

# SOLARNI DESTILATORI ZA PITKU VODU

## SOLAR DISTILLERS FOR DRINKING WATER

Nenad B. MILORADOVIĆ,  
Beogradske elektrane, Savski Nasip 11, Novi Beograd, Srbija

n.miloradovic@beoelektrane.rs

*Srbija spada u zemlje koje su bogate vodama. Međutim, poplave iz maja meseca ove godine dovela su do brojnih oštećenja gradskih vodovodnih mreža i zamućivanja izvora pitke vode i bunara. Pokazalo se da je sadašnji tehnički vodovodni sistem ranjiv na opasne situacije. Osim toga bilo je i prekida u isporuci električne energije, te pumpe u vodovodu nisu mogle raditi. Alternativa je bila dopremanje vode cisternama ili kamionima sa balonima vode. Ali, ponegde su bili poplavljeni putevi ili su se pojavila klizišta koja su onemogućila dopremanje pitke vode sa udaljenih lokacija. Solarna destilacija omogućava nezavisno dobijanje pitke vode u ograničenim količinama kada nema izvora električne energije i može se koristiti tokom kriznih situacija dok one ne prođu. Takođe, moguća je znatnija primena i u primorskim pustinjanskim oblastima gde je moguća solarna desalinizacija morske vode. U radu je prikazan istorijski osvrt, analizirane su mogućnosti u našim uslovima i dat je predlog rešenja modularnog tipa koje bi se moglo primenjivati ili pojedinačno za kućne potrebe ili u baterijama za nešto veće potrošače.*

**Ključne reči:** solarni destilator; sunčeva energija; latentna toplota; pitka voda

*Serbia is a country which is rich with water. But, the floods in spring this year damaged water supply systems. It shows that our technical water system supply is sensitive for dangers situations. Also, here was a problem with electricity supply and pumps in water systems couldn't run. Alternative way of supply was water tanks or trucks with water bottles. But, the roads were also somewhere under water and alternative ways of water supply were uncertain. Solar distillation can give independent drinking water supply when there is no electricity and operate when dangers pass. Also, it is possible utilization in sea and desert countries where can get drinking water from sea water. In this paper is shown historical review, analysis of situation in Serbia and presented one modular solution for home utilization and in the batteries for larger consumers.*

**Key words:** solar distiller; solar energy; latent heat; drinking water

### I. Uvod

Srbija spada u zemlje koje su bogate vodama. Međutim, poplave iz maja meseca ove godine dovela su do brojnih oštećenja gradskih vodovodnih mreža i zamućivanja izvora pitke vode i bunara. Pokazalo se da je sadašnji tehnički vodovodni sistem ranjiv na opasne situacije. Osim toga bilo je i prekida u isporuci električne energije, te pumpe u vodovodu nisu mogle raditi. Alternativa je bila dopremanje vode cisternama ili kamionima sa balonima vode. Ali, ponegde su bili poplavljeni putevi ili su se pojavila klizišta koja su onemogućila dopremanje pitke vode sa udaljenih lokacija. Solarna destilacija omogućava nezavisno dobijanje pitke vode u ograničenim količinama kada nema izvora električne energije i može se koristiti tokom kriznih situacija dok one ne prođu.

Takođe, situacija sa poplavama se ponavlja, najverovatnije zbog klimatskih promena, kao posledica globalnog zagrevanja. Nakon dešavanja u maju 2014. godine u Srbiji i regionu, kada su kao posledica prekomernih kiša nastale bujice sa katastrofalnim ishodom, slična situacija se ponovila, ali u znatno manjoj meri u septembru iste, ali ovaj put u delu Podunavlja u Istočnoj Srbiji.

Solarna destilacija može u izvesnoj meri da nadomesti snabdevanje pitkom vodom u kriznim situacijama. Osim solarne destilacije u obzir dolaze i sakupljanje kišnica, a ponegde je moguće i korišćenje destilatora za rakiju, pošto je Srbija zemlja u kojoj je popularna izrada domaćih alkoholnih napitaka u domaćoj

radinosti. Ali tom prilikom mora se voditi računa da drva, kao osnovno gorivo, moraju biti suva i čuvana na bezbednom mestu od poplava.

Bolnice, škole i obdaništa, kao mesta od velikog značaja za lokalnu samoupravu, mogu biti interesantna za primenu i izgradnju većih postrojenja za solarnu destilaciju i dobijanje pitke vode u kriznim situacijama. Iako kvalitet dobijene vode iz ovakvih postrojenja nije za dužu ili stalnu upotrebu, mogu nastati opasne situacije kada je svaka kap pitke vode dragocena, a primena destilovane vode iz solarnih postrojenja može spasiti životno ugrožene osobe.

## II. Istorijat

Ideja o solarnoj destilaciji nije nova. Još u antičkim vremenima se znalo za solarnu destilaciju i desalinizaciju. U IV veku pre nove ere Aristotel je opisao proces, kao i ulogu sunčeve energije u ciklusu prirodnog kruženja vode. Dao je metod za isparavanje prljave ili morske vode i za korišćenje iste, posle kondenzacije, kao pitke vode. Gordes, McCracken [1]

Prvi koji su koristili solarnu destilaciju za pripremu pitke vode bili su arapski alhemičari. Oni su imali naprave za to još u XVI veku. Na Zapadu prva dokumentovana naprava za solarnu destilaciju pripada Nikolu Geci (Nicolo Ghezzi) iz Italije koji je 1742. godine dao nacrt za takvu napravu, ali nije dokazano da ju je i konstruisao i ostvario u praksi. Gordes, McCracken [1]

Švedski inženjer Karlos Vilson (Carlos Wilson) je 1872. godine u Čileu u Južnoj Americi instalirao prvo veliko postrojenje za solarnu destilaciju. To postrojenje bi se i danas moglo smatrati značajnim po veličini i produkciji pitke vode. Bilo je instalirano za potrebe jednog rudnika i bilo je u funkciji čitavih 40 godina, do napuštanja rudnika. Ovo postrojenje je sadržalo 64 modula za solarnu desalinciju i davalo 20.000 litara pitke vode dnevno. Hirschmann J. R. [4]. Učinak takvog postrojenja bio bi i veći da su bili korišćeni današnji materijali za termoizolaciju. U to vreme kao termoizolacija korišćeno je drvo.

Prva masovna primena solarne destilacije zabeležena je tokom II svetskog rata kada je američka mornarica instalirala 200.000 modula na brodovima kao opremu za preživljavanje u životno opasnim situacijama.

## III. Teorijska razmatranja i procene

Sunčevo zračenje koje dospe u solarni destilator zagreva vodu sa primesama od spoljne temperature do temperature dok se ne uspostavi stacionarno stanje i termodinamička ravnoteža. Pošto voda isparava (hlapi) pri svakoj spoljnoj temperaturi u zavisnosti od relativne vlažnosti vlažnog vazduha, veći deo toplote sunčevog zračenja  $G$  troši se toplotu promene faze vodene pare  $r_0$ , a manji deo na zagrevanje vode i vlažnog vazduha. Teorijski se može proceniti koliko se pitke vode može dobiti sa površine  $1 \text{ m}^2$ . Ukoliko su toplotni gubici u okolinu zanemarljivi, a toplota sunčevog zračenja koristi samo za isparavanje vodene pare može se napisati jednačina (1):

$$G \cdot A = m \cdot r_0 \quad (1)$$

gde je:

$G$  – jačina sunčevog zračenja [ $\text{Wh/m}^2/\text{dan}$ ], (za Beograd tokom jula  $G = 6.000 \text{ Wh/m}^2/\text{dan}$ , a godišnji prosek  $3.390 \text{ Wh/m}^2/\text{dan}$ ), \*\*\* Apricus [5], (vidi Tabelu 1 i Sl. 1),

$A$  – korisna površina solarnog destilatora [ $\text{m}^2$ ],

$m$  – masa vode koja ispari [ $\text{kg}/\text{dan}$ ],

$r_0$  – toplota promene faze vodene pare [ $\text{kJ}/\text{kg}$ ];  $r_0 = 2.500 \text{ kJ}/\text{kg}$ , Voronjec D., Kozić Đ. [2].

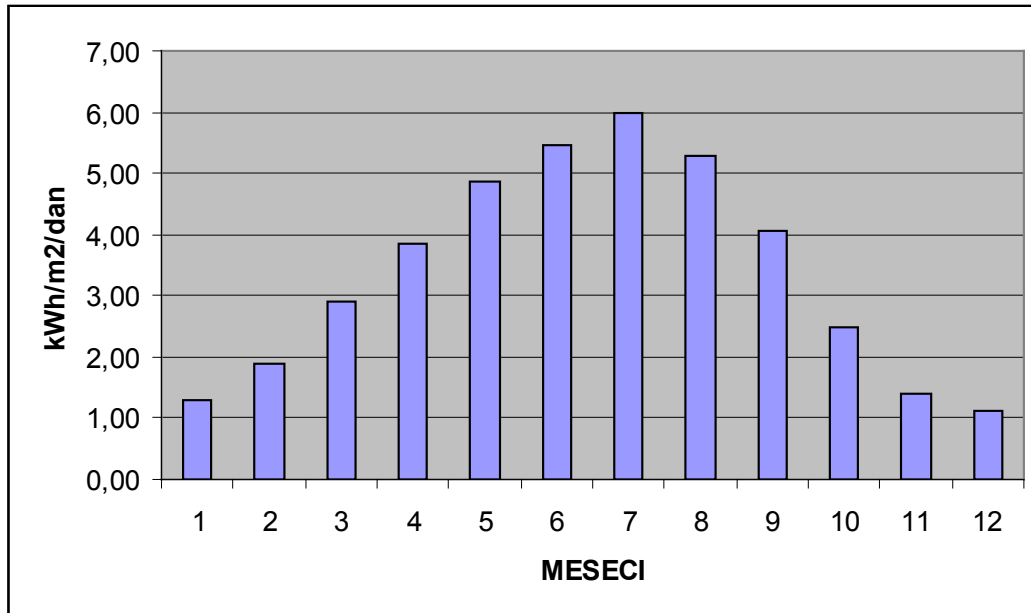
Iz jednačine (1) se dobija gruba procena da sa  $1 \text{ m}^2$  korisne površine solarnog destilatora se dobija  $2,4 \text{ kg}$  pitke vode leti dnevno (za Beograd), a oko  $1,35 \text{ kg}$  u proseku tokom cele godine. Zavisno od promena spoljne temperature leti se dobija više, a tokom zime znatno manje pitke vode. Pitka voda je potrebija tokom letnje sezone, dok se zimi u kriznim situacijama može koristiti i sneg koji se otapa.

Proces isparavanja i kondenzacije može se predstaviti u h-x dijagramu (Sl. 2). Početno stanje prikazano je tačkom  $T_{sp}$  koje zavisi od spoljne temperature. Usled zagrevanja vode u solarnom destilatoru i njenog isparavanja, na pokrивci destilatora biće stanje  $T_d$ . Količina vode koja se kondenzuje na prekrivaču proporcionalna je razlici apsolutne vlažnosti  $x_d - x_{sp}$ . Učinak se može povećati ukoliko se površina na kojoj se vrši kondenzacija poliva hladnom vodom. Tada se ta površina može ohladiti do temperature vlažnog termometra  $T_w$ . U tom slučaju količina izdvoje tečne faze se može povećati i proporcionalna je razlici apsolutnih vlažno-

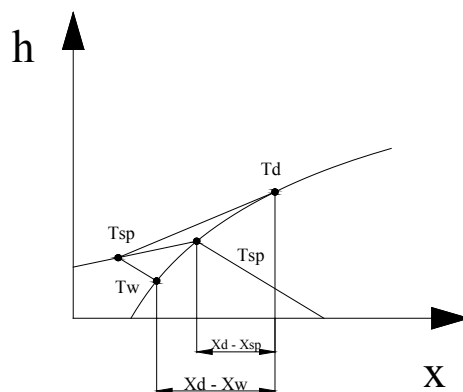
sti  $x_d - x_w$ . U svakom slučaju, količina dobijene pitke vode zavisi od lokacije, jačine sunčevog zračenja, promena spoljne temperature tokom dana, kao i same primenjene konstrukcije solarnog destilatora.

Tabela 1 – Dobici sunčevog zračenja po mesecima za Beograd [ $kWh/m^2/dan$ ]

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
1,29	1,89	2,92	3,86	4,88	5,45	6,00	5,30	4,05	2,50	1,40	1,11	3,39



Slika 1 – Dobici sunčevog zračenja po mesecima za Beograd [ $kWh/m^2/dan$ ]



Slika 2 – Principijelni prikaz procesa solarne destilacije u h-x dijagramu

#### IV. Demonstracija procesa u kućnim uslovima

Solarnu destilaciju je moguće primeniti i u kućnim uslovima, kao neko pruručno sredstvo koje će da posluži u opasnim situacijama. Naime, od artikala koji se mogu naći u svakoj kući može se napraviti mali solarni destilator. Evo jednog primera koji služi samo za ilustraciju primene i demonstraciju opisanih procesa isparavanja i kondenzacije.

Za kućnu primenu potreban je plastični lavor, čist celofan, čista čaša, Alu-folija, neupotrebljena crna kesha za otpatke, selotejp, nešto vode koja nije za piće i mali kamenčić. Od toga se može načiniti mali solarni destilator za kućnu upotrebu, a nešto malo pitke vode koja se dobije može biti u pojedinim situacijama od velike pomoći.



*Slika 3 – Solarni destilator za pitku vodu u kućnim uslovima*

Prvo se dno plastičnog lavora ili kadice oblepi crnom kesom kako bi se pojačala apsorpcija sunčevog zračenja. Onda se duža strana kadice takođe oblepi, ali sada sa Alu-folijom. Na taj način se sunčevo zračenje odbija u kadicu. Zatim treba naliti prljavu vodu (kao ilustracija korišćenja je obična vodovodska voda u koju smo pomešali nešto aleve paprike, kako bi se malo obojila) u kadicu tek toliko da debljina sloja vode bude nekoliko centimetara. Na taj način se dobija velika površina isparavanja vode za relativno malu masu. Može se naliti, zavisno od veličine kadice i 2 l vode. Potom je potrebno čistu čašu postaviti u centar kadice na dno. Nakon toga kadicu treba zatvoriti providnim celofanom, ali tako da celofan ne bude nategnut, već tako da može da se postavi kamenčić iznad prazne čaše koji će da pravi ugib. U ovom slučaju koji je prikazan na Sl. 3 umesto kamenčića korišćen je svežanj ključeva. Treba voditi računa da celofan dobro zatvara kadicu tako da vazduh u koji će voda da isparava bude zarobljen i nema dodira sa spoljnim vazduhom.

Kada je oprema montirana treba je postaviti na mesto koje je izloženo sunčevom zračenju. U ovom primeru kadica – „solarni destilator“ postavljena je na krov-terasu zgrade tako da je Alu-folija na severnoj strani, odnosno postavljena tako da odbija sunčeve zrake u kadicu. Za opit je korišćen julski sunčan dan kada je maksimalna dnevna temperatura bila 28°C, kadica je postavljena u 17h popodne. Sutradan ujutru, posle noćne kondenzacije, (u 6h ujutro) i kada je noćna temperatura spoljnog vazduha bila 21°C, mogle su se primetiti kapljice vode na providnoj celofanskoj foliji, koje su se, zbog ugiba od težine ključeva na celofanskoj foliji, slivale direktno u čašu koja se nalazila tačno ispod ključeva. (Vidi Sl. 3). Ujutro se sakupila u čaši kašika vode. Ovo nije mnogo, ali može poslužiti kao ilustracija efikasnosti prikazanog procesa.

Dimenzije kadice su 200x250 mm. Za veće količine pitke vode potrebne su veće površine. Takođe, ta količina zavisi od uslova spoljne sredine – promena spoljne temperature, vlažnosti vazduha i jačine sunčevog zračenja.

## **V. Predlog rešenja pojedinačnog modula solarnog destilatora**

Iz demonstracije procesa solarne destilacije u kućnim uslovima koji je gorenaveden, proizilazi da se aparatura može znatno usavršiti i konstruisati komercijalni uređaj koji bi mogao imati znatnu primenu i u našim uslovima. Pre svega, kako bi se smanjili gubici toplote u okolinu i povećala efikasnost procesa kadice – „solarni destilator“ moramo dobro izolovati.

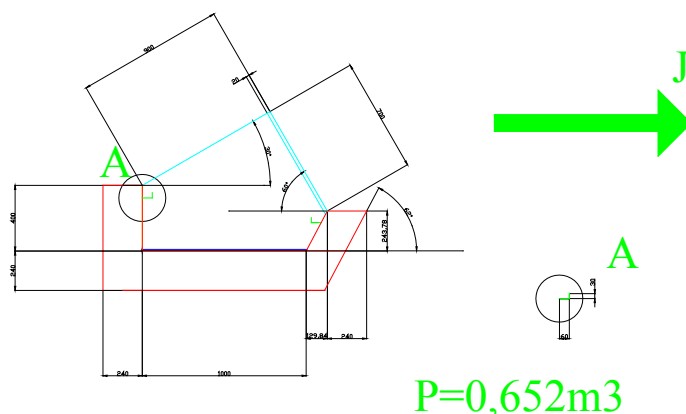
Postoji više varijanti solarnih destilatora. Umesto providne celofanske folije koristi se staklo koje se montira pod nagibom, tako da se kondenzovana voda sliva niz njega u posebno konstruisan kanal koji prihvata kondenzat. Konstrukcija staklenog nagiba može biti na jednu ili dve vode. Ukoliko je sa jednom vodom, destilator se montira tako da je staklo okrenuto prema južnoj strani. Dobro izolovano dno sa vodom koja treba da ispari može biti podeljeno u kaskade; Kalogirou [7]. Na taj način se dobija više nivoa sa kojih voda isparava, a takva konstrukcija sa kaskadama primenjuje se ponegde u Francuskoj.

Neka savremena rešenja solarnu destilaciju kombinuju i sa drugim procesima. Tako postoje i solarni destilatori danskog proizvođača koji koriste aktivni ugajl za filtriranje vode. Pošto isparavanje vode i sunče-

vo zagrevanje do viših temperatura povećavaju gubitke toplote u okolinu, korišćenje aktivnog uglja kao filtera povećava energetska efikasnost postrojenja.

Osim toga u SAD se koriste koncentratori sunčevog zračenja, a kao korisna energija dobijaju se električna energija i kondenzat od destilovane vode. Pomoću koncentratora sunčevog zračenja dobija se vodena para viših temperatura i pritiska, takva para se može koristiti u parnoj turbini za dobijanje električne energije, a kao nus-proizvod dobija se ograničena količina destilovane vode koja se može koristiti kao pitka voda. Ovakvo rešenje može biti interesantno i za Srbiju, pošto su poplave iz maja ove godine dovele do prekida snabdevanja električnom energijom.

Na Sl. 4 je prikazano jedno originalno rešenje čija se konstrukcija zasniva na zaključcima iz literature [6], da se produkcija vode za piće dobija u većoj meri na severnoj strani staklene prekrivke; Rajesh A. M., Bharath K. N. [6]. Iako ovaj zaključak na prvi pogled izgleda neočekivano, jer su dobici od sunčevog zračenja najveći sa južne strane, treba napomenuti da glavnu ulogu u procesu kondenzacije ima temperatura staklenog zida. Ukoliko je zid hladniji na njemu će se pre odvijati proces kondenzacije. Vodena para koja se nalazi u zarobljenom vlažnom vazduhu u solarnom destilatoru za pitku vodu, zbog nižih noćnih spoljnih temperatura, sakuplja se na hladnijim zidovima. U tom smislu je kod ovakve konstrukcije solarnog destilatora iskorišćen zaključak da je produkcija destilata na severnoj strani veća nego na južnoj. Na severnoj strani, koja je u senci i nije direktno izložena sunčevom zračenju, hladniji su zidovi destilatora.



Slika 4 – Nacrt predloženog rešenja konstrukcije modula solarnog destilatora za pitku vodu

Ovakva konstrukcija na Sl. 4 je u saglasnosti sa gorenavedenim zaključkom da se više pitke vode dobija na severnoj strani solarnog destilatora. Povećavajući površinu koja je na severnoj strani, destilator dobija asimetričan oblik, a ukupna količina pitke vode koja se može dobiti iz destilatora se povećava. Ovakvo konstruisan solarni destilator za pitku vodu kombinuje ideju o sakupljanju sunčevog zračenja sa južne strane i povećane produkcije pitke vode sa severne strane. Na Sl. 4 je predstavljen samo jedan modul solarnog destilatora za pitku vodu. Za dobijanje veće količine pitke vode, ovakvi moduli se mogu ređati u niz ili polje i na taj način se može dobiti znatna površina pod solarnim destilatorima i dobiti mnogo više pitke vode.

Na Sl. 4 je predstavljen solarni destilator za pitku vodu koji je dobro izolovan, a staklena prekrivka je veća na severnoj strani nego na južnoj. Kako bi se povećao dobitak od sunčevog zračenja na dno prekriveno vodom, južna strana je takođe pod blagim nagibom. Ispod stakla se nalaze kanalice za odvod pitke vode. Severna strana može imati reflektivne površine.

Napominjem da je solarna instalacija u Čileu iz druge polovine devetnaestog veka takođe imala module i po svojoj veličini može se smatrati respektibilnom i u današnjim vremenskim okvirima.

## VI. Zaključak

Solarna destilacija je atraktivna za primenu u Srbiji tokom opasnih situacija. Takve opasne situacije su se desile tokom poplava u maju 2014. godine kada je bilo i prekida isporuka električne energije, kao i pojava klizišta na putevima, gde je onemogućen transport pitke vode do potrošača.

Kapaciteti pitke vode dobijene solarnom destilacijom su relativno mali, ali se on može povećati ukoliko se primeni slaganje solarnih modula iskorišćavanjem većih površina koje su izložene sunčevom zračenju.

Cena ovakvog postrojenja, kao i cena dobijene pitke vode ne može se smatrati ekonomskom kategorijom. Potreba za pitkom vodom u pojedinim situacijama može biti neprocenjiva – može se spasiti ljudski život.

Od javnih zgrada najinteresantniji za primenu su bolnice, škole i obdaništa – objekti od vitalnog značaja za lokalnu samoupravu. Planiranje lokacija mora voditi o mogućnostima plavljenja terena, lokalnoj jačini sunčevog zračenja (da lokacija ne bude u senci), te su ravni krovovi u tom smislu veoma atraktivni za postavljanje modula solarnih destilatora za pitku vodu.

Pošto je solarna destilacija za dobijanje pitke vode odavno poznata, u radu je prikazan kraći istorijat njene primene.

U trećem odeljku su prikazana neka teorijska razmatranja. Opisan je proces solarne destilacije za dobijanje pitke vode u h-x dijagramu. Izvršene su grube procene produkcije pitke vode za uslove jačine sunčevog zračenja u Beogradu.

U radu je takođe opisana primena solarnog destilatora za pitku vodu u kućnim uslovima jer je izvršena demonstracija procesa u Beogradu. Za kućne potrebe može se koristiti priručni materijal koji se može pronaći gotovo u svakoj kući.

Na kraju je opisano originalno rešenje konstrukcije modula solarnog destilatora koji je koncipiran tako da koristi zaključke iz literature [6] da se više pitke vode dobija u solarnom destilatoru sa severne, manje osunčane strane. Takvi pojedinačni solarni moduli mogu se ređati u niz ili polje kako bi se povećala produkcija pitke vode iz postrojenja.

Rad je napisan sa ciljem da se zainteresuje šira stručna javnost sa mogućnostima solarne destilacije za dobijanje pitke vode u opasnim situacijama i kako bi se preduzele adekvatne mere za spašavanje stanovništva ugroženog poplavama.

## VII. Literatura

- [1] **Gordes J., McCracken H.**, *Understanding solar stills*, Technologies for development, VITA technical paper, TP 37:9/85, Arlington, Virginia, USA, 1985.
- [2] **Voronjec D., Kozić Đ.**, *Vlažan vazduh*, SMEITS, Beograd, Srbija, 2002.
- [3] **Kozić Đ., Vasiljević B., Bekavac V.**, Priručnik za termodinamiku i prostiranje toplote, Građevinska knjiga, Beograd, 1983.
- [4] **Hirschmann J. R.**, *Solar distillation in Chile*, Desalination, Vol. 17. Issue 1, August 1975, pp. 31-67.
- [5] **\*\*\***, *Solar insolation levels*, Apricus, [http://www.apricus.com/html/solar\\_collector\\_insolation.htm](http://www.apricus.com/html/solar_collector_insolation.htm)
- [6] **Rajesh A.M., Bharath K.N.**, *Solar Still Coupled With Solar Collector and Storage Tank*, Inter JRI Science and Technology, Vol. 1, Issue 2, India, July 2009, pp. 62-72.
- [7] **Kalogirou S. A.**, *Seawater desalination using renewable energy sources*, Progres in Energy and Combustion Science, 31, Cyprus, 2005, pp.242-281.