

Šolski center Celje

Srednja šola za gradbeništvo in varovanje okolja

Raziskave in razvoj čistilnega sistema  
na področju sončnih elektrarn

Avtorji:  
Bojan Povhe, 4. b  
Nino Špan, 4. b  
Anja Povalej, 4. b

Mentor: prof. Iztok Gornjak

Mestna občina Celje, Mladi za Celje  
Celje, 2012

## I. ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujemo vsem, ki so nam pomagali pri raziskovalni nalogi. Hvala profesorju Iztoku Gornjaku za sodelovanje, pomoč in usmerjanje ob raziskovanju, vsem predstavnikom fotonapetostne elektrarne Energetika Vransko, še posebej direktorju g. Marku Krajncu, za dovoljenje odvzema meritev in potrebnih informacij. Za dodatne napotke se zahvaljujemo tudi profesorjem v šoli, ki so nam kakorkoli pripomogli. Raziskovalno nalogo je lektorirala mag. Nataša Koražija, prof. slov., kateri prav tako velja naša zahvala.

## II. POVZETEK

Raziskovalna naloga »Raziskave in razvoj čistilnih sistemov na področju sončnih elektrarn« zajema problem onesnaženosti fotovoltaičnih modulov.

Na podlagi izmerjenih meritev smo izračunali dobičkonosno vrednost proizvedene električne energije ter podatke predstavili v grafih.

Onesnaženost modulov je eden največjih problemov fotovoltaičnih elektrarn, saj se zaradi njega izkoristki elektrarn bistveno zmanjšajo, posledično pa tudi količina proizvedene električne energije.

Pred opisi merjenj fotovoltaične elektrarne Energetika Vransko smo opisali in preučili področje sončne energije in fotovoltaike. Na kratko smo predstavili sončne elektrarne v Sloveniji ter se na podlagi meritev odločili za čistilni sistem s pomičnimi pršilniki.

Na podlagi zbranih in analiziranih meritev smo ugotovili, da se v cca. 20 letih (v življenjski dobi fotonapetostne elektrarne Energetika Vransko) čistilni sistem kakovostno in dobičkonosno odnese.

Če vzamemo podatek 0.29 € izplačila za eno kWh pridelane energije s čistilnim sistemom za fotonapetostno elektrarno Energetike Vransko v vrednosti 3.200 €, se nam letno poveča vrednost pridelane energije za 1.671 kWh, kar je 486 € na leto.

Čistilni sistem bomo izplačali v 6.5 letih, kar pomeni, da nam bo nadaljnih 13.5 let elektrarna letno prinesla 1.671 kWh več električne energije. Torej bomo v 13.5 letih s čistilnim sistemom pridelali 22.558 kWh več kot kot brez čistilnega sistema.

## Kazalo vsebine

I. ZAHVALA .....	1
II. POVZETEK .....	2
Kazalo vsebine .....	3
Kazalo slik .....	4
Kazalo tabel .....	4
Kazalo grafov .....	4
1. UVOD .....	5
2. SONČNA ENERGIJA .....	6
2.1. Kako lahko sončno energijo uporabljamo .....	6
2.2. Prednosti in slabosti izkoriščanja sončne energije .....	7
2.3. Svetovno stanje sončne energije .....	7
2.4. Stanje sončne energije v Sloveniji .....	7
3. FOTOVOLTAIKA .....	10
3.1. Proces pretvorbe sončne energije v električno .....	10
3.2. Prednosti in slabosti fotovoltaičnih sistemov .....	11
3.3. Področje fotovoltaike .....	12
4. SONČNE ELEKTRARNE .....	15
4.1. Onesnaženost sončnih elektrarn .....	15
4.2. Onesnaženost modulov .....	16
4.3. Vzdrževanje sončnih elektrarn .....	16
5. ČISTILNI SISTEMI ZA SONČNE ELEKTRARNE .....	17
5.1. Zgradba .....	17
6. OPIS ELEKTRARNE .....	20
6.1. Podatki o modulu stacionarne in fasadne enote: .....	20
7. MERITVE .....	24
8. ZAKLJUČEK .....	27
9. VIRI .....	29

## Kazalo slik

Slika 1: Prikaz svetovnega stanja sončnega obsevanja .....	7
Slika 2: Globalno letno obsevanje na horizontalno površino v Sloveniji. ....	9
Slika 4: Shema čistilnega sistema za čiščenje sončnih elektrarn .....	17
Slika 5: Primer čiščenja sončnih elektrarn .....	18
Slika 6: Čistilna naprava za prečiščevanje vode .....	18
Slika 7: Rezervoar čistilne mešanice za čistilni sistem .....	19
Slika 8: Primer čiščenja sončnih celic .....	19
Slika 9: Fotonapetostna elektrarna Energetika Vransko .....	21
Slika 10: Fotonapetostna elektrarna na steni Energetike Vransko .....	22
Slika 11: Fotonapetostni moduli .....	23

## Kazalo tabel

Tabela 1: Gostota moči sončnega sevanja pri različnih vremenskih razmerah.....	8
Tabela 2: 50 največjih elektrarn v Sloveniji.....	13
Tabela 3: Podatki o modulu stacionarne in fasadne enote .....	20
Tabela 4: Podatki o Modulu sledilne enote .....	23
Tabela 5: Rezultati meritev ročnega čiščenja sončne elektrarne.....	24

## Kazalo grafov

Graf 1: Kumulativno inštalirana moč sončnih elektrarn v Sloveniji po posameznih letih.....	14
Graf 2: Napoved do leta 2020 pri 30-odstotni letni rasti sončnih elektrarn .....	14
Graf 3: Količina pridobljene električne energije .....	25
Graf 4: Proizvodnja električne energije .....	25
Graf 5: Subvencionirani znesek proizvedene el. Energije .....	26
Graf 6: Vračilna doba v kWh .....	28
Graf 7: Vračilna doba v € .....	28

## 1. UVOD

Sonce, večni jedrski reaktor, je praktično neizčrpen vir obnovljive energije. Je čist in donosen vir, ki nama lahko zagotovi pomemben del energije za naše potrebe. Energija, ki jo sonce seva na zemljo, je 150-krat večja od naših trenutnih letnih potreb po energiji. To je energija, ki se obnavlja, ne onesnažuje okolja in je hkrati brezplačna. Zato mora biti cilj izkoriščati to energijo v največjem možnem obsegu.

Zelena energija je vedno bolj zaželen in prav te energije bi morali pridelati vse več in več. Zato smo se na podlagi ozaveščenosti o potrebi pridelovanja zelene energije odločili raziskati maksimalno možno pridelavo električne energije s pomočjo fotonapetostnih modulov.

Pri predmetu Energija in okolje smo obravnavali temo sončna energija, kar nas je dodatno spodbudilo k raziskovalnemu delu.

Na našo odločitev o temi je pripomogel tudi letos sprejet zakon o zmanjšanju cene odkupa električne energije iz sončnih elektrarn.

K največji možnosti izkoristka sončne energije lahko pripomoremo s čistilnimi sistemi, zato želimo s to raziskovano nalogo dokazati:

- Ali se postavitve čistilnih sistemov obnese?
- Nam čistilni sistemi resnično pripomorejo k večji količini pridobljene energije?
- V kolikšnem časovnem obdobju se stroški pridobitve povrnejo?

Najprej smo zbrali že dokaj znane podatke o sončni energiji ter njene prednosti in slabosti izkoristka. Naš naslednji korak pa je proces pretvorbe sončne energije v električno s pomočjo sončnih elektrarn, ki smo jih zbrali in predstavili. Kasneje pa se lotili problema onesnaženosti in možnosti vzdrževanja.

Po pregledu zbrane literature je sledil terenski del. Na fotonapetostni elektrarni MFE Vransko smo opravili meritve, jih obdelali in predstavili v grafih. S slikami smo prikazali objekt fotonapetostne elektrarne Energetike Vransko.

Na koncu smo analizirali, pripravili podatke ter napisali raziskovalno poročilo in ugotovitve strnili v zaključek.

## 2. SONČNA ENERGIJA

Sončna energija je eden izmed mnogih obnovljivih virov energije na našem planetu, ki ga človeštvo pozna že stoletja. Dobra stvar sončne energije je, da je v nasprotju z drugimi viri obnovljive energije, kot sta na primer voda ali veter, prisotna skoraj povsod na svetu. Najboljša stvar pa je, da je sončna energija na Zemlji prisotna v zelo velikih količinah. Količina sončne energije, ki obseva naš planet, je trenutno kar 150-krat večja od naših trenutnih letnih potreb po energiji. Če bi znali izkoristiti vsak sončni žarek, ki pade na naša tla, bi s čisto in okolju prijazno proizvodnjo energije lahko hitro pokrili vse letne potrebe po energiji.

Izkoriščanje sončne energije poznamo že od začetka naše vrste. Seveda je bila ta energija najprej izkoriščena z namenom ogrevanja in osvetljevanja stanovanjskih površin. Takšen pasiven način izkoriščanja energije se uporablja še danes, saj vsakdo raje postavi hišo na sončno stran in tako pozimi prihrani nekaj denarja pri stroških kurjave.

### 2.1. Kako lahko sončno energijo uporabljamo

Da bi sonce lahko čim boljše izkoriščali moremo vedeti zakaj, kako in kje bomo to energijo pridobivali in jo uporabljali, ker za razliko od konvencionalnih goriv/virov, ki smo jih navajeni, s sončno energijo nismo oskrbovani preko žic ali pipe.

Vedeti moramo, koliko energije potrebujemo in koliko sonca nam je na razpolago. Količina sončne energije je odvisna od letnega časa in lokacije.

Sončno energijo lahko izkoriščamo na tri načine:

- S solarnimi sistemi za ogrevanje in osvetljevanje prostorov – pasivna izraba. Pomeni rabo primernih gradbenih elementov (okna, sončne stene, stekleniki ipd.) za ogrevanje stavb, osvetljevanje in prezračevanje prostorov.
- S sončnimi kolektorji za pripravo tople vode in ogrevanje prostorov – aktivna izraba. Pomeni rabo sončnih kolektorjev, v katerih se segreje voda za pripravo tople vode in zrak za ogrevanje prostorov.
- S sončnimi celicami za proizvodnjo električne energije – fotovoltaika. Gre za pretvorbo sončne energije neposredno v električno energijo preko sončnih celic. Proces pretvorbe je čist, zanesljiv in potrebuje le svetlobo kot edini vir energije.

## 2.2. Prednosti in slabosti izkoriščanja sončne energije

Prednosti izkoriščanja sončne energije:

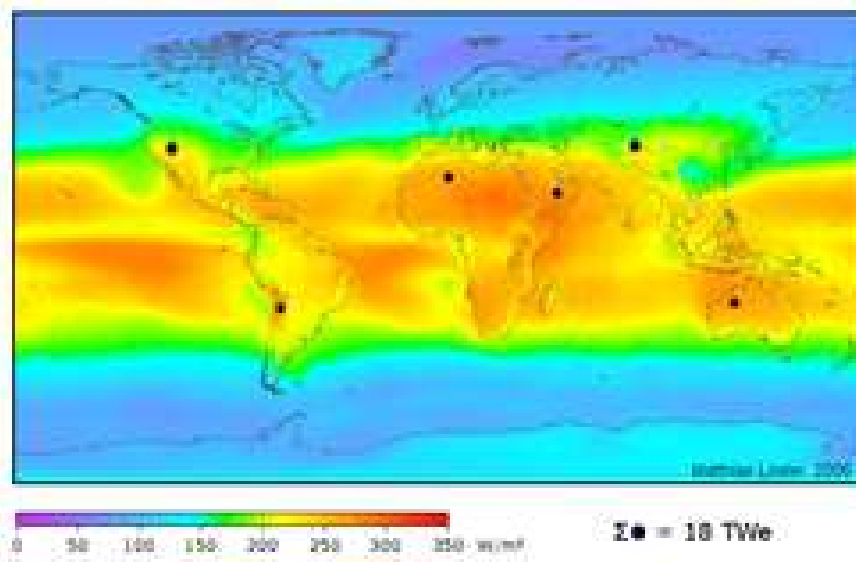
- Proizvodnja električne energije iz fotovoltaičnih sistemov je okolju prijazna.
- Izkoriščanje sončne energije ne onesnažuje okolja.
- Proizvodnja in poraba sta na istem mestu.
- Fotovoltaika omogoča oskrba z električno energijo odročnih področij in oddaljenih naprav.

Slabosti izkoriščanja sončne energije:

- Težave pri izkoriščanju sončne energije zaradi različnega sončnega obsevanja posameznih lokacij.
- Cena električne energije pridobljene iz sončne energije je veliko dražja od tiste, proizvedene iz tradicionalnih virov.

## 2.3. Svetovno stanje sončne energije

Sončno sevanje, ki doseže površino zemlje, je sestavljeno iz dveh delov, neposredno in razpršeno. Preprosto povedano, neposredno sevanje povzroča sence, difuzno pa je odgovorno za svetlobo neba. Dnevno svetovno sončno obsevanje je vsota sončne energije za en dan. Z letnim časom in geografsko širino je na neki poziciji na zemlji določen maksimalen možen čas sončnega obsevanja.



Slika 1: Prikaz svetovnega stanja sončnega obsevanja

## 2.4. Stanje sončne energije v Sloveniji

Celoten potencial sončnega sevanja za Slovenijo znaša približno 23.000 TWh, kar je nad 300-krat več kot znaša raba energije. Novejše študije kažejo, da je razpoložljivo pri obstoječih tehnologijah približno 960 GWh na leto, kar je enako približno polovici slovenskega deleža



proizvodnje električne energije iz Nuklearne elektrarne Krško oziroma dobri tretjini letne elektrike iz Dravskih elektrarn. Danes izkoriščamo le približno 28 GWh, kar je le 3 procente ocenjenega tehničnega potenciala. V zimskem času, ko je potreba po ogrevalni energiji največja, dobimo pa žal le približno 10–15 procentov celotne letne količine sončne energije. Podatki o letnem številu ur sončnega obsevanja za nekatere slovenske kraje za leto 2010 kažejo, da bistvenih razlik v trajanju osončenosti ni, razen seveda v primorskem delu.

Povprečno dnevno globalno sevanje v Ljubljani je približno 0.8 kWh/m<sup>2</sup> pozimi ter do približno 5 kWh/m<sup>2</sup> poleti. V vsem letu prejme kvadratni meter vodoravne sprejemne ploskve približno 1.100 kWh sončne energije, od tega spomladi približno 320 kWh, poleti 480 kWh, jeseni 190 kWh in pozimi 110 kWh. V Sloveniji je trenutno instaliranih okoli 82.000 m<sup>2</sup> sončnih kolektorjev, ki proizvajajo letno skoraj 29.000 MWh energije.

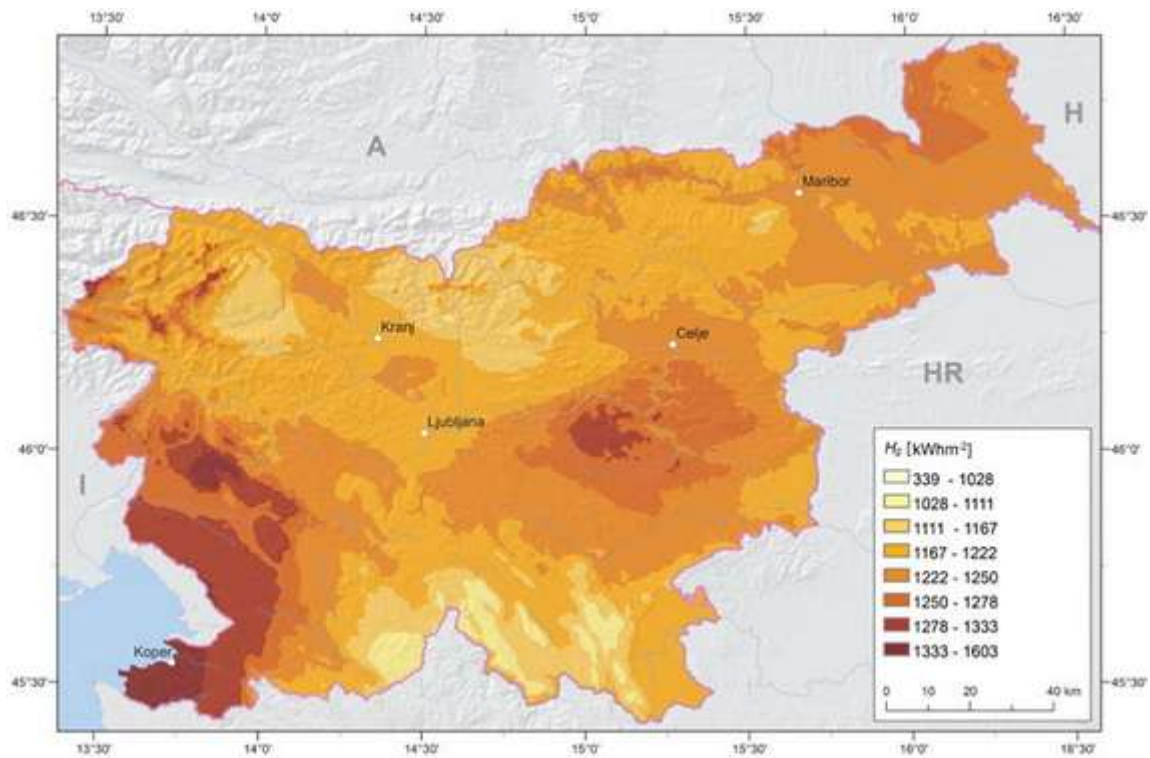
V energetske strategiji Slovenije je bil opredeljen cilj proizvodnje in vgradnje 200.000 m<sup>2</sup> kolektorjev do leta 2010. Z uporabo sončnih kolektorjev za pripravo tople vode v gospodinjstvih lahko v idealnih razmerah pričakujemo prihranke energije tudi do 50 %. Vgradnja sončnih celic v Sloveniji trenutno sicer še ne sledi tempu vgradnje kolektorjev, vendar pa se že kažejo pomembni rezultati na področju sistemov za električno oskrbo objektov, ki nimajo možnosti priključka na omrežje.

Tabela 1: Gostota moči sončnega sevanja pri različnih vremenskih razmerah

vreme	jasno	megleno/oblačno (sonce le slabo vidno)	oblačno (sonce ni vidno)
celotno sevanje [Wm-2]	600–1.000	200–400	50–150
difuzni delež [%]	10–20	20–80	80–100

Povprečno sončno obsevanje na kvadratni meter horizontalne površine je v Sloveniji večje od 1.000 kWh/m<sup>2</sup>. Desetletno merjeno povprečje (1993–2003) letnega globalnega obsevanja je med 1.053 in 1.389 kWh/m<sup>2</sup> (Slika 1), pri čemer polovica Slovenije prejme med 1.153 in 1.261 kWh/m<sup>2</sup>. Povprečno obsevanje poljubne nesenčene lokacije v Sloveniji ne odstopa veliko od državnega povprečja, kljub temu pa lahko Slovenijo razdelimo na posamezna področja.

V osrednji Sloveniji znaša povprečno sončno obsevanje na horizontalno površino okoli 1.195 kWh/m<sup>2</sup>, v severovzhodni Sloveniji in severni Dolenjski okoli 1.236 kWh/m<sup>2</sup>, na Primorskem in Goriškem pa presega vrednost 1.300 kWh/m<sup>2</sup>. Večje vrednosti obsevanja (preko 1.250 kWh/m<sup>2</sup>) lahko opazimo tudi v Posavskih hribovjih in na Kozjanskem.



Slika 2: Globalno letno obsevanje na horizontalno površino v Sloveniji.

(Vir: D. Kastelec, J. Rakovec, K. Zakšek, Sončna energija v Sloveniji, ZRC SAZU, 2007, str. 76)

### 3. FOTOVOLTAIKA

Fotovoltaika je ena izmed obnovljivih virov energije in predstavlja najsodobnejšo tehnično inovacijo na področju izkoriščanja sončne energije, kjer se s pomočjo posebnih molekularnih materialov sončna energija, natančneje energija fotonov, pretvarja v električno energijo. Teorijo fotovoltaičnega efekta je prvi opisal Albert Einstein in zanj leta 1921 prejel Nobelovo nagrado, verjel pa je tudi, da je slednje odkritje pomembnejše od relativnostne teorije.

Tehnološka platforma za fotovoltaiko opredeljuje pojem fotovoltaike kot »vedo, ki preučuje pretvorbo energije svetlobe, natančneje energije fotonov v elektriko.« Gre torej za mlado hitro rastočo znanstveno panogo, ki se ukvarja z neposrednim pretvarjanjem svetlobne energije v električno s pomočjo fotonapetostnih sistemov. Fotonapetostni sistem je sestavljen iz amorfnih, polikristalnih ali monokristalnih sončnih celic, le-te pa so povezane v sončne panele (tehnološka platforma za fotovoltaiko). Ker pri pretvorbi v ozračje ne izpuščamo toplogrednih in drugih zdravju škodljivih plinov, je produkt fotovoltaičnega procesa zelena električna energija, saj je proizvedena iz obnovljivih virov energije, ki so okolju in družbi prijaznejši vir energije. Proces pridobivanja zelene energije poteka na naraven, čist in ekološki način, kjer ne povzročamo škode okolju in ne povzročamo odvečnega hrupa ter odpadkov. Opredeljuje fotovoltaiko kot najsprejemljivejši obnovljiv vir, ki ga odlikuje njegova modularnost, razpršenost, robustnost, neslišnost delovanja, ekološkost in cenovna konkurenčnost«. Kot vir električne energije se fotovoltaični sistemi uporabljajo predvsem na odročnih področjih, kjer so drugi energetski viri težje dostopni in ni možnosti priključitve na obstoječe omrežje. Ekonomsko učinkovita je tudi uporaba v urbanih središčih, kjer se odvečna energija posreduje oz. proda v javno električno omrežje.

89 PW sončne energije, ki vsakodnevno doseže površje Zemlje, je več kot dovolj in je skoraj 6.000-krat več kot 15 TW, ekvivalentnih povprečni porabi energije na svetu. Poleg tega ima pridobivanje električne energije iz sončnega sevanja (globalno v povprečju  $170 \text{ W/m}^2$ ) največji izkoristek izmed vseh obnovljivih virov.

#### 3.1. Proces pretvorbe sončne energije v električno

Proces proizvodnje električne energije nastaja s pomočjo sončnih celic, ki so sestavljene iz polprevodniškega materiala, ki je prilagojen sistemu tako, da sprošča elektrone. Elektroni so negativno nabiti delci in so osnovni element pri proizvodnji zelene električne energije. Najpomembnejša lastnost polprevodnikov je, da imajo sposobnosti prevajanja električnega toka samo v eni smeri – torej so to diode, če so zagotovljeni določeni potrebni pogoji. Silicij (Si) je trenutno eden izmed daleč najbolj razširjenih polprevodniških materialov, ki se uporabljajo za izdelavo sončnih celic. Polprevodniško lastnost pa lahko izkoriščamo tudi pri nekaterih drugih materialih in snoveh, ki imajo sposobnost prevajanja električnega toka – ti so na primer germanij (Ge) kadmijev sulfid (CdS), kadmijev arsnid (CdAs), bakrov sulfid (Cu<sub>2</sub>S) in kadmijev telurid (CdTe).

Vse fotovoltaične celice imajo najmanj dve plasti polprevodniškega materiala, enega s pozitivnim in enega z negativnim nabojem. Ko se svetlobni žarek dotakne polprevodnika, električno polje v središču teh dveh plasti povzroči pretok električne energije in ustvari enosmerni tok. Večje kot je sončno sevanje, večji je izkoristek energije. Fotovoltaični sistemi za delovanje ne potrebujejo direktne sončne svetlobe in lahko proizvajajo elektriko tudi ob oblačnem dnevu, ampak je izkoristek sorazmeren gostoti oblakov (European photovoltaic technology platform).

### 3.2. Prednosti in slabosti fotovoltaičnih sistemov

Bradford ugotavlja, da ima fotovoltaična oziroma sončna elektrarna dve pomembnejši prednosti: modularnost in enostavnost. Modularnost v smislu namestitve natanko toliko kolektorjev, kolikor jih je potrebno, in prilagajanje na potrebe uporabnika. Enostavnost pa se kaže v nizkih izobraževalnih stroških za uporabnike, visoki zanesljivosti in v nizkih stroških vzdrževanja (Bradford 2006, 15).

Eden izmed najpomembnejših prednosti fotovoltaike je, da ob izkoriščanju sončne energije ne povzročamo izpustov ogljikovega dioksida, ki močno vpliva na globalno podnebje ter močno ogroža prihodnost ekosistema planeta. Zmanjšujejo se emisije in učinek tople grede, zaradi katerega nastaja ozonska luknja in se posledično izboljšuje tudi kakovost življenja na lokalni in nacionalni ravni.

Med ostale prednosti štejemo tudi, da je energija sonca brezplačen vir oz. gorivo, vendar je za vzpostavitev delovanja takšnega sistema potrebna velika začetna investicija. Kljub temu da je gradnja sončne elektrarne dražja, so stroški obratovanja že postavljenega sistema minimalni, saj je za uspešno delovanje potrebno le minimalno vzdrževanje. Medtem ko ostale možnosti obnovljivih virov energije zahtevajo večje posege v okolje in neprimerno več prostora, lahko fotovoltaične sisteme umestimo na že obstoječe strehe ali druge do sedaj neizkoriščene površine. Med najprimernejše objekte sodijo gospodarska poslopja, športni objekti, industrijske hale in kmetije. Poleg tega je sistem tudi tih in vizualno nemoteč. Oskrba z električno energijo je omogočena tudi na odročnih področjih in na oddaljenih napravah, kjer ni dostopa do javnega električnega omrežja. Ker sta proizvodnja in poraba energije locirani na istem mestu, ni potreben prenos energije in se le-ta ne izgublja (DGS 2008). Največja trenutna slabost uporabe fotovoltaične tehnologije je visoka cena začetne investicije in še vedno razmeroma slab izkoristek. Tehnologija fotovoltaike je šele v stopnji razvoja in potrebuje določen čas, da se le-ta izpopolni, vendar stalna zviševanja cen električne energije in vedno večja ozaveščenost o škodljivosti fosilnih goriv povečujejo konkurenčnost fotovoltaike.

### 3.3.Področje fotovoltaike

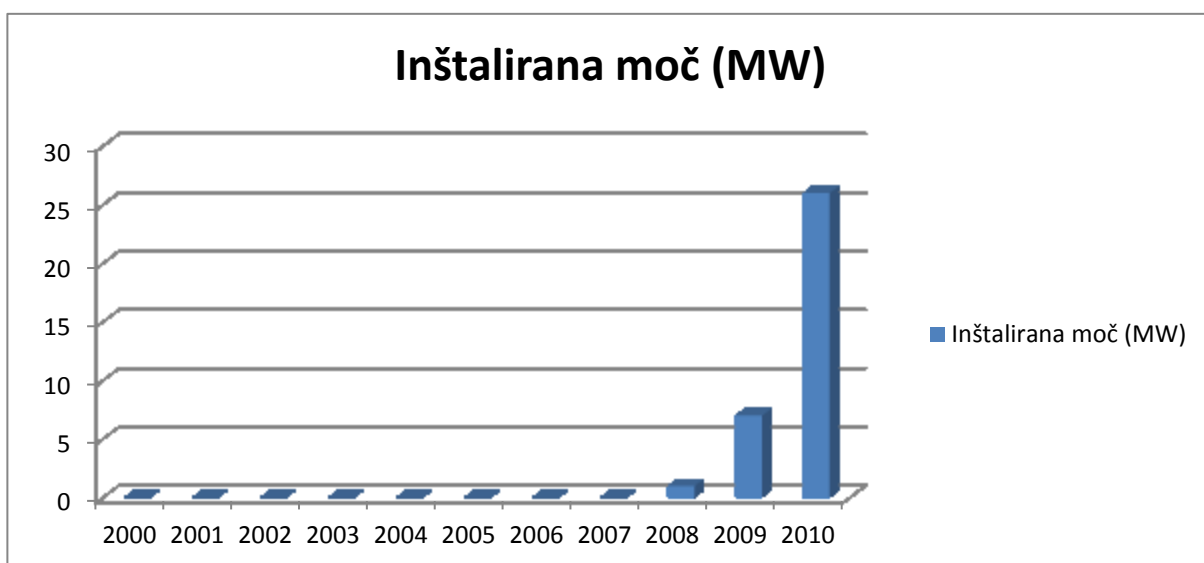
Fotovoltaika je panoga, ki velja za eno izmed najhitreje razvijajočih se svetovnogospodarskih tehnologij na področju obnovljivih virov energije. Opredeljuje, da »Sonce kot daleč največji obnovljivi in za človeka neomejeni energetski vir predstavlja potencial, kakršnega nima noben drug energetski vir.« Gre torej ta mlado panogo, ki je šele pred kratkim prišla na množičen industrijski nivo in se še ni popolnoma razvila. Trenutno so stroški pridobivanja električne energije iz fotovoltaičnih sistemov višji od stroškov električne energije, pridobljene iz neobnovljivih energetskimi viri – ne upoštevajoč stroškov škodljivih vplivov na okolje. Tako kot vse druge panoge, tudi fotovoltaika potrebuje svoj čas, da se tehnologija razvije, izpopolni in doseže potrebno stopnjo konkurenčnosti. A vendar se s konstantno in hitro rastjo svetovne proizvodnje in pospešenim vlaganjem v raziskave in razvoj konkurenčnost fotovoltaike hitro povečuje. Bradford ugotavlja, da »pri vsakokratni podvojitvi svetovne proizvodnje cena fotonapetostnih modulov upade za 20 odstotkov. Pri trenutni rasti panoge to pomeni, da proizvodna cena električne energije sonca vsako leto upade za od 7 do 9 odstotkov«. Posledično torej postaja fotovoltaika vsak dan bolj konkurenčna drugim konvencionalnim energetskim virom. Po besedah Bradforda naj bi »ob standardnem upadanju cen električne energije iz sonca in stalnem povečanju stroškov omrežne električne energije iz konvencionalnem energetskim virov, fotovoltaika dosegla točko preloma in konvergence najpozneje do leta 2014«. Po pričakovanjih drugih industrijskih analitikov, pa naj bi se točka preloma zgodila že pred letom 2012. Dolgoročen cilj panoge je usmerjen v zmanjševanje stroška sončne električne energije na 0.04 €. Na ta način bi postala fotovoltaika najcenejši in najperspektivnejši vir električne energije.

Fotovoltaična industrija deluje v polnem razmahu, saj je rast industrije sončne energije tako velika, da je v letu 2009 dosegla vrednost višjo id 13 milijard evrov letno. Ob koncu leta 2000 je bilo inštaliranih samo 1.200 MW, a je rast fotovoltaike tako velika, da je bila do konca leta 2007 kumulativna inštalirana kapaciteta fotonapetostnih sistemov v svetu večja od 9.200 MW. Tudi v prihodnje naj bi se panoga širila, kar jasno napoveduje komercialne in politične naveze, ki spodbujajo in podpirajo vse trenutne aktivnosti fotovoltaičnega sektorja. Cilj, ki se ga je zadala fotovoltaična industrija, je bistveno povečanje deleža sončne električne energije v globalni energetski bilanci in pri tem zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov, kot rezultat skupnih prizadevanj.

Na Sliki 3 je prikazana rast prodaje fotonapetostnih modulov v svetu med letoma 2000 in 2008 in napovedan trend rasti do leta 2012. Na Sliki 4 pa je prikazana rast prodaje fotonapetostnih modulov po svetu v odstotkih.

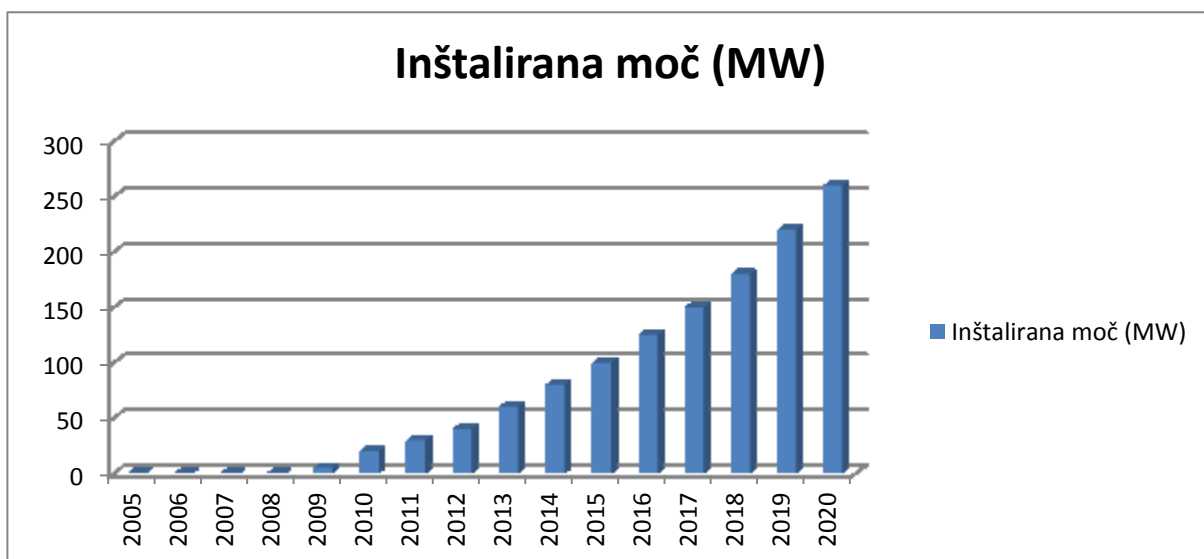
Tabela 2: 50 največjih elektrarn v Sloveniji

Ime sončne elektrarne	Kraj	Moč (kW)
SE ARCONT	Gornja Radgona	970
SFE Meblo	Nova Gorica	736
MFE Zlatorog	Celje	520
Fotonapetostna elektrarna Eldes II 704 kWp	Črnomelj	702
Fotonapetostna elektrarna Eldes III 809,6 kWp	Črnomelj	807,6
SFVE TEP 2 - KAL	Pivka	605
SFVE TEP 1 - KAL	Pivka	605
Sončna elektrarna SE PETSOLAR 999kWp	Kidričevo	949,85
Sončna elektrarna Gradišče	Obrov	505
Sončna elektrarna SE ŠESTSOLAR 999kWp	Kidričevo	949,85
MFE HOFER LUKOVICA	Lukovica	964,32
MFE Omahen	Litija	758
MFE OŠ VUZENICA	Vuzenica	140
MFE OŠ ŠMARTNO OB PAKI	Šmartno ob Paki	117
MFE OŠ ŠMARJE PRI JELŠAH	Šmarje pri Jelšah	248
SONČNA ELEKTRARNA BISOL - ŠPORTNA DVORANA OŠ SK	Slovenske Konjice	240
MFE INTEREUROPA II. DRAVOGRAD	Šentjanž pri Dravogradu	499
MFE INTEREUROPA I. DRAVOGRAD	Šentjanž pri Dravogradu	480
MFE Deržič 1	Dobova	432
Sončna elektrarna Deržič 2	Dobova	134
Solarna elektrarna MFE Pečica	Podplat	379,43
MFE Fortrade	Vrhnika	242
MFE ČAS RADLJE	Radlje ob Dravi	293,45
Sončna elektrarna Mitra	Puconci	360,87
Mala fotovoltaična elektrarna - TERMOGLAS 1	Boštanj	444,36
MFE GOLJEVŠČEK	Cirkovce	120,09
MFE INDUSTRIJSKI OBJEKTI NASIPI 45 TRBOVLJE	Trbovlje	389
MFE POGORELČNIK	Šentjanž pri Dravogradu	393,3
MFE MERKSCHA 1	Celje	450,4
Sončna elektrarna na strehah poslovnih objektov Agraria Koper	Koper	245,5
SFE APT POLJUBINJ	Tolmin	241,8
Sončna elektrarna Pomurske mlekarne	Murska Sobota	431,68
MALA SONČNA ELEKTRARNA FINGAL-OSNOVNA ŠOLA GORNJA RADGONA	Gornja Radgona	179,19
MFE Solteh-Surovina - mala fotonapetostna elektrarna	Maribor	324,53
Mala sončna elektrarna Ramuta 165,03	Križevci pri Ljutomeru	165,03
MFE Plut	Suhor	349,44
MFE Plan-net III	Preselje	145,53
MFE Emo-Orodjarna	Celje	249
Mala sončna elektrarna BIO SOLIS d.o.o.	Voličina	180
MFE MEDLE 1	Navo mesto	132
SFE TBMG	Nova Gorica	165



Graf 1: Kumulativno inštalirana moč sončnih elektrarn v Sloveniji po posameznih letih

Graf prikazuje kumulativno inštalirano moč sončnih elektrarn v Sloveniji po posameznih letih, v katerem je vidno, da moč z leti narašča. Največjo moč je sončna elektrarna dosegla v letu 2010 in bo z leti še naraščala.



Graf 2: Napoved do leta 2020 pri 30-odstotni letni rasti sončnih elektrarn

Graf prikazuje napoved moči do leta 2020 pri 30-odstotni rasti sončnih elektrarn, iz katerega razberemo, da se moč vsako leto močno stopnjuje, kar je za našo prihodnost ugodno.

#### 4. SONČNE ELEKTRARNE

Glede na večanje porabe električne energije, ki se skozi leta samo še stopnjuje, predvsem zaradi večanja števila porabnikov, je nujno iskati nove morebitne priložnosti za pridobivanje električne energije, eno izmed večjih priložnosti predstavlja sončna energija (Agencija za prestrukturiranje energetike).

Ko zasledimo pojem sončna elektrarna, najprej pomislimo na sončne celice, ki so postavljene na strehe ali v naravo s pomočjo nosilnih konstrukcij.

Sončne elektrarne so stroj, ki skrbi za neposredno pretvarjanje potencialne energije sonca v električno energijo. Proces pretvorbe poteka s pomočjo sončnih celic, katere so glavno vodilo za zagotovitev čistega in zanesljivega procesa, ki za delovanje potrebuje le svetlobo kot edini vir (Agencija ta učinkovito rabo energije). Sončne celice povezane med seboj tvorijo sončni modul ali sončni panel (PV – photovoltaic modul), ki je generator sončne elektrarne.

Sončne fotonapetostne elektrarne delujejo s pomočjo osnovnih elementov, ki ji lahko razdelimo v dva sklopa. V prvi sklop spadajo elektroenergetski elementi, katerih funkcija je pretvarjanje elektromagnetnega valovanja v enosmerni tok in napetost, ti elementi so sončni foto napetostni moduli. Drugega pa sestavljajo elementi, katerih glavna funkcija je proizvodnja električne energije. Ti elementi so na primer razsmernik, priključni kabli, spojišča DC in AC, regulatorji, akumulatorji, stikalne in zaščitne naprave ter drugi elektroenergetski materiali, potrebni za inštalacijske namene. Fotonapetostne elektrarne razdelimo na dve skupini:

- »otočne« elektrarne – to so elektrarne, ki niso priključene na električno omrežje, njihov namen pa je predvsem oskrba objekta z električno energijo, ker ni možnosti priključitve na električno omrežje;
- omrežni sistemi – so druga skupina sončnih elektrarn, ki so priključene na električno omrežje. Te elektrarne dajejo investitorju oziroma lastniku možnost odprodaje električne energije svojemu distributerju in lahko hkrati predstavljajo tudi vir dobička.

##### 4.1. Onesnaženost sončnih elektrarn

Po postavitvi, sončne elektrarne potrebujejo razmeroma malo vzdrževanja in ne potrebujejo velikega finančnega vlaganja v oskrbovanje, pa vendar je za optimalno delovanje pomembno, da jih redno pregledujemo in po potrebi opravimo vzdrževalna dela, saj le tehnično brezhibna sončna elektrarna zagotavlja maksimalne donose pri proizvodnji električne energije.

Sončne elektrarne, katere se nahajajo na lokacijah, kjer je visoka stopnja onesnaženosti in so vsakodnevno ali mesečno izpostavljene določenim vremenskim pojavom, morajo upoštevati senčenje, ki nastaja zaradi onesnaženosti modulov, kot kritični problem, saj fotovoltaični proces pridobivanja električne energije deluje optimalno le, če so fotonapetostne celice enakomerno izpostavljene sončni svetlobi. Zaradi dejstva, da sončna celica z najnižjo stopnjo sončne osvetlitve določa delovanje celotnega niza celic v vrsti, lahko trdimo, da lahko mala senca, kot je senca lista, antene ali dimnika, bistveno zmanjša možni izkoristek energije.

Lepeljiva umazanija, kot so na primer iztrebki ptic, cvetni prah ali izpušni plini iz ogrevalnih sistemov, lahko ostanejo na površini sončnih celic tudi ob hudih deževnih nevihtah. Ko se zaradi konstantnega onesnaževanja pojavijo lišaji, je te možno odstraniti le z ročnim čiščenjem. Najbolj kritičen del fotonapetostnega modula je spodnji rob, kjer se umazanija



nabira na robu okvirja. Med ponavljajočim se zbiranjem in izparevanjem vode med okvirjem in steklom se lahko nabere dovolj umazanije tudi za začetek zasaditve rastlin.

Onesnaženost oziroma akumulacija umazanije in prahu iz bližnjih industrijskih kompleksov, avtocest in železniških postaj lahko povzroči zmanjšanje razpoložljivosti dobičkov električne energije tudi do 10 odstotkov.

#### 4.2. Onesnaženost modulov

Fotonapetostne celice so izdelane iz polprevodnih snovi, to so snovi, katerih električna prevodnost je med polprevodnostjo kovin in izolatorjev. Najpomembnejša lastnost polprevodnikov je, da pod določenimi pogoji prevajajo električni tok samo v eni smeri. Silicij je tako daleč najbolj razpršen polprevodniški material za izdelavo sončnih celic. Ko združimo polprevodniški silicij z viškom elektronov in vrzeli, dobimo p-n spoj. V spoju se oblikujeta različna valenčna in prevodna pasova in nastane električno polje. To zadrži prodiranje elektronov iz n-sloja v p-sloj in obratno, prodiranje vrzeli iz p-sloja v n-sloj.

Onesnaženost modulov je eden največjih problemov fotovoltaičnih elektrarn, saj se zaradi njega izkoristki elektrarn bistveno zmanjšajo, posledično pa tudi količina proizvedene električne energije. Najbolje je storiti vse kar je možno, da do onesnaževanja modulov ne bi prišlo.

Fotovoltaične elektrarne so namreč vezane v vejo, v kateri je od 15 do 20 fotonapetostnih modulov (odvisno od velikosti elektrarn, senčenja, zunanjih dejavnikov,...). Pri sami montaži moramo biti pozorni na vse zunanje dejavnike, največji problem pa ostaja onesnaženost modulov. Namreč, če imamo onesnažen samo majhni del enega fotonapetostnega modula v veji, celotna veja deluje samo s tolikšnim izkoristkom kot deluje onesnažen del modula (padec izkoristka celotne veje znaša cca. 85%).

#### 4.3. Vzdrževanje sončnih elektrarn

Če so fotonapetostni moduli, ki sestavljajo sončno elektrarno, postavljeni pod dovolj velikim naklonom in v okolici ni večjih onesnaževalcev zraka (smog, cvetni prah, pesek), za njihovo čiščenje poskrbi dež. Pri postavitvi sončne elektrarne na skoraj ravnih strehah z nagibom pod 15 stopinj in v nečistem okolju pa je smiselno mehansko čiščenje modulov. To lahko izvaja le inštalater oziroma usposobljena oseba, saj je ob poškodbi električne napeljave ali modulov čiščenje lahko nevarno.

## 5. ČISTILNI SISTEMI ZA SONČNE ELEKTRARNE

Ko onesnaževanje povzroči osenčenje sončnih celic, se zmanjša izkoristek fotovoltaične elektrarne, a vendar je učinek onesnaženja možno izničiti z rednimi letnimi čiščenji.

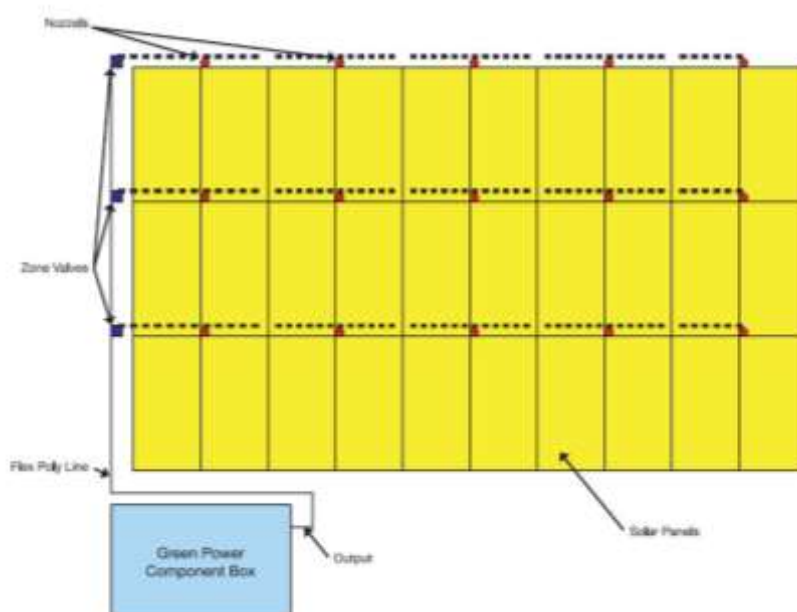
Nakup fotonapetostnih celic predstavlja dokaj visoko investicijo. Če dovolimo, da te sončne celice postanejo umazane, izgubimo kar nekaj možnega izkoristka. Če torej sončne celice nikoli ne počistimo, izgubimo veliko sončne energije. Izguba izkoristka sončne energije je lahko tudi do 25 procentna.

### 5.1.Zgradba

Čistilni sistem bo sestavljen iz pomičnih pršilnikov, cevi, nosilcev in računalniške podpore za pršilnike. Pršilniki bodo inštalirani v razmiku 1.00 m do max 2.00 m. V kolikor so solarni moduli integrirani v strešno konstrukcijo, je lahko avtomatsko čiščenje instaliramo samo ob zgornji vrsti modulov, če pa je fotovoltaična elektrarna izvedena z razmiki, pa morajo biti razpršilniki inštalirani v vsako vrsto.

Pršilniki se z nosilci pritrdijo na alu rob fotovoltaičnega modula in medsebojno povežejo s cevjo za dovod vode ter kablom za računalniško krmiljenje. Cev za dovod vode se lahko poveže s hišno vodovodno napeljavo ali z namenskim rezervoarjem čiste vode.

Sistem mora biti računalniško krmiljen zaradi samega senčenja modulov, tako da se pršilniki dvignejo na ustrezno višino samo ob samem delovanju, potem pa se spustijo pod višino modulov. Prav tako mora sistem delovati samo maksimalno 15 min dnevno, začetek delovanja pa mora biti pred samim zagonom elektrarne (v poletnem času pred 5. uro zjutraj). V kolikor se v poletnem času sprogramira še sistem čiščenja v opoldanskem času, se lahko omejen sistem uporablja tudi za hlajenje fotovoltaičnih modulov in tako še dodatno poveča izkoristek fotovoltaične elektrarne.



Slika 3: Shema čistilnega sistema za čiščenje sončnih elektrarn



Slika 4: Primer čiščenja sončnih elektrarn



Slika 5: Čistilna naprava za prečiščevanje vode



Slika 6: Rezervoar čistilne mešanice za čistilni sistem



Slika 7: Primer čiščenja sončnih celic

## 6. OPIS ELEKTRARNE

Fotonapetostna elektrarna MFE Energetika Vransko, katere investitor je podjetje Energetika Vransko, d. o. o., je sestavljena iz treh enot skupne moči 35.29 kW in predstavlja edino tovrstno elektrarno v Sloveniji.

Prva enota elektrarne je montirana na strehi poslovnega objekta Energetike Vransko. Na strehi poslovnega objekta je montiranih 80 polikristalnih fotonapetostnih modulov proizvajalca Bisol iz Latkove vasi. Montirani so pod optimalnim kotom 32° ter vezani v štiri različna polja, na katerih lahko popolnoma neodvisno merimo izkoristke in delovanje različnih polj. Druga enota fotonapetostne elektrarne je montirana na fasadi poslovnega objekta in predstavlja prvo tovrstno elektrarno v Sloveniji. Fotonapetostni moduli so montirani na fasadi objekta pod kotom 90°. Fasadni del fotonapetostne elektrarne sestoji iz 66 polikristalnih fotonapetostnih modulov, katerih proizvajalec je prav tako podjetje Bisol iz Latkove vasi. Fasadni del elektrarne je vezan v tri različna polja, prav tako z namenom določevanja izkoristkov in delovanja različnih polj (skrajno spodnje polje srednje polje skrajno zgornje polje).

### 6.1. Podatki o modulu stacionarne in fasadne enote:

Tabela 3: Podatki o modulu stacionarne in fasadne enote

Tip sončnih celic	Multikristalni silicij
Maksimalna moč	210 W–224 W
Toleranca moči	±3 %
Napetost pri maksimalni moči	28,2 V–28,9 V
Tok pri maksimalni moči	7,45 A–7,75 A
Temperaturni koeficient toka	+ 5,5 mA/°C
NOCT	44°C
Učinkovitost sončnih celic	14,4 %–15,3 %



Slika 8: Fotonapetostna elektrarna Energetika Vransko



Slika 9: Fotonapetostna elektrarna na steni Energetike Vransko

Tabela 4: Podatki o Modulu sledilne enote

Tip sončnih celic	Multikristalni silicij
Maksimalna moč	215 W
Toleranca moči	±5 %
Napetost pri maksimalni moči	39,8 V
Tok pri maksimalni moči	5,4 A
Temperaturni koeficient toka	+3,5 mA/°C
NOCT	44°C
Učinkovitost sončnih celic	17,3 %–19 %



Slika 10: Fotonapetostni moduli

MFE Energetika Vransko je postavljena z namenom opravljanja meritev izkoristkov fotonapetostnih modulov na različnih posameznih enotah elektrarne. Poleg možnosti izvajanja meritev zunanje temperature okolice imajo tudi možnosti meritev temperature fotonapetostnih modulov (kar močno vpliva na izkoristek elektrarne), meritev hitrosti vetra, sončnega sevanja, trenutno moč elektrarne, proizvedeno energijo, skupno proizvedeno energijo ter različnih delih fotonapetostne elektrarne.



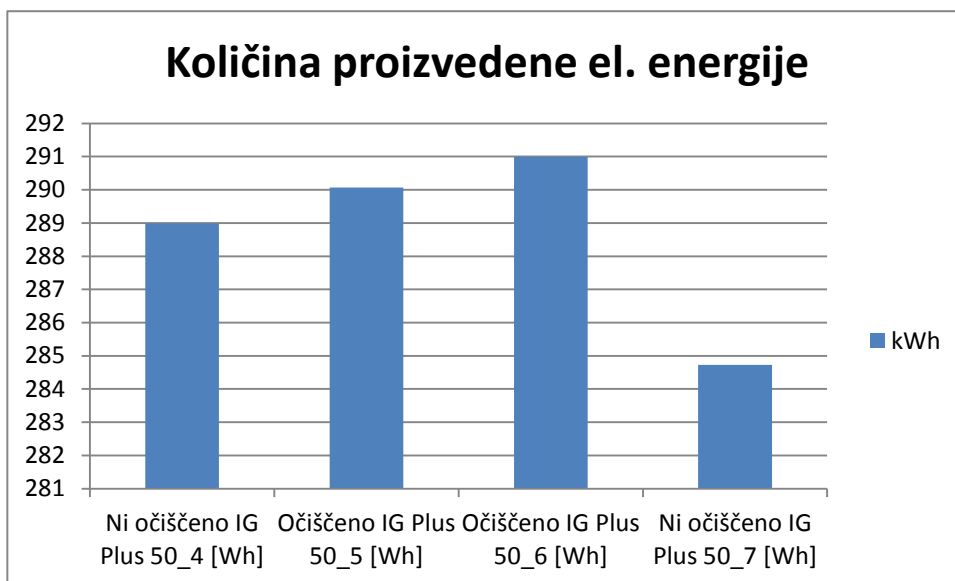
## 7. MERITVE

Meritve, ki so na elektrarni Energetike Vransko potekale vsakodnevno od 10. 9. 2011 do 25. 9. 2011 na štirih razsmernikih, od katerih sta bila dva redno očiščena, so prikazane v spodnji preglednici. Meritve so potekale v optimalnem letnem času, ko je sončno obsevanje maksimalno in so izkoristki elektrarne največji. Vsi razsmerniki so postavljeni na strehi objekta in so bili v času meritev izpostavljeni enakim zunanjem pogojem. Na letni ravni delovanja elektrarne je bilo v letu 2010 proizvedeno skupaj 29.154 kWh električne energije, kar je zelo malo za razliko od leta 2009, ko je bilo proizvedeno skupaj 33.422 kWh. Za slabšo proizvodnjo v letu 2010 so krive predvsem vremenske razmere – veliko snega v januarju in februarju ter dež in oblačnost v poletnih mesecih in jeseni.

Tabela 5: Rezultati meritev ročnega čiščenja sončne elektrarne

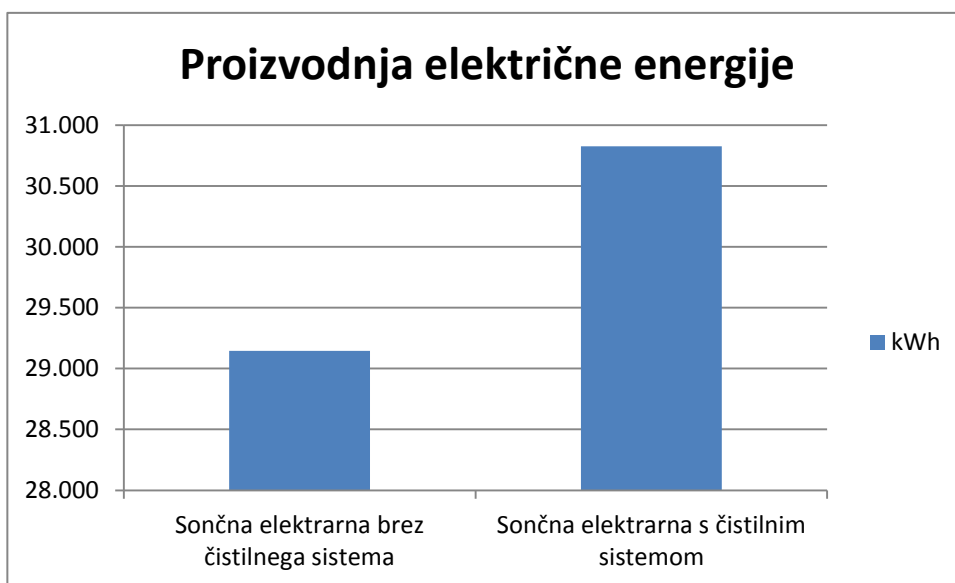
Datum	Ni očiščeno IG Plus 50_4 [Wh]	Očiščeno IG Plus 50_5 [Wh]	Očiščeno IG Plus 50_6[Wh]	Ni očiščeno IG Plus 50_7[Wh]
10. 9. 2011	19.929,61	19.884,42	20.026,43	19.565,63
11. 9. 2011	25.002,72	25.249,76	25.468,93	24.771,11
12. 9. 2011	23.763,33	24.165,22	24.290,86	24.374,77
13. 9. 2011	8.582,47	8.251,91	8.596,57	8.285,39
14. 9. 2011	20.050,82	20.126,93	20.129,10	19.745,63
15. 9. 2011	21.441,97	20.774,00	20.820,09	20.243,51
16. 9. 2011	18.626,81	18.526,40	18.689,64	18.081,17
17. 9. 2011	19.842,61	19.954,91	20.061,70	19.424,07
18. 9. 2011	10.965,36	10.697,25	11.009,94	10.714,89
19. 9. 2011	18.304,41	18.252,02	18.291,82	17.815,98
20. 9. 2011	11.332,19	11.095,27	11.341,15	10.801,07
21. 9. 2011	23.009,54	23.133,45	22.986,47	22.541,29
22. 9. 2011	24.177,36	24.797,98	24.564,80	24.185,02
23. 9. 2011	24.772,96	25.599,55	25.339,50	24.793,79
24. 9. 2011	19.175,20	19.559,88	19.366,25	19.433,55
25. 9. 2011	8,82	1,50	10,17	9,62
SKUPAJ Wh	288.986,18	290.070,45	290.993,42	284.726,49
kWh	288,99	290,07	290,99	284,73

Iz opravljenih meritev je razvidno, da sta razsmernika 5 in 6, ki sta bila redno čiščena, proizvedla več kWh elektrike kot smernika 4 in 7, ki nista bila redno čiščena, saj je v mesecu avgustu očiščen razsmernik 6 proizvedel 290.99 kWh električne energije, kar je 6.26 kWh več kot razsmernik 7, ki ni bil očiščen. Izguba izkoristka sončne elektrarne zaradi onesnaženih fotonapetostnih modulov znaša v našem primeru več kot 2 % in lahko po podatkih različnih študij znese tudi do 5 %, kar bi za Energetiko Vransko lahko na letni ravni delovanja elektrarne predstavljajo tudi do 1.671,10 kWh izgube.



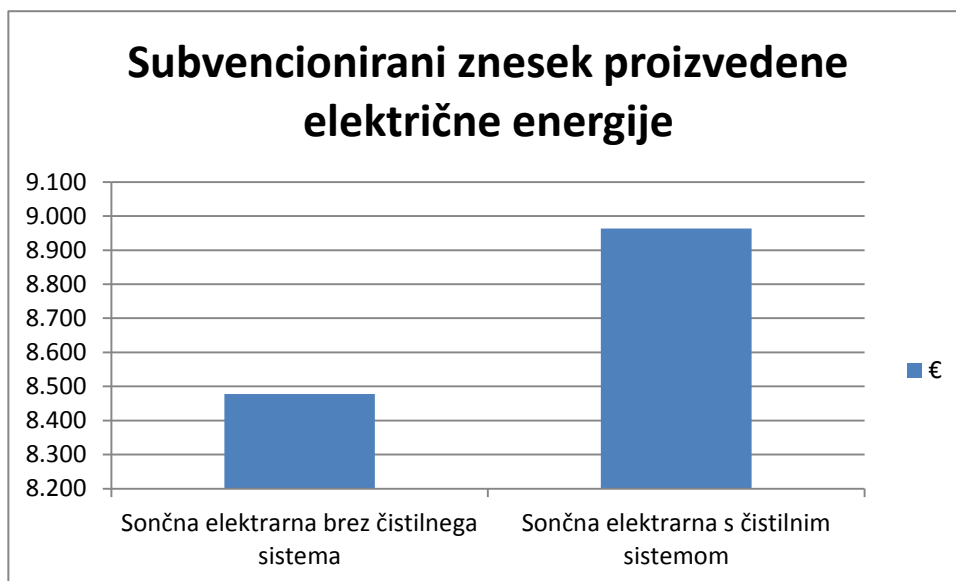
Graf 3: Količina pridobljene električne energije

Graf predstavlja količino proizvedene električne energije na 4 razsmernikih, od tega dveh očiščenih in dveh neočiščenih. Razvidno je, da očiščeni moduli proizvedejo zagotovljeno več energije.



Graf 4: Proizvodnja električne energije

Graf predstavlja razliko proizvedene sončne energije med sončno elektrarno brez čistilnega sistema ter sončno elektrarno s čistilnim sistemom. Po naših meritvah sončna elektrarna s čistilnim sistemom proizvede 1.671 kWh energije več kot brez čistilnega sistema.



Graf 5: Subvencionirani znesek proizvedene el. Energije

Graf prikazuje razliko subvencionirane cene odkupa električne energije med sončno elektrarno s čistilnim sistemom ter sončno elektrarno brez čistilnega sistema, kar po naših izračunih znaša 486 € na leto.

## 8. ZAKLJUČEK

Na podlagi izmerjenih podatkov fotonapetostnih modolov Energetike Vransko smo preučili delovanje vseh štirih razsmernikov in jih analizirali. Ugotovitve so predstavljene v nadaljevanju.

Prednosti:

- več pridelane električne energije,
- v našem primeru 1.671 kWh več energije letno,
- cena električne energije vsakoletno raste.
- minimalna poraba elektrike za delovanje čistilne naprave,

Slabosti:

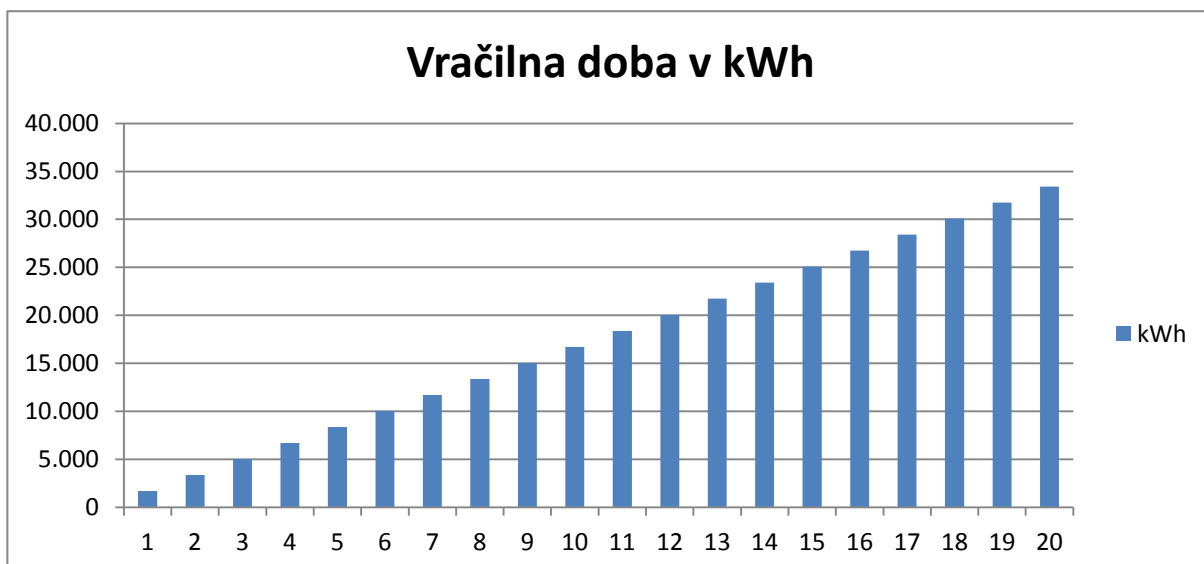
- poraba vode, kar predstavlja strošek odvisen od velikosti elektrarne,
- posledično problem vodnega kamna,
- problem čiščenja pozimi – čistilni sistem v zimskih mesecih ne obratuje (zimске mesece praviloma odštejemo).

Na podlagi zbranih in analiziranih meritev smo ugotovili, da se v cca. 20 letih (v življenjski dobi fotonapetostne elektrarne Energetika Vransko) čistilni sistem kakovostno in dobičkonosno odnese.

Če vzamemo podatek 0.29 € izplačila za eno kWh pridelane energije s čistilnim sistemom za fotonapetostno elektrarno Energetike Vransko v vrednosti 3.200 €, se nam letno poveča vrednost pridelane energije za 1.671 kWh, kar je 486 € na leto.

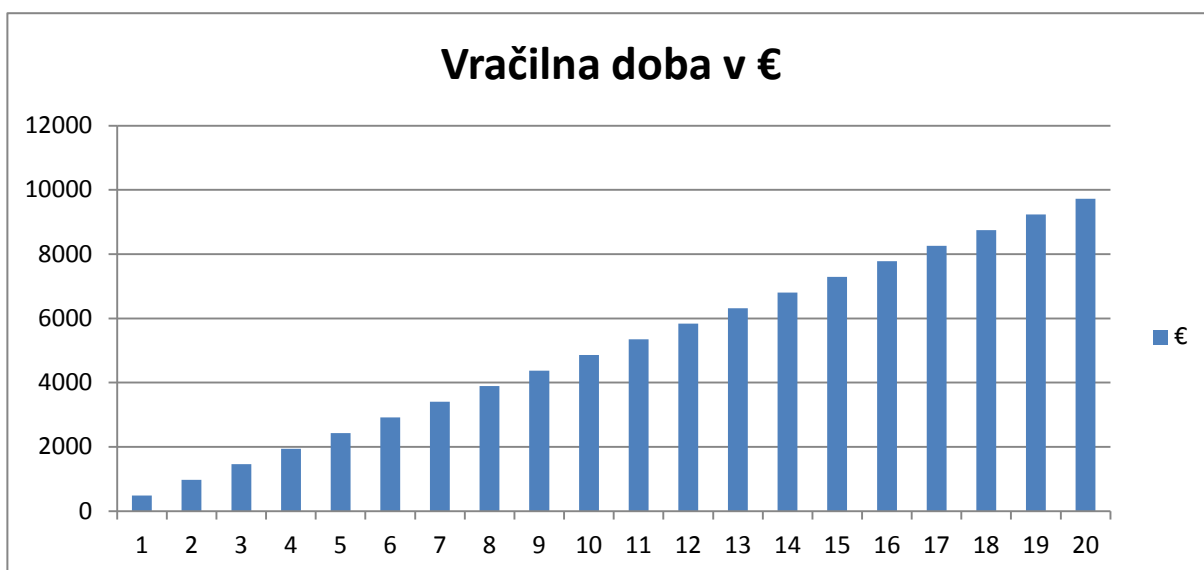
Čistilni sistem bomo izplačali v 6.5 letih, kar pomeni, da nam bo nadaljnih 13.5 let elektrarna letno prinesla 1.671 kWh več električne energije. Torej bomo v 13.5 letih s čistilnim sistemom pridelali 22.558 kWh več kot kot brez čistilnega sistema, kar je 6.561 €.

Upoštevali smo meritve skozi vse leto. Tudi v zimskem času (trije meseci), ko čistilni sistem ne obratuje.



Graf 6: Vračilna doba v kWh

Graf prikazuje rast pridelane električne energije v kWh s čistilnim sistemom, v življenjski dobi fotonapetostne elektrarne Energetika Vransko.



Graf 7: Vračilna doba v €

Graf prikazuje rast dobička (v evrih) s pridelano električno energijo s čistilnim sistemom na elektrarni Energetike Vransko v dvajsetih letih.

## 9. VIRI

- Uporabljamo sončno energijo: Karl-Heinz Bose, Tehniška založba Slovenije, Ritterhude 1979
- Načrt B, mobilizacija za rešitev civilizacije: Lester R. Brown, Učila, Tržič 2009
- Solar Power: Deo Prosad and Mark Snow, Earlhscan, London 2005
- Sončna energija v Sloveniji: Damijana Kastelic, Jože Rakovec, Klemen Zakšek, Sašo Medved, Založba ZRC SAZU, 2007
- Solar technologies for buildings: Ursula Eicker, John Wiley and sons, 2003
- Solar power for your home: David S. Findley, McGraw-Hill Professional, 2010
- Sonce v vašem domu: Bojč Jermanj, Potencial, Ljubljana 1993
- Soltran slovenski priročnik: Werner Roth, Altener, Ljubljana 2004
- Obnovljivi viri energije – sončna energija: Damjan Lautar, D. Lautar, 2009
- Renewable energy in nontechnical language: Ann Chambers, PennWell Books, 2004