

Razvoj sledilnika maksimalne moči sončnih celic in primerjava sprejemnikov sončne energije

Matej Maver

Mentor: izr. prof. dr. Gregor Klančar

**Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana
mavermatej@gmail.com, gregor.klancar@fe.uni-lj.si**

Development of maximum power point tracker for solar cells and comparison of solar energy receivers.

The development and implementation of domestic water-heating system using photovoltaic modules is presented. The standard widely used flat plate solar collectors are presented alongside so that the new system can be compared and evaluated. One reason for developing this new system otherwise mostly used for solar power plants is the recent price drop of photovoltaic modules. The other reasons are many advantages that photovoltaic modules offer over solar collectors. This work will compare old and well known system with solar collectors and newly developed system with photovoltaic modules. For achieving a higher efficiency of solar cells an improvement on existing algorithm was made. A special controller for the system was designed to replace expensive inverters so that the cost of the complete system can be reduced to a minimum.

Kratek pregled prispevka

Predstavljen je razvoj sistema za ogrevanje sanitarne vode s sončnimi moduli. Poleg predlaganega sistema so opisani tudi uveljavljeni sistemi za solarno ogrevanje sanitarne vode. Električni sončni moduli se večinoma uporabljajo za sončne elektrarne. Zaradi vedno nižje cene električnih sončnih modulov in nekaterih prednosti, ki jih imajo moduli pred kolektorji, pa postajajo zanimivi tudi za ogrevanje vode. V delu bo obravnavana razlika med obema sistemoma s podanimi prednostmi in slabostmi enega in drugega. Za višji izkoristek električnih sončnih modulov je bil razvit regulator, ki s posebnim algoritmom vzdržuje razmerje med napetostjo in tokom na panelih tako, da proizvajajo maksimalno moč. Hkrati je regulator prilagojen gretju vode v klasičnem rezervoarju vode za hišne potrebe, kar zniža stroške razvoja in izdelave. Za popolnoma samostojno delovanje sistema je bil dodan programirljiv logični krmilnik.

1 Uvod

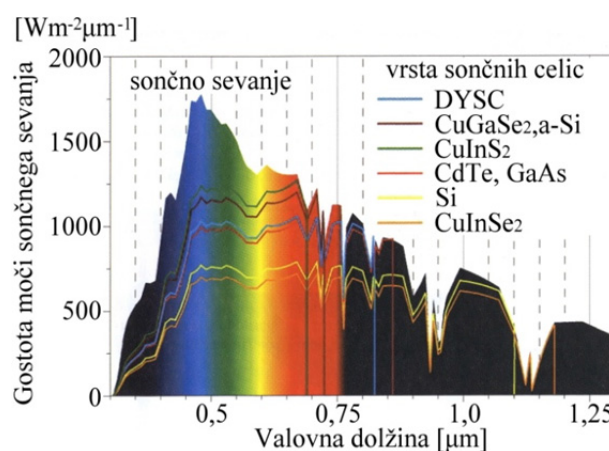
Za energetska preskrbo človeštva se večinoma uporabljajo fosilna goriva. Zaradi zmanjševanja zaloga in težav, ki jih uporaba fosilnih goriv povzroča, je uporaba alternativnih virov energije vedno bolj popularna. Energija sonca je dosegljiva vsem in se lahko dokaj enostavno izkorišča. Sistem za izkoriščanje sončeve energije, ki ga poznamo že približno celo stoletje, je sistem vodnih sončnih kolektorjev. Marsikatero gospodinjstvo za ogrevanje sanitarne vode uporablja sončne kolektorje, večinoma iz ekonomskih in okoljevarstvenih razlogov. Tak sistem ogrevanja vode je enostaven, vendar na našem območju dobro deluje le med poznim pomladanskim in zgodnjim jesenskim obdobjem in ob dneh, ko ni veliko oblačnosti. Sončevo energijo lahko izkoriščamo tudi s sončnimi celicami. Cene sprejemnikov sončne energije se na tržišču stalno spreminjajo. Cena sončnih modulov je v zadnjem času zaradi sprememb v gospodarstvu občutno padla. Tako je investicija v otočni sistem sončnih modulov z namenom porabe energije za ogrevanje sanitarne vode primerljiva z investicijo v sistem vodnih sončnih kolektorjev. Prednosti takega sistema sta predvsem lažja montaža in boljše delovanje ob hladnejših in oblačnih dnevih. Pri pravilni postavitvi sistema sončnih modulov je vzdrževanja zelo malo oziroma ga ni.

Sončne celice po svoji karakteristiki proizvajajo največ energije pri določeni napetosti in toku. V stroki se to imenuje iskanje točke maksimalne moči ali po angleško s kratico »MPPT« (maximum power point tracking). Načinov iskanja te točke je več. Med najpogostejšimi sta algoritma S&O (spremeni in odčitaj) in inkrementalna prevodnost ali po angleško »perturb and observe« in incremental conductance«. Vsak algoritem ima svoje pomanjkljivosti. Za boljši izkoristek in stabilnejše delovanje je bila razvita izboljšana verzija S&O-algoritma, katerega delovanje je bilo ovrednoteno na simulaciji v programskem okolju Matlab in preizkušeno na zgrajenem sistemu.

Sistem ogrevanja sanitarne vode, ki je bil zgrajen, ima deset zaporedno vezanih sončnih modulov s skupno nazivno močjo 2400 W. Površina modulov je 16 m², kar je približno dvainpolkrat več od klasičnega sistema vodnih sončnih kolektorjev. Razvita je bila namenska elektronika, katere funkcija je iskanje točke maksimalne moči na sončnih moduli in prenos proizvedene energije na električni grelec v rezervoarju. S tem se je investicija v celoten sistem zmanjšala, vendar še vedno dovoljuje posodobitev in s tem porabo električne energije za druge namene. Celoten sistem ogrevanja sanitarne vode je nadzorovan z industrijskim krmilnikom, in deluje tudi v dneh, ko ni dovolj sončne energije tako, da pod določenimi pogoji preklopi ogrevanje na električno energijo z omrežja ali vklopi obtočno črpalko peči na drva v primeru uporabe le-te.

2 Sončne celice

Za izdelavo sončnih celic se najpogosteje uporablja silicij, redkeje tudi drugi materiali. Sončne celice so neke vrste diode z veliko površino. Delujejo tako, da energija svetlobe izbija elektrone, kar v materialu ustvarja dodatne vrzeli. Energija, ki jo dobimo iz svetlobe, je odvisna od valovne dolžine. Z večanjem valovne dolžine se energija zmanjšuje in nad neko mejo samo še segreva sončne celice [1]. Občutljivost sončnih celic na različne valovne dolžine svetlobe je predstavljena na sliki 1.



Slika 1: Spektralna občutljivost posameznih vrst sončnih celic.

2.1 Nadomestno vezje idealne sončne celice

Idealno sončno celico lahko predstavimo z diodo in tokovnim virom, vezanim vzporedno [1]. Tok tokovnega vira sorazmerno predstavlja nivo sončnega sevanja. Enačba (1) idealne sončne celice je:

$$I = I_{KS} - I_Z \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right) \quad (1)$$

I_{KS} – tok kratkega stika [A]

I_Z – zaporni tok diode [A]

U_T – termična napetost diode [V]

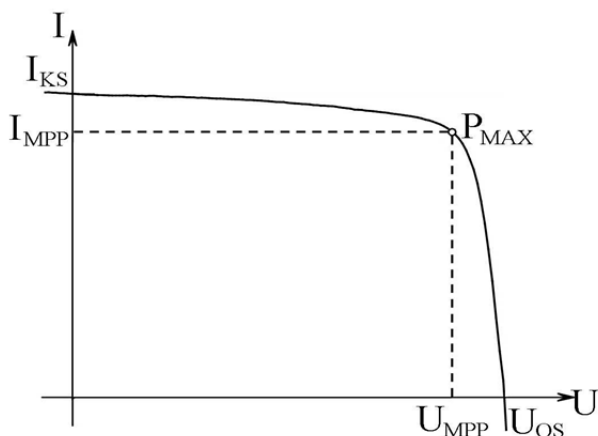
I – tok sončne celice [A]

U – napetost sončne celice [V]

Zaporni tok diode je proti toku kratkega stika relativno majhen in je velikostnega reda 10^{-8} A/m².

2.2 U-I-karakteristika sončne celice

Delovno točko idealne sončne celice določata obremenitev celice in jakost sončnega sevanja. Če upornost bremena spreminjamo v mejah med 0 in neskončno, lahko nastavimo poljubno delovno točko sončne celice. Sončne celice imajo v U-I-karakteristiki točko največje moči. To točko je v praksi težko doseči, saj pri močnem obsevanju naraste temperatura celice, kar vpliva na zmanjšanje izhodne moči [1]. Slika 2 prikazuje graf sončne celice z označeno točko maksimalne moči.



Slika 2: Graf U-I sončne celice z označeno točko maksimalne moči.

3 Algoritmi za iskanje točke maksimalne moči v karakteristiki U-I

Zaradi spreminjanja sevanja sončeve energije in spreminjanja temperature, so algoritmi za iskanje točke maksimalne moči nujno potrebni za učinkovito delovanje in čim boljši izkoristek sončnih celic. Namen teh algoritmov je čim boljše sledenje točki največje moči v karakteristiki U-I. Med najbolj priljubljene algoritme štejemo S&O (spremeni in odčitaj) in inkrementalna prevodnost [2].

3.1 Spremeni in odčitaj

S&O algoritem opravlja majhne spremembe napetosti na DC-pretvorniku in opazuje spremembe moči. Na podlagi teh podatkov se potem odloči, ali naj se napetost na pretvorniku poveča ali zmanjša. V primeru, da se moč povečuje, se ohrani tudi smer spremembe napetosti, v kolikor pa se moč zmanjša, se obrne tudi smer spreminjanja napetosti. Ta proces se ponavlja, dokler sistem ne pride v točko maksimalne moči, ki je na grafu opazna kot točka na vrhu navideznega hriba. Ob dosegu maksimalne delovne točke začne sistem rahlo nihati okoli le-te [2].

3.2 Inkrementalna prevodnost

Algoritem deluje tako, da iz izmerjenih podatkov izračuna naklon krivulje moči proti napetosti. Naklon je lahko 0, kar pomeni, da je sistem v točki maksimalne moči, lahko je tudi pozitiven ali negativen, kar pomeni, da je sistem na levi ali desni strani navideznega hriba. Naklon krivulje izračunamo iz dveh sosednjih vzorcev, pridobljenih z meritvami.

Tako pri algoritmu inkrementalne prevodnosti kot pri S&O-algoritmu je čas, ki je potreben, da sistem pride do maksimalne točke moči, odvisen od velikosti spremembe napetosti. Večji kot je korak napetosti, hitreje bo dosežena točka maksimalne moči. S povečevanjem napetosti se povečuje tudi amplituda nihanja okoli točke. Pri programiranju algoritma po navadi naredimo kompromis med hitrostjo sledenja in amplitudo nihanja okoli točke maksimalne moči [2].

4 Razvoj regulatorja za iskanje točke maksimalne moči

Pred začetkom razvoja algoritma je bil zadan cilj, da naj bo algoritem kar se da enostaven in robusten ter brez težjih računskih operacij. Algoritem mora dobro in zanesljivo slediti točki maksimalne moči pri konstantnem sevanju in med spremembami sevanja sončne energije. Pomembna lastnost algoritma je tudi ta, da pretirano ne oscilira okoli točke maksimalne moči in da jo ob vklopu sistema hitro doseže.

Za osnovo algoritma je bila izbrana S&O-tehnika sledenja. Ta algoritem je enostaven in računsko nezahteven. Cilj je temu algoritmu izboljšati njegove slabe lastnosti tako, da bo primerljiv z algoritmi, ki teh problemov nimajo, hkrati pa obdržati njegove glavne prednosti.

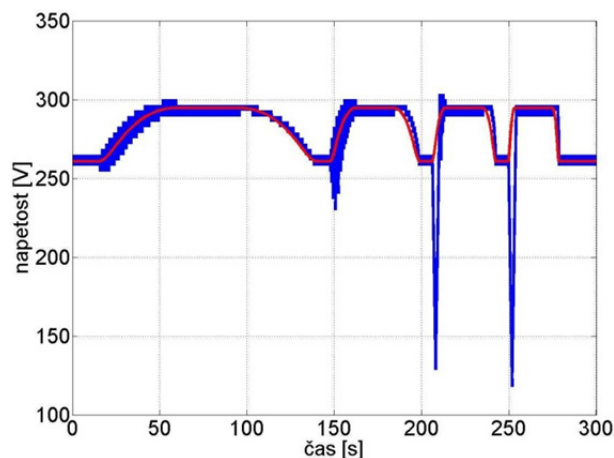
4.1 Simulacija v programskem okolju Matlab

Natančne simulacije sončne celice lahko na povprečnem osebem računalniku porabijo veliko časa in delovnega pomnilnika. Simulacija v programskem okolju Matlab je zato potekala na enačbi idealne sončne celice. Parametri so bili nastavljeni tako, da simulirajo 10 zaporedno vezanih sončnih modulov moči 240 W. Teoretična skupna moč pri maksimalnem sevanju je torej 2400 W. Algoritem se v simulaciji izvede približno petindvajsetkrat na sekundo. Spreminjanje sevanja je simulirano s spreminjanjem kratkostičnega toka sončne celice. Nastavljene so štiri različne strmine spreminjanja sevanja. Strmine so deli sinusnega vala, kar zgladi prehode med strminami in konstantnim delom sevanja. S tem se simulacija bolj približa realnemu prehodu oblaka med soncem in sistemom sončnih modulov.

Pri prvi simulaciji je preverjeno delovanje S&O-algoritma brez sprememb. Težave so zelo izrazite ob spreminjanju sevanja. Na sliki 3 je graf na katerem je z rdečo viden potek idealne napetosti na sončnem modulu in z modro potek napetosti, ki jo vrne simulacija S&O algoritma.

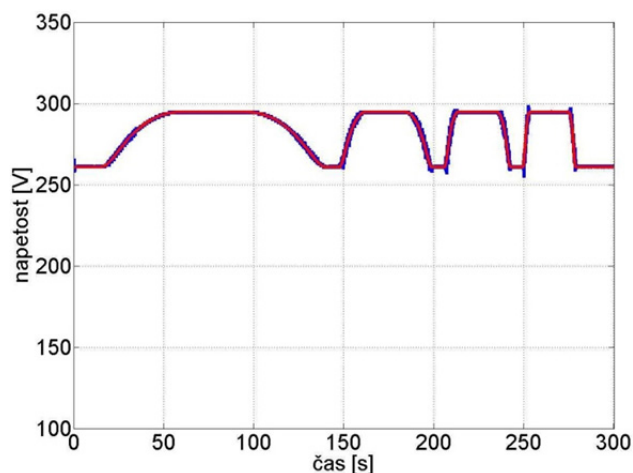
Izboljšani S&O-algoritem ima precej boljši potek napetosti. Algoritem manj oscilira okoli

poteka idealne napetosti in ob spremembah sevanja nima problema s sledenjem.



Slika 3: Graf poteka napetosti originalnega S&O-algoritma v odvisnosti od časa.

Na sliki 4 je graf na katerem je z rdečo označen potek idealne napetosti na sončnem modulu in z modro potek napetosti, ki jo vrne izboljšani S&O-algoritem.



Slika 4: Graf poteka napetosti izboljšanega S&O-algoritma v odvisnosti od časa.

5 Vezje MPP-sledilnika

Vezje sledilnika povezuje sončne module in grelec v rezervoarju, obenem pa poskrbi, da sončne celice delujejo v svoji maksimalni točki izkoristka. Vezje je sestavljeno iz petih sklopov: napajalnega, merilnega, mikrokrmilniškega, močnostnega in sklop za prikaz podatkov. Razen sklopa za prikaz podatkov so vsi ti sklopi nujno potrebni za delovanje celotnega vezja.

Grelec v rezervoarju z vodo predstavlja ohmsko breme. S tem izgubimo potrebo po sinusnem razsmerniku, ker je oblika signala lahko poljubna. Vezje, ki je bilo razvito, ima zato na izhodu močnostne tranzistorje krmiljene s pulzno širinsko modulacijo. Tak način krmiljenja poceni in poenostavi celotno vezje [3],[4],[5].

6 Shema celotnega sistema za ogrevanje vode

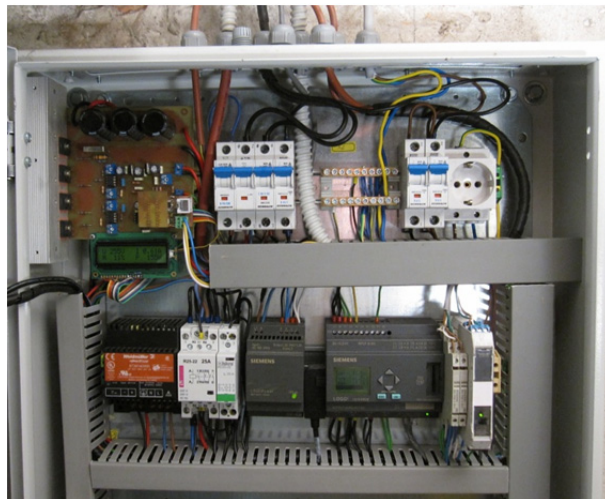
V dnevih, ko je sončne energije premalo, je potrebno vodo v rezervoarju segreti z drugimi viri energije. Sistem omogoča ogrevanje z elektriko iz omrežja ali s pečjo na drva. Za avtomatsko delovanje sistema skrbi programirljiv logični krmilnik. Vsa oprema je zaprta v kovinski industrijski omarici, ki jo prikazujeta sliki 5 in 6.



Slika 5: Zunanji izgled kovinske omarice.

MPP-regulator ima povsem ločeno napajanje od omrežja. Napajalnik za regulator je neposredno povezan s sončnimi moduli. S tem je zagotovljeno delovanje tudi v primeru izpada električne energije iz omrežja. Slabost te vezave je, da v primeru celodnevnega izpada in sončnega vremena krmilnik ne meri temperature

v rezervoarju in ne more skleniti izhodnega releja za izkop gretja s sončnimi moduli. V takem primeru izklop izvede termostatsko varnostno stikalo, ki odklopi sončne module od regulatorja.



Slika 6: Pogled na krmilni sistem v omarici, zgoraj levo je vezje MPP-sledilnika.

7 Primerjava ogrevanja vode s sončnimi moduli in sončnimi kolektorji

Cilj raziskave je poleg razvoja regulatorja tudi primerjava sistema sončnih modulov s sončnimi kolektorji. Primerjava je osnovana na ogrevanju 300-litrskega rezervoarja vode za tri-do štiričlansko družino.

7.1 Primerjava z vidika izvedbe montaže in vzdrževanja

Glavna slabost sončnih modulov je, da imajo na kvadratni meter precej manjši izkoristek kot sončni kolektorji. Posledica tega je večje število panelov in večja površina, potrebna za montažo. Pri montaži sončnih modulov tako obremenimo nosilno konstrukcijo s približno enako maso kot pri sončnih kolektorjih, le da je masa na kvadratni meter pri sončnih kolektorjih skoncentrirana na manjši površini, zato je potrebno paziti, na kaj jih nameščamo. Pri novogradnjah stanovanjskih hiš napeljava cevi med kolektorji in rezervoarjem ni problematična, saj jo predvidimo vnaprej. Pri že obstoječih hišah je to precej težje, če želimo cevi skriti pod omet. Sončni moduli imajo tu veliko prednost, saj je kabel mogoče napeljati po obstoječih podometnih ceveh, namenjenih

hišni elektroinstalaciji. Namestitev kablov je lažja tudi v primeru, ko podometnih cevi ni. Kabel je lažji, upogljiv, ne potrebuje toplotne izolacije in je veliko cenejši na tekoči meter. Tabeli 1 in 2 prikazujeta seznam materiala in razlike med vzdrževanjem.

Tabela 1: Dodatna oprema in vzdrževanje za sončne module.

	Sončni moduli
Površina	16 m ²
Masa/ m ²	12,5 kg/m ²
Dodatna oprema	MPP-regulator, napajalnik, zaščitne varovalke, napajalni kabel med paneli in regulatorjem, kabel med regulatorjem in rezervoarjem, temperaturna tipala in kabli za priklop
Vzdrževanje	Zanemarljivo, ni vzdrževanja

Tabela 2: Dodatna oprema in vzdrževanje za sončne kolektorje

	Ploščati sončni kolektorji
Površina	6 m ²
Masa/ m ²	20 kg/m ²
Dodatna oprema	Diferenčni termostat, izolirana cev med kolektorji in rezervoarjem, obtočna črpalka, tekočina za kolektorje, ekspanzijska posoda, nepovratni ventil, rezervoar za sistem sončnih kolektorjev, odzračevalni lonček, temperaturna tipala in kabli za priklop
Vzdrževanje	Ob pregretju tekočine, zamrznitvi tekočine, puščanju napeljave preverjanje delovanja črpalke, koncentracije tekočine in nivoja tekočine v ekspanzijski posodi

7.2 Primerjava z vidika delovanja

Sistem sončnih modulov ima za razliko od sistema sončnih kolektorjev zelo malo mehanskih delov, razen varovalk, ki imajo relativno malo preklopov oz. nič, ostane v sistemu samo še kontaktor za odklop sončnih modulov od grelca v rezervoarju.

Tabela 3: Delovanje sončnih modulov

	Sončni moduli
Pozimi	Sistem deluje, vendar zaradi kratkih dni in nizkim vpadnim kotom žarkov proizvede malo električne energije
Spomladi in jeseni	V povprečju proizvedejo 25 % več energije kot sončni kolektorji
Poleti	V povprečju proizvedejo 10 % več energije kot sončni kolektorji
Oblačno vreme	Sistem deluje in proizvede v povprečju 80 % manj energije kot ob sončnem vremenu
Delno oblačno vreme	Sistem deluje in proizvede v povprečju pol manj energije kot ob sončnem vremenu
Sončno vreme	Sistem deluje dobro, če temperatura zraka ni previsoka

Tabela 4: Delovanje sončnih kolektorjev

	Ploščati Sončni kolektorji
Pozimi	Sistem deluje redko in malo segreje vodo v rezervoarju. Nevarnost zamrznitve tekočine v kolektorjih
Spomladi in jeseni	V povprečju proizvedejo 25 % manj energije kot sončni moduli
Poleti	V povprečju proizvedejo 10 % manj energije kot sončni moduli, nevarnost pregretja tekočine v kolektorjih
Oblačno vreme	Sistem ne deluje
Delno oblačno vreme	Sistem deluje slabo, večinoma se za krajši čas vklopi do trikrat dnevno
Sončno vreme	Sistem deluje dobro, če temperatura zraka ni prenizka

Kontaktor bi lahko nadomestili tudi s solid state relejem. S tem bi izločili zadnji mehanski del v sistemu in še zmanjšali možnost okvare sistema, ki velikokrat nastane prav zaradi obrabe ali utrujenosti materiala. Pri sončnih kolektorjih so glavne težave, ki nastanejo med obratovanjem, puščanje napeljave in okvara črpalke. Večinoma se sistem zaustavi ob izpadu električne energije. Takrat črpalka ne deluje in tekočina v sistemu ne kroži. To lahko privede do zavretja tekočine. Zaradi tega je potreben ročni poseg v sistem za ponovni zagon sistema.

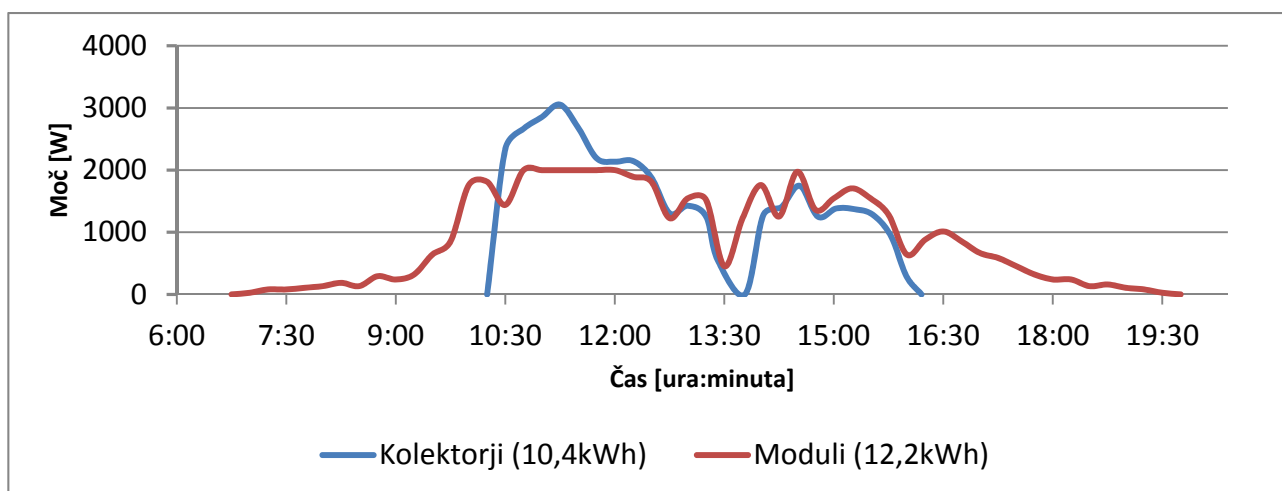
Sistem sončnih modulov ima prednosti tudi zaradi vremenskih razmer. Sončne celice imajo veliko prednost pri nizkih temperaturah, saj jim okoliški hladen zrak zaradi njihove karakteristike zvišuje izkoristek. Pri sončnih kolektorjih je ravno obratno. Okoliški zrak hladi tekočino v kolektorjih in s tem znižuje njihovo učinkovitost. Pomladi in jeseni sistem sončnih modulov proizvede povprečno 25 % več energije kot sistem sončnih kolektorjev. Razlike so največje v oblačnem in delno oblačnem vremenu, ko se tekočina v kolektorjih ne segreje dovolj za vklop obtočne črpalke med kolektorji in rezervoarjem. Poleti sistem sončnih modulov proizvede približno enako ali do 10 % več energije, kot sistem sončnih kolektorjev. Razlika med sistemoma je zelo odvisna od vremena. Tabeli 3 in 4 opisujeta delovanje obeh sistemov pod različnimi vremenskimi pogoji.

Primerjava delovanja sistemov je prikazana na sliki 7. Oba sistema sta ob jutru imela razliko temperature vode v rezervoarju le 3°C. To je pri primerjavi pomembno, saj se izkoristek sončnih kolektorjev slabša z višanjem temperature vode v rezervoarju. Vidimo, da sončni kolektorji začnejo delovati kasneje, s strmim naraščanjem moči. Ta pojav se zgodi zaradi temperaturne kapacitivnosti kolektorjev. Sončna energija mora tekočino v kolektorjih segreti na višjo temperaturo od tiste v rezervoarju. Ko se tekočina dovolj segreje, se črpalka vklopi in shranjena energija v kolektorju se začne prenašati v rezervoar.

Sončni moduli niso odvisni od temperature vode v rezervoarju. Začnejo delovati bolj zgodaj in prenehajo delovati kasneje. Moč na panelih je povsem odvisna od vremenskih vplivov in sončnega sevanja, ter se lahko spreminja tudi zelo naglo. Vidimo, da paneli ne presežejo 2 kW moči. V praksi redko dosežemo nazivno moč sončnih modulov. Visoka temperatura poleti in majhno sevanje pozimi preprečujeta, da bi sistem obratoval s polno močjo.

7.3 Z ekonomskega vidika

Dodatna prednost sistema sončnih modulov je, da lahko pridobljeno energijo porabimo tudi za kaj drugega in ne zgolj za ogrevanje vode.



Slika 7: Graf proizvedene energije sončnih kolektorjev in sončnih modulov za dan 22. 4. 2014

V stroki poteka razprava o predlogu zakona, ki bi sončnim elektrarnam, z nazivno močjo manj kot 10 kW, dovolila prodajati električno energijo v omrežje po enaki ceni, kot jo gospodinjstvo odkupuje.

Hkrati ne bi bilo potrebno plačevati prispevka za pokojninsko in invalidsko zavarovanje, kar bi pomenilo, da se dejavnost ne šteje več kot registrirana. V primeru, da bi bila proizvedena električna energija večja kot porabljena, bi razliko podarili državi.

Tabela 5: Investicija v sončne module.

	Sončni moduli
Cena	1800 eur za 10 panelov skupne nazivne moči 2400 W
Cena kabli	1,7 eur/m
Cena ostalega pribora	12V napajalnik – 60 eur, varnostni termostat – 16 eur, varovalke – 12 eur, MPP-regulator – 300 eur, montažni material – 400 eur, kontaktor – 50 eur, temperaturna tipala in kabli za priklop – 50 eur
Skupno:	2713 eur

Tabela 6: Investicija v sončne kolektorje.

	Ploščati sončni kolektorji
Cena kolektorjev	1350 eur za tri ploščate kolektorje površine 6 m ²
Cena cevi	25 eur/m
Cena ostalega pribora	Diferenčni termostat – 150 eur, obtočna črpalka – 120eur, tekočina za kolektorje 15l – 75 eur, ekspanzijska posoda 18l – 30 eur, nepovratni ventil – 6 eur, odzračevalni lonček – 25 eur, temperaturna tipala in kabli za priklop – 50 eur, montažni material – 400 eur
Skupno:	2581 eur

V praksi to pomeni, da bi si gospodinjstvo lahko zmanjšalo račun za električno energijo in plačevalo le omrežnino.

V tabelah 5 in 6 je primerjana investicija v oba sistema brez cene montaže. Končna okvirna cena obeh sistemov je zelo podobna. Cena obeh sistemov je brez rezervoarja.

8 Sklep

V okviru dela je bil razvit sistem za ogrevanje vode s sončnimi moduli. Tak sistem je redkost. Še vedno velja prepričanje, da so za te namene primernejši sončni kolektorji. Raziskane so bile razlike med obema sistemoma. Ugotovljeno je bilo, da je pri trenutnih cenah materiala nov sistem s sončnimi moduli primerljiv ali celo boljši od klasičnega sistema z vodnimi sončnimi kolektorji. Razlogi za investicijo v sistem sončnih modulov so tudi različne prednosti v montaži, delovanju, vzdrževanju in prihodnje gospodarske spremembe.

9 Literatura

- [1] D. Lenardič, *Fotonapetostni sistemi priručnik: gradniki, načrtovanje, inštalacija, vzdrževanje*, Agencija Poti, Ljubljana 2009.
- [2] D. Sanz Morales, *Maximum power point tracking algorithms for photovoltaics applications*, Aalto University, Espoo 2010.
- [3] Neznani avtor, *Microchip PIC16F785 Data Sheet*, Dosegljivo na: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41249a.pdf>. [Dostopano: 3.11.2014].
- [4] Neznani avtor, *PV portal slovenski portal za fotovoltaike*, Dosegljivo na: <http://pv.fe.uni-lj.si/Welcome.aspx>. [Dostopano: 4.11.2014].
- [5] Neznani avtor, *4.5MHz, BiMOS operational amplifier with MOSFET input/bipolar output*, Dosegljivo na: <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/ca31/ca3140-a.pdf>. [Dostopano: 3.11.2014].
- [6] Y. Yang, F. Blaabjerg, *A modified P&O MPPT algorithm for single-phase PV systems based on deadbeat control*, Aalborg University, Denmark 2012.