

# Relevantni aspekti integriranih sustava obnovljivih izvora energije

---

**Bohač, Mario**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:930499>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-31**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

Mario Bohač

Relevantni aspekti integriranih sustava obnovljivih izvora energije

DIPLOMSKI RAD

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

Članovi ispitne komisije: izv. prof. dr. sc. Zvonimir Glasnović  
prof. dr. sc. Ante Jukić  
izv. prof. dr. Vladimir Dananić

Zagreb, rujan 2017.

*Zahvaljujem se obitelji i prijateljima na svojoj potpori i pomoći za vrijeme studiranja, mentoru izv. prof. dr. sc. Zvonimiru Glasnoviću na pomoći, susretljivosti i usmjeravanju za vrijeme pisanja diplomskog rada.*

## SAŽETAK

U ovome diplomskom radu obrađuje se tema relevantnih aspekata integriranog sustava obnovljivih izvora energije koji uključuje integraciju reverzibilne hidroelektrane (RHE) i sustava fotonaponskih kolektora (PV). Integracija je potrebna kako bi se nadomjestili tehnološki i energetske nedostaci pojedinačnih neintegriranih sustava (sustavi koji koriste energiju vjetra, solarnu energiju) kao što su intermitentnost i stohastičnost proizvodnje električne energije.

Obrađuju se sve sastavnice ovog integriranog sustava, njihove pojedinosti, njihova integracija, te i problematika skladištenja energije.

Provedeno je svojevrsno početno projektiranje i dimenzioniranje sustava na odabranoj stvarnoj lokaciji na otoku Visu. Sustav je dimenzioniran i projektiran prema jedinim dostupnim podacima za potrošnju električne energije za otok Vis iz 2007. godine. Dobivena potrebna snaga iznosi 25.1 MW u koju su uračunati potrebni viškovi (+50% od potrebne) zbog energetskih gubitaka, mogućnosti budućih proširenja postrojenja i rasta energetske potražnje. Dobivena je i površina fotonaponskih kolektora od 156875 m<sup>2</sup> i volumen spremnika vode koji iznosi 3,8 hm<sup>3</sup>.

Ovakav sustav proizvodnje električne energije koji proizvodi električnu energiju za realnu primjenu isključivo iz obnovljivih izvora energije, bez nedostataka koji imaju „klasični“ pojedinačni neintegrirani sustavi obnovljivih izvora energije (energija sunca, vjetra itd.), mogao bi otok Vis učiniti energetski neovisnim o kopnu.

**Ključne riječi:** obnovljivi izvori energije, fotonaponski sustav, reverzibilna hidroelektrana, integrirani sustav

## ABSTRACT

This thesis is covering the subject of relevant aspects of integrated renewable energy sources (RES) systems which include the integration of pumped storage hydroelectric (PSH) and photovoltaic systems (PV). This particular integration is needed to supersede the technological and energetic shortcomings of singular (individual) unintegrated systems (like wind or solar energy systems) which are intermittency and stochasticity of electric energy production.

In the thesis the components of this integrated system are individually covered including their particular details, the way they are integrated into the system as a whole, and the issue of energy storage.

Preliminary projecting and sizing was conducted for a real life location on the island Vis using the only available electric energy consumption data from the year 2007. The calculated required power production capacity is 25.1 MW which includes an extra of +50% power because of energy losses, future system expansions and the growth of energy demand. The required surface of the PV and the volume of the reservoir have been also calculated and they are 15875 m<sup>2</sup> and 3.8 hm<sup>3</sup>.

An energy production system, like this one, which produces energy only from RES, without the limitations of “usual” individual unintegrated RES systems would make the island Vis energetically independent from the coast.

**Key words:** renewable energy sources, photovoltaic system, pump storage hydroelectric, integrated systems

## SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆI DIO	3
2.1. Fotonaponski kolektori	5
2.2. Reverzibilna hidroelektrana (RHE)	10
2.3. Koncept integracije	12
2.4. Usporedba RHE tehnologije s ostalim tehnologijama skladištenja energije	15
2.5. RHE s morskom vodom	17
3. EKSPERIMENTALNI DIO	21
3.1. Primjena integriranih sustava na slučaj otoka Visa	21
3.2. Proračun proizvedene energije integriranog sustava	22
3.3. Dimenzioniranje gornjeg spremnika vode	28
4. REZULTATI i RASPRAVA	29
4.1. Granične vrijednost i troškovi	34
4.2. Životni vijek i CO <sub>2</sub> u životnom ciklusu postrojenja	36
5. ZAKLJUČAK	37
6. SIMBOLI	38
7. LITERATURA	39

## 1. UVOD

Trenutačni trend ubrzanog razvoja tehnologije, industrije te povećanja ljudske populacije iziskuje potrebu za proizvodnjom velike količine energije. Čovječanstvo se do sada uveliko oslanjalo na proizvodnju energije iz klasičnih, neobnovljivih izvora kao što su nafta i njeni rafinatti, ugljen, zemni plin, nuklearna energija i uz iznimku hidroenergije koja spada u obnovljive izvore energije. Polazeći od naziva „neobnovljivi“ može se naslutiti budući problem kojeg očekuje energetika. Postoje prirodne rezerve koje se naknadno otkrivaju, ali trenutačnom brzinom kojom se iskorištavaju svjetske rezerve procijenjeno je njihovo trajanje koje je prikazano u tablici 1.<sup>1</sup>

**Tablica 1.** Procijenjene svjetske rezerve

<b>Klasični izvor energije</b>	<b>Rezerve, godine</b>
<b>Ugljen</b>	~100
<b>Nafta i rafinatti</b>	~56
<b>Prirodni plin</b>	~55

Međutim, mnogo veći problem od toga predstavljaju klimatske promjene upravo korištenjem fosilnih goriva. To je i razlog da su članice UN-a potakle održavanje „Pariške konferencije UN-a o klimatskim promjenama“ 2015. godine. Dogovoreni dugoročni cilj konferencije je bio da će vlade članica zadržati porast prosječne svjetske temperature na razini znatno manjoj od 2°C u usporedbi s preindustrijskim razinama, te da će ulagati napore da se taj porast ograniči na 1,5°C. To je moguće limitiranjem nastajanja CO<sub>2</sub> i ostalih stakleničnih plinova koji nastaju izgaranjem fosilnih goriva. No, za postizanje tog cilja, potrebna su relativno velika ulaganja u znanost i tehnologiju obnovljivih izvora energije.

Sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća je započeo razvoj „novih“ tehnologija u energetici, odnosno razvoj tehnologije obnovljivih izvora energije. Taj trend je vidljiv dan danas te su također vidljiva znatna ubrzanja i veća ulaganja u razvoj te tehnologije i nastojanja zemalja da povećaju udio energije proizvedene iz obnovljivih izvora ( npr. da se do 2030. u EU dosegne udio energije dobivene iz obnovljivih izvora od najmanje 27%<sup>2</sup>). Problemi vezani uz tehnologije koje iskorištavaju obnovljive izvore energije su ti da se ne mogu razviti

dovoljno brzo da bi mogli zamijeniti korištenje klasičnih izvora energije, niti bi mogli zadovoljiti i osigurati kontinuiranu proizvodnju energije.<sup>3</sup> Obnovljivi izvori energije ovise o klimi, vremenskim uvjetima, a u vremenima povećane proizvodnje energije javlja se i problem skladištenja energije. Njemačka je 14.5.2017. u periodu od 15 minuta trošila električnu energiju dobivenu samo iz obnovljivih izvora energije.<sup>4</sup> To je odlična vijest, ali je to samo pokazatelj kako je to nepredvidljiva alternativa i da ljudski rod nije toliko blizu svjetloj budućnosti u kojem je neovisan o fosilnim gorivima.

Solarna energija i hidroenergija su do sada bile korištene odvojeno, ali bi se njihovim kombiniranjem mogao osmisliti integrirani sustav koji bi rješio prijašnje navedene probleme kontinuirane proizvodnje i skladištenja energije.<sup>5</sup>



## 2. OPĆI DIO

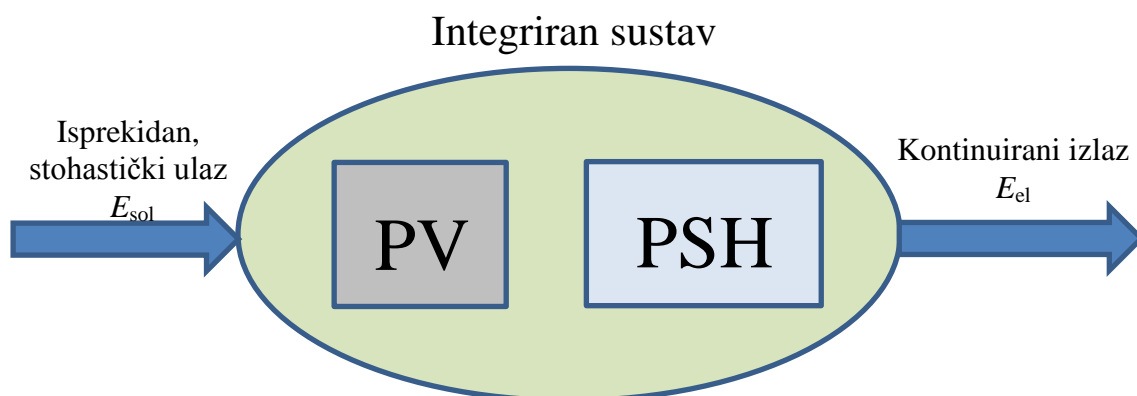
Povećanjem udjela obnovljivih izvora energije (solarne i energije vjetra) u sveukupnoj proizvodnji električne energije nastaje problem rasta nesigurnosti njezine kontinuirane proizvodnje. Zbog toga raste broj i kapacitet priručnih alternativa proizvodnje električne energije koje bi trebali osigurati sigurnost dobave energije u slučaju kad to obnovljivi ne mogu.<sup>3</sup>

Korištenjem obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije javlja se i problematika osiguravanja prikladne metode skladištenja energije. Trenutačne „klasične“ metode skladištenja u obliku baterija/akumulatora nisu prikladne za veće sustave niti su prikladne za dulje periode skladištenja. Baziraju se na skladištenju na dnevnoj i/ili tjednoj razini, dok su potrebni kapaciteti na sezonskoj razini zbog same nepredvidive prirode obnovljivih izvora energije.

Integracijom solarne energije i hidroenergije osmišljen je integrirani sustav koji unutar sebe nadoknađuje svoje proizvodne i tehnološke nedostatke, osigurava kontinuiranu proizvodnju energije bez emisija CO<sub>2</sub> i omogućuje neovisnost o klasičnim izvorima energije.<sup>3</sup>

Odabrani integrirani sustav sastoji se od (slika 2.1.):

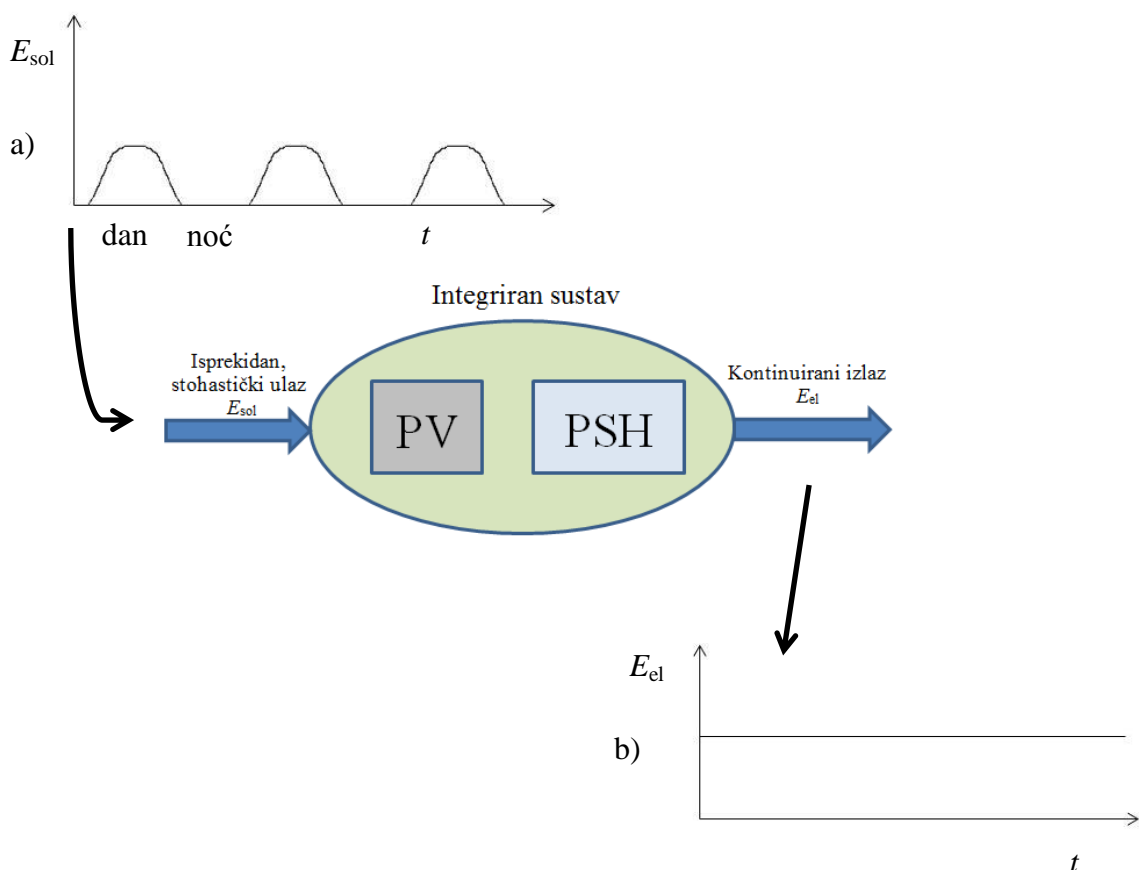
1. fotonaponskih kolektora
2. reverzibilne hidroelektrane (RHE), odnosno skladištenja energije u obliku vodnog potencijala (PSH)



**Slika 2.1.** Blok shema integriranog sustava obnovljivih izvora energije

U ovome integriranom sustavu pumpe RHE se koriste za osiguravanje odgovarajućih vodnih zaliha za generiranje električne energije za vrijeme maksimalne potražnje. Pumpe se pokreću pomoću fotonaponskih kolektora, a efikasnost takvog sustava se očituje u razlici između proizvodne cijene energije za maksimalnu i ostalu potražnju.<sup>3</sup> Generator RHE ima mogućnost kontinuiranog stvaranja električne energije i on se koristi kao glavni proizvodni pogon električne energije u ovom integriranom sustavu (slika 2.2.) i kao takav je pogodan za proizvodnju energije koja se dovodi do konzuma.

Kao što je prikazano na slici 2.2., primarni ulazni oblik energije a) je nepredvidljive, stohastične prirode, dok energetska potražnja također može biti stohastične prirode. Da bi sustav bio isplativ ključno ga je projektirati tako da izlaz energije b) na slici 2.2., odnosno proizvedena električna energija koja se dovodi do konzuma bude pouzdana i kontinuirano proizvedena. To se postiže akumulacijom vode i električne energije proizvedene generatorom RHE. RHE, odnosno PSH omogućuje ustaljivanje i „poravnavanje“ dnevnih i sezonskih viškova i manjkova solarne energije.



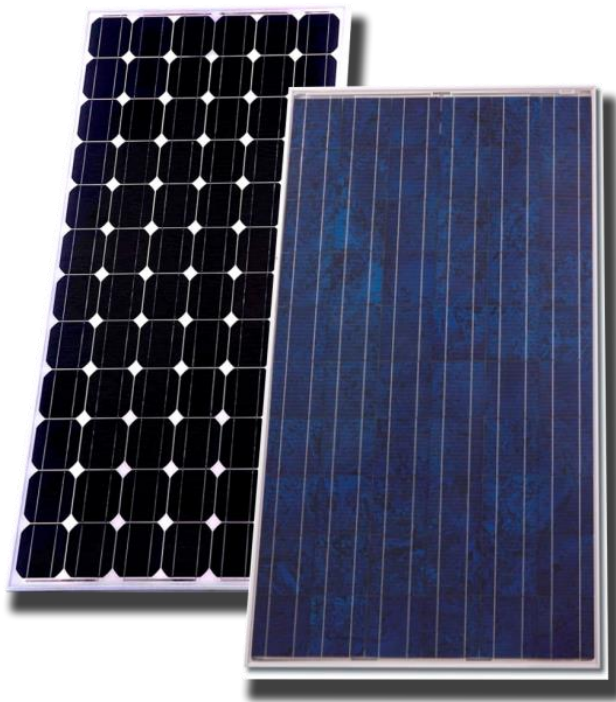
**Slika 2.2.** Usporedba proizvodnih mogućnosti električne energije pojedinih dijelova integriranog sustava

## 2.1. Fotonaponski kolektori

Fotonaponski efekt je pojava kod koje se na krajevima prikladno oblikovanog poluvodičkog materijala, pri izloženosti svjetlosti, stvara elektromotorna sila (napon) i time fotonaponski kolektor postaje izvor električne struje. Fotonaponski kolektori su poluvodički elementi koji omogućava izravnu pretvorbu svjetlosti (prvenstveno sunčevog zračenja) u električnu energiju.<sup>6</sup>

Tehnologije fotonaponskih kolektora su u konstantnom razvoju. Za sada postoje tri generacije fotonaponskih kolektora:

Prvu generaciju čine monokristalične i polikristalične silicijeve ploče (slika 2.3.) čija efikasnost doseže do 18%<sup>7</sup>-24%<sup>8</sup>. Spadaju u najstariju tehnologiju fotonaponskih kolektora i jedna od najčešćih u upotrebi. Efikasnost monokristaličnih kolektora (24,7%) je viša od polikristaličnih (20,3%), ali proizvodnja polikristaličnih kolektora je jednostavnija.<sup>8</sup>



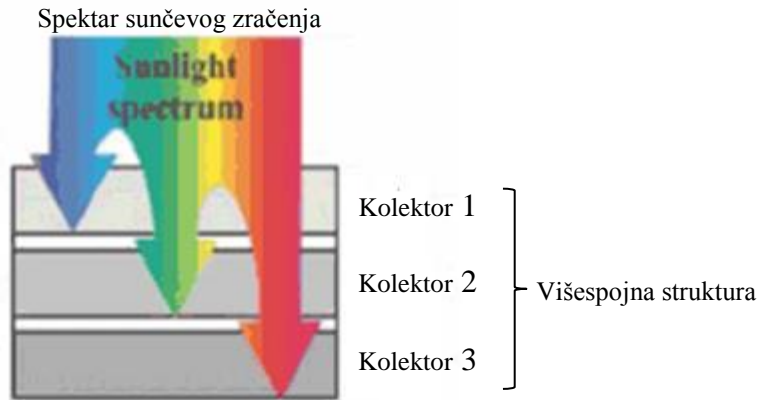
**Slika 2.3.** Monokristalični (lijevo) i polikristalični (desno) silicijeve kolektori  
(<http://genu.co.nz/technology.html> pristupio 14.6.2017)

Drugu predstavljaju tankoslojni (eng. *thin-film*) višespojni članci (slika 2.4.), čija teorijska efikasnost iznosi 31-41%<sup>7</sup>, a dok laboratorijska efikasnost nekih vrsta (npr. *Copper Indium Gallium Selenide* (CIGS) i kadmij telurid (CdTe)) iznosi 20%<sup>7</sup>. Mogu biti izgrađeni na fleksibilnim podlogama i postavljeni na prozorima, autima, avionima, te se mogu napraviti cjeloviti jednodijelni „listovi“ velikih površina i do 6 m<sup>2</sup>.<sup>8</sup> Nedostatak ovih kolektora je u proizvodnom procesu. Proces proizvodnje ne spada u „najčišće i najzelenije“ i nije lako doći do proizvodnih materijala.



**Slika 2.4.** Tankoslojni (eng. *thin-film*) višespojni članci  
(<https://buildingmaterials.com.my/materials/thin-film-solar-panel> pristupio 14.6.2017)

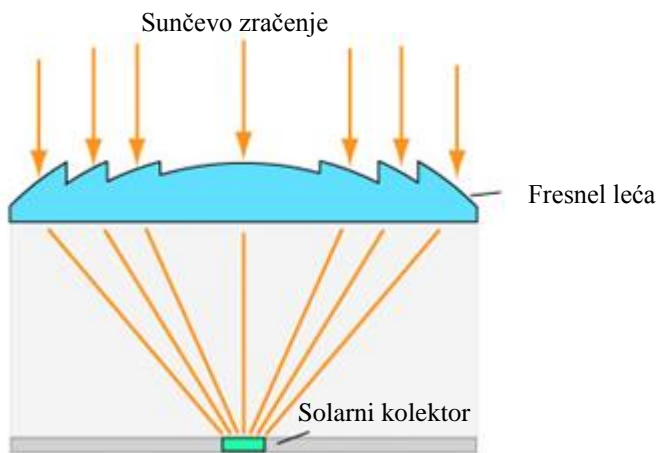
Treću predstavljaju kolektori s višespojomnom strukturom (eng. *ultimate thin-film*) čija teorijska maksimalna efikasnost, ograničena termodinamičkim uvjetima, može doseći i vrijednosti do 68%. Uobičajena teorijska iznosi 52%, a stvarna efikasnost najboljih članaka iznosi do 40%. Višespojna struktura kolektora omogućava korištenje šireg spektra sunčevog zračenja (slika 2.5.).<sup>7</sup>



**Slika 2.5.** Kolektori s višespojnom strukturom

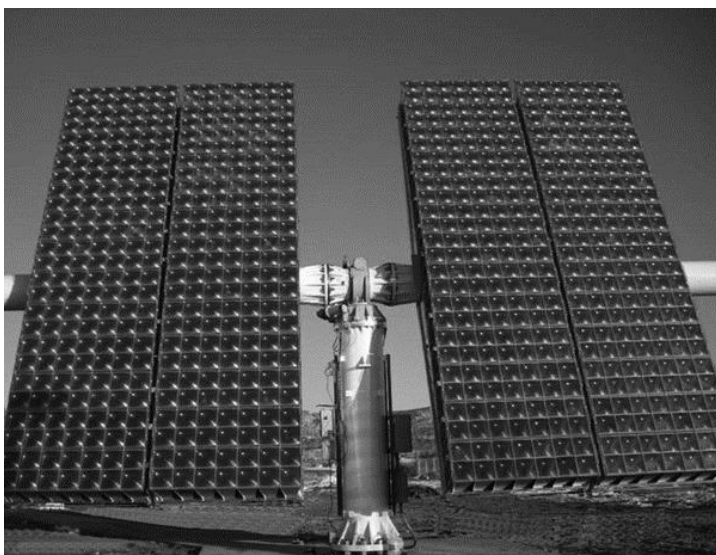
([http://www.solarserver.com/solarmagazin/solar-report\\_0509\\_e.html](http://www.solarserver.com/solarmagazin/solar-report_0509_e.html) pristupio 14.6.2017.)

U proizvodnji se koriste materijali koji su u velikoj mjeri raspoloživi i nisu toksični, sama proizvodnja je relativno jednostavnija u odnosu sa ostalim generacijama i kao proizvod su dugotrajni.<sup>7</sup> U treću generaciju spadaju kolektori od nanokristala, polimera, *dye sensitized solar cells* i koncentrirani solarni kolektori (slika 2.6. i 2.7.).<sup>8</sup>



**Slika 2.6.** Prikaz jednog koncentriranog solarnog kolektora

([http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv\\_concentration.php](http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php) pristupio 14.6.2017.)



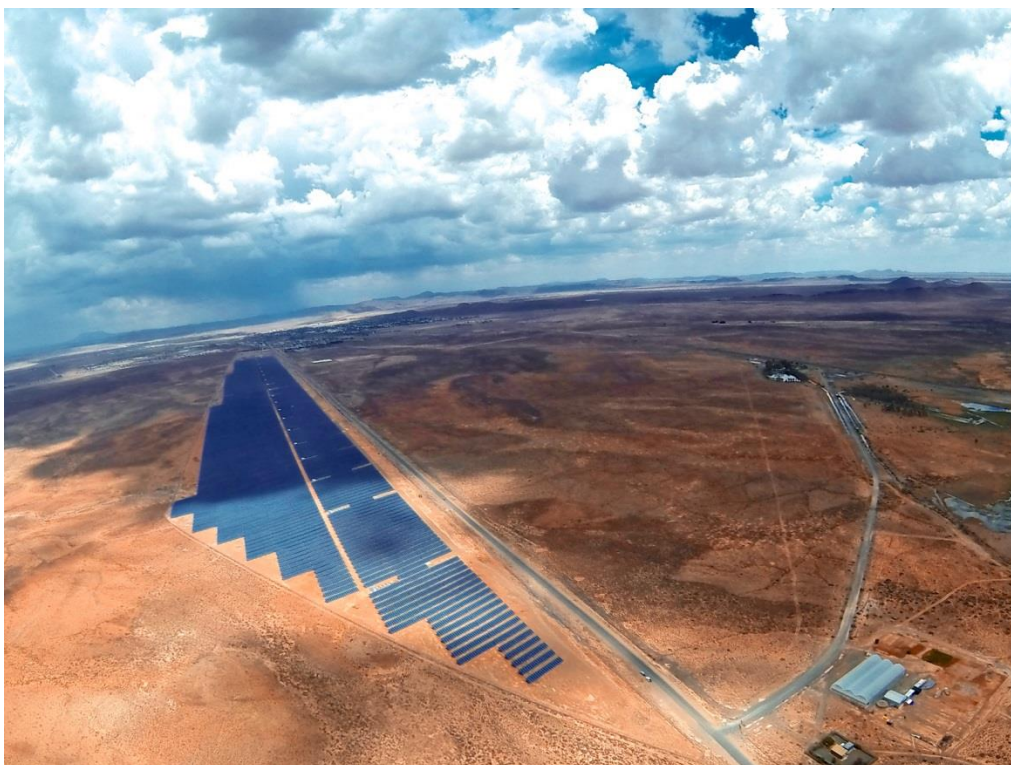
**Slika 2.7.** Kolektorski sustav sačinjen od koncentriranih solarnih kolektora  
(<http://www.tms.org/pubs/journals/jom/0712/merrill-0712.html> pristupio 14.6.2017)

Fotonaponski kolektori više ne spadaju u marginalnu tehnologiju u energetici. Pojavom velikih „farmi sunca“ kao npr. „Topaz Solar Farm“ na Caricco ravnici u Californiji prikazana na slici 2.8. i „Del Aar Solar Farm“ u JAR-u prikazana na slici 2.9. vidi se širenje trenda gradnje solarnih farmi u velikom mjerilu.



**Slika 2.8.** „Topaz Solar Farm“  
([https://www.axiomimages.com/aerial-stock-footage/view/AX70\\_058](https://www.axiomimages.com/aerial-stock-footage/view/AX70_058) pristupio 14.6.2017)





**Slika 2.9.** „Del Aar Solar Farm“

(<http://deaarsolar.co.za/aerial-photographs-of-de-aar-solar-power/> pristupio 14.6.2017)

Kao sve tehnologije, fotonaponski kolektori imaju svoje prednosti i nedostatke:

#### Prednosti fotonaponskih kolektora<sup>9</sup>

- nemaju mehaničke pokretne dijelove podložne trošenju i oštećenjima,
- modularnost
- koriste se direktnim i raspršenim sunčevim zračenjem,
- mogu se smjestiti u neposrednu blizinu korisnika,
- imaju visoki omjer snage i mase,
- jednostavno se održavaju,
- ekološki su povoljni time što ne stvaraju buku i ne onečišćuju okoliš.

#### Nedostaci fotonaponskih kolektora<sup>9</sup>

- relativno veliki investicijski troškovi,
- ovisnost proizvodnje električne energije o intenzitetu solarnog zračenja,
- interminiranosti solarnog zračenja,
- skladištenje energije akumulatorskim baterijama.

Električna energija dobivena pomoću fotonaponskih kolektora je uveliko ovisna o intenzitetu i trajanju sunčevog zračenja na površini samog kolektora. Klima, vremenske prilike, izmjena dana i noći onemogućuju kontinuiranu proizvodnju energije. Zbog toga se većinskim udjelom u integriranim sustavima fotonaponski kolektori koriste za pokretanje pumpa za stvaranje vodnog potencijala, tj. pokretanje umjetnog hidrološkog ciklusa.<sup>5</sup>

Fotonaponski kolektori su najveći dio investicije. Pri projektiranju integriranog sustava je poželjno osigurati optimalni broj kolektora pomoću podataka iz godina u kojima su bili „najnepovoljniji uvjeti“ za proizvodnju energije kako da bi se mogle osigurati dovoljne količine vode u gornjim spremnicima, odnosno osigurati kontinuiranu proizvodnju energije.<sup>5</sup>

## 2.2. Reverzibilna hidroelektrana (RHE)

Hidroelektrane (HE) pretvaraju kinetičku i potencijalnu energiju vodenog toka preko turbine u mehaničku rotacijsku energiju koja služi za pokretanje strojeva ili generatora električne energije. Tehnologije iskorištavanja vodnih snaga je vrlo razvijena i u svijetu zauzima treće mjesto (nakon ugljena i plina) po proizvodnji električne energije, odnosno 20% ukupne svjetske proizvodnje.<sup>10</sup> Hidroelektrane možemo dijeliti po snazi na male i velike. Granice za definiranje pojedinih HE variraju ovisno u zemlji u kojoj se nalaze. Za male HE se donja snaga obično kreće od 10-150 kW, gornja od 1-30 MW, a dok za velike HE gornja granica doseže i do 5000 MW.<sup>10</sup> Hidroelektrane su toliko zastupljene jer su se iskazale kao isplativa mogućnost proizvodnje električne energije pogotovo sa svojom visokom učinkovitosti u proizvodnji el. energije. Usporedbe učinkovitosti hidroelektrana s drugima elektranama navedene su u tablici 2.2.



Tablica 2.2. Učinkovitost pretvorbe električne energije <sup>11</sup>

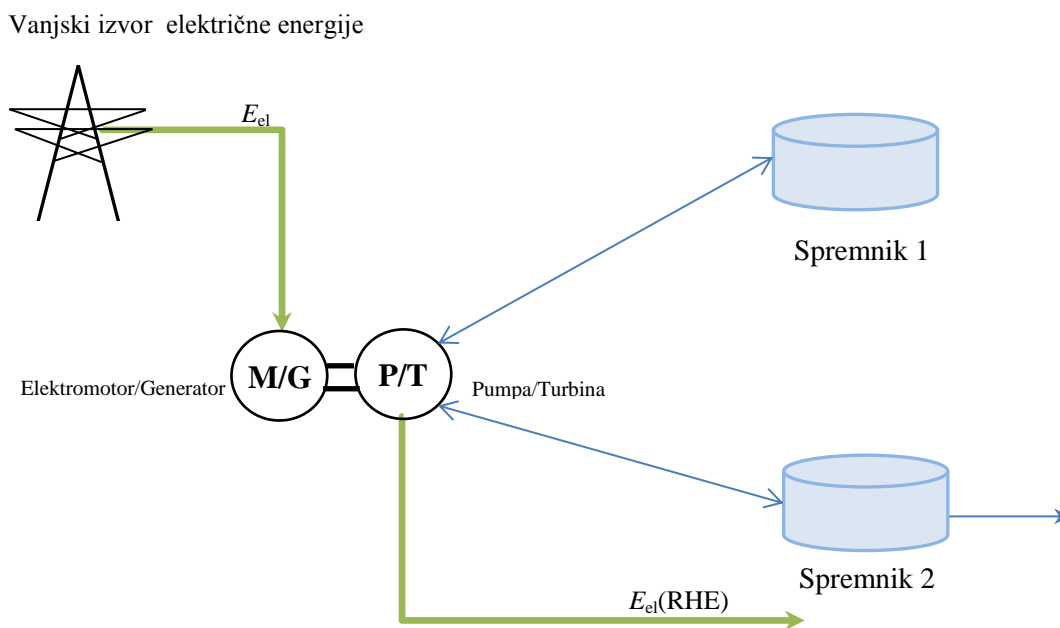
	$\eta$ , %
Dieselski i benzinski motor	20-40, 45 veći motori
Parna turbina	38-47
Termoelektrana na ugljen	do 43
Termoelektrana na biomasu/biopljin	30-40
Nuklearna termoelektrana	33-36
Fotonaponski kolektori	18-40 <sup>7</sup>
Vjetroelektrane	do 35
<b>Velike HE</b>	<b>95</b>
<b>Male HE</b>	<b>90</b>

Ispuštanjem vode kroz cijev u turbinski generator osigurava se kontinuirana proizvodnja električne energije.<sup>5</sup> Kao što je prije spomenuto (cjelina 2.1.) električna energija fotonaponskih kolektora se koristi samo za stvaranje umjetnog hidrološkog ciklusa. Pumpanjem vode u gornji spremnik, odnosno recirkulacijom (po čemu je RHE/PSH i dobila ime), se osigurava proizvodnja energije za maksimalnu energetske potražnju.<sup>5</sup>

U uobičajenim primjenama, odnosno u neintegriranim sustavima, RHE se koriste samostalno. U vremenima manje energetske potražnje višak se proizvedene energije troši na dovođenje vode u gornji spremnik.

### 2.3. Koncept integracije

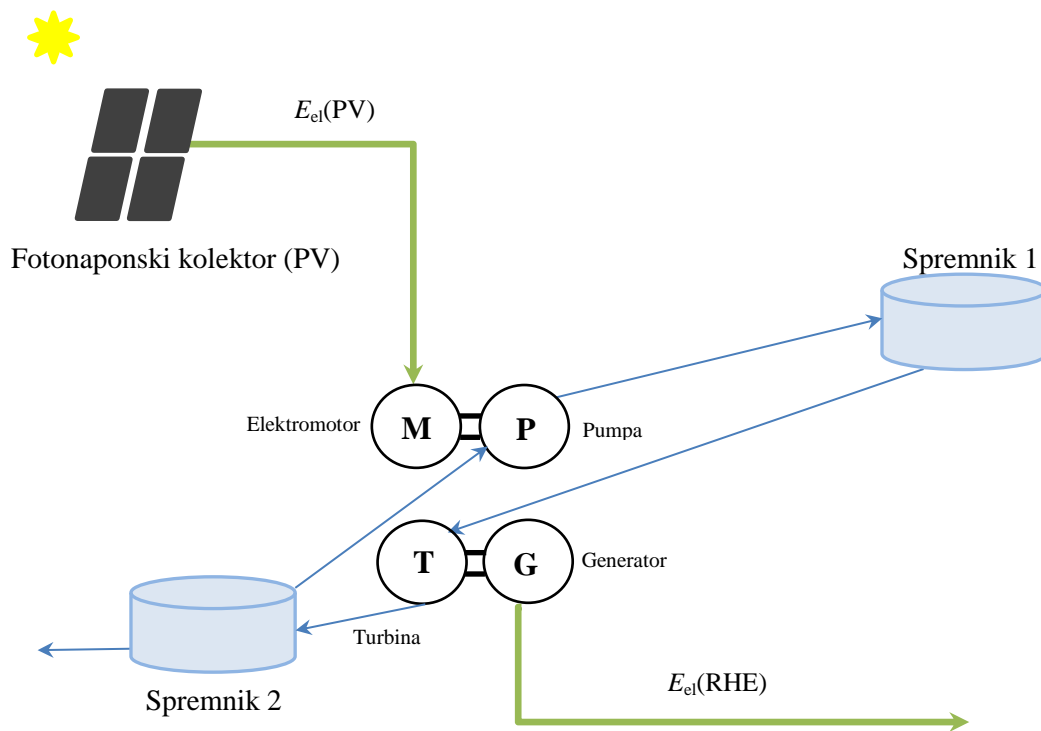
Postoje više načina izvedba RHE ovisno o broju cijevi i ovisno o udaljenosti elektrane od spremnika. Broj cijevi je ovisan o odluci projektanta . Jednom cijevi se postiže manja cijena izgradnje i smanjuju se hidrološki gubici (cca 30%) i do sada je bila uključena u uobičajenu praksu (slika 2.10.), a sve sa svrhom da se viškovi energije iz elektroenergetskog sustava tijekom noći (npr. nuklearnih elektrana) mogu spremati i koristiti tijekom dana kada se pojavljuje i veća potrošnja.



**Slika 2.10.** RHE s jednom cijevi

Pumpe za vodu se pokreću pomoću viška proizvedene električne energije u periodima manje energetske potražnje ili pomoću nekog vanjskog izvora električne energije. Negativna strana te izvedbe je ta što se ne može osigurati simultana proizvodnja i potrošnja energije. Ta nemogućnost proizvodnje energije i simultanog skladištenja energije stvara veliku prepreku i nije prikladna za integraciju solarnog i hidro sustava.

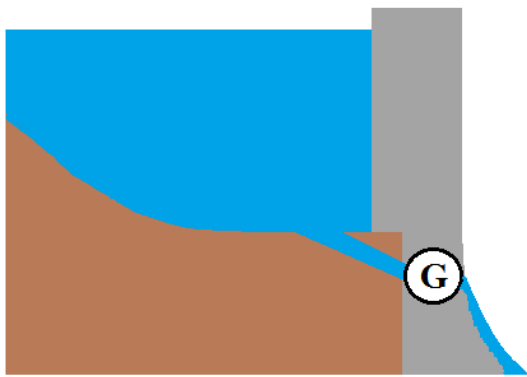
Problem se rješava osiguravanjem dvije cijevi (slika 2.11.).<sup>5</sup> Kao što se vidi na slici 2.11. za izvedbu s dvije cijevi potrebno je osigurati odvojen sustav pumpanja i generiranja struje.



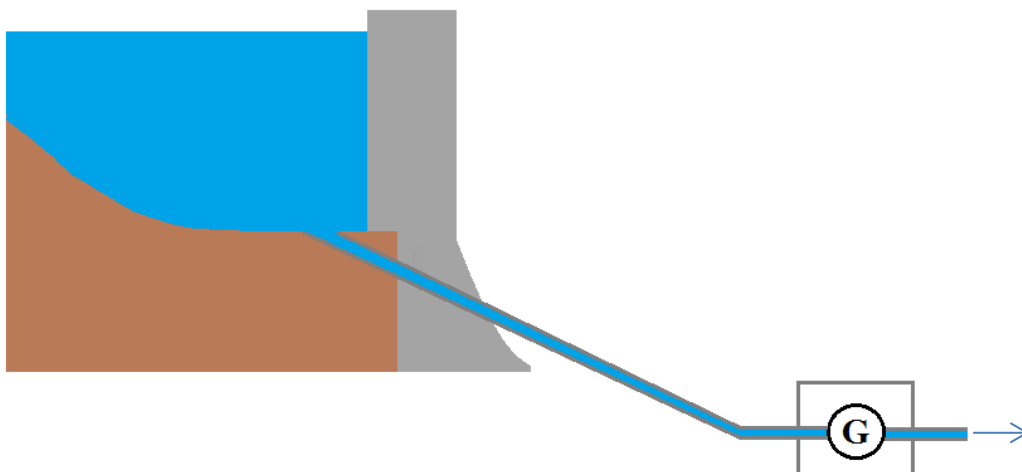
**Slika 2.11.** Integrirani sustav, RHE s dvije cijevi

Ovom izvedbom se osigurava kontinuirana proizvodnja energije, jer tok u dvije cijevi ne ometa paralelnu proizvodnju energije. Jednostavnija je od opcije s jednom cijevi i ovakva izvedba je povoljnija za potrebe integriranih sustava.<sup>3</sup>

Udaljenost elektrane je također bitan parametar pri projektiranju RHE. Elektrane građene u samoj blizini spremnika vode (eng. *Concentrated fall development*) (slika 2.12.) tj. u slučaju kad ne postoji velika visinska razlika između elektrane i spremnika (*Low head hydroplants*), i elektrane građene na većim udaljenostima od spremnika vode (*Divided fall development*) (slika 2.13.), čime se uz pomoć povoljne topografije ostvaruje velika visinska razlika između elektrane i spremnika.<sup>3</sup>



**Slika 2.12.** Elektrane građene u samoj blizini spremnika vode (*Concentrated fall development*)



**Slika 2.13.** Elektrane građene na većim udaljenostima od spremnika vode (*Divided fall development*)

Što se tiče izgradnje sustava za pumpanje vode u slučaju *Divided fall development*-a najveća efikasnost recirkulacije vode se postiže kada je visinska razlika pumpne stanice i razine vode u gornjem spremniku manja od visinske razlike turbine RHE i razine vode u gornjem spremniku.

Za potpuno integrirani sustav, poželjno je da su sve komponente sustava u neposrednoj blizini radi samog pojednostavljenja sustava, manjih troškova, lakšeg održavanja, i što manjih gubitaka u prijenosu električne energije.

## 2.4. Usporedba RHE tehnologije s ostalim tehnologijama skladištenja energije

Sa dobro projektiranim sustavom proizvodnje električne energije potrebno je projektirati prikladan način skladištenja energije.

Skladištenje energije u obliku vodnog potencijala, tj. PSH (*Pumped Hydroelectric Storage*) je „zelena“ alternativa baterijskom/akumulatorskom skladištenju energije. Baterijsko/akumulatorsko skladištenje energije je relativno skupa opcija i povoljnija za manje sustave. Sadrže toksične kemikalije i metale, te se na kraju radnog vijeka moraju adekvatno zbrinuti, jer su svrstani u opasni otpad. Za osiguravanje većeg kapaciteta skladištenja se ne isplati osiguravati velike baterije/akumulatore nego više manjih što je nepraktično. Baterije/akumulatori su sami po sebi najčešće osmišljeni kao skladištenje energije na dnevnoj ili tjednoj bazi što ovome integriranom sustavu sa solarnom energijom ne odgovara.

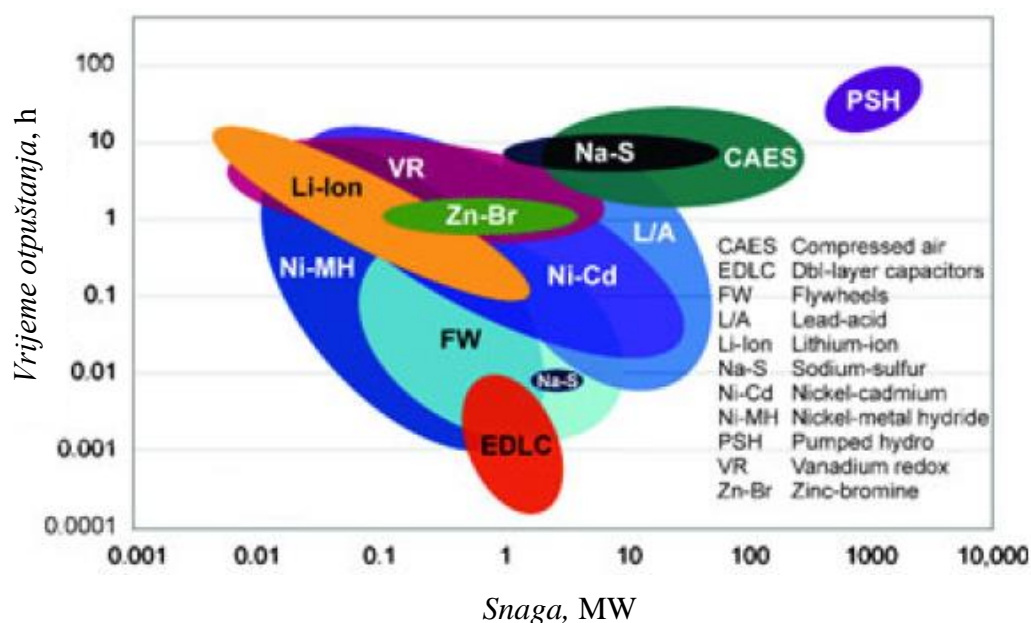
Postoji i skladištenje energije u obliku komprimiranog zraka. U tome se sustavu viškovi u proizvodnji energije koriste za komprimiranje zraka i za njegovo skladištenje u podzemnim spremnicima (kao npr. u prirodnim geološkim formacijama kao što su podzemne šupljine). Pošto se kompresijom zrak zagrijava, prije skladištenja se mora osigurati njegovo hlađenje. Odvedena toplina komprimiranog zraka se koristi za zagrijavanje zraka u ekspanzijskim generatorima (zagrijavanje se može još provesti i sagorjevanjem prirodnog plina) čime se poboljšava ekspanzija i proizvodi električna energija.<sup>13</sup> Negativna strana ove metode manji raspon proizvodne snage od PSH i potreba za specifičnim lokacijama za izgradnju spremnika.

Prednosti PSH je mogućnost velikog volumena skladištenja vode, mogućnost dugog, čak i sezonskog skladištenja, visoka efikasnost skladištenja, pouzdanost sustava, niski troškovi skladištenja po jedinici energije<sup>12</sup>, te mogućnost korištenja prirodnih struktura reljefa i prirodnih pritoka vode za osiguravanje spremnika vode (slika 2.14.).

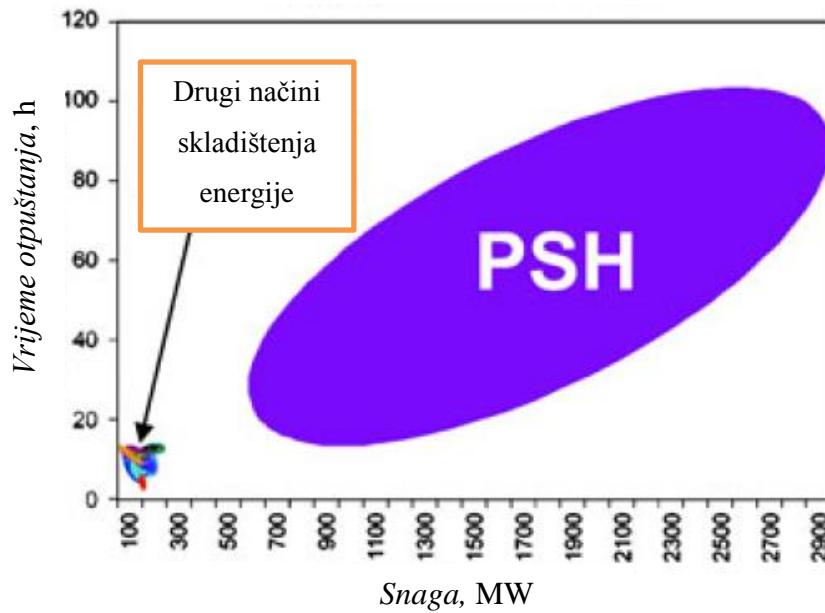


**Slika 2.14.** HE u Alti, Norveška. Primjer korištenja reljefa za osiguravanje spremnika vode. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Electricity\\_sector\\_in\\_Norway](https://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_sector_in_Norway) pristupio 10.5.2017)

Na slici 2.15. su prikazane usporedbe ovisnosti vremena otpuštanja i snage drugih načina skladištenja energije i PSH.<sup>3</sup> Nakon što se graf preračuna u linearnu skalu (slika 2.16) uveliko se vide prednosti ove metode skladištenja energije (veliki raspon snage i vremena otpuštanja).



**Slika 2.15.** Ovisnosti vremena otpuštanja i snage drugih načina skladištenja energije i PSH u logaritamskoj ovisnosti.<sup>3</sup>



**Slika 2.16.** Ovisnosti vremena otpuštanja i snage drugih načina skladištenja energije i PSH u linearnoj ovisnosti.<sup>3</sup>

Nedostaci PSH su odabir adekvatne lokacije gradnje spremnika vode, utjecaji same akumulacije vode na okolni ekosustav<sup>3</sup>, te vanjski atmosferski utjecaji (suše), odnosno problemi koji nastaju kad hidrološki uvjeti nisu zadovoljavajući<sup>12</sup>.

## 2.5. RHE s morskom vodom

Izgradnjom RHE uz morsku obalu, otvara se mogućnost skladištenja morske vode. Takva izvedba zahtjeva specifičan način primjene PSH tehnologije, koja sama po sebi ima izrazito visok potencijal za daljnji razvoj. Takva tehnologija bi mogla biti od velike važnosti u bliskoj budućnosti za priobalna morska područja zbog same praktičnosti i dostupnosti slane vode.

RHE koje koriste morsku vodu zahtjevaju određene tehnološke prilagodbe problemima koji nastaju utjecajem slane vode. Morska voda uzrokuje koroziju (slika 2.17.) i unosi različite morske organizme u sustav koji mogu ometati rad postrojenja ili nanijeti štetu.<sup>14</sup>



**Slika 2.17.** Utjecaj korozije na nezaštićenu cijev  
 (<http://www.dontdig.com/plumbing/cast-iron-pipe-repair> pristupio 15.5.2017)

Korozija je kemijski ili elektrokemijski proces u kojem se metali pretvaraju u stabilnije spojeve, metalne okside. Primjer procesa korozije željeza je prikazan u kemijskim formulama (2.1.-2.5)

Korozija željeza:



Konačni produkt je kemijski stabilniji metalni oksid  $Fe_2O_3$ .

Postoje različite vrste korozije. One uzrokovane elektrokemijskim reakcijama i korozije uzrokovane utjecajem organizama i mikroorganizama na metal. Metode kojima se može zaštititi od korozije potaknute organizmima i mikroorganizmima i elektrokemijske korozije su prikazani u tablici 2.3.<sup>15</sup>



Tablica 2.3. Zaštita od korozije <sup>15</sup>

Mikrobiološki potaknuta korozija (MIC)	Elektrokemijska korozija
modifikacija materijala	katodna zaštita
promjene parametara procesa, okoliša	anodna zaštita
organski premazi	metalne, keramičke prevlake
biocidna sredstva	organski premazi

Osim potrebnih prilagodbi RHE morskoj vodi one se relativno ne razlikuju previše od klasičnih RHE.

Blizina mora ujedno daje jednu veliku prednost: za izgradnju sustava skladištenja vode je potrebna izgradnja samo jednog i to gornjeg spremnika vode jer „donji spremnik“ je more. Time se sustav do neke mjere pojednostavnjuje i početne investicije i troškovi održavanja se smanjuju.

Primjer prve RHE koja koristi slanu morsku vodu je u selu Kunigami, na otoku Okinawi u Japanu (slika 2.18.) izgrađene 1999. <sup>14</sup>



**Slika 2.18.** Prva RHE koja je koristila morsku vodu u Kunigami, Okinawa, Japan. (<http://blogs.worldwatch.org/revolt/pump-up-that-seawater-a-remix-to-pumped-storage-hydro/> pristupio 10.5.2017)

RHE u Kunigami je bila podvrgnuta raznim strukturalnim i procesnim promjenama kako bi se zaštitila od utjecaja korozije na sustav:<sup>14</sup>

- pojednostavljenje dijelova turbine i njenog kućišta na način da se djelovi lako rastavljaju i čiste
- spojevi su zabrtvljeni keramikom i otpornim gumama
- korištenje ugljičnog čelika premazanog bojom za djelove kroz koji teku mali protoci slane vode
- korištenje nehrđajućeg čelika za djelove kroz koji teku veliki protoci slane vode
- katodna zaštita cijevi zbog postepenog oštećenja premaza boje
- prilagođavanje brzine toka i korištenje hidrofobnog premaza kako bi se spriječio razvoj kolonije račića vitičara (slika 2.19.) na stijenkama postrojenja



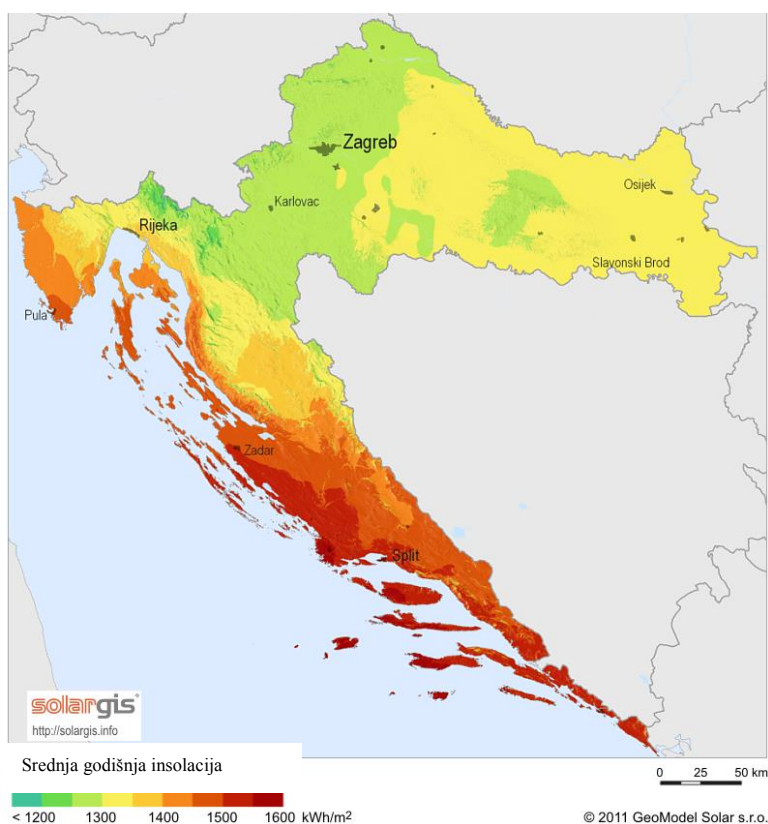
**Slika 2.19.** Račić vitičar (*Chthamalus stellatus*)

([http://www.aphotomarine.com/barnacle\\_chthamalus\\_stellatus\\_polis\\_stellate.html](http://www.aphotomarine.com/barnacle_chthamalus_stellatus_polis_stellate.html) pristupio 28.8.2017)

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Primjena integriranih sustava na slučaj otoka Visa

Za teoretsku lokaciju integriranog sustava odabran je otok Visa ( $43^{\circ}03'34.50''$  N,  $16^{\circ}11'04.00''$  E) gdje srednja godišnja temperatura iznosi  $17^{\circ}\text{C}$ , a ukupne godišnje padaline  $644\text{ mm/godišnje}$ .<sup>15</sup> Visa pripada dijelu Hrvatske s najvišom insolacijom kao što se vidi na slici 3.1.



#### **Slika 3.1.** Srednja godišnja insolacija u RH

(Autor SolarGIS © 2011 GeoModel Solar s.r.o., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15360235> pristupio 10.6.2017.)

Otok je površine  $90,3\text{ km}^2$ , udaljen  $45\text{ km}$  od obale i nastanjen populacijom od  $3504$  stanovnika prema popisu iz 2011. godine. Gospodarstvo Visa se većinom temelji na turizmu, a dijelom na ribarstvu i poljoprivredi. Električna energija se dovodi pomoću električnog kabela ukupne duljine približno  $50\text{ km}$  koji se provodi od Omiša (Dugi rat) preko Brača (Nerežišće) i Hvara (Stari Grad) što uzrokuje pad napona.<sup>16</sup> Dodatni problemi se stvaraju dolaskom većeg broja turista u ljetnim mjesecima jer se stvara veće opterećenje na električnu

mrežu. Izgradnjom integriranog sustava obnovljivih izvora energije, otok Vis, bi imao vlastiti izvor električne energije i postao energetska neovisan o kopnu.

Na otoku najveća visinska razlika je 587 m nv, što je bitan parametar za izgradnju spremnika vode. Lokacija odabrana za izgradnju spremnika se zove Oključana na južnoj strani otoka na visini od 235 m nv.<sup>16</sup>

### 3.2. Proračun proizvedene energije integriranog sustava

Za proračun proizvedene energije u integriranom sustavu korištene su formule (3.1.-3.8.) i podaci Državnog hidrometeorološkog zavoda za područje Komiže i Palagruže (tablice 3.1.-3.3. i slike 3.2.-3.4.)

FORMULE<sup>17</sup>

Energija koju proizvodi PV generator u vremenskom koraku „i“, odnosno u jednom danu:

$$E_{el(PV)(i)} = \eta_{0(PV)} \left[ 1 - \alpha_c (T_{cell(i)} - T_0) \right] \cdot A_{PV} \cdot E_{S(i)} \quad (3.1.)$$

Tijekom cijele godine PV generator proizvede:

$$E_{el(PV)(i)} = \eta_{0(PV)} A_{PV} \sum_{i=1}^{365} \left[ 1 - \alpha_c (T_{cell(i)} - T_0) \right] E_{S(i)} \quad (3.2.)$$

Energija potrošača (2007. godina) u osnovi je zbroj svih dnevno potrošenih energija:

$$E_{consume} = \sum_{i=1}^{365} E_{consume(i)} \quad (3.3.)$$

Snaga PV generatora, ovisna je o njegovoj površini:

$$A_{PV} = \frac{P_{el}}{1000 \cdot \eta_{0(PV)}} \quad (3.4.)$$

Uvrštenjem formule (3.4.) u formulu (3.2) te izjednačenjem ukupne godišnje potrošnje energije (formula (3.3.)) i proizvedene energije (formula (3.2.)) te uzimanjem u obzir efikasnosti invertera, motora i pumpe, kao i turbine i generatora u PSH sustavu ( $\eta_{PSH}$ ), dobiva se:

$$E_{el(PV)(i)} = \eta_{0(PV)} \frac{P_{el(PV)}}{1000 \cdot \eta_{0(PV)}} \sum_{i=1}^{365} [1 - \alpha_c (T_{cell(i)} - T_0)] E_{S(i)} = \frac{E_{consume}}{\eta_{PSH}} \quad (3.5)$$

Sređivanjem te formule, dobije se formula za snagu PV generatora koja bi mogla zadovoljiti potrebe potrošača tijekom cijele godine:

$$P_{el(PV)} = \eta_{0(PV)} \frac{1000 \cdot \sum_{i=1}^{365} E_{consume(i)}}{\eta_{PSH} \sum_{i=1}^{365} [1 - \alpha_c (T_{cell(i)} - T_0)] E_{S(i)}} \quad (3.6.)$$

$$T_{cell} = 2.7 \cdot E_s + T_a \quad (3.7.)$$

$$E_s = E_{s0} \cdot (a + b \cdot \frac{s}{S}) \quad (3.8.)$$

## PARAMETRI

$$\eta(PSH) = 0,70$$

$$T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\eta_{0(PV)} = 0,16$$

$$\alpha_c = 0,005$$

a, b – koeficijenti ovisni o promatranom mjestu

$A_{PV}$  – ukupna površina fotonaponskih kolektora,  $m^2$

$E_{consume}$  – energija potrošača

$E_{el(PV)}$  – električna energija dobivena fotonaponskim kolektorima, kW

$E_s$  – srednja dnevna ozračenost horizontalne plohe (prizemno zračenje),  $kWh/m^2$

$E_{s0}$  – srednja dnevna ekstraterestička ozračenost horizontalne plohe,  $kWh/m^2$

$S$  – moguće trajanje insolacije, h/dan

$s$  – stvarno trajanje insolacije, h/dan

$T_0$  – temperatura okoline,  $^\circ\text{C}$

$T_a$  – temperatura zraka,  $^\circ\text{C}$

$T_{\text{cell}}$  – temperatura fotonaponskog kolektora, °C

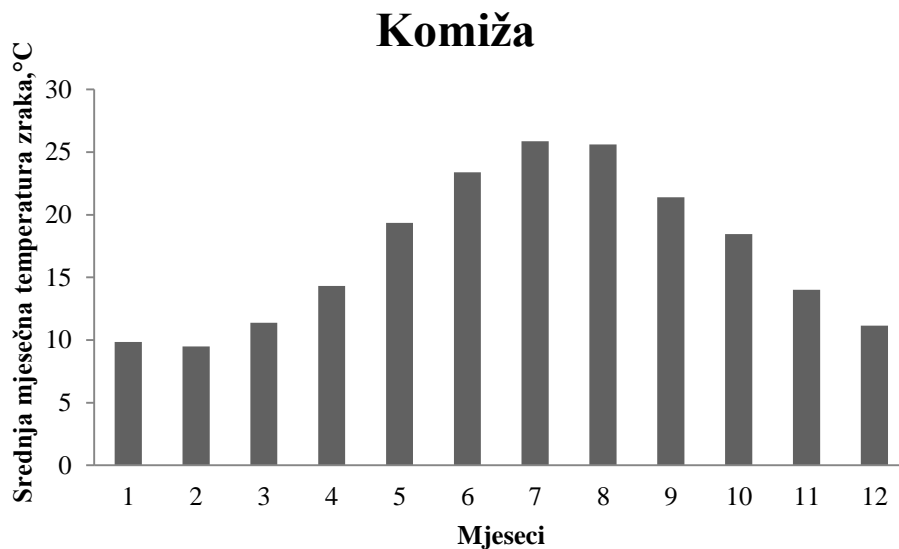
$\alpha_C$  – koeficijent promjene efikasnosti s temperaturom

$\eta(\text{PSH})$  – efikasnost PSH,

$\eta_{0(\text{PV})}$  – efikasnost fotonaponskog sustava

Tablica 3.1. Srednja dnevna temperatura Komiža, °C

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



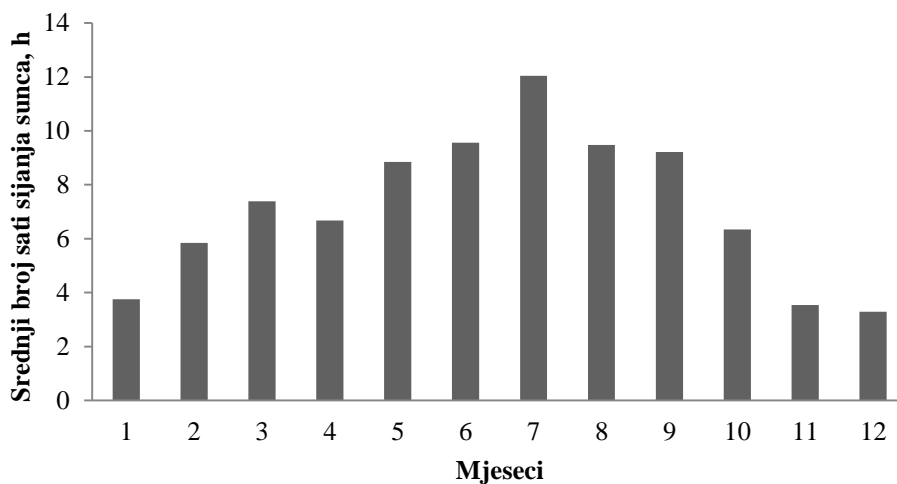
**Slika 3.2.** Prikaz srednjih mjesečnih temperatura zraka, °C, u Komiži, iz tablice 3.1.

**Tablica 3.2.** Broj sati sijanja sunca, h, u Palagruži

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

28	4,2	6,6	6,7	4,5	9,9	10,7	11,6	9,4	8,0	6,5	3,6	2,7	
29	4,3	7,3	8,0	7,8	9,8	9,7	11,4	9,4	8,6	5,2	4,3	2,1	
30	4,3		7,4	5,7	12,0	10,7	11,5	9,4	8,1	4,6	3,0	2,7	
31	4,0		7,7	0,0	10,7	0,0	12,5	8,1		4,1		2,3	
mjesec, sr. vrijednost	3,8	5,8	7,4	6,7	8,9	9,6	12,0	9,5	9,2	6,3	3,5	3,3	7,2
mjesec suma	125,1	170,0	214,8	227,2	298,8	303,2	364,5	329,2	251,7	200,4	125,0	104,2	2714,0

## Palagruža



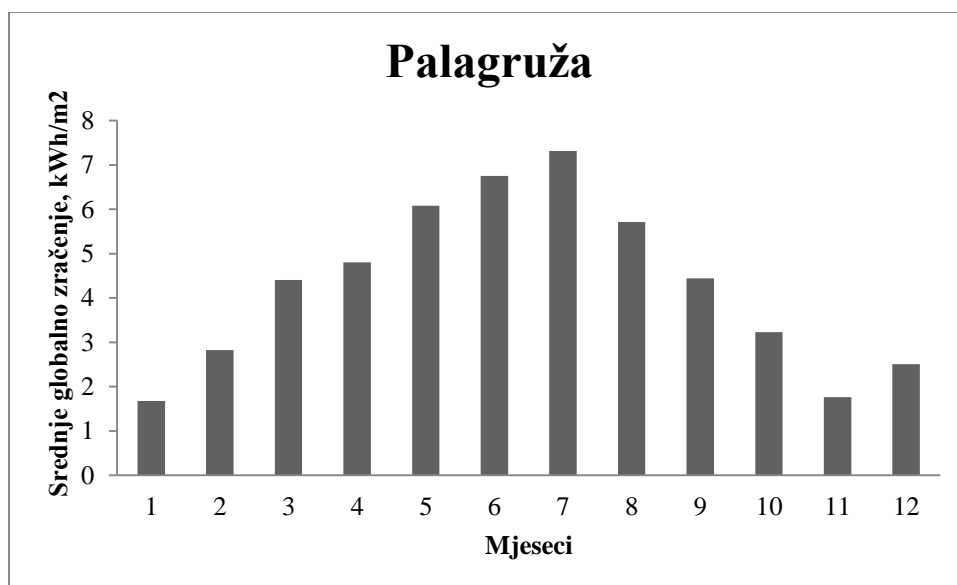
Slika 3.3. Prikaz srednjih brojeva sati sijanja sunca , h, na Palagruži iz tablice 3.2.

Tablica 3.3 Srednje dnevno globalno zračenje, (kWh/m<sup>2</sup>), Palagruža

mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>koeficijenti</b>												
S	9,41	10,44	11,9	13,38	14,7	15,41	15,11	14	12,56	11,07	9,81	9,13
a	0,187	0,271	0,236	0,235	0,285	0,239	0,3	0,192	0,222	0,214	0,24	0,712
b	0,669	0,486	0,589	0,545	0,463	0,544	0,43	0,552	0,439	0,569	0,513	0,153
G <sub>0</sub>	3,7	5,205	7,325	9,478	11,04	11,72	11,38	10,1	8,167	5,983	4,146	3,271
<b>dan</b>												
1	1,61	2,48	4,30	5,17	5,48	6,29	7,18	6,27	4,76	3,92	1,87	2,57
2	1,57	2,78	3,41	4,96	6,03	7,24	7,03	6,67	4,51	3,76	2,02	2,61
3	1,85	2,72	3,99	5,04	6,34	7,13	6,80	6,49	4,64	3,34	2,26	2,55
4	1,95	2,37	4,39	5,49	6,04	7,23	6,74	6,53	4,43	3,25	2,20	2,57
5	2,25	2,59	4,11	5,40	5,70	6,89	7,11	6,54	4,00	3,10	2,14	2,52
6	1,73	2,81	4,57	5,20	5,92	6,31	6,87	6,15	4,62	3,14	1,63	2,55
7	1,51	3,10	4,08	5,86	6,27	7,25	6,47	6,26	4,10	3,46	1,79	2,58
8	1,35	2,99	4,11	5,17	6,66	6,98	6,71	6,21	4,21	2,98	2,17	2,57
9	1,49	2,58	3,64	5,07	5,94	7,18	7,48	6,45	4,24	3,38	2,21	2,46
10	1,55	2,93	4,40	4,45	6,82	6,98	7,13	6,38	4,17	3,17	1,83	2,45



11	1,43	2,62	4,19	4,46	5,88	6,45	6,90	6,18	4,62	3,51	2,03	2,51
12	1,62	2,77	4,24	5,25	6,60	6,99	7,43	5,98	4,31	3,44	1,87	2,53
13	1,75	2,90	3,88	5,36	6,93	6,49	7,63	6,34	4,00	3,74	1,93	2,53
14	1,77	2,86	4,57	4,87	6,53	7,03	7,54	6,34	4,10	3,25	2,01	2,48
15	1,94	2,56	3,76	5,25	6,43	7,25	7,41	6,45	4,33	3,27	1,85	2,45
16	2,13	2,58	3,87	4,45	6,31	6,81	7,62	6,32	3,92	3,63	1,54	2,53
17	1,79	2,89	4,72	5,17	6,32	6,81	7,33	6,53	3,68	3,71	2,04	2,42
18	1,65	3,47	4,36	5,36	6,02	6,96	7,59	6,25	3,89	3,21	2,11	2,55
19	1,78	2,91	4,42	6,21	5,99	6,49	7,43	5,77	4,17	3,21	1,74	2,56
20	1,90	3,08	4,17	5,35	5,97	6,80	7,45	5,94	4,33	2,85	2,10	2,48
21	1,51	3,00	4,51	5,61	6,34	7,37	7,75	5,59	4,17	3,03	1,81	2,47
22	1,72	2,74	4,58	5,47	6,36	6,43	7,82	6,07	4,37	3,16	1,76	2,60
23	1,67	2,71	3,98	5,41	6,31	7,28	7,25	6,75	4,04	3,47	1,59	2,53
24	1,59	2,82	4,16	5,28	6,70	7,49	6,69	6,65	4,13	2,75	1,81	2,56
25	2,00	2,68	4,22	5,54	6,51	7,05	6,91	5,91	3,95	3,53	1,81	2,48
26	2,09	3,19	4,41	5,35	6,72	7,42	7,10	6,04	3,91	3,33	1,84	2,49
27	1,96	2,81	4,69	4,69	6,88	7,60	7,63	5,97	4,13	3,31	1,63	2,45
28	1,79	3,01	4,16	3,96	6,42	7,23	7,18	5,69	4,09	3,29	1,78	2,48
29	1,81	3,17	4,61	5,22	6,41	6,81	7,10	5,70	4,27	2,89	1,93	2,44
30	1,82		4,43	4,44	7,12	7,22	7,12	5,68	4,13	2,69	1,65	2,48
31	1,75		4,52		6,68		7,45	5,15		2,54		2,45



Slika 3.4. Prikaz srednjeg mjesečnog globalnog zračenja, kWh/m<sup>2</sup>, na Palagruži iz tablice 3.3.

### 3.3. Dimenzioniranje gornjeg spremnika vode

Nakon određivanja snage postrojenja i potrebne ukupne površine solarnih kolektora (poglavlje 3.2.) potrebno je odrediti veličinu gornjeg spremnika. Pošto se postrojenje nalazi uz more, potreban je samo jedan i to gornji spremnik. Dimenzioniranje se čini pomoću formule 3.9.

#### FORMULA

$$V_0 = e^{\frac{\psi^* - P_{el}}{\psi}} \quad (3.9.)$$

#### PARAMETRI

$$\psi^* = 39,512$$

$$\psi = 10,795$$

$V_0$  – volumen spremnika

$\Psi, \Psi^*$  – parametri temeljeni na lokacijskim karakteristikama i tehnološkim svojstvima<sup>12</sup>

#### 4. REZULTATI I RASPRAVA

Otok Vis je odabran kao potencionalna lokacija ovog integriranog sustava zbog insolacije, povoljnog reljefa i blizine mora zbog čega bi postojala mogućnost izgradnje RHE sa morskom vodom.

Za proračun proizvedene energije pomoću integriranog sustava korištene su formule (3.1.-3.8.) i podaci Državnog hidrometeorološkog zavoda za područje Komiže i Palagruže (tablice 3.1. – 3.3.). Podaci iz tablice 3.2. i 3.3. su za područje Palagruže jer su jedini dostupni i pozicijski najprikladniji.

Procjenjena proizvodnja električne energije pomoću fotonaponskih kolektora integriranog sustava je dobivena pomoću formule 3.5., dok se snaga sustava određivala i usklađivala prema potrošnji električne energije Visa iz 2007. godine (tablica 4.1.).

U formuli 3.5. u iskorištenje PSH sustava ( $\eta_{PSH}$ ) je uzeta u obzir efikasnost konvertera DC u AC struju i efikasnost motor/pumpe i turbine/generatora.

Tablica 4.1. Potrošnja električne energije, Vis 2007.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	50,47	54,79	48,79	43,94	39,82	40,13	55,93	66,08	51,44	41,98	36,27	45,67
2	50,97	55,40	47,49	42,66	38,28	40,81	57,88	66,39	52,16	42,62	40,80	47,71
3	55,34	53,86	47,19	43,76	38,02	40,12	60,39	66,89	50,83	43,72	50,26	48,08
4	53,94	54,90	44,63	48,93	38,58	41,05	60,19	67,78	51,61	44,64	54,53	49,09
5	54,15	54,45	44,67	45,11	37,93	41,88	54,79	65,53	52,13	42,09	50,78	47,33
6	51,63	54,28	44,34	44,48	36,69	41,72	55,00	67,94	53,28	40,64	46,79	46,92
7	52,03	51,96	46,27	45,65	36,79	42,47	56,70	67,17	53,94	40,29	44,35	45,74
8	51,54	49,80	48,57	42,16	37,06	44,33	58,34	71,01	53,13	39,00	44,06	44,50
9	48,57	51,68	45,77	39,81	37,21	44,91	60,54	72,59	51,55	39,61	44,30	43,30
10	48,01	51,69	45,55	39,72	36,88	43,74	62,39	67,25	50,04	38,86	46,72	43,37
11	48,62	49,00	46,67	38,74	37,31	44,13	58,91	65,58	51,03	38,21	48,10	47,50
12	48,98	48,88	44,84	38,18	38,36	38,85	57,66	65,39	50,43	38,82	48,19	48,50
13	48,91	51,68	43,52	37,69	37,27	42,09	59,15	66,79	50,17	40,93	47,48	47,48
14	50,29	48,96	43,24	38,25	38,37	45,86	61,44	68,19	50,58	43,12	46,54	50,38
15	51,07	50,25	42,35	36,36	39,04	45,38	63,65	67,49	45,00	39,94	46,38	50,24
16	52,02	50,38	42,85	35,98	38,27	48,15	66,25	70,46	40,80	38,04	47,55	49,47
17	51,67	51,40	43,17	35,87	37,88	47,65	68,63	70,33	49,64	37,66	45,53	48,75
18	49,04	51,40	43,93	35,61	37,73	50,03	72,58	71,87	47,24	37,66	44,89	48,06
19	48,46	49,93	43,42	35,76	38,33	52,19	74,60	69,51	45,65	37,74	42,95	50,31
20	47,59	49,36	40,85	35,27	38,47	54,57	74,89	68,62	46,66	38,93	43,29	51,80
21	46,34	47,83	48,00	36,28	38,22	57,30	76,21	67,72	46,35	38,73	43,08	53,18
22	46,82	48,95	51,44	34,98	38,35	51,95	77,26	70,08	46,14	37,39	46,36	53,70
23	47,18	46,92	50,44	35,40	38,89	62,43	79,46	70,89	45,61	37,18	46,18	54,63

24	49,71	46,52	49,02	35,29	35,11	60,19	85,17	67,52	44,13	37,23	46,54	55,39
25	50,75	46,89	48,79	35,43	41,97	64,41	78,06	65,33	44,52	36,72	45,64	52,95
26	55,21	49,14	51,75	36,66	43,25	62,44	74,32	64,41	46,29	36,67	44,61	52,68
27	57,07	48,62	53,69	33,55	41,42	57,45	73,00	63,02	46,18	36,87	45,35	56,36
28	56,96	49,43	51,16	40,59	40,77	54,98	75,11	61,97	45,54	37,02	43,30	57,87
29	55,76		51,09	40,41	39,10	55,43	76,10	62,64	44,96	36,24	44,66	56,69
30	53,70		49,88	41,02	38,80	56,62	76,60	61,72	43,34	37,15	45,21	55,73
31	53,48		47,90		39,42		67,66	60,60		37,07		56,35
Suma	1586,3	1418,3	1451,3	1173,5	1193,6	1473,3	2078,8	2078,8	1450,4	1212,8	1370,7	1559,7

Mijenjanjem iznosa ukupne površine fotonaponskih kolektora  $A_{PV}$  mijenja se snaga, odnosno količina proizvodnje električne energije pomoću fotonaponskih kolektora.

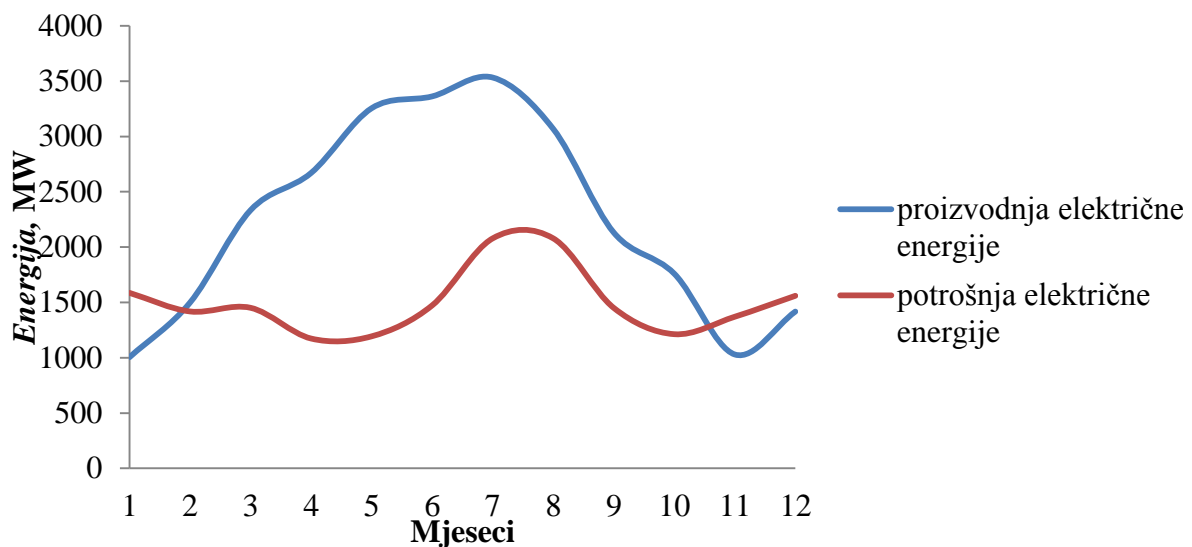
Računi su provedeni pomoću programa *Microsoft Excel*. Ukupna površina fotonaponskih kolektora se prilagođavala jednostavnim iteracijskim postupkom sve dok se nije dobila proizvodnja energije koja može pokriti potrošnju, pritom osiguravajući skladištenje energije u obliku vodnog potencijala tako da ljetni viškovi energije mogu uravnotežiti ljetne viškove i zimske manjkove solarne energije.

Također su uračunati potrebni viškovi u određivanju snage postrojenja, odnosno površine kolektora, koja bi osigurala veću proizvodnju od 50% od trenutne potrebne. To se učinilo imajući na umu gubitke u skladištenju, prijenosu energije (+20%) i imajući na umu moguća proširenja postrojenja i porasta potražnje energije u budućnosti (+30%). Izračunani kapacitet postrojenja (snaga) iznosi  $P = 25,10$  MW, a ukupna površina kolektora iznosi  $A_{PV} = 156875$  m<sup>2</sup>. Dobivena proizvodnja električne energije je prikazana u tablici 4.2., a usporedba potrošnje energije i proizvedene energije je prikazana na slici 4.1.

Tablica 4.2. Proizvodnja električne energije pomoću fotonaponskih kolektora integriranog sustava

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	30	46	77	90	93	104	113	100	79	67	33	46
2	29	51	62	86	101	118	111	106	75	64	36	47
3	34	50	71	87	106	116	107	103	77	57	40	46
4	36	43	78	95	101	117	107	104	74	56	39	46
5	41	47	73	93	96	112	112	104	67	54	38	46
6	32	52	82	90	99	103	109	98	77	54	29	46
7	28	57	73	101	105	116	103	100	69	59	32	47
8	25	55	74	90	110	112	107	99	71	52	39	47
9	28	47	66	88	99	115	119	103	71	58	40	45
10	29	53	78	78	113	112	113	101	71	55	33	44
11	26	48	75	78	98	104	110	98	77	60	36	45
12	30	51	75	91	109	112	118	96	72	59	33	46

13	32	53	69	93	114	105	120	102	67	64	35	46
14	33	52	81	85	108	113	119	102	70	56	36	45
15	36	47	67	91	107	116	117	103	73	57	33	44
16	39	47	69	78	105	110	120	101	67	63	28	46
17	33	53	83	89	105	109	116	104	63	65	37	44
18	31	63	77	93	100	112	119	100	66	56	38	47
19	33	53	78	106	99	105	117	93	71	56	32	47
20	35	56	74	92	99	109	117	95	73	50	38	45
21	28	54	80	96	105	117	122	91	71	53	33	45
22	32	50	81	94	105	104	122	98	74	55	32	48
23	31	49	71	93	104	116	114	108	69	60	29	46
24	30	51	74	91	110	119	106	106	70	48	33	47
25	37	49	74	95	107	113	109	95	67	61	33	45
26	39	58	77	91	110	118	112	98	67	58	33	45
27	36	51	82	81	112	120	119	97	70	58	30	45
28	33	55	74	69	105	114	112	93	70	58	32	45
29	34	58	81	89	105	108	112	93	73	51	35	45
30	34	0	78	76	115	114	112	93	71	47	30	45
31	32	0	79	0	109	0	117	85	0	45	0	45
Suma	1004	1499	2334	2670	3255	3362	3532	3068	2131	1759	1029	1417



**Slika 4.1.** Usporedba potrošnje energije i proizvodnje energije pomoću integriranog sustava

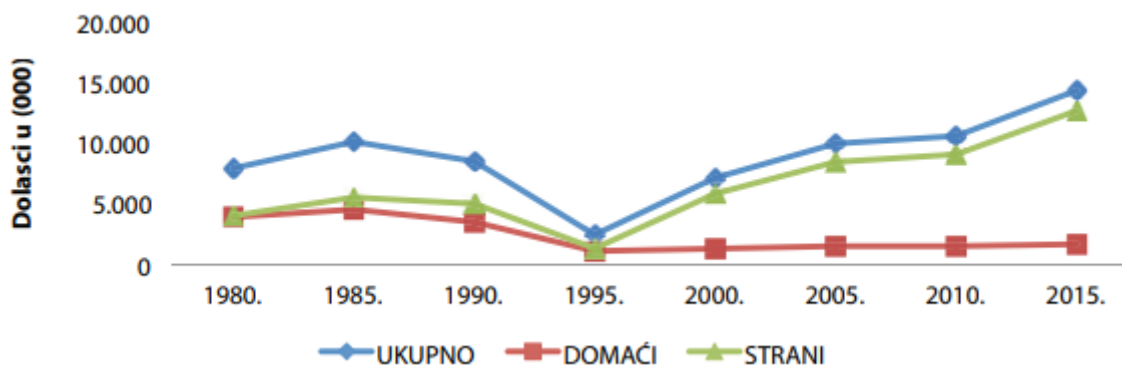
Uračunavanjem 50% rezerve u proizvodnoj snazi integriranog sustava osigurava se budućnost sustava u kojoj se može pratiti i trend povećanja broja turista.

Prilikom ispitivanja budućnosti sustava odabrao se period od 20 godina, a za računanje buduće bilance električne energije određeno je povećanje potrošnje za 50%. Za račun rasta

buduće potrošnje, 50% povećanja se direktno pridodaje podacima potrošnje iz 2007. Računanjem na taj način se osigurava zadani period od 20 godina počevši od jedinih dostupnih podataka potrošnje električne energije za otok Vis. To povećanje od 50% je u direktnoj korelaciji sa povećanjem broja posjetitelja odnosno turista. Povećanje od 50% je aproksimativno izračunato temeljem podataka porasta broja turista od 30,3% za period 2005. do 2015. (najbliže dokumentirano desetljeće što se tiče dostupne statistike, slika 4.2.), koji su dostupni na stranicama Ministarstva turizma RH<sup>18</sup>. Povećanje od 50% posjetitelja/turista u periodu 20 godina je uračunato samo za period svibanj-rujan za 2027. godinu (označeno u tablici 4.3.).

Što se tiče domaćeg stanovništva, prirast populacije u RH općenito ima negativan trend, zbog starenja ukupne populacije i zbog iseljavanja stanovništva potaknutih ekonomskim čimbenicima. Podaci za stanovništvo nisu mijenjani i njihova promjena je zanemarena zbog potencijalnog doseljavanja radnika u „kritičnim mjesecima potrošnje“ radi sezonskih poslova.

Izračunata buduća potrošnja električne energije za otok Vis 2027. godine je prikazana u tablici 4.3. i na slici 4.3.

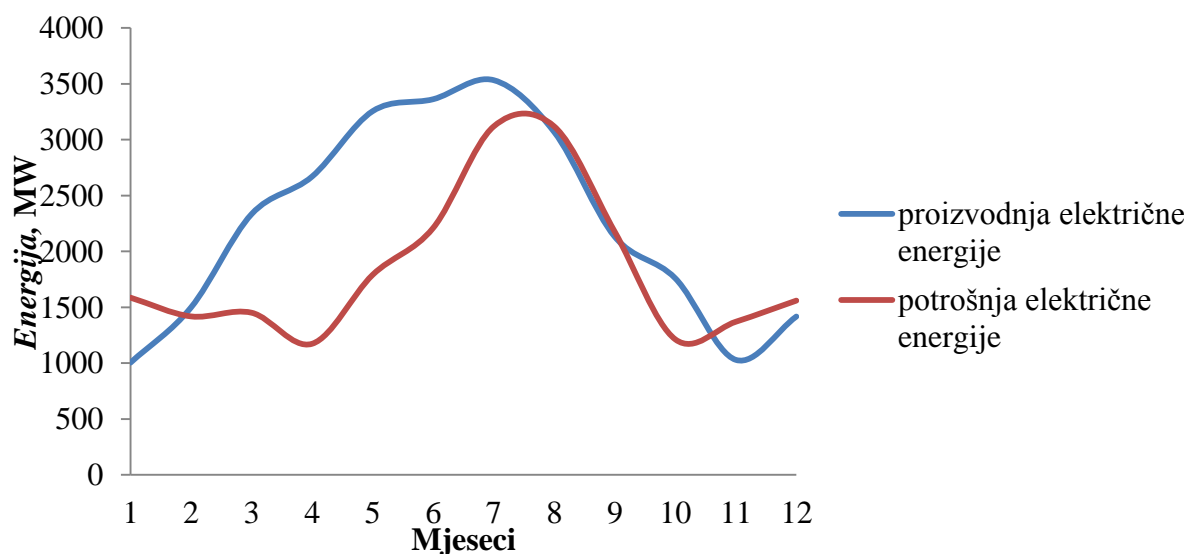


Slika 4.2. Dolasci turista<sup>18</sup>

Tablica 4.3. Dobivena buduća potrošnja električne energije, Vis 2027.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	50,47	54,79	48,79	43,94	59,73	60,20	83,90	99,12	77,16	41,98	36,27	45,67
2	50,97	55,40	47,49	42,66	57,42	61,22	86,82	99,59	78,24	42,62	40,80	47,71
3	55,34	53,86	47,19	43,76	57,03	60,18	90,59	100,34	76,25	43,72	50,26	48,08
4	53,94	54,90	44,63	48,93	57,87	61,58	90,29	101,67	77,42	44,64	54,53	49,09
5	54,15	54,45	44,67	45,11	56,90	62,82	82,19	98,30	78,20	42,09	50,78	47,33

6	51,63	54,28	44,34	44,48	55,04	62,58	82,50	101,91	79,92	40,64	46,79	46,92
7	52,03	51,96	46,27	45,65	55,19	63,71	85,05	100,76	80,91	40,29	44,35	45,74
8	51,54	49,80	48,57	42,16	55,59	66,50	87,51	106,52	79,70	39,00	44,06	44,50
9	48,57	51,68	45,77	39,81	55,82	67,37	90,81	108,89	77,33	39,61	44,30	43,30
10	48,01	51,69	45,55	39,72	55,32	65,61	93,59	100,88	75,06	38,86	46,72	43,37
11	48,62	49,00	46,67	38,74	55,97	66,20	88,37	98,37	76,55	38,21	48,10	47,50
12	48,98	48,88	44,84	38,18	57,54	58,28	86,49	98,09	75,65	38,82	48,19	48,50
13	48,91	51,68	43,52	37,69	55,91	63,14	88,73	100,19	75,26	40,93	47,48	47,48
14	50,29	48,96	43,24	38,25	57,56	68,79	92,16	102,29	75,87	43,12	46,54	50,38
15	51,07	50,25	42,35	36,36	58,56	68,07	95,48	101,24	67,50	39,94	46,38	50,24
16	52,02	50,38	42,85	35,98	57,41	72,23	99,38	105,69	61,20	38,04	47,55	49,47
17	51,67	51,40	43,17	35,87	56,82	71,48	102,95	105,50	74,46	37,66	45,53	48,75
18	49,04	51,40	43,93	35,61	56,60	75,05	108,87	107,81	70,86	37,66	44,89	48,06
19	48,46	49,93	43,42	35,76	57,50	78,29	111,90	104,27	68,48	37,74	42,95	50,31
20	47,59	49,36	40,85	35,27	57,71	81,86	112,34	102,93	69,99	38,93	43,29	51,80
21	46,34	47,83	48,00	36,28	57,33	85,95	114,32	101,58	69,53	38,73	43,08	53,18
22	46,82	48,95	51,44	34,98	57,53	77,93	115,89	105,12	69,21	37,39	46,36	53,70
23	47,18	46,92	50,44	35,40	58,34	93,65	119,19	106,34	68,42	37,18	46,18	54,63
24	49,71	46,52	49,02	35,29	52,67	90,29	127,76	101,28	66,20	37,23	46,54	55,39
25	50,75	46,89	48,79	35,43	62,96	96,62	117,09	98,00	66,78	36,72	45,64	52,95
26	55,21	49,14	51,75	36,66	64,88	93,66	111,48	96,62	69,44	36,67	44,61	52,68
27	57,07	48,62	53,69	33,55	62,13	86,18	109,50	94,53	69,27	36,87	45,35	56,36
28	56,96	49,43	51,16	40,59	61,16	82,47	112,67	92,96	68,31	37,02	43,30	57,87
29	55,76		51,09	40,41	58,65	83,15	114,15	93,96	67,44	36,24	44,66	56,69
30	53,70		49,88	41,02	58,20	84,93	114,90	92,58	65,01	37,15	45,21	55,73
31	53,48		47,90		59,13		101,49	90,90	0,00	37,07		56,35
<b>Suma</b>	<b>1586,29</b>	<b>1418,34</b>	<b>1451,26</b>	<b>1173,53</b>	<b>1790,39</b>	<b>2209,89</b>	<b>3118,29</b>	<b>3118,14</b>	<b>2175,56</b>	<b>1212,78</b>	<b>1370,72</b>	<b>1559,72</b>



**Slika 4.3.** Usporedba prognozirane potrošnje energije i proizvodnje pomoću integriranog sustava za 2027. godinu

Uspoređujući proizvodnju i potrošnju u oba slučaja (slike 4.1. i 4.2.) dobivena je tablica 4.4. u kojoj se vidi pozitivna razlika koja ukazuje na proizvodne viškove koje bi bili pohranjeni u obliku vodnog potencijala i spremni za nepredvidljive skokove u potražnji.

Tablica 4.4. Energetski viškovi u godišnjem radu postrojenja

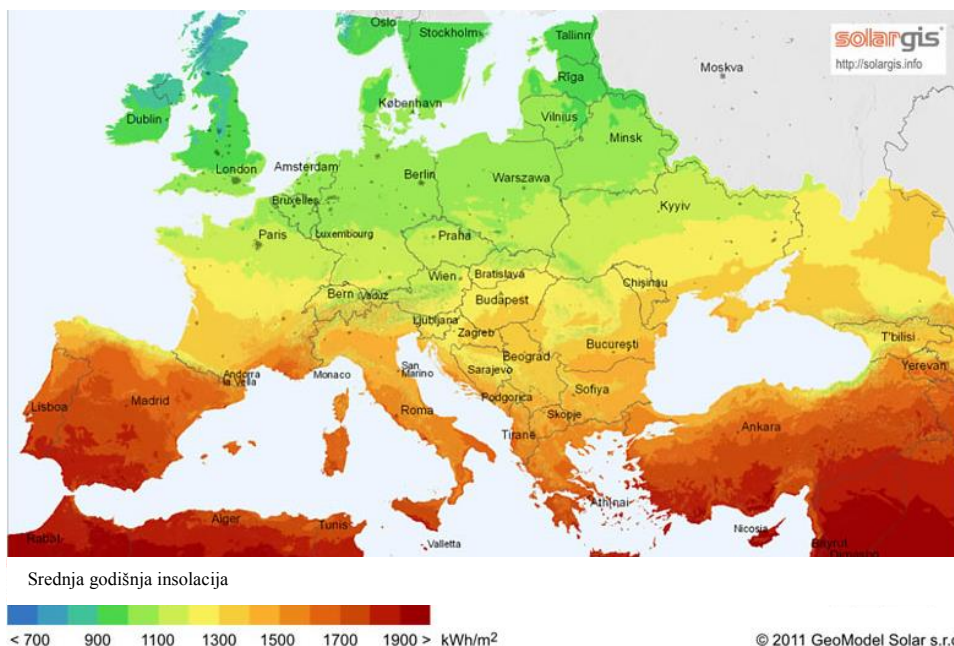
Ukupna godišnja proizvodnja 2007. (MW)	27061	Ukupna godišnja proizvodnja 2007. (MW)	27061
Ukupna godišnja potrošnja 2007. (MW)	18048	Ukupna godišnja potrošnja 2027. (MW)	22184
<b>razlika(MW)</b>	<b>9014</b>	<b>razlika (MW)</b>	<b>4877</b>

Što se tiče volumena spremnika on je dobiven uvrštavajući dobivenu snagu postrojenja u formulu 3.5. i iznosi  $V_0 = 3,8 \text{ hm}^3$ . Također je potrebno, pošto se Vis nalazi na krškom području gdje su stijene porozne, osigurati geofoliju za dno i bočne površine i prekrivanje gornje površine spremnika za bolju retenciju i sprječavanja isparavanja akumulirane vode.

#### 4.1. Granične vrijednost i troškovi

Isplativost ovakvih sustava uveliko ovisi o lokaciji, geografskoj širini, odnosno o intenzitetu i trajanju sunčevog zračenja. Da bi sustav bi isplativ minimalni iznos insolacije mora biti oko  $900 \text{ kWh/m}^2$ . Njemačka je u doljnoj granici isplativosti što se vidi na slici 4.1., ali je to nije sprječilo u izgradnji velikog broja solarnih farmi kao npr. najveće u zemlji *Solarpark Meuro* koja ima ukupnu snagu od 166 MW.





**Slika 4.1.** Srednja godišnja insolacija u Europi

(Autor SolarGIS © 2011 GeoModel Solar s.r.o.,

<http://www.greenrhinoenergy.com/solar/radiation/empiricalevidence.php> pristupio 10.6.2017.)

Mali sustavi na razini kuća nisu isplativi zbog visokih investicijskih troškova. Troškovi su lako računljivi za fotonaponske sustave i sustave akumulacije vode (PSH). Cijene su sve povoljnije napretkom tehnologije i postoji široki izbor, ali trenutačne srednje cijene su 1,25 €/W<sub>P</sub> za solarne kolektore<sup>19</sup>, a za izgradnju spremnika za akumulaciju vode iznosi 0,382 €/W<sub>P</sub><sup>20</sup>. Računajući s time troškovi izgradnje su (tablica 4.5.) :

Tablica 4.5. Izračunati troškovi izgradnje postrojenja 25,1 MW

Fotonaponski kolektori (1,25 €/W <sub>P</sub> )	31,375 mil. €
PSH (0,382 €/W <sub>P</sub> )	9,59 mil. €
<b>ukupno</b>	<b>40,965 mil. €</b>

#### 4.2. Životni vijek i CO<sub>2</sub> u životnom ciklusu postrojenja

Životni vijek fotonaponskih kolektora iznosi približno 25 godina i većina proizvođača garantira unutar tih 25 godina zadovoljavajuću efikasnost. Efikasnost kolektora godinama opada ovisno o uvjetima i tipu kolektora.<sup>21</sup>

Iako HE i fotonaponski kolektori spadaju u „zelenu tehnologiju“ u samoj proizvodnji i izgradnji postoje emisije u okoliš. Hidroelektranama se zamjera da, osim emisija tijekom same izgradnje postrojenja, imaju specifičnu problematiku u izgradnji i životnom vijeku spremnika. Potapanjem područja koje će služiti kao spremnik pokreće se razgradnja organizama i organskih tvari te se razvijaju biogeni staklenični plinovi (između kojih su CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub>).<sup>22</sup> Emisije za HE su procjenjene ovisno o njihovoj snazi i veličini spremnika i kreću se od 27,2-709 gCO<sub>2e</sub>/kWh.<sup>23</sup>

Međutim, taj problem ne postoji kod reverzibilnih hidroelektrana jer kod njih voda stalno cirkulira, a sami spremnici (gornji i donji) mogu se izgraditi praktički na svim lokacijama gdje postoji visinska razlika. Dakle, radi se o sustavu koji praktički i nema utjecaja na okoliš tijekom eksploatacije.

Što se tiče emisija CO<sub>2</sub> vezanih uz životni vijek fotonaponskih kolektora, one ovise o vrsti kolektora i kreću se od 20,5 gCO<sub>2e</sub>/kWh za *thin-film* kolektore i do 43 gCO<sub>2e</sub>/kWh za monokristalične kolektore.<sup>24</sup>

Ovi podaci bi mogli biti obeshrabrujući, ali u usporedbi sa ostalim izvorima energije ovakav sustav bi i dalje imao manje emisija CO<sub>2e</sub> od nekih kao što se vidi u tablici 4.6.

Tablica 4.6. Emisije CO<sub>2e</sub> u životnom ciklusu (LC) generatora električne energije

<b>Generatori električne energije na:</b>	<b>Emisije CO<sub>2e</sub> u LC , gCO<sub>2e</sub>/kWh</b>
<b>Ugljen</b>	960-1050
<b>Diesel</b>	778
<b>Prirodni plin</b>	443
<b>Biomasa</b>	14-35
<b>Vjetar</b>	10
<b>Solarna termalna energija</b>	13
<b>Nuklearna energija</b>	66

## 5. ZAKLJUČAK

Povećanjem udjela neintegriranih sustava obnovljivih izvora energije u ukupnoj energetske proizvodnji povećava se nesigurnost energetske opskrbe zbog njihove stohastičke prirode. Samim time raste broj rezervnih energetskih alternativa koje su u pričuvi u slučaju kad sustavi obnovljivih izvora energije ne proizvode energiju.

Implementacijom integriranih sustava koji uključuju fotonaponske kolektore s RHE sa dvije cijevi, osigurava se kontinuirana mogućnost proizvodnje energije iz obnovljivih izvora. Specifičnost ovog integriranog sustava je njegova jednostavnost izvedbe i izgradnje, mogućnost izgradnje samo jednog spremnika u priobalnom području, mogućnost kontinuirane proizvodnje energije, te sami karakter rada u kojem nema štetnih emisija u okoliš. Negativne strane su: potrebe za velikom površinom za izgradnju sustava, relativno veliki investicijski troškovi, troškovi prilagodbe koroziji u slučaju korištenja morske vode i to što je sam koncept ovog sustava relativno novi i još uvijek neistražen.

U radu je prikazan vrlo jednostavan iteracijski način dimenzioniranja sustava, ali s obzirom na stohastičku prirodu ulaza i izlaza energije i složenijih metoda koje su nužne za proračun, ovakav način dimenzioniranja sustava može poslužiti inženjerima u praksi za relativno grubu, ali i dovoljno dobru procjenu veličine sustava.

Radom su proračunati osnovni parametri sustava: snaga sustava  $P=25,1$  MW, površina PV  $A_{PV}=156875$  m<sup>2</sup>, spremnik volumena  $V_0=3.8$  hm<sup>3</sup>, i odabrana lokacija na otoku Visu, na 235 m nv u mjestu Oključana na južnoj strani otoka. Snaga integriranog sustava je projektirana 50% više od potrebne zbog osiguravanja budućnosti sustava usljed povećanja potrošnje i mogućih preinaka ili proširenja postrojenja. Cijena samog sustava je procijenjena na 40,965 mil. €, ali bi s tim iznosom otok Vis dobio potpunu energetske neovisnost tijekom cijele godine, pri čemu bi se značajno smanjile emisije stakleničnih plinova.

Integrirani sustavi koji uključuju obnovljive izvore energije su relativno nov koncept i imaju izrazito veliki potencijal za daljnji razvoj i korištenje.

## 6. SIMBOLI

$a, b$	koeficijenti ovisni o promatranom mjestu
$A_{PV}$	ukupna površina fotonaponskih kolektora, $m^2$
$CO_{2e}$	ekvivalent $CO_2$
$E_{consume}$	energija potrošača, kWh
$E_{el}$	električna energija, kWh
$E_{el(PV)}$	električna energija dobivena fotonaponskim kolektorima, kWh
$E_{el(RHE)}$	električna energija dobivena reverzibilna hidroelektranom, kWh
$E_s$	srednja dnevna ozračenost horizontalne plohe (prizemno zračenje), kWh/ $m^2$ dan
$E_{s0}$	srednja dnevna ekstraterestička ozračenost horizontalne plohe, kWh/ $m^2$ dan
G	generator
HE	hidroelektrana
M	motor
P	pumpa
PSH	skladištenje energije u obliku vodnog potencijala
PV	fotonaponski kolektori
RHE	reverzibilna hidroelektrana
S	moгуće trajanje insolacije, h/dan
s	stvarno trajanje insolacije, h/dan
T	turbina
t	vrijeme
$T_0$	temperatura okoline, °C
$T_a$	temperatura zraka, °C
$T_{cell}$	temperatura fotonaponskog kolektora, °C
$V_0$	volumen spremnika, $hm^3$
$\alpha_C$	koeficijent promjene efikasnosti s temperaturom
$\eta_{(PSH)}$	efikasnost PSH sustava
$\eta_{0(PV)}$	efikasnost fotonaponskog sustava
$\Psi^*, \Psi$	parametri temeljeni na lokacijskim karakteristikama i tehnološkim svojstvima korišteni za izračunavanje volumena spremnika PSH

## 7. LITERATURA

1. World energy council, World Energy Resources, 2013 Survey

[https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete\\_WER\\_2013\\_Survey.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf) (pristupio 10.2.2017.)

2. EUROPSKA KOMISIJA, PRIOPĆENJE ZA TISAK (Bruxelles, 22.1.2014.), Klimatski i energetske ciljevi za 2030. u pogledu konkurentnog, sigurnog i niskougljičnoga gospodarstva EU-a

3. Margeta J., Glasnović Z., (2011.), Hybrid RES-HEP Systems Development, Water Resource Manage

4. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-05-16/germany-just-got-almost-all-of-its-power-from-renewable-energy> (pristupio 20.5.2017)

5. Glasnović Z., Margeta J., (2009.), The features of sustainable Solar Hydroelectric Power Plant, Renew Energy 34:1742-1751

6. Labudović B., (2011.), Osnovne primjene fotonaponskih sustava, Energetika marketing, 50-52

7. Glasnović Z., Predavanje: 12. Fotonaponska tehnologija, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu

8. Kibria M.T., Ahammed A., Sony S.M., Hossain F., Shams-Ul-Islam (2014.), A Review: Comparative studies on different generation solar cells technology, Proceedings of 5th International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh [ICEAB 2014]

9. Budin R., Mihelić Bogdanić A., (2013.), Izvori i gospodarenje energijom u industriji, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Element, 109-110

10. Potočnik V., Lay V., (2002.), *Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj*, Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja Republike Hrvatske,
11. Union of Electric Industry EURELECTRIC, (2003.) *Efficiency in Electricity Generation July 2003*, EURELECTRIC “Preservation of Resources” Working Group’s “Upstream” Sub-Group in collaboration with VGB
12. Margeta J., Glasnović Z., (2011.), *Concept-H: Sustainable Energy Supply, Hydropower Applications*, World Renewable Energy Congress 2011, Sweden, Stockholm
13. <http://energystorage.org/compressed-air-energy-storage-caes> (pristupio 26.8.2017.)
14. Fujihara T., Imanom H., Oshima K., (1998.), *Development of Pump Turbine for Seawater Pumped-Storage Power Plant*, Hitachi Review Vol. 47 (1998), No. 5
15. Otmačić Ćurković, H., *Predavanja iz kolegija Korozija i okoliš*, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu
16. Glasnović, Z. , Margeta, K. , Premec, K., (2016.), *Could Key Engine, as a new open-source for RES technology development, start the third industrial revolution?*, *Renew. Sust. Ener. Rev.* 57 (2016) 1194–1209
17. Glasnović, Z., Margeta, K., Omerbegović, V., (2013.), *Artificial Water Inflow Created by Solar Energy for Continuous Green Energy Production*, *Water Resour Manage*, 11269-013-0289-0
18. Palčić, I., (2016.), *Turizam u brojkama 2016.*, Ministarstvo turizma Republike Hrvatske [http://www.mint.hr/UserDocsImages/170605\\_TUB-HR\\_%20016.pdf](http://www.mint.hr/UserDocsImages/170605_TUB-HR_%20016.pdf) (pristupio 27.8.2017.)
19. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/solar-pv-prices-to-fall-below-1.00-per-watt-by-2020> (pristupio 4.7.2017.)

20. Deane, J. P., Ógallachóir, B.P.,McKeogh E.J., (2010.), Techno-economic review of existing and new pumped hydroenergy storage plant., *RenewSustainEnergyRev* (2010), 14:1293-302
21. <http://energyinformative.org/lifespan-solar-panels/> (pristupio 27.8.2017.)
22. Scherer, L., Pfister, S., (2016.), Hydropower's Biogenic Carbon Footprint, *PLOS One* (2016),11(9)
23. [http://www.ucsusa.org/clean\\_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-hydroelectric-power.html#.WaLiRbIjGUK](http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-hydroelectric-power.html#.WaLiRbIjGUK) (pristupio 27.8.2017.)
24. <http://www.lowtechmagazine.com/2008/03/the-ugly-side-o.html> (pristupio 27.8.2017.)
25. Sovacool, B. K., (2008.), Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey, *Energy Policy* 36 (2008) 2940– 2953