višestupnjeviti flash proces sa 25% kapaciteta. Postotni udjeli zastupljenosti pojedinih desalinacijskih tehnologija prikazani su (slika 4.) u nastavku. Količine energije potrebne za provedbu procesa desalinacije razlikuju se, a značajno ovise o koncentraciji ulazne slane vode. Primjenom prvog i drugog zakona termodinamike moglo se izračunati da teorijski, minimalni iznos rada za desalinaciju morske vode iznosi 46 J/molu čiste vode, što odgovara 0,719 kWh/m^3[2].



Slika 4. Postotni udio zastupljenosti pojedinih desalinacijskih tehnologija u svijetu [2].

U ovome radu biti će riječi o postupcima desalinacije korištenjem sunca i vjetra uvažavajući ekološke zahtjeve kao i postojanje znatnog kapaciteta navedenih izvora energije. Proces dobivanja destilirane vode iskorištavanjem sunčeve energije zvan „sunčeva destilacija“ koristi Sunce kao najveći i besplatni izvor energije na Zemlji. Ukupna količina sunčeve energije koja godišnje pada na Zemlju raspoređena je nejednako ovisno o geografskoj širini, o rotaciji Zemlje odnosno o dužini dana i noći, o efektivnoj debljini atmosfere, o kretanju naoblake i sl. Za vrijeme bistre atmosfere bez naoblake na površinu Zemlje pada do 80% sunčeve radijacije, koja je raspoređena tako da postoje mjesta gdje dnevno pada 0,05 MJ/m^2, a postoje i mjesta oko ekvatora s dnevnom dozom od preko 30 MJ/m^2. Kao prosječna dnevna doza sunčeve radijacije uzima se 17 MJ/m^2. Zbog promijenjive koncentracije sunčeve radijacije po jedinici površine korištenje sunčeve energije zahtijeva upotrebu velikih površina za njezino prikupljanje [4].

Desalinacijska postrojenja se najčešće koriste za izolirane otoke koji se nalaze daleko od kopna te nemaju vlastiti vodovodni sustav ili na otocima koji će morati vlastiti vodovodni sustav čekati 15 do 20 godina [5]. Otoci mogu priskrbiti energiju vjetra potrebnu za desalinaciju morske vode. Jedna od prednosti desalinacije uz pomoć vjetra je smanjena cijena tako proizvedene vode u usporedbi sa cijenom vode koju je potrebno prevesti na otoke ili cijenom vode proizvedenom korištenjem konvencionalnih izvora energije. Mogući su različiti pristupi desalinaciji uz pomoć vjetra. U prvom slučaju, vjetroturbine i desalinacijska postrojenja su spojena na električnu mrežu.

U ovom slučaju optimalna veličina vjetroturbina i desalinacijskih postrojenja je u interesu kao i cijena troškova energenata. Druga opcija se temelji na povezivanju vjetroturbine i desalinacijskih postrojenja, a u tom slučaju na desalinacijski sustav utječu promjene snage i prekidi uzrokovani izvorom snage (vjetrom) te se zato kao pomoćni sustavi ugrađuju baterije, dizelski generatori i sl. U ovome se području velika pažnja pridodaje razvoju prikladnih kontrolnih algoritama za vjetroturbine kao i za sveukupni sustav. Korištenje obnovljivih izvora energije za proces desalinacije ima mnoge prednosti kao što su: sprječavanje onečišćenja zraka, korištenje čiste energije te smanjenje efekta staklenika i globalnog zagrijavanja [2].

2. OPĆI DIO

2.1. Osnovne desalinacijske tehnologije

U svijetu se primjenjuju dva osnovna tipa desalinacijskih tehnologija. Prva se zasniva na promjeni faza, a druga na membranskim procesima. Za upravljanje objema potrebna je energija. Unutar dva osnovna tipa postoje podkategorije koje su navedene u nastavku [2].



Slika 5. Shematski prikaz osnovnih desalinacijskih tehnologija [2].

a) Procesi promjene faza (termalni procesi):

- višestupnjevita flash destilacija (MSF)
- višestruka destilacija (MED)
- kompresija pare (VC)- toplinska (TVC) i mehanička (MVC)
- ostali procesi u koje spadaju solarni stil, ovlaživanje-deovlaživanje i membranska destilacija

b) Membranski procesi:

- reverzna osmoza (RO)
- elektrodijaliza (ED i EDR)

Tri ostala membranska procesa koja se ne smatraju desalinacijskim procesima, ali su podjednako važni jesu: mikrofiltracija, ultrafiltracija i nanofiltracija. Proces ionske izmjene također se ne smatra desalinacijskim procesom, ali se koristi za poboljšanje kvalitete vode kada se to zahtjeva [2].

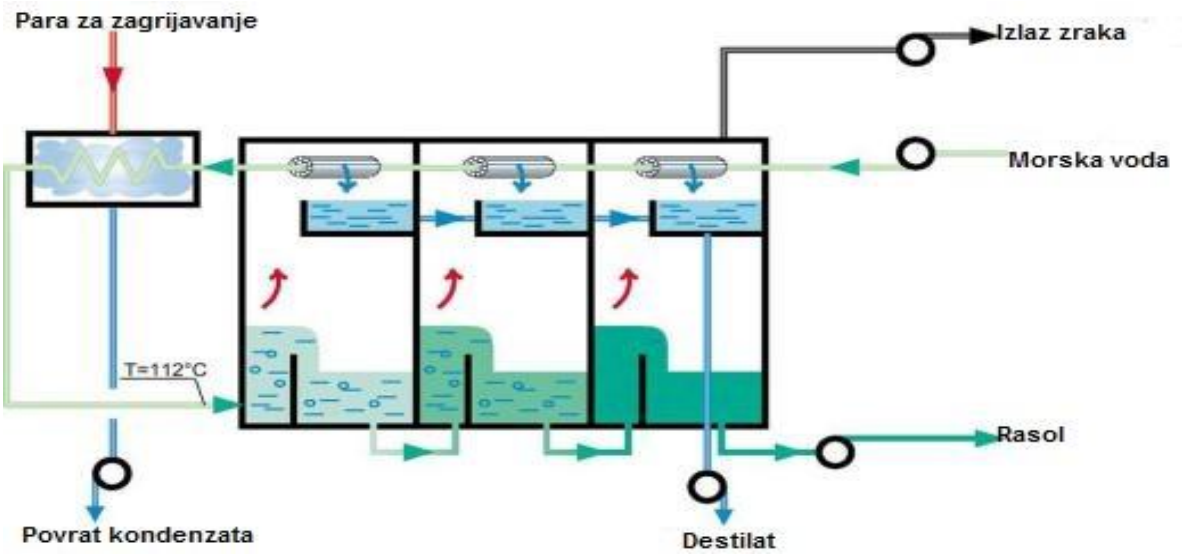
2.1.1. Procesi promjene faza (termalni procesi)

Destilacijski procesi oponašaju kruženje vode u prirodi. Morska voda se zagrijava i proizvodi paru koja se kondenzira te nastaje pitka voda. Trenutno u svijetu 25% desalinacijskih postrojenja radi na princip višetupnjevitog flash isparavanja (MSF). Zbog dostupne toplinske energije koja je niže cijene te sve većim razvojem tehnologije svoju primjenu pronalaze višestruka destilacija (MED) i kompresija pare (VC) kao desalinacijske tehnologije [2].

2.1.1.1. Višestupnjevita flash destilacija (MSF)

Ova metoda primjenjuje se na dva načina: (1) sa jednim prolazom pojne vode kroz izmjenjivače topline i komore ili (2) dizajnom koji uključuje recirkulaciju rasola [6].

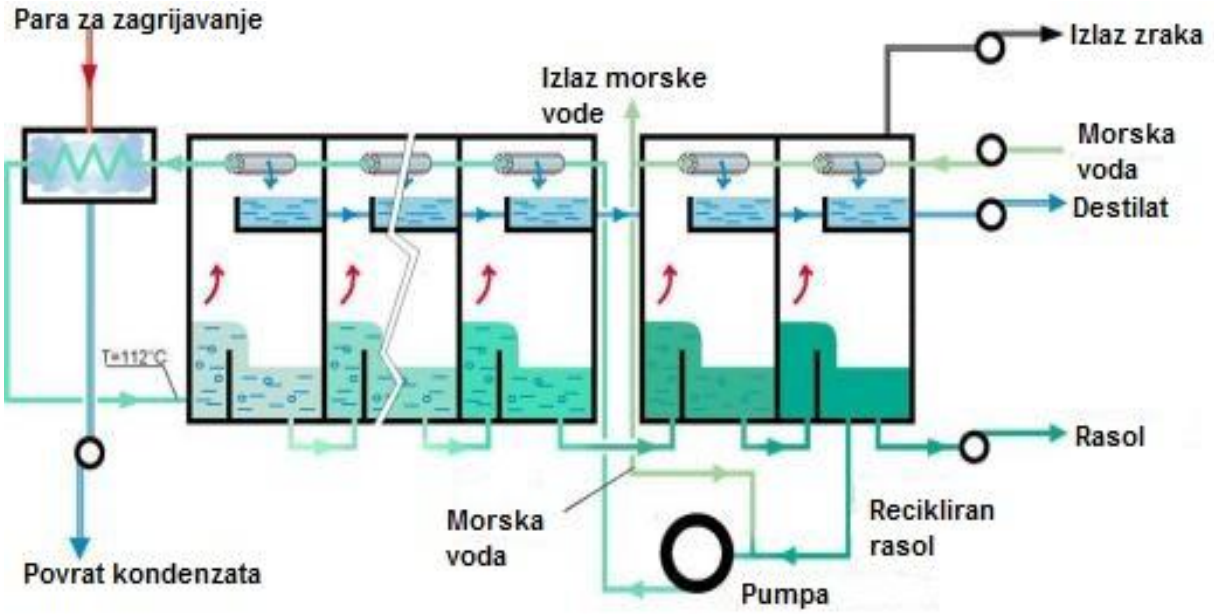
a) MSF destilacija sa jednim prolazom



Slika 6. Višestupnjevita flash destilacija sa jednim prolazom pojne vode [6].

Pojna smjesa se predgrijava, prolazeći kroz kondenzatore, konačno se zagrijava u grijaču rasola te zatim prolazi kroz flash komore. U krajnjem stupnju se rasol odnosi u potpunosti.

b) MSF destilacija sa recirkulirajućim rasolom



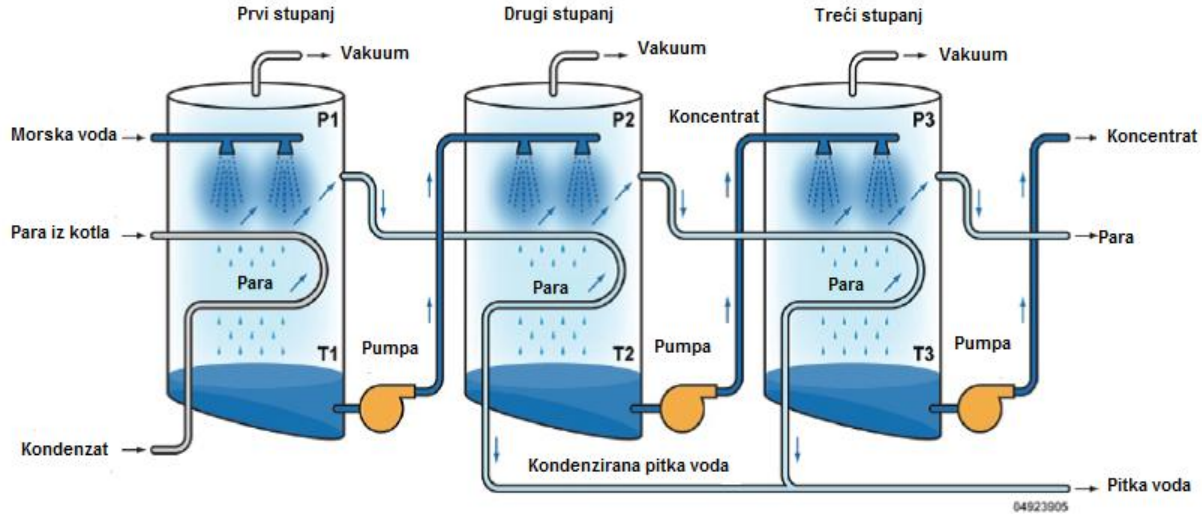
Slika 7. Višestupnjevita flash destilacija sa recirkulirajućim rasolom [6].

Prednosti ovakvog načina rada jest da se morska voda prethodno tretira samo u jednoj trećini procesa, a većina snopova cijevi radi sa deaeriranom morskom vodom zbog manje korozije. Rashladna morska voda prolazi kroz kondenzatore u dva do tri stupnja koja se nazivaju „odjeljcima za odbacivanje topline“. Nakon izlaza iz isparivača, dio zagrijane vode izbacuje se u more, a dio se koristi u samome postrojenju te se samo taj dio vode obrađuje [7]. Ovakvim načinom rada postiže se veći stupanj djelotvornosti. Proizvodnja je osigurana sa recirkulirajućim rasolom iz zadnjeg stupnja prema kondenzatorima u ostalim stupnjevima, imenovanim „odjeljak za dobivanje topline“ i onda u grijač rasola [6].

MSF postrojenja sa recirkulirajućim rasolom se koriste diljem svijeta. Destilacija sa jednim prolazom se treba koristiti samo za manja postrojenja (kada cijena kemikalija nije od velike važnosti) i u područjima gdje temperatura morske vode ostaje konstantna tijekom godine [7]. Pojava korozije učestala je kod ovakvog tipa postrojenja što iziskuje potrebu za korištenjem nehrđajućeg čelika. Usprkos tome je najprimjenjivanija metoda desalinacije u dijelovima svijeta sa bogatim i pristupačnim energetskim izvorima, kao što je Srednji Istok [2].

2.1.1.2. Višestruka destilacija (MED)

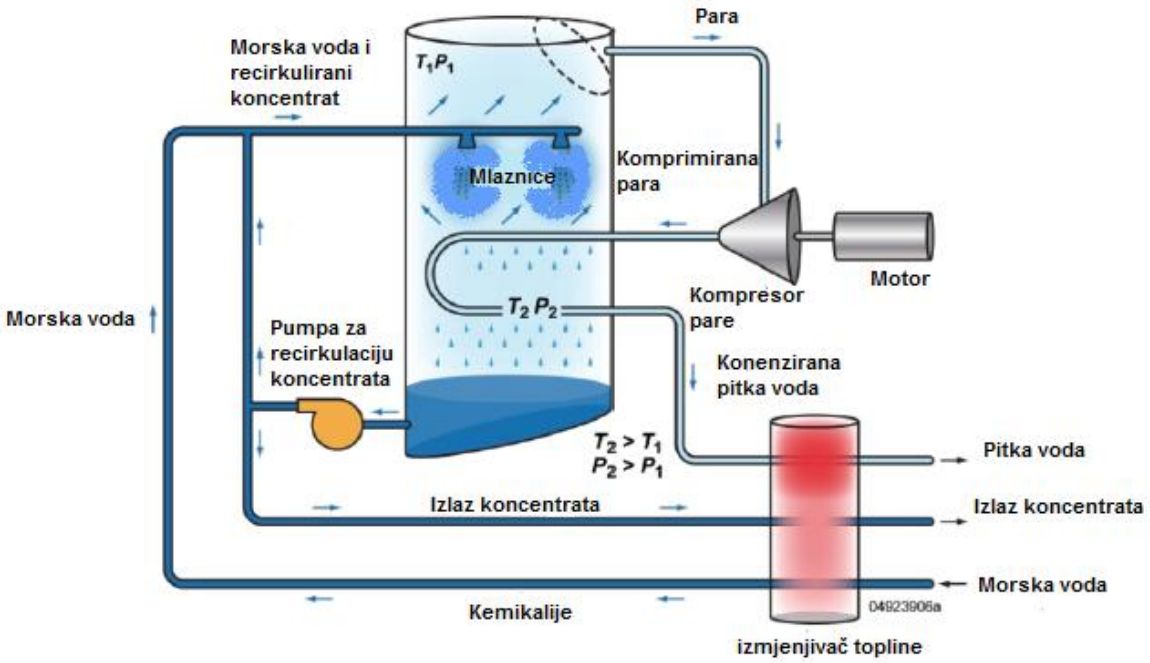
U MED postrojenjima kroz nekoliko se stupnjeva postepeno snizuje tlak te se na taj način omogućuje pojnoj vodi vrenje bez dodatne potrebe za dovođenjem topline nakon prvog stupnja. U ovom postrojenju, para iz kotla ili nekog drugog izvora energije (obnovljivi izvori) unosi se u serije cijevi gdje kondenzira i zagrijava površinu cijevi te služi kao izmjenjivač topline za isparavanje slane vode na drugoj strani. Energija koja je korištena za isparavanje slane vode je toplina kondenzacije pare u cijevi. Isparena slana voda sa sniženim udjelom soli te hladnija odlazi u idući stupanj sa nižim tlakom gdje kondenzira dajući produkt (pitku vodu) te otpušta toplinu za isparavanje preostale morske vode [2].



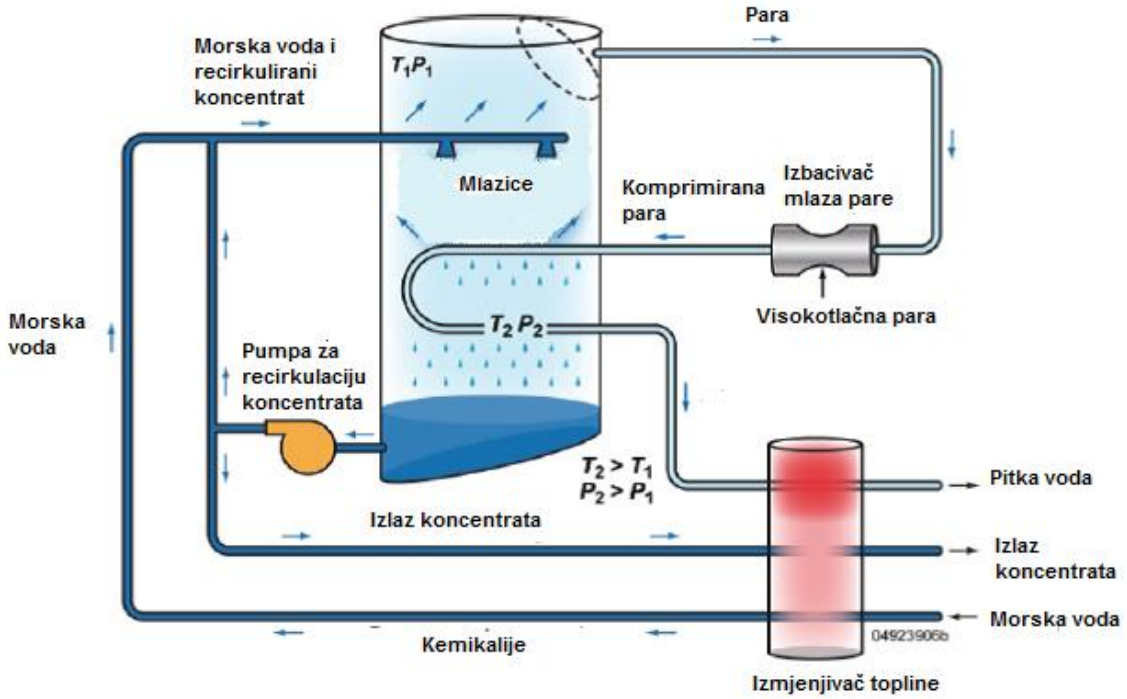
Slika 8. Shematski prikaz višestruke destilacije (MED) [2].

2.1.1.3. Kompresija pare (VC)

Destilacija kompresijom pare koristi se za desalinacijska postrojenja male do srednje veličine. Dvije osnovne metode koje se koriste jesu: (1) mehanička kompresija pare i (2) toplinska kompresija pare. Mehanička kompresija pare je najčešće pokretana električnom strujom. Sa toplinskim kompresorom pare, otvor Venturija na parnoj mlaznici proizvodi i odvodi vodenu paru iz glavne posude i snizuje tlak u posudi. Odvedena vodena para se komprimira sa mlazom pare. Ova smjesa se kondenzira u cijevima proizvodeći toplinsku energiju za isparavanje morske vode [2].



Slika 9. Shematski prikaz desalinacijskog postrojenja s mehaničkom kompresijom pare [2].



Slika 10. Shematski prikaz desalinacijskog postrojenja s toplinskom kompresijom pare [2].

2.1.2. Membranski procesi

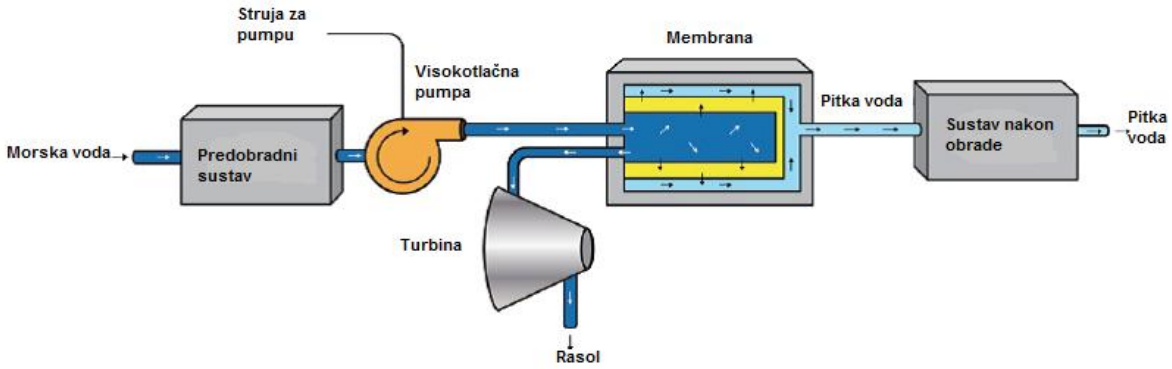
Membranski procesi čine više od polovice svih kapaciteta za desalinaciju. Membrane i filteri mogu selektivno dopustiti ili zabraniti prolaz pojedinih iona te imaju važnu ulogu u odvajanju soli u prirodnim procesima dijalize i osmoze. Upravo ta prirodna načela se koriste u dva važna desalinacijska procesa: elektrodijalizi (ED) i reverznoj osmozi (RO). Iako su se uobičajeno upotrebljavali za desalinaciju bočate vode, sve se više primjenjuju za morsku vodu. Veliki broj desalinacijskih sustava postavlja filtarske jedinice prije membranskih zbog uklanjanja onečišćenja koja utječu na dugoročni rad filtra. Sustavi za filtriranje uključuju mikrofiltraciju, nanofiltraciju i ultrafiltraciju [8].

2.1.2.1. Reverzna osmoza (RO)

Reverzna osmoza (RO) je oblik filtriranja pod tlakom u kojem je filtar polupropusna membrana koja omogućuje vodi, ali ne i soli, prolaz [8]. Grijanje ili fazna promjena nije nužna za to odvajanje, a glavni energetski uvjet je tlačenje pojne vode [2]. Operativni tlak ovakvog postrojenja kreće se između 17 do 27 bar za bočatu vodu i 55 do 82 bar za morsku vodu. Tipičan RO sustav se sastoji od četiri glavna podsustava: predobradni sustav, visokotlačne pumpe, membranskog modula i sustava nakon obrade. Predtretman pojne vode, koji obično uključuje sterilizaciju napojne vode, filtriranje i dodavanje kemikalija kako bi se spriječila biološka onečišćenja, od ključne je važnosti jer su membrane osjetljive na onečišćenja. Sustav nakon obrade vode sastoji se od sterilizacije, stabilizacije i mineralnog obogaćivanja proizvedene vode.

U praksi, predtretitana slana voda se pumpa uz pomoć visokotlačne pumpe u zatvorenoj posudi te na taj način tlači membranu. Kako jedan dio vode prolazi kroz membranu, sadržaj soli preostale pojne vode se povećava jer ima manje vode koja sadrži istu ukupnu količinu otopljenih soli. U isto vrijeme, dio ove slanije napojne vode se ispušta bez prolaska kroz membranu pod visokim tlakom kao koncentrirani odbačeni tok [2]. Membrane moraju biti velike površine te se izrađuju najčešće od polimera. Dvije vrste RO membrane koje se najčešće koriste na tržištu su spiralna membrana i membrana šupljih vlakana. Membrane za desalinaciju morske vode najčešće su proizvedene od celuloznog diacetata i triacetatnog spoja ili tanke folije obično izrađene od poliamida ili polisulfona. Troškovi, kvaliteta pojne vode te kapacitet proizvodnje vode utječe na odluku kada koju membranu koristiti [8].

Tijekom proteklog desetljeća, dva poboljšanja pomogli su smanjiti operativne troškove RO postrojenja, a to su: razvoj membrane koja može raditi učinkovito na nižim tlakovima i korištenje uređaja sa oporavkom energije [2]. Vodeći proivođači membrana u svijetu su SAD i Japan [8].



Slika 11. Shematski prikaz rada desalinacijskog postrojenja uporabom reverzne osmoze [8].

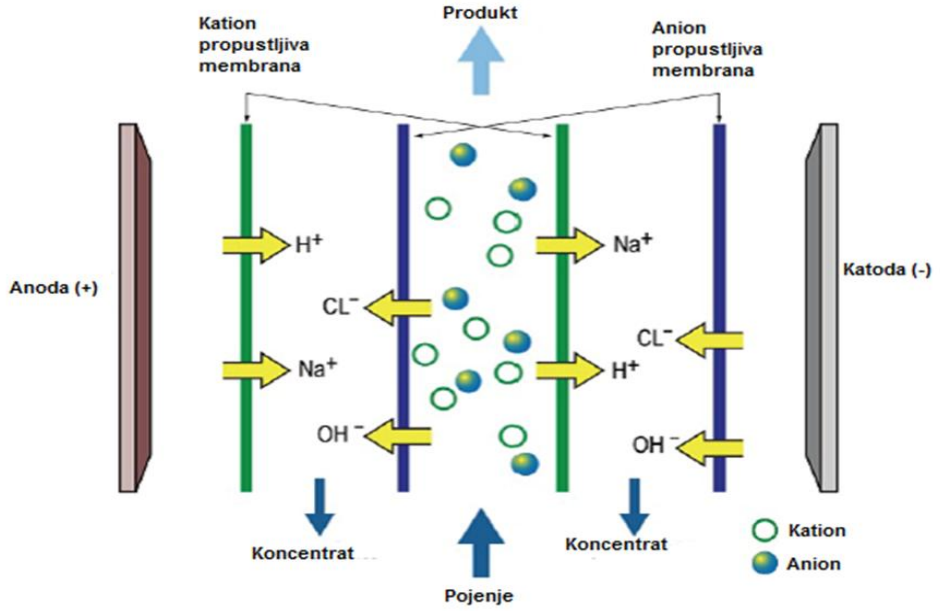
2.1.2.2. Elektrodijaliza (ED)

Elektrodijaliza (ED) je elektrokemijski proces separacije koji koristi električnu struju za prijelaz iona soli selektivno kroz membranu, ostavljajući iza sebe pitku vodu. ED jedinica sastoji se od sljedećih osnovnih komponenti: predobradnog sustava, membranske zalihe, niskotlačne cirkulacijske pumpe, snage za opskrbu električnom strujom i sustava nakon obrade vode.

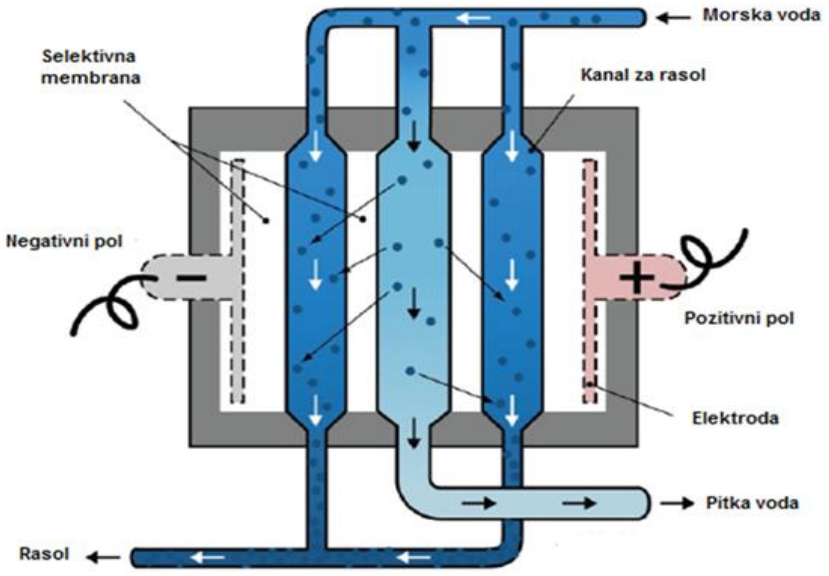
Elektrode su povezane na vanjski izvor istosmjerne struje (kao što je baterija ili fotonaponski izvor) u posudi sa slanom vodom uzrokujući da pozitivno nabijeni ione migriraju prema katodi i negativno nabijeni ioni migriraju prema anodi. Salinitet vode se ukloni kako voda prolazi kroz ion-selektivne membrane smještene između dviju elektroda. Ove membrane se sastoje od ravnih polimera podvrgnutih posebnim tretmanima u kojima se pukotine mikro veličine proizvode u plastičnoj površini filma. Anion-propustljive membrane omogućuju anionima prolaz do pozitivne elektrode, ali odbacuju katione. Isto tako, kation-propustljive membrane omogućuju kationima prolaz do negativno nabijene elektrode, ali odbacuju anione.

U praksi, nekoliko membranskih parova se koristi između jednog para elektroda, formirajući ED snop. Napojna voda istovremeno prolazi u paralelnim stazama kroz sve stanice, pružajući kontinuirani protok proizvodene vode i rasola.

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



Slika 12. Prikaz ionske izmjene u procesu elektrodijalize [8].



Slika 13. Shematski prikaz desalinacijskog postrojenja koje koristi elektrodijalizu [8].

U razmaku od nekoliko puta na sat polaritet elektroda se zamjenjuje, a tokovi su istodobno zamijenjeni tako da kanal sa rasolom postaje kanalom sa vodom i obratno. Rezultat je da se ioni privlače u suprotnom smjeru preko membrane.

Odmah nakon obrata polariteta i protoka, dovoljno proizvodene vode je odbačeno i linije se ispiru dok željena kvaliteta vode nije obnovljena. To traje oko jedne do dvije minute, a jedinice tada mogu nastaviti proizvodnju vode. Obratan proces je koristan u razbijanju i ispiranju vlage, mulja i ostalih ostataka prije nego što oni mogu stvoriti problem [2]. EDR zahtijeva minimalni predtretman pojne vode i minimalno korištenje kemikalija za čišćenje membrane. ED proces je obično pogodan samo za bočatu vodu sa salinitetom do 12 000 ppm TDS-a. Uz viši salinitet, proces brzo postaje skuplji od drugih desalinacijskih procesa, jer je potrošnja energije izravno proporcionalna salinitetu vode [8].

2.2. Sustavi desalinacije koji koriste solarnu i vjetro energiju

Korištenje desalinacijskih tehnologija uz pomoć obnovljivih izvora energije omogućuje proizvodnju pitke vode na raznim lokacijama. Razvojem novih tehnologija i smanjenjem izvora pitkih voda i konvencionalnih izvora energije povećati će se zanimanje za desalinacijom uz pomoć obnovljivih izvora energije.

Odabir odgovarajuće desalinacijske tehnologije sa obnovljivim izvorom energije ovisi o nizu faktora kao što su: potrebna količina vode, salinitet pojne vode, udaljenost, lokalna klima, vodni resursi, potrošnja, tip i potencijal lokalnog obnovljivog izvora energije. Ovakvi sustavi su za sada obećavajući za udaljena mjesta kao što su otoci, gdje je povezanost sa javnom električnom mrežom otežana ili gdje postoji problem nestašice vode [2]. U tablici 2. su prikazane najperspektivnije kombinacije obnovljivih izvora energije i desalinacijskih sustava. Prema toj tablici, solarna energija se može koristiti za pogon MSF, MED, RO, i ED postrojenja. Energija vjetra može upravljati VC, RO, i ED postrojenjima [8].

Tablica 2. Kombinacije obnovljivih izvora energije s desalinacijskim sustavima [8].

Obnovljiv izvor energije	**Tehnologija desalinacije**				
	MSF	**MED**	**VC**	**RO**	**ED**
Solara termalna	•	•			
Solarna FN				•	•
Vjetar			•	•	•

2.2.1. Desalinacijski sustavi koji koriste solarnu energiju

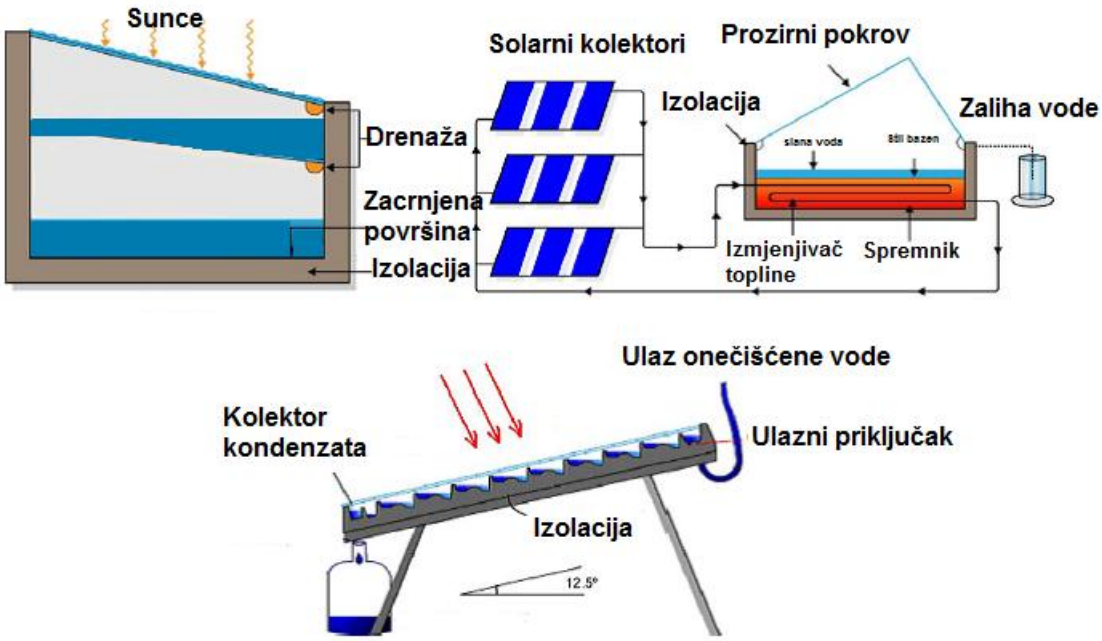
Solarna energija može pokrenuti desalinacijsko postrojenje toplinskom i električnom energijom iz solarnih toplinskih sustava ili fotonaponskih sustava. Troškovi solarne destilacije kod različitih desalinacijskih tehnologija se uvelike razlikuju, a najvećim se smatraju početna ulaganja. Prednost korištenja obnovljivih izvora energije je održavanje samog sustava zbog pristupačnosti energije [8].

2.2.1.1. Desalinacijski sustavi koji koriste solarnu toplinsku energiju

Solarna toplinska energija može se iskoristiti izravno ili neizravno za desalinaciju.

a) Izravna solarna termalna desalinacija

Metoda izravne sunčeve desalinacije uglavnom je pogodna za male proizvodne sustave, kao što je solarni stil. Ovaj uređaj ima nisku učinkovitost i nisku produktivnost vode zbog neučinkovitosti solarnih kolektora da pretvore većinu dobavljene energije i zbog isprekidane dostupnosti solarnog zračenja. Iz tog razloga, izravne solarne termalne desalinacijske tehnologije su dosad bile ograničene na postrojenja manjih kapaciteta, koje su prikladne za opskrbu male zajednice u udaljenim područjima. Dizajn solarnog stila općenito se može svrstati u četiri kategorije: (1) bazenski stil, (2) nagnuto fitiljni solarni stil, (3) nagnuti stil sa više ladica i (4) koncentrirajući zrcalni stil. **Bazenski stil** se sastoji od bazena, potporne strukture, transparentnog stakla i prolaza destilata. Ispod bazena obično se nalazi toplinska izolacija da bi se smanjio gubitak topline. Ostale pomoćne komponente uključuju brtvila, cijevi i ventile, skladištenje, vanjski poklopac i reflektor (zrcalo) za koncentriranje svjetla. Pojedinačni bazenski stilovi imaju nisku učinkovitost, općenito ispod 45% i nisku produktivnost. **Nagnuto-fitiljni solarni stil** koristi kapilarno djelovanje vlakana za distribuciju pojne vode kroz cijelu površinu fitilja u tankom sloju. To omogućuje višu temperaturu na tankom sloju. Pokrov fitilja treba često čistiti radi uklanjanja nataloženog sedimenta te su također potrebne redovite zamjene materijala fitilja uslijed djelovanja vremena i ultraljubičastog zračenja. U **nagnutom stilu sa više ladica**, niz plitkih horizontalnih crnih ladica se nalaze u izoliranom spremniku s prozirnim staklenim pokrovom na vrhu. Izgradnja stilla je još uvijek prilično komplicirana i uključuje mnoge komponente koje su skuplje od jednostavnih bazenskih stilova. **Koncentrirajući zrcalni stil** koristi parabolično zrcalo za fokusiranje sunčeve svjetlosti na isparivačku posudu. Ova vrsta stila podrazumijeva visoke troškove gradnje i troškove održavanja [8].



Slika 14. Shematski prikaz dvostrukog-bazenskog solarnog stila, jednostrukog-bazenskog solarnog stila i višestupnjevitog nagnutog solarnog stila [8].

b) Neizravna solarna termalna desalinacija

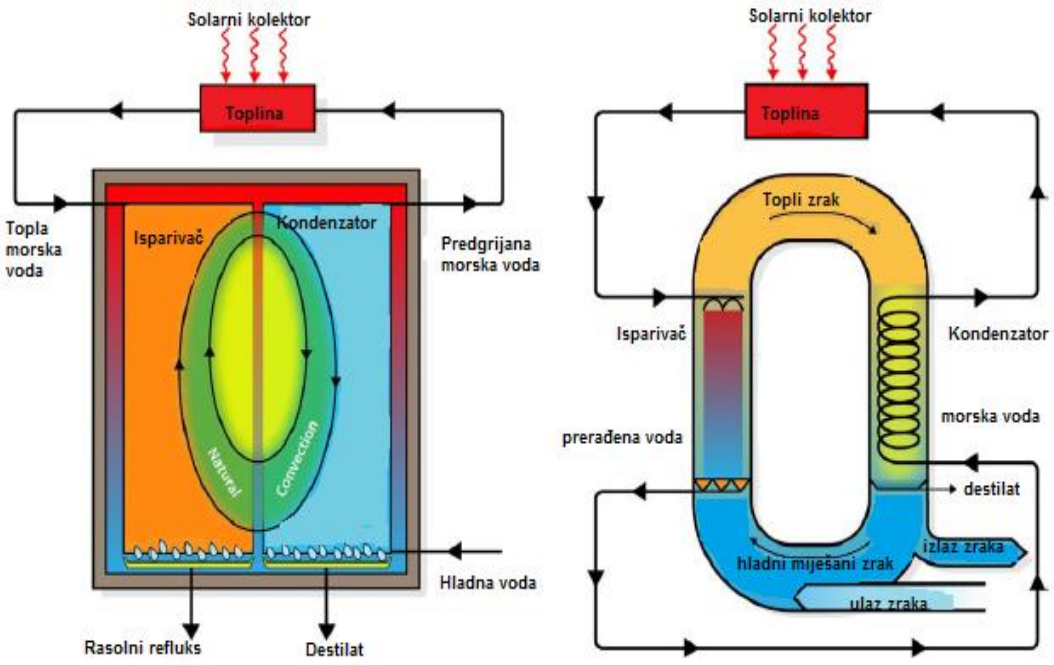
Neizravne solarne termalne metode za desalinaciju sastoje se od prikupljanja solarne energije i konvencionalnog postrojenja za desalinaciju. Procesi uključuju ovlaživanje-odvlaživanje (HD), membransku destilaciju (MD), ribnjak za desalinaciju koji koristi solarnu energiju i solarni termalni sustav poput solarnih kolektora i koncentrirajućih kolektora pokretanih konvencionalnim postrojenjima za desalinaciju, kao što su MSF i MED [8].

Ovlaživanje-odvlaživanje (HD)

Osnovna ideja u procesu ovlaživanja-odvlaživanja (HD) je miješanje zraka i vodene pare, a zatim izdvajanje vode iz vlažnog zraka sa kondenzatorom. Količina pare koju zrak može primiti ovisi o njegovoj temperaturi. Neke prednosti HD jedinice su: rad pri niskim temperaturama, kombinacija procesa s obnovljivim izvorima energije poput solarne energije, skromna razina tehnologije i visoki stupanj produktivnosti.

Prva HD jedinica temelji se na ciklusu otvorene vode i zatvorenog zraka, a druga HD jedinica temelji se na otvorenom zraku i zatvorenoj vodi. U prvom procesu, morska voda ulazi u sustav, grije se u solarnom kolektoru, a zatim se raspršuje u zrak u isparivaču.

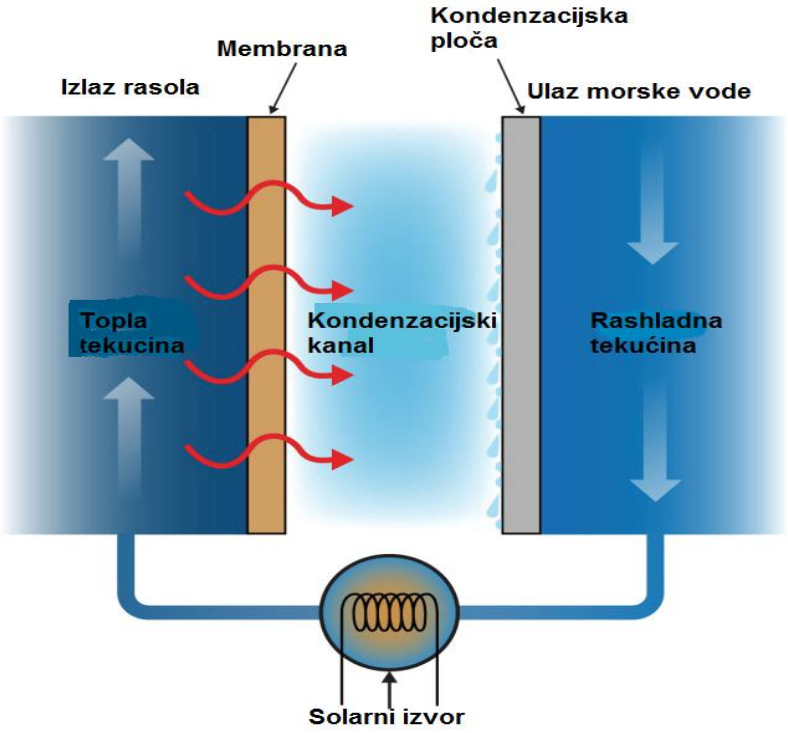
Vlažan zrak cirkulira u sustavu, a kada dosegne kondenzator, određena količina vodene pare počne kondenzirati. Destilirana voda se skuplja u kontejner. Nešto rasola također može biti recirkulirano u sustavu kako bi se poboljšala učinkovitost, a ostatak je uklonjen. Drugi proces se koristi za recikliranje rasola kroz sustav kako bi se osigurala visoka iskoristivost slane vode za proizvodnju pitke vode. Kod ovog procesa zrak prolazi kroz isparivač te skuplja vlagu. Prolazeći kroz kondenzator, vodena para se ekstrahira [8].



Slika 15. Shematski prikaz ciklusa: otvorena voda/zatvoren zrak (lijevo) i otvoren zrak/ zatvorena voda (desno) [2].

Membranska destilacija (MD)

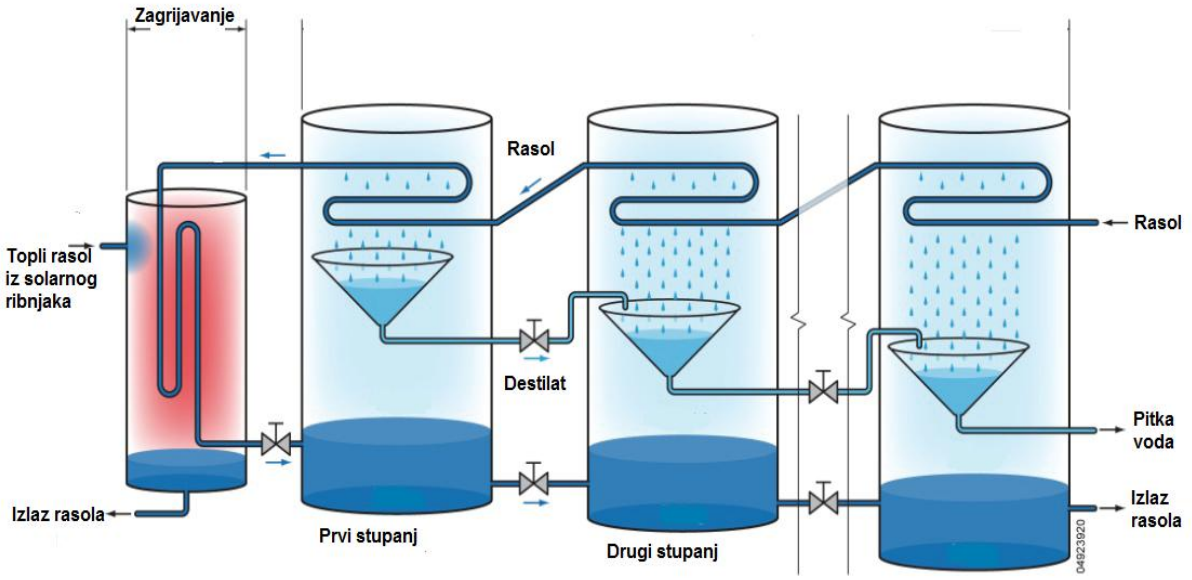
Membranska destilacija (MD) je separacijsko destilacijska tehnika, gdje se transportira voda između "vruće" i "hladne" struje odvojene hidrofobnom membranom koja propušta samo vodenu paru, što isključuje prijelaz tekuće faze i potencijalnih otopljenih čestica. Morska voda prolazi kroz kondenzator obično na 25°C i odlazi na višoj temperaturi, a zatim se zagrije na oko 80°C sa vanjskim izvorom kao što je solarni, geotermalni, ili industrijski otpad. MD je uvedena komercijalno na malom mjerilu tijekom 1980-ih, ali nije pokazala uspjeh na postrojenjima velikih razmjera zbog visokih troškova i problema povezanih s membranama. Potrebno je provesti istraživanje i razvoj, u pokusima i modeliranju, fokusirajući se na ključna pitanja kao što su dugoročna selektivnost kapljevine/pare, starenje membrane, zagađenje pojne vode i optimizacija toplinskog oporavaka [8].



Slika 16. Shematski prikaz procesa membranske destilacije [8].

Ribnjak za desalinaciju koji koristi solarnu energiju

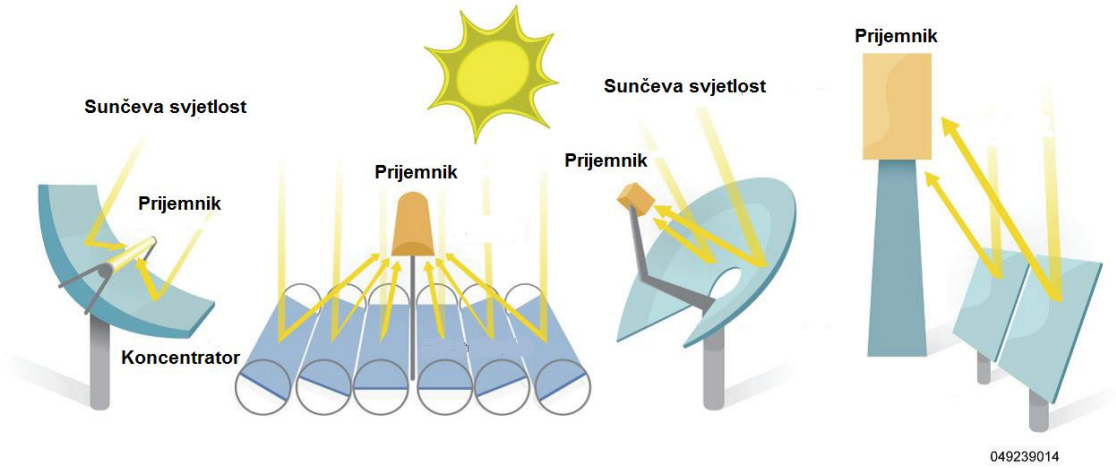
Ovakvi ribnjaci su vrsta kolektora topline, kao i prostora za skladištenje topline. Vruća otopina soli iz solarnog ribnjaka može se upotrijebiti kao izvor topline ili za MSF ili za MED desalinacijsko postrojenje. Solarni ribnjak može pohraniti toplinu zbog svoje jedinstvene kemijske stratificirane prirode. Solarni ribnjak ima tri sloja: (1) gornji ili površinski sloj, zove se gornja zona konvekcije, (2) srednji sloj, što je područje bez zone konvekcije, i (3) niži sloj, nazvan zona pohrane ili niža zona konvekcije. Salinitet se povećava s dubinom od površinske čiste vode do dna, gdje su soli u stanju ili blizu zasićenja. Slanost je relativno konstantna u gornjoj i donjoj zoni konvekcije i povećava se s dubinom u zoni bez konvekcije. Slana voda je gušća od pitke vode stoga je u vodi dno jezera gušće (ima veću specifičnu težinu) nego površina vode. Solarni ribnjak je u mogućnosti pohraniti toplinu jer je cirkulacija potisnuta od strane razlike gustoće u salinitetu u stratificiranoj vodi. Iako solarna energija može prodrijeti u cijelu dubinu ribnjaka, ne može pobjeći iz zone za pohranu [8].



Slika 17. MSF desalinacijsko postrojenje pokretano solarnim ribnjakom [8].

Koncentrirajuća solarna termalna desalinacija

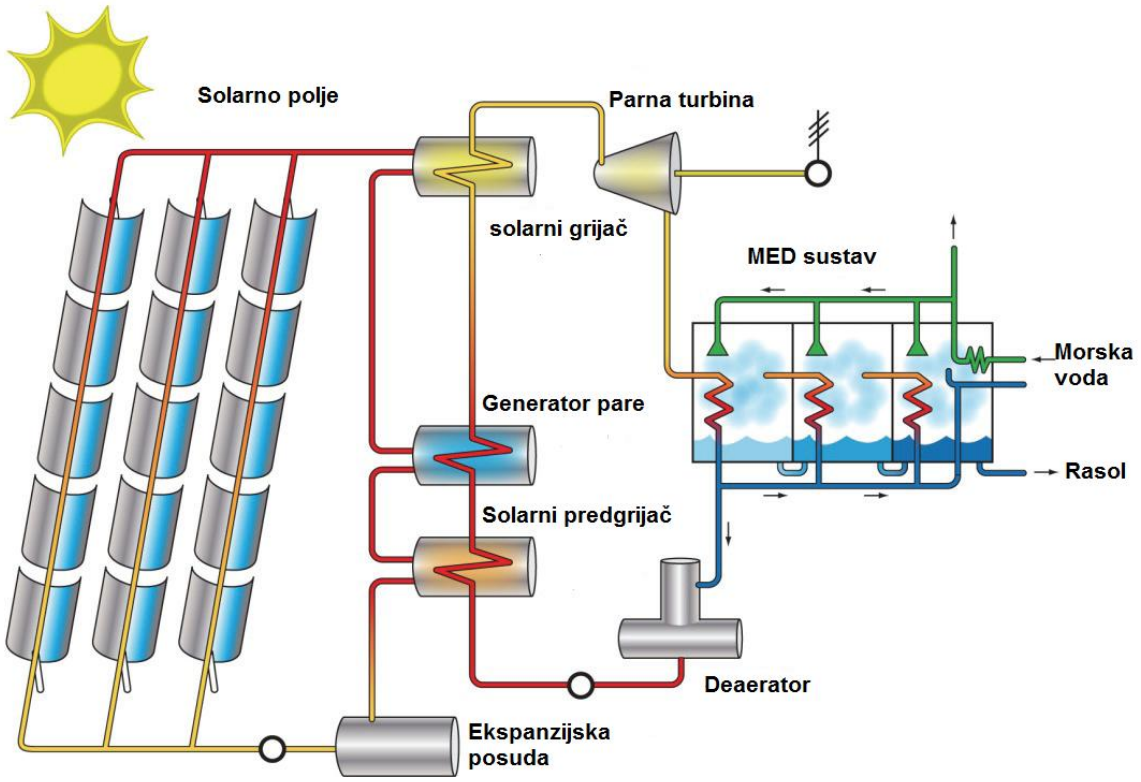
Tehnologija koncentrirajuće solarne toplinske energije temelji se na konceptu koncentrirajućeg sunčevog zračenja za postizanje visoke temperature za proizvodnju električne energije pomoću parne turbine, plinske turbine ili Stirlinga i drugih vrsta motora. Za koncentraciju većina sustava koriste staklena zrcala koji kontinuirano prate položaj sunca. Četiri glavne koncentrirajuće solarne tehnologije su: parabolično korito, Fresnelov zrcalni reflektor, toranj snage i motorni sustav. Postrojenje sa **paraboličnim koritom** se sastoji od velikih paralelnih nizova solarnih kolektora koji čine sunčevo polje. Parabolični kolektor se sastoji od reflektora, od kojih svaki fokusira sunčeve radijacije na prijemniku cijevi koja upija reflektiranu sunčevu energiju. Kolektori prate sunce, tako da je sunčevo zračenje kontinuirano usmjereno ka prijemniku. **Fresnelov zrcalni reflektor** je uvelike sličan paraboličnom koritu, ali umjesto da koristi korito u obliku zrcala koje prati sunce, ravna ili blago zakrivljena ogledala montirana su na pratitelje na terenu i reflektiraju sunčevu svjetlost ka prijamniku cijevi fiksnom u prostoru iznad tih zrcala. Malo parabolično ogledalo ponekad se dodaje na vrhu prijamnika kako bi dodatno fokusirao sunčevo zračenje [8].



Slika 18. Solarni koncentracijski sustavi: (1)parabolično korito, (2)Fresnelov zrcalni reflektor, (3)motorni sustav, (4)toranj snage [8].

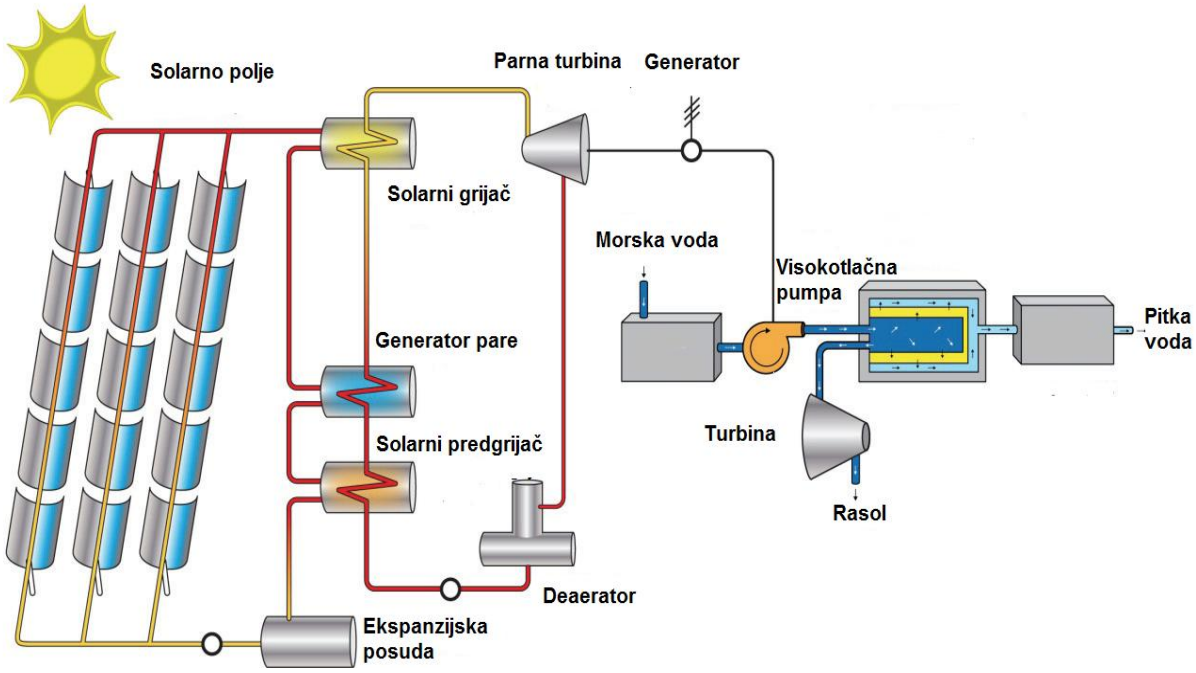
Stirling motor i koncentrirajući fotonaponski (FN) sustav se sastoji od koncentratora u obliku satelitske antene koji reflektira Sunčevo zračenje na prijemnik montiran na žarište. Prijamnik može biti Stirling ili druga vrsta motora i generator ili to može biti vrsta fotonaponskog panela koji je osmišljen za rad pri visokim temperaturama. Mogu postići veću učinkovitost od paraboličnog korita, dijelom zbog veće razine solarne koncentracije na žarište. Pogodniji su za samostalane, male sustave zbog svoje modularnosti. U usporedbi s običnim fotonaponskim panelima, potrebna su manja područja fotonaponskih ćelija jer fotonapon je još uvijek relativno skup. **Toranj snage** se sastoji od tornja okruženog velikim nizom ogledala koja prate sunce i reflektiraju svoje zrake na prijemnik na vrhu tornja. Tekućina za prijenos topline u prijemniku koristi se za proizvodnju pare koja se zauzvrat koristi u konvencionalnom turbinskom generatoru za proizvodnju struje. Neki tornjevi snage koriste vodu/paru kao fluid za prijenos topline.

Primarni cilj koncentrirajućih solarnih postrojenja je proizvodnja električne energije te mogućnost kombiniranja s različitim postrojenjima za desalinaciju. U nastavku (**slika 19.**) je prikazano parabolično korito u kombinaciji s MED sustavom, gdje para generirana od korita prvo odlazi u ne-kondenzacijske turbine, a zatim se koristi na uobičajen način za desalinaciju. Temperatura pare za MED postrojenja je oko 135°C te postoji dovoljna energija u pari za proizvodnju električne energije prije nego se koristi u MED postrojenju.



Slika 19. Shematski prikaz paraboličnog korita u kombinaciji s MED sustavom [8].

Važno je naglasiti da je proizvodnja vode glavna svrha postrojenja, a električna struja je nusprodukt. Iako konvencionalni kombinirani ciklus elektrane može biti konfiguriran na sličan način za desalinaciju, temeljna razlika postoji u dizajnu pristupa za solarno i za postrojenja na fosilna goriva. Gorivo za solarna postrojenja je besplatno stoga dizajn nije usmjeren prvenstveno na učinkovitost, nego na trošak kapitala i kapacitet procesa desalinacije. U slučaju da je parabolično korito spojeno sa RO desalinacijskom jedinicom, kao i u MED, para generirana od strane solarnog postrojenja može se koristiti kroz parnu turbinu za proizvodnju električne energije potrebne za pogon pumpi postrojenja RO. Na temelju internih studija koju je proveo Bechtel, može se zaključiti da u određenim slučajevima, kombinacija sa RO sustavima zahtijeva manje energije od sličnog MED sustava jer nudi nešto bolje riješenje na mjestima s visokim salinitetom i u zatvorenim uvalama, dok se kombinacija sa RO čini više prikladna za vode nižeg saliniteta u otvorenom oceanu. Jedna dodatna prednost RO sustava je da solarno polje može biti udaljeno od obale. Jedina veza između njih je proizvodnja električne energije za pokretanje RO pumpe i drugih potrebnih pomoćnih opterećenja [8].



Slika 20. Shematski prikaz paraboličnog korita u kombinaciji s RO postrojenjem [8].

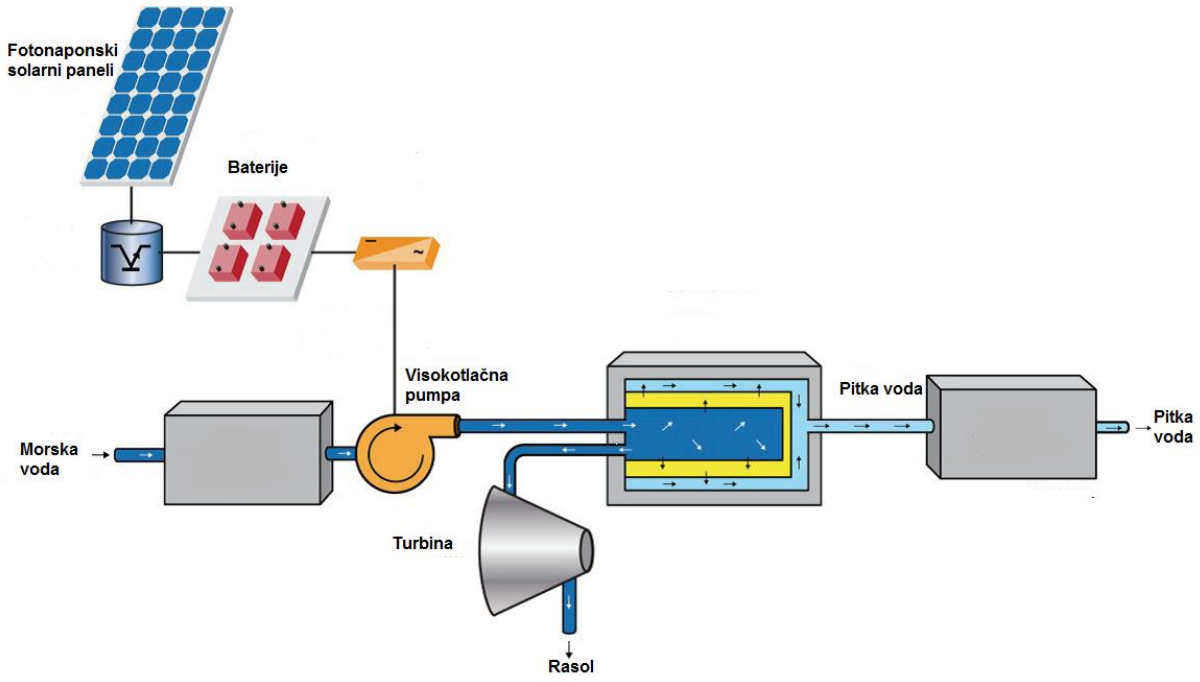
Među proizvodnim sustavima niskog kapaciteta, solarni still i solarni ribnjak predstavljaju najbolju alternativu u niskim zahtjevima pitke vode. Za veće desalinacijske kapacitete, treba odabrati konvencionalna destilacijska postrojenja spojena na solarne termalne sustave poznate kao neizravna solarna desalinacija [8].

2.2.1.2. Desalinacija korištenjem solarnih fotonaponskih kolektora

Fotonaponske (FN) ili solarne ćelije pretvaraju sunčevo zračenje izravno u struju. Individualna FN ćelija je obično vrlo mala, obično proizvodi oko 1 ili 2 W snage. Kako bi se poboljšao izlaz snage, solarne ćelije su spojene u serije i paralelno tvoreći veće jedinice nazvane moduli. Moduli, s druge strane, mogu biti povezani da formiraju još veće jedinice nazvane polja. Sustav uključuje: upravljač naboja, baterije, pretvarač i ostale komponente potrebne za pružanje izlazne električne snage. FN sustavi dijele se u dvije kategorije: pločasti sustavi i koncentrirajući sustavi. Koncentrirajući fotonaponski sustav ima nekoliko prednosti u odnosu na pločasti sustav kao što je povećanje izlazne snage i smanjenje veličine ili broja potrebnih stanica.

Fotonaponski sustav pokretan sa RO jedinicom

Fotonaponski sustav pokretan sa reverznom osmozom (FN/RO) se smatra jednim od najperspektivnijih oblika pogona za desalinaciju s obnovljivim izvorima energije, pogotovo kada se koristi u područjima udaljenim od izvora električne energije. Pohrana energije je opet problem te se koriste baterije kako bi održale funkcioniranje sustava kada je sunčevo zračenje nedovoljno. Dvije vrste ovakvih sustava su dostupni na tržištu: za bočatu vodu i morsku vodu.



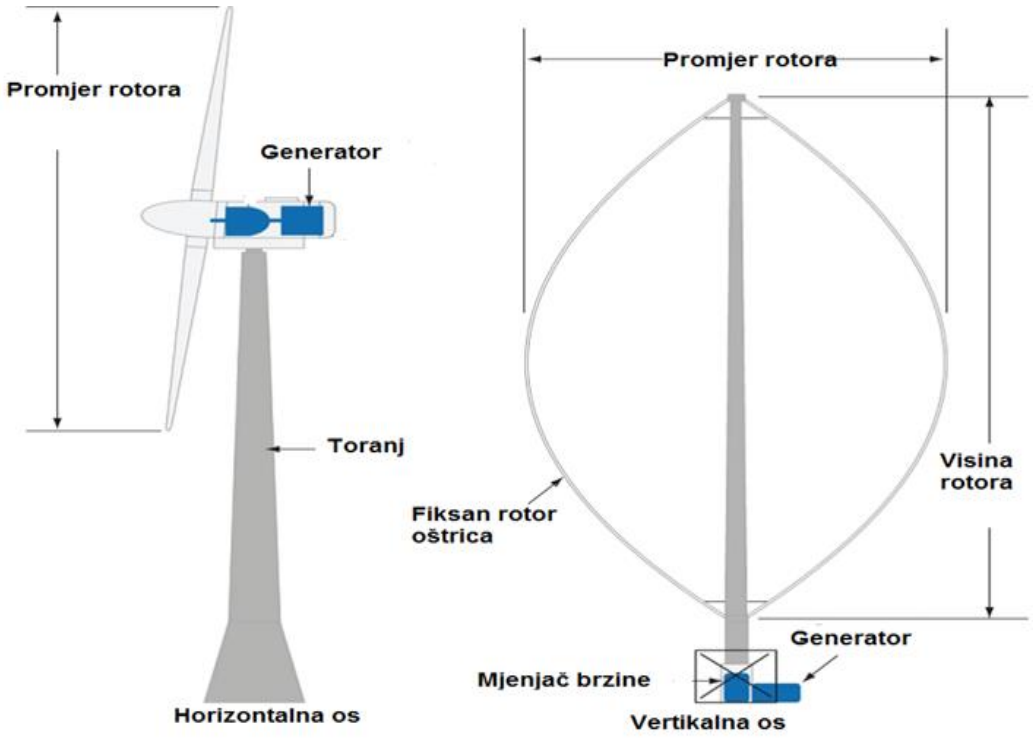
Slika 21. Shematski prikaz fotonaponskog sustava pokretanog sa reverznom osmozom [8].

Bočata voda ima znatno niži osmotski tlak od morske vode stoga ovakva desalinacija zahtijeva mnogo manje energije i znatno manji FN niz u slučaju FN/RO postrojenja. Također, niži tlakovi dopuštaju korištenje jeftinijih plastičnih dijelova. Osmotski tlak morske vode je mnogo veći od bočate vode te njegova desalinacija zahtijeva puno više energije i neizbježno, nešto veći FN niz. Također, veći tlakovi zahtijevaju mehanički jače komponente [8].

2.2.2. Tehnologija desalinacije korištenjem energije vjetra

Udaljena područja s potencijalnom energijom vjetra, kao što su otoci, mogu koristiti energiju vjetra za pokretanje desalinacijskog postrojenja za proizvodnju pitke vode. Prednost takvih sustava jesu smanjeni troškovi proizvodnje vode u odnosu na troškove prijevoza vode na otoke ili pomoću konvencionalnih goriva kao izvora energije.

Mogući su različiti pristupi za desalinaciju vode uz pomoć vjetra. U prvom slučaju vjetroturbine kao i desalinacijski sustav su povezani s električnom mrežom. Optimalne veličine vjetrotrubina i desalinacijskog sustava te troškovi goriva su od velike važnosti. U drugom slučaju vjetroturbina i sustav za desalinaciju su izravno povezani, a desalinacijski sustav je pod utjecajem električne energije i prekidima uzrokovanim izvorem napajanja [9]. Energija vjetra se koristi za pogon RO, ED i VC desalinacijske jedinice. Najčešće vrste vjetroturbina su sa horizontalnom osi i vertikalnom osi [8]. Glavna istraživanja u ovom području su povezana sa analizom postrojenja i cjelokupnog sustava kao i razvijanja odgovarajućih kontrolnih algoritama za vjetroagregate i cjelokupni sustav. Reverzna osmoza najpoželjnija je tehnika zbog niske specifične potrošnje energije. Proces se odvija pri temperaturi okoline. Električna energija potrebna je jedino za pumpanje vode na relativno visoki radni tlak. Posebne turbine u mogućnosti su povratiti dio energije. Radni tlakovi variraju od 10 do 25 bar za rad s bočatom vodom i 50 do 80 bar sa morskom vodom. Efikasnost može biti 90.95% u slučaju rada sa bočatom vodom pa sve do 35 do 50% u slučaju morske vode [9].



Slika 22. Vjetroturbine sa horizontalnom i vertikalnom osi [2].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Problem vodoopskrbe otoka Visa i integralni pristup gospodarenja voda

Na otoku Visu trenutno živi oko 3 630 stanovnika, koji su uglavnom koncentrirani u gradovima Visu i Komiži. Prvo veće iseljavanje stanovnika zbog teških životnih uvjeta bilježi se 1910. g. Da bi se ovakav daljnji trend spriječio velika se pažnja pridodaje problemu vodoopskrbe na otoku. Kod predstavnika lokalne samouprave vladalo je mišljenje da treba inzistirati na izgradnji podmorskog cjevovoda između Hvara i Visa, čime bi se problem vodoopskrbe Visa trajno riješio. Kao rezultat Hrvatske vode postavile su određene preduvjete koji prije toga moraju biti ispunjeni. Prvi preduvjet je da otok Vis mora u potpunosti iskoristiti vlastite resurse, daljni preduvjet je da se vodoopskrbnim sustavom upravlja na optimalan način te naposljetku u obzir se mora uzeti cjelogodišnja potrošnja vode. Kao zaključak Hrvatske vode su odlučile problemu vodoopskrbe otoka Visa pristupiti sustavno s težištem na optimalnom korištenju vlastitih otočkih resursa. Prema dosadašnjoj razini spoznaja, vlastiti resursi otoka Visa nisu još u potpunosti iskorišteni te je potrebno ustrajati na konceptu korištenja vlastitih voda i u narednom razdoblju.



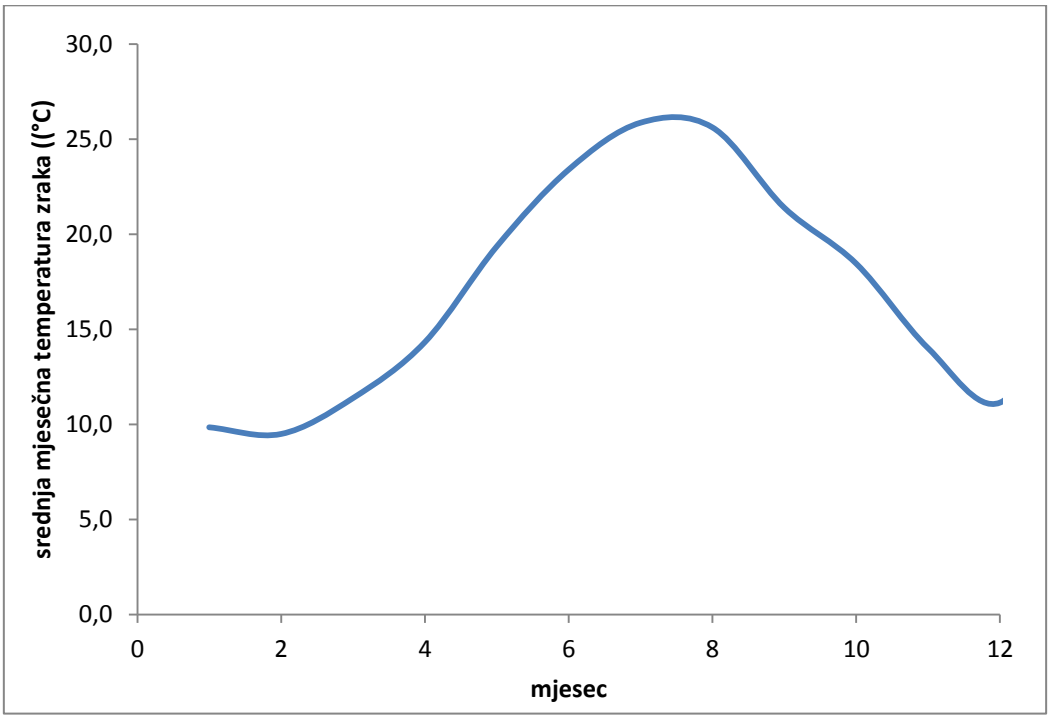
Slika 23. Isporučene (evidentirane) količine vode u periodu 1995.- 2010. [10].

Integralni pristup za gospodarenje vodama nužan je uvjet koji se zasniva na činjenici da je voda nedjeljivi (sastavni) dio ekosustava, prirodni resurs, ekonomsko i socijalno dobro, te da o njenoj kakvoći i kvantiteti ovisi priroda korištenja. Važno je definirati prioritete korištenja, a to je prije svega korištenje vode za osnovne potrebe i za potrebe očuvanja ekosustava. Za očekivati je da će potrebe Visa za vodom u budućnosti rasti upravo zbog sve većeg broja turista na otoku [10].

3.2. Ulazni podaci za otok Vis

Tablica 3. Tablični prikaz srednje dnevne temperature zraka (°C), Komiža 1995. – 2006.

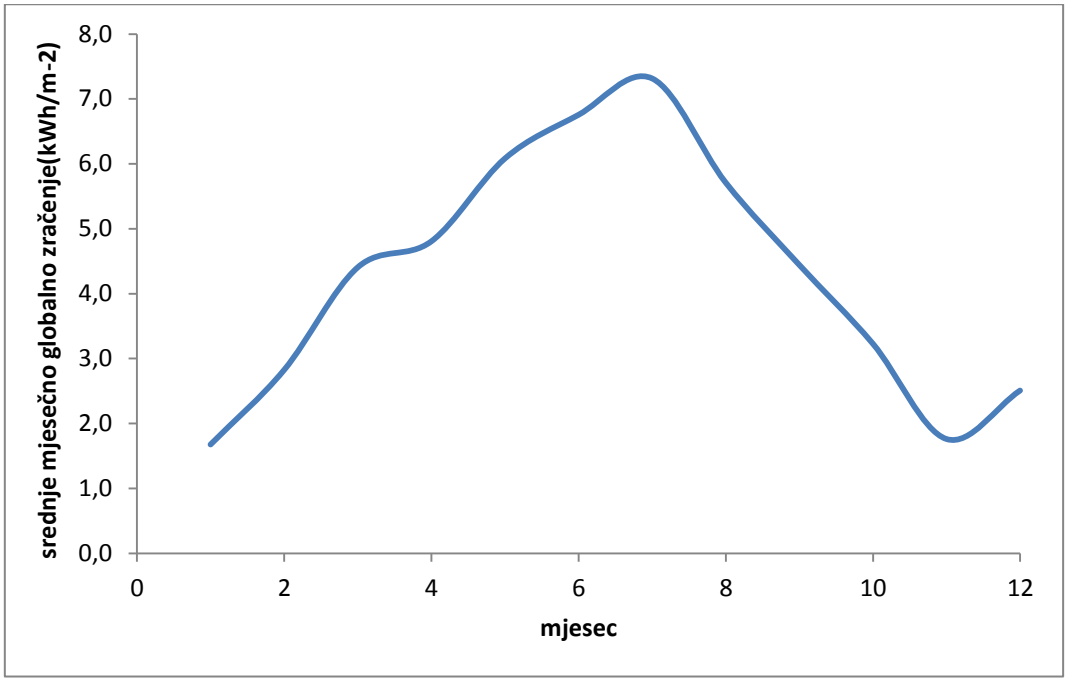
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	godina
1	11,7	8,5	9,5	13,4	17,2	20,6	26,1	26,2	22,8	19,8	17,6	12,2	
2	11,3	8,1	9,6	13,5	17,9	20,5	26,3	26,8	22,9	20,1	16,4	12,5	
3	11,3	9,8	10,8	14,3	18,4	20,7	26,8	26,4	23,0	20,5	15,9	12,7	
4	10,5	10,3	11,8	13,7	18,1	21,0	25,3	26,6	22,6	20,7	15,8	13,2	
5	10,2	9,2	11,0	13,5	17,6	21,7	25,8	26,1	22,7	20,1	15,5	12,7	
6	10,6	8,6	9,2	13,8	17,8	22,2	25,6	26,1	21,8	19,8	15,7	12,2	
7	10,5	9,2	9,7	12,6	17,8	22,9	26,6	26,1	22,2	20,3	15,2	10,7	
8	10,5	9,2	10,1	12,6	18,6	22,7	25,8	25,9	22,6	19,6	15,4	11,0	
9	10,8	9,6	10,5	12,8	18,5	23,5	24,5	26,4	22,2	19,8	14,7	12,0	
10	10,7	9,4	10,5	13,5	18,6	23,5	24,7	27,0	21,1	19,8	15,1	12,1	
11	10,7	9,2	10,3	13,6	18,7	24,1	24,6	27,1	21,9	20,1	14,9	11,9	
12	10,1	9,2	11,4	13,2	19,4	23,7	24,7	26,5	22,6	19,1	15,7	12,3	
13	9,5	9,6	11,9	13,2	18,8	23,3	25,4	25,6	22,3	19,0	14,6	11,9	
14	9,8	9,3	11,2	12,1	19,4	23,0	25,3	25,5	21,2	18,9	14,3	12,1	
15	8,7	9,0	11,0	13,4	19,0	23,7	25,6	25,3	20,9	18,6	14,6	12,0	
16	9,0	8,9	11,9	13,9	18,9	23,2	25,5	25,7	21,0	17,8	14,4	10,5	
17	9,8	9,4	11,8	14,2	19,1	23,9	24,6	25,8	21,2	16,9	14,9	10,5	
18	10,3	9,0	11,6	13,8	19,5	22,9	25,5	26,2	21,1	16,6	13,3	10,3	
19	10,2	9,9	11,8	14,6	19,9	23,8	25,9	26,1	20,8	17,3	11,9	10,5	
20	9,5	10,6	11,4	14,8	19,5	23,6	25,9	26,3	21,4	17,9	11,1	10,6	
21	10,3	10,5	11,2	15,2	19,6	24,5	25,5	25,3	20,9	18,8	11,1	9,9	
22	9,1	10,3	11,2	15,3	19,4	24,2	26,2	24,7	20,9	18,0	11,7	9,7	
23	8,9	10,1	10,9	15,3	20,0	24,1	26,5	25,3	20,9	17,6	12,0	9,4	
24	8,5	10,2	12,3	15,4	20,0	24,0	27,1	25,8	21,0	17,0	12,0	9,5	
25	8,4	9,8	13,1	15,5	19,8	23,9	26,5	25,4	20,4	16,9	11,8	11,0	
26	9,3	10,5	13,4	16,3	20,6	24,3	26,5	24,3	20,3	16,7	12,9	11,4	
27	9,0	9,6	13,2	16,4	21,6	24,8	27,1	24,7	19,9	16,5	13,4	10,6	
28	9,3	9,2	12,4	16,2	22,3	25,9	27,3	24,5	19,7	16,4	12,7	10,0	
29	9,4	9,3	12,3	16,6	21,4	26,4	26,3	23,8	19,9	17,3	12,5	10,0	
30	8,5		12,7	17,0	21,5	25,3	26,0	23,3	19,4	17,1	12,9	9,5	
31	8,5		13,1		20,9		26,1	22,9		17,1		10,3	
mjesec	**9,8**	**9,5**	**11,4**	**14,3**	**19,4**	**23,4**	**25,9**	**25,6**	**21,4**	**18,4**	**14,0**	**11,1**	**17,0**



Slika 24. Grafički prikaz srednje mjesečne temperature zraka (°C), Komiža 1995. – 2006.

Tablica 4. Grafički prikaz srednjeg dnevnog globalnog zračenja, (kWh/m^2)

koeficijenti												
S	9,410	10,440	11,900	13,380	14,700	15,410	15,110	14,000	12,560	11,070	9,810	9,130
a	0,187	0,271	0,236	0,235	0,285	0,239	0,300	0,192	0,222	0,214	0,240	0,712
b	0,669	0,486	0,589	0,545	0,463	0,544	0,430	0,552	0,439	0,569	0,513	0,153
G_0	3,700	5,205	7,325	9,478	11,040	11,720	11,380	10,100	8,167	5,983	4,146	3,271
dan												
1	1,61	2,48	4,30	5,17	5,48	6,29	7,18	6,27	4,76	3,92	1,87	2,57
2	1,57	2,78	3,41	4,96	6,03	7,24	7,03	6,67	4,51	3,76	2,02	2,61
3	1,85	2,72	3,99	5,04	6,34	7,13	6,80	6,49	4,64	3,34	2,26	2,55
4	1,95	2,37	4,39	5,49	6,04	7,23	6,74	6,53	4,43	3,25	2,20	2,57
5	2,25	2,59	4,11	5,40	5,70	6,89	7,11	6,54	4,00	3,10	2,14	2,52
6	1,73	2,81	4,57	5,20	5,92	6,31	6,87	6,15	4,62	3,14	1,63	2,55
7	1,51	3,10	4,08	5,86	6,27	7,25	6,47	6,26	4,10	3,46	1,79	2,58
8	1,35	2,99	4,11	5,17	6,66	6,98	6,71	6,21	4,21	2,98	2,17	2,57
9	1,49	2,58	3,64	5,07	5,94	7,18	7,48	6,45	4,24	3,38	2,21	2,46
10	1,55	2,93	4,40	4,45	6,82	6,98	7,13	6,38	4,17	3,17	1,83	2,45
11	1,43	2,62	4,19	4,46	5,88	6,45	6,90	6,18	4,62	3,51	2,03	2,51
12	1,62	2,77	4,24	5,25	6,60	6,99	7,43	5,98	4,31	3,44	1,87	2,53
13	1,75	2,90	3,88	5,36	6,93	6,49	7,63	6,34	4,00	3,74	1,93	2,53
14	1,77	2,86	4,57	4,87	6,53	7,03	7,54	6,34	4,10	3,25	2,01	2,48
15	1,94	2,56	3,76	5,25	6,43	7,25	7,41	6,45	4,33	3,27	1,85	2,45
16	2,13	2,58	3,87	4,45	6,31	6,81	7,62	6,32	3,92	3,63	1,54	2,53
17	1,79	2,89	4,72	5,17	6,32	6,81	7,33	6,53	3,68	3,71	2,04	2,42
18	1,65	3,47	4,36	5,36	6,02	6,96	7,59	6,25	3,89	3,21	2,11	2,55
19	1,78	2,91	4,42	6,21	5,99	6,49	7,43	5,77	4,17	3,21	1,74	2,56
20	1,90	3,08	4,17	5,35	5,97	6,80	7,45	5,94	4,33	2,85	2,10	2,48
21	1,51	3,00	4,51	5,61	6,34	7,37	7,75	5,59	4,17	3,03	1,81	2,47
22	1,72	2,74	4,58	5,47	6,36	6,43	7,82	6,07	4,37	3,16	1,76	2,60
23	1,67	2,71	3,98	5,41	6,31	7,28	7,25	6,75	4,04	3,47	1,59	2,53
24	1,59	2,82	4,16	5,28	6,70	7,49	6,69	6,65	4,13	2,75	1,81	2,56
25	2,00	2,68	4,22	5,54	6,51	7,05	6,91	5,91	3,95	3,53	1,81	2,48
26	2,09	3,19	4,41	5,35	6,72	7,42	7,10	6,04	3,91	3,33	1,84	2,49
27	1,96	2,81	4,69	4,69	6,88	7,60	7,63	5,97	4,13	3,31	1,63	2,45
28	1,79	3,01	4,16	3,96	6,42	7,23	7,18	5,69	4,09	3,29	1,78	2,48
29	1,81	3,17	4,61	5,22	6,41	6,81	7,10	5,70	4,27	2,89	1,93	2,44
30	1,82		4,43	4,44	7,12	7,22	7,12	5,68	4,13	2,69	1,65	2,48
31	1,75		4,52		6,68		7,45	5,15		2,54		2,45
	1,7	2,8	4,4	4,8	6,1	6,8	7,3	5,7	4,4	3,2	1,8	2,5
	1,70	2,8	4,40	4,8	6,10	6,8	7,30	5,70	4,40	3,20	1,80	2,50



Slika 25. Grafički prikaz srednjeg mjesečnog globalnog zračenja, (kWh/m^2)

U radu se postavlja moguće riješenje problema vodoopskrbe otoka Visa korištenjem tehnologije desalinacije uz pomoć solarne fotonaponske energije. U nastavku je prikaz (**tablica 5.**) desalinacijskih tehnologija i pripadajuće potrošnje električne energije.

Tablica 5. Tablični prikaz tehnologija desalinacije i potrošnje električne energije [1].

Tehnologija desalinacije	**MSF**	**MED**	**MVC**	**RO**
Električna energija (kWh/m^3)	4–6	1.5–2.5	7–12	3–5.5
Termalna energija (kWh/m^3)	50–110	60–110	-	-

U slučaju kada se koristi fotonaponska električna energija pojavljuje se problem raspoložive energije za rad sustava pumpi jer je promjenjiva tijekom cijele godine, a tijekom dana ovisi o dnevnoj insolaciji. U tom slučaju, projektant mora odrediti snagu fotonaponskog generatora (Pel) koja će osigurati dovoljno električne energije za pumpanje vode u spremnik tijekom cijelog planiranog razdoblja, u skladu sa dnevnom potrošnjom vode u naselju. U računu je uzeta potrošnja vode na otoku Visu iz 2010. g. koja je iznosila 317 636 m^3. Da bi se za konkretni slučaj podmirila potrošnja vode iz zadane godine, podešavana je površina fotonaponskog sustava u programu *Microsoft Excel*. U računu je korištena jednadžba [Glasnovic et.al. 2009] o kojoj će u nastavku biti više riječi.

Ukupna dnevna hidraulička energija koju fotonaponsko postrojenje može proizvesti na izlazu pumpne jedinice može se dobiti jednadžbom:

$$E_{H(MP)} = \frac{2{,}72 \cdot Q_{FN} \cdot H_{TE}}{1000} \quad (1)$$

Gdje je:

$Q_{FN}(\frac{m^3}{dan})$ – prosječni protok vode između donjeg i gornjeg spremnika

$H_{TE}(m)$ – razlika visina u donjem i gornjem spremniku + gubitci

Standardna jednadžba za izračunavanje potrebne snage fotonaponskog (FN) generatora, Pel (W) u standardnim uvjetima, koja pokazuje vezu između izlazne hidrauličke i ulazne energije sunčevog zračenja izgleda ovako:

$$Pel = \frac{1000}{f_m \cdot [1-\alpha_c \cdot (T_{ćelije}-T_0)] \cdot \eta_{MP}} \cdot \frac{E_H}{E_S}(W) \quad (2)$$

Gdje je:

E_H $(\frac{kWh}{dan})$ – izlazna hidraulička energija pumpnog sustava

Eel $(\frac{kWh}{dan})$ – električna energija na ulazu pumpne jedinice

f_m – faktor podudaranja opterećenja za karakteristike FN generatora

α_c $(°C^{-1})$ – temperaturni koeficijent ćelije

$T_0(°C)$ – referentna temperatura FN generatora (25°C)

η_{MP} – učinkovitost motorne pumpe

$E_S(\frac{kWh}{m^2 dan})$ – dnevno zračenje na horizontalnu ravninu

Ako se u jednadžbu (2) uvrsti jednadžba (1) dobije se konačna jednadžba koja je korištena u izračunu, a glasi:

$$Pel = \frac{2{,}72 \cdot H_{TE}}{f_m \cdot [1-\alpha_c \cdot (T_{cell}-T_0)] \cdot \eta_{MP} \cdot E_S} \cdot Q_{FN} \quad (3)[11]$$

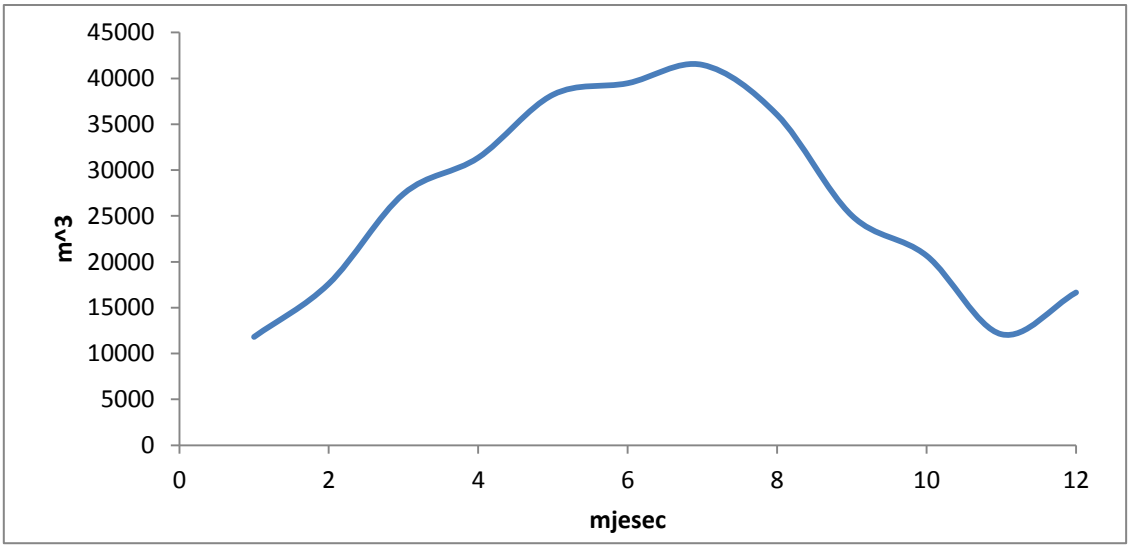
4. REZULTATI

Proračun je napravljen za svaki dan u godini te za svaku od navedenih metoda iz tablice 5.

- Rezultati za metodu višestupnjevite flash destilacije (MSF) vidljivi su u tablici 6. te na slici 26.
- Rezulati za metodu višestruke destilacije (MED) vidljivi su u tablici 7. te na slici 27.
- Rezultati za metodu mehaničke kompresije pare (MVC) vidljivi su u tablici 8. te na slici 28.
- Rezultati za metodu reverzne osmoze (RO) vidljivi su u tablici 9. te na slici 29.

Tablica 6. Tablični prikaz rezultata dobiven korištenjem MSF desalinacijskog postrojenja

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	347	537	903	1055	1092	1216	1329	1176	930	786	391	545	
2	340	601	726	1014	1187	1382	1304	1239	883	755	422	553	
3	398	584	837	1025	1240	1361	1261	1212	908	674	474	539	
4	422	508	913	1113	1187	1375	1262	1218	871	656	462	543	
5	485	557	861	1098	1129	1313	1320	1222	790	629	449	535	
6	375	606	959	1058	1167	1210	1282	1156	910	637	344	541	
7	328	664	859	1189	1231	1365	1208	1175	812	697	377	551	
8	295	640	864	1059	1293	1321	1253	1167	829	607	456	549	
9	324	554	769	1038	1168	1349	1391	1205	838	684	466	525	
10	336	627	920	915	1323	1316	1332	1190	829	643	387	522	
11	309	565	879	918	1154	1220	1294	1155	909	707	428	534	
12	352	595	884	1071	1278	1316	1382	1125	849	698	393	538	
13	380	620	810	1091	1340	1233	1409	1192	792	755	408	539	
14	384	615	950	1004	1267	1327	1395	1193	816	661	426	528	
15	422	551	791	1069	1252	1359	1371	1212	859	667	391	522	
16	462	556	808	914	1230	1288	1406	1187	783	740	328	542	
17	388	620	976	1050	1232	1283	1366	1222	735	759	430	519	
18	358	740	908	1087	1175	1315	1401	1173	776	662	449	547	
19	385	621	917	1240	1167	1229	1373	1091	830	660	375	548	
20	413	655	870	1081	1165	1284	1375	1119	857	587	452	531	
21	328	638	938	1126	1232	1373	1427	1065	829	619	391	532	
22	375	586	951	1099	1236	1216	1433	1151	867	647	378	558	
23	365	580	836	1088	1224	1361	1338	1264	805	709	343	545	
24	348	603	864	1064	1292	1396	1241	1243	822	569	389	552	
25	435	575	873	1111	1260	1325	1281	1119	791	722	388	530	
26	453	677	909	1071	1291	1383	1313	1148	782	684	393	531	
27	426	602	963	947	1311	1408	1396	1134	826	681	349	524	
28	390	644	865	810	1228	1339	1321	1087	819	678	380	532	
29	394	678	953	1047	1232	1267	1315	1092	852	596	413	525	
30	396	0	915	898	1354	1342	1321	1091	828	557	354	534	
31	382	0	930	0	1282	0	1374	1000	0	528	0	526	
	11794	17598	27400	31348	38217	39473	41473	36025	25025	20654	12088	16640	317735

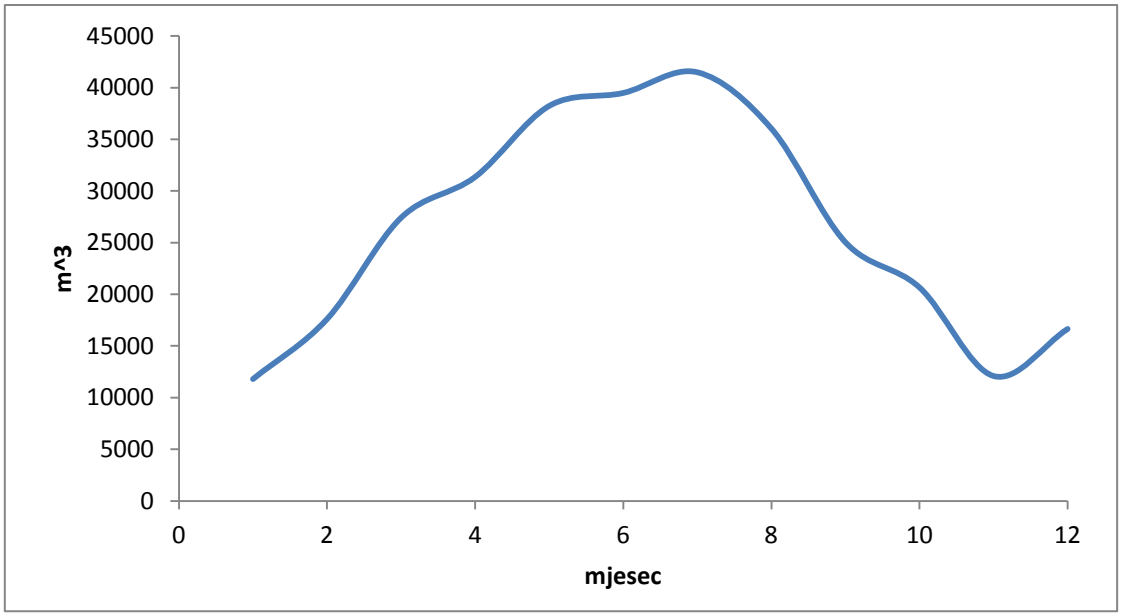


Slika 26. Grafički prikaz rezultata dobiven korištenjem MSF desalinacijskog postrojenja

Kada bi se koristilo MSF desalinacijsko postrojenje da pokrije godišnju potrošnju vode otoka Visa potrebna površina fotonaponskog sustava iznosila bi 7163 m^2, a količina pitke vode koja bi se proizvela iznosila bi 317 735 m^3.

Tablica 7. Tablični prikaz rezultata dobiven korištenjem MED desalinacijskog postrojenja

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	347	537	903	1055	1092	1216	1329	1176	930	786	391	545	
2	340	601	726	1014	1187	1381	1304	1239	883	755	422	553	
3	398	584	837	1025	1240	1361	1261	1212	908	674	474	539	
4	422	508	913	1113	1187	1375	1261	1218	871	656	462	543	
5	485	557	861	1097	1129	1313	1320	1222	790	629	449	535	
6	375	606	959	1057	1167	1209	1282	1156	910	637	344	541	
7	328	664	859	1189	1231	1365	1208	1175	812	697	377	551	
8	295	640	864	1059	1293	1321	1253	1167	829	607	456	549	
9	324	554	769	1038	1168	1349	1391	1205	838	684	466	525	
10	336	627	920	915	1323	1316	1332	1190	829	643	387	522	
11	309	565	879	918	1154	1220	1293	1155	909	707	428	534	
12	352	595	884	1071	1277	1316	1382	1125	849	698	393	538	
13	380	620	810	1091	1340	1232	1409	1192	792	755	408	539	
14	384	615	950	1004	1267	1327	1395	1193	816	661	426	528	
15	422	551	791	1068	1252	1359	1371	1212	859	667	391	522	
16	462	556	808	914	1230	1288	1406	1187	783	740	328	541	
17	388	620	976	1050	1232	1283	1366	1222	735	759	430	519	
18	358	740	908	1087	1175	1315	1401	1173	776	662	449	547	
19	385	621	917	1240	1167	1229	1373	1091	830	660	375	548	
20	413	655	870	1081	1165	1284	1375	1119	857	587	452	531	
21	328	638	938	1125	1232	1373	1427	1064	829	619	391	531	
22	375	586	951	1099	1236	1216	1433	1151	867	647	378	558	
23	365	580	836	1088	1224	1361	1338	1264	805	709	343	545	
24	348	603	864	1064	1292	1396	1240	1243	822	569	389	552	
25	435	575	873	1111	1260	1324	1281	1119	790	722	388	530	
26	453	677	908	1071	1291	1383	1313	1148	782	684	393	531	
27	426	602	963	947	1311	1408	1395	1134	826	681	349	524	
28	390	644	864	810	1228	1339	1321	1087	819	678	380	532	
29	394	678	953	1047	1232	1266	1315	1092	851	596	413	525	
30	396	0	915	898	1354	1342	1321	1091	828	556	354	534	
31	382	0	930	0	1282	0	1374	1000	0	527	0	526	
	11793	17597	27399	31346	38215	39470	41470	36022	25023	20653	12087	16639	317713

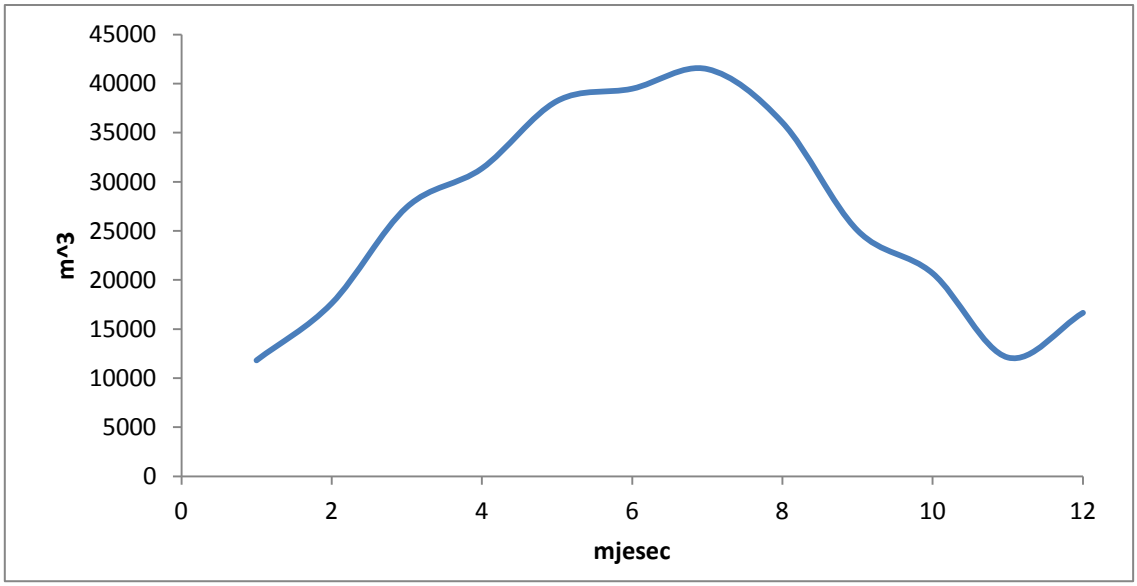


Slika 27. Grafički prikaz rezultata dobiven korištenjem MED desalinacijskog postrojenja

Kada bi se koristilo MED desalinacijsko postrojenje da pokrije godišnju potrošnju vode otoka Visa bila bi potrebna površina od 2 865 m^2, a količina pitke vode koja bi se proizvela iznosila bi 317 713 m^3.

Tablica 8. Tablični prikaz rezultata dobiven korištenjem MVC desalinacijskog postrojenja

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	347	537	904	1055	1092	1216	1329	1176	930	787	391	545	
2	340	601	726	1015	1187	1382	1304	1240	883	756	423	554	
3	398	584	837	1025	1240	1362	1262	1212	908	675	474	540	
4	422	508	913	1114	1187	1376	1262	1219	871	656	462	543	
5	485	557	862	1098	1129	1313	1321	1223	790	629	449	535	
6	375	606	959	1058	1168	1210	1283	1156	910	637	345	541	
7	328	664	860	1189	1231	1365	1208	1176	812	697	378	551	
8	295	640	865	1059	1294	1321	1253	1168	829	607	456	549	
9	324	555	769	1039	1168	1350	1392	1206	838	684	467	525	
10	336	627	920	915	1324	1317	1332	1191	830	644	388	522	
11	310	565	879	918	1154	1220	1294	1156	909	707	429	534	
12	353	595	884	1071	1278	1317	1383	1126	849	698	393	538	
13	380	620	810	1092	1340	1233	1409	1193	792	756	408	539	
14	384	615	951	1004	1267	1328	1396	1193	816	661	426	528	
15	422	552	791	1069	1253	1360	1372	1213	859	667	391	522	
16	462	556	809	914	1231	1289	1407	1187	783	740	328	542	
17	388	620	976	1050	1232	1284	1367	1223	735	759	430	520	
18	358	740	908	1088	1175	1316	1401	1174	777	663	450	547	
19	385	621	917	1240	1168	1230	1374	1091	830	660	375	548	
20	413	655	870	1082	1166	1285	1376	1119	857	587	452	531	
21	328	638	938	1126	1232	1374	1427	1065	829	619	391	532	
22	376	587	952	1100	1237	1217	1433	1151	867	647	378	558	
23	365	580	836	1089	1224	1361	1338	1265	806	710	343	545	
24	348	603	865	1064	1292	1397	1241	1243	822	569	389	552	
25	435	575	874	1112	1261	1325	1282	1119	791	722	388	531	
26	453	677	909	1072	1292	1383	1314	1148	783	684	393	531	
27	426	602	963	948	1311	1409	1396	1134	826	681	349	524	
28	390	644	865	810	1228	1339	1321	1087	820	678	380	532	
29	394	678	953	1047	1232	1267	1316	1092	852	596	413	525	
30	396	0	915	898	1354	1342	1321	1092	828	557	354	534	
31	382	0	931	0	1282	0	1375	1001	0	528	0	526	
	11798	17605	27411	31360	38232	39487	41489	36038	25034	20662	12092	16646	317853

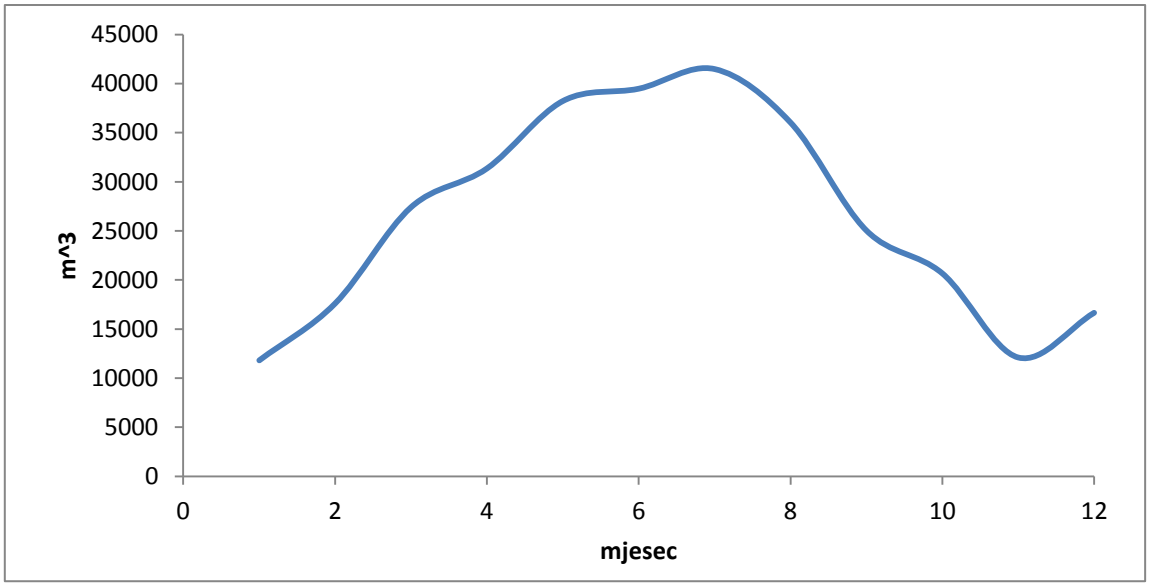


Slika 28. Grafički prikaz rezultata dobiven korištenjem MVC desalinacijskog postrojenja

Kada bi se koristilo MVC desalinacijsko postrojenje da pokrije godišnju potrošnju vode otoka Visa bila bi potrebna površina od 13 610 m^2, a količina pitke vode koja bi se proizvela iznosila bi 317 853m^3.

Tablica 9. Tablični prikaz rezultata dobiven korištenjem RO desalinacijskog postrojenja

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	347	537	903	1055	1092	1216	1329	1176	930	786	391	545	
2	340	601	726	1014	1187	1381	1304	1239	883	755	422	553	
3	398	584	837	1025	1240	1361	1261	1212	908	674	474	539	
4	422	508	913	1113	1187	1375	1261	1218	871	656	462	543	
5	485	557	861	1097	1129	1313	1320	1222	790	629	449	535	
6	375	606	959	1057	1167	1209	1282	1156	910	637	344	541	
7	328	664	859	1189	1231	1365	1208	1175	812	697	377	551	
8	295	640	864	1059	1293	1321	1253	1167	829	607	456	549	
9	324	554	769	1038	1168	1349	1391	1205	838	684	466	525	
10	336	627	920	915	1323	1316	1332	1190	829	643	387	522	
11	309	565	879	918	1154	1220	1293	1155	909	707	428	534	
12	352	595	884	1071	1277	1316	1382	1125	849	698	393	538	
13	380	620	810	1091	1340	1232	1409	1192	792	755	408	539	
14	384	615	950	1004	1267	1327	1395	1193	816	661	426	528	
15	422	551	791	1068	1252	1359	1371	1212	859	667	391	522	
16	462	556	808	914	1230	1288	1406	1187	783	740	328	541	
17	388	620	976	1050	1232	1283	1366	1222	735	759	430	519	
18	358	740	908	1087	1175	1315	1401	1173	776	662	449	547	
19	385	621	917	1240	1167	1229	1373	1091	830	660	375	548	
20	413	655	870	1081	1165	1284	1375	1119	857	587	452	531	
21	328	638	938	1125	1232	1373	1427	1064	829	619	391	531	
22	375	586	951	1099	1236	1216	1433	1151	867	647	378	558	
23	365	580	836	1088	1224	1361	1338	1264	805	709	343	545	
24	348	603	864	1064	1292	1396	1240	1243	822	569	389	552	
25	435	575	873	1111	1260	1324	1281	1119	790	722	388	530	
26	453	677	908	1071	1291	1383	1313	1148	782	684	393	531	
27	426	602	963	947	1311	1408	1395	1134	826	681	349	524	
28	390	644	864	810	1228	1339	1321	1087	819	678	380	532	
29	394	678	953	1047	1232	1266	1315	1092	851	596	413	525	
30	396	0	915	898	1354	1342	1321	1091	828	556	354	534	
31	382	0	930	0	1282	0	1374	1000	0	527	0	526	
	11793	17597	27399	31346	38215	39470	41470	36022	25023	20653	12087	16639	317714



Slika 29. Grafički prikaz rezultata dobiven korištenjem RO desalinacijskog postrojenja

Kada bi se koristilo RO desalinacijsko postrojenje da pokrije godišnju potrošnju vode otoka Visa bila bi potrebna površina od 6 088 m^2, a količina pitke vode koja bi se proizvela iznosila bi 317 714 m^3.

5. RASPRAVA

Iz priloženih rezultata je vidljivo da je za metodu višestupnjevite flash destilacije (MSF) dobivena potrebna površina fotonaponskih kolektora od 7 163 m^2; za metodu višestruke destilacije (MED) 2 865 m^2; za metodu mehaničke kopresije pare (MVC) 13 610 m^2 i za metodu reverzne osmoze (RO) ona iznosi 6 088 m^2. Dakle, evidentno je da je za metodu višestruke destilacije potrebno najmanje fotonaponskih kolektora jer je ista najefikasnija po pitanju potrošnje električne energije; metoda mehaničke kompresije pare je po tom pitanju najmanje efikasna jer troši 7 do 12 kWh/m^3 električne energije. Po efikasnosti MED metodu slijedi metoda reverzne osmoze te metoda višestruke flash destilacije. U slučaju najefikasnije metode potrebno je i najmanje ulaganje u fotonaponske kolektore te su na taj način smanjeni početni troškovi. Međutim, za pravilnu valorizaciju određene metode, nije dovoljno razmatrati samo njenu efikasnost po pitanju električne energije, odnosno troškove ulaganja u fotonaponski sustav, nego i troškove, odnosno potrebna ulaganja u određenu metodu desalinacije.

Tablica 10. Troškovi desalinacijskih postrojenja korištenih u radu [12].

	MSF	**MED**	**MVC**	**RO**
Specifični investicijski troškovi ($/m^3/dan$)	1 200 - 1 500	900 – 1 000	950 – 1 000	700 - 900
Ukupni trošak ($/m^3$)	1,10 – 1,25	0,75 – 0,85	0,87 – 0,95	0,68 – 0,82

Procjena najpovoljnije metode će dakle, ovisiti o ukupnim troškovima za sustav (fotonaponski sustav + metoda desalinacije). U kapitalne troškove spadaju direktni (cijena opreme, zemljište, cijena konstrukcije i predtretman vode) i indirektni troškovi (interes, osiguranje). Kako je vidljivo iz tablice 10. najmanji ukupni trošak zahtijeva metoda reverzne osmoze, ali ako se uzmu u obzir i troškovi fotonaponskog sustava prednost ima MED metoda [12].

Za konkretni slučaj nije razmatarna primjena energije vjetra jer je ona izrazito stohastična i u tom smislu ne postoji formula koja bi povezivala izlaznu količinu energije, proizvedenu pitku vodu i ulaznu energiju vjetra.

6. ZAKLJUČAK

Radom su prikazane tehnologije desalinacije korištenjem solarne i vjetro energije. Dane su metode višestupnjevite flash destilacije (MSF), višestruke destilacije (MED), mehaničke kompresije pare (MVC) i reverzne osmoze (RO). Termalni se procesi (MSF, MED, MVC) koriste za tretiranje vode višeg saliniteta gdje su potrebni veliki volumeni pitke vode te na lokacijama gdje su cijene energije niske ili gdje je dostupna otpadna toplina. Membranski procesi se s druge strane više koriste za tretiranje bočatih voda. Primjena navedenih tehnologija desalinacije korištenjem solarnog zračenja dana je za slučaj otoka Visa. Dobiveni rezultati pokazuju da je metoda višestruke destilacije najpovoljnija jer su troškovi ulaganja u fotonaponske kolektore i desalinacijski sustav ukupno najmanji. Pokazuje se da primjena obnovljivih izvora energije za pogon sustava desalinacije postaje iz dana u dan sve ekonomičnija, a obzirom na klimatske uvjete, evidentno je da će doći do sve bržeg tehnološkog razvoja ovakvih tehnologija te posljedično pad njihove ukupne cijene i sve veće primjene.

7. POPIS SIMBOLA

$Q_{FN}(\frac{m^3}{dan})$ – prosječni protok vode između donjeg i gornjeg spremnika

$H_{TE}(m)$ – razlika visina u donjem i gornjem spremniku + gubitci

E_H $(\frac{kWh}{dan})$ – izlazna hidraulička energija pumpnog sustava

Eel $(\frac{kWh}{dan})$ – električna energija na ulazu pumpne jedinice

f_m – faktor podudaranja opterećenja za karakteristike FN generatora

α_c $(°C^{-1})$ – temperaturni koeficijent ćelije

$T_0(°C)$ – referentna temperatura FN generatora (25°C)

η_{MP} – učinkovitost motorne pumpe

$E_S(\frac{kWh}{m^2 dan})$ – dnevno zračenje na horizontalnu ravninu

8. LITERATURA

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Desalination (pristup dokumentu: 24.03.2015.)
2. Al-Karaghouli A., Renne D., Kazmerski L.L., Renewable and Sustainable Energy Reviews: Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions.// *Elsevier*, 11 May 2008., str. 2397-2407.
3. Plantak S., Fabac S., *Sustavi za desalinizaciju morske vode*, http://www.gimnazija-vnazora-zd.skole.hr/SUSTAV_ZA_DESALINIZACIJU.pdf (pristup: 21.05.2015.)
4. Iveković H., Kunst B., Ivić S., *Desalinizacija*, Zagreb, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 1995.
5. Bratić S., *Diplomski rad*, http://powerlab.fsb.hr/neven/pdf/SilvioBraticDiplomski.pdf (pristup: 21.05.2015.)
6. Tzen E., *Desalination Technologies*, http://www.cres.gr///pdf/PRODES/DESALINATION_GENERAL_1.pdf (pristup 15.06.2015.)
7. http://www.sidem-desalination.com/en/Process/MSF/ (pristup: 1.7.2015.)
8. Al-Karaghouli A., Kazmerski L.L., Renewable Energy Opportunities in Water Desalination // *Desalination, Trends and Technologies* / Schorr M., Rijeka, InTech, 2011., str. 149-179.
9. Eltawil Mohamed A., Zhengming Z., Yuan L., Renewable and Sustainable Energy Reviews, A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems. //*Elsevier*, 10 June 2009., str.2253-2255.
10. Carević T., Sustavni pristup vodoopskrbi otoka Visa// Hrvatska vodoprivreda, Zagreb, broj 199/ godište XX., lipanj /kolovoz 2012., str. 8-13.
11. Glasnovic Z., Margeta J., Renewable Energy, The features of sustainable Solar Hydroelectric Power Plant. //*Elsevier*, 3 February 2009., str. 1745.
12. Banat F., Economic and technical assessment of desalination technologies, Jordan University of Science and Technology Jordan, Geneva 6-8 June, 2007., http://www.desline.com/Geneva/Banat.pdf (pristup: 28.08.2015.)

9. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 14.prosinca.1993. u Puli, gdje sam 2008. g. završila osnovnu školu Vidikovac. Srednju školu sam pohađala u Gimnaziji Pula i po završetku 2012. g. upisujem preddiplomski studij na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije u Zagrebu, smjer kemijsko inženjerstvo.