

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Душан С. Минић

**КОРИШЋЕЊЕ ОБНОВЉИВИХ ИЗВОРА ЕНЕРГИЈЕ ЗА
ДОБИЈАЊЕ ВОДЕ ЗА ПИЋЕ
МАСТЕР РАД**

Крагујевац, 2017.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Технологије и постројења за пречишћавање воде и ваздуха

Број индекса: 343/2014

Душан С. Минић

КОРИШЋЕЊЕ ОБНОВЉИВИХ ИЗВОРА ЕНЕРГИЈЕ ЗА ДОБИЈАЊЕ ВОДЕ ЗА ПИЋЕ

МАСТЕР РАД

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Вања Шуштершич, ред.проф. - ментор

2.

Датум одбране: _____

3.

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да опише начине за десалинизацију морске воде коришћењем обновљивих извора енергије чиме би се смањио негативан утицај на животну средину као и на несташицу воде у Свету. Да изврши детаљан опис процеса за сваки наведени извор енергије и да опише конкретне примере који су имплементирани у пракси. На крају, кандидат треба да донесе закључке на основу описа система, који су највише исплативи и енергетски најефикаснији.

Препоручена литература:

1. Jochen Bundschuh, Jan Hoinkis – Renewable Energy Applications for Freshwater Production, Taylor & Francis Group, London, UK, 2012
2. Миодраг Станојевић – Третман пијаће воде, Грађевинска књига, Београд, Србија, 2009
3. Mattheus G, Hacene M, Noredine G – Water Desalination Using Geothermal Energy, Alfaisal University, Riyadh, 2010

ментор:

Др Вања Шуштершич, ред. проф.

Крагујевац, 2017.

Резиме:

У оквиру овог мастер рада описани су начини десалинизације морске воде за добијање воде за пиће коришћењем обновљивих извора енергије. Дат је детаљан опис процеса десалинизације коришћењем соларне енергије, енергије ветра и геотермалне енергије, као и студије које су рађене на конкретним случајевима. На крају, на основу описа система, донесени су закључци који су системи највише исплативи и енергетски најефикаснији.

Кључне речи:

Десалинизација, Морска вода, Соларна енергија, Енергија ветра, Геотермална енергија

Abstract:

The ways of desalination see water for getting drinking water by using renewable energy have been presented in this MSc. thesis. A full description of desalination processes by using solar energy, wind energy, geothermal energy and also studies that have been done on specific cases. Finally, based on the system description, conclusions have been made on the most cost-effective and energetically most effective systems.

Keywords:

Desalination, Sea water, Solar energy, Wind energy, Geothermal energy

Садржај

1 Увод.....	1
2 Природа воде и њене основне карактеристике	1
2.1 Водени ресурси на нашој планети.....	4
2.2 Својства воде	8
2.2.1 Тврдоћа	8
2.2.2 pH вредност	8
2.2.3 Алкалност	9
2.2.4 Киселост.....	10
2.2.5 Корозија	11
2.2.6 Стабилност воде.....	12
2.2.7 Растворени гасови.....	14
2.2.8 Минерали и проводљивост	15
2.2.9 Чврсте материје.....	16
2.2.10 Органске материје у води.....	16
2.3 Проблем везан око воде	18
2.4 Проблем везан за енергију.....	21
3 Мембранска сепарација.....	24
3.1 Микрофилтрација.....	25
3.2 Ултрафилтрација.....	26
3.3 Реверзна осмоза	26
3.4 Дијализа.....	29
3.5 Електродијализа	29
3.6 Вакуумска десалинизација	30
4 Коришћење пасивних соларних система за добијање воде за пиће.....	31
4.1 Упознавање са пасивним соларним системима.....	31
4.1.1 Историја соларних пецара.....	32
4.2 Пасивне соларне пецаре.....	34
4.3 Перформансе соларних пецара	36
5 Десалинизација воде уз помоћ енергије Сунца.....	38
5.1 Имплементација PV-RO система	39
5.2 Опис технолошког концепта.....	44

5.3 Техничке карактеристике селективних оперативних система	48
5.4 Економска и социјална питања.....	56
6 Десалинизација воде уз помоћ енергије ветра	65
6.1 Енегија ветра за производњу слатке воде	70
6.2 Ветродесалинизацијско тржиште.....	84
7 Десалинизација коришћењем геотермалне енергије.....	84
7.1 Геотермална енергија и десалинизација	86
7.2 Студије случаја	87
7.3 Разматрање утицаја на животну средину и одрживи развој	93
7.4 Тржишни потенцијал, препреке за развој и ризик управљања	96
8 Закључак	97
9 Литература.....	99

1 Увод

Једна од најбитнијих ствари за развој човечанства јесте приступачност довољној количини воде као и њен квалитет. Међутим, резерве пијаће воде се суочавају са све већим проблемима услед загађења и превеликог експлоатисања. Све већа потреба за водом за пиће захтева све више извора воде који нису погодни за пиће, иригацију или за различите потребе без претходног третмана. Као примери третмана се могу навести десалинизација морске или високо минералне подземне воде или третман воде која садржи непожељне елементе као што су арсен или други токсини. Комунална и индустријска преостала вода, након третмана се може користити као извор свеже воде или за вештачко пуњење залиха подземних издани. Такви третмани обично захтевају енергију, још један елемент који је у недостатку, поготово кад су у питању конвенционални извори енергије као што су угљ, нафта и природни гас. Одредба о одрживости слатких вода захтева економски и еколошко погодна енергетска решења. Одредба о одржању оба елемента је од суштинске важности у 21. веку јер су они суштински повезани са социјалним и економским развојем.

Одрживост има неколико аспеката. Она не подразумева само заштиту ресурса воде од прекомерног експлоатисања и загађивања већ у ширем смислу подразумева и методе одрживе производње слатке воде. Ово подразумева методе које су економски поуздане и еколошки прихватљиве, тј. оне засноване на одрживим енергетским решењима, као што су коришћење обновљивих извора енергије или енергетски ефикасне методе ниске емисије угљеника, које помажу ублажавању глобалних климатских промена.

Повећавањем проблема водених ресурса, и потреба бољег процењивања чистих енергетских ресурса, захтева развијање и примену софистицираних алата и технологија. У много случајева, постојеће конвенционалне технологије за прераду воде, које су осмишљене за конвенционалне енергетске ресурсе, могу се прилагодити раду уз помоћ обновљивих извора енергије и могу се модификовати тако да буду енергетски ефикасније.

2 Природа воде и њене основне карактеристике

Хидросфера, водени омотач Земље, је сложен динамички систем, у коме се у процесу кружног кретања вода непрекидно губи, али и ствара. Пошто је хидросфера у интеракцији са осталим сферама – атмосфером, литосфером и биосфером, у њима се одвија интезивно кружење. У току године са Земљине површине испари под утицајем Сунчеве енергије око $577\,000\text{ km}^3$ воде. Кондензацијом водене паре и излучивањем у облику падавина, та количина воде се враћа на Земљу. При томе вода стално улази у састав живе органске материје и из ње се ослобађа. У овом кружењу учествује око 60% укупне биолошке воде. Може се закључити да у процесу кружења учествује вода у свим облицима појављивања на Земљи: слободна, атмосферска, биолошка, као и она која је физички везана у Земљиној кори

и омотачу језгра. Ова последња кружи кроз многе геофизичке и геохемијске процесе, при којима се ослобађа из Земљине унутрашњости и поново везује у стенама. Највећи део који се ослобађа из омотача језгра одлази на попуњавање хидросфере, док се мањи део акумулише у стенама Земљине коре. Води у Светском мору потребно је 2320 година да би се једном обновила. Вода у речним коритима се у просеку обнавља сваких 16 дана, а биолошка вода сваких неколико часова.

Хидросфера је стара између 3,5 и 4 милијарде година. Она је створена током првих неколико стотина милиона година постајања Земље и потицала је из омотача Земљиног језгра, где су се налазије велике залихе везане воде. Процес акумулације хидросфере је био веома спор, јер се дегазација омотача језгра кроз процепе у Земљиној кори одвијала споро. Почетком археика, односно пре 3,2 милијарде година, образовано је 90% запремине хидросфере, а своју садашњу величину Светско море је достигло тек почетком мезозоика, пре 200 милиона година.

Први, најстарији, океан имао је минерализовану воду и био је без живих бића. За наставак живота послужило је обиље органске материје растворене у морској води. Због одсуства слободног раствореног кисеоника постојали су само једноставни хетеротрофни организми. Мада су биолошки процеси били примитивни, њихове животне делатности су почеле да утичу на формирање природе океана. Они су квалитативно мењали хемијски састав атмосфере и воде и били материјал за образовање муља на дну океана. Организми са хлорофилним апаратом су били способни да користе неорганске материје и уз помоћ светлости сами производе храну за себе. Уједно они су служили као храна хетеротрофним организмима. Првобитна средина са преовлађујућим угљенидиоксидом мења се у оксидациону у којој преовладава кисеоник. Тако је почела ера развитка на Земљи.

Живот се, дакле, зачео у океану и одатле проширио на копно. И данас је океан идеална средина за живот и развитак организама: богат је кисеоником и неопходним материјама, не подлеже суштинским променама својих хемијских и физичких особина значајних за живот и садржи велике количине биогених елемената. У њему је регистровано преко 200 000 врста биљака и животиња, од око 250 000 колико их је у целој хидросфери. Међутим, океан треба схватити као неистражено подручје које стално доноси нова открића.

Три четвртине површине Земље је прекривено водом. Живот настаје и опстаје захваљујући води. Комплетан биљни, животињски, људски и свет микроорганизама је заснован на употреби воде. Другим речима, вода је основ живота.

Вода је на површини Земље, коју прекрива са три четвртине њене укупне вредности, најчешће минерална. Она је саставни део хидросфере. Њена запремина се процењује на 1 370 милиона кубних километара, при чему се количина између 500 000 и једног милиона кубних километара рачуна као слатка вода распоређена на реке, језера и подземну воду. Запремина поларних ледених капа је заступљена са 25 милиона кубних километара слатке воде. Коначно, у атмосфери се налази око 50 000 кубних километара воде у облику паре и

облака. Годишње испаравање се процењује на око 500 000 кубних километара а количина падавина на континенту је прорачуната на 120 000 кубних километара годишње.

Вода је главна компонента живих материја. Процењује се да она у просеку чини око 80% њихове грађе. Код крупнијих животиња процентуални садржај воде је између 60 и 70%. У морским организмима, као у случају медуза и алги, ове пропорције достижу екстремних 98%. Са друге стране, бактерије у стању спорулације или заустављене анимације, остају издржљиве, како су показала искуства, на опадање садржаја воде и до 50%.

Према томе, вода је пре свега симбол биолошког живота.

Вода је услов живота на нашој планети и самим тим најдрагоценији природни ресурс. Једна стара пословица каже: „Тамо где је вода, тамо је живот“. Она чини до 90% масе биљака, око 75% масе животиња и улази у састав човековог тела са око 65%. Сталним мешањем и прерасподељивањем, вода учествује у свим животним процесима који се догађају у човековом организму и утиче на здравље и нормалну активност људи. Њена улога је нарочито значајна у следећим процесима:

- вода преноси хранљиве материје до ћелија
- врши размену материја
- учествује у стварању крви, лимфе, плазме и ткивне течности
- улази у састав појединих органа
- одстрањује штетне продукте из организма који се ослобађају преко бубрега, плућа, жлезда и црева
- омогућује варење хране
- учествује у хемијским и ферментацијским процесима
- испаравањем и извлачењем преко коже и дисајних органа учествује у терморегулацији
- има улогу растварача свих материја које се налазе у крви

Да би се одржало нормално функционисање организама, биланс воде у човековом телу не сме да се наруши. Биланс се утврђује према дневним потребама за водом, које не зависе од природних, пре свега климатских услова и активности појединца. Тако оне у умереном климатском појасу при уобичајеној физичкој активности износе од 2,5 до 3 литара. Уколико је дневна количина унете воде у организам 1,5 литара долази до почетне дехидратације организма, а неуношењем 4,2 литара течности у периоду 2 до 4 дана проузрокује се дехидрација, док неуношењем од 5 до 10 литара течности недељно доводи до јаке дехидратације са психичким поремећајима.

Пошто вода обезбеђује живот, најстарије људске цивилизације настајале су поред воде у долинама великих река. Оне су им обезбеђивале воду за пиће и храну, било непосредно преко риболова или посредно кроз пољопривредну производњу. Људи старог века схватили су вредност воде и њену моћ. Они су је обожавали и веровали у бога вода. С друге стране, несташица воде је била један од главних фактора пада старих цивилизација, као што су Ур у Месопотамији и Мохавеу у сливу Инда. У почетку вода је условљавала

размештај становништва, а касније, када у све већем обиму постаје фактор производње, условљава настанак лучких, трговачких и индустријских градова. Тако се највећи градови на свету налазе на морским обалама (Сао Паоло, Шангај, Њујорк, Токио, Џакарта) и на обалама великих река (Пекинг, Париз, Москва, Каиро, Калкута) или обалама језера (Чикаго, Торонто).

Вода је не само најважнији услов постојања биосфере, него и посредно утиче на њену егзистенцију. Ту се пре свега мисли на велику улогу Светског мора у формирању климе на Земљи, одржавању стабилности гасног састава атмосфере и природном пречишћавању животне средине. Зато се с правом каже: „Мртав океан–мртва планета“.

Као најважнији елемент у сферама минерала и биологије, вода је такође значајан вектор живота и људске активности. На пример, употреба воде у свету, рачунајући домаћинства, индустрију и пољопривреду, укупно износи импресивних 250 m^3 годишње по особи. Осим тога, диспаритети су енормни: од 100 m^3 за земље у развоју до 1500 m^3 у Сједињеним америчким државама. Према томе, потребе за водом непрекидно расту.

Ови подаци намећу императив да воду треба заштитити. Она мора бити третирана, било да се ради о производњи за општу потрошњу, потребе индустријске намене, или о ограничењу испуштања или загађивање околине. [1]

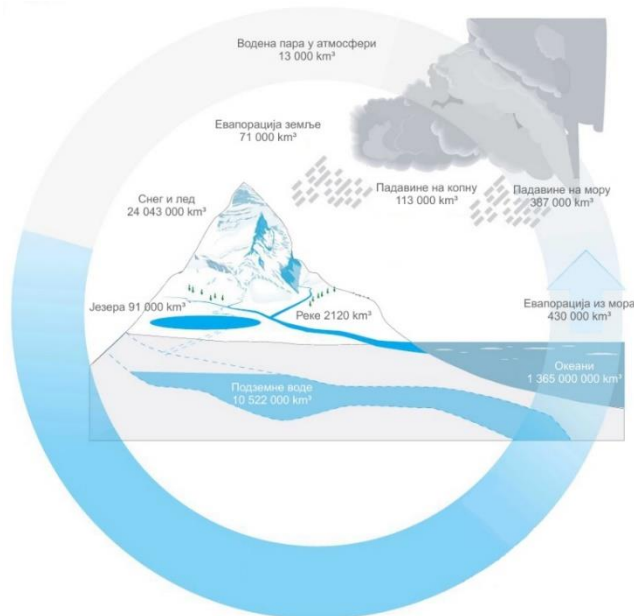
2.1 Водени ресурси на нашој планети

Земљу називају „Плавом планетом“ због тога што је чак 70,8% њене површине под водом. Још од њеног настанка вода је у непрекидном кретању на површини Земље. Добро познате струје као што су Голфска и Хамболтова струја, проузроковане Кориолисовим убрзањем, непрекидно циркулишу у морима, регулишући тако климу у појединим подручјима, што обезбеђује исхрану значајног дела светске популације која се ослања на риболов. Тамо где је прекинуто копненим препрекама море, противећи се да буде потпуно заустављено, узвраћа испаравањем и кондензовањем воде у облику падавина, нападајући тако копнену барикаду. Овако стално испаравање и кондензовање чини хидролошки круг.

Да би се могло говорити о било каквом разматрању расположивих количина воде на Земљи, потребно је сагледати укупне потенцијале овог ресурса на нашој Планети. Због тога је веома важно располагати следећим подацима о свим воденим ресурсима у различитим облицима. Укупна количина воде на планети Земљи се процењује на око $1\,400\,000\,000 \text{ km}^3$, од чега $1\,365\,000\,000 \text{ km}^3$, или 97,5% отпада на глобалне слане воде, док преосталих $35\,000\,000 \text{ km}^3$, односно свега 2,5% чине глобалне резерве слатке воде. Ова количина је расподељена на $24\,043\,000 \text{ km}^3$ поларног леда и глечера, $10\,522\,000 \text{ km}^3$ подземних вода, $342\,000 \text{ km}^3$ хемијски везане и перманентно залеђене воде и $93\,000 \text{ km}^3$ језерске и речне воде. Овим цифрама треба додати и око $500\,000 \text{ km}^3$ годишње обновљивих количина воде у облику падавина (киша, снег и град), од чега $387\,000 \text{ km}^3$ годишње падне на површине океана, а $113\,000 \text{ km}^3$ на копнене делове Планете. Већи део копнених падавина ($71\,000 \text{ km}^3/\text{год.}$) одлази на поновну евапорацију, а мањи ($41\,000 \text{ km}^3/\text{год.}$) иде у површинске и

подземне воде. Од ове последње вредности је само око $12\,000\text{ km}^3/\text{год.}$, или $0,8\%$ расположиво за људску употребу, док се чак $24\,000\text{ km}^3/\text{год.}$ изгуби у облику поплавних и транзитних вода, а око $5\,000\text{ km}^3/\text{год.}$ падне далеко од људских станишта.

Минерализована вода океана, река и вода из земљишта представља раствор хемијских једињења. Међутим, честице које испаравају не садрже те примесе и при кондензацији водене паре образују се падавине слатке, заправо дестиловане воде. Према томе, кружење воде је главни ослађивач воде, при чему се она обнавља не само у квантитативном него и у квалитативном смислу. Ресурси слатке воде, дакле не садрже никакве примесе које би ограничавале коришћење воде. Гледано тако, садашњи водни ресурси у целини задовољавају потребе, не улазећи у постојећа сезонска, годишња и вишегодишња колебања, која се одражавају на коришћење воде.



Слика 1 Хидролошки циклус воде [73]

Ако се има у виду да су количине воде, расположиве за људску употребу, на нашој Платени просторно неравномерно расподељене између 150 држава и скоро 7,5 милијарди становника, евидентно је да ће са актуелним трендом раста светске популације од близу 3% годишње, што значи да се број становника повећа сваке године за 90 милиона, овај ресурс бити угрожен и то најпре у земљама тзв. Трећег Света, где је наталитет највећи.

Поред пораста броја становника велики проблем представља и тренд раста урбанизације, која нарочито после педесетих година прошлог века постаје доминантан демографски тренд. То се најбоље илуструје подацима да је 1950. године у градовима живело 746 милиона људи, док данас та цифра износи чак 3,9 милијарде (податак из 2014. године)[2]. Рачунато у процентима, око 46% светске популације данас живи у градовима, а пројекцијом раста становништва до 2050. године тај проценат ће износити 65% .

Притисак на урбана подручја ствара велике проблеме у вези са снабдевањем водом, каналисањем, енергентима, снабдевањем храном, отпадом, транспортом, итд. Оваква

концентрација великих потреба захтева веома скупу инфраструктуру за њихово сервисирање.

Тренутно су са великим проблемима у снабдевању водом и основном каналисању, као предусловом за очување здравља становништва, суочени велики градови као што су Мексико Сити, Сао Паоло, Рио де Жанеиро, Бомбај и Калкута. То се посебно односи на Мексико Сити чији се број становника у последњих 30 година увећао за чак 9 милиона.

Према томе, са растом светске популације, и развојем људске цивилизације у сталном је порасту и коришћење водних ресурса. Вода се узима из река, језера, извора и аквифера за наводњавање, домаћу употребу, урбане и индустријске сврхе. У последњих 100 година количине вода које се узимају из природе су се повећале за више десетина пута. То је последица повећане стопе раста потребе за водом која је у последње време око 2,5 пута већа од стопе раста становника.

Сваке године са копна у Светско море притиче $47\,000\text{ km}^3$ воде (површинске $44\,700\text{ km}^3$ и подземне $2\,300\text{ km}^3$). Пошто сада на Земљи живи више од 7,3 милијарде људи то значи да на једног становника долази $6\,350\text{ m}^3$ воде годишње. Очекује се да ће се светска популација у наредних 100 година увећати на 9 до 11 милијарди и тада ће један становник располагати са приближно $5\,000\text{ m}^3$ годишње. Ако су садашње потребе за водом једног грађанина, узимајући у обзир све облике коришћења, 500 до $600\text{ m}^3/\text{год.}$, односно 10 пута мање у односу на оно чиме ће се располагати крајем 21. века, онда би човечанство без икаквих проблема било обезбеђено са водом током наредног века. Међутим, питање хоће ли бити довољно воде и у будућности све чешће се поставља јер је у ланцу кружења воде ипак поремећена квалитативна карика.

Главни извор свеже слатке воде на Земљи су језера. Она су од посебног значаја у Северној Америци, где Канада и Сједињене америчке државе деле Велики језерски басен, за који се сматра да представља највећи резервоар слатке воде на свету. У Русији, Бајкалско језеро, у Сибиру, садржи од прилике исту количину слатке воде као цео Велики језерски систем, $23\,000\text{ km}^3$.

Језеро Бајкал је дубоко око $1\,525\text{ m}$, са површином од око $2,8 \times 10^6$ хектара, док Велика језера имају знатно већу површину, око 24×10^6 хектара, али су релативно плитка. Велика језера и Бајкалско заједно садрже 40% тренутно расположиве светске слатке воде. Поред тога, Канада у свом северном делу располаже бројним мањим језерима насталим од глечера који садрже још око 15% тренутно расположиве светске воде.

Од осталих великих језера треба поменути Аралско у Казахстану, својевремено четврто по величини језеро на свету, као и језеро Чад у Африци. Оба ова некада велика језера су нажалост у одумирању, услед рапидно смањеног дотока воде. Доток река Сир Дарја и Аму Дарја које се уливају у Аралско језеро опао је на само 6%, а језеро је смањило своју запремну на половину. Слично је и са језером Чад које је за последњих 30 година смањено за три четвртине своје првобитне запремине, због превеликог захтева за водом из његових притока.

Захватање воде из река изградњом брана и акумулација је толико интензивирано у последњих 30 година да се садашња количина воде која се у њима задржава процењује на око 6 000 km³, што чини 15% обновљивих количина из годишњег хидролошког циклуса. Тако на пример река Колорадо у Сједињеним америчким државама, која је у свом току преграђена са десет великих брана, наводњава око 800 000 хектара пољопривредног земљишта и задовољава потребе за водом више од 21 милиона људи, производећи притом скоро 12 милијарди kWh електричне енергије годишње, више не стиже до свог ушћа. То је довело до озбиљног нарушавања биолошког система у зони делте ове реке.

Слично је и са реком Нил која значи живот за Египат, и која обезбеђује воду за 70 милиона људи и наводњава 3 милиона хектара ораница. Пре изградње Асуанске бране до Средоземног мора је стизало око 32 милијарде m³ воде ове реке од укупно 85 милијарди m³, или око 40% просечног годишњег протока. По завршетку бране овај проток је одмах пао на 6 милијарди m³, да би се касније са повећањем коришћења воде даље смањивао и достигао данашњих 1,8 милијарди m³. У плану је даље повећање потрошње ове воде у биткама за производњу хране, тако да ће се доток реке Нил на њеном ушћу свести на свега 400 милиона m³ годишње, што представља мање од 0,5% просечног годишњег протока. Овакав тренд је већ нарушио биолошку равнотежу у овом систему.

Ово, нажалост, нису једини примери прекомерног искоришћавања водних ресурса. Већ су поменуте реке Аму Дарја и Сир Дарја, а ништа боља ситуација није ни са рекама Ганг у Индији и Хуанг Ху (Жута река) у Кини. Ова последња од 1985. године је једним делом свог тока потпуно сува, а једна је од две највеће кинеске реке. Кина је иначе земља са највећим бројем брана и са највећим површинама које наводњава на свету.

Прекомерно трошење воде није мимоишло ни подземне воде. Тако на пример у Северној Кинеској равници у околини Пекинга и Тианђина ниво подземних вода опада у просеку 1 до 2 метра годишње. Аквифер код Пекинга који је до 1950. године био на око 5 метара испод површине терена опao је на чак 50 метара у 1993. години. Овај феномен је забележен и у Индији. У многим њеним деловима је констатовано драстично смањивање нивоа подземних вода од преко 30 метара у последњим деценијама, са даљом тенденцијом опадања од око 1 метар годишње. Ове две најмногољудније земље у борби за храну и воду исцрпљују своје изворе до граница које се не могу надокнадити у скоријој будућности.

У Либији је грандиозним пројектом довођења великих количина подземне воде из фосилних аквифера југоисточног дела земље у плодни и насељени северни део земље, тзв. „Осми светским чудом“ начињена стратешка грешка, јер ће се тешко обновљиве резерве воде брзо потрошити.

У Саудиској Арабији се слична грешка већ потврдила у пракси, где су резерве подземне воде потрошене на производњу хране-житарица, које својом ценом на светском тржишту нису могле надокнадити уложена средства и драгоцени природни ресурс, за чије ће обнављање бити потребно преко хиљаду година.

Ове појаве не заобилазе ни развијене државе Европе и Америке, где се такође могу срести примери прекомерне експлоатације подземних вода. Разлика је једино у томе што се у тим деловима света већ предузимају мере за ублажавање и санацију последица.

2.2 Својства воде

Познато је да вода из природе никада није у потпуности чиста. Таложењем и проласком преко и кроз земљу вода скупља разне врсте растворених и суспендованих загађивача. Концентрација ових супстанци врло ретко је велика, у већини случајева се вреднује стотим делом процента или мање. Међутим, оне могу имати велики утицај на хемијске карактеристике воде и њену употребу.

Потрошачи очекују да инжењери произведу воду која је ослобођена боје, мутноће, мириса, укуса, штетних метала и органских материја. Осим тога, она треба да буде ниске тврдоће, потпуно здрава, некорозивна и без могућности стварања пене. У сусрет таквим очекивањима, инжењер мора добро да познаје и примењује хемију.

2.2.1 Тврдоћа

Заједнички именилац већине проблема са водом је тврдоћа. Тврдоћа је један од народних термина наслеђен из прошлости а потиче од употребе воде у домаћинствима за прање. Откривено је да су неке воде биле тврде за прање веша. То је захтевало много више сапуна за производњу пене у таквој води, тако да је већина домаћица била принуђена да скупља меку кишницу за прање веша. Захваљујући баш томе, овај однос између тврдоће и сапунице био је основа хемичарима да касније пронађу стандардно решење за сапун који ће се много година користити за одређивање тврдоће воде. Према томе, предање дефинише тврдоћу као утрошак сапуна у води. За практичну употребу, то је садржај калцијума и магнезијума у води, мада тешки метали као што су гвожђе и манган такође троше сапун.

Тако је установљено да је тврдоћа раствор калцијума и магнезијума у води као катјона, независно од врста присутних анјона. Обично се изражава у терминологији као калцијумкарбонат, CaCO_3 . Ово није случајан избор будући да је молекуларна тежина CaCO_3 100, а његова еквивалентна тежина 50, што обезбеђује јединицу подесну за изражавање измена свих јона у води, а то је правилније него приказивање сваког посебно са његовом еквивалентном тежином.

2.2.2 рН вредност

рН је израз интензитета киселог или базног стања раствора. Киселине су супстанце које се разлажу у корисне јоне водоника (H^+), а базе се разлажу у корисне јоне хидроксида (OH^-). Иначе, рН је начин изражавања активности јона водоника.

Чиста вода се разлаже као:



са константом разлагања

$$K = [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = 10^{-14}. \quad (2.2)$$

Пошто је константа разлагања врло ниска, 10^{-14} , у случају неутралности, број јона водоника и хидроксида је исти и износи само 10^{-7} мола/литру.

Конвенционална релација за рН вредност је:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = -\log [\text{H}^+] \quad (2.3)$$

На основу тога је за чисту неутралну воду $\text{pH} = \log (1/10^{-7}) = 7$.

Опсег рН скале је од 0 (екстремна киселост) до 14 (екстремно базни услови), при чему вредност $\text{pH}=7$ означава неутралност. Вредност рН мање од 7,0, према томе, представљају киселе карактеристике, док вредност рН веће од 7,0 значе базне или алкалне карактеристике. Требало би имати у виду да смањење рН вредности значи повећање концентрације јона водоника. Вода са $\text{pH}=6,0$ има десетоструку концентрацију јона водоника у односу на неутралну воду са $\text{pH}=7,0$. Природна вода, међутим, има мању рН вредност, од 5,5 до 6,0. Већина меких вода има рН вредност између 6,0 и 7,0. Воде са рН вредностима испод 7,0 обично садрже угљен-диоксид и друге киселе састојке.

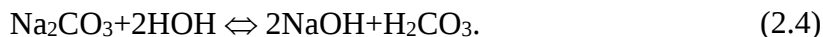
Велики број алкалних вода има рН вредност између 7,0 и 8,0, што је најчешћи случај са слатководним језерима. рН вредност се може значајно повећати или смањити захваљујући процесима обраде вода.

Концентрација јона водоника може се мерити рН-метром. Притом се такође може регистровати када та концентрација постаје довољно велика да би се могла одређивати хемијским анализама. Пошто је рН логаритамска функција, концентрација јона водоника се повећава са фактором 10 за сваку јединицу.

2.2.3 Алкалност

Алкалност, као мера количине воде потребне за неутрализацију киселина, одређује се пре свега присуством карбоната калаја, натријума, калцијума и магнезијума. Мали удео у алкалности неких вода могу имати силикати, борати и фосфати, мада касније они немају неког практичног значаја, изузев у јако минерализованим водама. По правилу, алкалност воде је утицај бикарбоната калцијума и магнезијума, тако да се алкалност изједначује са карбонатном тврдоћом. Изузетак је када бикарбонати калаја и натријума доприносе алкалности, без утицаја на тврдоћу, односно алкалност у том случају превазилази тврдоћу. Алкалност се продукује карбонатима захваљујући њиховој хидролизи на хидроксид и угљеничну киселину, алкалност хидроксида превазилази киселост слабе угљеничне киселине.

Следећа релација показује хидролизу натријум карбоната у облик каустичне соде или натријум хидроксида и угљеничне киселине.



Други карбонати хидролизију на исти начин.

Алкалност воде се мери титровањем узорка са јако киселим раствором, док се киселост мери титровањем узорка са јако базним раствором који садржи врсту угљеничне киселине. Када се киселина дода јако базном раствору, већина јона водоника из киселине везује се са јонима хидроксида из базе док је рН приближно 10. То је еквивалентна тачка карбоната. Тада вишак јона водоника снижава рН постепено до рН 8,3 а сви јони карбоната прелазе у бикарбонате. То је еквивалентна тачка бикарбоната. Додатни јони водоника редукују бикарбонате у угљеничну киселину испод рН 4,5, што представља еквивалентну тачку угљеничне киселине.

Свака од ових еквивалентних тачака може се мерити употребом рН-метра или индикатора. Као индикатор се обично користи фенолфталеин, који мења боју од јако ружичасте на бледу, при рН 8,3, и метил-наранџасту која се мења од наранџасте до јако ружичасте, при рН 4,3. Ове еквивалентне тачке се користе за одређивање три типа алкалности:

1. *Каустична алкалност*: Стање почетног раствора је са рН изнад CO_3^{2-} еквивалентне тачке. Еквивалент киселине захтева снижавање рН до CO_3^{2-} еквивалентне тачке (рН=10), а то је мера каустичне алкалности.
2. *Фенолфталеинска алкалност*: Стање почетног раствора је са рН изнад HCO_3^- еквивалентне тачке. Еквивалент киселине захтева снижавања рН до HCO_3^- еквивалентне тачке (рН=8,3), што је мера фенолфталеинске алкалности.
3. *Тотална алкалност*: Стање почетног раствора је са рН изнад H_2CO_3 еквивалентне тачке. Еквивалент киселине захтева снижавање рН до H_2CO_3 еквивалентне тачке (рН=4,5), што је мера тоталне алкалности.

2.2.4 Киселост

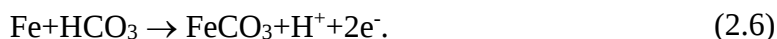
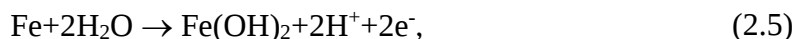
Три различита типа киселости су одређена са три еквивалентне тачке као и алкалност. Међутим, киселост је мерило отпорности повећању рН.

1. *Минерална киселост*: Почетно стање раствора је са рН испод H_2CO_3 еквивалентне тачке. Еквивалент базе захтева повећање рН до H_2CO_3 еквивалентне тачке (рН=4,5), што је мера минералне киселости.
2. *CO_2 киселост*: Почетно стање раствора је са рН испод HCO_3^- еквивалентне тачке. Еквивалент базе захтева повећање рН до HCO_3^- еквивалентне тачке (рН=8,3), што је мера CO_2 киселости.
3. *Тотална киселост*: Почетно стање раствора је са рН испод CO_3^{2-} еквивалентне тачке. Еквивалент базе захтева повећање рН до CO_3^{2-} еквивалентне тачке (рН=10), што је мера тоталне киселости.

2.2.5 Корозија

Корозија је тенденција свих метала да се врате у свој првобитни или неки стабилнији облик у којем се налазе у природи, односно у земљи, када су изложени утицају одређених елемената. То је процес или процеси при којима долази до одношења метала. Продукти корозије су обично у облику оксида, карбоната или сулфида. Феномен корозије је исти за све метале и легуре, разлика је једино у степену, али не и у врсти. Вода која подстиче корозивност може изазвати проблеме у дистрибутивним цевоводима и кућним инсталацијама. Овакви проблеми су од негативног утицаја на здравственом, естетском и економском плану.

Електрохемијска корозија се може посматрати као оксидационо-редукционе реакције. Могуће су две реакције при корозији гвоздених цеви:



Прва реакција се дешава када је концентрација карбоната ниска, а друга када је концентрација карбоната висока.

Корозија може бити заустављена када продукти оксидације стварају чврсте честице, као што су оксиди, хидроксиди или карбонати, које пријањају на површину цеви и спречавају или успоравају директан контакт између метала и корозивне воде, стварајући тако препреку корозивној реакцији. Ово спречавање корозије је познато као пасивизација. Једињења се формирају тако што гвожђе кородира зависно од неколико фактора, укључујући рН фактор и способност ублажавања. Сидерит (FeCO_3) може иницирати и успорити интензитет корозије. Ако услови потпомажу формирање хидроксида гвожђа, као што су $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$, слаби и порозни премази не могу зауставити корозију.

Фактори који убрзавају корозију укључују ниску рН вредност и високу концентрацију оксидационих супстанци, као што су растворени кисеоник и слободан резидуални хлор. Кретање гаса водоника из катодног подручја убрзава насталу корозију. Фактори који утичу на корозивност питке воде набројани су у табели 1.

Готово сви типови цеви (гвоздене, челичне поцинковане, бакарне и др.) које су уопште заступљене у системима питке воде подложне су корозији. Реакције приликом корозије гвоздених цеви исказане су једначинама 2.5 и 2.6.

Пропадање галванизованих цеви дешава се у два степена. Почетно, када кородира само слој цинка, или неког другог метала нанетог галванизацијом, до незаштићеног гвожђа. Корозија галванизованог слоја зависи од рН, концентрације карбоната и протока. Једном пенетрирани галванизовани слој оставља незаштићену цев која је даље изложена прогресивној перфорацији.

У бакарној цеви, у присуству раствореног кисеоника, формира се танак филм бакар оксида на металној површини. Овај филм обезбеђује константну брзину корозије која је

неупоредиво мања од брзине кородирања гвоздених и галванизованих цеви. Међутим, пасивизациони филм може бити оштећен при великим брзинама протицања или растворен угљеничном киселином или органским киселинама које се могу наћи у неким слатким водама. Хлориди теже да повећају порозност пасивизационог филма. Хлор појачава оксидацију бакра и заштитног филма бакар оксида.

Табела 1 Фактори који утичу на корозију питке воде

Фактор	Ефекти корозивности
рН	Ниска вредност рН убрзава корозивност
Растворени кисеоник	Растворени кисеоник изазива активну корозију, посебно материјала који садрже гвожђе.
Слободни резидуални хлор	Присуство слободног хлора у води убрзава корозију гвожђевитих метала и бакра.
Слаба способност разблаживања	Има недовољну алкалност да би се обезбедило разблажујуће дејство воде и заштитни филм.
Слаб ниво халогености и алкалности	Моларна пропорција јако минералних киселина преко 0,5 ствара повољне услове за пуцање корозије.
Угљен-диоксид	Угљен-диоксид је посебно корозиван за бакарне цеви.
Потпуно растворене чврсте честице	Веће концентрације растворених соли повећавају проводљивост а тиме и корозивност. Мерењем проводљивости може се проценити количина растворених честица.
Калцијум	Калцијум генерално смањује корозију стварањем заштитног филма раствореним карбонатима.
Танини	Танини формирају заштитни органски филм преко метала.
Проток	Турбуленција при великим протоцима омогућује да кисеоник и угљен-диоксид лакше стигну до површине и оштете заштитни филм појачавајући корозију.
Јони метала	Извесни јони, као што су јони бакра, могу утицати на корозију материјала низводно инсталисаних цеви. На пример, јони бакра могу појачати корозију галванизованих цеви.
Температура	Висока температура повећава корозиону реакцију, снижава растворљивост калцијум карбоната и калцијум сулфата који формирају скраму у загрејачима воде и цевима.

2.2.6 Стабилност воде

Систем угљеничне киселине је важан у процени стабилности воде. Стабилна вода је она вода која не показује никаква корозиона својства. У третману вода, стабилна вода не раствара и не таложи калцијум карбонат (CaCO_3). Танак слој CaCO_3 штити цеви од корозије. Међутим, прекомерно таложење изазива зачепљење у цевима и драстичну редукацију пропусне моћи.

Релација названа Ланжелиеов индекс засићења (LI), заснована на рН вредности, користи се за проверу да ли ће се у води таложити CaCO_3 или неће. Индекс је дефинисан као:

$$LI = pH - pH_s, \quad (2.7)$$

где је:

pH = измерена pH вредност воде

pH_s = израчуната pH вредност воде засићене кречом ($CaCO_3$).

Вредност pH_s се може израчунати преко следећих израза за равнотежу:



и

$$K_s = (Ca^{+2})(CO_3^{-2}), \quad (2.9)$$

као и



и

$$K_2 = \frac{(H^+)(CO_3^{-2})}{(HCO_3^-)}. \quad (2.11)$$

Деобом једначина (2.9) и (2.11) и сређивањем добија се:

$$(H^+) = \frac{K_2}{K_s} (Ca^{+2})(HCO_3^-), \quad (2.12)$$

или

$$pH_s = p(Ca^{+2}) + p(HCO_3^-) + p\left(\frac{K_2}{K_s}\right). \quad (2.13)$$

Вредност pH_s се може одредити преко следеће упрошћене једначине као:

$$pH_s = A + B - \log(Ca^{+2}) - \log(\text{алкалности}). \quad (2.14)$$

Вредности A и B дате су у табелама 2 и 3 а вредности логаритама за Ca^{+2} и алкалности у табели 4.

Табела 2 Константа A као функција температуре воде

Темп. воде (°C)	0	4	8	12	16	20	25	30	40	50	60	70	80
A	2,60	2,50	2,40	2,30	2,20	2,10	2,00	1,90	1,70	1,55	1,40	1,25	1,15

Табела 3 Константа B као функција укупног филтрованог талога

Укупни филтровани талог (mg/l)	0	100	200	400	800	1000
B	9,70	9,77	9,83	9,86	9,89	9,90

Када је $LI=0$, вода је у равнотежи. Када је LI позитиван, вода је презасићена и тежи да одбацује $CaCO_3$. Негативан LI показује да је вода незасићена и тежи да раствори постојећи талог $CaCO_3$ и тако кородира цеви.

У пракси се обично тежи да се индекс засићења одржава благо позитивним тако да се танак заштитни слој CaCO_3 депонује на унутрашњим површинама цеви. Требало би очекивати да Ланжелиеов индекс само покаже да ли ће у води доћи до таложења или растварања. Он не може одредити колико ће CaCO_3 бити депоновано.

Табела 4 Логаритми јона калцијума и алкалних концентрација

Ca^{+2} или алкалност mgCaCO_3/l	log
10	1,00
20	1,30
30	1,48
40	1,60
50	1,70
60	1,78
70	1,84
80	1,90
100	2,00
200	2,30
300	2,48
400	2,60
500	2,70
600	2,78
700	2,84
800	2,90
900	2,95
1 000	3,00

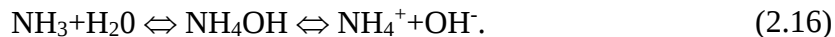
2.2.7 Растворени гасови

Даљим разматрањем Ланжелиевог индекса може се доћи до одређених закључака о природи и дејству гасова растворених у води. Угљен-диоксид, на пример, раствара се у облик угљеничне киселине, која јонизује продукуюћи H^+ и HCO_3^- јоне. Остали јонизујући гасови обухватају сумпор диоксид, водоник сулфид и цијановодоничну киселину, који стварају слабе киселине када су растворене у води. Због оваквог дејства, додавање јаке киселине у води која садржи ове гасове потиснуће равнотежу у лево, суштински елиминисући јонизовани део тако што све што је од гаса у молекуларном облику слободно одлази из воде као гасни молекули. На пример, са CO_2 :



Додавањем H^+ јона преко додавања H_2SO_4 потиснула би се реакција у лево.

На другом крају скале је амонијак, који се раствара и јонизује у облик слабе базе према једначини:



Насупрот киселим гасовима, који су се претворили у молекуларни облик додавањем јаке киселине, у овом случају додавањем јаке базе, као што је натријум хидроксид, потиснуће се реакција у лево и произвести молекуларни амонијак, који је тада слободан да оде као гасни молекул.

Постоје и други гасови које се растварају у води али не јонизују. Међу њима су кисеоник, азот и метан. Најистакнутији од њих у свом утицају на водене системе је кисеоник. Ако водени раствор има негативан Ланжелисов индекс (позитиван индекс стабилности), он се сматра агресивним и може се очекивати корозија. Ова корозија, међутим, обично је изазвана раствореним кисеоником које је слободан и који напада незаштићене металне површине када су оквашене водом која не може да формира заштитни филм или љуску од калцијум карбоната. Пример таквог процеса је кондензат у постројењима са паром у затвореном систему без кисеоника где се обрађене цеви од угљеничног челика успешно примењују за транспорт кондензата уз потпун изостанак непријатних проблема са корозијом. Међутим, ако кисеоник нађе свој пут у систем преко процуривања пумпи и затварача, кондензат постаје изузетно агресиван и долази до корозије, уколико се метал није већ заштитио самопревлачењем филмом формираним инхибитором корозије.

2.2.8 Минерали и проводљивост

Електрична проводљивост је веома важна у разматрању хемизма воде. Што је већи садржај минерала у води, већа је и њена проводљивост. Ово има неколико важних последица. Прво, већа проводљивост омогућује проток више струје кроз воду и убрзавање корозије уколико постоје и други услови који фаворизују корозију. Друго, већа проводљивост смањује број комплетно јонизованих минерала у води, пошто су јони међусобно збијени и чешће се сударају.

Све ово смањује коефицијент активности, или слободе, повећавајући растворљивост CaCO_3 и других слабо растворљивих материјала. Као резултат, CaCO_3 је више растворљив у морској води него у слаткој под једнаким условима рН, алкалности и температуре.

Постоји много фактора који утичу на процес корозије, од којих су рН, проводљивост, температура и растворени кисеоник обично најистакнутији. Остали важни фактори у механизму корозије подразумевају присуство различитих метала у систему, са претежно анодним настанком корозије и различитости у металуршкој структури једног метала у систему. На пример, цинк у месингу, помоћу којег један део металне површине (кристал цинка) постаје анодни у односу на суседни катодни део (бакар).

Сви ови корозиони механизми могу бити увећани присуством суспендованих материја, посебно ако су брзине ниске и материјал се депонује у облику концентрисане ћелије, или ако су брзине веома високе па комбинација ерозије и корозије увећава индивидуалне утицаје сваке од њих, продукујући веома убрзано дејство.

2.2.9 Чврсте материје

Чврсте материје се појављују у већини вода као суспендоване чврсте честице или као колоидне материје. Концентрација суспендованих честица се одређује филтрацијом, будући да се чврсте честице задржане на мембрани филтера могу осушити и измерити. Оне суспендоване честице које су крупне и тешке назване су исталоживим честицама и оне се могу одредити запремински или тежински. Честице заостале за избистреном водом изнад исталожених материја су fine и називају се мутноћом.

Мутноћа у води се мери утицајем суспендованих честица на светлосни зрак. Аналитичке методе на бази светлосних сметњи су класификоване као нефелометријске, а један од система за мерење мутноће користи нефелометријске јединице мутноће (НТУ). Оригинална нефелометријска метода је употребљавала стандардизовану свећу, дајући резултате Џексоновим јединицама мутноће (ЈТУ), названа по аутору који је развио стандардну свећу.

ЈТУ је мерен предатим светлосним зраком, док је НТУ мерен расипањем светлости, тако да нема поређења између ових двеју јединица које се припремају за све воде. На пример, за воду чија је мутноћа 100 НТУ, приближни еквивалент је 40 ЈТУ, али ова разлика или количник не важе за друге вредности измерене мутноће.

Колоидне материје су понекад корисне а понекад штетне. Корисни колоиди су они који обезбеђују дисперзиони утицај делујући као заштитни колоиди. У суспензији глине или блата у води, најситније честице обично носе негативно наелектрисање. Ако се тако негативно наелектрисање неутрализује, честице коагулишу, међутим, додатним намерним увођењем негативног наелектрисања, таложење се може спречити. Натријум силикат делује на овакав начин, тако да сувишно присуство неких врста органских материјала као што су лигнин и танини изазива високу обојеност воде у извориштима. Силицијум диоксид може бити врло проблематичан стварајући врло тврду љуску када се исталожи у системима за преношење топле воде. Због тога се користе адсорбенти за уклањање колоидних материјала из воде када њихова концентрација прелази дозвољене границе. Многи од тешких метала присутни у облику колоида, уклањају се из воде коагулацијом, филтрацијом, адсорпцијом или комбинацијом ових поступака.

2.2.10 Органске материје у води

Док су танин и лигнин углавном присутни у води у колоидним суспензијама, многа органска једињења су стварно растворљива у води. Зачуђујућа је разноврсност органских једињења у води доспелих како природним путем тако и људским немаром. Због њихове велике разноврсности неуобичајено је за анализе воде приказивати све од ових органских материја растављене на појединачне састојке.

Уколико би аналитичар знао шта може бити присутно у води, на пример полихлорисани бифенил, или тотални трихалометан, могао би их наћи. Али у недостатку

овакве врсте информација, мора се ослонити на групе неспецифичних тестова. Ови тестови, приказани у табели 5, служе само за евидентирање карбонатних материјала, али их не могу међусобно разликовати. То су разумљиве, једноставне и јефтине методе контроле. Интерпретација је обично тешка, али није ништа неуобичајено наћи повећање у једном тесту, као што је (ВРК₅), са истовременим смањењем у другом тесту, као што је ТОС.

Потребно је велико искуство у анализама, укључујући и читаву колекцију употребљивих података, да би се донела одлука о значајним тестовима за органске материје како би се применио одговарајући третман воде.

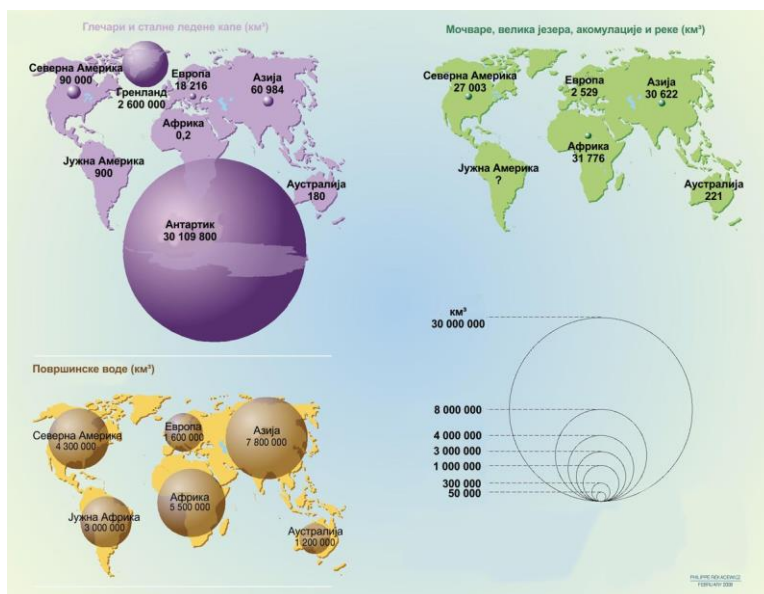
Проналажење специфичних органских молекуларних врста у води најчешће захтева префињене процедуре и опрему и обично је веома скупо да би се оправдало као рутинска контрола. Може се радити само у специфичним ситуацијама где постоји сумња на токсичне материје и где је анализа битна за заштиту околине. Чак и у том случају, анализе се врше на дневном композиту, часовно узетом узроку, или на други начин планираним узорцима, пошто се континуалне анализе ретко практикују. [3]

Табела 5 Органске материје у води, неспецифични тестови

Тест	Опис
ВРК ₅	Биохемијска потрошња кисеоника. Мерење способности општих бактерија да сваре органске материје, обично у петодневној инкубацији при 20°C, анализирањем потрошње кисеоника. Мерење биоразградње органских материја. Изражен као О ₂ .
ССЕ	Угљен-хлороформин екстракт. Органске материје адсорбоване на патрону активног угља су извађене екстракцијом из угља хлороформом. Екстракт се мери и даље анализира.
САЕ	Угљен-алкохолни екстракт. Органске материје адсорбоване на патрону активног угља су извађене екстракцијом из угља етил алкохолом.
НРК	Хемијска потрошња кисеоника. Мери се способност загрејаног раствора хромне киселине да оксидише органске материје. Анализира се биоразградљивост и неразградљивост (ватросталност) органских материја. Изражава се као О ₂ .
Боја	Ово је грубо мерење танина, лигнина и других куминских материја у површинским водама и неким отпадним, као што је отпад целулозне пулпе. Изражава се у ADHA јединицама, у односу на платински стандард.
TPRK	Тренутна потрошња раствореног кисеоника. Мери се присуство јако редукционих материја у отпаду које би имали тренутни утицај на редукцију нивоа кисеоника пријемних токова. Одређује се мерењем редукције у кисеонику 15 минута после разблаживања узорка водом zasiћеном са О ₂ . Изражава се као О ₂ .
ГЖ	Губитак жарењем. Узорак воде се најпре испари до сувог остатка, а потом измери тежина. Затим се тај остатак загрева до благог црвенила и поново измери тежина. Разлика ових двеју тежина је губитак жарењем. Жарењем се сагоревају органске материје, али такође утиче на минерални састав, пошто разбија карбонате и оксиде, тако да губитак није само у органским материјама.
Утрошак О ₂	Кисеоник потрошен из перманганата. Мери се осетљивост органске материје у узорку на оксидацију помоћу КМпО ₄ . Оксидација није тако јака као са хромном киселином. Претходи НРК тесту и смирује користан контролни рад.
Способност екстракције	Мери се директне екстрактибилне органске материје из воде, обично употребом хексана, мада се такође користе и ССl ₄ и НCl ₃ .
ТОС	Тотални органски угљеник. Мери се СО ₂ продукован из органске материје када је узорак воде атомизован у комори за сагоревање. Прво се може уклонити СО ₂ еквивалентан алкалности, или овај еквивалент може бити одузет из тоталног СО ₂ да би се одредио органски угљеник. Очитава се као С.

2.3 Проблем везан око воде

Према проценама Шикломанова (1993), на земљи се налази око $1400 \times 10^6 \text{ km}^3$ воде, од тога 97,5% воде садржане у океанима ($\approx 1365 \times 10^6 \text{ km}^3$). Резерве слатке воде чине 2,5% укупне запремине воде на Земљи ($\approx 35 \times 10^6 \text{ km}^3$). Ове резерве слатке воде су неравномерно распоређене у простору (подземне воде, површинске воде) и времену (површинске воде). Многи од речних сливова протичу кроз ретко насељена места. Међутим, 68,9% слатке воде, тј. приближно $24 \times 10^6 \text{ km}^3$ се налази у облику леда и вишегодишњих снежних покривача на планинама и у поларним регионима, док само око 30,8% ($11 \times 10^6 \text{ km}^3$) је ускладиштено у виду подземних вода, влажности земље и пермафроста. Језера и реке представљају само 0,3% ($105\,000 \text{ km}^3$) светских залиха слатке воде. Није изненађујуће да око 1,5 милијарди људи зависи од резерви подземних вода као извором воде за пиће. На слици 2 је приказано регионална запремина три компоненте слатководних ресурса и њихова неправилна дистрибуција.



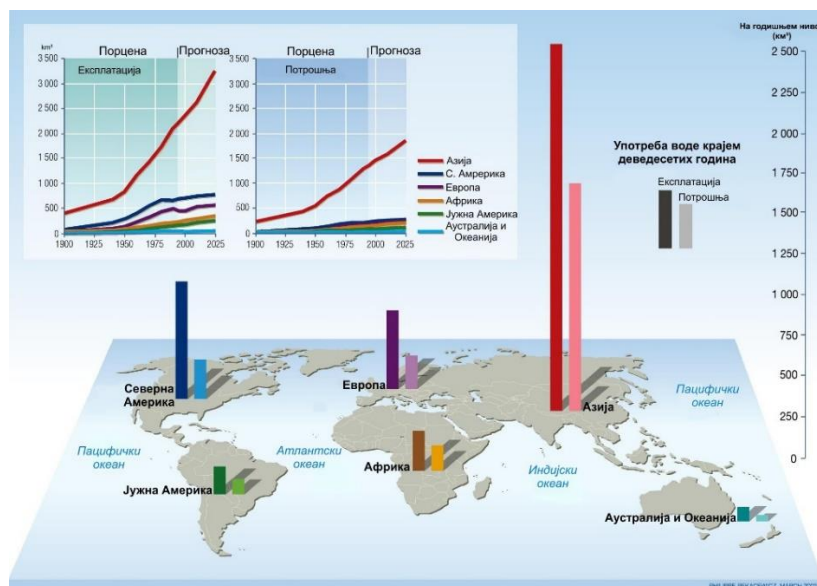
Слика 2 Глобалне залихе слатке воде

Слатка вода представља велики проблем, због тога што 20% укупне популације нема приступ здравој води за пиће. Према проценама Уједињених нација процењује се да 1,2 милијарде људи немају приступ здравој води за пиће и још најмање 2 милијарде људи користи загађену воду. Заразе које се преносе загађеном водом су главни разлог болести земаља у развоју. Процењује се да загађена вода има утицај на здравље 1,2 милијарде људи и да 15 милиона деце широм света умре сваке године.

Залихе исправне слатке воде су ограничене. Неколико региона већ има проблема са недостатком воде. У последњих неколико деценија покушано је на разне начине решити проблем недостатка воде: бушење подземних извора, изградња брана и резервоара, градња канала, цеви и других начина скретања воде. Међутим, ови приступи подлежу природним

ограничењима доступне воде и проблемима везаним за прекомерну експлоатацију залиха воде. Вештачке акумулације такође подлежу великим природним проблемима због недостатка нових погодних локација.

Снабдевање водом за пиће је кључан проблем у великом броју држава, поготово у државама које су ограничене воденим ресурсима. На слици 3 се може видети потрошња и коришћење воде на глобалном и регионалном нивоу. У наредним деценијама, највеће повећање потрошње воде се очекује у Азији, Африци и Јужној Америци док ће повећање потрошње бити ниже у Европи и Северној Америци. Потражња за водом, на глобалном нивоу, се шестоструко повећала од 1990. године. Од 1940. године, светска популација се повећавала у просеку за 2% на годишњем нивоу, док су се захтеви за водом повећавали за 3% сваке године. Годишња потрошња слатке воде се повећала са 3790 km³, колико је износила 1995., на 4430 km³ 2000. године. Највећа потрошња воде 2000. године забележена је у Азији где се налазе највеће површине за наводњавање. У будућности се очекује раст годишње потрошње воде на 10-12% по декади, достижући око 5240 km³ до 2025. године. Данас се у агрикултури користи 75% укупне потрошње воде, углавном за наводњавање усева, док се у индустрији троши 20% и осталих 5% се користи за потребе домаћинства. Данас, људима је потребно у просеку од 27 до 200 литара воде дневно како би задовољили сопствене потребе. Африка и Средњи исток су две регије на свету где има мање доступне слатке воде, док је амерички континент најбогатији воденим ресурсима.

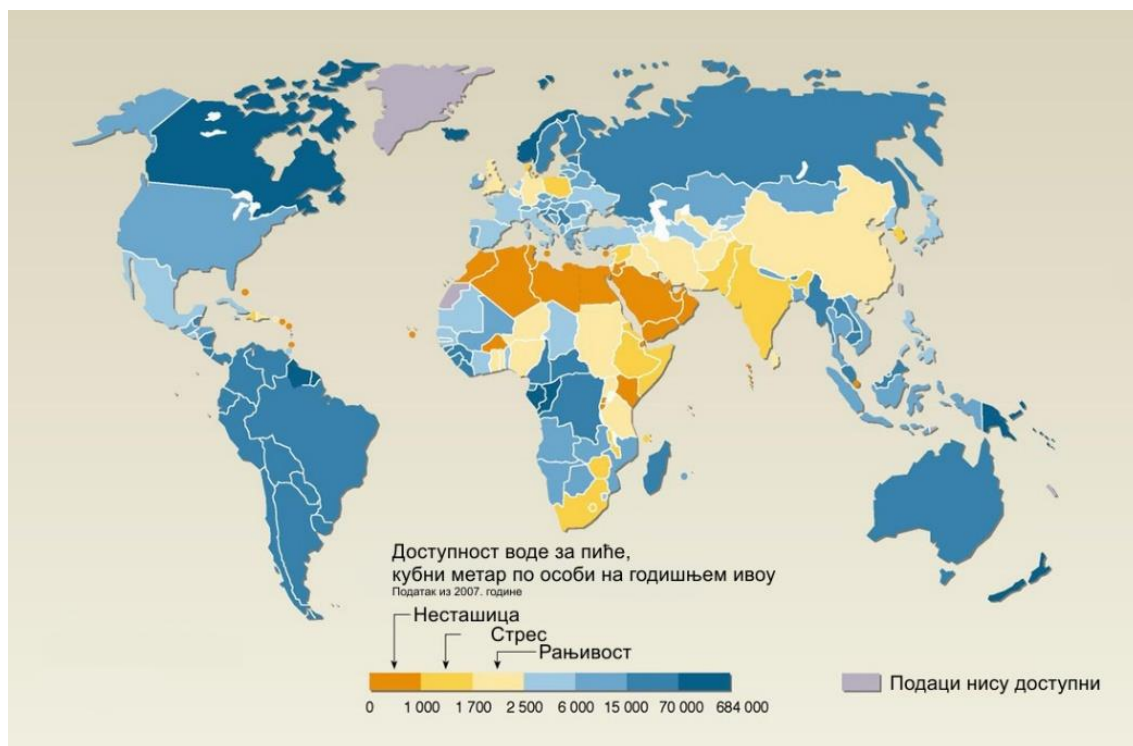


Слика 3 Експлоатација и коришћење слатке воде на глобалном нивоу

Неуравнотежено коришћење воде постаје евидентно упоређујући цифре Уједињених нација: Бразил, Канада, Кина, Сједињене америчке државе, Индија и Русија садрже 40% река и језера на планети Земљи. У Канади сваки становник располаже са 91 640 m³ воде на годишњем нивоу, у Аустралији 26 032 m³, у Мексику 4547 m³, у Јужној Африци 1109 m³ и у Египту 29 m³. Према подацима Уједињених нација, количина воде која је потребна особи је око 5000 m³ на годишњем нивоу. Количина воде мања од 1700 m³ по особи на годишњем

нивоу се назива водени стрес. Количина воде мања од 1000 m^3 се сматра несташицом воде, док ако је количина воде по особи мања од 500 m^3 онда се то сматра озбиљним недостатком воде. Слика 4 показује доступност слатке воде по километру квадратном за различите светске регионе и земље за годину 2007. Прогнозира се да ће до 2050. године најмање 9 милијарди људи бити погођено несташицом воде. Уједињене нације претпостављају да не постоје боља технолошка побољшања за повећање снабдевање водом од масивног убрзања десалинизације морске воде. Тренутно, озбиљан дефицит у снабдевању и квалитету слатке воде погађа готово пола човечанства. Приближно 1,2 милијарде људи, или скоро 1/5 светске популације, живи у местима физичке несташице а још 500 милиона људи се приближава овој ситуацији. Једна прогноза показује да ће до 2050. године двоје од троје људи живети у подручјима несташице воде. Само у Афици, процењено је да ће 25 држава бити захваћено несташицом воде до 2025. године.

Резерве слатке воде и повезаност повећања воденог стреса и недостатка воде се погоршава дневно због повећања популације, што изазива повећање густине популације и просторно ширење насељених и пољопривредних површина због повећане потражње за храном. Као додатак, климатске промене и загађење такође утичу на квалитет и доступност воде. Многи региони са ограниченим или без водених ресурса погодних за пиће или



Слика 4 Стрес и несташица воде на глобалном нивоу према подацима из 2007. године

наводњавање, нису били насељиви у прошлости, упркос несташицама воде, док се сад ти региони насељавају и користе за производњу хране захваљујући наводњавању. Ова експанзија је могућа само ако се локална вода прерађује или десалинира, или ако се вода преусмерава из других региона помоћу канала и цеви. Налажење и имплементација одрживих начина за управљање воденим ресурсима, укључује производњу свеже воде из

морске воде, и то представља велики изазов. Будући да подземних вода и доступних извора има далеко највише у областима далеко од мора, економски и еколошки третман високо физиолошког раствора или загађене подземне воде је од кључног значаја. Број загађивача може бити понекад присутан кроз природне процесе. Као пример, арсен се јавља у многим подручјима, поготово у дубљим изданима. У приобалним подручјима, десалинизација морске воде је опција 70% популације која живи унутар 70 километара од мора. Идући даље од обале, пречишћавање воде из домаћинстава или индустријских вода ће бити од пресудног значаја за одредбе о пијаћој води или вештачком допуњавању издани. [1]

2.4 Проблем везан за енергију

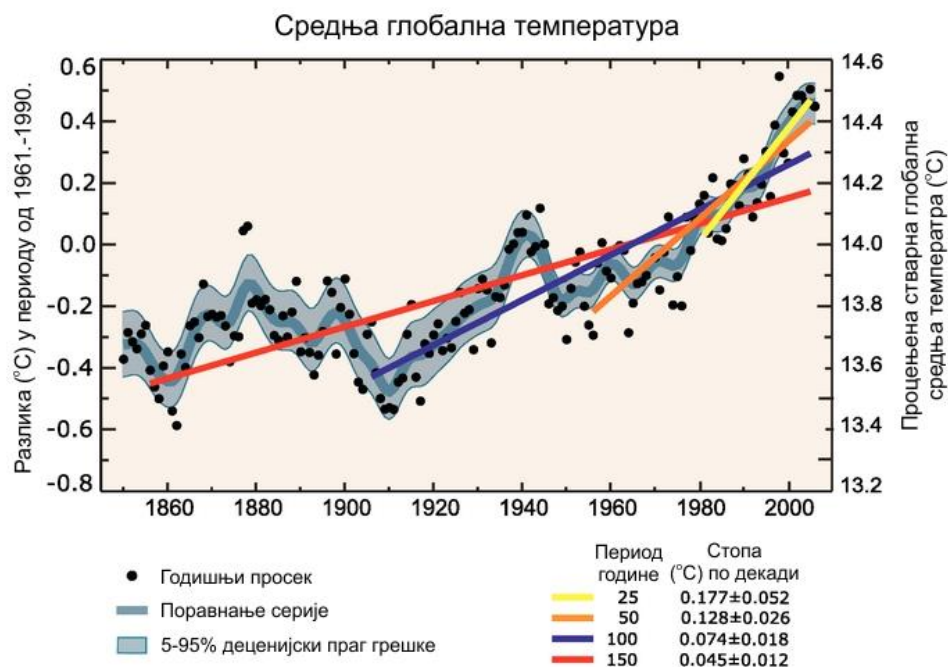
Како „The Forecasts of the International Energy Outlook“ Прогноза интернационалних енергетских изгледа показује, модерно друштво наставља и даље да се ослања на ресурсе фосилних горива како би очували економски раст и стандард живљења у данашње време. Међутим, економска употреба конвенционалних извора енергије постаје све више ограничена због природних ограничења. Њихова употреба се такође доводи у питање од стране великог броја популационих група, поготово у индустријским земљама, због негативног утицаја и због њиховог доприноса глобалним климатским променама. Ово подразумева да атмосферски ефекат стаклене баште настаје коришћењем угља и ресурса угљоводоника, а не смањује се технологијом, попут убризгавања CO₂ дубоко под земљу или хемиско/биолошким конвертовањем у друге хемијске супстанце.

Захтев за енергијом се нагло повећава из истог разлога као што је наведено раније за пораст потражње за водом: раст популације и економски раст, који је највећи код држава у развоју и у земљама у транзицији које имају веће стопе раста популације, брзо ширење растуће економије и сродно повећању животног стандарда. Ово се јасно може показати кроз потражњу за електричном енергијом. Потражња за нето електричном енергијом у Свету расте за 2,3% на годишњем нивоу од 2008. године, што значи да ће се потражња удвостручити до 2035. године, са предвиђањем раста годишњег генерисања електричне енергије од само 1,2% у индустријским земљама, па све до 3,3% у земљама у развоју и транзицији (OECD: Organization for Economic Cooperation and Development-Организација за развој и економску сарадњу). То ће учинити земље у развоју главним емитерима гасова стаклене баште.

У исто време, ове земље су посебно рањиве услед флукуације цена фосилних горива, поготово ако оне зависе од увоза горива. Како су фосилна горива, у већини држава, главни извор енергије, очекује се раст емисије гасова стаклене баште који је готово пропорционалан расту енергетске потражње. Утицај људи на климатске промене током последња два века премашује утицај познатих промена у природном процесу, као што је промена соларног зрачења и вулканске ерупције. У циљу да дођу до научног објашњења, Радна група 1 са Међувладиног панела о климатским променама (IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change), представили су ауторитативну међународну процену о томе како активности индустрије утичу на зрачење енергетског биласа у атмосфери. Слика 5 показује

повећање просечне глобалне температуре још од 19. века. Апсцисна оса показује аномалије у односу на просек од 1961. до 1990. године, док ординатна оса показује процењене стварне температуре (°C). Приказани линеарни раст, на овом графику, одговара периоду од последњих 25 (жута), 50 (наранџаста), 100 (љубичаста) и 150 година (црвена), и одговарају периоду редом од 1981. до 2005., 1956. до 2005., 1906. до 2005. и 1856. до 2005.

Од 1940. до 1970., повећање индустријализације после Другог светског рата је повећало загађење прашином, изазивајући смањење Сунчеве светлости у Северној хемисфери, што је допринело њеном хлађењу. Пораст емисије угљен диоксида и других гасова стаклене баште доминирају када се посматра загревање након средине седамтесетих

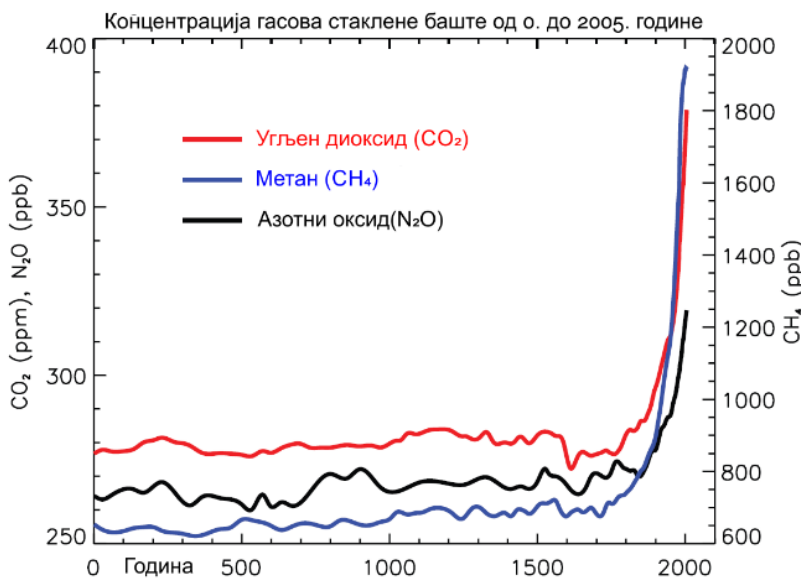


Слика 5 Годишње глобалне средње посматране температуре

година. Разматрајући кључна питања како се температуре на Земљи мењају, ИРСС је представио следећи коначан извештај: „Инструменталним посматрањем последњих 157 година је показало да су температуре на површини расле глобално, са значајним регионалним одступањима... Стопа раста загревања је знатно порасла током последњих 25 година услед повећања емисије антропогеног угљен диоксида,... Потврда о глобалном загревању долази од загревања океана, повећања нивоа мора, топљења глечара, повлачења леда на мору на Арктику и умањен снежни прекривач у Северној хемисфери,... и смањење трајања сезоне леда на рекама и језерима... океани се загревају; ниво мора расте услед термалног ширења океана и топљење залеђеног земљишта... Представљено као глобални просек, температуре површине су се повећавале за отприлике $0,74^{\circ}\text{C}$ у последњих 100 година (између 1906. и 2005. године; Слика 5 и 6). Коришћење локалних извора обновљиве енергије, заједно са имплементацијом технологија које су енергетски ефикасне су одрживи начини за превазилажење природних ограничења уобичајених извора енергије. Ови начини ће допринети смањењу ефекта стаклене баште и учиниће државе мање зависним од увоза

енергије и варијације цене фосилних горива. Економски и технолошки приступачни извори обновљиве енергије су много већи него извори свих фосилних горива заједно. То значи да ће светски извори обновљиве енергије бити доступни наредним генерацијама много дуже након што последња кап нафте буде произведена. Обновљиви извори енергије економски могу бити јако привлачни у поређењу са уобичајеним изворима енергије посебно у подручјима без електричне енергије. У тим подручјима сунчева енергија, енергија ветра и геотермална енергија могу бити економски и по окружење добри, а залихе енергије на локалном нивоу могу бити коришћене за десалинизацију воде или за друге најразличитије процесе, почевши од кућних домаћинстава и мањих заједница до оних већих, као што је постројење за десалинизацију, које има довољан капацитет за наводњавање велике обрадиве површине. Обезбеђивање енергијом подручја без електричне енергије може такође допринети снабдевању руралних крајева истом (електричном енергијом). Широм света више од две милијарде људи живи без електричне енергије, углавном у земљама у развоју, које немају приступ електричној енергији. Очигледно је да ће обезбеђивање економски доступне електричне енергије у руралним крајевима допринети њиховом социјалном и економском развоју. Подићи ће услове здравства, као и економску производњу, а стога и створити услове за запослење и подићи приходе и уопште квалитет живота (снабдевање болница, телекомуникација, компјутера, итд.). Коришћење бесплатних и локално доступних извора енергије као што су Сунце, ветар и геотермална енергија доносе нам истовремено решење два проблема као што су: снабдевање доступном електричном енергијом и чистом водом.

Обновљива енергија и технологије које су енергетски ефикасне за десалинизацију воде могу бити идеално решење за велика постројења и у подручјима са, а и у подручјима без електричне енергије. Велике количине енергије неопходне за десалинизацију могу бити обезбеђене из локалних извора обновљиве енергије, независно од тога да ли је директно



Слика 6 Преглед просечне концентрације главне радиоактивне компоненте у односу на време које изазивају климатске промене

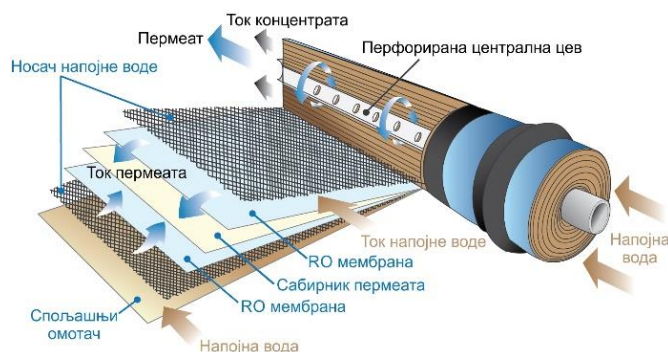
произведена и употребљена (на пример соларно термална, геотермална директна употреба) или посредно употребљена током привремене производње електричне енергије (на пример соларна фотонапонска, електричним генерисањем из ветра или геотермално). Ова електрична енергија може бити коришћена, на пример, да омогући рад постројења за десалинизацију коришћењем реверзне осмозе.

Индустријализовани свет треба да помогне земљама, у транзицији и развоју, у развоју обновљивих извора енергије и у имплементацији технологије које су енергетски ефикасне, као што је десалинизација воде. Постоје три разлога за то: да се допринесе повећању количине свеже воде, да се побољша друштвени и економски развој унапређивањем сигурности и енергетске независности и да се ублаже глобалне климатске промене. Проблеми везани за свежу воду, енергију и глобално загревање не могу бити решени на одрживи начин ако земље у развоју не узму активну улогу у томе. [1]

3 Мембранска сепарација

Употреба полупропустљивих мембрана је релативно нови додатак технологији обнављања и пречишћавања воде. Будући да инжењери настоје да усаврше ове мембране као и технике њихове примене, могу се осврнути на суштину примера одвајања воде како у постројењу тако и у животињским ткивима. По смислу, синтетичке мембране копирају оно што се дешава у многим природним системима: мембране су присутне у корењу и сржи дрвећа, као и у бубрезима и танким цревима животиња где служе за преношење хранљивих састојака до ћелија и за одстрањивање отпадних продуката.

Када се мембранска сепарација користи за пречишћавање, вода пролази кроз мембрану као резултат погонске силе, или комбинацијом погонских сила, задржавајући на себи део нечистоћа у облику концентрата. Тип мембране или баријере, начин примене погонских сила и карактеристике воде одређују тип уклоњених нечистоћа и ефикасности уклањања.



Слика 7 RO модул

У прошлости, проблеми запланости мембране или деградације и одлагања концентрата су одржавали релативно високе цене и ограничену примену мембранских система у посебним условима, као што је у случајевима где су уклоњене нечистоће имале

комерцијалну вредност. У последње време, побољшања у конструкцији мембрана и технологији примене су учинили мембранску сепарацију практичном и она се данас обично користи за системе за воду високе чистоће, за десалинизацију слане воде, као и третман ефлуента.

3.1 Микрофилтрација

У процесу прости мембранске сепарације, мембрана делује као порозна препрека. Вода продире кроз мембрану захваљујући разлици притиска. Величина пора у мембрани обично се крећу од 0,1 до 20 μm . Када се мембрана примењује као уређај за анализу ради детекције суспендованих честица у узорку воде, обично се користе поре величине 0,45 μm . Мембрана се може израдити од различитих материјала, као што су ацетат целулозе и полиамид. Број пора по јединици површине као и њихов облик или конфигурација могу се веома разликовати, што утиче на производни капацитет и квалитет. Хемизам мембране и структура су такође важни фактори.

Приликом филтрације, суспендоване честице се задржавају на површини мембране. Ако су суспендоване честице слузаве или лако лепљиве за површину мембране, она се зачепљује врло слично било ком другом филтерском медијуму, капацитет филтрације ће пасти до нивоа који је неприхватљив за практичну употребу и процес се мора зауставити а мембрана заменити. Ретко се мембрана може чистити повратним прањем. Мембране се користе за уклањање филтрацијом слабо колоидних или растворљивих материјала. Ефикасност уклањања врло финих суспендованих честица зависи пре свега од величине и облика пора као и од типа филтерског колача формираног у току филтрације.

Та ефикасност мора бити већа него што је у случају микрофилтрације што би могло да доведе до међусобног хемијског и електрохемијског утицаја између мембране и одређених растворљивих или колоидних супстанци које се налазе у води која се филтрира. Због овога, микрофилтри имају два ранга, номинални и апсолутни. Номинални ранг узима у обзир филтрацију честица чак финијих од самих пора, захваљујући филтрационом дејству акумулисаних честица на површини мембране. Апсолутни ниво представља уклањање 100 процената честица већих од величине пора. Номинални ранг се мора утврдити емпиријски за одређени систем мембрана/течност.

Као и са другим процесима филтрације воде, брзина филтрације је директно зависна од температуре воде (инверзно са вискозношћу) и разликом притиска кроз мембрану. За разлику од других мембранских процеса, микрофилтрација враћа 100% филтрата као произведену воду.

За практично извођење мембранске филтрације, највећи део суспендованих честица требало би уклонити конвенционалним слојним или филтерима са дијафрагмом пре него што честице стигну до мембранског уређаја. Мембрана је последњи корак у процесу уклањања нечистоћа које се могу детектовати уобичајеним анализама, а које би могле

нарушити целокупан циклус. Мембрана може прерадити преко 1000 l/cm^2 , ако се употребљава за филтрирану воду каква је иначе у већини водоводних система.

3.2 Ультрафилтрација

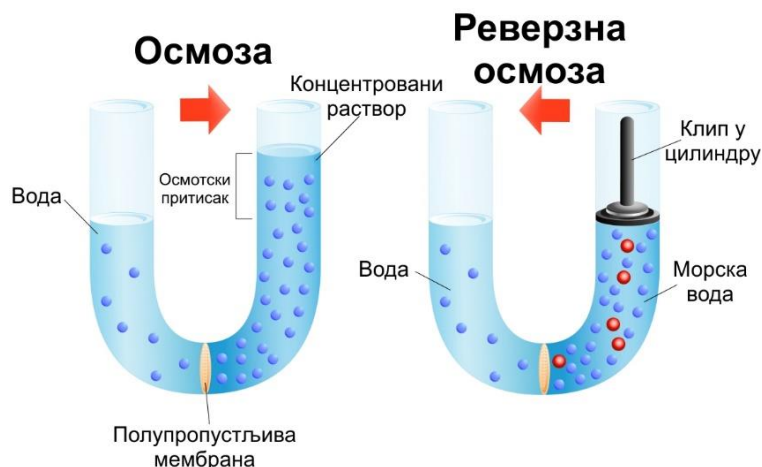
Пошто се величина пора смањује на много мање од $0,1 \text{ }\mu\text{m}$, значајно се повећава разлика притиска потребна за стварање прихватљиве вредности протока. Процеси у којима се користе мембране са порима малих димензија и повишени притисак називају се ултрафилтрацијом (УФ) и обично захтевају вредности разлике притиска већег од $1,4 \text{ bar-a}$. Сврха употребе пора мањих димензија је уклањање из воде колоида и одређених органских материјала високе молекуларне тежине. Међутим, овако мале величине пора чине их осетљивим на зачепљење од мембрана за микрофилтрацију. Да би се овај проблем решио, код појединих конфигурација УФ мембрана може се вршити повратно прање. УФ мембране се могу оштетити перманентним излагањем топлоти или притиску, изазивајући драстично снижење протока.

За разлику од отворене филтрације, карактер и облик УФ мембрана су више наглашени него остварени резултати. Да би се добила одговарајућа вредност протока, полупропусна УФ мембрана обично има изузетно танак слој уграђен на површини дебље подлоге која има већу порозност. Овакав тип мембране је назван анизотропан. Дебљина мембране може бити мања од $0,1 \text{ }\mu\text{m}$, док подлога може имати дебљину од 25 до $50 \text{ }\mu\text{m}$. Обично је потребна додатна носећа конструкција. Мембрана и подлога су најчешће од истог материјала, чија се површина обрађује термички, механички, хемијски или комбинацијом ових поступака.

Поред могућег зачепљења УФ мембрана, поларизација концентрације може такође да утиче на вредност протока. Будући да се одиграва у воденом слоју који се граничи са мембраном, овај феномен је последица локалног повећања концентрације одбачених нечистоћа. Ово доводи до повећања густине и вискозности раствора на површини мембране што за последицу има смањење протока. Развијене су бројне методе за смањење поларизације концентрације.

3.3 Реверзна осмоза

Осмоза је процес у којем растварач протиче кроз мембрану одвајајући јачи раствор од слабијег. Раствор тече у смеру који ће смањити концентрацију јачег раствора. Течење растварача између делова коморе са раствором може се посматрати као течност у делу коморе са јачим раствором чија се запремина повећава. Ако су ови делови опремљени водоказима течење ће се наставити све дотле док нико у делу са јачим раствором буде виши него у ономе са слабијим уз вредност која се изједначава са осмотским притиском, као што је приказано на слици 8.



Слика 8 Једноставно поређење осмозе и реверзне осмозе, у зависности од осмотског притиска

У реверзној осмози (RO), погонска сила је диференцијални притисак кроз мембрану који изазива течење из јачег раствора ка слабијем. Према томе, потребан притисак мора бити већи од осмотског притиска. Диференцијални притисак (трансмембрански притисак) је често виши од 20 бар-а, зависно од разлика у концентрацији. Из тога је очигледно да велики део експлоатационих трошкова представља енергија пумпања, док су други важни фактори, трошкови одлагања одбаченог материјала (обично око 25% запремине пуњења), амортизације и замене мембране. Ради оптимизације ових фактора, већина РО система су двостепени уређаји.

Може се појавити тежња за смањењем притиска као потенцијална мера штедње енергије, али веома је важно одржавати пројектни пад притиска (трансмембрански притисак) због тога што би смањење овог радног параметра смањило не само производњу, већ би такође допустило већи пролаз соли (насупротив одбацивању).

Ако повратни притисак порасте услед намерног пригушивања, такође ће доћи до ефекта повећања проласка соли, на рачун смањења количине одбачене соли. Према томе, одржавање трансмембранског притиска је најважније за остваривање оптималних перформанси.

Разлике трансмембранског притиска су зависне од типова примењених мембрана. У реверзној осмози, транспорт воде кроз мембрану није резултат течења кроз одређене поре, како се то иначе обично схвата. То је последица дифузије, једног одвојеног молекула кроз празан простор молекуларне грађе материјала мембране. Празни простори у аморфним (неискристалисаним) полимерима су у стању флукса, или нису фиксни, док су у кристалним материјалима празни простори слободни у решеткастој грађи и у суштини су фиксни по броју, положају и величини. RO мембране се израђују од аморфних полимера, али обично садрже нешто кристалних или мање аморфних делова.

Најчешће примењивани материјали су целулозни ацетат, трицетат и полиамидни полимери. Скраћени приказ њихових најважнијих карактеристика дат је у табели 6.

Табела 6 Карактеристике РО мембрана (базирано на 90%-ом одбацивању соли)

	Тип мембране		
	Триацетатни шупљи филтери	Полиамидни шупљи филтери	Спирално намотани целулозни ацетат
Флуks, m ³ /d/m ² при 27,5 bar-a	0,61	0,407	6,1-7,32
Повратни притисак, bar	5,17	3,45	0
pH опсег	4-7,5	4-11	4-6,5
Максимална температура, °C	38	44	38
Максимални садржај Cl ₂ , mg/l	1,0	0,1	1,0
Биоотпорност	Добра	Одлична	Прилична
Повратно прање	Неефикасно	Неефикасно	Ефикасно
Индекс густине муља (SDI)	4,0	4,0	7,0

Радне температуре се морају пажљиво пратити, пошто у случају прекорачења граничне температуре долази до пробоја, а са опадањем температуре ограничава се проток. При вишим температурама користе се полисулфонске мембране. За рад са ширим опсегом pH вредности могу се употребити мембране израђене од полиетиленимина и полифурана.

Усавршавање РО мембрана резултовало је компактнијом конструкцијом, уз малу рестрикцију протока. То је једва приметно ако се ради са притисцима испод 13,75 bar-a, али се зато може изгубити до 10% произведене количине при притиску од 17,5 bar-a, а после једногодишњег рада тај губитак достиже чак 40%. Због тога је важно схватити да се тежњом за компактношћу у пројектовању РО система не сме битно утицати на век трајања постројења који увек треба надмашити трајање мембрана.

Реверзна осмоза се такође назива хиперфилтрацијом, указујући на њену повезаност са процесом високо-притисне филтрације. Међутим, не би је требало помешати са ултрафилтрацијом, код које се примењују нижи притисци и различите мембране, зато што ултрафилтрација уклања суштински нерастворене јонске подврсте од малих до средњих молекуларних тежина, док реверзна осмоза може да уклони чак и подврсте мале молекуларне тежине.

Степен уклањања или одбацивања соли је пре свега карактеристика полупропусности мембране, један одређени одбацујући јон је кориснији од другог, као што се може видети из табеле 7. Ово одбацивање може бити поремећено присуством других јонских подврста у води која се подвргава процесу. Обично, што је већи водени флуks кроз дати тип мембране, мање је одбацивање, односно мања је количина соли садржане у концентрату а већа загађеност производа. Обрнуто, што је виши ниво одбацивања соли, нижи је флуks воде кроз мембрану при истој вредности трансмембранског притиска. Ова својства се могу мењати променом типа употребљених полимера и начина њихове производње као и вођења процеса. Тако код електродијализа, потенцијал за поларизацију концентрације, дељење, као и прљање се озбиљно разматрају приликом пројектовања процеса и уређаја узимајући у обзир све расположиве предности различитих материјала за мембране.

Табела 7 Уобичајена пролазност јона кроз РО мембране

Јони	Пролазност, %	Одбацивање, %
Амонијак	8	92
Натријум	5	95
Калијум	5	97
Магнезијум	3	97
Стронцијум	3	98
Калцијум	2	85
Нитрат	15	90
Бисиликат	10	95
Хлорид	5	95
Флуорид	5	95
Бикарбонат	5	95
Сулфат	3	97
Фосфат	1	99

3.4 Дијализа

Дијализа се ретко користи за пречишћавање и обнављање воде. Међутим, овај мембранско-сепарациони процес се може употребити за поправку јаких хемијских раствора, чиме се елиминишу озбиљни проблеми приликом складиштења. Према томе, дијализа нема примену у технологији воде. У простој дијализи, погонска сила је градијент концентрације кроз мембрану. Мембрана има поре кроз које се могу пропуштати раствори. Јони са великим јонским радијусом пролазе спорије од јона са мањим радијусом, што омогућава раздвајање јонских подврста. Растворени материјал или колоиди су сувише крупни да би прошли кроз мембрану у смеру супротном од протока јона захваљујући осмотском притиску.

Чак се и скоро полупропусна мембрана може употребити у дијализи, најчешће се користе мембране израђене од једне врсте хидратисаног целофана. Он мора бити хемијски измењен како би се добила површинска својства и величина пора неопходна за посебну сепарацију. Мембране се могу такође растезати ради промене брзине пропуштања. Избор одређене мембране се у великој мери односи на величину њених пора.

3.5 Електродијализа

У електродијализи погонска сила је електрична. Полупропусне мембране које имају својства измене анјона и катјона су наизменично напаковане под притиском са узаним пролазима за воду између њих. Када се прикључи једносмерна струја на електроде на било којој страни напакованих мембрана, анјони се селе према аноди а катјони према катоди. Пошто катјонска измењивачка мембрана дозвољава пролаз само катјонима, а анјонске измењивачке мембране допуштају пролаз само анјонима, наизменичност мембрана ствара концентрацију и разблаженост у наизменичним одељцима пакета. Брзина протицања кроз ове узане одељке или канале, број употребљивих пакета, као и уложена електрична енергија

(струја и напон који је примењен) одређују количину соли (катјони плус анјони) уклоњене из воде.

У циљу смањења струје потребне за одвијање процеса, конструктори оваквих уређаја праве ове канале што је могуће ужим. Како се концентрација соли у пролазима кроз које протиче произведена вода смањује, смањује се и њена електрична проводљивост, а електрична енергија потребна за уклањање додатне соли се повећава. Ако се примени превелика струја, доћи ће до одређених електролизиса (формирања H_2 и O_2 из молекула воде), чиме се смањује укупна ефикасност.

Поларизација концентрације је чак више ограничена електролизисом него другим процесима мембранске сепарације. Поларизација концентрације доводи до развоја потенцијала мембране супротне примењеном потенцијалу. Поларизација концентрације и, већ поменуто, цепање воде повећава тенденцију формирања пене као концентрације калцијума у засољеним каналима превазилазећи, на пример, растворљивост калцијум карбоната или калцијум сулфата. Талози калцијум карбоната или магнезијум хидроксида су најсличнији облику граничне површине између анјонске измењивачке мембране и концентрата, услед вишег рН (јони OH^-) који је тамо присутан. Развој пене или депозита на површинама мембрана смањује трансфер јона и повећава потрошњу струје. Јединствена процедура звана промена поларитета је веома корисна за решавање овог проблема. Сваких 15 до 20 минута мења се електрични поларитет пакета, а са њим истовремено се мењају и смерови течења сирове воде, соли и водене електроде.

Побољшања у конструкцији мембрана и пакета су помогла у смањењу ефекта поларизације концентрације. Пронађене су методе за стабилизацију тенденција стварања пене и чишћења пакета у погону како би се одложило заустављање процеса. Конструисане су специјалне ћелије за индивидуалне примене у циљу повећања поузданости и смањења трошкова експлоатације. [3]

3.6 Вакуумска десалинизација

Вакуумска десалинизација је процес код кога вода испарава на нижим температурама када се изложи ниском притиску, тј. вакууму. Потребна топлотна енергија за десалинизацију коришћењем процеса дестилације се може смањити редукцијом температуре кључања. Температура кључања морске воде се може снизити, стварањем вакуума, до $400^{\circ}C$. Пилот студија је спроведена у лабораторији како би се испитала могућност коришћења процеса вакуумске десалинизације која користи отпадну топлоту парне турбине за снабдевање водом. Систем прераде је дизајниран тако да минимализује потребе топлоте. На почетку се морска вода, уз помоћ грејача засићене паре, претвара у водену пару. Овај грејач преузима топлоту од прегрејане паре која настаје услед кондензације. Сува компонента водене паре се загрева до прегрејаног стања уз помоћ грејача прегрејане паре. Овај грејач преузима отпадну топлоту парне турбине. Прегрејана пара се користи за конвертовање улазне морске воде у водену пару, која се кондензује у воду за пиће. Испитивања показују да је систем вакуумске десалинизације који користи

отпадну пару турбине могућ, и има неколико предности. Морска вода може кључати на нижој температури и на тај начин уштедети потрошњу енергије. На основу експерименталних резултата, вода кључа на температури од 40°C до 90°C на одговарајућем потпритиску од 0,1 до 0,7 bar-a. Потрошња топлоте добијене из отпадне паре је сведена на минимум како се прегрејана пара користи за загревање улазне морске воде. Већи део отпадне топлоте је потребан да се надоместе губици топлоте у систему. Енергетска ефикасност система зависи углавном од смањења топлотних губитака у систему. Могуће је користити неконвенционалне енергетске изворе као што је нижи притисак отпадне паре за вакуумску десалинизацију. Формирање чврстог слоја седимената у систему, који представља један од највећих проблема код процеса дестилације на високим температурама, може бити смањен. Квалитет добијеног дестилата је одличан. [4]

4 Коришћење пасивних соларних система за добијање воде за пиће

4.1 Упознавање са пасивним соларним системима

Десалинизација је један од многобројних процеса који се могу користити за пречишћавање воде. Овакав систем захтева улазну топлотну енергију, која може бити у виду соларне радијације, тј. сунчевог зрачења. Код ових система, процес десалинизације се базира на промени фазе где вода испарава и водена пара се одваја из растворене материје, која се касније кондензује као пречишћена вода. Добијени дестилат је веома високог квалитета где нечистоће у раствору нису ограничавајући проблем као код осталих индустријских техника које се заснивају на физичком пречишћавању раствора. У ту групу спадају реверзна осмоза и електродијализа.

Најприроднији начин десалинизације на планети Земљи јесте хидролошки циклус који се одвија услед топлоте добијене сунчевим зрачењем. Када океани упију соларно зрачење, вода испарава и пара се издиже изнад површине океана. Пара се креће ка хладнијим деловима атмосфере уз помоћ конвекционих струја, где се хлади до тачке росе, након чега се пречишћена вода враћа натраг на земљину површину у виду кише. Овакав принцип се користи и код пасивних дестилатора уз додатак алтернативног процеса за грејање и хлађење.

Најједноставнија техника дестиловања јесте директно дестиловање помоћу такозване „соларне пецаре“, која се често користи у процесима десалинизације. Тај систем опонаша хидролошки циклус који се базира на соларном загревању затвореног суда са прозирном површином. Унутар соларне пецаре налази се слана вода. Соларна радијација пролази кроз прозирну површину суда где долази до загревања воде услед чега она испарава. Услед испаравања долази до пречишћавања воде јер хемијски и биолошки загађивачи остају у базену. Испарена и пречишћена вода се кондензује са унутрашње стране прозирне површине након чега се прикупља као чиста вода.

Пасивна соларна дестилација у соларним пецарама је најстарији метод десалинизације и овај метод се може унапредити у активне соларне пецаре, напајајући је додатно енергијом из екстерних соларних колектора или топлих отпадних гасова из индустрије. Даља побољшања се добијају раздвајањем процеса испаравања и кондензовања. Овај поступак представља основу процеса са овлажавањем и сушењем, тј. Н-DH¹ методе десалинизације, који ради по принципу масене дифузије који користи струјање ваздуха за пренос водене паре између испаривача (овлаживач) и кондензатора (сушач). Овај процес такође омогућава раздвајање прикупљене соларне енергије и процеса десалинизације, што омогућава напајање другим извором термалне енергије.

Процес испаравања је ендотермски што значи да захтева енергију, док је процес кондензације егзотермски и такав процес ослобађа енергију. Сакупљањем латентне топлоте код кондензације, процес може бити енергетски ефикаснији. Сакупљање топлоте се генерално користи за даља испаравања, претварањем латентне топлоте кондензације у латентну топлоту даљњег испаравања. Тиме долазимо до мулти ефективног или више етажног концепта који се може применити код соларних пецара и Н-DH метода. Такође ово претставља основе индустријског процеса термалне десалинизације као мулти ефективна и више етажна флеш десалинизација.

У овом поглављу ће се обратити посебна пажња на методе пасивне соларне десалинизације, тј. на соларне пецаре.

4.1.1 Историја соларних пецара

Феничански морнари који су крстарили Медитеранским морем су већ користили сунчево зрачење да би претворили морску воду у воду за пиће. Грчки филозоф Аристотел је описао циклус воде у природи и приметио је да када слану воду претворимо у пару и касније ту пару кондензујемо добијамо форму слатке воде. У принципу, прокување морске воде и кондензација настале водене паре уз помоћ сунђера је био један од првих начина десалинизације. Још један од начина је био коришћењем стаклених тегли које су директно биле изожене сунчевом зрачењу, које је изазвало повећану употребу алембика, алхемијског казана за дестилацију. Током средњег века, арапски алхемичари су вршили десалинизацију слане воде коришћењем посуда загрејаних сунчевим зрачењем концентрованим конкавним огледалима. Године 1589. италијански физичар Giambattista della Porta је поменуо неколико метода десалинизације у његовој књизи „Magiae Naturalis“, укључујући његово соларно постројење за десалинизацију као и метод за добијање воде за пиће из ваздуха. Али тек 1870. године у Сједињеним америчким државама је одобрен први патент везан за десалинизацију коришћењем Сунчеве енергије, у коме се описују основне операције соларне пецаре базиране на обимном експерименталном раду.

Прво велико постројење за соларну пасивну десалинизацију подигнуто 1872. године у близини града Las Salinas, на северу Чилеа, коју је дизајнирао шведски инжењер Charles Wilson. Постројење је изграђено са циљем снабдевања водом за пиће насеља повезаног са

¹ Н-DH-Humidification-dehumidification (Процес влажења и сушења)

рудником соли. Постројење је било у погону 40 година и снабдевано је водом високог нивоа соли (40 g/kg) из чега се добијало 22.7 m^3 пијаће воде на дан. Постројење је било изграђено од тамног дрвета префарбаног кампуховом бојом и сулфатом алуминијум калаја, како би апсорбовао сунчево зрачење уз помоћ стакленог поклопца. Састојало се из 64 увале, укупне површине 4450 m^2 која је заузимаła површину земље од 7896 m^2 . Иако су још почетком 20. века дизајнирани оптимизирајући уређаји за повећање производње пијаће воде соларном дестилацијом, овај систем је ширу примену нашао тек почетком Другог светског рата када се истраживање соларних дестилатора промовисало као начин снабдевања водом трупа које су биле на удаљеним и изолованим местима.

María Talkes, са универзитета МИТ у Масачусетсу је развила концепт преносиве пластичне соларне пецаре на надувавање које су се користиле на чамцима за спасавање. Састојала се из уређаја за надувавање направљен од провидне пластике са филцаном подлогом и прикаченим судом за прикупљање дестилата. Соларна пецара би пловила уз чамац за спасавање чиме би се филцана подлога натапала морском водом. Сунчево зрачење, које је пролазило кроз провидне пластичне површине, загревало је филцану подлогу услед чега би долазило до испаравања воде која би се кондензовала на унутрашњим површинама пластичног суда и која би клизила до суда за прикупљање дестилата.

На универзитету у Калифорнији је 1951. године, у лабораторији за претварање морске воде започето истраживање које је довело до изградње соларне дестилационе станице на инжењерском одсеку у Ричмонду, Калифорнија. Готово у исто време, влада Сједињених америчких држава отвара канцеларију за Слане воде, која је отворила и финансирала програм испитивачке станице за соларну дестилацију у месту Дејтона у савезној држави Флорида. Много врста различитих идејних решења је тестирано у Дејтони, укључујући базенску десалинизацију, мулти-ефективне и активне соларне пецаре.

Програм соларне дестилације у Аустралији је развијен у организацији за Комонвелт научно и индустријско истраживање у Мелбурну. Прототип пецаре са увалом, покривеном стакленом површином је дизајнирано и изграђено у пустињи, међу којима је највећа била у месту Coober Pedy на југу Аустралије. Технички универзитет у Атини је осмислио соларне пецаре за острва и састојале су се од асиметричних стаклених површина алуминијумских рамова, које су стварале ефекат стаклене баште. Једна од до сад највећих соларних пецара икада изграђених се налази на Грчком острву Patmos, укупног капацитета 8640 m^3 на дан. У бившем Совијетском савезу неколико институција је вршило истраживања соларних пецара и постројење је изграђено у граду Ashkabad, данашње престонице Туркменистана. Такође су спровођена испитивања на соларним пецарама и у државама као што су Шпанија, Португал, Индија, Кипар, Чиле, Мекико, Египат, Алжир и Тунис.

На основу десетогодишњег испитивања, научници су дошли до закључка да је просечна ефикасност најчешће функција укупне соларне радијације. Процењено је да је ефикасност соларних пецара око $3,26 \text{ l/m}^2$ на дан, што на годишњем нивоу представља око $1.2 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Наведено је да би већа трајнија соларна пецара прекривена стакленом површином доследно производила воду, поузданих основа за трошак између 0,8 и 1,1 \$ по m^3 . Овај опсег

цена представља најбољу претпоставку по питању планирања, за најмање неколико наредних година.

До раних седамдесетих година прошлог века, соларне пецаре су посматране као последња реч технологије и проглашене су потпуно разумљиве са аспекта термодинамичких и геометријских ефеката. Неки модификовани типови соларних пецара су показивали побољшану продуктивност, у неким случајевима чак и дупло више од основних модела. Међутим, временом, ни једно побољшање се није могло оправдати са економског аспекта. Такође, неопходно је било доказати да ће материјал дуговечно трајати као и то да ће постројење дуго радити уз минимално одржавање.

У последњих 40 година, веома велики број експерименталних соларних пецара је конструисано и њихове перформансе су се добро показале. Истраживања се и даље спроводе што показује податак да је само у 21. веку објављено више од 200 истраживачких радова. Иако се основна знања и технологије, везане за соларне пецаре, нису знатно промениле у последњих 40 година, постоји неколико интересентних, нових, модификованих, дизајна са повећаном ефикасношћу и доказаним термодинамичким перформансама.

4.2 Пасивне соларне пецаре

Соларне пецаре се састоје из уског пролаза испуњеног ваздухом кроз који струји слана вода и која се загрева до температуре ниже од температуре кључања. Услед загревања долази до испаравања морске воде која се након тога кондензује на горњој површини пецаре. Пасивне соларне пецаре не захтевају додатне изворе енергије док активне соларне пецаре имају додатне изворе енергије која се обезбеђује уз помоћ соларних колектора или спољашњих уређаја као што су топлотне пумпе или кондензационе јединице.

Најједноставнија соларна пецара јесте пецара базенског типа. Састоји се из плитког базена у коме се налази слана вода и провидне површине кроз коју може проћи сунчево зрачење. Сви спојеви између зидова и провидне површине морају бити добро запечаћени како не би дошло до цурења паре и провидна површина мора бити постављена под одговарајућим углом како би кондензат клизио до жљеба и сабирног корита. Сунчево



Слика 9 Шематски приказ соларне пецаре са једним нагибом

зрачење пролази кроз провидну површину и допире до корита на дну пецаре. Провидна површина може имати једну или две нагнуте површине којим ће кондензована течност долазити до сабирног базена. Ради боље апсорпције сунчевог зрачења, већина базена је прекривена водоотпорним црним материјалом.

Одабир материјала при конструкцији соларних пецара је веома битан. Они морају имати дуг животни век при условима којим су изложени, или да буду довољно јефтини да се мењају сваки пут када дође до њихове деградације. Морају бити отпорни на корозију услед слане и дестиловане воде, и да буду довољно издржљиви да се одупру оштећењима услед ветра и малим померањима земље. Соларне пецаре не смеју да емитују нестабилна и растворљива једињења на радним температурама које могу да утичу на укус воде. Један од највећих проблема јесте одабир материјала за израду базена за слану воду. Метал тежи корозији, бетон и азбесни цементи апсорбују воду услед чега могу настати напрсине, док пластика није отпорна на високе температуре. Најбоље решење јесте покривање базена обложивим материјалима који морају бити водонепропусни, способни да апсорбују сунчево зрачење и издрже високе температуре. Најчешће се употребљују бутил, силиконска гума, асфалтне простирке па чак и пластичне облоге.

Прозирни материјал мора имати високу пропустљивост сунчевог зрачења и ниску пропустљивост дуготаласног зрачења емитованог из воде. Такође, мора имати велику стабилност, механичку отпорност и отпорност на влажност како би се избегло формирање капљица воде. Из тог разлога најбољи материјал за прозирну површину јесте стакло, док је провидана пластична фолија предложена као јефтинија замена за стакло и на тај начин се постиже флексибилност и елиминишу потребни зглобови који су неопходни за постављање стаклене конструкције. Међутим, деградација услед ултраљубичастог зрачења и сакупљање прашине услед електростатичког пуњења се мора избећи, као и да се побољша отпорност на влагу. Први материјал који се користио као прозирна површина био је целулозни ацетат који је тестиран у лабораторији за претварање слане воде, на универзитету у Калифорнији 1954. године а након десет година и поливинил-хлорид. Од тада је спроведено много покушаја конструисања соларних пецара али сваки је имао исти проблем. Данас се као алтернативна замена користи трослојни истиснути полиетилен са унутрашњим слојевима етилен винил ацетата који садржи адитиве против капања и квашљиви етилен тетрафлуоретилен.

Заптивање мора да гарантује непропусљивост ваздуха и воде, и због тога се користе силиконски или гумени материјали. Изолација је најбитнија испод базена пецаре. Понекад је најјефтинија опција изградња соларних пецара на месту које има суво земљиште са добром дренажом. Песак помаже умањивању губитака и може се понашати као извор топлоте, враћајући топлотну енергију у соларну пецару након заласка Сунца.

Генерално, дестилирана вода се може пити јер је квалитет веома висок због тога што су све соли, микроби и органске и неорганске материје остављене у базену. Услед сунчевог зрачења температура воде ће значајно порасти чиме ће се уништити све патогене бактерије у дестилату. Један део бактерија се уништава и вишесатним излагањем ултраљубичастом зрачењу. Експериментима је доказано да соларне пецаре базенског типа могу произвести

пијаћу воду високог квалитета из воде веома лошег квалитета због тога што успешно уклањају нерастворљива загађења и бактерије из воде са ефикасношћу већом од 99,9%.

Постоји велика вероватноћа да ће се танка превлака или слој муља појавити на дну базена и зато се мора вршити испирање што чешће. Базен је неопходно допуњавати сланом водом и чистити од сланих раствора. Соларна пецара са кадом је погоднија за констатно пуњење због тога што губи мање топлоте. Други главни услов захтева чишћење јер се тиме третмани напојне воде могу избећи. Провидна површина од стакла не захтева чишћење док је провидне површине од пластике неопходно чистити због њиховог већег електростатичког набоја. Такође, облоге базена или фитиљи могу захтевати чишћење услед перутања и ова операција може бити веома скупа.

4.3 Перформансе соларних пецара

Тренутна топлотна ефикасност соларне пецаре је дефинисана као однос преноса топлоте испаравања и тренутног сунчевог интензитета зрачења:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{ew}}{I_{(t)}} \quad (4.1)$$

Према томе, перформансе соларне пецаре током одређеног временског периода Δt је представљен:

$$Y = \frac{\Sigma \dot{m}_w \Delta t}{\Sigma I \Delta t} \quad (4.2)$$

Eibling et al. (1971.) је анализирао резултате 27 највећих соларних пецара басенског типа које су у том тренутку биле у функцији. На основу десетогодишњег искуства, они су запазили да је просечна продуктивност била углавном у функцији укупне соларне радијације. Продуктивност великих соларних пецара басенског типа се стога апроксимира изразом:

$$Y = 35.64G^{1.40} (\Delta Y \approx \pm 25\%) \quad (4.3)$$

, где је Y продуктивност [l/m^2 дан], ΔY представља грешку а G соларну радијацију [J/m^2 дан]. Према томе, продуктивност соларних пецара је процењена на око 3,26 [l/m^2 дан], што одговара 1,2 m^3 по години и квадратног метра површине колектора. Откривено је да утицај других атмосферских варијабли има мали утицај при поређењу.

Продуктивност полако расте са амбијенталном температуром ($\sim 5\%$ за сваких $5^\circ C$ пораста). Укупан ефекат повећања брзине ветра се одражава малим падом продуктивности. У једну руку, ветар помаже у смањивању температуре провидне површине, која би требало да повећа стопу кондензације, али нижа температура провидне површине значи већи топлотни губитак у басену чиме се добија негативни баланс.

Највиша продуктивност соларних пецара се јавља за високе температуре у басену са минималним топлотним кашњењем. Стопа испаравања се експоненцијално смањује са смањењем температуре басена. Научници Hirschman и Roffler (1970) су пронашли обрнуту пропорционалност између продуктивности и унутрашње температуре соларне пецаре (временско заостајање између максималне тренутне соларне радијације и максималне стопе испаравања). Такође, дубина басена као и изолација имају веома битан утицај. Дубина воде повећава запремину топлотног капацитета басена али такође и редукује температуру воде, што смањује стопу испаравања и продуктивност соларне пецаре. Соорег (1973) је открио да је дубина обрнуто пропорционална продуктивности соларне пецаре. Ипак, са дужином температура и стопа продуктивности су уједначене и под мањим утицајем интензитета соларног одступања у кратком временском периоду. Такође, топлота ускладиштена у запремини воде се ослобађа током недостатка сунчеве енергије чиме се продуктивност наставља и током ноћи. Ова топлотна инерција може понекад надокнадити губитке услед недостатка изолације како би перформансе дубоких басена биле боље од перформанси плитких басена.

Изолација има јачи ефекат код плитких басена и бенефит само код малих пецара. Bloemer et al. (1965.) је показао да се коришћењем изолације испод басена дубине до 5 центиметара повећава продуктивност око 15%, и око 20-30% код басена дубине 2,54 центиметра. За пецаре веће од неколико хиљада метара квадратних, веома је тешко открити да ли је изолација економски исплатива.

Продуктивност очигледно опада са губитком паре, али и цурење кондензата натраг у пецару такође може бити велики фактор за опадање продуктивности.

Како је наведено у неколико радова, свеобухватна ефикасност једне типичне соларне пецаре басенског типа је око 30% и преко две деценије многи напори су били улагани како би се ефикасност повећала, што се може видети у многим напоменама Löf-a (1961.), Murugavel-a et al. (2008.) и Kaushal-a (2010.). Још један тип соларне пецаре је дизајниран за рад са ниским топлотним капацитетом који је назван пецара са нагнутим фитиљем. Овај тип пецаре има релативно вишу стопу дестилације по јединици површине и ради на прилично високим температурама. Упркос њеној једноставној конструкцији, ниске цене рада и одржавања, главни недостатак са аспекта енергије соларне пецаре оба типа је тај што се латентна топлота кондензације не користи.

Мулти-ефективне соларне пецаре су дизајниране тако да рециклирају један део латентне топлоте настале услед кондензације, користећи је за загревање напојне воде унутар пецаре. Ово се може постићи коришћењем канала за напојну воду као површине за кондензацију водене паре. На тај начин напојна вода се предгрева помоћу топлоте ослобођене из кондензоване паре, а површина кондензације се одржава константно хладном. На тај начин мулти-ефективне пецаре могу произвести и до 20 литара воде на дан по квадратном метру колектора.

5 Десалинизација воде уз помоћ енергије Сунца

Демографски и економски раст као резултат имају стални раст потражње за водом која се користи за наводњавање, у индустријске сврхе и за пиће. С друге стране, извори слатке воде су природно ограничени и изложени континуираној антропогеној контаминацији. Овај развој догађаја, у комбинацији са климатским променама, сиромаштвом, неједнакошћу и неједнаким односом снага, као и погрешном политиком управљања водом, резултира чињеницом да један број региона и држава живи у условима водног стреса, тј. располажу са мање од 1 700 m³ по особи на годишњем нивоу. Такав тренд је у значајном расту, посебно током неколико протеклих деценија, а значајно ће ескалирати у будућности.

Ситуација је посебно озбиљна у земљама у развоју у Северној Африци и на Средњем Истоку. Минимални захтев за пијаћом водом је много нижи од оног који је дефинисан као водени стрес: израчунато је да сваки становник има 30-40 литара дневно у сушним областима земаља у развоју [63]. Најдраматичнији ефекат који прати ове бројке је морталитет деце; мањак квалитетне воде и мале количине које се доводе у везу са више од 1,4 милиона смртних случајева годишње (SZO). Ипак, међународна свест о води расте, иако вода није посебно споменута као људско право. Уједињене нације су свесне важности воде и означиле су период од 2005.-2015. као међународну деценију за акцију: „Вода за живот“ (Уједињене нације 2005.).

Растућа потражња за водом довела је до снажног развоја десалинизацијских технологија, које су доживеле експоненцијални раст током последњих година; према IDA (International desalination association-међународно удружење за десалинизацију) извештајима, кумулативни уговорни капацитет постројења за десалинизацију био је 62,8 милиона кубних метара дневно крајем јуна 2008. године [64].

Међутим, десалинизација захтева велике количине енергије, узимајући у обзир топлоту потребну за процесе десалинизације (попут мултиефектне дестилације или вишефазног блеска), или електричне енергије за мембранске процесе (попут реверзне осмозе или електродијализе). Енергија се углавном обезбеђује сагоревањем фосилних горива; на тај начин, десалинизација воде подразумева емисију CO₂. По грубој процени, сваки кубни метар десалинизоване воде из RO постројења са морском водом значи производњу 3 килограма CO₂. Шта више, десалинизација повећава потражњу за енергијом, што подразумева вишу екстерну зависност и за последицу има економске трошкове у земљама са ниским енергетским ресурсима.

Десалинизација која користи обновљиве изворе енергије превазилази ове недостатке; с једне стране, то је систем који не проузрокује загађење, а са друге стране, користи локалне изворе енергије, као што су соларна енергија или енергија ветра. Постоји широк асортиман десалинизацијских система који раде уз помоћ обновљиве енергије, у зависности од типа енергетског извора и процеса третмана воде. Ово поглавље се фокусира на посебној комбинацији аутономне десалинизације: фотонапонска енергија везана за

реверзну осмозу; сврха је да се представи теоријски и практични приступ као и искуства добијена са система инсталираних у Северној Африци (Мароко и Тунис). Ово спајање је већ тестирано током значајног временског периода [67] и сматра се најпопуларнијом опцијом; око 32% аутономних десалинизацијских система су базирани на PV електричним јединицама за реверзну осмозу [50]. Технолошки институт Канарских острва (ИТС) почео је да тестира ову комбинацију 1998. [53]. Ово дуго искуство ИТС-а на овом пољу омогућило је прелазак из лабораторије у релани свет, нудећи решење за потребе снабдевања водом у удаљеним областима у унутрашњости. На пример, слани водени систем, са капацитетом од 2,08 m³/h, био је инсталиран у Тунижанском селу Ksar Ghilene, а постројење је почело са радом у мају 2006. године [68]. Недавно, захваљујући иницијативи Европске уније, МЕДА-водни програм, са шест јединица је инсталирано и пуштено у рад у Мароку током 2008. (АДИРА пројекат, 2003.-2008.); две јединице су пуштене у рад од стране Мароканске NVO FM 21, а друге четири од стране ИТС-а. Искуство је показало корисну улогу аутономне десалинизације у решавању тешке ситуације када је у питању снабдевање водом у руралним подручјима [65, 66].

Ово поглавље представља општи опис техничког комбинованог концепта фотонапонски покренутих јединица реверзне осмозе и пружа реалне податке о техничким карактеристикама система инсталираних у Тунису и Мароку. Техничка питања су допуњена делом који се односи на економске и социјалне аспекте. На крају, ово поглавље се завршава избором најрелевантнијих техничких препорука.

5.1 Имплементација PV-RO система

5.1.1 Опште карактеристике

PV-RO систем је комбинација десалинизације коју покреће обновљива енергија и која се састоји од фотонапонског поља (PV) које напаја јединицу реверзне осмозе (RO). Имплементација ове врсте система мора да испуни једну групу услова:

- *Планирање оваквог пројекта мора да узме у обзир локалне услове:* Низ података у вези са особеностима сваке локације мора да се прикупи. Од иницијалних корака пројекта па на даље, морају се размотрити не само елементарни подаци у вези са потражњом воде, саставом воде и соларним зрачењем, већ и други подаци у вези са техничким, економским и социјалним аспектима, као и аспектом животне средине; нпр., постојање и стање инфраструктуре, употреба воде и културни аспекти у вези са водом.
- *Дизајн је кључни део пројекта:* Упркос чињеници да је PV-RO систем заједнички за све пројекте, постоје многе опције када је у питању дизајн сваког дела система (контрола, RO јединица, систем снабдевања струјом, јавни радови, итд.).
- *Имплементација се не завршава оног дана када се постројење пусти у рад:* Треба укључити оперативне процедуре и процедуре одржавања. Ово је део који се односи

на самоуправљање пројектом, што значи да је локално становништво морало претходно да се обучи и буде у стању да управља системом и да га одржава.

На тај начин, имплементација PV-RO система, посебно када се ради о инсталирању у земљама у развоју подразумева један сложен процес приликом којег се морају узети у обзир и технички и не технички аспекти.

5.1.2 Процес имплементације

Овај део описује, хронолошким делом фазе имплементације PV-RO система.

Фаза 1: Анализа локалних услова

Први корак је да се уоче карактеристике, локације или потенцијалне локације на којој систем треба да буде инсталиран. У неким случајевима, одлука о крајњој локацији није фиксна и захтева претходну анализу како би се изабрала најпогоднија локација. Добра полазна тачка је да се има основна идеја о потенцијалној области или регионима државе; срећом, основни подаци о водној ситуацији и доступности соларних ресурса су познати за многе земље. Програм Уједињених нација за водовод и канализацију описује водну ситуацију у посебном извештају. Између осталог NASA дозвољава приступ подацима о локалној соларној радијацији (CETC-Varennnes, RET Screen).

Друго, препоручује се израда упитника са свим релевантним питањима како би се оцениле потенцијалне локације (технички, економски и социјални аспекти). Након прикупљања свих података, треба анализирати информације, а затим, у складу са постављеним циљевима или квантификованим критеријумима, започети процес избора како би се нашла најпогоднија локација.

Фаза 2: Дизајн

Добар дизајн неизоставно захтева информације из фазе један; другим речима, дизајн мора бити подређеним локалним условима, а не обрнуто. Карактеристике које треба узети у обзир у фази дизајна су следеће:

- *Избор опреме и материјала високог квалитета:* Иако то значи виши инвестициони трошак он ће смањити могућност оперативног прекида рада у будућности и олакшаће послове одржавања.
- *Контролна стратегија:* Мора се успоставити контролни систем како би се минимализовала потрошња енергије, максимализовала производња воде и повећао животни век компонената.
- *Локална обука:* Специјална фаза обуке, која се односи на локалне техничаре који ће преузети локално одржавање и даље радове, је једна од најважнијих фаза. Обука треба да узме у обзир основне оперативне аспекте система и како треба изводити превентивне и корективне акције одржавања.
- *Физичко-хемијска анализа сирове воде:* Ово је кључна информација за избор најпогоднијих RO елемената, а углавном се односи на мембране, пумпе са високим притиском и предтретман.

- *Специфична локација система:* Избор локације мора да нађе компромис између тачке снабдевања водом и извора са слатком водом: ако је систем удаљен од извора са сировом водом, онда ће се повећати снага пумпања и биће потребно веће поље PV панела. Без обзира на то, систем се обично позиционира близу тачке потражње за водом, одакле се вода дистрибуира уз помоћ гравитације како би се избегла могућа цурења дуж цеви.
- *Употреба батерија:* Укључивањем овог система ускладиштене енергије ће се омогућити рад система на више сати (у периодима ниске соларне радијације).
- *Једноставан дизајн:* Што је дизајн једноставнији, то је лакша израда и инсталација. С друге стране, када су у питању изградња и јавни радови у вези са тим, једноставан дизајн ће бити од велике помоћи грађевинским компанијама са ниско до средње квалификованим радницима.

Фаза 3: Производња

Упркос чињеници да се већина компоненти може набавити на трговинском нивоу (батерије, PV панели, пумпе или конвертори), јер је систем дизајниран за одређену сврху, у неким случајевима је ипак потребно произвести одређене делове. Постројење за реверзну осмозу може да се купи, али такође има смисла пројектовати и произвести овај елемент узимајући у обзир да постоје многе опције када је у питању количина воде која треба да се произведе, као и квалитет сирове воде. Постоји неколико компанија, експерата за RO, које су у стању да произведу посебне јединице за ниске капацитете, испод 200 m³ дневно.

Елементи RO јединице (филтери, резервоари за хемијске производе, пумпе високог притиска, херметички судови, цеви, вентили и хидраулични прибор, справе за мерење, трансмитори, итд.) треба да буду склопљени на компактан начин како би се узело у обзир да ће јединица касније бити транспортована у контејнерима од 6 или 12 метара.

Фаза 4: Транспорт

Пошто је сва опрема спремна, мора се транспортовати до крајње локације. Ово уопште није директан процес, и у позадини свега мора да постоји јака логистика. С једне стране, опрема мора да се припреми на такав начин да може да се држи у контејнеру, а различити елементи треба да буду груписани бројчано и по ознакама за одређене делове. С друге стране, неопходно је направити план транспорта, узимајући у обзир паковање и припрему елемената за контејнере, друмски и бродски превоз, царинске процедуре и, коначно, превоз камионом до крајње локације.

Поред тога, ова етапа подразумева трошак и време јер процес на локалној царини није лак. Писмо од локалне власти које потврђује да је опрема део међународног пројекта сарадње и да није намењена за комерцијалне/пословне сврхе могло би да буде од велике помоћи како би се избегли или смањили трошкови и порези.

Због специфичних тешкоћа на локалном нивоу у фази транспорта, неопходно је да компанија подуговарач узме учешћа у овом процесу јер ће иначе неочекивана кашњења, трошкови и проблеми отежати гарантовање правовремене испоруке опреме.

Фаза 5: Инсталација

Фаза инсталирања може да отпочне чим се опрема транспортује до крајње локације, а грађевински јавни радови буду завршени. Фаза инсталације подразумева заправо неколико активности које треба спровести када су у питању два главна дела система: хидраулични и електрични комплет.

- *Хидраулично коло делимично ниског притиска:* Овај део укључује усисавање сирове воде и напојни пумпни систем до усисног вода пумпе високог притиска и одвода за излазну десалинизовану воду. На локацијама у унутрашњости копна напојна пумпа се поставља у близини извора, неколико метара испод воде, али увек са празним простором изнад тачке дна; једносмерни вентил и филтер се инсталирају на месту где се усисава вода. Материјал који се користи је обично полиетилен високе густине.
- *Хидраулично коло делимично високог притиска:* Коло високог притиска укључује напојну пумпу до херметичких судова где мембране реверзне осмозе екстрактују слатку воду из слане воде. У случају морске воде, бракична вода (вода која настаје мешањем слане воде са текућом водом) истиче под високим притиском (близу 60 bar-а или 6 МПа, за салинитет морске воде од 35 g/l), што се може искористити да се изврши притисак на део напојне воде уз помоћ уређаја за обнову енергије, а додатна пумпа снабдева систем додатним притиском како би се постигао радни притисак на улазу RO модула. Ако је салинитет напојне воде низак (испод 3-4 g/l), могуће је повећати ток десалинизоване воде мешањем мале количине напојног тока са продуктом воденог тока (мешавина). У случају да се ради о морској води, висок оперативни притисак (60-70 bar-а) намеће избор нерђајућег челика високог квалитета (AISI 316L или бољег квалитета) као материјал за цеви, у случају слане воде, нижи оперативни притисак омогућава коришћење мање резистентних материјала, као што је полипропилен.
- *Електрична инсталација-једносмерно струјно (DC) коло:* Коло почиње у фотонапонском пољу где се сунчево зрачење конвертује у једносмерну струју. Фотонапонски панели морају бити повезани у низу како би се добио потребан једносмерни оперативни напон, а такође и паралелно како би се обезбедила одговарајућа излазна струја, у складу са захтевом за електричном енергијом. Ово струјно коло је повезано са батеријама преко контролера за пуњење; овај уређај функционише као контролни прекидач како би контролисао када се једносмерна струја складишти у батеријама а када се директно користи.
- *Електрична инсталација-наизменично струјно (AC) коло:* Наизменично струјно коло настаје у измењивачу, а DC/AC конвертор струјом напаја цео систем: напојну пумпу, пумпу ниског притиска, освету и помоћне делове.
- *Мониторинг инсталација:* Мора се инсталирати минимални број сензора и трансмитера који ће вршити мониторинг система. Кључни сигнали које треба контролисати су: напојни и произведени водени токови, проводљивост произведене воде, високи притисак (пре и после мембрана) и низак притисак (улазни и излазни филтри). Зато ће један број жица повезивати предајнике са системом за прикупљање

података, који ће прикупљати и складиштити аналогне сигнале који ће касније бити пребачени на рачунар, или пренети онлајн на удаљени сервер.

- *Инсталација контролног система:* Главна мисија контролног система је да се избегну прекиди у раду и да јединица функционише тако да производи максималну или жељену дневну количину воде. Зато ће систем, обично имплементиран програмским логичким контролором (PLC) примати групу улазних сигнала (дигиталне и аналогне информације) како би одлучио када да прекине или покрене рад јединице, као и да информише о алармима и управља њима.

Фаза 6: Пуштање у рад

Када је инсталација завршена, потребно је спровести процедуру пуштања у рад како би се проверило да ли су све компоненте система у стању да исправно раде. Као и у случају фазе инсталирања, пуштање у рад подразумева све делове система; следећи кораци су најбитнији:

- *Хидраулични део:* Спроводи се одређени број тестова притисака како би се идентификовала могућа цурења у колу високог и ниског притиска. Потребно је пустити у рад пумпу високог притиска и проверити квалитет и количину произведене воде. Такође је потребно проверити да ли сви аларми и безбедносни системи исправно функционишу и гарантовати да се сви могу активирати. Треба такође проверити помоћна кола, испирање и хемијско дозирање. На крају, пуштање у рад мора да укључи и дефинисање притиска, дозирање водених токова и блендирање (последња операција се односи само за сирове воде ниског салинитета, тј. испод 10 g/l).
- *Електрични део:* Постоји један број параметара које треба поставити у контролору пуњења и инвертору; корисник ће морати да следи упутства дата у посебном приручнику за оба уређаја. Не постоје посебне препоруке пошто ово зависи од сваког појединачног произвођача. Наизменична струја и напон морају да се проверавају у свим тачкама како би се осигурало да сви елементи буду спремни за рад и генерисање предвиђене енергије, а у складу са техничким карактеристикама сваке справе. Посебну пажњу треба посветити батеријама пошто су оне један од најосетљивијих елемената, провером густине електролита и појединачног напона сваког елемента.
- *Контролни систем:* Као и код претходне операције, контролна јединица мора да се провери и да се потврди да интерни софтвер ваљано функционише; у неким случајевима овај корак се користи како би се подесиле вредности неких варијабли или параметара унутрашње контроле програма.

Фаза 7: Руковање и одржавање

Овај пројекат се не завршава пуштањем у рад. Руковање и одржавање је заправо важније него што изгледа. Упркос чињеници да је систем дизајниран и развијен тако да задовољи ниске трошкове одржавања, увек постоје превентиве и корективне акције које се односе на руковање и одржавање. Систем ће бити сматран одрживим пројектом под

условом да постоји концепт самоуправљања; ово укључује два главна аспекта која треба узети у обзир:

- *Техничка одрживост:* Постојање локалног особља са капацитетом да спроведе ове радње и могућности набавке потрошних средстава (углавном хемијских производа за пред и пост третман RO јединице и дестиловане воде за батерије), као и проналажење локалних снабдевача за могућу замену опреме.
- *Економска одрживост:* Веома честа грешка у економској процени аутономног десалинизацијског система је када се само разматра инвестиција, а искључују трошкови руковања и одржавања. Потребан је минимални трошак за одговарајућу оперативност система, углавном када су у питању лични трошкови и трошкови за потрошну робу. Ако се пројекат спроводи у земљи у развоју са јаким економским ограничењима, од суштинске је важности укључити локални допринос у кофинансирање капиталних трошкова с једне стране, а с друге стране је потребно имплементирати стратегију која би покрила трошкове руковања и одржавања.

Сваки систем је различит и захтева посебне активности руковања и одржавања; ипак, најважнији задаци који треба да буду извршени су следећи:

- *Хидраулично основно одржавање:* Генерално чишћење, дневна провера и попуњавање обрасца главним оперативним подацима, поновно пуњење резервоара хемијским производима, генерални преглед RO јединице како би се уочило цурење, неочекиване вибрације или бука.
- *Хидраулично напредно одржавање:* Адекватно разумевање и корективно деловање током аларма, анализа операционих параметара, генералних провера опреме и замена оштећених и старих елемената (случај кертриџ филтера).
- *Електрично основно одржавање:* Прање и чишћење PV плоча, проверавање густине електролита у батеријама и поновно пуњење (дестилованом водом) ако је потребно, затезање везивних шrafoва свих електричних кућишта или плоча.
- *Електрично напредно одржавање:* Прегледати операционе параметре, провера напона батерија, генерална провера опреме и замена оштећених и старих елемената.

5.2 Опис технолошког концепта

5.2.1 Приступ решењу

Избор технолошког решења углавном ће бити одређен према карактеристикама сирове воде и извору енергије који постоји на одабраном терену. Остали локални услови, као што су ниво и тип квалификација оператера који би могли да извршавају даље задатке руковања и одржавања, ће такође бити узети у обзир при избору.

С техничке тачке гледишта, параметри који треба да се процене у вези са избором десалинизацијске технологије су специфична потрошња енергије, потреба за хемикалијама и век трајања компонената модуларне опције, флексибилност у вези са потражњом енергије, као и једноставност при руковању и одржавању.

С друге стране, соларна радијација (макар месечне средње вредности) је главни податак који треба проценити; ако су доступни, и подаци о ветру могу бити од помоћи како би се у обзир узело могуће хибридно снабдевање енергијом. На крају, друга тачка коју треба укључити је број, тип и комерцијалне активности локалних компанија које имају везе са водним и електричним инсталацијама; идентификација ових провајдера ће бити корисна уколико дође до квара који треба поправити.

5.2.2 Опис PV технологије

Фотонапонска енергија је метод генерисања електричне енергије конвертовањем соларне радијације у наизменичну струју коришћењем полупроводника који имају фотонапонски ефекат. Фотонапонско генерисање енергије користи соларне плоче које су састављене од једног броја ћелија које садрже фотонапонски материјал. Материјали који се тренутно користе за PV колекторе укључује монокристални силицијум, поликристални силицијум и аморфни силицијум, између осталог.

Фотонапонски системи могу бити груписани у самосталне и мрежно повезане системе. У самосталним системима производња електричне струје посредством соларне енергије одговара енергетској потражњи. Како се соларна енергија често временски не поклапа са тренутном потражњом енергије, складишни систем (батерије) се генерално користи. Ако је PV систем подржан додатним извором енергије, на пример ветром или дизел генератором-он је познат као хибридни систем. У системима мрежно спојених система, јавна електрична мрежа функционише као складиште енергије и сва енергија коју они генеришу се слива у мрежу.

Где год није могуће омогућити снабдевање електричном енергијом из главне комуналне мреже или тамо где то није исплативо или пожељно, може се инсталирати самостални фотонапонски систем. Овај тип PV система је генерално много мањи од мрежно повезаних PV система.

Три главне категорије PV система ван мреже су:

- PV системи који обезбеђују само једносмерну енергију,
- PV системи који обезбеђују наизменичну енергију преко измењивача,
- PV хибридни системи: дизел, ветар или хидро системи.

Обим примене је у сталном расту. Постоји велики потенцијал за коришћење самосталних система у земљама у развоју где често велике области нису снабдеване електричном енергијом. Технолошке иновације и нове методе производње уз ниске трошкове пружају нов потенцијал и у индустријски развијеним земљама. Те примене

укључују водене пумпе, телекомуникације, соларне кућне системе и такође веће јединице за острва.

Земље у развоју, где су многа села често удаљена и више од 5 километара од електричне мреже, почеле су да користе фотонапонску енергију за електрификацију руралних предела. У таквој ситуацији, самостални десалинизацијски системи за пројекте снабдевања водом могу да се предложе као нове апликације за самосталне системе.

5.2.3 Самостални фотонапонски подсистеми

Самостални PV системи се састоје од различитих елемената, овај одељак представља основни технички опис сваког.

Модули

Модули у PV уређајима су обично такве конфигурације да дају номинални наизменични напон од 12V, 24V, па све до 48V у случају великих система. То значи да су модули обично повезани у низовима. Да би се олакшала интерконекција модула, требало би користити модуле са разводним кутијама пре него модуле са утичним водом (као што се користе при конфигурацији дугачких низова мрежно повезаних система).

Батерије

Складиштење енергије је потребно у већини самосталних система пошто се производња енергије и њена потражња обично не поклапају. Сунчева енергија генерисана током дана веома често није потребна до вечери и због тога се мора привремено ускладиштити. Дужи период облачног времена се такође треба обезбедити енергијом. Већина самосталних соларних система имају батерије, осим соларних пумпних система за воду.

Пуњиви оловни акумулатор је најуобичајнији тип батерија који се користи у самосталним соларним системима. Они су најисплативији и могу да манипулишу великим и малим количинама електричне струје уз велику ефикасност. Код PV система, складишни капацитети се углавном крећу од 1 до 100 kWh, иако су системи у распону од неколико MWh већ имплементирани. Друге врсте комерцијално доступних пуњивих батерија су никл-кадмијум (NiCd), никл хлорид (NiCl₂) и литијум ион батерије.

Контролер пуњења

Код самосталних система, напон PV уређаја треба да одговара напону батерија; овај процес се регулише уз помоћ контролора пуњења. Излазно пуњење и номинални напон овог уређаја морају бити већи од напона батерије како би се гарантовало ваљано пуњење батерија. С друге стране, постоји пад напона у кабловима и карактеристикама диоде, што се повећава при високим температурама и обично је лимитиран на око 1 до 2%. Контролор пуњења зато мери напон батерије и штити батерију од препуњавања. Током периода ниске соларне радијације напон PV панела опада, што ће довести до пражњења батерија преко електричног поља. Да би се то спречило користи се реверзибилна диода; овај заштитни

елемент је обично интегрисан унутар контролора пуњења. Постоје три основне врсте контролора пуњења: серијски, паралелно везан и соларни MPPT (Maximum Power Point Tracking) регулатор.

Задаци контролора пуњења су: оптимизација пуњења батерија, заштита од препуњавања, заштита од нежељеног пражњења, ограничење дубинског пражњења и информација о стању пуњења батерија.

Измењивачи

У самосталном PV систему, измењивач је електрични уређај који обезбеђује конвенционално АС напајање, конвертујући једносмерну у наизменичну струју. Циљ самосталног измењивачког уређаја је да омогући оперативност великог броја напајања, од алата за грубе грађевинске радове, преко уређаја у домаћинству па до осветљења или десалинизацијске јединице.

Постоје три различите врсте измењивачких уређаја: синусни, модификовани синусни и трапезасти.

Самостално PV-RO постројење

Самостални десалинизацијски концепт фотонапонске реверзне осмозе (PV-RO) се састоји од аутономног PV система који снабдева енергијом RO десалинизацијско постројење. Главни делови овог система су:

- *Пумпа за напајање водом:* Сирова вода, било морска или слана, мора се прикупити и упумпати до усисног отвора десалинизацијског постројења како би се обезбедио потребан притисак да вода прође кроз предтретман RO јединице. Начин на који се прикупља ова вода је веома важан за оптимални рад јединице и очување мембрана RO система.
- *Пумпе за дозирање хемијских производа:* У зависности од квалитета напојне воде, хемијски предтретман, базиран на дозирању различитих производа, се спроводи како би се избегао настанак наслага чврсте соли и органских материја. Ови производи се упумпавају у напојни вод сетом малих пумпи за дозирање. Најтипичнији производи су сада хипохлорид, како би се избегло стварање ових наслага, и киселина како би се спречио настанак чврсте соли.
- *Пумпа високог притиска:* Оног тренутка када напојна вода прође физичке и хемијске предтретмане, излаже се притиску како би достигла вредност радног (оперативног) притиска. Овај притисак мора бити виши од осмотског притиска, који је пропорционалан градијенту сланости унутар мембране. Стога, што је виши салинитет, потребан је и виши притисак; уобичајне оперативне вредности су 60 bar-а (6 МПа) за морску воду, а 10 до 15 bar-а (1 до 1,5 МПа) за слану воду. Пумпа високог притиска је елемент који захтева највећу електричну енергију у RO постројењу.
- *Додатна пумпа:* У RO јединици за морску воду могуће је повратити енергију из бракичне воде или тока одбачене течности (на око 58 bar-а или 5,8 МПа) коришћењем уређаја за враћање енергије (турбине или изобаричне коморе) која преноси овај

притисак на исту количину напојне воде ниског притиска. Како је ефикасност ових уређаја мало мања од 100%, притисак напојне воде на излазу је око 57 bar-a (5,7 МПа), па на тај начин додатна пумпа обезбеђује додатни притисак од 3 bar-a (60-57 bar-a или 6-5,7 МПа) како би се достигао улазни притисак мембрана. Укључивање уређаја за повраћај енергије и додатне пумпе значи значајно смањење специфичне потрошње енергије.

- *Помоћни делови:* РО постројење укључује неколико додатних елемената који имају ниску потрошњу енергије, али су неопходни у раду, као што су контролни елементи, аутоматски прекидачи, предајници за надзор, магнетни вентили и остало.

5.3 Техничке карактеристике селективних оперативних система

Институт технологије са Канарских острва (ИТС) истражује PV-РО системе од 1997. године; као резултат овог R&D (research and development) процеса, створен је међународни патент (DESSOL®). Оног тренутка када је концепт постао производ, било је могуће пребацити овај систем из постројења ИТС лабораторије у реалан свет. Два система су описана у овом поглављу:

- *Систем у Тунису:* Он је први инсталиран и налази се у селу Ksar Ghilene. Овај систем ради без проблема откако је пуштен у рад маја 2006. године.
- *Систем у Мароку:* PV-РО јединице су инсталиране у четири сеоске заједнице у унутрашњости Марока. Пуштена су у рад маја 2008. године и све до сада су у функцији.

5.3.1 PV-РО систем у Тунису

Инсталација која ће бити описана извршена је у оквиру шпанско-тунижанске сарадње. То је био пројекат који се фокусирао на снабдевање слатком водом уз помоћ PV-РО десалинизацијског система. Пројекат се налази, као што је већ наведено, у Ksar Ghilene, забаченом селу у унутрашњости, са 300 становника, на југу Туниса, у пустињи Сахара.

Село је 150 километара удаљено од најближе електричне мреже и 60 километара од најближег извора слатке воде.

Партнери овог пројекта су Шпанска међународна агенција за кооперацију (AECI), Национална агенција за контролу потрошње енергије (ANME), Регионални директориј за развој привреде у Кебили (CRDA) и влада Канарских острва (кроз генерални директорат за односе са Африком и институтом технологије Канарских острва).

Номинални капацитет за производњу воде је 50 m³ на дан али како снабдевање енергијом зависи од соларне радијације, просечна производња воде је 15 m³ на дан, тј., систем је оперативан око 7 и по сати дневно. Сiroва вода долази из сланог извора који се налази близу оазе. Енергија се добија помоћу 10,5 kWp PV соларног генератора са акумулацијом енергије од стране батерија.



Слика 10 Мапа Туниса са локацијом PV-RO система

Локални подаци

Главне локалне информације су представљене у табели 8 и показују да постоји низак потенцијал ветра али одличан ресурс соларне енергије.

Што се тиче локалне хидрауличне структуре, већ је постојао пумпни систем у артеријском бунару и водоводна мрежа цеви која је дистрибуирала воду из резервоара уз помоћ гравитације.

Градња

Једна од особености ове области су локално високе температуре, посебно током лета (преко 50°C). Зато је изграђена посебна зграда узимајући у обзир ову чињеницу; делимично укопана у земљу, са прилазном рампом како би се унела опрема. С друге стране, кров и јужни зид су искоришћени за инсталирање фотонапонских панела и на тај начин је сенка коју су стварали PV панели, доприносила да се ограничи унутрашња температура.

Табела 8 Основни подаци о селу Ксар Гилен (Тунис)

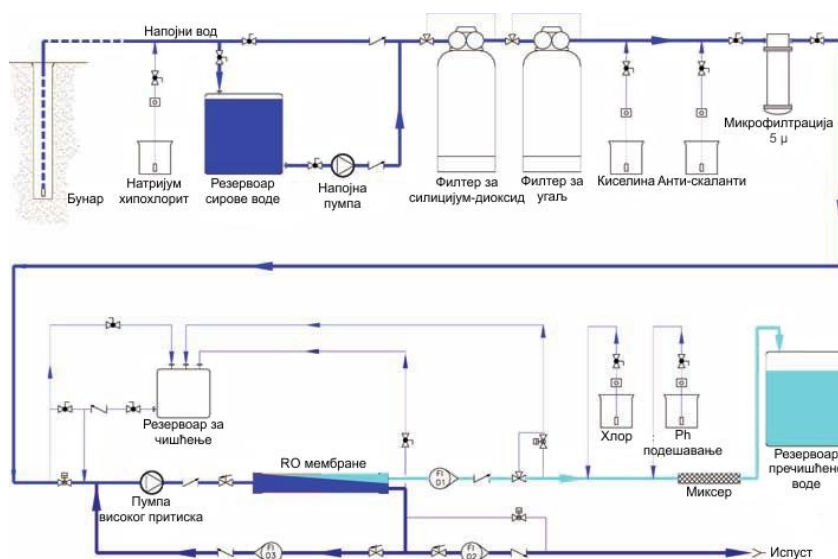
Концепт	Вредност
Соларна радијација (годишњи просек)	5600 kWh/m ²
Амбијентална температура	0-60°C
Брзина ветра (годишњи просек)	3.8 m/s
Салинитет расолне воде	4280 mg/l
Температура расолне воде	15-35°C
Дневна потрошња воде (лето)	15 m ³
Капацитет резервоара слатке воде	30 m ³



Слика 11 Спољашњи изглед зграде PV-RO система инсталираног у селу Ksar Ghilene, Тунис

Табела 9 Оперативни подаци десалинизацијског постројења село Ksar Ghilene, Тунис

Подаци	Вредност	Подаци	Вредност
Доток техничке воде	3.00 m ³ /h	Радна температура	19-32°C
Притисак	2.35 bar	Салинитет напојне воде	4503 mg/l
Усисни ток до мембрана	5.20 m ³ /h	Број мембрана	3
Рециркулациони ток	2.2 m ³ /h	Напојна вода SDI	< 3
Притисак мембрана на улазу	11.43 bar	Укупна енергетска потражња	5 kW
Слатководни ток	2.10 m ³ /h	Енергетска потражња за RO системе	3.57 kW
Укупан повраћај енергије	70%	Укупна потрошња специфичне енергије	2.3 kWh/m ³

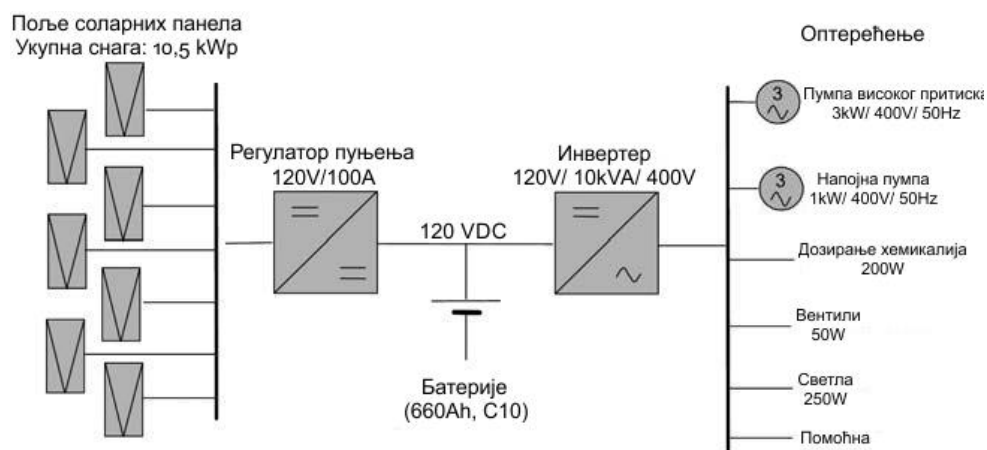


Слика 12 Хидраулични дијаграм RO јединице инсталиран у селу Ksar Ghilene (Тунис)

RO постројење

RO јединица је дизајнирана према хемијским и физичким подацима о техничкој води и локалној потражњи. Температура техничке воде је висока (више од 35°C) због подземних услова издана. Пошто је то могло да незнатно пређе оперативне лимите мембрана, било је

неопходно укључити резервоар за складиштење напојне воде унутар зграде како би се температура смањила за неколико степени. Табела 9 показује главне оперативне параметре јединице. Хидраулични дијаграм RO јединице је представљен на слици 12 на којој су приказана најважнија кола јединице. Техничка вода из бунара се скупља у бафер акумулационим резервоарима одакле се пумпа до система за предтретман (филтери, хемијско дозирање); затим се напојна вода меша са делом бракичне воде (рециркулациони ток) чиме се обезбеђује укупни доток који се под притиском усмерава ка мембранама. Продукт вода се излаже пост третману, а затим складишти; отпадна вода делимично заобилази напојне линије, а остатак се спроводи до крајње тачке одстрањивања отпадака. Рециркулација бракичне воде омогућава раст повраћаја енергије до 70%. С друге стране, дијаграм такође приказује кружни пут пречишћавања воде.



Слика 13 Електрични дијаграм RO јединице инсталиран у селу Ksar Ghilene (Тунис)

Слатка вода се складишти у једном надземном узвишеном резервоару како би се путем гравитације дистрибуирала до једног броја чесама. Бракична вода се одлаже на веома удаљеном месту без ризика од подземног загађења воде.

Систем производње енергије

Инсталација се састоји од седам фотонапонских панела паралелно везаних, са укупном номиналном снагом од 10,5 kWp. Сваки генератор се састоји од десет фотонапонских модула, са излазном волтажом од 12 VDC и сваки модул има снагу од 150 Wp, серијски повезаних. С тога, укупна номинална волтажа сваког генератора износи 120 VDC, а највећа снага 1,5 kWp. Модули су монтирани на седам металних структура са фиксним нагибом од 40°. Пет генераторских линија је лоцирано на крову, а преостале две на јужном зиду.

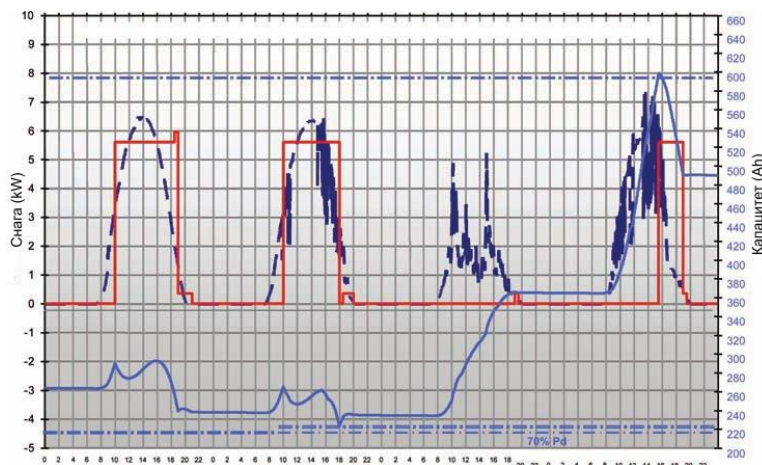
PV панели снабдевају енергијом аутономну електричну мрежу, која се састоји од контролора пуњења, низа батерија са 660 Ah (C10) номиналног капацитета и једног инвертора капацитета 10 kW. Приказ ове инсталације је илустрован на слици 13.

Фотонапонски генератори су самостално спојени жицом за „DC плочу“ одакле DC електрична линија иде у регулатор пуњења, а одатле до батерија и инвертора. AC излазна линија инвертора снабдева 230V/ 50Hz AC плочу, до потрошачких линија које иду до

различитих потрошача: осветљење (250 W), десалинизацијско постројење (5000 W) и вентилација (500 W).

Рад система

Прма добијеним подацима и оперативном моду, десалинизацијско постројење трошило је максимум 35 kWh дневно током летњих месеци, уз производњу воде од 15 m³ на дан, а минимално 16 kWh дневно током зимских месеци, производећи 7,5 m³ слатке воде дневно. Слика 14 показује енергетски ток током четири различита дана. Тамно плава линија показује електричну енергију из соларног фотонапонског поља (прва је за сунчан дан, друга за дан са мало облака у поподневним сатима, трећа за дан са веома ниском соларном радијацијом, а четврта за облачан дан). Црвена линија представља електричну енергију коју је потрошило RO постројење (обратити пажњу да систем није био оперативан током трећег дана, а делимично оперативан током последњег дана). Светло плава линија показује прогрес у капацитету батерија; током прва два дана капацитет расте када је RO јединица заустављена, или када је PV снага виша од тражене (подневни сати), а опада када је PV снага нижа од оне захтеване. Током трећег дана и првог дела четвртог дана сва PV снага се користи за поновно пуњење батерија, тако да капацитет расте. Током ноћи постоји минимална потрошња због мањег осветљења и stand-by опреме конвертора.



Слика 14 Еволуција електричне енергије са PV (тамно плава линија) RO потребна енергија (црвена линија) и капацитет батерија (светло плава линија)

5.3.2 PV-RO системи у Мароку

Инсталирање PV-RO система у Мароку је спроведено у оквиру ADIRA пројекта (2003.-2008.)² у сарадњи са локалним партнерима (локалне владе Essaouira Tiznit провинција, општинске власти и локална удружења), и Мароканским партнером у пројекту (NVO FM 21). Европска комисија, влада Канарских острва, преко генералног директора

² Акција суфинансирана од стране Европске комисије преко MEDA-програма вода, која је укључивала инсталирање аутономних јединица за десалинизацију на неколико локација: Мароко (шест јединица), Турска (две јединице), Јордан (једна јединица) и Кипар (једна јединица); укупно десет, девет PV-RO система и један соларни систем за влажење и сушење.

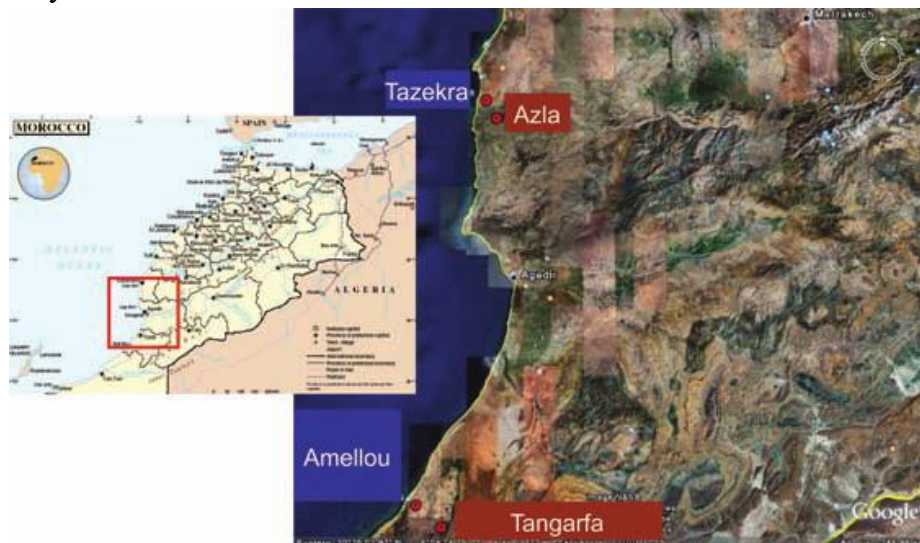
за односе са Африком, Институт технологије Канарских острва (ИТС) и владе Essaouira Tiznit провинција су обезбедили финансијску подршку. Географска локација четири система је приказана на слици 15.

Локални подаци (Мароко)

Као у случају Туниса, већина удаљених области где постоји потреба за пијаћом водом су локације у унутрашњости копна где је техничка вода слана и вади се из бунара. Главни подаци за свако село су сумирани у табели 10.

Градња

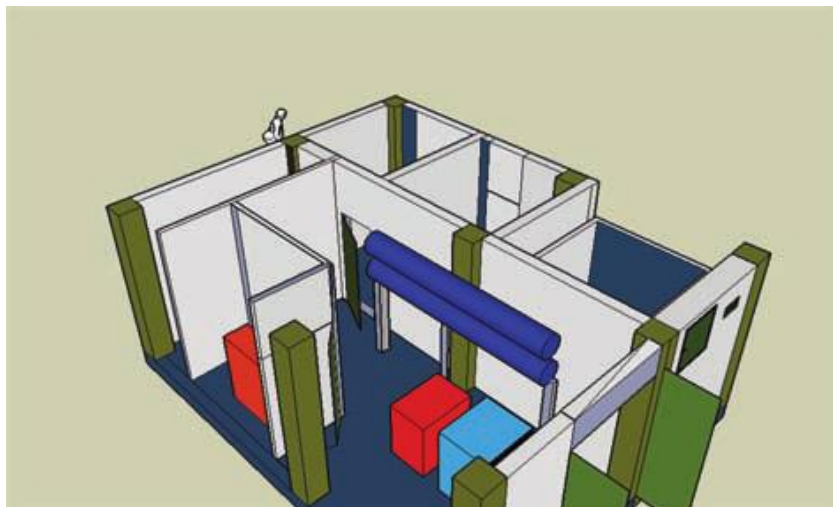
За четири случаја је одлучено да се користи уобичајени концепт, који се састоји од зграде у којој су смештени различити делови у неколико просторија: RO јединица, батерије, електрични конвертори и справе повезане са тим, резервоар за складиштење воде, просторија резервних делова и просторија за чувара. Кров зграде је искоришћен за постављање PV плоча. Слика 16 показује дијаграм ове конструкције. Фотографије четири система се могу видети на слици 17.



Слика 15 Географска локација села у Мароку у којима су инсталирана четири PV-RO система

Табела 10 Карактеристике мароканских села

	Azla	Tazekra	Amellou	Tangarfa
Провинција	Essaouira	Essaouira	Ifni	Ifni
Популација	300	700	300	300
Електрична мрежа	Слаба	Да	Не	Слаба
Постојање пумпе у бунару	Да, електрична	Да, електрична	Не	Да, дизел
Приступ	Стаза 0,5 km	Пут	Стаза 0,5 km	Стаза 6 km



Слика 16 Поглед на унутрашњост зграде која се користи за PV-RO системе у Мароку

RO постројење

Јединични номинални капацитет постројења за десалинизацију реверзне осмозе је 1000 l/h (за три јединице) и 500 l/h (за четврту јединицу). Ово RO постројење може да ради на два различита тачкама „напојног притиска“, што омогућава прелазак са делимичне на тоталну енергијску потражњу и обрнуто. То је могуће захваљујући конвертору фреквенције који модификује наизменичну фреквенцију која се допрема до електричног мотора спојеног са пумпом високог притиска: што је виша фреквенција, то је већи напојни ток и притисак на располагању а сходно томе и већа потражња за енергијом.



Слика 17 Спољашњи изглед зграда које су коришћене за PV-RO јединице инсталиране у Мароку: (1) Amellou (Ifni провинција), (2) Tazekra (Essaouira провинција), (3) Tangarfa (Ifni провинција) и (4) Azla (Essaouira провинција)

Табела 11 Оперативни подаци PV-RO јединица инсталираних у Мароку

	Azla	Tazekra	Amellou	Tangarfa
Салинитет напојне воде [g/l]	2.4	8.2	2.9	2.9
Проток слатке воде [m ³ /h]	1	0.9	0.5-1	0.5
Обнављање [%]	76.7	58	38-76.7	76.7
Проводљивост слатке воде [μ S/cm]	500	300	250-450	140
Оперативни притисак [bar]	11.3	13.2	9.3-11.2	13.3
Специфична енергетска потражња [kWh/m ³]	2.33	3.03	1.86	3.62

У случају 100% енергетске оптерећености, RO јединица производи 100% номиналног воденог тока; у случају делимичне енергетске оптерећености, RO јединица производи 50% десалинизованог воденог тока. Табела 11 приказује групу оперативних вредности. Као пример оперативног рада под парцијалним енергетским оптерећењем, случај Amellou укључује један обим вредности: парцијална енергетска оперативност одговара ниској вредности производа тока, обновљене енергије и притиска, а такође и високој вредности проводљивости. Највише вредности потрошње енергије су у случају Tazekre (због високог салинитета напојне воде) и Tangarfe (због малог капацитета).

У сва четири случаја, слатка вода се складишти у једном издигнутом резервоару како би се, уз помоћ гравитације, дистрибуирала до оближње чесме, а бракична вода се одлаже у евапорациона језера која покривају површину од 100 m² по језеру.

Систем генерисања енергије

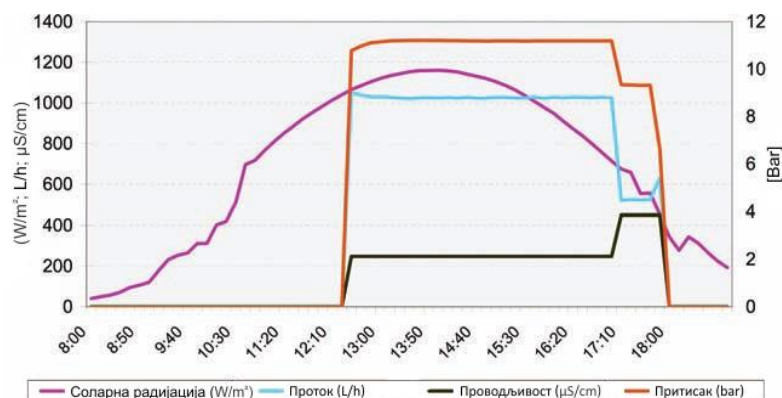
Концепт фотонапонског система је сличан случају у Тунису: поље са PV панелима, контролор пуњења, батерије, инвертор и компоненте. PV плоче су паралелно повезане (осам група) и у серијама (4x12 VDC), тако да је конфигурација 8x4 и номинални излазни напон износи 48 VDC. Табела 12 показује вредности главних техничких карактеристика.

Табела 12 Електрични подаци PV генеративних система у Мароку

	Azla	Tazekra	Amellou	Tangarfa
PV инсталирана снага [kWp]	4	4	4	2.5
Број модула [-]	32	32	32	20
Површина PV панела [m ²]	33	33	33	19
Једносмерни напон [V]	48	48	48	48
Капацитет батерија [Ah] ³	650	650	650	450
Потребна снага [kW]	1.2	1.5	1.7 ⁴	1.0

³ Период пражњења: 10 сати

⁴ Напојна пумпа је снабдевана фотонапонским панелима само у овом случају



Слика 18 Еволуција RO оперативних варијабли током једног дана у систему за десалинизацију у Amellou за 15. јул 2010.

Рад система

Циљ оперативне стратегије је замишљен тако да се максимализује дневни проток воде, а да се истовремено систем држи у безбедним оперативним условима. Контролни систем прикупља групу улазних сигнала: тренутну соларну радијацију, излазни напон на батеријама, стање RO јединице (заустављене/у раду) и померање пловка у напојном и слатководном резервоару. На основу ових података и одређеног часа, контролни систем одлучује о следећим могућим наредбама: ако је RO јединица заустављена, онда ће је контролни систем покренути; ако је јединица оперативна, контролни систем ће пребацити оперативну тачку са максималног на средњи ниво енергетске оптерећености, или обрнуто.

Слика 18 илуструје ову варијацију током једног дана. Редукција соларне радијације на крају дана смањује расположиву енергију, тако да систем реагује променом оперативне тачке (погледати смањење производње воде од 17 часова) и повећање водне проводљивости (лева оса) због смањења напојног притиска ка мембранама (десна оса).

5.4 Економска и социјална питања

Ако оставимо по страни аргументе у корист соларног PV-RO система, главна ограничења у имплементацији ове врсте аутономног решења су зависност од терена и релативно високи инвестициони трошкови за опрему. Један од главних разлога за тренутно ограничену употребу PV-RO је повезан са капиталном ценом пројекта и ниским социјалним и економским капацитетом крајњег корисника (низак ниво обуке и недостатак ресурса).

Овај одељак пружа преглед капиталних и текућих трошкова ове технологије и међувезу са локалним, институционалним и социјалним питањима. Очигледно, није лако одговорити на питање како трошак за воду утиче на социјалне аспекте, пошто укључује једну групу вишеструких елемената. Зато ћемо у овом делу покушати да генерално идентификујемо и опишемо овај вишеаспектни одговор.

5.4.1 Анализа трошкова воде

Опште црте

Анализа трошкова за PV-RO пројекат је специфична у односу на изабрани терен за инсталирање. Капитални трошак (инвестициони трошак) је најважнији и захтева адекватан прорачун и планирање у оквиру самог пројекта. Осим тога, анализа трошкова је у чврстој вези са одрживошћу инсталације и мора бити повезана са менаџмент планом како би се гарантовала будућност пројекта. Неколико трошкова је интегрисано у трошак произведене воде и неопходно је и корисно разликовати их.

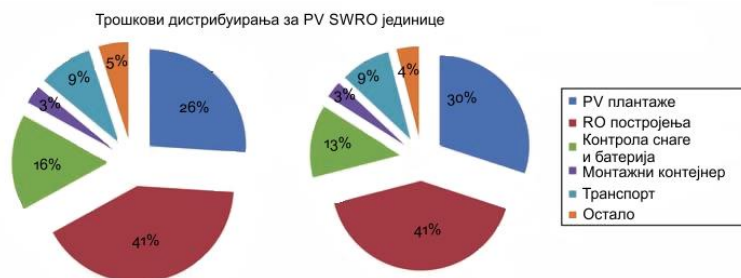
Као што је описано у претходном делу, PV-RO инсталација се састоји од неколико опрема, а њен дизајн представља функционисање неколико кључних варијабли. Инвестициони и оперативни трошкови су под утицајем више параметара, а најважнији у анализи трошкова су следећи:

- *Услови терена и изолованост:* избор локације захтева детаљну анализу како би се сазнали специфични и релевантни локални услови који обележавају технички и управљачки успех пројекта, као и комплексност инсталације. Генерално, инсталациони дизајн и инвестициони захтеви су дефинисани следећим ставкама:
 - квалитет напојне воде,
 - систем прикупљања напојне воде,
 - доступност соларних ресурса,
 - могућност повезивања са електричном мрежом,
 - постојећа основна водоводна инфраструктура,
 - доступност равних површина,
 - климатски услови и ограничења животне средине,
 - изолованост терена и локација добављача који покривају основне потребе одржавања
- *Квалитет напојне воде и потражња за слатком водом:* Што је нижи салинитет напојне воде, то је нижа потрошња енергије и хемијских производа. Потребна енергија зависи од салинитета. Што је виши салинитет, то ће бити потребан виши притисак. Укупна количина хемикалија (натријум хипохлорит, анти-скаланти, хидрохлорична киселина) је функција пумпане запремине напојне воде. Потражња за продукт водом ставља нагласак на капацитет јединице за десалинизацију и укупну потребну енергију, тј. величину поља PV панела и капацитет батерије.
- *Социјални и институционални фактори:* Социјални и политички интереси су од великог утицаја за успех пројекта. Поред тога, потреба за локалном обуком и одрживост инсталације су кључни фактори за подршку инфраструктуре након пуштања у рад. Координација и одзив интересних група и корисника су заиста потребни за оперативност јединице и снабдевање слатком водом уз минималне прекиде у раду и кварове.

Капитални трошкови

Према дефиницији, главни капитални инвестициони трошкови, укључујући логистичке и трошкове пуштања у рад су:

- *Опрема и прибор:* RO јединица, цевоводи за дистрибуцију воде, PV соларне плоче и структуре, батерије, електричне везе и уређаји за контролу енергије.
- *Грађевински радови:* Зграда, темељи соларне плантаже, складиштење слатке воде, резервоар напојне воде, итд. и аквизиција земљишта (ако је потребно).



Слика 19 Дијаграм генералне дистрибуције капиталних трошкова; лево: слана вода; десно: морска вода

- *Остали трошкови:* Односе се на транспорт, обуку, приручнике о раду, порезе, царинске дозволе, дозволе за одлагање бракичне воде и законе који се односе на животну средину.

Генерална дистрибуција главних инвестиционих трошкова за компактне RO-PV јединице, како за морску, тако и бракичну воду, од 50 m³ на дан номиналног капацитета (24 сата) је приказана на слици 19. Грађевински радови и одлагање бракичне воде нису укључени.

Током последњих година, PV трошкови су значајно смањени. Ово је чист бенефит када су у питању PV-RO инвестициони трошкови, где је трошак инсталирања изолованог kWp опао са 10 €/Wp на мање од 6 €/Wp (укључујући плоче, структуре, контролу енергије, батерије, транспорт и инсталацију).

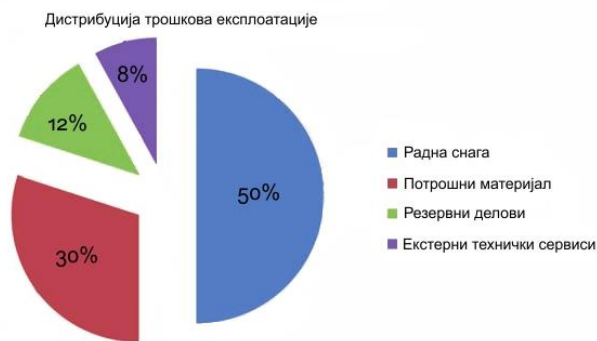
Инсталације у унутрашњости копна имају ограничење које се односи на проналажење исправног начина за одлагање бракичне воде. У неким случајевима, одређена сума из буџета одлази на изградњу система за одлагање бракичне воде. Нема много могућих решења: бракична вода се понекад шаље назад подземним путем (много дубље од напојне воде); у другим случајевима се одлаже у евапорацијским језерима, а постоје примери мешања бракичне и напојне воде која би се поново користила за наводњавање посебних усева који су у стању да се развијају у условима високог салинитета.

Текући трошкови

У односу на трошкове производње воде за било коју PV-RO јединицу, у разматрање се могу узети две врсте трошкова: фиксни и варијабилни трошкови. Фиксни трошкови се могу дефинисати као трошкови који се не мењају током године (амортизација, плате, итд.). Варијабилни трошкови се плаћају у складу са бројем радних сати (потрошни делови, резервни делови, итд.).

Генерално, капитални трошак се амортизује током животног века инсталације, а који у случају јединице за десалинизацију или соларног PV поља спојеног са мрежом управљамо тако да су макар фиксни и варијабилни трошкови покривени, PV-RO пројекат ван мреже се спроводи у оквиру посебног ко-финансирања и кооперативних пројеката. На тај начин ће ова врста пројекта добити субвенције за инвестиције, а крајњи власник обично није у обавези да поврати иницијалну инвестицију. То је добар начин да се подржи PV-RO инсталирање пошто инвеститор не мора да сноси висок укупан инвестициони трошак. То смањује финалну цену воде у €/m³.

Трошкови експлоатације (Слика 20) укључују фиксне и варијабилне трошкове. У основи, O&M трошкови у оваквој врсти инсталације су ниски и састоје се од трошкова за радну снагу, потрошни материјал (хемикалије, филтере, дестиловану воду за батерије) и резервне делове (RO мембране, батерије, електричне заштитне делове, осигураче, итд.).



Слика 20 Дијаграм генералне дистрибуције трошкова експлоатације

Табела 13 Цена воде за различите PV-RO системе

	Студија случаја SWRO-PV ⁴	Студија случаја SWRO-PV ⁴	Студија случаја BVRO-PV јединица ⁵	Lampedusa SWRO-PV јединица ⁶	Azla BWRO-PV јединица ⁶	Ksar Ghilene BWRO-PV јединица ⁷
Капацитет [l/h]	417	2083	2083	5000	1000	2083
Укупна цена воде [€/m ³]	5.68	3.87	2.09	6.50	4.73	3.00

O&M трошкови зависе од годишњег броја радних сати и производње воде. Трошкови енергије за добијање слатке воде могли би да се укључе у ову класификацију, али би било потребно прорачунати трошак производње енергије засебно, тј. преко соларног PV поља. Варијабилност соларног извора и директна употреба ове енергије у јединици за десалинизацију обавезују на поједностављење прорачуна и неразматрање трошкова

⁵ Cipollina et al. (2009.)

⁶ CRES (1996.)

⁷ Сопствени елаборат (SWRO: реверзна осмоза морске воде; BWRO: реверзна осмоза бракичне воде)

електричне енергије у оквиру трошкова експлоатације. То треба да буде део директних трошкова инсталације.

Осим тога, неопходно је одржавати екстерну технолошку везу за посебне годишње ревизије и комплексне кварове. Ово се посебно препоручује код терена где је ниво обуке локалних техничара низак. Ова врста услуге има значајан утицај на трошкове експлоатације, тј. на финални трошак за добијену воду.

Фиксни и варијабилни трошкови морају бити покривени дугорочно како би се гарантовала одрживост јединице. Стога, неопходно је имплементирати оквирне услове на циљаном терену, који ће помоћи у подршци и промоцији десалинизацијских јединица које покрећу обновљиви извори енергије на ефикасан начин. Било би идеално уколико би финални корисници воде преузели део трошкова експлоатације, а у складу са својим економским могућностима; међутим, ова опција се не може разматрати на посебним теренима где се вода даје бесплатно.

Закључна опажања

Да закључимо, трошкови за добијену воду су углавном одређени реалном производњом воде, пројектом и инвестиционим трошком инсталације, условима терена и изолованошћу истог, трошком локалне радне снаге, трошком за земљиште (ако није незнатан) и додатним трошковима (порезима, царинским дозволама, питањима који се односе на животну средину, итд.).

Међутим, свака локација је јединствена тако да трошак воде не следи исти сценарио и ставке. Табела 13 показује неке примере трошкова за произведену воду у различитим случајевима.

Трошак за произведену воду у изолованој PV-RO јединици може лако бити конкурентан у удаљеним областима далеко од природних водних и конвенционалних енергетских извора у поређењу са десалинизацијом која користи дизел гориво [70], па чак и економији од мрежне везе у случају удаљених области.

Постоји неколико индикација које се наводе на закључак да ће се радити о сценарију ниских трошкова у краткорочном и средњерочном периоду за PV-RO јединице. С једне стране, PV плоче постају све економичније (просечна цена у Европској унији је опала за 4,2 €/Wp у 2001. на 1,2 €/Wp у 2010. [71]), а перформансе последње генерације RO мембрана су обећавајуће и фокусиране на ниску потрошњу енергије, тако да ће за будуће системе бити потребно мање PV енергије; с друге стране, очекивани високи раст потражње за PV-RO системима и сходно томе конкурентност међу компанијама ће, надајмо се, снижити цене. И PV и RO системи су зреле технологије, са великом листом добављача и многим државама, R&D напори су удружени у циљу развоја компонената које се могу користити од стране свих произвођача. То ће индустрији указати на велики тржишни потенцијал и мотивисаће је да развија производе посебно за ре-десалинизацију. Потребно је фокусирати R&D напоре на развој компонената потребних за несметано и ефикасно удвајање постојећих десалинизацијских технологија и технологија обновљиве енергије. Остали R&D

приоритети укључују и елементе који ће учинити ре-десалинизацију снажном када је у питању дугорочна оперативност система у тешким условима животне средине (адаптација пумпи и система за обнављање енергије ради ефикасног рада у малим постројењима, аутоматске пред и пост третман технологије које воде рачуна о животној средини, контролни системи који оптимизују перформансе и минимализују захтеве за одржавањем).

У вези са ценом воде, субвенционисане општинске и руралне тарифе за воду су фактори који треба да буду разјашњени јер они не узимају у обзир могућу имплементацију оваквих система од стране одређене линије субвенција. PV-RO технологија је економски одржива на удаљеним локацијама где су алтернативе лимитиране и скупе. У неким удаљеним областима, због изоловане локације, трошак инфраструктурне градње који би омогућио приступ конвенционалној водној и енергетској понуди, могао би бити виши од трошкова када је у питању десалинизација уз помоћ обновљиве енергије. У таквим случајевима, постоји текуће реално комерцијално тржиште за аутономне PV-RO системе. Посебна студија на ову тему закључује да PV-RO систем може да буде, зависно од локалних услова, исплативији од еквивалентног система базираног на дизел гориву. У случају слане воде, прорачуната цена из PV-RO система износи 2,17 до 2,41 $\$/\text{m}^3$, што је економичније од коришћења система на дизел (3,34 до 3,75 $\$/\text{m}^3$). У случају морске воде, најбоља опција зависи од локације; 4,96 до 7,01 $\$/\text{m}^3$ (прорачунато за PV снабдевање) и 5,21 до 5,54 $\$/\text{m}^3$ (прорачунато за дизел).

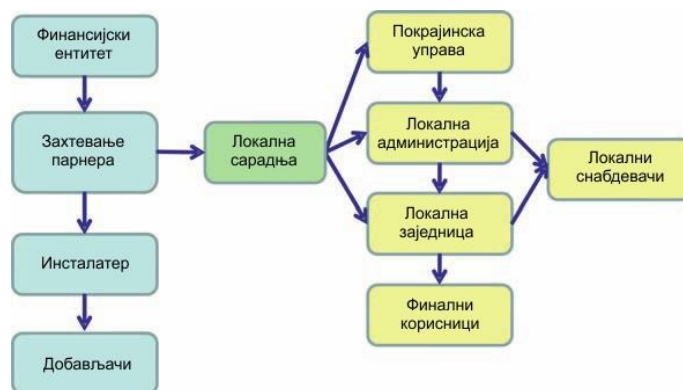
5.4.2 Утицај социјалне и институционалне локалне реалности

Како се сваки међународни кооперативни пројекат фокусира на локални развој, социјални аспекти су један од кључних фактора за успех пројекта. У неким ситуацијама, социјална питања су чак важнија од техничких питања и захтевају посебну пажњу.

Социјална питања су сви они елементи повезани са актерима пројекта и њиховом специфичном улогом и одговорношћу за време истог. Посвећеност локалних власти да подрже пројекат је кључни фактор: њихов финансијски допринос, у складу са њиховом реалном економском моћи, и њихова укљученост у локалне активности су неопходни за успех пројекта.

Слика 21 је пример за заинтересоване стране које би могле да се укључе у једну такву иницијативу.

Локални сарадник је најважнији актер у пројектима ове врсте. Локални партнер има улогу да директно контактира локалне актере како би сазнао њихове потребе и визије, а такође пренео њихове ставове спољним партнерима. Актер посредник мора да познаје локалну реалност, од културних, социо-економских, до политичких ставова. То је једино могуће ако овај ентитет поседује минимално претходно искуство у циљној држави.



Слика 21 Главни актери у RO-PV кооперацијском пројекту [69]

Узимајући у обзир улогу локалних актера, неопходно је укључити их на самом почетку пројекта како би се узеле у разматрање њихове опције и сугестије. То такође подразумева и укључивање људских ресурса када је у питању управљање основним операцијама, одржавање и мониторинг.

С друге стране, важно је споменути да су институционални оквир за обновљиву енергију и сектор за производњу индустријске воде прилично фрагментирани и сложени у неким земљама. То резултира мањком координације, грешкама и неефикасношћу PV-RO пројекта, почетне фазе и управљањем. Тренутно су институционална структура и одсуство технолошке културе баријера у промовисању иницијатива које морају да буду одрживе и којима мора директно да управља локална заједница.

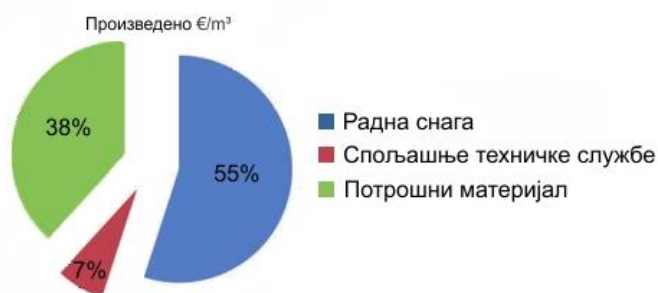
Међутим, PV-RO јединица олакшава економски развој становништва пошто *in situ* снабдевање пијаћом водом покрива потребе, значајно побољшавајући услове за живот:

- *Позитиван утицај на локалну економију:* Доступност воде омогућава консолидацију пољопривредних, сточарских и основних туристичких активности (које у великој мери зависе од „водних“ ресурса) које представљају извор средстава за живот већине становништва.
- *Позитиван утицај на социјално благостање:* Локално аутономно снабдевање пијаћом водом осигурава људски и социјални развој, смањујући на тај начин рурални егзодус према другим областима које имају више ресурса. С друге стране, ова иницијатива би могла да побољша социјалну и родну једнакост. Вода је природни лимитирани ресурс и фундаментално јавно добро за живот и здравље. Право на воду је неприкосновено за достојанствен живот и основни је услов за остваривање осталих људских права, као и разлог за мере које се морају предузети како би се ово право осигурало за све без икакве дискриминације.

PV-RO концепт би могао да буде нов за становништво и администрацију; зато, да би се могла извући корист из њега, технологија, менаџмент и актери морају да науче више о томе. Из тог разлога је обука кључни аспект који треба обезбедити. Укључивање техничког особља локалне администрације на самом почетку је веома значајно. Што се тиче финалних корисника, они играју важну улогу на практичном нивоу, пошто они својим понашањем и

реалним прихватањем одлучују колико је добар квалитет воде и колико је за њих користан инсталирани систем.

Приручник ADIRA пројекта препоручује групу корака које треба предузети у анализи заинтересованих страна и о њиховом односу у оквиру пројекта (ADIRA, 2008.). Као закључак, дефинисање стратегије или процеса за одрживост инсталације на дугорочне стазе, а у сарадњи са локалним партнерима, се озбиљно препоручује. То ће гарантовати исплативост током целог века трајања овог система. Високе почетне инвестиције захтевају спољашње финансирање, али, као и у случају капиталних трошкова, препорука је да се постигне договор са локалним властима како би се обезбедио њихов економски допринос у укупним трошковима. Иделно, овај систем би требало да буде у потпуности економски и технички самоуправан.



Слика 22 Дијаграм дистрибуције трошкова експлоатације PV-RO јединице у Ksar-Ghilene (Тунис)

5.4.3 Случај Туниса

Укупна цена овог пројекта износила је око 264 000 €, од чега је више од 150 000 € било намењено за улагања у опрему и инфраструктуру. Од укупне цене пројекта, 36 200 € је било намењено техничком особљу, 100 700 € за капиталне трошкове, укључујући обуку, и 50 000 € за грађевинске радове и хидрауличне инсталације. Неке ставке су придодате административним трошковима и услугама (превоз). Шпанска и Канарска кооперација (77%) и Тунижанска национална влада, као и регионалне владе (23%) субвенционирале су трошкове пројекта.

Реална цена произведене воде је процењена у распону од 2,5 до 3 €/m³. То је прилично интересно ако се ова вредност упореди са ценом коју је локално становништво плаћало за слатку воду пре имплементације RO-PV пројекта (5 €/m³); локална власт је преузела трошкове за воду од почетка, тако да становништво не плаћа потрошњу воде. Оригинални извор пијаће воде је био приватни бунар, на удаљености од 60 километара и одакле се вода транспортовала танкерима до Ksar Ghilene-а, а затим продавала локалном становништву, које је одлазило до места испоруке носећи своје контејнере за воду. Дистрибуција трошкова за воду произведену у PV-RO систему приказана је на слици 22.

Неке напомене које се тичу трошкова експлоатације: цена воде не укључује пад вредности опреме, а тренутно, Агенција за регионални пољопривредни развој (CRDA-

Kébili) преузима укупне O&M трошкове инсталације без икакве кооперације или спољњег финансирања.

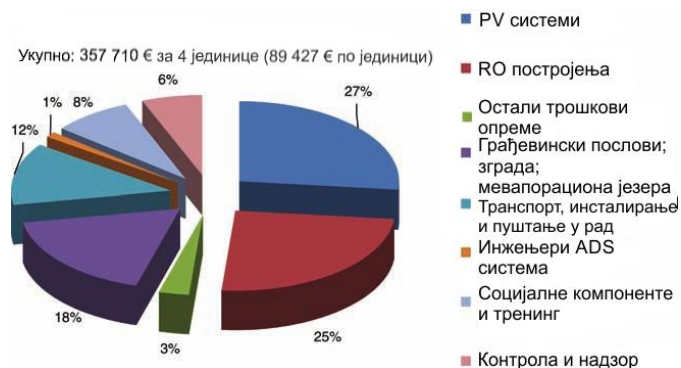
На основу искуства, сматра се да би требало применити одговарајући тарифни систем за кориснике. Једино што би у том случају било неопходно укључити капитални трошак амортизације: цена воде би била до 4 €/m³ (15 година век трајања). Требало би применити мешовиту структуру између субвенције и тарифе за воду како би се цена воде учинила приступачном за локално становништво.

5.4.4 Случај Мароко

У овиму ADIRA, 6 PV-RO јединица ван мреже је пуштено у рад. Четири од њих су пројектоване и пуштене у рад од стране ИТС. Остале две су биле под поткровитељством FM21⁸ уз техничку сарадњу са ИТС.

У случају ИТС инсталација, укупни трошак за 4 јединице је износио 357 000 €. 245 000 € је било намењено за опрему, инфраструктуру, транспорт и start-up. Локалне власти су преузеле хидрауличну инфраструктуру и грађевинске радове. Скоро 30 000 € је било намењено локалној обуци и радионицама. Трошак пројекта је субвенционисан са око 42 000 € од стране Европске комисије-MEDA-Водни програм (55%), Кооперације канарских острва (19%), локалних власти (14%) и ИТС (12%). Дистрибуција капиталних трошкова је представљена на слици 23.

Просечна укупна цена воде, укључујући амортизацију процењена је на 5,45 €/m³. Тренутно је снабдевање водом бесплатно. Канарска кооперација субвенционисала је трошкове експлоатације до децембра 2011. године.

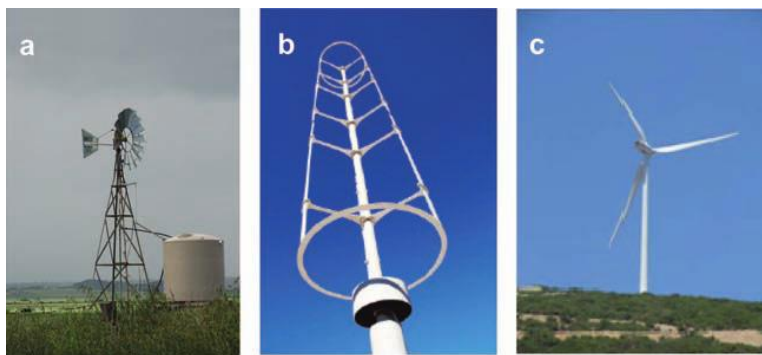


Слика 23 Дијаграм са дистрибуцијом капиталних трошкова за PV-RO јединице инсталиране од стране ИТС у Мароку-ADIRA пројекат

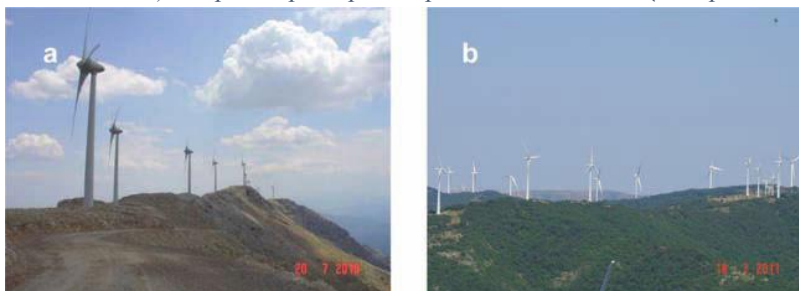
⁸ Фондација Маракеш 21, мароканска NVO, чланица ADIRA партнерства

6 Десалинизација воде уз помоћ енергије ветра

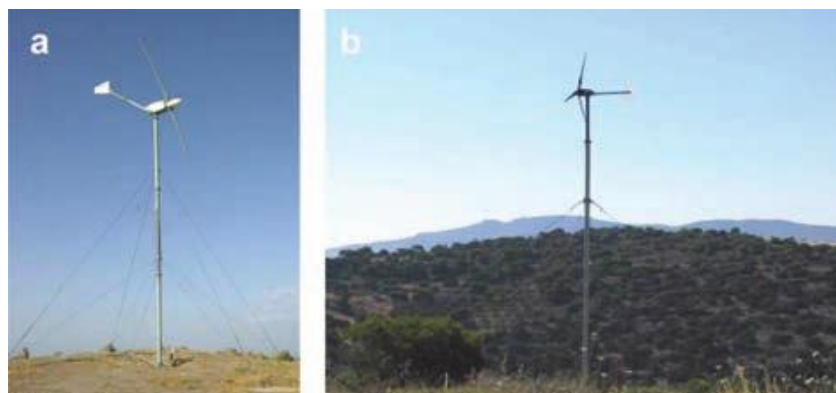
Енергија ветра има огромну предност која се може искористити у широком опсегу; инсталације могу да варирају од генератора са мало вати; па све до ветропаркова до MW (мегават), слика 24. Ветрогенератори могу да се користе као самосталне апликације, или могу бити повезане комуналном енергетском мрежом што се може видети на слици 25. Такође могу бити у комбинацији са фотонапонским (PV) системима или дизел генератором и енергетским складишним системима (нпр. акумулаторима), и на тај начин се формирају „хибридни“ системи који се обично користе на удаљеним локацијама где веза са комуналном мрежом није доступна [48].



Слика 24 Типови ветрогенератора а) ветрогенератор са више лопатица, б) ветрогенератор са вертикалном осом, в) ветрогенератор са хоризонталном осом (Извор: CRES, Грчка)



Слика 25 Ветропаркови у Грчкој: а) Peloponez, б) Thrace (Извор: CRES, Грчка)



Слика 26 Мале турбине са две и три лопатице а) 20 kW ветротурбина на острву Ag. Efstratios, Грчка, б) 900 W ветротурбина у CRES парку, Karatea, Attica (Извор: CRES, Грчка)

Технологија ветрогенератора која се тренутно користи стара је само 25 година, а инвестирање у ову технологију је до сада било прилично скромно у поређењу са другим енергетским изворима. Две деценије технолошког прогреса резултирале су данашњим турбинама које су последња реч технологије, модерне, базиране на модул технологији и брзо се инсталирају. Данашњи ветрогенератори су драматично побољшани у односу на своју снагу, ефикасност и поузданост.

Ветрогенератори се у основи класификују према позицији осе ротације, која може бити вертикална (VAWT ветрогенератор са вертикалном осом) или хоризонтална (HAWT ветрогенератор са хоризонталном осом). Модерни ветрогенератори су обично са хоризонталном осом (слика 26).

Према IEA (међународна агенција за енергију-Internacional energy agency; IEA, 2010.), 2010. године ветроенергетски капацитет је порастао свуда у Свету, достигавши 200 457 MW инсталиране снаге. У ЕУ ветроенергетске инсталације су достигле 17% нових енергетских инсталација 2010. године, а ветар је представљао 10% укупне производње енергије у ЕУ. Тај ветроенергетски капацитет ће произвести 181 TWh, што износи 5,3% бруто крајње енергетске потрошње ЕУ у просечној ветро години, чиме ће се избећи годишња емисија око 115 милиона тона CO₂. Табела 14 приказује ветроенергију инсталирану у Европи крајем 2010. према Европској ветроенергетској асоцијацији (European Wind Energy Association, EWEA, 2010.).

Данас, знања стечена управљањем ветроелектранама, заједно са континуираним R&D учиниле су електричну енергију добијену из ветра по трошковима веома блиској енергији која се добија конвенционалном комуналном производњом на неким локацијама. Трошкови производње су опали за 50% током последњих 15 година, приближавајући се тако трошковима производње електричне енергије из конвенционалних енергетских извора. Данас је ветроенергетска производња дошла до своје историјске тачке управо зато што су трошкови инсталирања постали конкурентни са другим конвенционалним технологијама; инвестициони трошак за MW је почео да расте за нове ветропројекте. Верује се да је то резултат раста цена робе (сировина као што су челик и бакар), тренутна несташица ветрогенератора на међународном тржишту и други фактори.

Економија ветропројекта зависи од техничких параметара, ресурса и трошкова. Последња два параметра варирају од државе до државе. Генерално, трошкови опреме представљају највећи удео у укупним инвестиционим трошковима. Трошкови електричне и комуналне инжењерске инфраструктуре, транспорта, управљања и администрације, земљишта, итд. могу да варирају између 25 и 35% укупног трошка инсталирања турбина. Годишњи трошак за рад и одржавање износи око 1,5% иницијалне инвестиције. Такође, горе поменути трошковима би требало придодати око 1% годишње од иницијалне инвестиције за трошкове осигурања. Генерално гледано, као што је приказано у табели 15, просечни трошкови за турбину варирају од 720 €/kW, па све до 1800 €/kW. Слика 27 представља трендове трошкова инсталирања ветропројекта по државама.

Цена енергије произведене на ветрофармама значајно варира у свакој држави. Да би се прорачунала ова цена, различите претпоставке су узимане у обзир у свакој држави. У Данској, као што пише у извештају IEA, енергија добијена из ветра у приобаљу 2009. године, изузимајући факторе ризика и профит, прорачуната је на 30-50 €/MWh. Актуелна цена зависи од профита ветра на датој локацији, а такође и од врсте инвеститора. На пример, приватни инвеститор ће очекивати краћи период за враћање уложеног новца него велики инвеститори. Приватни инвеститори траже 40 до 50 €/MWh највише (укључујући факторе профита и ризика) да би инвестирали у ветропроизводњу.

У Норвешкој, прорачуни производње са терена са добрим ветроусловима (фактор капацитета од 33%) сугеришу производну цену од око 64 €/MWh, укључујући капиталне трошкове (стопа попушта од 8%, двадесетогодишњи период), рад и одржавање.

Посматрајући индустрију ветрогенератора, просечни капацитет нових ветрогенератора инсталираних 2006. године наставља са трендом ка већим инсталацијама. Просечна стопа 2005. године порасла је на 1,6 MW, док је 2006. просечна стопа порасла до скоро 1,7 MW. У IEA државама ветротрчаницама⁹, просечна величина нових ветротурбина је порасла до 1,9 MW у 2009. години.

Европска ветроиндустријска иницијатива има за циљ да учини ветар најјефтинијим извором електричне енергије и да омогући несметану и ефикасну интеграцију масовних количина ветроелектричне енергије у мрежу. Да би се то постигло, посебни напори се посвећују значајном повећању производње енергије са највећих ветрогенератора (од 5-6 MW до 10-20 MW) и искоришћавању огромног потенцијала приобалних ветрова [60].

Поред MW ветротурбина, у неколико држава се производе турбине средњих величина од 660 до 850 kW за инсталације са једном појединачном турбином или за мале ветроелектране (Италија, Сједињене Америчке Државе).

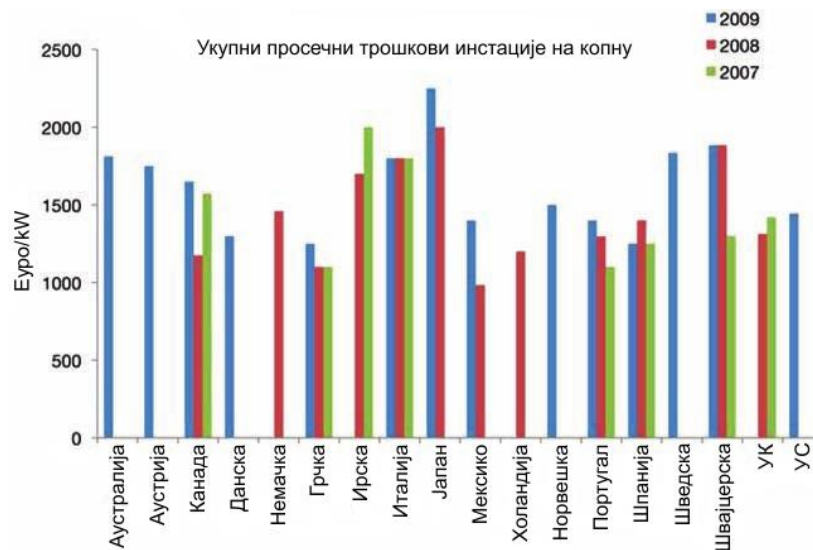
Иако је акценат стављен на велике ветропаркове повезане са комуналном мрежом, постоје и многе друге апликације, као што су аутономни ветроенергетски системи за пумпање воде, десалинизацију воде, као и локални системи за снабдевање енергијом у склопу са дизел генераторима.

Табела 14 Ветроенергија (MW) инсталирана у Европи до 2010 [62]

	Инсталирано током 2009.	Укупно инсталирано до краја 2009.	Инсталирано током 2010.	Укупно инсталирано до краја 2010.
ЕУ капацитет (MW)				
Аустрија	0	995	16	1011
Белгија	149	563	350	911
Бугарска	57	177	198	357
Кипар	0	0	82	82
Република Чешка	44	192	23	215

⁹ Чланице IEA су државе: Аустралија, Канада, Данска, Финска, Немачка, Грчка, Ирска, Италија, Јапан, Кореја, Мексико, Холандија, Норвешка, Португал, Шпанија, Шведска, Швајцарска, Уједињено Краљевство и Сједињене Америчке Државе.

Данска	334	3465	346	3798
Естонија	64	142	7	149
Финска	4	147	52	197
Француска	1088	4574	1086	5660
Немачка	1717	25777	1493	27214
Грчка	102	1087	123	1208
Мађарска	74	201	94	295
Ирска	233	1310	118	1428
Италија	1114	4849	948	5797
Летонија	2	28	2	31
Литванија	37	91	63	154
Луксембург	0	35	7	42
Малта	0	0	0	0
Холандија	39	2215	32	2245
Пољска	180	725	382	1107
Португал	673	3535	363	3898
Румунија	3	14	448	462
Словачка	0	3	0	3
Словенија	0,02	0,03	0	0,03
Шпанија	2459	19160	1516	20676
Шведска	512	1560	604	2163
Уједињено Краљевство	1271	4245	962	5204
Укупно	10 499	75 103	9332	84 324
Земље кандидати (MW)				
Хрватска	10	28	61	89
Македонија	0	0	0	0
Турска	343	801	528	1329
Укупно	353	829	461	1290
EFTA (MW)				
Исланд	0	0	0	0
Норвешка	2	431	9	441
Швајцарска	4	18	25	42
Укупно	6	449	34	483
Остали (MW)				
Фарска острва	0	4	0	4
Украјна	4	90	1	87
Русија	0	9	0	9
Укупно	4	99	1	101
Укупно Европа	10 845	76 471	9918	86 279
Европска Унија				84 324
ЕУ земље кандидата				1418
EFTA				478
Укупно Европа				86 279



Слика 27 Просечни укупни трошак инсталације ветропројеката 2007.-2009. по извештају IEA држава ветрочланица [60]

Табела 15 Процењени просечни трошак турбине и укупни пројектовани трошак за 2010. [61]

Држава	Цена турбине (€/kW)	Укупни трошак инсталација (€/kW)
Аустралија	1100 до 1500	1500 до 2500
Аустрија	1400 до 1800	1700 до 2000
Канада		1488 до 1860
Кина	720	970 до 1020
Данска		1030 на копну, 2680 ван копна
Немачка		1336 до 1756 на копну, 3323 до 3561 ван копна
Грчка		1100 до 1400
Ирска	1100	1800 на копну
Италија	1200	1740
Јапан	1500	2250
Мексико	1000 до 1200	1500
Холандија		1325 на копну, 3200 ван копна
Португал	900 до 1000	1000 до 1400
Шпанија		1400
Шведска	1400	1600
Швајцарска	1450	1885
Сједињене Америчке Државе	818 до 1042	1603

Уз висок приоритет развоја чистих енергетских извора, многе државе виде шансу у брзој експанзији малих ветроиндустрија, а такође и компаније које турбинама снабдевају тржиште. Турбине малих снага, мањих од 100 kW, се производе у Италији, Мексику, Шпанији, Француској, Шведској, Уједињеном Краљевству, Данској, Сједињеним Државама [48].

6.1 Енегија ветра за производњу слатке воде

Што се тиче питања ветра и воде, прва примена енергије ветра била је код ветрењача које су пумпале воду током 19. века, почевши од Holladay ветрењаче 1854. године (слика 24 а). Много година након тога, употреба ветрогенератора за производњу слатке воде процесом десалинизације чини се интересантном алтернативом. Данас су енергија ветра и десалинизација познат аспект и тржишно доступни.

Један од проблема коришћења енергије ветра у десалинизацијским апликацијама је промењива природа овог ресурса. Складиштење енергије ветра у облику електричне енергије је једино практично када су у питању мале количине. Акумулатори повећавају укупни инвестициони трошак, па зато било какав процес складиштења електричне енергије није практичан предлог. Варијабилни енергетски инпут присиљава десалинизацијско постројење да ради у условима који нису оптимални и може да проузрокује оперативне проблеме. Да би се избегла флукуација својствена обновљивим енергијама, другачији системи складиштења енергије могу да се користе.

Данас постоје ветродесалинизацијски системи на тржишту који нуде аутономне системе или системе специфичних величина које су повезане са мрежом. Већина њих користи десалинизацијски процес реверзне осмозе.

6.1.1 Системи реверзне ветроосмозе

Реверзна осмоза (RO) је најшире коришћен процес за десалинизацију морске воде. RO процес укључује форсирани пролаз воде кроз мембрану под природним осмотским притиском како би се постигло одвајање воде и јона. Количина десалинизиране воде која се може добити варира између 30 и 75% од запремине улазне воде, зависно од квалитета воде (слане или морске воде), квалитета траженог производа, као и технологије и мембрана које су укључене у процес десалинизације. Типична конфигурација RO постројења приказана је на слици 28.

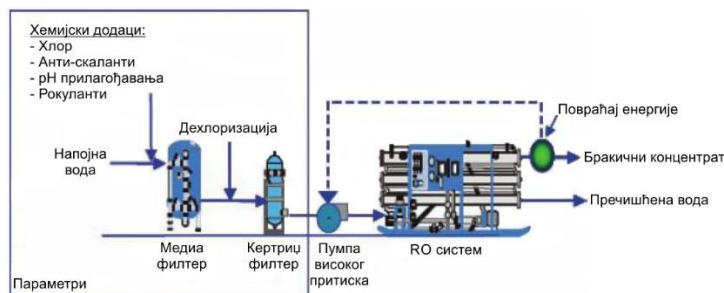
Током последњих деценија, енергетски захтеви, када су у питању RO јединице за морску воду и њихова оперативност уз коришћење уређаја за поновно добијање енергије, су драматично смањени на 3 kWh/m³.

Остале предности RO процеса укључују модуларни дизајн и компактност постројења, задовољавајуће перформансе у свим величинама и лако руковање.

Када су у питању енергија ветра и реверзна осмоза, један број јединица је дизајниран и тестиран. Већина њих су самостални системи и развијени су у оквиру истраживачког рада. Табела 16 приказује неколико ретро RO инсталација у Европи.

Још 1982. један мали систем је постављен у Me du Planier, Француска, где је генератор који производи 4 kW спојен са 0,5 m³/h RO десалинизацијском јединицом. Систем је био дизајниран тако да ради или преко директног повезивања, или преко акумулатора.

Други пример где су енергија ветра и реверзна осмоза у комбинацији је острво Drence у Француској, инсталација из 1990. године. Овде ветрогенератор снаге 10 kW покреће RO јединицу за морску воду, производећи 0,5 m³/h слатке воде [57].



Слика 28 Типична конфигурација и компоненте RO постројења [59]

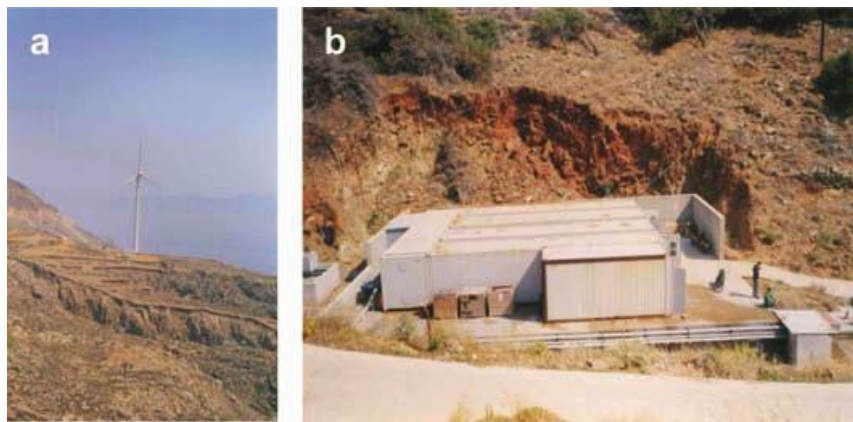
Табела 16 Апликације обрнуте ветроосмозе

Локација	RO капацитет (m ³ /h)	Снабдевање електрочном енергијом	Година инсталирања
Ile du Planier, Француска	0,5	4 kW W/T	1982
Острво Suderoog, Немачка	0,25-0,37	6 kW W/T	1983
Острво Halgoland, Немачка	40	1,2 MW W/T+ дизел	1988
Fuerteventura, Шпанија	2,3	225 kW W/T+160 kVA дизел, замајац	1995
Pozo Izquierdo, Gran Canaria, SDAWES	8x1,0	2x230 kW W/T	1995
Острво Therasia, Грчка, APAS	0,2	15 kW W/T, 440 Ah батерије	1995/1996
Острво Sytos, Грчка, JOULE	2,5-37,5	500 kW W/T, самостални+на мрежи	1998
Karatea, Грчка, PAVET	0,13	900 W W/T, 4 kWp PV, батерије	2001/2002
Pozo Izquierdo, Gran Canaria,	0,80	15 kW W/T, 190 Ah, батерије	2003/2004
Универзитет Loughborough, УК	0,5	2,5 kW, без батерија	2001/2002
Острво Milos, Грчка, OPC програм	6x600	850 kW W/T, спојен на мрежу	2007/2008
Острво Heraklia, Грчка	3,3	30 kW W/T, баржа, батерије	2007
Универзитет Delf, Холандија	0,2-0,4	Ветрогенератор, без батерија	2007/2008

Недавно је неколико R&D пројеката спроведено, као што је ретродесалинизацијски систем саграђен у Дрепапон-у, близу места Patros у Грчкој. Овај пројекат, који је укључивао 35 kW ветрогенератор, започет је 1992., а завршен 1995. године. Пројекат је подразумевао комплетан дизајн и конструкцију ветрогенераторске турбине (лопатице, итд.), плус инсталација две RO јединице са производним капацитетом од 5 m³ на дан. На жалост, од 1995. оперативни резултати су лоши због ниског ветрорежима. Веома интересантни резултати су добијени тестирањем постројења у Lasloursu, Француска, где 5 kW ветрогенератора обезбеђују енергију за неколико батерија (1500 Ah, 24 V). Енергија се допрема преко инвертора до мале RO јединице номиналне снаге од 1,8 kW.

Најпознатија постројења, већа од претходно поменутих RO ветропостројења, су она инсталирана на Sytos острву, Грчка и на Тенерифима, Шпанија, а у оквиру истраживачког програма Европске комисије. Циљ овог пројекта је био да се развије концепт породичних модуларних постројења за десалинизацију морске воде, прилагодљивих широком опсегу региона, уз коришћење локално доступних ветроенергетских ресурса. Породични концепт

је био заснован на лимитираном броју стандардизованих модула. Ови модули (ветроенергетски конвертори напредне технологије, хибридне енергетске јединице, десалинизацијске јединице променљиве величине, дизајниране тако да могу да раде ван мреже, или спојене са мрежом, итд.) су били опремљени веома флексибилним енергетским и менаџмент системом. Уз то, овај концепт омогућава паралелну производњу воде и електричне струје, а у складу са потребама оператора [57]. Посторјење на острву Тенерифе је било прво које је подигнуто и састојало се од ветрогенератора снаге 30 kW повезано са два RO модула. Постројење на Syros-у је базирано на два ветрогенератора снаге 500 kW и осам RO модула, са производњом између 60 и 900 m³ слатке воде на дан (слика 29). Најмања јединица на Тенерифима је искоришћена за тестирање неких од концепата, а пре градње већег постројења на Syros-у (погледати табелу 17).

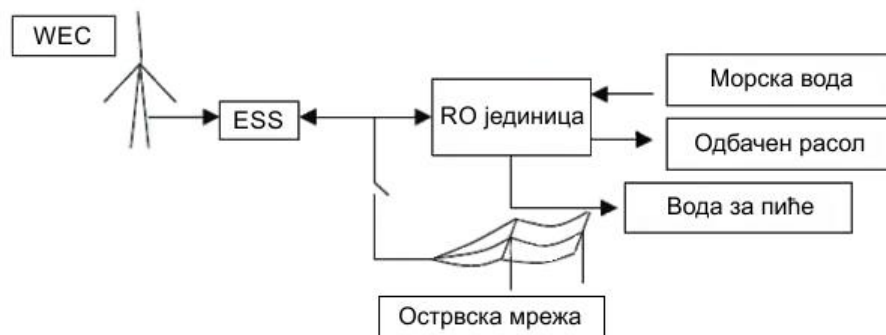


Слика 29 Ветроенергетска RO јединица на острву Syros а) 500 kW W/T, б) RO постројење

Што се тиче пројекта на Syros-у, ветрогенератор снаге 500 kW је повезан са мрежним менаџмент системом, што омогућава контролу електричне фреквенције и напона и самоадаптирање ветроенергетског конвертора слабој електричној мрежи острва (слика 30). Електрична енергија из ветрогенератора се амортизује у систему за складиштење енергије, што укључује дизел генератор, батерије и замајац. Излазна снага се убацује у RO јединицу и електричну мрежу [48].

Табела 17 Техничке карактеристике два постројења на острвима Tenerife и Syros [57]

Постројење	Tenerife, Шпанија	Syros, Грчка
Место инсталације	Ветропарк Granadilla	Syros
WEC карактеристике	ENERCONE-12 са магнетним синхроним генератором, номиналне снаге 30 kW и пасивни кривудаи систем	ENERCONE-40 са синхроним прстенасти генератором, номиналне снаге 500 kW и мрежни менаџмент систем
Систем складиштења	Не укључује оптимални систем складиштења енергије	Енергетски складиштени систем
Број RO блокова	1	8
Максимална снага RO јединице	200 kW	200 kW
Капацитет десалинизације	60-110 m ³ дневно	60-900 m ³ дневно
Складиштење воде	1x14 m ³ резервоар префилтриране воде 1x14 m ³ резервоар за произведену воду	



Слика 30 RO ветропостројење на острву Syros

Још један RO ветропројекат је спроведен на острву Fuerteventura у периоду између 1995. и 2002. године. Пројекат је предложен од стране Универзитета Las Palmas de Gran Canaria (ULPgC) уз даљу сарадњу са Институтом технологије Канарских острва (ITC) и финансијским доприносом Европске комисије, општинске власти, градским већем за воду острва Fuerteventura и Министарством регионалне индустрије [53].

Овај пројекат је проучавао оперативне стратегије ветродизел система који је био инсталиран у једном удаљеном рибарском селу са сталном популацијом од 60 становника на острву Fuerteventura (Канарска острва). Овај систем се састојао од ветро-дизел система који је снабдевао Punta Jandía рибарско село енергијом, водом, расхлађивањем и ледом (Слика 31).



Слика 31 Поглед на инсталирани пројекат у рибарском селу Punta Jendía (Извор: ITC Grand Canaria)

Систем за снабдевање енергијом у Fuerteventura се састојао од 225 kW ветроенергетског конвертора и два 160 kVA дизел мотора са замајцем и синхроним генератором од 75 kVA за производњу електричне струје потребне за чување рибе, канализационо постројење од 25 m³ на дан, десалинизацијско постројење за морску воду капацитета 56 m³ дневно, као и за јавну и приватну расвету, итд. за просечно 300 људи [58].

Самостална ветро-RO јединица је инсталирана на острву Theresia у Грчкој 1997. године. RO јединица за морску воду имала је капацитет од 0,2 m³⁻¹ и номиналну снагу ветрогенератора од 15 kW. Овај пројекат је био значајан због тога што је то био други водни ресурс острва. Први водни ресурс је представљао транспорт воде цистернама. Цена транспортоване воде је била висока (15 ECU/m³, 1997. године), а квалитет воде непознат. Овај систем је тренутно напуштен [58].

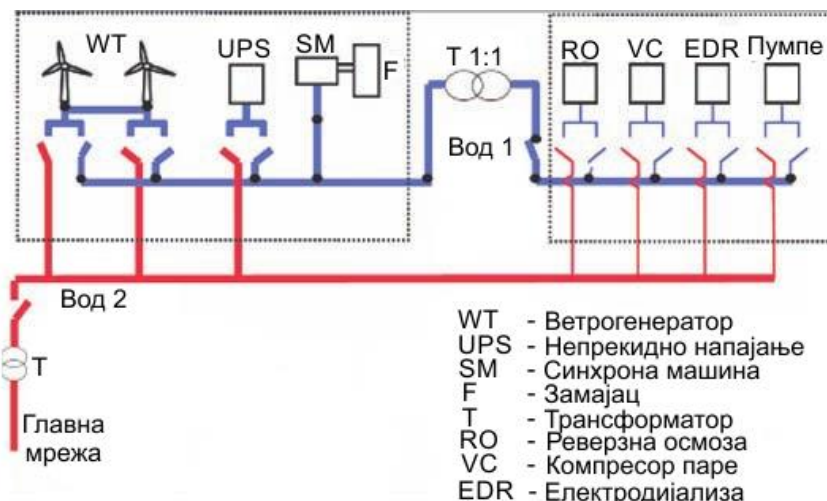
Аутономни хибридни соларни/ветро систем је развијен 1999. године од стране Пламског развојног и технолошког одељења Израелске корпорације за електричну енергију. Циљ овог система је био да се развију и промовишу аутономни десалинизацијски системи за забачене и удаљене области, које су лишене водних ресурса [57]. Овај пројекат је био делимично финансиран у оквиру четвртог Оквирног програма Европске комисије. Систем се састоји од јединице за реверзну осмозу, пројектоване да производи 3 m³ слатке воде на дан из слане воде која има салинитет од 3500 до 5000 mg/l (TDS, total dissolved solids-укупно растворљива чврста тела). Напојна вода се пумпа из оближњег бунара са сланом водом. Резервоар за складиштење воде од 5 m³ складишти произведену воду. Систем је пројектован на основу претпоставке да је просечна брзина ветра на терену око 4 до 5 m/s, а ниво инсолације¹⁰ око 5 до 5,5 kWh/m² на дан. Систем снабдевања енергијом се састоји од 3,5 kWp PV система и ветрогенератора од 600 W, који се користи као резерва. DC-AC инвертор се користи за конвертовање једносмерне енергије из батерија назад. Цена произведене слатке воде процењена је на око 7,5 ECU/m³ (1999. године).

Године 1999., у оквиру SDAWES пројекта (Seawater Desalination by an Autonomous Wind Energy System-десалинизација морске воде аутономним ветроенергетским системом) још једна ветро-RO јединица је инсталирана и тестирана у Pozo Izquierdo на острву Gran Canaria. Ветрогенератор који напаја енергијом RO постројење био је део много већег пројекта који је укључивао три десалинизацијска процеса финансирана од стране Европске комисије. SDAWES пројекат је развијен у оквиру програма Европске комисије (JOR3-CT95-0077) у координацији са институтом технологије на Канарским острвима, ИТС, а тестирање је спроведено у периоду од 1999. до 2002. године. Ово постројење је комбинација три различита десалинизацијска система, реверзне осмозе (8x25 m³ дневно), реверзне електродијализе (190 m³ дневно) и ветрофарме ван мреже (прве у Свету повезане са десалинизацијским постројењем) у циљу производње слатке воде; укупни номинални капацитет производње воде износи 440 m³ дневно [53].

Као што је приказано на Слици 32, овај систем је базиран на два електрична кола, плава линија (линија 1) приказује снабдевање са ветрофарме изван мреже, а црвена линија (линија 2) показује снабдевање са мреже. Посматрајући RO јединицу, на ток продукт воде и проводљивост незнатно утичу варијације у фреквенцији електричне мреже.

Дневне просечне проводљивости практично нису под утицајем ових варијација пошто прихватљив пад електричне фреквенције (са 52 на 48 Hz) не ствара велики раст електричне проводљивости (приближно 28 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Међутим, тачне флукуације су детектоване у кратким периодима са нестабилном фреквенцијом (рад при минималној брзини ветра). Према ИТС симулационим резултатима, флукуације тока настале услед варијабилног снабдевања енергијом би могле бити повољне у случају смањивања концентрационе поларизације у RO, зависно од фреквенције и амплитуде флукуација.

¹⁰ Инсолација представља количину сунчане радијације на било којој површини. Количина инсолације на земљиној површини је контролисана углом Сунца, стањем атмосфере као и висином и географским положајем.



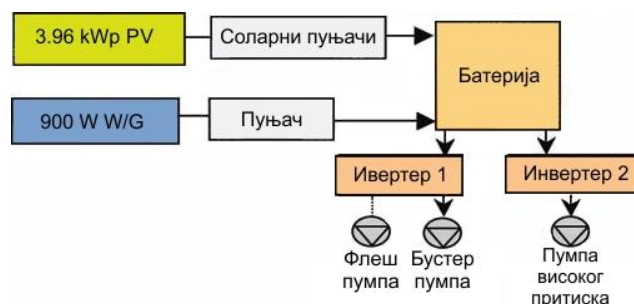
Слика 32 Конфигурација ветродесалинзацијског система, SDAWES пројекат у Pozo Izquierdo, острво Gran Canaria

Према истраживачима, један од главних исхода тест резултата је тај да је RO технологија најподеснија за спајање са ветрофармом ван мреже. Ипак, свака десалинзацијска техника има могућности да побољша оперативност са ветрофармама ван мреже тако што би развила специфичне дизајне.

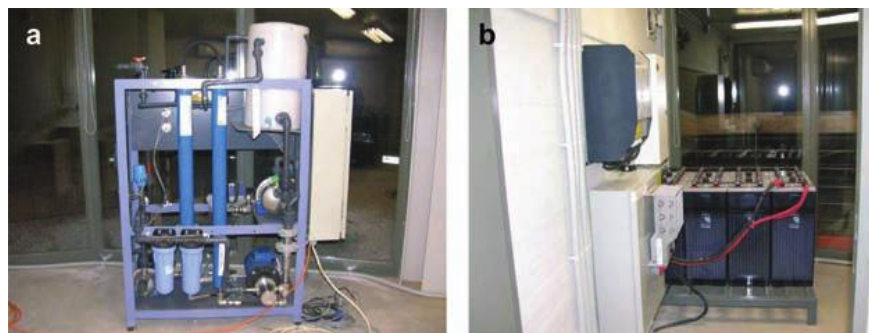
2011. године, у оквиру националног програма, Оперативни програм за конкурентност, Мера 4.3 Грчког Министарства за развој, Центар за изворе обновљиве енергије и уштеду, CRES, развио је самостално хибридно RO постројење. Овај пројекат се бави дизајнирањем и развојем мале аутономне RO јединице за морску воду која је у стању да обезбеди слатку воду за удаљене области са око 10 становника, имајући у виду да Грчка има велики број малих острва са неколико становника, а која су у већини случајева удаљена и изолована, са проблемима у снабдевању водом и електричном енергијом.

Хибридни RO систем се углавном састоји од 3,96 kWp фотонапонских генератора, 900 W ветрогенератора, 130 l/h RO јединице за морску воду, акумулатора од 1800 Ah/100 h и два инвертора од 1,5 kW и 4 kW номиналне снаге (погледати слике 33 и 34) [49]. Систем је још увек оперативан у сврхе демонстрација.

Мали RO систем за морску воду који се напаја енергијом ветра без батерија демонстриран је 2003. године у CREST, на Универзитету Loughborough, Уједињено Краљевство. Систем је радио при варијабилном току и варијабилном притиску, а у складу са варијабилном енергијом којом је располагао ветар. Притисак у систему је варирао између 38 и 51 bar-а (3,8- и 5,1 MPa) током тестирања [57]. Повраћај енергије је обезбеђен Clark пумпом. Напојна вода која се користила за тестирање била је чист NaCl раствор са TDS од око 32 800 mg/l како би се опонашао осмотски притисак морске воде. Концентрација продукт воде је варијала између 470 и 800 mg/l. Ветрогенератор је процењен на 2,5 kW, без зупчаника, са перманентно-магнетним генератором варијабилне брзине.



Слика 33 Конфигурација CRES хибридне RO јединице



Слика 34 Хибридна RO јединица за морску воду на CRES; а) 130 l/h SWRO јединица, б) акумулаторски складишни систем, инвертори

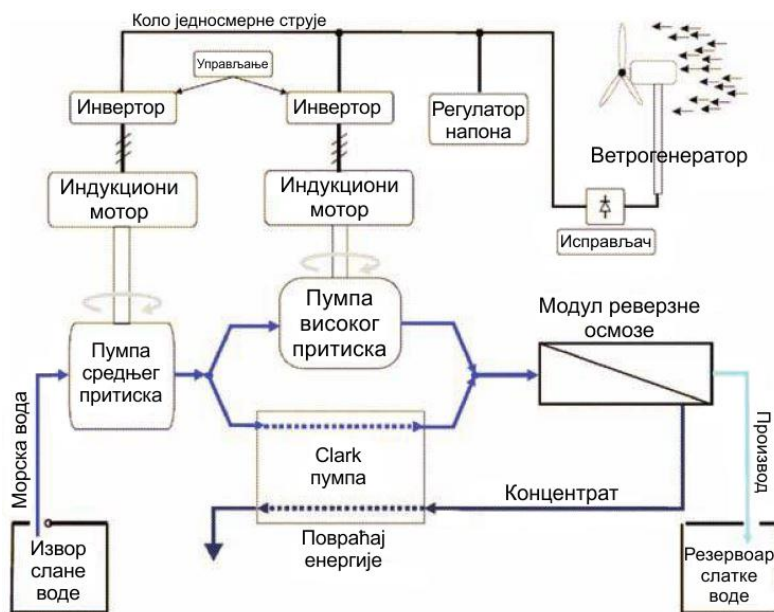
Ветрогенератор има три лопатице, ротор је пречника 3,5 метара и процењену брзину ротора од 300 обртаја по минути. Монтиран је на челичном заштићеном торњу високом 13 метара. Наизменична струја се из генератора исправља и лимитира (регулатор напона), а затим директно напаја до инвертора (погледати слику 35). У систем нису укључени акумулатори или други начин складиштења енергије и подршка. Ово утиче на честу замену мембране у постројењу.

Штавише, самостална ветро-RO јединица је инсталирана у Pozo Izquierdo, на острву Gran Canaria 2003. године. Пстројење је почело са радом крајем 2004. године. Пројекат је финансирао Влада Канарских острва (FEDER), а изведен је од стране Института Технологије са Канарских острва. Циљ пројекта је било електрично повезивање комерцијалног ветрогенератора са RO јединицом за десалинизацију морске воде, која би радила у константном режиму и управљање, складиштење и коришћење расположиве енергије ветра уз минимум акумулатор.

Овај систем се састоји од ветрогенератора снаге 15 kW, 190 Ah оловног акумулатора, инвертора и RO јединице од 0,80 m³/h (Слика 36). RO јединица се састоји од два херметичка суда у серији са две мембране сваки (SW 30-4040). Салинитет напојне воде је 35 500 mg/l TDS. Произведена вода има салинитет мањи од 500 mg/l TDS. Номинални притисак при раду RO јединице износи 55 bar-а (5,5 MPa), а количник повраћаја енергије је 37%. Пумпа високог притиска, која је главно оптерећење RO јединице, је 7,5 kW. Мотор пумпе је трофазни мотор. Специфична потрошња енергије RO јединице износи 7 kWh/m³.

Године 2008. инсталирано је и почело је са радом ветродесалинизацијско постројење на острву Milos у Грчкој (слика 37). Овај пројекат је финансиран од стране Оперативног програма за конкурентност, Мера 6.3 Грчког Министарства за развој. Ветро-RO постројење се састоји од 850 kW ветрогенератора повезаног са мрежом како би се покрила енергија коју троши RO јединица за десалинизацију морске воде [55]. 2009. године, ова јединица је повећала свој капацитет са 2000 m³ на 3600 m³ дневно питке воде [56].

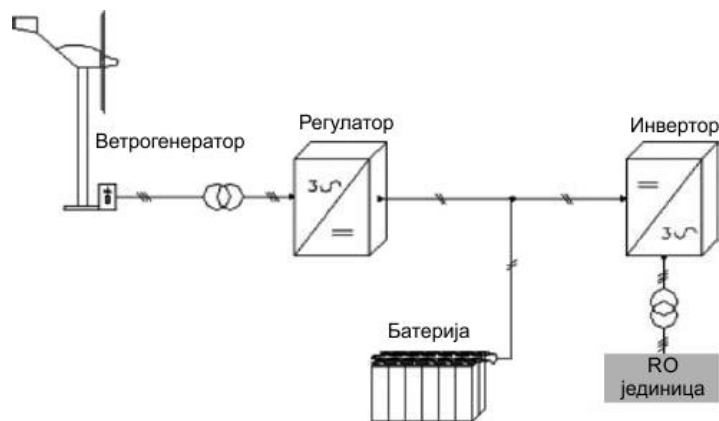
Ова производња је довољна да покрије потребе острва Milos. До 2008. године, острво је покривало своје потребе за водом транспортом воде у цистернама¹¹, као и већина острва Ciklada. Трошкови транспорта воде до 2009. године за острва Ciklada и Dodakaneza у Егејском мору су се кретали од 5 до 8 €/m³¹². Током 2010. године трошак транспорта воде до неколико Егејских острва је порастао на око 12,5 €/m³. Овај пројекат је осмишљен како би се покриле стално растуће потребе за пијаћом водом на острву, снабдевајући острва водом високог квалитета која одговара највишим стандардима, током 24 сата и по значајно нижој цени од тренутне. Као што је поменуто у литератури [56], цена произведене воде у ветро-RO постројењу износи 1,8 €/m³.



Слика 35 Блок дијаграм ветро-RO пилот јединице на CRES (извор: CREST, УК)

¹¹ Вода није коришћена за пиће.

¹² Углавном од зависности од удаљености од копна.



Слика 36 Типична конфігурація автономного вітро РО система

РО побудоване є лоцирано у старом руднику Vouno Triovassalou на острові Milos. Проєкат се состої из следећих јединица:

- 3600 m³ дневно (6x600 m³ на дан) РО јединица за десалинизацију морске воде
- Резервоари за складиштење пијаће воде капацитета 3000 m³
- Цевовод за транспорт пијаће воде од РО јединице до складишних резервоара
- 850 kW ветрогенератор (инсталира се у већ постојећем ветропарку од 3 ветрогенератора); просечна годишња производња електричне енергије ветрогенератора се процењује на 1 800 000 kWh (1,8 GWh)
- Надзорни контролни систем и систем прикупљања података (SCADA) који успоставља равнотежу између рада јединица, а према електричном оптерећењу острва Milos и оперативного статуса термалног побудоване (Слика 38).



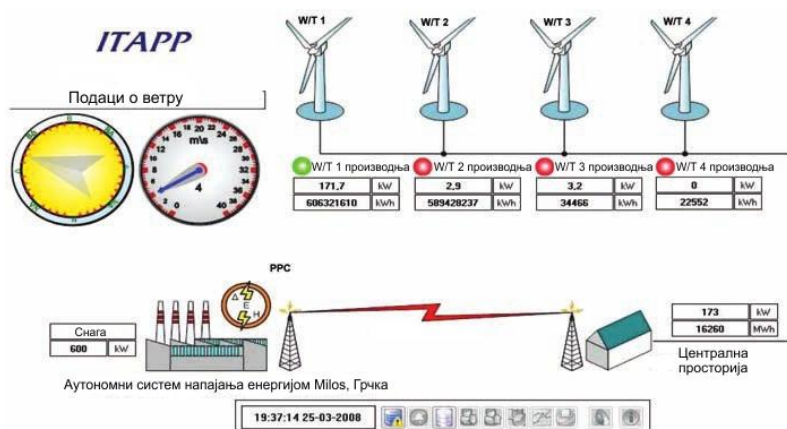
Слика 37 Преглед ветро РО јединице на острву Milos, Грчка; а) ветропарк, б) РО јединица, в) контролна просторија РО јединице, г) РО модули и контејнери [55]

Из најранијих технолошких уређаја за повраћај енергије и високо ефикасних пумпи, потрошња енергије RO јединице износи око 2,5 kWh/m³ [55].

6.1.2 Системи ветромеханичке парне компресије

Дестилација парном компресијом (VC) је термални процес који се обично користи за мале и средње десалинизацијске јединице за морску воду. VC дестилација користи предност принципа снижавања температурне тачке кључања смањивањем амбијенталног притиска, али топлота за испаравање воде потиче од компресије паре пре него од директне размене топлоте паре произведене у котлу. Пара се може компримовати или механичким компресором, или употребом парног млазног термо-компресора. У већини случајева користи се механички компресор. Користе се две методе компресије (Слика 39):

- Механичка парна компресија (MVC)
- Термална парна компресија (TVC)



Слика 38 SCADA систем пружа податке за исправни рад и сарадњу ветрогенератора са електричном мрежом [55]

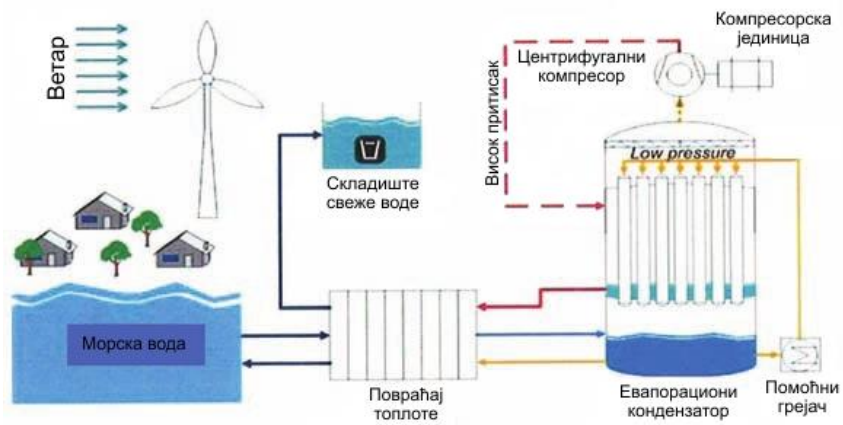


Слика 39 Конвенционална постројења за парну компресију; а) MVC постројење на Сицилији (Извор: SIDEM), б) TVC постројење на Suez (Извор: Weir Westharth Ltd.)

Код MVC, компресор ради уз помоћ електричног или дизел мотора. Пара високог притиска се користи за компримовање паре настале у херметичким судовима. Сабијена пара се затим користи као извор топлоте за даље испаравање напојне воде (Слика 40 и 41). Јединица се састоји од испаривача, парног компресора и измењивача повраћене топлоте.

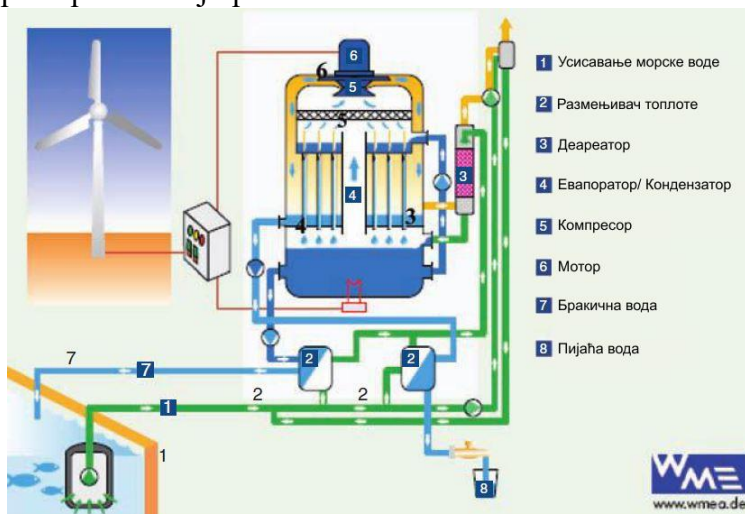
Код MVC процеса, пара произведена унутар испаривача се директно извлачи компресором, што повећава њену енталпију и на тај начин омогућава њену употребу као грејне паре.

Дестилат кондензован у цеви испаривача се хлади плочастим измењивачем топлоте (идеално за рад са водом високог садинитета и ниским температурним разликама) где се напојна морска вода претходно загрева. Исто се ради са излазном бракичном водом, а на тај начин се врши повраћај значајне количине процесне топлоте. MVC се обично подижу у опсегу од 250 до 2500 m³ дневно и користе се у туристичким одмаралиштима, малим индустријама и удаљеним теренима.



Слика 40 Конфигурација ветро-MVC постројења (Извор: WME, Germany)

Што се тиче ветро-MVC везивања само мали број апликација је познат. Пилот постројење је инсталирано на Немачком острву Вогкип 1991. године, а ветротурбина номиналне снаге од 45 kW била је повезана са испаривачем за механичку парну компресију (MVC) са системом који је био у стању да изврши десалинизацију морске воде и да произведе до 48 m³ слатке воде на дан. Компресор је захтевао снагу од 36 kW, систем је контролисан варирањем брзине компресора и потпомогнут топлотном отпорношћу када компресор ради при ограниченој брзини.

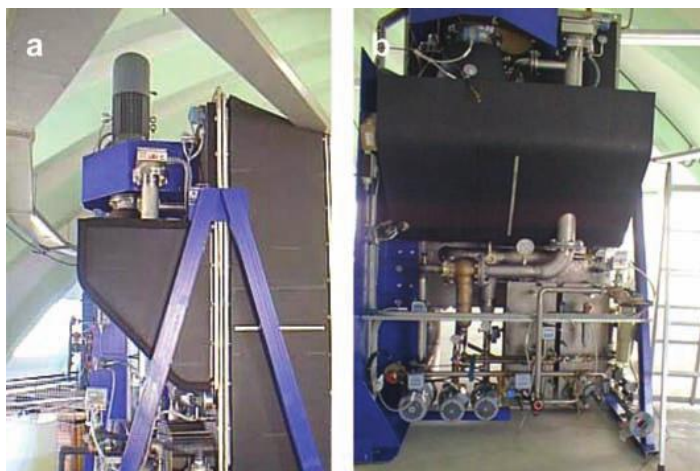


Слика 41 Техничка спецификација ветро-MVC постројења (Извор: WME, Germany)

Након овог пројекта, уследила је градња већег постројења на острву Rugen 1995. године. Ветрогенератор је процењен на 300 kW, а MVC јединица на максимални водни капацитет од 12,5 m³/h. Опет је топлотни отпор искоришћен као помоћна енергија када је то било потребно. Према расположивим подацима, специфична потрошња енергије је варијала између 9 и 20 kWh/m³.

Табела 18 Општи подаци о SDAWES пројекту [53]

Енергетски извор	Два ветрогенератора свака снаге 230 kW
Замајац, О/мин	1500
Синхрони мотор, kVA	100
Јединица непрекидног енергетског система (UPS), kW	7.5
8 RO десалинизацијских јединица (морска вода)	
Номинални производни капацитет m ³ /h	1
Номинални радни притисак, bar (MPa)	60-70 (6.0-7.0)
Стопа конверзије, %	30
Потрошња специфичне енергије, kWh/m ³	7.2
Постројење за парну компресију (морска вода)	
Номинални производни капацитет, m ³ /h	2
Конверзија, %	50
Номинални радни притисак на 62°C, bar (MPa)	0.2 (0.02)
Потрошња специфичне енергије, kWh/m ³	16
Реверзна електродијализа (ERD) (слана вода)	
Номинални производни капацитет, m ³ /h	3-7.9
Стопа конверзије, %	35-75
Номинални радни притисак, bar (MPa)	1 (0.1)
Потрошња специфичне енергије, kWh/m ³	3.3



Слика 42 Ветро-MVC систем у Gran Canaria, Шпанија [54]

Технички подаци за ветро MVC систем

MVC капацитет:	50 m ³ на дан
Напојна вода:	морска вода
Номинална снага:	2x230 kW WT
Притисак:	0,2bar (0,02 MPa)
Температура:	62 °C
Номинална снага компресора:	30 kW

1991. године, у оквиру SDAWES пројекта (табела 18) још једна ветро-MVC јединица је инсталирана и тестирана у Pozo Izquierdo, на острву Gran Canaria (Слика 42). MVC постројење за десалинизацију морске воде има капацитет од 50 m^3 на дан. Номинална снага ветрогенератора је $2 \times 230 \text{ kW}$.

Оперативно искуство ветро-MVC постројења на острву Gran Canaria до данас је лимитирано пошто је ова јединица само пуштена у рад 1999. године. Било је почетних проблема са одређивањем преноса топлоте са површина, али је то превазиђено коришћењем хемијских адитива. Потрошња специфичне енергије је била висока и износила је око 15 до 16 kWh/m^3 . Ово указује на малу величину јединице и мали трансфер топлоте са површине.

Према резултатима института, један од главних исхода је тај да је RO технологија најподеснија за повезивање са ветрофармом ван мреже. Ипак, свака десалинизацијска технологија има могућности да побољша оперативност са ветрофармама ван мреже тако што се конструишу специфична решења.



Слика 43 Аутономно ветро-MVC постројење на острву Суми, Грчка; а) 800 kW ветротурбина, б) MVC десалинизацијска јединица

Године 2008., инсталиран је самостални ветро-MVC систем на Суми острву у Грчкој (слика 43). Пројекат је финансиран од стране националног програма Оперативни програм за конкурентност, Мера 6.3 Грчког Министарства за развој. Десалинизацијска јединица има годишњи производни капацитет од $90\,000 \text{ m}^3$ воде високе чистоће а ветрогенератор има номиналну снагу од 800 kW . Потрошња специфичне енергије MVC јединице је око $14,5 \text{ kWh/m}^3$.

6.1.3 Ветросистеми електродијализе

Електродијализа је јединствена међу свим десалинизацијским процесима, њен главни захтев је једносмерна струја. Наизменична струја је једино потребна за рад АС пумпи или реверзне контроле. То је мембрански процес попут реверзне осмозе, међутим принципи се разликују. Код RO, пумпа потискује воду кроз мембране остављајући соли иза, док код електродијализе (ED), соли бивају извучене кроз мембране остављајући десалинизовану воду иза.

Модификација основног процеса електродијализе је реверзна електродијализа (EDR). EDR јединица ради на истом општем принципу као и стандардна ED јединица, осим што су и производ и канали бракичне воде идентични по конструкцији. У овом процесу поларитет електрода се временом периодично мења, мењајући ток кроз мембране. Следећи промену поларитета и тока, продукт вода се одмах избацује све док главна одводна цев не буде испрана а жељени квалитет воде поново успостављен.

Једна од препрека електродијализе је та да су захтеви за енергијом директно пропорционални количини уклоњене соли, тако да је ова технологија интересантна само за десалинизацију слане воде (мање од 3500 mg/l TDS). Генерално, укупна потрошња енергије при амбијенталној температури и продукт води од 500 mg/l TDS би била око 1,5 и 4 kWh/m³ за напојну воду од 1500 до 3500 mg/l TDS.

До сада се већи део истраживања у вези са електродијализом и обновљивим изворима енергије спроводио на ED са фотонапоном. Мало података има о ветро-електродијализи.

Као што је раније поменуто, у оквиру SDAWES пројекта, ветро-EDR систем је испитан. EDR јединица има капацитет који се креће од 3 до око 8 m³/h и просечну потрошњу специфичне енергије од 3,3 kWh/m³. Електрична проводљивост слане воде се креће од 2500 до 7500 μ S/cm, док се проводљивост продукт воде креће између 200 и 500 μ S/cm [51].

EDR постројење је било тестирано у раду на мрежи и ван мреже. Ова два оперативна моделитета су испитана и упоређена. Контролни систем је развијен за аутоматско управљање и оптимизацију рада постројења и за моделитет на мрежи и ван мреже. Контролни систем је био у стању да успостави оптималне оперативне услове базирани на расположивој енергији и на критеријумима претходно дефинисаним од стране оператера на постројењу [52].

Након што је претходно анализирано понашање система у мрежи, следећа етапа је била развијање оперативног оквира за јединицу реверзне електродијализе ван мреже, тј. само повезане са ветрофармом. Ова јединица је укључивала конверторе енергије за одводне цеви мембране (DC драјвери) и драјвере варијабилне фреквенције (VFD) за напојну пумпу. Тестирања су спроведена како би се успоставили енергетски интервали за EDR јединицу у зависности од стопе тока продукта која је одређена, као и квалитет воде.

Према ИТС истраживачима и онима са Универзитета Las Palmas, десалинизацијска јединица је показала добру флексибилност, несметано се прилагођавајући варијацијама снаге ветра, чак и приликом изненадних падова и раста снаге. Контролни систем, незнатно модификован, може да се носи са таквим изненадним варијацијама.

Добар склад између симулираних перформанси у софтверу и актуелних оперативних перформанси је запажен. Присуство хармоније у електричном систему због DC драјвера и због драјвера варијабилне фреквенције (VFD) може постати штетно за контролни и електрични систем, па се мора повести рачуна и предузети одговарајуће мере [51].

6.2 Ветро-десалинизацијско тржиште

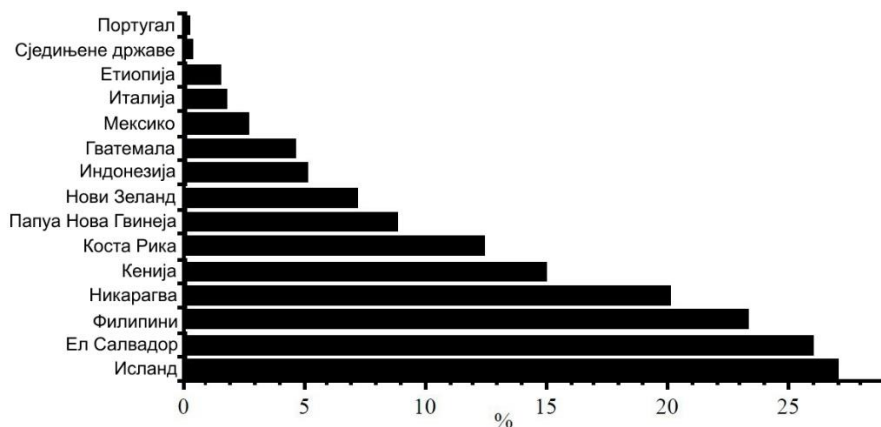
Последњих година неколико снабдевача обезбеђују модуларне RES десалинизацијске растворе на тржишту, од којих су већина стандардне величине. Што се тиче ветро-RO јединица, мањи је број компанија које обезбеђују аутономне и/или са мрежом спојене системе од око 175 до 2000 m³ на дан за десалинизацију слане и морске воде. Што се тиче ветро-MVC десалинизације морске воде, само једна компанија снабдева тржиште компактним системима за аутономни рад или рад на мрежи [49].

Генерално, компензација RES десалинизације је релативно нова област и мало се зна о величини потенцијалног тржишта и типовима RES десалинизацијских постројења који су најподеснији за различита тржишта. Без свеобухватне анализе тржишта тешко је одредити, а) где и како ући на тржиште, б) колико ће времена бити потребно да се поврати инвестиција и в) колико би исплатива могла бити инвестиција и колики ризик. Иако постоји неколико студија које показују да потреба за десалинизацијским технологијама расте, као и општа владина подршка када су у питању технологије које се баве обновљивим изворима енергије, није још увек могуће дефинисати тржиште за RES десалинизацију. Потреба за RES десалинизацијом није подударна са потражњом.

7 Десалинизација коришћењем геотермалне енергије

Економски и индустријски потенцијал геотермалне енергије, као и ризици по животну средину су истакнути у неколико студија. Lund [5] примећује да забележени примери показују употребу геотермалне воде за купање, кување и загревање просторија још код Римљана, затим Јапанаца, Турака, Исланђана, централних Европљана и Маора на Новом Зеланду. Прва употреба геотермалне енергије за производњу електричне енергије десила се у Италији пре једног века са пуштањем у рад комерцијалне електране снаге 250 kWh. Уследиле су сличне електране у Wairakei на Новом Зеланду 1958. године; експериментална електрана у месту Pathe у Мексику 1959. године; прва комерцијална електрана на гејзирима у Сједињеним Државама 1960. године, и у месту Matsukawa, Јапан, 1966 године [6]. Све ове електране су користиле пару добијену директно из земље (тј. поља суве паре), осим на Новом Зеланду, који је први користио пламен паре или издвојену пару за покретање турбина. Бивши Совијетски Савез је производио енергију снаге 860 kWh из прве праве бинарне електране, користећи воду температуре 81°C у месту Paratunka, на полуострву Камчатка, у то време најнижу температуру. Исланд је први пут произвео електричну енергију у Namafjallu, у северном делу Исланда, из 3 MWh не кондензаторске турбине. Уследиле су електране у Ел Салвадору, Кини, Индонезији, Кенији, Турској, Филипинима, Португалу, Грчкој и Никарагви током седамдесетих и осамдесетих година. Касније су електране инсталиране на Тајланду, Аргентини, Тајвану, Аустралији, Костарики, Аустрији, Гватемали, Етиопији, са последњим инсталацијама у Немачкој и Папа Новој Гвинеји [6]. Bouchekima [7] извештава о употреби слане подземне геотермалне воде која напаја соларну пецару инсталирану на југу Алжира. Исланд се сматра најуспешнијом

државом у геотермалној заједници. Земља са тек нешто мало више од 300 000 становника се у потпуности (тј. 100%) снабдева обновљивим облицима енергије када је у питању производња електричне енергије (слика 44), и заузима највише место међу 15 земаља које производе електричну енергију из геотермалних извора.



Слика 44 Удео укупне производње електричне енергије из геотермалних извора у топ 15 држава [8]

Геотермална енергија потиче из природног генерисања топлоте, превасходно због магме, као и распадања радиоактивних изотопа уранијума у природи, торијума и калијума у земљи. Укупна термална енергија на дубини од 10 километара се процењује на $1,3 \times 10^{27}$ J, што је еквивалент сагоревања 3×10^{17} барела нафте. Wright [9] извештава да коришћење енергије у свету износи око 100 милиона барела нафте дневно. На основу тога он је израчунао да земљин хидротермални резервоар високе температуре на дубини од 10 километара теоретски може да обезбеди све људске потребе за енергијом у неколико наредних милиона година (Слика 45). У просеку, температура Земље расте за око 30°C по километру дубине. Зето би температура на 10 km износила преко 300°C . Међутим, већина геотермалних истраживања се врши на местима где је градијент виши, па тако бушење може бити плиће и уз мање трошкове.

Геотермални ресурси се зато могу класификовати по типу формације стене/воде и температуре, која се креће од 20°C до преко 300°C [5]. Ресурси изнад 150°C се обично користе за производњу електричне енергије, мада се однедавно енергија производи коришћењем геотермалног ресурса од 74°C у Chena одмаралишту са топлим изворима на Аљасци [10]. Ресурси испод 150°C се обично користе у пројектима директне употребе за загревање и расхлађивање.

Fridleifsson et al. [11] извештавају о производњи електричне енергије употребом геотермалних извора у 24 државе. Штавише, директна примена геотермалне енергије за грејање и купање постоји у 72 земље. Крајем 2004. године, употреба геотермалне енергије у свету износила је 57 TWh годишње за електричну енергију и 76 TWh годишње за директну употребу. Шест земаља у развоју налазе се међу топ 15 држава које директно користе геотермалну енергију, са Кином на врху листе. Fridleifsson et al. [11] настављају са изношењем аргумената и сматрају да је могуће повећати инсталирани светски геотермални

електрични капацитет са садашњих 10 GW на 70 GW уз данашњу технологију, а чак и до 140 GW са напреднијом технологијом.

Повезивање обновљивих енергија, као што су ветар, соларна и геотермална енергија са системима за десалинизацију, пуно обећава када је у питању повећано снабдевање водом у областима које оскудевају у води [12, 13, 14]. Може се аргументовано доказати да ефикасна интеграција ових технологија може омогућити државама да реше проблеме мањка воде коришћењем локалних енергетских извора који не загађују ваздух и не доприносе глобалном проблему климатских промена. Штавише, овај приступ ће помоћи да се избегну проблеми раста цене горива и пада у снабдевању фосилним горивима. Постројења за десалинизацију, на пример, могу да раде директном употребом геотермалне енергије за загревање слане воде у мултипликованој јединици за десалинизацију и/или геотермална енергије се може индиректно користити за рад обрнуто напонских јединица [15]. Ophir [16] је представио економску студију за десалинизацију која се снабдева енергијом из геотермалног ресурса од 110-130°C. Другу техничку и економску студију спровео је Karystas [17] како би анализирао изводљивост коришћења геотермалних ресурса између 75 и 90°C који би снабдевали енергијом вишеструки систем кључања (MEB).

Bougrouni et al. [18, 19] извештавају о инсталацијама које користе процесе повећавања и смањивања влажности (процес хумидификације и дехумидификације) у облику испаривача и кондензатора направљених од полипропилена и који раде на температури између 60 и 90°C. Штавише, са недавним напретком технологије мембранске дестилације, коришћење директне геотермалне бракичне воде са температуром од 60°C је обећавајуће [20].

У овом поглављу биће описан критички преглед десалинизације слане и морске воде коришћењем геотермалних ресурса. Представљене су специфичне студије случаја, као и процена ризика по животну средину и тржишни потенцијали. Такође је разматрана доступност и подесност геотермалне енергије у поређењу са другим ресурсима обновљиве енергије за десалинизацију.

7.1 Геотермална енергија и десалинизација

Када користимо геотермалну енергију за напајање система као што су постројење за десалинизацију, избегавамо термално складиштење. Уз то, излазна енергија при оваквом снабдевању је генерално стабилна у поређењу са другим ресурсима обновљиве енергије, као што су соларна енергија и снага ветра [21]. Kalogirou [15] је показао да температура испод одређене дубине остаје релативно константна током целе године. Poriel et al. [22] сматрају да се могу разликовати три зоне тла; површина, плитак слој и дубоки слој, са геотермалним енергетским изворима који су класификовани према њиховим измереним температурама као ниски (<100°C), средњи (100-150°C) и високо температурни (>150°C).

Геотермални извори на дубини већој од 100 метара могу се користити за напајање постројења за десалинизацију [15]. Коришћење геотермалне снаге директно као покретачке снаге у термалним постројењима за десалинизацију такође се може предпочити.

Побољшане технологије експлоатације топлоте, које су још увек у пробној фази, имају велики потенцијал када је у питању примарни повраћај земљине ускладиштене термалне енергије [9, 15]. Директна употреба геотермалне енергије за загревање је такође комерцијално конкурентна са конвенционалним енергетским изворима. Предвиђа се експоненцијални раст у сектору геотермалних топлотних пумпи за загревање и/или хлађење. Постоји и предност када је у питању животна средина, јер геотермалне топлотне пумпе које покреће електрична енергија фосилних горива смањују емисију CO₂ за најмање 50% у поређењу са бојлерима који се напајају фосилним горивом. Штавише, научници подржавају Bertaniјев [23] став да извори обновљиве енергије могу да дају значајан допринос ублажавању климатских промена смањивањем употребе фосилних горива.

Геотермална енергија је доступна и дану и ноћу, сваког дана у години, па зато може да послужи као додатак енергетским изворима који су доступни са прекидима. МПТ студија указује на потенцијал од више од 100 GW за Сједињене Државе и 35 GW за Немачку [24, 25]. Могуће је да чак до 8% укупне светске електричне енергије може да се произведе из геотермалних извора што би опслужило 17% светске популације [26]. Тридесет девет земаља, које се налазе у Африци, централној/јужној Америци и у Пацифику могу потенцијално да обезбеде 100% својих потреба за електричном енергијом из геотермалних ресурса [27].

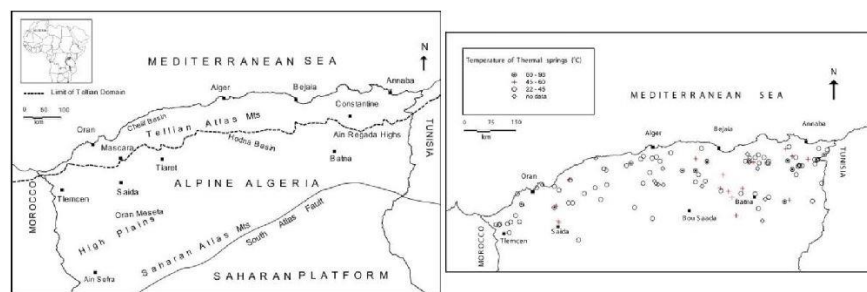
7.2 Студије случаја

7.2.1 Стратегија подизања капацитета за десалинизацију коришћењем обновљиве енергије у Алжиру и предложени систем стаклене баште са морском водом

Алжир је произвођач нафте и гаса; зато су одговорни у земљи сматрали да подстицање коришћења обновљиве енергије може да утиче на извоз нафте у земљи [28, 29]. Ова држава је такође друга највећа нација у Африци и 11. држава у свету по површини, граничећи се са Медитеранском обалом на северу у дужини од 1200 километара. Међу главним изворима са којима се суочава овај регион су и лимитирани водни и енергетски ресурси, као и ризик управљања животном средином [28, 30]. Mahmoudi et al. [12] сматрају да, због светске економске кризе и смањених резерви нафте и гаса, одговорни у државама које су сунчане са великим сушним периодима, попут Алжира, треба да ревидирају своју политику када је у питању промоција обновљиве енергије.

Геотермална енергија представља један од најзначајнијих извора обновљиве енергије у области студије случаја. Ово се може поделити на две главне структурне јединице по раседу слоја јужног Атласа (Слика 45а); планински део Алжира на северу и сахарска област на југу. Северну област чине Телијан Атлас, Високе равнице и сахарски

Атлас. Овај део карактерише ирегуларна дистрибуција геотермалних резервоара (Слика 45б). Навлаке на Телијан Атласу чине главне геотермалне резервоаре. Врућа вода у земљи је генерално рН неутрална, укупне растворене соли (TDS) до 10 g/l и може да достигне температуру у опсегу од 22°C до 98°C [32, 33]. Јужну област коју чини алжирска северна Сахара карактерише геотермалну издан која се обично назива „Albian резервоар“. Басен се протеже до Либије и Туниса ка истоку и покрива укупну површину од милион квадратних километара. Процењује се да овај део Алжира има површину од 700 000 km² и садржи приближно 40 000 милијарди m³ подземне слане воде. Дубина резервоара се креће између 200 метара ка западу, до више од 1000 метара на истоку. Дубљи бунари могу да обезбеде воду температуре од 50 до 60°C, стопу протока од 100 до 400 l/s и просечни TDS од 2g/l.



Слика 45 Лево (а): Геолошка јединица у Северном Алжиру [12, 29];
Десно (б): Главни термални извори у Северном Алжиру [12, 29]

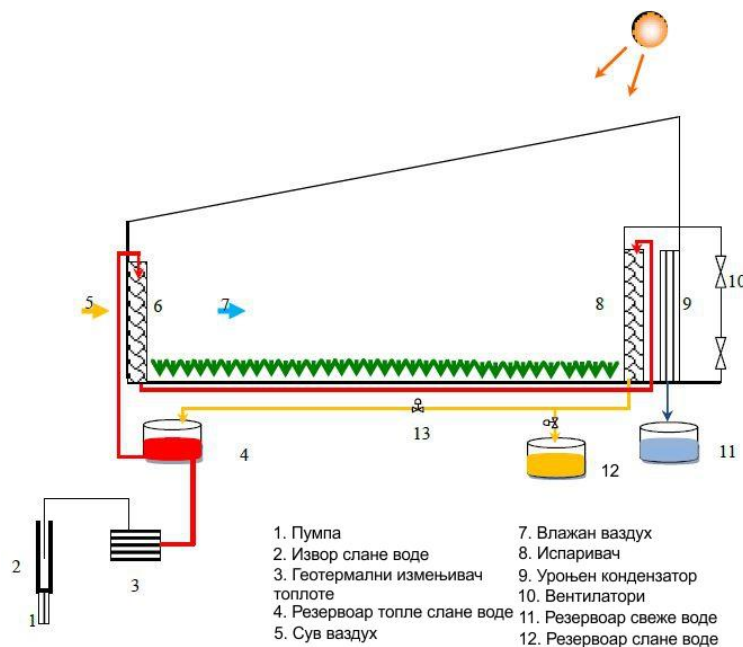
1988. године покренут је још један амбициозни програм са циљем проширења коришћења геотермалних топлотних стаклених башти у областима погођеним мразом, у источним и јужним областима земље. Нажалост, овај програм је био ометен из безбедносних разлога [32]. У неколико последњих деценија, доста напора је уложено у експлоатацију бројних термалних извора на северу и извора са врућом водом из резервоара у Сахари (Слика 45 б). Очекује се производња већа од 900 MWh у будућности.

Mahmoudi et al. [12] су у свом недавном извештају предложили примену геотермалних извора за напајање система за десалинизацију стаклене баште, а у циљу развоја сувих и релативно хладних региона, користећи Алжир као студију случаја (слика 46 а). Mahmoudi истиче да су државе које имају обилне ресурсе морске/слане воде и добре геотермалне услове идеални кандидати за производњу слатке воде. Успостављање људских насеља у овим сувим областима у великој мери зависи од доступности слатке воде.

Геотермални ресурси могу да се искористе и за загревање стаклених башти и за обезбеђивање слатке воде потребне за наводњавање усева који се гаје у стакленим баштама. Hal Gurgenci, директор центра за геотермалну енергију Универзитета Квинсленд, каже да би системи десалинизације који се напајају геотермалном енергијом могли бити благодат за мале градове суочене са несташицом воде [34]. Он даље каже да је то паметна комбинација у местима где је десалинизација повезана са пољопривредом, што је и економски исплативо, и повољно за животну средину. Gurgenci је рекао да, како неки геотермални ресурси можда нису довољно топли да напајају генераторе, они би могли бити савршени за термалну десалинизацију подземне слане воде из издана. Студије указују на то

да је за биљке потребно од једног до 100 мегалитара дневно. Термалне технологије десалинизације су подесније од реверзне осмозе, посебно ако постоји јефтине и велике залихе топлоте. Геотермална топлота се може користити за загревање и овлаживање стакленика, а истовремено и за производњу слатке воде.

Слана вода се пумпа и филтрира из бунара и шаље до топлотног размењивача на тлу где апсорбује топлоту из геотермалне течности. Овај размењивач топлоте се може направити од полиетилена како би се смањили трошкови. Загрејана слана вода се затим у слаповима преноси до првог испаривача, а онда и до другог. Бракична вода може да циркулише у кружном колу неколико пута док се њена концентрација не повећа преко прихватљиве концентрације растворене соли. Концентрирана бракична вода се онда скупља у резервоар где се складишти ради каснијег третмана, или процесуирања, или поновног убризгавања. Испаривач је цео предњи зид структуре стакленика и састоји се од картонске решетке у облику саћа и окренут је ка преовлађујућем ветру. Врућа слана вода цури низ ову решетку, загревајући и влажећи амбијентални прохладни ваздух који пролази кроз постројење и на тај начин доприноси загревању стакленика. Вентилатори потпомажу струјање ваздуха кроз стакленик. Ваздух пролази кроз други испаривач где се још више повећава његова влажност до тачке засићења. Ваздух који излази из испаривача је скоро засићен и пролази кроз пасивни расхладни систем са кондензатором (IC) зароњеним у суд са водом. Слатка вода која је кондензована из влажног ваздуха одводи се у цеви и користи за наводњавање или у друге сврхе. Овај систем може да се скалира како би обезбедио 10 до 20 kl воде на дан, а истовремено би помогао у гајењу биљака у стакленику.



Слика 46 (а) Шематски приказ процеса за слану воду у стакленику повезаног са геотермалним системом [12]. Прозирни слој за стакленик је обично од пластике, а напојна вода за пумпу је или слана подземна вода, или морска вода из бунара на плажи



Слика 46 (б) Стакленик са морском водом Al-Naili, Оман [13]

Ову иновативну идеју стакленика са морском водом је првобитно развила Sea Water Green House LTD 1991. године [21, 31, 35]. Први пилот пројекат је изграђен и тестиран на Канарском острву Тенерифе 1992. некада познатом као „Врт Богова“, а данас је то сува област, озбиљно оштећена прекомерним вађењем воде из земље [31]. Први резултати су доста обећавали и указивали на могућност развоја ове технологије и у другим сувим областима. Модификовани и побољшани нови стакленик са морском водом је изграђен на Al-Aryam острву, Абу-Даби, Уједињени Арапски Емирати, 2000. године [36]. У обе пилот студије производња усева је била одлична, а слатка вода је успешно произведена у циљу наводњавања стакленика. 2004. године, See Water Green House LTD, у сарадњи са Sultan Qaboos Универзитетом је саградио нови пилот стакленик са морском водом близу Muscat, Оман (Слика 46 б) [13]. Циљ овог пројекта је био да се демонстрира ова технологија локалним фармерима и организацијама у Арабијском заливу.

7.2.2 Геотермална енергија у десалинизацији морске воде на острву Milos, Грчка

Острво Milos се налази у вулканском луку Егејског мора и карактеришу га обилни геотермални ресурси [37]. Рано геотермално истраживање спроведено од стране Геолошког и рударско-истраживачког института Грчке указивало је да је источни део острва, а посебно долина Zefyria, област са највишим температурним градијентима, па зато и највише обећава када је у питању енталпијски геотермални потенцијал. Каснија истраживања бушењем су идентификовала геотермалне флуиде температуре од 300 до 323°C на дубинама од 800 до 1400 метара испод нивоа мора. Насупрот томе, Karytsas et al. [37] су открили да област која највише обећава на острву када је у питању експлоатација плитких, нискоенталпијских (<100°C) геотермалних ресурса је источна половина острва. Дубоки геотермални флуиди одговарали су кључалој морској води од 80 000 ppm салинитета. Закључено је да горњих 2 километара врућих стена испод Zefyrie би могло да подржи геотермално енергетско постројење од 260 MWh.

Главни циљ пројекта на острву Milos по Karytsasu et al. [37], је био да се изгради и пусти у рад десалинизацијска јединица која се напаја ниском енталпијском геотермалном енергијом која би производила 80 m³ пијаће воде на сат и генератор снаге 470 kWh. Постројење се састојало од двојног система са топлом водом из дубоких геотермалних бунара која се користила за покретање органских Ранкинових циклчних турбина (ORC) за производњу електричне енергије, а истовремено се и директно користила за вишеструки бојлер или дестилацијску јединицу (MED). Радни принцип органског Ранкиновог циклуса

(ORC) је исти као и принцип Ранкиновог циклуса: радни флуид се упумпава у бојлер где долази до испаравања, пролази кроз турбину која генерише електричну енергију и на крају се рекондензује. Штавише, вишеструка дестилација (MED) је у основи процес кључања који се често комерцијално користи за десалинизацију морске воде. Састоји се од више фаза. У свакој фази напојна вода се загрева паром у цевима. Нека од водених испарења (то је чиста вода) и ова пара одлази у цеви у следећој фази, загревајући још воде која испарава. Свака фаза у основи поново користи енергију из претходне фазе. Цеви могу бити зароњене у напојну воду, али се чешће хладнија слана напојна вода распршује по врху хоризонталних цеви поређаних у низу са врућом водом (које садрже чисту водену пару). Пара се затим кондензује унутар цеви и капље из цеви у цев док се не сакупи на дну фазе.

Једини извор енергије за пројекат на острву Milos по наводима Karytsasu et al. [37] је била геотермална топлота. Предвиђено је да ова јединица буде у потпуности самодовољна када је у питању термална енергија, а и да поседује потенцијал да постане самодовољна када је у питању и електрична енергија. Локална заједница би имала користи од производње десалинизоване воде, која ће се производити по веома ниској цени (тј. 1,5 € по метру кубном) и од коришћења одрживог ниско енталпијског геотермалног енергетског извора који није штетан по животну средину. Геотермална енергија и постројење за десалинизацију овог пројекта састојали су се од следећих компоненти:

- Геотермални производни бунари: производња ће се изводити из бунара лоцираних ближе мору због њиховог високог приноса енергије и одговарајућих трошкова за пренос топле воде
- Геотермалне потапајуће пумпе и инвертори инсталирани у производним бунарима
- Цевоводна мрежа која преноси геотермалну воду до главног постројења
- Јединица органског Ранкиновог циклуса (ORC), која трансформише приближно 7% геотермалне енергије у електричну, дизајнирана да генерише приближно 470 kWh
- Вишеструка дестилационо-термална парна компресијска десалинизацијска јединица (MED-TVC) за морску воду која обезбеђује 75 до 80 m³ десалинизоване воде на сат
- Главни измењивач топлоте, који врши трансфер енергије од топле геотермалне воде која излази из ORC јединице у MED-TVC јединицу за десалинизацију
- Бунари за поновно убризгавање (RE I и II) лоцирани на маргини геотермалног поља, близу обале, изводно и на нижем узвишењу од главног постројења
- Геотермалне линије за трансмисију воде од главног измењивача топлоте до бунара за поновно убризгавање
- Трансмисионе линије за морску воду које преносе 1000 m³/h прохлађене морске воде до MED-TVC јединице плус 200 до 575 m³/h прохлађене воде за ORC јединицу
- Линија за трансмисију десалинизоване воде од постројења до резервоара близу оближњег места
- Подстанција за електричну енергију за снабдевање и испоруку енергије локалној мрежи: 500 kWh
- Главни компјутерски мониторинг и контролни систем за уношење података у реалном времену и аутоматску контролу.

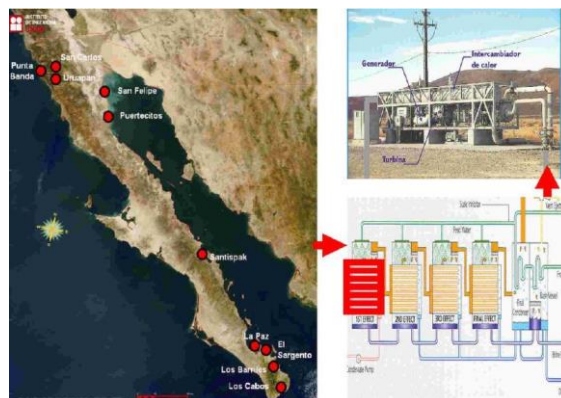
7.2.3 Десалинизација воде са геотермалном енергијом на полуострву Ваја, Мексико

У Мексику, посебно у сувој регији Ваја Калифорнија, не само да постоји обиље традиционалних ресурса обновљиве енергије, као што су сунце и ветар, већ такође постоје и топли извори, плимске струје и плимски таласи од преко 6 метара у горњем делу Калифорнијског залива [38]. Национални Универзитет Мексика (UNAM) је проценио обим ових обновљивих ресурса и размотрио начине њихове употребе за десалинизацију морске воде. Овај пројекат је имао три специфична циља:

- Да се дође до решења за несташицу воде у северозападном делу Мексика, узимајући у обзир животну средину, трошкове и друштвени утицај десалинизације,
- Да се формира једна солидна група инжењера и истраживача који би се бавили темама везаним за овај пројекат и који би били у стању да трансформишу научна знања и примењива решења уз велики степен знања о обновљивим изворима енергије,
- На крају овог процеса, знања и експертиза морају бити пренети на друштво преко курсева, књига, семинара и обуке на терену.

Установљено је да би се веома високе температуре могле добити тек на 50 метара дубине, довољне за коришћење код бинарних геотермалних постројења ради генерисања електричне енергије за десалинизацију. Такође је закључено да количина електричне енергије која би могла да се произведе плимским складиштењем и из дубоких морских хидротермалних отвора износи неколико хиљада мегавата. Откривене су многе локације са топлим морском водом (Слика 47), а најбоља је била Los Cabos. Температура од 85°C је откривена на 50 метара од обале мора. Alcocer et al. [38], су даље тврдили да је права предност имати на располагању воду од 90°C за термалну десалинизацију; зато што то подразумева температуре од око 150°C ако се буши дубље.

Користећи сателитске снимке, идентификовано је на стотине аномалних „врућих тачака“ где огромне количине вруће воде избијају на површину кроз геолошке пукотине. Ова информација је била поткрепљена мерењем температуре воде директно на терену и узимањем узорака воде како би се утврдио њен изотопски састав и боље разумело њено порекло. Иако су неки од ових топлих извора и бунара били на обали, многи су били испод мора, близу обале и на плитким дубинама. Најважнији од ових плитких отвора са топлим морском водом налазили су се близу Puertecitosa, Bahia Conceptiona и Ensenade. У овим случајевима мерења на терену и узимање узорака подразумевали су роњење. Сваки топлотни извор је био другачији; неки су имали велике количине растворених гасова; други су имали нижи салинитет него морска вода у окружењу; остали су имали висок садржај сумпора. Ова информација је била веома битна за групу која је била задужена за прављење опреме за термалну десалинизацију где су доступност и квалитет топле морске воде били веома важни.



Слика 47 Лево; Локације са топлом морском водом на 50 m дубине на полуострву Ваја у Мексику са Пацификом на западној страни и Калифорнијским заливом на источној страни [38]; Горе десно: Актуелни ефекат кључања или бљеска; Доле десно: Шематски приказ вишеструког кључања/дестилација (MED) термалног система за десалинизацију

Топла вода се користила у измењивачу топлоте за загревање чисте морске воде, а затим за снижавање притиска како би се остварило тренутно испаравање у вишестепеном сету комора (Слика 47). Иновација која је представљена овим дизајном била је употреба топле морске воде за загревање свих комора, не само прве као код конвенционалног MSF постројења. Ова иновација се може посматрати као комбинација MED и MSF, названа „Multi-Flash са грејачима“ (MFWH). Принцип код оба процеса је исти; слана вода се загрева употребом топле геотермалне воде како би се произвела чиста водена пара која се затим кондензује на хладној површини да би се произвела слатка вода. Различите врсте комерцијалне опреме за десалинизацију (тј. MSF, MED, MFWH) су развијене како би се побољшала техничка/топлотна ефикасност процеса. Прелиминарни резултати су указивали на то да за иницијалну температуру од 150°C, 4 m³ морске воде је потребно да би се произвео 1 m³ десалинизоване воде. При иницијалној температури од 80°C, потребно је 14 m³.

7.3 Разматрање утицаја на животну средину и одрживи развој

Десалинизација морске и слане воде захтева велике количине енергије, што обично резултира значајним утицајем на животну средину ако се користе фосилна горива (нпр. емисија CO₂ и SO₂, термално загађење морске воде). Оперативни трошкови различитих десалинизацијских техника су такође блиско повезани са ценом енергије. То чини употребу обновљиве енергије са развојем десалинизацијских техника веома атрактивном. Може се дискутовати и о томе да доступност јефтиних резерви нафте и природног гаса у областима као што је Арабијски залив може да смањи потребу за употребом обновљиве енергије за десалинизацију. Међутим, ако погледамо мало ближе можемо видети да то није одрживо пошто фосилна горива нису обновљива, а са сталним растом популације, постоји континуирана потражња за употребом фосилних горива за десалинизацију. Узмимо Саудиску Арабију као специфични пример; 2008. године, укупна производња петролеума (тј. нафте и гаса) износила је 10,8 милиона bbl дневно са унутрашњом потрошњом од 2,4 милиона bbl дневно (тј. око 25%) [39]. Већи део унутрашње потрошње одлазио је на

потрошњу електричне енергије и десалинизацију воде. Очекивано је да ће раст популације са 30 милиона 2010. године, достићи приближно 100 милиона до 2050. године [40]. Процењује се да ће се до тада 50% производње фосилним горивима користити за унутрашње потребе у држави, заправо за десалинизацију морске воде како би се обезбедила слатка вода за становништво. Ово ће смањити државни доходак, повећати загађеност и, јасно је, биће неодрживо. Постоји такође и забринутост због политичке нестабилности до које може доћи због тога [41]. Могуће решење када су у питању проблеми одрживости и животне средине је повећана употреба обновљиве енергије, укључујући и нуклеарну као енергетских извора за десалинизацију [5, 11, 42].

Погледајмо изблиза утицаје на животну средину који се морају узети у обзир приликом коришћења геотермалних ресурса, као што су то нагласили Rybach [43], Lund [5], Kagel et al. [44], и Fridleifsson et al. [11]. Ти утицаји укључују емисију штетних гасова, буку, коришћење воде и њен квалитет, употребу земљишта и утицај на природне феномене, као и на дивљи свет и вегетацију. Предности када је у питању животна средина и обновљива енергија могу да се виде ако упоредимо, на пример, електрану на угаљ са геотермалном електраном; прва производи око 25 пута више CO₂ и SO₂ по MWh (тј. 994 килограма насупрот 40 килограма за CO₂, 4,71 килограм насупрот 0,16 килограма за SO₂) [5, 11] (табела 19). Међутим, у геотермалним електранама, водоник-сулфид (H₂S) такође треба рутински третирати и конвертовати у елементарни сумпор пошто 0,08 килограма H₂S може да се произведе по MWh произведене електричне енергије. Може се расправљати о томе да је ово ипак много боље него када су у питању електране које покрећу нафта и природни гас које производе 814 kg и 550 kg H₂S по MWh свака посебно. Предности по животну средину и одрживост када је у питању геотермална енергија за производњу електричне енергије у поређењу са електранама за нафту и угаљ је зато јасно приказана значајним смањењем емисије CO₂, SO₂ и H₂S, као и веома ниском употребом слатке воде (табела 19).

Емисија CO₂ из геотермалних електрана на пољима са високом температуром износи око 120 g/kWh. Као што је већ објашњено, постоји предност по животну средину због тога што геотермалне топлотне пумпе које покреће електрична енергија добијена из фосилних горива смањују емисију CO₂ за бар 50% у поређењу са бојлерима на фосилна горива. Ако се електрична енергија која покреће геотермалне топлотне пумпе може произвести из обновљивог извора енергије, као што је хидроенергија или геотермална енергија, тада ће уштеде у емисији штетних гасова нарасти и до 100%. Укупно смањење емисије CO₂ геотермалних топлотних пумпи потенцијално се процењује на 1,2 милијарде тона годишње, или око 6% глобалне емисије [5, 11].

Табела 19 Поређење емисије CO₂, SO₂ и H₂S и употребе слатке воде при производњи електричне енергије (MWh) из различитих енергетских извора

Извор енергије	Угаљ	Нафта (и гас)	Геотермална енергија
CO ₂ (kg/MWh)	994	893 (599)	40-120
SO ₂ (kg/MWh)	4,17	-	0,16
H ₂ S (kg/MWh)	-	814 (550)	0,08
Количина употребљене слатке воде (l/MWh)	1370	1170	20

Геотермалне електране користе око 20 литара слатке воде по MWh, док бинарне електране које се хладе ваздухом не користе слатку воду у поређењу са електранама на угаљ које користе 1370 литара воде по MWh [11]. Једина промена код течности приликом употребе је да се она расхлади, а течност се обично враћа у исту издан, па се зато не меша са плитком подземном водом. На постројењу Geysers у северној Калифорнији, на пример, 42 милиона литара третиране отпадне воде се дневно упумпа у геотермални резервоар, смањујући загађеност површинске воде у заједници и повећавајући производњу геотермалног поља. Један сличан пројекат се снабдева отпадном водом из Clear Lake језерске области на североисточној страни Geysers постројења. Ови пројекти су повећали капацитет поља за преко 100 MWh.

Геотермалне електране су дизајниране тако да се стапају са окружењем и могу, на пример, да буду лоциране близу области за рекреацију уз најмањи могући визуелни утицај на околину. Оне се обично састоје од малих модуларних електрана испод 100 MWh, у поређењу са електранама на угаљ и нуклеарним од око 1000 MWh, са геотермалним постројењем које обично користи 400 m² земљишта по GWh, у поређењу са постројењем на угаљ, које користи скоро 10 пута више површине по GWh, и ветрофармом која користи три пута више површине за производњу исте количине енергије [5, 11, 44]. Што се тиче негативне стране, слегање земљишта и индукована сеизмичност су два питања која се морају узети у разматрање када је у питању коришћење земљишта и извлачење течности из њега. То се обично може ублажити убризгавањем коришћене течности назад у исти резервоар. О проблемима са слегањем земљишта на геотермалном пољу Wairakei на Новом Зеланду је већ извештавано; међутим, то је минимизовано убризгавањем. Ниједан од ових потенцијалних проблема није повезан са пројектима директне употребе, пошто је употреба течности мала. Поред тога, коришћење геотермалних ресурса елиминише вађење руде, процесуирање и транспорт који су потребни када је у питању производња електричне енергије из фосилних горива и нуклеарних ресурса.

Узимајући у обзир утицај на природне феномене, дивље животиње и вегетацију, обично је забрањено подизати геотермалне електране у близини гејзира, фумарола (струја вруће водене паре која се избацује под притиском из вулканских кратера) и топлих извора зато што вађење течности како би се покренуле турбине може да утиче на ове природне термалне феномене. Већина електрана је лоцирана у областима где не постоји природно површинско пражњење. Ако геотермалне електране морају да буду лоциране близу ових природних феномена, онда се дубина екстракције течности планира из другог резервоара како би се спречио било какав утицај. Било који терен који се узима у обзир за изградњу геотермалне електране, мора да се прегледа и да се размотри утицај на дивље животиње и вегетацију, а ако је значајан, мора се обезбедити план за ублажавање утицаја. Пројекти директне употребе су обично мали, па зато немају значајан утицај на природне карактеристике. Да сумирамо, употреба геотермалне енергије је поуздана, и обновљива је; има минимум емисије гасова и представља противтежу високој емисији гасова из електрана на фосилна горива; има минимални утицај на животну средину; нема сагоревања и представља локални извор горива.

7.4 Тржишни потенцијал, препреке за развој и ризик управљања

Капитални и оперативни трошкови постројења за десалинизацију имају тенденцију опадања током последњих година превасходно због побољшања техничке ефикасности [45]. Док трошкови десалинизације опадају, у исто време цена добијања и третирања воде из конвенционалних извора има тенденцију раста због захтева за вишим нивоом третмана воде како би се испунили строги стандарди квалитета воде. Раст трошкова за конвенционално третирану воду је такође резултат повећане потражње за водом, што доводи до потребе развијања скупљих конвенционалних начина снабдевања узимајући у обзир да су доступни извори воде већ искоришћени [46].

Многи фактори улазе у капиталне и оперативне трошкове за десалинизацију: капацитет и тип постројења, локација електране, напојна вода, радна снага, енергија, финансије, одлагање концентрата, као и поузданост електране [47]. На пример, цена десалинизоване морске воде је око три до пет пута већа од трошкова десалинизоване слане воде из електране исте величине превасходно због већег садржаја соли у морској води. У било којој држави или области, економичност десалинизације се не мери просто сумом долара по кубном метру слатке воде, већ трошковима десалинизоване воде у односу на друге алтернативе (на пример, боље управљање водом тако што се смањује потрошња и побољшање транспорта воде). У многим сушним областима, цена алтернативних извора воде (тј. подземне, језерске и речне воде) је већ веома висока и често изнад цене десалинизоване воде. Било која економска евалуација укупног коштања воде које се испоручује муштеријама мора да подразумева све трошкове укључене у производњу воде. То подразумева трошкове заштите животне средине (као што је одлагање концентрата и бракичне воде) и губитке у систему складиштења и дистрибуције.

Иако можемо да препознамо потенцијал геотермалне енергије за десалинизацију морске воде, овај процес још увек није значајно развијен на комерцијалном нивоу [45]. Главни разлог за то је тај што постојећа технологија не може тренутно да буде конкурентна када су у питању трошкови за произведену воду са конвенционалном технологијом дестилације и реверзне осмозе. С друге стране, такође се примећује да још увек има простора за побољшање система за десалинизацију базираних на геотермалној енергији. Проблеми техничког дизајна и високи трошкови инвестиција повезани са индиректном десалинизацијом тек треба да се превазиђу (нпр., конвертовање термалне у електричну енергију и њено коришћење у RO десалинизацији). Зато ће системи термалне дестилације директно загревани из геотермалних извора бити метод избора. Ниско енталпијска геотермална оперативна шема која је у току на острву Milos [37] потврђује да кроз иновације и одрживо коришћење геотермална енергија може да се користи за производњу електричне енергије и десалинизацију морске воде како би се задовољиле локалне потребе за водом [72].

Табела 20 Преглед тржишног потенцијала, препрека за развој и ризика у управљању геотермалним пројектима

Тржишни потенцијал	Термални дестилациони систем који се директно загрева из бунара у земљи је метод којем се тренутно даје предност због мање техничких ризика.
	У многим сувим областима трошкови за подземну, језерску и речну воду су веома високи и често изнад трошкова за конвенционално одсољавање. То чини геотермалну десалинизацију комерцијално атрактивном.
	Геотермални пројекти су имали користи од повећања цена нафте и гаса, као и због забринутости јавности када је у питању зависност од фосилних горива.
	Раст трошкова за конвенционално третирану воду због повећане потражње је довело до потребе развоја још скупљих конвенционалних начина снабдевања пошто су лако доступни извори воде исцрпљени.
	Цена десалинизоване морске воде је 3 до 5 пута виша од трошкова десалинизације слане воде у постројењу исте величине због већег садржаја соли у морској води.
Препреке за развој	Геотермални процес десалинизације још увек није значајно развијен на комерцијалном нивоу.
	Проблеми у техничком дизајну и високи инвестициони трошкови повезани са индиректном десалинизацијом тек треба да се превазиђу.
	Производња електричне енергије коришћењем геотермалне енергије је тек маргинално профитабилна.
	Прекорачење буџета, раст камата и кашњења.
	Симулације профитабилности како би се анализирали различити сценарији пре имплементације пројекта.
	Резерве се увек морају планирати када је у питању финансирање пројекта.
	Ограничити пословне ризике одговарајућим структурирањем уговора са партнерима у пројекту.
	Заинтересоване стране сnose ризике бушења.
Ризици управљања	Пренети у уговор део ризика на компанију за бушење.
	Геолошки ризик је главни ризик; може се смањити поновним процесуирањем старих сеизмичких анализа и припремом нових.
	Негеолошки ризик покривен правом повраћаја капитала и/или обимним осигурањем које покрива и термални потенцијал бунара, а такође и апсорпциони капацитет убризгаваних бунара.
	Пројекти морају да имају у приправности резервне пумпе како би се одговорило на финансијске ризике када је у питању прекид у испоруци.
	Мора се фокусирати на правне и економске аспекте на почетку било ког обимног комерцијалног пројекта.

8 Закључак

Светска потражња за водом је у значајном порасту. Многа истраживања су усмерена ка изазовима коришћења обновљиве енергије како би се задовољиле потребе десалинизацијских постројења. Технологије обновљиве геотермалне енергије, соларне и енергије ветра се појављују великом брзином, обећавајући економску одрживост и предност када је у питању десалинизација, као и њен утицај на животну средину. Постоји потреба да се убрза развој нових система за производњу воде из обновљивих извора енергије. Ове технологије ће помоћи да се минимизирају негативни утицаји на животну средину.

У будућности, нови технолошки развој и хибридизација са другим енергетским изворима, когенерацији и повраћају соли се очекује како би се побољшала како енергетска ефикасност тако и економичност. Очекивани резултат би био побољшана MED технологија са тржишним могућностима, подесна за разне локације у свету.

Трошкови конвенционалне десалинизације могу бити значајни због интензивне потрошње енергије. Међутим, избор одређеног процеса би требало да зависи од пажљиве студије услова на терену и примене. Локалне околности ће увек играти значајну улогу у одређивању најподеснијег процеса за неку област. Најбољи систем за десалинизацију треба да подразумева нешто више од економске исплативости. Постројење треба да ради када се инсистира и да настави са испоруком одговарајуће количине слатке воде очекиваног квантитета и квалитета, као и цене, током животног века пројекта. Несташица воде је све већи проблем свуда у свету и сви се слажу да десалинизација слане воде може да помогне да се ова ситуација ублажи.

Десалинизација морске воде је сама по себи скуп процес, али укључивање обновљивих извора енергије и адаптирање десалинизацијских технологија, могу у неким случајевима да буде значајно мање скуп и економичан начин снабдевања водом. Употреба обновљивих извора енергије за термалну десалинизацију, за сада, може бити оправдана само у децентрализованим апликацијама које су фокусиране на снабдевање водом у малим размерама у приобалним подручјима, под условом да су могућност и спремност да се десалинизована вода плати довољно велики.

Са економског аспекта, специфични трошкови производње воде помоћу обновљивих извора енергије још увек су виши од цене воде добијене конвенционалним путем десалинизације морске воде. Обновљиви извори енергије су доживели велики развој у последњих неколико година, што је веома позитивно утицало на квалитет и цену опреме. У другу руку, цена нафте ће пре или касније скочити, што ће оставити јаке последице у целој привреди, а посебно код енергетски интензивних процеса као што је процес десалинизације.

Коначно, мора се напоменути да један део решења за светску несташицу воде не лежи само у производњи више воде, већ такође и у проналажењу одрживог начина за мању потрошњу воде. Ово је један од главних изазова са којим се друштво мора суочити у скорој будућности.

9 Литература

- 1) Jochen Bundschuh, Jan Hoinkis – Renewable Energy Applications for Freshwater Production, Taylor & Francis Group, London, UK, 2012
- 2) www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html – Приступљено 14.02.2017.
- 3) Миодраг Станојевић – Третман пијаће воде, Грађевинска књига, Београд, Србија, 2009
- 4) J.H. Tay, S.C. Low, S. Jeyaseelan – Vacuum desalination for water purification using waste heat, Elsevier, August 1996.
- 5) Lund, J. W. – Characteristics, development and utilization of geothermal resources, GHC Bull, 2007
- 6) Cataldi, R.; Hodgson, S.; Lund, J. – Stories from a Heated Earth-Our Geothermal Heritage; Geothermal Resources Council, Davis, CA, USA, 1999
- 7) Boucekima, B. – A small solar desalination plant for the production of drinking water in remote arid areas of southern Algeria, Desalination 2003
- 8) Dorn, J. G. – World geothermal power generation nearing eruption, Earth Policy Institute, Washington DC, USA, 2008
- 9) Wright, M. – Nature of geothermal resources, In Geothermal Direct-Use Engineering and Design Guidebook; Lund, J. W., Ed.; Geo-Heat center: Klamath Falls, OR, USA, 1998
- 10) Lund, J. W. – Chena hot springs, GHC Quart, Bull, 2006
- 11) Fridleifsson, I. B.; Bertani, R.; Huenges, E.; Lund, J. W.; Rangnarsson, A.; Rybach, L. – The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change, IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Luebeck, Germany, 2008
- 12) Mahmoudi, H.; Spahis, N.; Goosen, M. F. A.; Ghaffour, N.; Drouiche, N.; Ouagued, A. – Application of geothermal energy for heating and fresh water production in a brackish water greenhouse desalination unite: A case study from Algeria, 2010
- 13) Mahmoudi, H.; Abdul-Wahan, S. A.; Goosen, M. F. A.; Sablani, S. S.; Perret, J.; Ouagued, A. – Weather data and analysis of hybrid photovoltaic-Wind power generation systems adapted to a seawater greenhouse desalination unite designed for arid coastal countries, Desalination 2008
- 14) Goose, M. F. A.; Shayya, W. – Water management, purification and conservation in arid climates, Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, USA, 1999
- 15) Kalogiru, S. – Seawater desalination using renewable energy sources, Prog. Energ. Combust. Sci, 2005
- 16) Ophir, A. – Desalination plant using low grade geothermal heat, Desalination, 1982
- 17) Karytsas, C. – Low enthalpy geothermal energy driven sea-water desalination plant on Milos island-A Case study, In proceeding of Mediterranean Conference on Renewable Energy Sources for Water Production, Santorini, Greece, 1996

- 18) Bourouni, K.; Martin, R.; Tadrist, L. – Presented at the International Workshop on Desalination Technologies for Small and Medium Size Plants with Limited Environmental Impact, Rome, Italy, 1998.
- 19) Bourouni, K.; Chaibi, M.T.; Tadrist, L. – Water desalination by humidification and dehumidification of air: State of the art. *Desalination*, 2001.
- 20) Houcine, I.; Benjemaa, F.; Chahbani, M.H.; Maalej, M. – Renewable energy sources for water desalting in Tunisia. *Desalination*, 1999.
- 21) Sablani, S.; Goosen, M.F.A.; Paton, C.; Shayya, W.H.; Al-Hinai, H. – Simulation of fresh water production using a humidification–dehumidification Seawater Greenhouse. *Desalination*, 2003
- 22) Popiel, C.; Wojtkowiak, J.; Biernacka, B. – Measurements of temperature distribution in ground. *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 2001.
- 23) Bertani, R. – What is geothermal potential? *IGA News*, 2003
- 24) Tester, J.W.; Anderson, B.J.; Batchelor, A.S.; Blackwell, D.D.; DiPippo, R.; Drake, E.M.; Garnish, J.; Livesay, B.; Moore, M.C.; Nichols, K.; Petty, S.; Toksoz, M.N.; Veatch, R.W.; Baria, R.; Augustine, C.; Murphy, E.; Negraru, P.; Richards, M. – Impact of enhanced geothermal systems on U.S. energy supply in the twenty-first century. *Phil. Trans. Roy. Soc. A Math. Phy.*, 2007.
- 25) Paschen, H.; Oertel, D.; Grünwald, R. – *Möglichkeiten Geothermischer Stromerzeugung in Deutschland*; Deutscher Bundestag, Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung A-Drs, Berlin, Germany, 2003.
- 26) Stefansson, V. – World geothermal assessment. In Proceedings of the World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 2005.
- 27) Dauncey, G.; Mazza, P. – *Stormy Weather: 101 Solutions to Global Climate Change*, New Society Publishers, Ltd.: Gabriola Island, BC, Canada, 2001.
- 28) Mahmoudi, H.; Ouagued, A.; Ghaffour, N. – Capacity building strategies and policy for desalination using renewable energies in Algeria. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2009.
- 29) Kedaid, F.Z. – Database on the geothermal resources of Algeria, *Geothermics*, 2007.
- 30) Laboy, E.; Schaffner, F.; Abdelhadi, A.; Goosen, M.F.A. – *Environmental Management, Sustainable Development & Human Health*, Taylor & Frances (Balkema NDL), London, UK, 2009.
- 31) Paton, C.; Davies, A. – The seawater greenhouse for arid lands. In Proceedings of Mediterranean Conference on Renewable Energy Sources for Water Production, Santorini, Greece, 1996.
- 32) Bourouni, K.; Chaibi, M.T. – Application of geothermal energy for brackish water desalination in the south of Tunisia. In Proceedings of World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 2005.
- 33) Fekraoui, A.; Kedaid, F. – Geothermal resources and uses in Algeria: A country update report. In Proceedings of World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 2005.

- 34) Geothermal desalination: Hot rocks key to producing low cost fresh water; Доступно на: <http://washtech.wordpress.com/category/regions/east-asia-pacific/>
- 35) Seawater Greenhouse-Projects. Доступно на: www.seawatergreenhouse.com/
- 36) Davies, P.A.; Paton, C. – The seawater greenhouse in the United Arab Emirates: Thermal modeling and evaluation of design options. *Desalination*, 2005.
- 37) Karytsas, C.; Mendrinosa, D.; Radoglou, G. – The current geothermal exploration and development of the geothermal field of Milos island in Greece, *GHC Bull*, 2004.
- 38) Alcocer, S.M.; Hiriart, G. – An applied research program on water desalination with renewable energies. *Am. J. Environ. Sci.*, 2008.
- 39) Independent Statistics and Analysis: Saudi Arabia. Доступно на: http://www.eia.doe.gov/cabs/Saudi_Arabia/Profile.html/
- 40) U.S. Census Bureau. Table A-4 Population by Region and Country 1950–2050. In *Global Population Profile: 2002; International Population Reports WP/02*; U.S. Government Printing Office: Washington, DC, USA, 2004.
Доступно на: <http://www.census.gov/prod/2004 pubs/wp-02.pdf/>
- 41) Cristo, M.W.; Kovalcik, M.P. – Population Pressure and the Future of Saudi State Stability. M.S. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, USA, 2008.
- 42) Stock Trading: How Quickly Will Saudi Arabia Turn To Nuclear Vitality? Доступно на: <http://www.profitablenicheinnovation.com/trading/day-trading/stock-trading-how-quickly-will-saudi-arabia-turn-to-nuclear-vitality/>
- 43) Rybach, L. – Geothermal Sustainability. In *Proceedings of European Geothermal Congress*, Unterhaching, Germany, 2007.
- 44) Kagel, A.; Bates, D.; Gawell, K. A – Guide to Geothermal Energy and the Environment; Geothermal Energy Association, Washington, DC, USA, 2005.
- 45) Reif, T. – Profitability Analysis and Risk Management of Geothermal Projects, *GHC Bull*, 2008.
- 46) European Geothermal Energy Council – In *The Voice of Geothermal Industry in Europe*; Renewable Energy House: Brussels, Belgium. Доступно на: <http://www.egec.org/>
- 47) USBR Technical Service Center – Cost Estimating Procedures. In *Desalting Handbook for Planners*, 3rd ed.; Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No. 72; US Government Printing Office: Washington DC, USA, 2003.
- 48) Tzen, E. – Wind and wave energy for reverse osmosis. In: A. Cipollina, G. Micale & L. Rizzuti (eds): *Seawater desalination*. Springer Publications, 2009.
- 49) Tzen, E., Theofiloyianakos, D. & Kologgios, Z. – Autonomous reverse osmosis units driven by RES, experiences and lessons learned. *Desalination* 221, 2008.
- 50) Tzen, E. – Desalination units powered by RES: opportunities & challenges. *Proceedings of the Seminar Successful desalination RES plants worldwide*. Hammamet, Tunisia, September, 2005.
- 51) Veza, J.M., Pefiate, B. & Castellano, F. – Electrodialysis desalination designed for off-grid wind energy, *Desalination* 160, 2004.
- 52) Carta, J.A, Gonzalez, J. & Subiela, V. – The SDAWES project: an ambitious R&D prototype for wind powered desalination. *Desalination* 161, 2004.

- 53) Subiela, V.J., de la Fuente, J., Piernavieja, G. & Peñate, B. – Canary Islands Institute of Technology (ITC) experiences in desalination with renewable energies (1996 – 2008). *Desalination and Water Treatment* 7, 2009.
- 54) Morris, R. & Associates – *Renewable energy powered desalination systems in the Mediterranean Region*. UNESCO, Scotland, 1999.
- 55) Bouzas, I. – Desalination with the use of wind energy in Milos island. International Technological Applications (ITA) S.A., PRODESWorkshop, Renewable energy Technologies with Desalination: Technologies Progress-Legislation-Funding Schemes, CRES, Athens, 2010.
- 56) Ifantis, N. & Ifantis, A. – Coupling of wind energy with reverse osmosis: the case of Milos *PRODESWorkshop*, Promotion of Desalination Technologies with RES for a Sustainable Development, AUA, Athens, Greece, 2010.
- 57) ADU RES – Report on the status of autonomous desalination units based on RE Systems. INCO-CT-2004-509093, ADU RES Project, 2005.
- 58) CRES – *Desalination guide using renewable energies*. Centre for Renewable Energy Sources (CRES), Pikermi, Greece, 1998.
- 59) Schreck, Sc. – *Integrated wind energy/desalination system*. National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-500-39485, 2006.
- 60) IEA – *Wind Energy 2009*. IEA Annual Report, 2010, ISBN 0-9786383-4-4.
- 61) IEA – *Wind Energy 2010*. IEA Annual Report, 2011, ISBN 0-9786383-5-2.
- 62) EWEA – *Powering the energy debate*. The European Wind Energy Association Annual Report 2009, ISSN: 2032-9024, 2010.
- 63) Gleick, P.H. – Basic water requirements for human activities: meeting basic needs. *Water International* 21, 1996.
- 64) Global Water Intelligence – *The 19th IDA World Wide Desalting Plant Inventory*. Global Information, Inc. Oxford, UK, 2008.
- 65) Outzourhit, A. – Application of RE in water desalination projects in rural areas: The ADIRA experience in Morocco. REHYSYS, 2006, *Proceedings of the HY-PAWorkshop*, Marrakech, 2006.
- 66) Outzourhit, A., Elharrak, N., Aboufirass, M. & Mokhlisse, A. – Autonomous desalination units for fresh water supply in remote rural areas. In: M. El Moujabber, L. Mandi, L. G. Trisorio Luzzi, I. Martin, A. Rabi & R. Rodríguez (eds): Technological perspectives for rational use of water resources in the Mediterranean region. *Options Méditerranéennes* 88, 2009.
- 67) Herold, D., Horstmann V., Neskakis, J., Plettner-Marliani G., Piernavieja, G., Calero, R., *et al.* – Small scale photovoltaic desalination for rural water supply – demonstration plant in Gran Canaria. *Renew. Energy* 14:1–4, 1998.
- 68) Peñate, B., Castellano, F. & Ramírez, P. – PV-RO desalination stand-alone system in the village of Ksar Ghilène (Tunisia). *Proceedings of the IDA World Congress-Maspalomas*, 2007.
- 69) Subiela, V.J., de la Fuente, J., Piernavieja, G. & Peñate, B. – Canary Islands Institute of Technology (ITC) experiences in desalination with renewable energies (1996 – 2008). *Desalination and Water Treatment* 7, 2009.
- 70) Bilton, A.M., Wiesman, R., Arif, A.F.M., Zubair, S.M. & Dubowsky, S. – On the feasibility for communityscale photovoltaic-powered reverse osmosis desalination systems for remote locations. *Renew. Energy* 36, 2011

- 71) EPIA (European Photovoltaic Industry Association) – Solar photovoltaics competing in the energy sector–on the road to competitiveness, 2011
- 72) Mattheus G, Hacene M, Noredine G – Water Desalination Using Geothermal Energy, Alfaisal University, Riyadh, 2010
- 73) Robert Martin, Al Fry, Eva Haden – Water, © WBCSD, August 2005.