

Osnovna šola Gustava Šiliha Laporje  
Laporje 31, 2318 Laporje



## IZKORISTEK FOTOVOLTAIČNIH PANELOV GLEDE NA LEGO

Področje: FIZIKA  
Raziskovalna naloga

**Avtor:** Miha Sterkuš, 8. a  
**Mentor:** Marijan Krajncan, prof.  
**Somentorica:** mag. Alenka Fidler

Laporje, marec 2018

## **ZAHVALA**

*Pri moji tretji raziskovalni nalogi sta mi vso strokovno pomoč nudila gospod Marijan Krajnčan in gospa Alenka Fidler, za kar se jima iskreno zahvaljujem.*

*Prav tako se zahvaljujem gospe Albini Avsec za lektoriranje raziskovalne naloge in gospe Tini Lešnik za prevod povzetka.*

## KAZALO

POVZETEK	5
ABSTRACT	5
<b>1 UVOD</b>	<b>6</b>
<b>2 TEORETIČNI DEL</b>	<b>7</b>
2.1 Energija in energetika	7
2.2 Obnovljivi viri energije	7
2.2.1 Sonce kot vir energije.....	8
2.2.2 Sončno obsevanje v Sloveniji .....	9
2.2.3 Fotovoltaična sončna energija .....	10
<b>3 RAZISKOVALNO DELO</b>	<b>13</b>
3.1 Namen	13
3.2 Cilji	13
3.3 Hipoteze	13
3.4 Raziskovalne metode	14
3.4.1 Postopki zbiranja podatkov.....	14
3.4.2 Orientacija sončnih elektrarn in njihov naklon .....	16
<b>4 REZULTATI IN RAZPRAVA</b>	<b>16</b>
4.1 Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na oddaljenost in moč vira	16
4.2 Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na kot med virom energije in fotovoltaičnim panelom	18
4.2.1 Meritve, narejene z umetnim virom svetlobe .....	18
4.2.2 Meritve, narejene z naravnim virom svetlobe.....	19
4.3 Primerjava izkoristka fotovoltaičnega panela z izkoristkom izbrane sončne elektrarne	20
4.4 Orientacija sončnih elektrarn in njihov naklon	24
<b>5 ZAKLJUČEK</b>	<b>25</b>
<b>6 VIRI IN LITERATURA</b>	<b>26</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Prehod sončnega sevanja skozi ozračje, dolgodobno povprečje prek vseh krajev na Zemlji. _	9
Slika 2: Desetletno (1994–2003) povprečje letnega globalnega sončnega obseva. _____	10
Slika 3: Princip delovanja manjšega samostojnega fotonapetostnega sistema. _____	11
Slika 4: Položaj Sonca glede na letni čas. _____	11
Slika 5: Pot Sonca. _____	12
Slika 6: Pripomočki za merjenje, povezani v električni krog. _____	15
Slika 7: Prikaz meritev s fotovoltaičnim panelom, ko se kot vir energije uporablja Sonce. _____	16
Slika 8: Izbrana sončna elektrarna. _____	20

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Simulirano letno sončno obsevanje na vodoravno površino in optimalni kot naklona pri orientaciji jug. _____	13
Tabela 2: Meritve napetosti in toka pri različni moči žarnice. _____	16
Tabela 3: Višina Sonca in najugodnejši naklon fotovoltaičnega panela za največji izkoristek ob različnih datumih, ob 13. uri, podatki za Maribor. _____	24
Tabela 4: Popis orientacije in naklona sončnih elektrarn na področju Štajerske. _____	24

## KAZALO GRAFOV

Graf 1: Struktura porabe energije glede na vir v Sloveniji leta 2016 in Evropski uniji leta 2015. _____	8
Graf 2: Struktura oskrbe z obnovljivimi viri energije v Sloveniji in Evropski uniji leta 2013. _____	8
Graf 3: Moč fotovoltaičnega panela ( $P_p$ ) pri različni moči žarnice ( $P_s$ ). _____	17
Graf 4: Moč fotovoltaičnega panela ( $P_p$ ) pri 100 W žarnici glede na oddaljenost od žarnice ( $l$ ). _____	17
Graf 5: Moč fotovoltaičnega panela ( $P_p$ ) pri 100 W žarnici glede na kot ( $\alpha$ ) med žarnico in panelom. _____	18
Graf 6: Moč fotovoltaičnega panela ( $P_p$ ) glede na kot ( $\alpha$ ) med Soncem in panelom. _____	19
Graf 7: Podatki o količini pridobljene energije po mesecih za izbrano sončno elektrarno od avgusta do decembra 2017. _____	21
Graf 8: Podatki o količini pridobljene energije po dnevih za avgust 2017 (8. a) in januar 2018 (8. b) na primeru izbrane sončne elektrarne. _____	22
Graf 9: Podatki o količini pridobljene energije po urah na dan, ko se je pridobilo največ energije v avgustu (7. 8. 2017) (9. a) in januarju (29. 1. 2018) na primeru izbrane sončne elektrarne. _____	22

## POVZETEK

V okviru raziskovalne naloge smo želeli raziskati, kakšen je izkoristek fotovoltaičnega panela pri umetnih in kakšen pri naravnih virih energije, ugotoviti, kako vpliva oddaljenost vira energije na izkoristek, ter izmeriti najprimernejši kot postavitve fotovoltaičnega panela glede na smer vira energije. V teoretičnem delu naloge smo preučili obnovljive vire energije, posebej sončno energijo s fotovoltaiko, ki omogoča direktno pretvorbo sončne energije v električno.

Izkoristek fotovoltaičnega panela predstavlja razmerje med energijo, ki jo panel odda, in prejeto energijo, ki jo panel prejme. Ugotovili smo, da pri večji moči in čim manjši oddaljenosti umetnega svetila od fotovoltaičnega panela dobimo največji izkoristek. Meritve izkoristka fotovoltaičnega panela so ne glede na umetni oziroma naravni vir energije dale podoben rezultat ( $\eta = 12\text{--}13\%$ ). Izmerjen in izračunan izkoristek fotovoltaičnega panela je primerljiv z monitoringom izbrane sončne elektrarne (Kioto 270 pure poly, Razgor pri Žabljeku, orientacija jugozahod, naklon  $15^\circ$ ). Orientacija in naklon sončnih elektrarn na terenu je raznolika, najverjetneje zaradi gradnje sončnih elektrarn na že obstoječe gradbene objekte. Najugodnejši naklon sončnih elektrarn se glede na letni čas spreminja. Sončne elektrarne na terenu so usmerjene tako, da imajo večje izkoristke v poletnem času.

Z raziskovalno nalogo smo dokazali, da je z izračuni izkoristka modela fotovoltaičnega panela možno na določenem geografskem področju predvideti izkoristek sončne elektrarne glede na njeno orientacijo in naklon.

**Ključne besede:** sončna elektrarna, fotovoltaika, panel, izkoristek

## ABSTRACT

TITLE: The efficiency of photovoltaic panels according to the position

The main purpose of this research was to investigate the efficiency of photovoltaic panel in artificial and natural sources of energy. We were interested in how the remoteness of the source of energy influences the effect. We wanted to measure the most suitable angle for placing photovoltaic panel according to the source of energy. In theoretical part, we have investigated the renewable energy sources, especially solar energy with the photovoltaic feature, which enables conversion of solar energy to electricity.

A ratio of energy, which is radiated by the panel, and collected energy, which the panel receives, presents the efficiency of the photovoltaic panel. We have discovered that the highest efficiency is extracted, at the highest power and when the panel is closest to the artificial light.

The measurements were almost the same no matter if the source of light was artificial or natural. The measurements and calculations were comparable with monitoring of chosen solar energy plant (Kioto 270 pure poly, Razgor pri Žabljeku, orientation south-west, incline  $15^\circ$ ). Orientation and incline of the solar energy plants on the field are diverse, most likely because of the fact that solar plants were installed on existing buildings. The most suitable incline changes according to the season. Solar plants are placed to produce the most energy during the summer months.

Our research has proven that it is possible to anticipate the efficiency of the solar plant according to its orientation and incline, by calculations of the efficiency of a model photovoltaic panel.

**Keywords:** solar plant, photovoltaic, panel, efficiency

## 1 UVOD

V času, v katerem živimo, je zagotavljanje zadostne količine energije ključnega pomena. Prednosti uporabe obnovljivih virov energije se kažejo v pozitivnem učinku na podnebje, stabilnosti v dobavi energije in dolgoročni gospodarski koristi. Razmah obnovljivih virov energije privlači investicije za obnovo zastarelih tehnologij pridobivanja energije, spodbuja zaposljivost in razvoj podeželja, zmanjšuje odvisnost od uvoženih virov energije in povečuje energetska varnost. Obnovljivi viri energije postajajo cenovno konkurenčni fosilnim gorivom, izboljšujejo kakovost okolja in preprečujejo nadaljnje spreminjanje podnebja, njihova razkropljenost in dostopnost pa omogočata demokratizacijo energetskega sektorja in boljšo uskladitev vrste energije z lokalnimi potrebami (Koprivnikar in Đurasovič, 2010).

Sončna energija predstavlja osnovni vir energije na Zemlji. Enega izmed možnih načinov uporabe sončne energije za pridobivanje električne energije predstavlja fotovoltaika, ki omogoča direktno pretvorbo sončne energije v električno. Tehnologija izdelave fotovoltaičnih panelov je v primerjavi s preteklostjo zelo napredovala. Fotovoltaika omogoča oskrbo z električno energijo tudi na odročnih področjih, nizke stroške investicij in enostavno vzdrževanje sistema. Ker sta proizvodnja in poraba na istem mestu, so izgube pri prenosu energije manjše. Med slabostmi je potrebno izpostaviti težave, ki nastanejo zaradi različnega sončnega obsevanja posameznih lokacij. Cena električne energije, pridobljene iz sončne energije, je v primerjavi z električno energijo, pridobljeno iz tradicionalnih virov, višja (Koprivnikar in Đurasovič, 2010).

Čeprav Sonce predstavlja neusahljivi vir energije, ga za pridobivanje energije uporabljamo v manjši meri. Ob opazovanju sončnih elektrarn na strehah hiš ugotovimo, da so različno orientirane glede na smer neba in glede na horizont. Večinoma so namreč grajene na že obstoječe objekte. Ko smo postavljali sončno elektrarno doma, so strokovnjaki preučevali, kako bi najbolje izkoristili že obstoječo streho. Takrat smo spoznali, da sta za izkoristek sončne elektrarne zelo pomembna orientacija in naklon sončnih elektrarn in tako dobili idejo za raziskovanje.

V okviru raziskovalne naloge želimo raziskati, kakšen je izkoristek fotovoltaičnega panela pri umetnih in kakšen pri naravnih virih energije, ugotoviti, kako vpliva oddaljenost vira energije na izkoristek, ter izmeriti najprimernejši kot postavitve fotovoltaičnega panela glede na smer vira energije.

Zastavili smo si naslednje hipoteze:

- Hipoteza 1: Predvidevamo, da bo pri večji moči umetnega svetila in manjši oddaljenosti umetnega svetila od fotovoltaičnega panela največji izkoristek.
- Hipoteza 2: Predvidevamo, da bomo pri meritvah izkoristka fotovoltaičnega panela obsevanega z umetnim svetilom dobili večji izkoristek kot s sončno energijo.
- Hipoteza 3: Predvidevamo, da bo izkoristek fotovoltaičnega panela primerljiv z izkoristkom izbrane sončne elektrarne.
- Hipoteza 4: Predvidevamo, da bo najpogostejša orientacija sončnih elektrarn jug, najpogostejši naklon pa med 33° in 35°.

V teoretičnem delu naloge smo preučili obnovljive vire energije, posebej sončno energijo s fotovoltaiko. Eksperimentalni del smo glede na hipoteze razdelili na štiri dele, in sicer:

- 1. del: Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na oddaljenost in moč vira energije.
- 2. del: Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na kot med virom energije in fotovoltaičnim panelom.
- 3. del: Primerjava izkoristka fotovoltaičnega panela z izkoristkom izbrane sončne elektrarne.
- 4. del: Orientacija sončnih elektrarn in njihov naklon.

Podatke smo zbirali s pomočjo literature in z eksperimentiranjem, ki je potekalo v šoli in na šolskem vrtu ter na terenu. Rezultate smo obdelali in jih s pomočjo teorije analizirali.

## 2 TEORETIČNI DEL

### 2.1 Energija in energetika

Pojem energije povezujemo s sposobnostjo teles, da lahko opravljajo delo. Ločimo mehansko, toplotno, jedrsko in sevalno, električno, kemijsko in druge oblike energije. Pri obravnavi in uporabi energije se najpogosteje srečujemo z učinki pretvorb energij. Ti učinki so toplota, svetloba, sila ... (Žalar, 2016).

### 2.2 Obnovljivi viri energije

Energijo lahko pridobivamo iz neobnovljivih (fosilna energija) in obnovljivih virov. Obnovljive vire lahko razdelimo na tri skupine, in sicer (Koprivnikar in Đurasovič, 2010, str. 20):

- neposredno izkoriščanje sončnega sevanja (toplota, svetloba, fotovoltaika),
- posredni učinki sončnega sevanja (tekoče vode, veter, biomasa),
- drugi viri (geotermalna energija, plima).

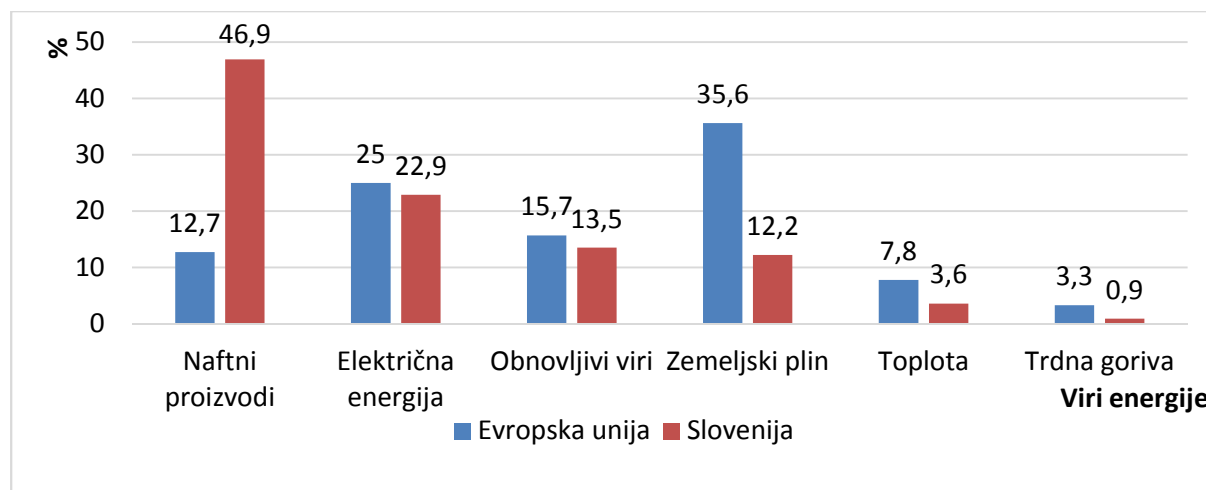
Sonce je največji izvor obnovljive energije, ki je posledica jedrske fuzije v Sončevi notranjosti. Sončno energijo delimo na posredno in neposredno. Neposredno iz sončne energije pridobivamo električno in toplotno energijo (fotovoltaika, solarni toplotni zbiralniki), posredno energijo pa pridobivamo z vetrnimi in vodnimi generatorji (Žalar, 2016).

Ker je v rastlinah zaradi procesa fotosinteze nakopičene zelo veliko sončne energije in se le-ta hitro obnavlja, biomaso štejemo k obnovljivim virom energije (Žalar, 2016).

Geotermalna energija predstavlja ostanek energije iz časa Zemljinega nastanka. Danes temperatura jedra presega 6000 °C, 99 % njene notranjosti ima temperaturo višjo od 1000 °C, v površinski 3 km debeli plasti pa je temperatura Zemlje nižja od 100 °C. Po svetu se geotermalne energije uporablja sorazmerno malo v primerjavi z drugimi obnovljivimi viri energije (Žalar, 2016).

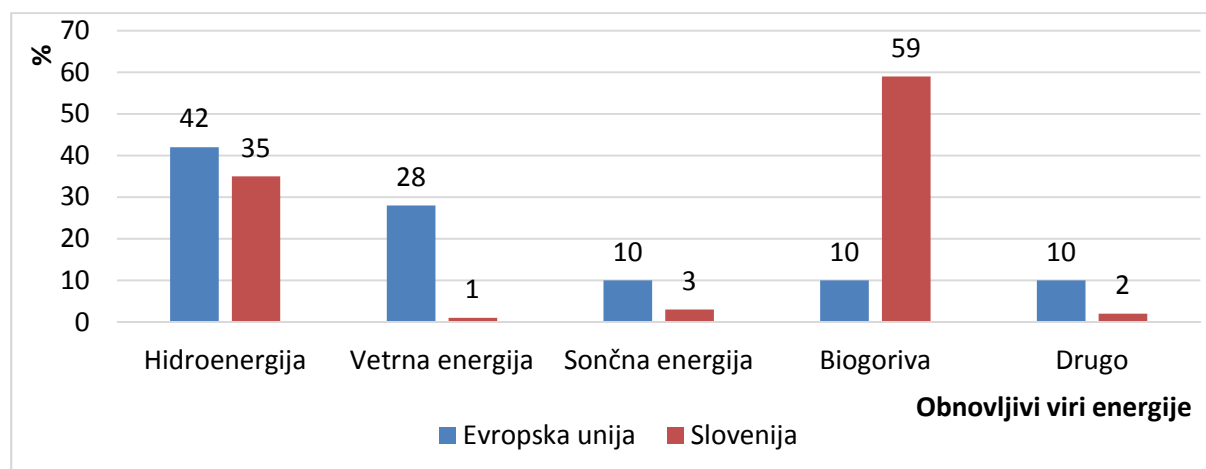
Planetna ali gravitacijska energija je energija, ki nastaja s pomočjo gravitacijskih sil. Najbolj znana oblika gravitacijske energije je plimovanje, ki nastane kot posledica gravitacije Lune in Sonca. Gravitacijske energije se po svetu uporablja malo, saj je malo znana, tehnologija pa še ni tako napredovala, da bi imeli velik izkoristek (Žalar, 2016).

Prednosti uporabe obnovljivih virov energije se kažejo v pozitivnem učinku na podnebje, stabilnosti v dobavi energije in dolgoročni gospodarski koristi. Razmah obnovljivih virov energije privlači investicije za obnovo zastarelih tehnologij pridobivanja energije, spodbuja zaposljivost in razvoj podeželja, zmanjšuje odvisnost od uvoženih virov energije in povečuje energetske varnost. Obnovljivi viri energije postajajo cenovno konkurenčni fosilnim gorivom, izboljšujejo kakovost okolja in preprečujejo nadaljnje spreminjanje podnebja, njihova razkropljenost in dostopnost pa omogočata demokratizacijo energetskega sektorja in boljšo uskladitev vrste energije z lokalnimi potrebami (Koprivnikar in Đurasovič, 2010). Direktiva o energiji iz obnovljivih virov je bila in bo še naprej osrednji element politike energetske unije in ključni dejavnik za zagotovitev čiste energije (Direktiva 2009/28/ES).



Graf 1: Struktura porabe energije glede na vir v Sloveniji leta 2016 in Evropski uniji leta 2015.  
(Vir: Statistični urad, 2017; Eurostat, 2017)

Iz grafa 1 je razvidno, da se poraba energije glede na vir v Sloveniji razlikuje od Evropske unije. V Sloveniji kot vir energije prevladujejo naftni proizvodi, v Evropski uniji pa zemeljski plin. Najmanj uporabljena goriva so trdna goriva s samo 0,9 % v Sloveniji ter 3,3 % v Evropski uniji. V nasprotju s smernicami Evropske unije se energija, pridobljena iz obnovljivih virov, še vedno uporablja v manjši meri.



Graf 2: Struktura oskrbe z obnovljivimi viri energije v Sloveniji in Evropski uniji leta 2013.  
(Vir: Kazalci okolja v Sloveniji ..., 2014; Renewableenergyprogressreport ..., 2015)

Iz grafa 2 je razvidno, da se v Sloveniji v primerjavi z Evropsko unijo v veliko večjem deležu izmed obnovljivih virov energije uporabljajo biogoriva, vsi ostali obnovljivi viri energije pa v manjšem deležu.

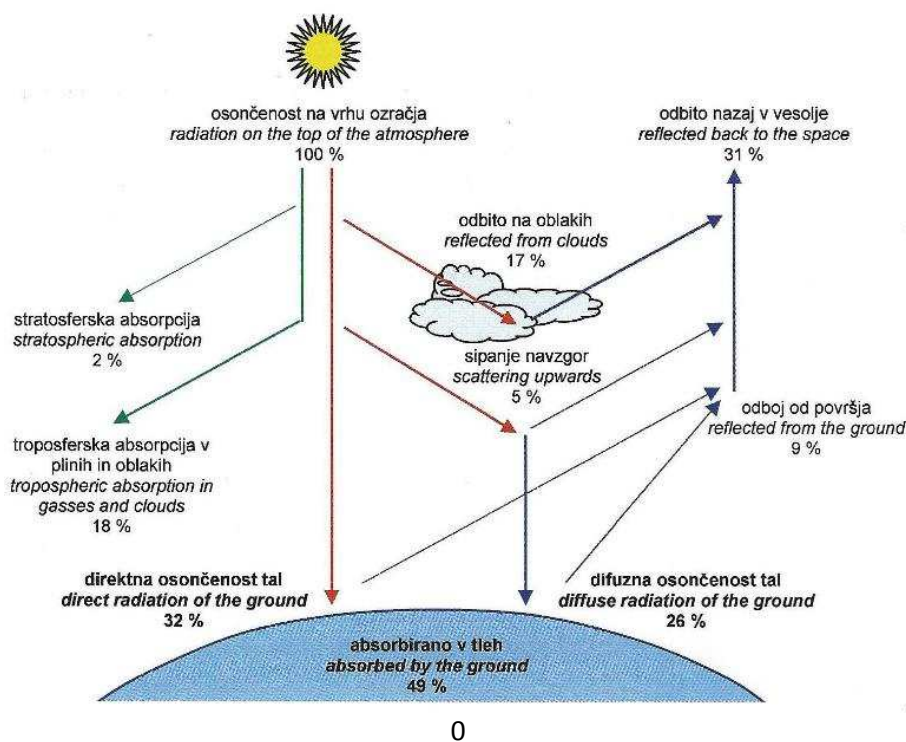
### 2.2.1 Sonce kot vir energije

Sončna energija predstavlja osnovni vir energije na Zemlji. Sonce na Zemljo pošilja energijski tok sevanja, ki znaša okrog 1367 W/m<sup>2</sup>. To pomeni, da vsak kvadratni meter na vrhu ozračja pri povprečni oddaljenosti Zemlje od Sonca prejme 1367 J energije v eni sekundi. Skozi ozračje moč sončnega sevanja slabi zaradi absorpcije in razprševanja svetlobe. Oslabitev sončnega obsevanja tal



je odvisna tudi od vremena, na primer: oblaki, megla, onesnaženost ozračja (Kastelec, Rakovec in Zakšek, 2007).

Sonce Zemljo letno obseva z okrog 1,5 trilijonov kWh energije. Okoli 30 % te energije absorbira atmosfera, preostanek pa je še vedno več tisočkrat večji od svetovnih letnih potreb po energiji. Energijo, ki jo človeštvo potrebuje v enem letu, Sonce Zemlji zagotovi v eni uri. Energijo, ki jo Zemlja dobi od Sonca v manj kot enem dnevu, lahko primerjamo z vsemi zemeljskimi zalogami nafte (Godec, Grubelnik in Glažar, 2015; Žalar, 2016).



Slika 1: Prehod sončnega sevanja skozi ozračje, dolgodobno povprečje prek vseh krajev na Zemlji. (Vir: Kastelec, Rakovec in Zakšek (po Kiehl in Trenberthu, 1997), 2007, str. 14)

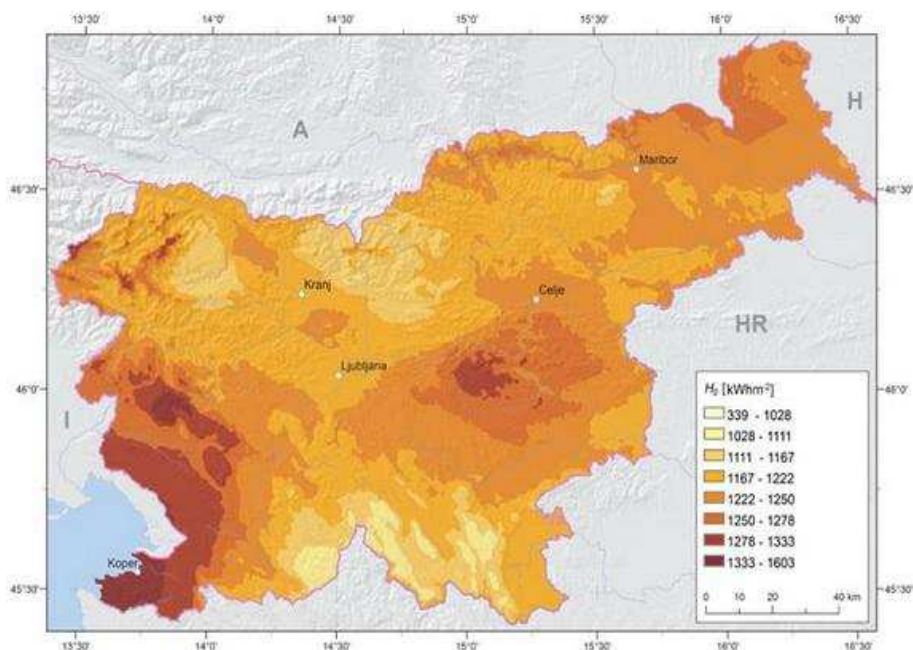
»Sonce seva energijo v prostor in proti Zemlji v obliki elektromagnetnega valovanja«(Žalar, 2016, str. 25). Na sliki 1 je prikazano, kako skozi ozračje zaradi oblakov, megle, sipanja in absorpcije slabi moč sončnega sevanja. Oblaki zakrijejo Sonce in preprečujejo direktnim sončnim žarkom prehod k tlam in tako vplivajo na trajanje sončnega obsevanja. Sipanje sončnega sevanja je pojav, ko se del energije sončnega sevanja pretvarja v difuzno sončno sevanje. Absorpcija v ozračju spreminja spekter sončne energije (Kastelec, Rakovec in Zakšek, 2007).

Sončno energijo lahko na zgradbah izkoriščamo na tri načine (Koprivnikar in Đurasovič, 2010):

- pasivna raba sončne energije s solarnimi sistemi za ogrevanje in osvetljevanje prostorov (izkoriščanje sončne energije z okni, sončnimi stenami in stekleniki);
- aktivna raba sončne energije s sončnimi kolektorji za pripravo tople vode in ogrevanje stavb;
- fotovoltaika s sončnimi celicami za proizvodnjo električne energije.

## 2.2.2 Sončno obsevanje v Sloveniji

Potencial sončne energije v Sloveniji je dokaj enakomeren in razmeroma visok. Povprečno sončno obsevanje na kvadratni meter horizontalne površine je v Sloveniji večje od 1000 kWh na m<sup>2</sup> horizontalne površine. Razlika med posameznimi regijami, med najbolj osončeno Primorsko in najmanj osončenimi področji, je zgolj 15 %, kar je razvidno iz slike 2 (Koprivnikar in Đurasovič, 2010).



Slika 2: Desetletno (1994–2003) povprečje letnega globalnega sončnega obseva.

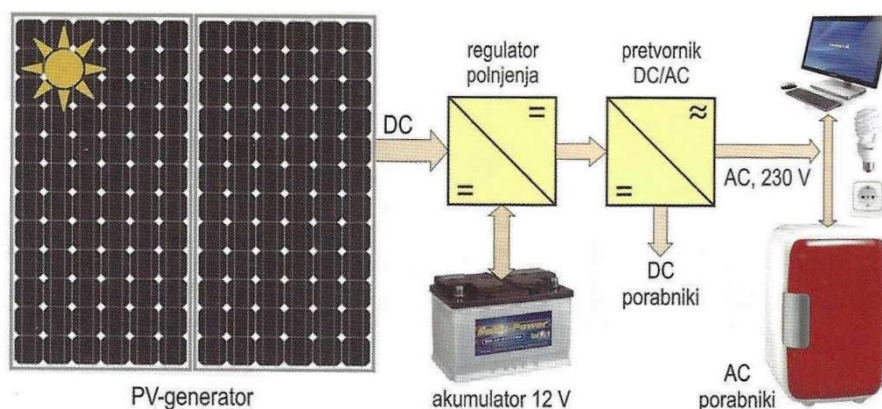
(Vir: Kastelec, Rakovec in Zakšek, 2007, str. 76)

### 2.2.3 Fotovoltaična sončna energija

Fotovoltaika je zloženka besede »foto«, ki je grškega izvora in pomeni svetloba, ter besede »voltage«, ki izhaja iz enote za merjenje električnega potenciala na dani točki, besede »volt« (Fraile, Latour, El Gammal, Annett in Nemac, b. d.). Fotovoltaika je tehnologija, ki omogoča direktno pretvorbo sončne energije v električno. Sončni moduli so sestavljeni iz sončnih celic za proizvodnjo električne energije. Fotovoltaični učinek so odkrili že leta 1839, prva silicijeva solarna celica pa je bila izdelana leta 1954. 1983 leta je bila zgrajena prva fotovoltaična elektrarna s kapacitetami preko 1 MW, prvo zaporedje solarnih celic z učinkovitostjo nad 30 % koncentrirane svetlobe pa je bilo ustvarjeno leta 1989 (Koprivnikar in Đurasovič, 2010).

Fotovoltaika omogoča oskrbo z električno energijo tudi na odročnih področjih in zagotavlja nizke stroške investicij in enostavno vzdrževanje sistema. Ker sta proizvodnja in poraba na istem mestu, so izgube pri prenosu energije manjše. Med slabostmi je potrebno izpostaviti težave, ki nastanejo zaradi različnega sončnega obsevanja posameznih lokacij. Cena električne energije, pridobljene iz sončne energije, je v primerjavi z električno energijo, pridobljeno iz tradicionalnih virov, višja (Koprivnikar in Đurasovič, 2010).

Fotovoltaične celice so velike diode, ki so sestavljene iz dveh plasti polprevodnega materiala. Običajno so izdelane iz monokristalnega, polikristalnega in amorfne silicija. Prva plast ima pozitivni, druga plast pa negativni naboj. Svetlobno energijo, ki pade na celico, absorbirajo atomi polprevodnega materiala. Na kovinskih stikih diod se vzpostavi električni potencial, ki sprosti elektrone na negativni plasti sončne celice. Le-ti začnejo teči po zunanem krogu iz polprevodnika na pozitivno plast, pri čemer nastaja električna energija. Električni tok steče, ko se na fotovoltaični sistem priključijo uporabniki. Električni tok je odvisen od velikosti fotovoltaičnih celic in intenzivnosti svetlobe. Delež proizvedene električne energije iz vpadne svetlobe se imenuje izkoristek ( $\eta$ ) fotovoltaičnega sistema (Koprivnikar in Đurasovič, 2010). Fotonapetostni sistem za delovanje ne potrebuje direktne dnevne svetlobe, temveč lahko električno energijo proizvaja tudi v oblačnem vremenu (Fraile, Latour, El Gammal, Annett in Nemac, b. d.).



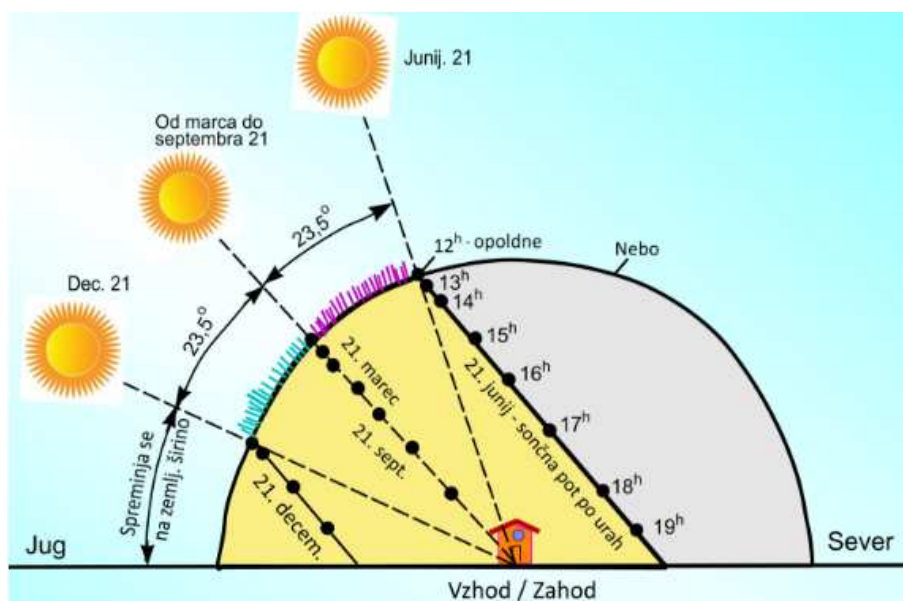
Slika 3: Princip delovanja manjšega samostojnega fotonapetostnega sistema.  
(Vir: Žalar, 2016, str. 40)

Na sliki 3 je prikazan princip delovanja samostojnega fotonapetostnega sistema, ki omogoča neposredno oskrbo električnih porabnikov. Solarni moduli zbirajo sončno energijo in jo pretvorijo v električni tok. Presežke električne energije lahko sistem shranjuje v akumulator ali v električno omrežje.

V Sloveniji se je razcvet fotovoltaičnih sistemov pričel po letu 2008, ko so bili prvič zagotovljeni pogoji za ugoden odkup električne energije. Naraščanje uporabe fotovoltaike je v Sloveniji povezano z možnostmi sofinanciranja investicij s strani države in možnostmi odkupa električne energije (Koprivnikar in Đurasovič, 2010).

Pri postavitvi sončnih elektrarn je zaradi večjega izkoristka potrebno upoštevati lego objekta, kjer bodo nameščeni kolektorji/zbiralniki, in sicer:

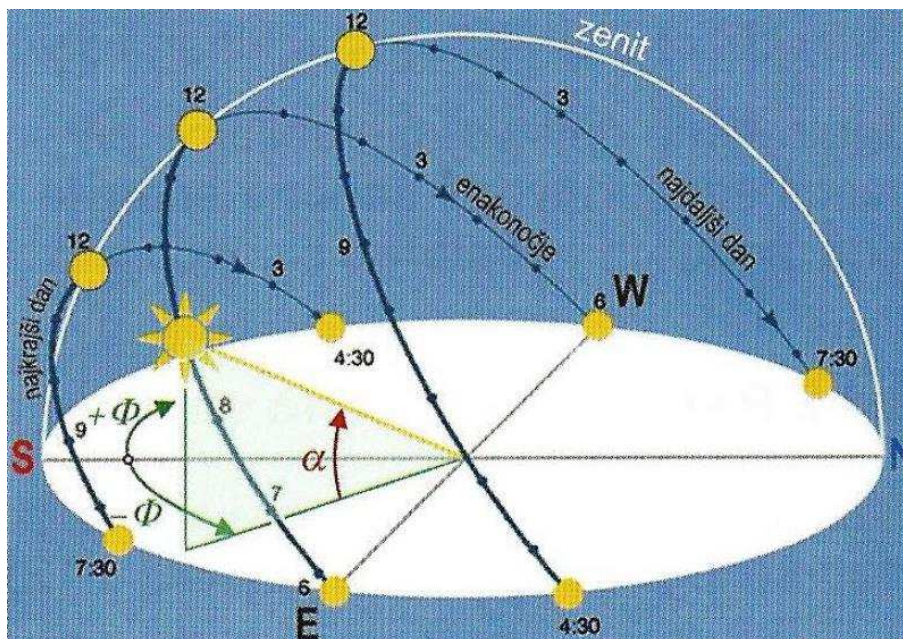
- lego objekta glede na sončno obsevanje,
- usmerjenost in naklon ploskve obsevanja.



Slika 4: Položaj Sonca glede na letni čas.  
(Vir: Pridobljeno iz Pot Sonca in ..., 2017)

Iz slike 4 je razvidno, da se lega Sonca glede na Zemljo skozi leto spreminja. Zemljepisna širina Slovenije je približno  $46^\circ$  severne zemljepisne širine. Sonce 21. marca in 23. septembra sije ob lokalnem poldnevu na ravno površino pod kotom  $44^\circ$ . V začetku zime, 21. decembra, ko je pri nas najkrajši dan (8.38 ure), je Sonce zelo nizko nad obzorjem. Kot, pod katerim sije na ravno površino, znaša  $20,5^\circ$ . V začetku poletja je Sonce nad obzorjem 15.46 ure in sije na ravno podlago pod kotom  $67,5^\circ$  (Vzhod in zahod Sonca ..., 2017).

Položaj Sonca določamo z dvema kotoma, z višino Sonca in azimutom Sonca (Žalar, 2016).



Slika 5: Pot Sonca.  
(Vir: Žalar, 2016, str. 27)

Slika 5 prikazuje poti in kote položaja Sonca. »Višina Sonca je določena s kotom med direktnim sončnim žarkom na obsevano površino in vodoravno ravnino, azimut Sonca pa s kotom med smerjo jug glede na aktualno površino in projekcijo aktualnega direktnega sončnega žarka na vodoravno ravnino. Azimut od smeri jug proti zahodu je po dogovoru pozitiven« (Žalar, 2016, str. 27).

Največji zajem energije sončnega obsevanja dobimo pri pravokotnem obsevanju površine. Zaradi spreminjanja lege Sonca glede na Zemljo v različnih letnih časih bi bilo potrebno nenehno spreminjati orientacijo in naklon sončnih elektrarn (Žalar, 2016).

Optimalna orientacija sončne elektrarne je usmerjenost direktno na jug, optimalni naklon za območje Slovenije pa med  $33^\circ$  in  $35^\circ$ . V praksi zaradi postavitve sončnih elektrarn na že obstoječe objekte ne moremo vedno doseči optimalne orientacije in optimalnega naklona, zaradi česar je posledično proizvodnja električne energije manjša (Dobro je vedeti, b. d.).

Kraj	Sončno obsevanje na vodoravno površino (kWh/m <sup>2</sup> )	Optimalen kot naklona (°) glede na horizont
Ljubljana	1209	32°
Maribor	1247	33°
Portorož	1378	35°

Tabela 1: Simulirano letno sončno obsevanje na vodoravno površino in optimalni kot naklona pri orientaciji jug.

(Vir: Modeliranje obsevanja, b. d.)

Tabela 1 prikazuje izplen energije glede na lokacijo morebitne elektrarne v Sloveniji. Kot, pri katerem je z metodo modeliranja obsevanja izračunan največji izkoristek, je po različnih krajih v Sloveniji različen, s čimer je povezan tudi izkoristek sončne elektrarne. Če je sončna elektrarna postavljena pod kotom 33° in obrnjena na jug, ima večji del leta, takrat ko so dnevi daljši, zelo dober izkoristek. Sonce nanjo sije pod kotom 77° na prvi spomladanski dan pa vse do 100° na prvi poletni dan. V jesenskih in zimskih mesecih pa Sonce sije na panele pod koti od 53° do 77°.

### 3 RAZISKOVALNO DELO

#### 3.1 Namen

Nameni raziskave so:

- primerjati izkoristek fotovoltaičnega panela pri umetnih in naravnih virih energije;
- ugotoviti, kako vpliva oddaljenost vira energije na izkoristek;
- izmeriti najprimernejši kot postavitve fotovoltaičnega panela glede na smer vira energije.

#### 3.2 Cilji

Cilji raziskave so:

- ugotoviti izkoristek fotovoltaičnega panela pri različni oddaljenosti (0,25 m, 0,5 m, 0,75 m) od vira svetlobe in različni moči svetlobe (40 W, 60W, 75W, 100W);
- ugotoviti najprimernejši kot postavitve fotovoltaičnega panela glede na smer vira svetlobe ter primerjati rezultate meritev glede na umetno in naravno svetlobo;
- primerjati izkoristek fotovoltaičnega panela z izkoristkom sončne elektrarne na strehi na površini 0,005 m<sup>2</sup>;
- ugotoviti, kakšna sta najpogostejša orientacija in naklon sončnih elektrarn na območju Štajerske.

#### 3.3 Hipoteze

Zastavili smo si naslednje hipoteze:

- Hipoteza 1: Predvidevamo, da bo pri večji moči umetnega svetila in manjši oddaljenosti umetnega svetila od fotovoltaičnega panela največji izkoristek.
- Hipoteza 2: Predvidevamo, da bomo pri meritvah izkoristka fotovoltaičnega panela obsevanega z umetnim svetilom dobili večji izkoristek kot s sončno energijo.
- Hipoteza 3: Predvidevamo, da bo izkoristek fotovoltaičnega panela primerljiv z izkoristkom izbrane sončne elektrarne.
- Hipoteza 4: Predvidevamo, da bo najpogostejša orientacija sončnih elektrarn jug, najpogostejši naklon pa med 33° in 35°.

### 3.4 Raziskovalne metode

V raziskovalni nalogi smo uporabili metode študija literature, eksperimentiranja in terenskega dela.

#### 3.4.1 Postopki zbiranja podatkov

Podatke smo zbirali z eksperimentiranjem in delom na terenu, v katerem smo uporabili naslednje pripomočke:

- model fotovoltaičnega panela Kioto, 270 Pure poly;
- podatke monitoringa sončne elektrarne, pridobljene z računalniškim programom SolarEdge;
- umetna svetila (žarnice) moči 40 W, 60 W, 75 W in 100 W;
- stojalo za panel;
- stojalo za umetno svetilo;
- merilni trak;
- kotomer;
- leseno ploščo za podlago;
- upornik: dve vzporedno vezani žarnici (3,5 V; 0,7 W);
- merilec toka in napetosti.

Raziskovalno delo smo razdelili na štiri dele:

- 1. del: Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na oddaljenost in moč vira energije.
- 2. del: Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na kot med virom energije in fotovoltaičnim panelom.
- 3. del: Primerjava izkoristka fotovoltaičnega panela z izkoristkom izbrane sončne elektrarne.
- 4. del: Orientacija sončnih elektrarn in njihov naklon.

Dobljene podatke smo analizirali in preverili naše hipoteze.

##### 3.4.1.1 Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na oddaljenost in moč vira energije

Opis eksperimenta:

- Eksperiment se opravlja v prostoru brez vira svetlobe.
- Stojalo z žarnico je postavljeno pravokotno na leseno ploščo.
- Stojalo za fotovoltaični panel je postavljeno pravokotno na vir svetlobe.
- Izvajanje meritev s 40 W žarnico, nato ponovitve meritev s 60 W, 75 W in 100 W žarnico.
- Izvajanje meritev toka in napetosti s spreminjanjem oddaljenosti vira svetlobe od fotovoltaičnega panela (0,25 m, 0,5 m, 0,75 m).
- Izračun moči fotovoltaičnega panela.

$$P_p \text{ [W]} = U \text{ [V]} \cdot I \text{ [A]}$$

- $P_p$  - moč fotovoltaičnega panela
- $U$  - napetost
- $I$  - tok

Moč fotovoltaičnega panela ( $P_p$ ) izračunamo tako, da izmerjeno napetost ( $U$ ) pomnožimo s tokom ( $I$ ).

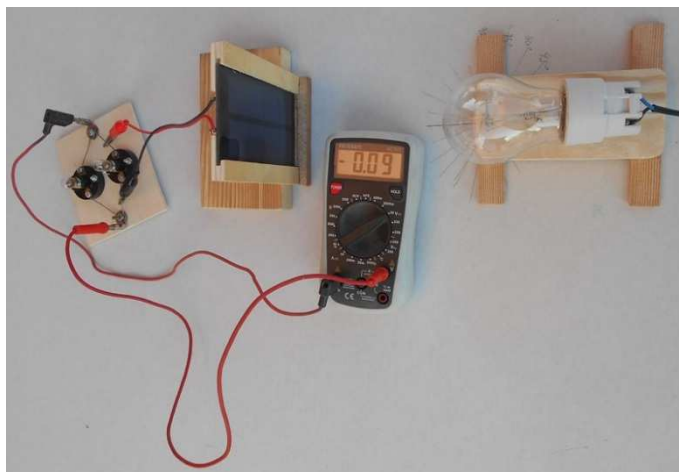
- Izračun izkoristka fotovoltaičnega panela.

$$P_s[\text{W}] = j_s \frac{[\text{W}]}{[\text{m}^2]} \cdot S_p[\text{m}^2]$$

$$\eta = \frac{P_p [\text{W}]}{P_s [\text{W}]}$$

- $\eta$  - izkoristek
- $j_s$  - gostota svetlobnega toka svetila
- $P_p$  - moč fotovoltaičnega panela
- $P_s$  - moč svetila
- $S_p$  - površina fotovoltaičnega panela

Moč, ki jo žarnica seva na fotovoltaični panel ( $P_s$ ), dobimo, če gostoto svetlobnega toka ( $j_s$ ) pomnožimo s površino fotovoltaičnega panela ( $S_p$ ). Izkoristek fotovoltaičnega panela ( $\eta$ ) dobimo, če izmerjeno moč panela ( $P_p$ ) delimo z močjo žarnice ( $P_s$ ), ki jo ta seva v prostor na določeni razdalji na površino fotovoltaičnega panela ( $S_p$ )  $0,005 \text{ m}^2$ .

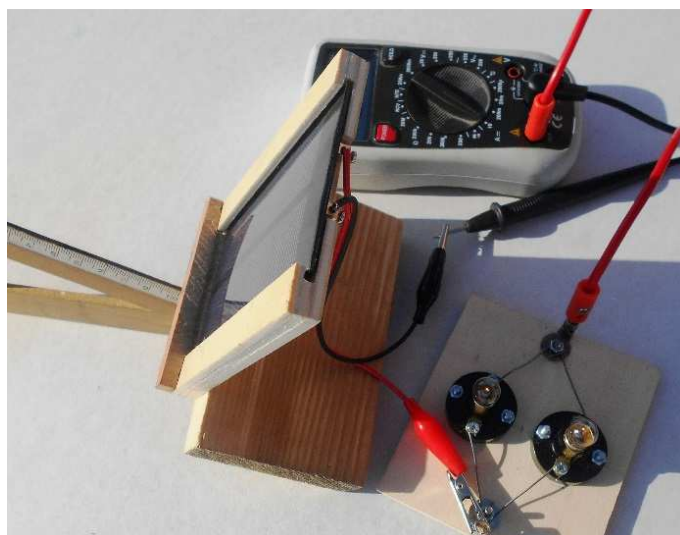


Slika 6: Pripomočki za merjenje, povezani v električni krog.  
(Avtor: Miha Sterkuš, Laporje, 29. januar 2018)

### 3.4.1.2 Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na kot med virom energije in fotovoltaičnim panelom

Opis eksperimenta:

- Eksperiment z umetnim virom svetlobe se opravlja v prostoru brez vira svetlobe.
- Stojalo z žarnico je postavljeno pravokotno na leseno ploščo.
- Stojalo za fotovoltaični panel je postavljeno pravokotno na vir svetlobe.
- Izvajanje meritev s 100 W žarnico.
- Izvajanje meritev toka in napetosti s spreminjanjem kota med žarnico in fotovoltaičnim panelom ( $90^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $60^\circ$  ...).
- Eksperiment, ko se kot vir energije uporablja Sonce, se opravlja zunaj (29. 1. 2018, 13.00,  $6^\circ\text{C}$ , 75% vlaga, sončno vreme) (ARSO vreme, b. d.).
- Izvajanje meritev toka in napetosti s spreminjanjem kota med Soncem in fotovoltaičnim panelom ( $90^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $60^\circ$  ...).



Slika 7: Prikaz meritev s fotovoltaičnim panelom, ko se kot vir energije uporablja Sonce.  
(Avtor: Miha Sterkuš, Laporje, 29. januar 2018)

### 3.4.1.3 Primerjava izkoristka fotovoltaičnega panela z izkoristkom izbrane sončne elektrarne

Opis terenskega dela:

- Pridobitev opisa izbrane sončne elektrarne na terenu.
- Pridobitev monitoringa izbrane sončne elektrarne.
- Izračuni.

### 3.4.2 Orientacija sončnih elektrarn in njihov naklon

Opis terenskega dela:

- Pridobitev podatkov o orientaciji in naklonu sončnih elektrarn na območju Štajerske.
- Pogovor z lastniki.

## 4 REZULTATI IN RAZPRAVA

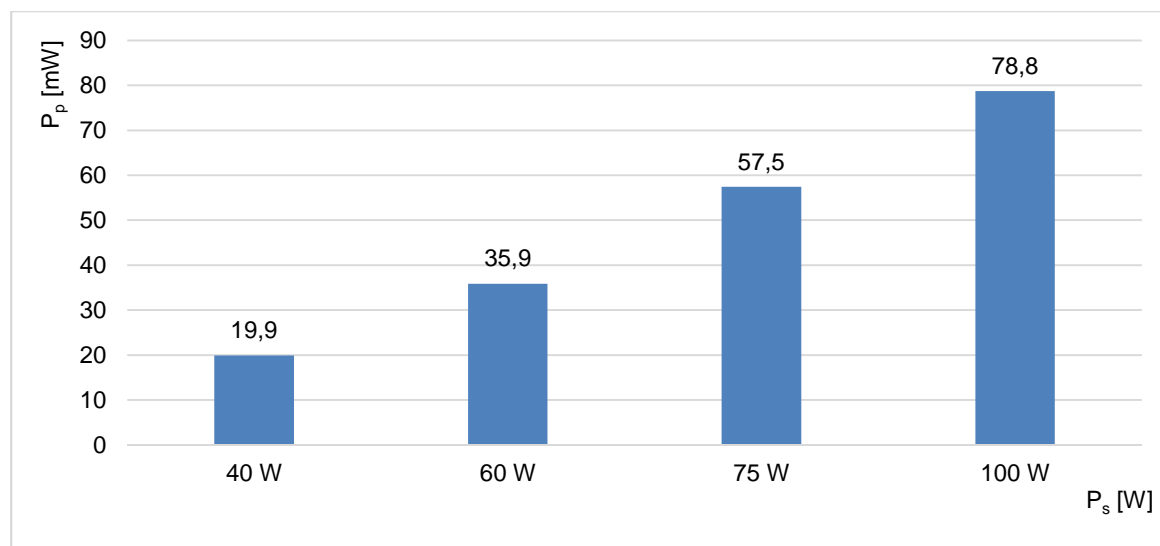
### 4.1 Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na oddaljenost in moč vira

Moč žarnice	Razdalja med fotovoltaičnim panelom in virom svetlobe					
	0,25 m		0,5 m		0,75 m	
	Napetost	Tok	Napetost	Tok	Napetost	Tok
<b>40 W</b>	1,99 V	10,0 mA	1,66 V	3,0 mA	1,33 V	1,5 mA
<b>60 W</b>	2,11 V	17,0 mA	1,83 V	5,2 mA	1,63 V	2,7 mA
<b>75 W</b>	2,21 V	26,0 mA	1,95 V	7,5 mA	1,75 V	3,9 mA
<b>100 W</b>	2,25 V	35,0 mA	2,00 V	10,0 mA	1,83 V	5,0 mA

Tabela 2: Meritve napetosti in toka pri različni moči žarnice.

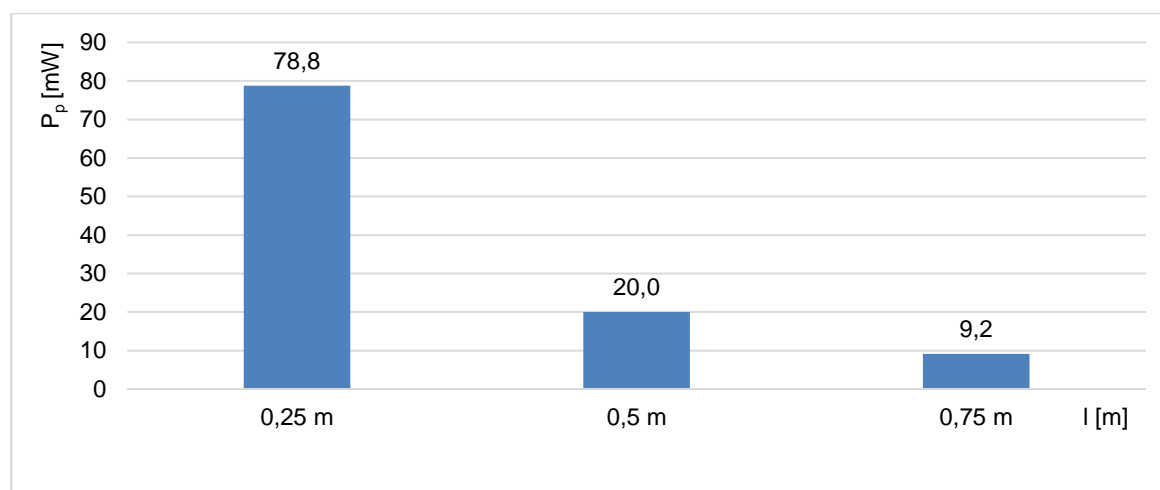
Iz tabele 2 je razvidno, da se pri različni moči žarnice in različni razdalji fotovoltaičnega panela od vira svetlobe spreminjata tok in napetost. Večji izkoristek dobimo ob večji moči žarnice oziroma kadar je vir svetlobe bližje.





Graf 3: Moč fotovoltaičnega panela ( $P_p$ ) pri različni moči žarnice ( $P_s$ ).

Iz grafa 3 je moč razbrati, da moč fotovoltaičnega panela glede na moč vira svetlobe narašča dokaj enakomerno.



Graf 4: Moč fotovoltaičnega panela ( $P_p$ ) pri 100 W žarnici glede na oddaljenost od žarnice ( $l$ ).

Iz grafa 4 je razvidno, da je pri 100 W žarnici največji izkoristek pri najmanjši razdalji med fotovoltaičnim panelom in virom svetlobe. Izkoristek pri dvakrat večji oddaljenosti fotovoltaičnega panela od vira svetlobe je približno štirikrat manjši, pri trikrat večji oddaljenosti pa približno devetkrat.

Za nadaljnje meritve smo izbrali 100 W žarnico.

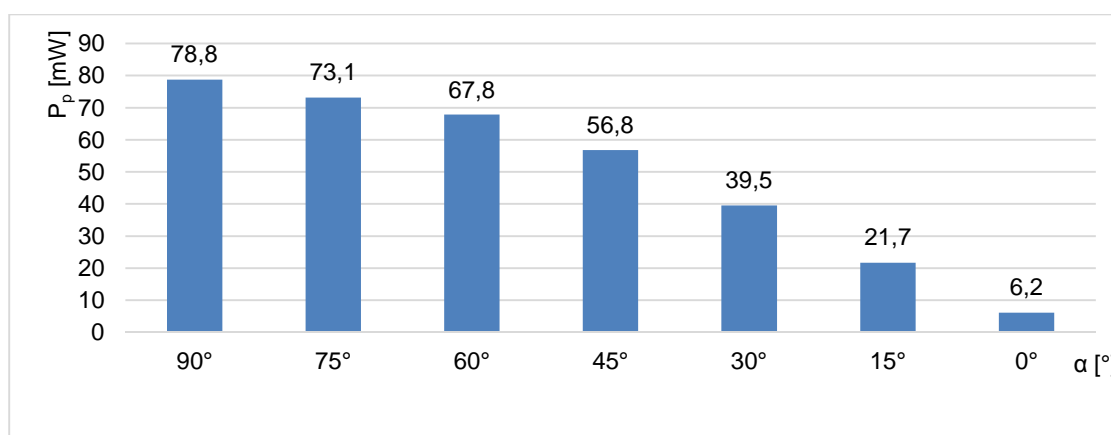
### Hipoteza 1: Predvidevamo, da bo pri večji moči umetnega svetila in manjši oddaljenosti umetnega svetila od fotovoltaičnega panela največji izkoristek.

Izkoristek fotovoltaičnega panela predstavlja razmerje med energijo, ki jo fotovoltaični panel odda, in prejeto energijo, ki jo fotovoltaični panel prejme. Z našo raziskavo smo potrdili teorijo, da bližina umetnega svetila vpliva na izkoristek. V primeru, ko je umetno svetilo bolj približano fotovoltaičnemu panelu, na enoto površine fotovoltaičnega panela pade večji energijski - svetlobni tok. Ko smo fotovoltaični panel premaknili na dvakratno razdaljo, se je moč panela štirikrat zmanjšala. Ko smo fotovoltaični panel premaknili na trikratno razdaljo, se je moč panela devetkrat zmanjšala, kar je v skladu s teorijo, ki pravi, da se osvetljenost ploskve zmanjšuje s kvadratom oddaljenosti svetila (Kladnik, 1983).

Na podlagi naših rezultatov hipotezo 1 potrdimo.

## 4.2 Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na kot med virom energije in fotovoltaičnim panelom

### 4.2.1 Meritve, narejene z umetnim virom svetlobe



Graf 5: Moč fotovoltaičnega panela ( $P_p$ ) pri 100 W žarnici glede na kot ( $\alpha$ ) med žarnico in panelom.

Iz grafa 5 je razvidno, da se s kotom  $\alpha$  med fotovoltaičnim panelom in virom svetlobe spreminja tudi moč ( $P$ ). Največjo moč ima fotovoltaični panel takrat, kadar je postavljen pravokotno na vir svetlobe (90°). Kadar je panel postavljen na vir svetlobe pod kotom 0°, ni direktnega vira svetlobe, moč pa je kljub vsemu v manjši meri prisotna. Moč fotovoltaičnega panela se z manjšanjem kota med umetnim virom svetlobe in fotovoltaičnim panelom manjša.

Izračun izkoristka fotovoltaičnega panela pri 100 W žarnici:

$$P_p = 0,07875 \text{ W}$$

$$P_s = 0,6369 \text{ W (pri razdalji 0,25 m)}$$

$$S_p = 0,005 \text{ m}^2$$

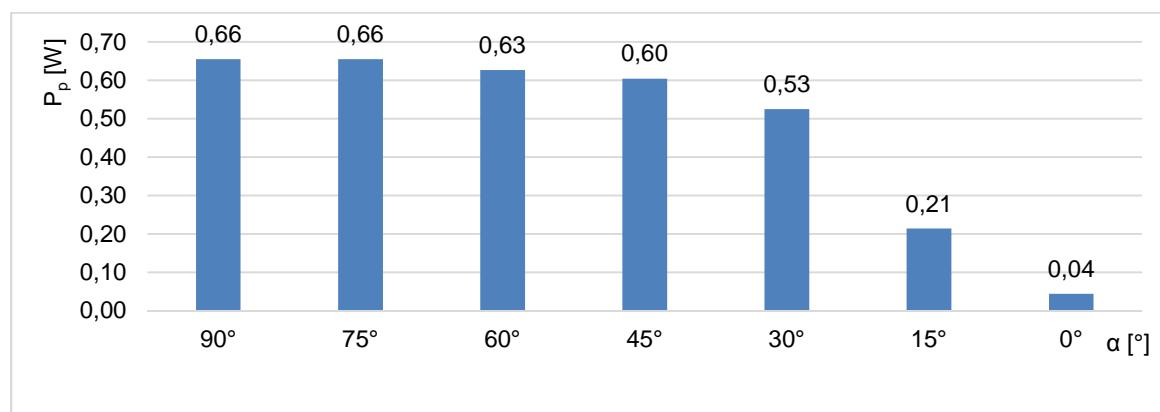
$$j_s = \frac{P_s [\text{W}]}{4 \pi r^2 [\text{m}^2]} = \frac{100 \text{ W}}{0,785 \text{ m}^2} = 127,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$P_s [\text{W}] = j_s \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \cdot S_p [\text{m}^2] = 127,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 0,005 \text{ m}^2 = 0,6369 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_p [\text{W}]}{P_s [\text{W}]} = \frac{0,07875 \text{ W}}{0,6369 \text{ W}} = 0,12 \text{ oziroma } 12 \%$$

Izkoristek fotovoltaičnega panela pri 100 W žarnici, kadar je panel glede na vir svetlobe postavljen pod kotom 90°, je 12 %.

#### 4.2.2 Meritve, narejene z naravnim virom svetlobe



Graf 6: Moč fotovoltaičnega panela ( $P_p$ ) glede na kot ( $\alpha$ ) med Soncem in panelom.

Iz grafa 6 je razvidno, da je največja moč fotovoltaičnega panela takrat, kadar je le-ta postavljen 90° glede na Sonce. Graf prikazuje, da se moč panela ohranja do kota 45° oziroma 30° med Soncem in panelom, nato pa se prične moč panela hitro zmanjševati.

V grafu 6 so zajeti zgolj rezultati ene meritve. V sklopu eksperimenta smo naredili pet meritev ob različnih dnevih ob istem času. Rezultati meritev so bili podobni, posledično je bil podoben tudi izračun izkoristka. Glede na to, da smo vse meritve izvajali v sončnem vremenu ob približno enakem času, smo z dodatnimi meritvami potrdili, da je eksperiment možno ponoviti in da je bil dobro načrtovan in izveden.

Izračun izkoristka fotovoltaičnega panela pri naravnem viru svetlobe:

$$\begin{aligned} P_p &= 0,66 \text{ W} \\ j_s &= 1000 \text{ W/m}^2 \\ P_s &= 5 \text{ W} \\ S_p &= 0,005 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$P_s [\text{W}] = j_s \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \cdot S_p [\text{m}^2] = 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 0,005 \text{ m}^2 = 5 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_p [\text{W}]}{P_s [\text{W}]} = \frac{0,66 \text{ W}}{5 \text{ W}} = 0,13 \text{ oziroma } 13 \%$$

Izkoristek fotovoltaičnega panela pri naravnem viru svetlobe, kadar je panel glede na vir svetlobe postavljen pod kotom 90°, je 13 %.

## **Hipoteza 2: Predvidevamo, da bomo pri meritvah izkoristka fotovoltaičnega panela obsevanega z umetnim svetilom dobili večji izkoristek kot s sončno energijo.**

Največji izkoristek fotovoltaičnega panela dobimo, kadar je kot med panelom in virom svetlobe  $90^\circ$  ne glede na to, ali kot vir svetlobe uporabimo umetno ali naravno svetlobo. Če primerjamo grafa 5 in 6, ugotovimo, da glede na kot sevanja vira energije na fotovoltaični panel moč enakomerneje pada pri umetnem viru svetlobe kot pri naravnem viru svetlobe. Rezultate si razlagamo z bolj usmerjeno umetno svetlobo (točkovni vir svetlobe) in pojavom sipanja naravne svetlobe.

Pri meritvah izkoristka, ko smo fotovoltaični panel obsevali s sončno energijo, smo dobili nekoliko večji izkoristek ( $\eta = 13\%$ ) kot pri meritvah z umetnim virom energije ( $\eta = 12\%$ ). Rezultata obeh meritev sta približno enaka. Ena izmed možnih razlag je ta, da je bil eksperiment dobro načrtovan, izbrani model fotovoltaičnega panela pa primeren tako za meritve z umetno kot z naravno svetlobo.

Na podlagi naših rezultatov hipoteze 2 ne potrdimo.

### **4.3 Primerjava izkoristka fotovoltaičnega panela z izkoristkom izbrane sončne elektrarne**

Izbrana sončna elektrarna je bila zgrajena leta 2017 s pomočjo Ekosklada Republike Slovenije z omejitvijo, da moč elektrarne ne sme presegati 11 kW moči. Izvedba projekta je bila zanimiva zaradi subvencije, ekološke komponente ter cenejših sončnih modulov z večjimi izkoristki in boljšimi razsmerniki (Mikro sončne elektrarne, b. d.).

Smotrnost naložbe izgradnje sončne elektrarne je potrdila analiza vseh pomembnih kriterijev (lega, usmerjenost, naklon, obsevanost), ki so potrebni za boljši izkoristek sončne elektrarne.

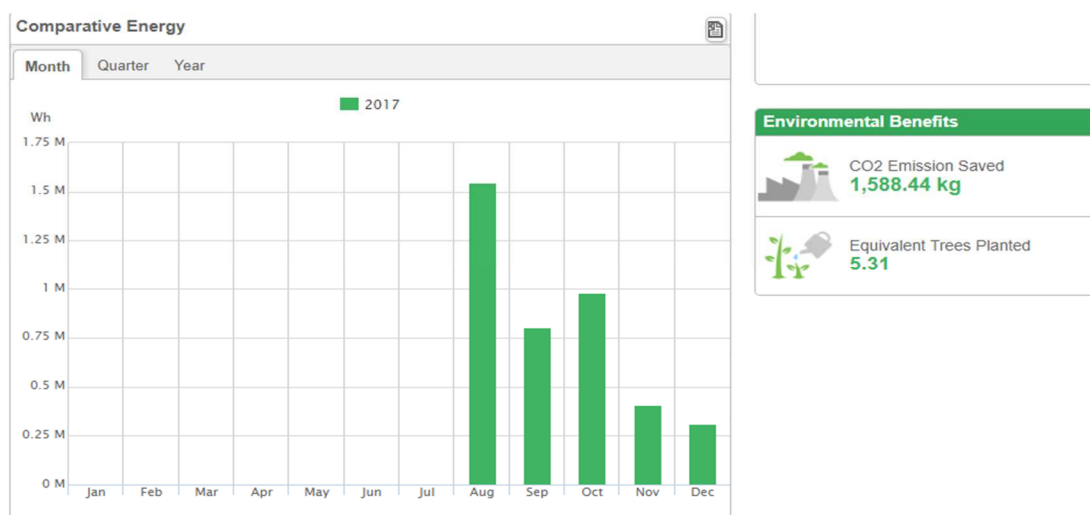
Načrt izgradnje sončne elektrarne je zajemal prijavo na razpis, pridobitev vseh dovoljenj, postavitev konstrukcije, namestitvev modulov in razsmernika ter zagon elektrarne.



Slika 8: Izbrana sončna elektrarna.  
(Avtor: Miha Sterkuš, Razgor pri Žabljeku, 12. januar 2018)

Opis izbrane sončne elektrarne s statičnimi fotovoltaičnimi paneli:

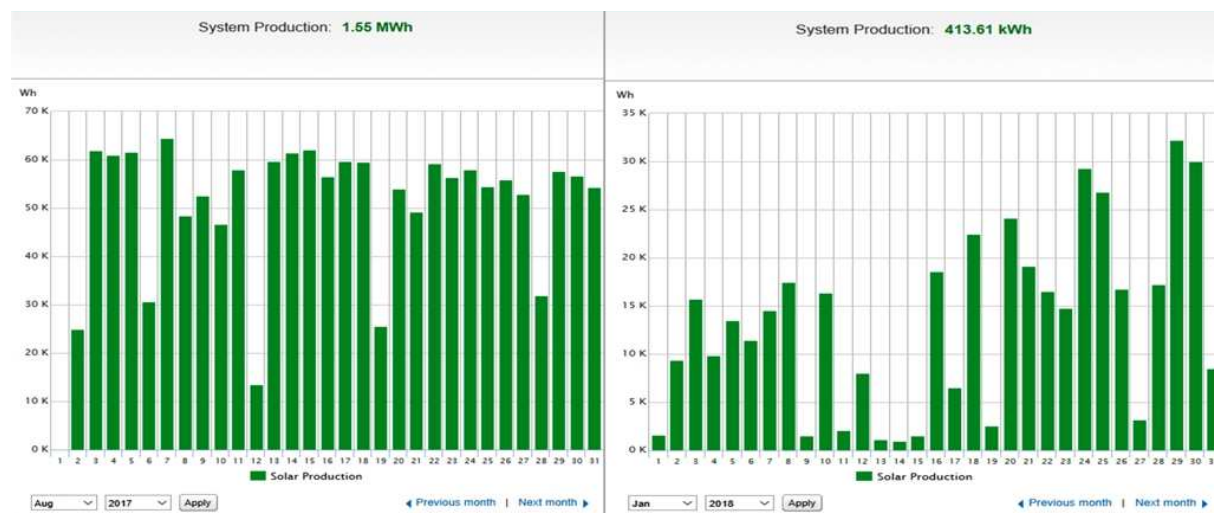
- Proizvajalec: Kioto.
- Model: 270 pure poly.
- Leto izdelave in montaže: 2017.
- Delovanje: od avgusta 2017 dalje.
- Površina: 65 m<sup>2</sup>.
- Kraj delovanja elektrarne: Razgor pri Žabljeku, Občina Slovenska Bistrica.
- Orientacija: jugozahod.
- Naklon: 15°.
- Računalniški program za spremljanje delovanja: SolarEdge.



Graf 7: Podatki o količini pridobljene energije po mesecih za izbrano sončno elektrarno od avgusta do decembra 2017.  
(Vir: SolarEdge)

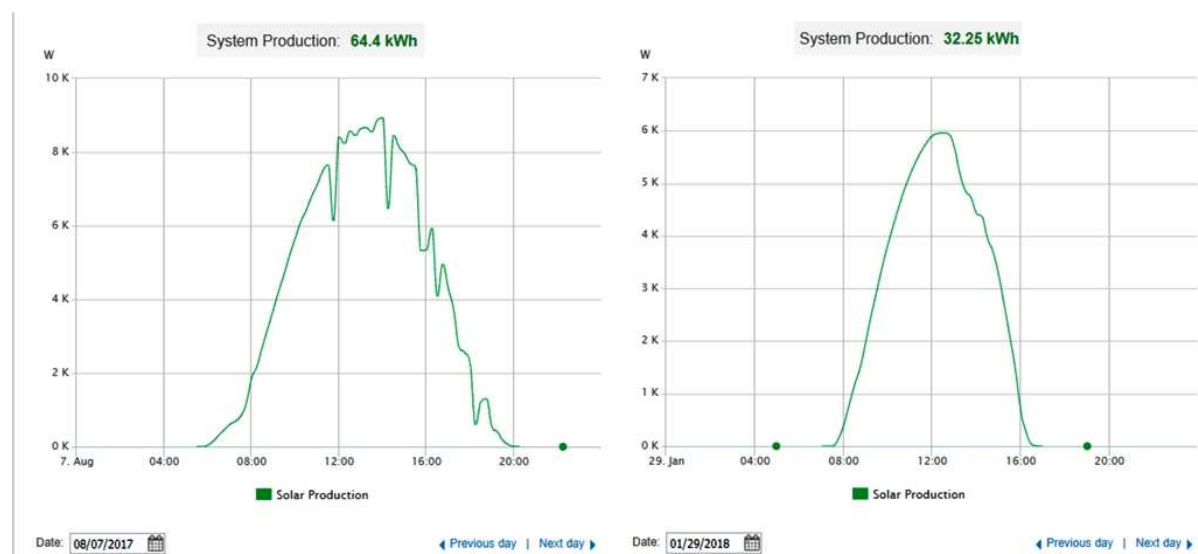
Iz grafa 7 je razvidno, da je bilo največ energije na izbrani sončni elektrarni pridobljene v mesecu avgustu 2017, najmanj v mesecu decembru. Avgusta 2017 je bilo pridobljene približno petkrat več energije kot v decembru 2017.

Po podatkih ARSO (Cegnar, 2017 a, 2017 b, 2017 c, 2017 č, 2017 d) je bilo na področju Maribora v letu 2017 izmerjenih avgusta 309 sončnih ur, septembra 126, oktobra 205, novembra 76 in decembra 108 sončnih ur. Podatki iz grafa 7 so v skladu z meritvami ARSO, pri čemer je potrebno upoštevati, da je v decembru Sonce zelo nizko nad obzorjem, zaradi česar je izkoristek elektrarne manjši.



Graf 8: Podatki o količini pridobljene energije po dnevih za avgust 2017 (8. a) in januar 2018 (8. b) na primeru izbrane sončne elektrarne.  
(Vir: SolarEdge)

Iz grafov 8. a in 8. b je razvidno, da je bilo v avgustu 2017 na izbrani sončni elektrarni pridobljene 1550 kWh energije, v januarju 2018 pa 413,61 kWh. Odstopanja po dnevih so v januarju večja kot v avgustu.



Graf 9: Podatki o količini pridobljene energije po urah na dan, ko se je pridobilo največ energije v avgustu (7. 8. 2017) (9. a) in januarju (29. 1. 2018) na primeru izbrane sončne elektrarne.  
(Vir: SolarEdge)

Iz grafov 9. a in 9. b je razvidno, da se je največ energije v avgustu 2017 pridobilo med 12. in 15. uro, v januarju 2018 pa med 12. in 13. uro, pri čemer je že upoštevan premik urnih kazalcev.

Izračun izkoristka izbrane sončne elektrarne na dan 29. 1. 2018 ob 13. uri:

$$\begin{aligned}P_p &= 6000 \text{ W} \\j_s &= 1000 \text{ W/m}^2 \\P_s &= 65000 \text{ W} \\S_p &= 65000 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$P_s [\text{W}] = j_s \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \cdot S_p [\text{m}^2] = 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 65 \text{ m}^2 = 65000 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_p [\text{W}]}{P_s [\text{W}]} = \frac{6000 \text{ W}}{65000 \text{ W}} = 0,09 \text{ oziroma } 9 \%$$

Izkoristek izbrane sončne elektrarne na dan 29. 1. 2018 ob 13. uri je 9 %.

### Hipoteza 3: Predvidevamo, da bo izkoristek fotovoltaičnega panela primerljiv z izkoristkom izbrane sončne elektrarne.

Površina modela fotovoltaičnega panela znaša 0,005 m<sup>2</sup>, površina fotovoltaičnega panela izbrane sončne elektrarne pa 1,652 m<sup>2</sup>. Predpostavljamo, da so fotovoltaični paneli po kvaliteti enaki. Laboratorijska vrednost moči P<sub>e</sub>[W] za fotovoltaični panel izbrane sončne elektrarne znaša 250 W. Eksperimentalno določena moč modela fotovoltaičnega panela je bila 0,66 W.

$$\begin{aligned}P_e &= 250 \text{ W} \\P_p &= 0,66 \text{ W} \\S_e &= 1,652 \text{ m}^2 \\S_p &= 0,005 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Izračun moči modela fotovoltaičnega panela na površino 1,652 m<sup>2</sup>

$$P [\text{W}] = \frac{P_p [\text{W}] \cdot S_e [\text{m}^2]}{S_p [\text{m}^2]} = \frac{0,66 \text{ W} \cdot 1,652 \text{ m}^2}{0,005 \text{ m}^2} = 330,4 \times 0,66 \text{ W} = 218 \text{ W}$$

Izračun moči kaže, da bi bila moč enake površine modela fotovoltaičnega panela 218 W. Razlika med modelom fotovoltaičnega panela in laboratorijsko vrednostjo panela izbrane sončne elektrarne je 32 W. Predvidevamo, da je razlika posledica preprostih merilnih instrumentov in vplivov okolja.

Izkoristek izbrane sončne elektrarne, ki je usmerjena v smeri jugozahod, je na dan 29. 1. 2018 ob 13. uri 9 %. Izračunali smo, da bi bil izkoristek sončne elektrarne pri kotu 90° največji, in sicer 13 %. Predvidevamo, da bi bil izkoristek izbrane sončne elektrarne nekoliko večji, če bi le-ta bila usmerjena proti jugu in ne proti jugozahodu, kar pa zaradi gradnje sončne elektrarne na že obstoječi objekt ni možno. Fotovoltaični paneli so glede na horizont postavljeni pod kotom 15°, kar omogoča zaradi položaja Sonca večji izkoristek v poletnih mesecih.

Na podlagi naših rezultatov hipotezo 3 potrdimo.

#### 4.4 Orientacija sončnih elektrarn in njihov naklon

Datum, ura	Višina Sonca	Najugodnejši naklon fotovoltaičnega panela za največji izkoristek
21. 3. 2017, 13.00	42°	48°
21. 6. 2017, 13.00	67°	23°
23. 9. 2017, 13.00	43°	47°
21. 12. 2017, 13.00	18°	72°
29. 1. 2018, 13.00	25°	65°

Tabela 3: Višina Sonca in najugodnejši naklon fotovoltaičnega panela za največji izkoristek ob različnih datumih, ob 13. uri, podatki za Maribor (Portal o astronomiki in astronomiji, b. d.).

Po podatkih Portala o astronomiki in astronomiji (b. d.) je 29. januarja 2018 Sonce ob 13. uri sijalo na Zemljo pod kotom 25°. Ta podatek nam omogoča, da izračunamo kot postavitve fotovoltaičnega panela, tj. da bo Sonce nanj sijalo pod kotom 90°. Za naš primer, na dan 29. 1. 2018, je najugodnejši naklon fotovoltaičnega panela, da bo le-ta dal največji izkoristek, 65°. Rezultat se precej razlikuje od teoretičnih izhodišč, ko bi naj bil naklon fotovoltaičnih panelov med 33° in 35°. Iz tabele 3 razberemo, da se najugodnejši naklon fotovoltaičnega panela za največji izkoristek glede na letni čas za kraj Maribor ob isti uri (13.00) močno razlikuje in se giba med 23° in 72°.

Za nadaljnje interpretacije postavitve sončnih elektrarn bomo upoštevali letno povprečje za področje Maribora z okolico, in sicer orientacija jug in naklon 33° do 35°, kar smo predvideli v naši hipotezi 4.

Št.	Kraj elektrarne	Naklon	Orientacija (azimut)
1.	Razgor pri Žabljeku	15°	205° (jugozahod)
2.	Križni Vrh	40°	140° (jugovzhod)
3.	Žabljek	11°	85° (vzhod)
4.	Žabljek	11°	275° (zahod)
5.	Odranci	35°	200° (jugozahod)
6.	Slovenska Bistrica	32°	210° (jugozahod)
7.	Selnica ob Dravi	20°	165° (jugovzhod)
8.	Slovenska Bistrica	20°	155° (jugovzhod)
9.	Preloge	33°	180° (jug)
10.	Zafošt, Slovenska Bistrica	33°	180° (jug)

Tabela 4: Popis orientacije in naklona sončnih elektrarn na področju Štajerske.

Iz tabele 4 je razvidno, da so orientacije in nakloni sončnih elektrarn na Štajerskem raznoliki. Naklon preučevanih sončnih elektrarn je med 11° in 40°, njihova orientacija pa je usmerjena od 88° do 270° glede na azimut oziroma na jug, vzhod in zahod. V našem vzorcu sta le dve sončni elektrarni grajeni namensko (sončni elektrarni 9 in 10). Obe sta usmerjeni na jug in imata naklon 33°, kar je glede na teoretična izhodišča idealna postavitev. Vse ostale sončne elektrarne so grajene na strehe že obstoječih objektov, kar pomeni, da so bile pri postavitvi omejene z orientacijo strehe in njenim naklonom.



Z izjemo dveh sončnih elektrarn, ki sta usmerjeni na vzhod oziroma zahod (sončni elektrarni 3 in 4), so vse ostale usmerjene od jugovzhoda do jugozahoda. Glede na sliko 5 sklepamo, da je vseh deset sončnih elektrarn postavljenih tako, da v čim večji meri izkoristijo položaj sonca od 21. marca do 23. septembra. V tem obdobju so dnevi daljši in je sonce visoko na nebu. Ob lokalnem poldnevu sonce sije na Zemljo pod kotom od  $46^\circ$  do  $69^\circ$ , kar pomeni, da obseva fotovoltaične panele sončnih elektrarn blizu  $90^\circ$ .

**Hipoteza 4: Predvidevamo, da bo najpogostejša orientacija sončnih elektrarn jug, najpogostejši naklon pa med  $33^\circ$  in  $35^\circ$ .**

V naši raziskovalni nalogi (graf 6) smo ugotovili, da je največja moč fotovoltaičnega panela takrat, kadar je le-ta postavljen  $90^\circ$  glede na Sonce. Graf 6 prikazuje, da se moč panela ohranja do kota  $45^\circ$  oziroma  $30^\circ$  med Soncem in panelom, nato pa se prične moč panela hitro zmanjševati.

S kombinacijo orientacije in naklona sončne elektrarne lahko predvidimo, kdaj ima posamezna sončna elektrarna največji izkoristek. Sončne elektrarne, ki so orientirane na jug in so pod naklonom  $33^\circ$ , imajo največji izkoristek poleti ob lokalnem poldnevu (ob 12. uri). Sončne elektrarne, ki so orientirane bolj proti vzhodu, imajo večji izkoristek v dopoldanskem času, elektrarne, orientirane bolj proti zahodu, pa v popoldanskem času. Na preučevanih sončnih elektrarnah se obsevanost fotovoltaičnih panelov ne spusti pod kot  $52^\circ$ , kar pomeni, da so glede na ugotovitve iz grafa 6 izkoristki še vedno zelo visoki.

Razlike pri orientaciji in naklonu preučevanih sončnih elektrarn so velike. Dve sončni elektrarni (sončni elektrarni 9 in 10) sta grajeni na posebni konstrukciji – gre za namensko gradnjo objekta, zaradi česar so pri gradnji upoštevali teoretična izhodišča za to geografsko lego in sta pod naklonom  $33^\circ$  orientirani na jug. Ostale sončne elektrarne so postavljene na strehe že obstoječih objektov, torej gre za nenamenske gradnje, zaradi česar sta orientacija in naklon ostalih sončnih elektrarn odvisna od postavitve že obstoječih objektov.

**Ker se najugodnejši naklon postavitve sončne elektrarne glede na letni čas in čas dneva zelo spreminja in ker so izgube izkoristka sončne elektrarne do kota  $45^\circ$  zanemarljive, lahko hipotezo 4 potrdimo, čeprav se na prvi pogled zdi, da jo je potrebno ovreči.**

## 5 ZAKLJUČEK

V okviru raziskovalne naloge smo:

- se seznanili s fotovoltaiko, prednostmi in slabostmi njene uporabe;
- se seznanili s sončno elektrarno Kioto 270 pure poly, ki je postavljena na Razgorju pri Žabljeku z naklonom  $15^\circ$ , orientirana v smeri jugozahod,
- se seznanili s postopkom izračuna izkoristka fotovoltaičnega panela ter z monitoringom sončne elektrarne;
- s pomočjo literature ugotovili, da je za izbrano geografsko področje (Maribor) najprimernejša orientacija sončne elektrarne jug, njen naklon pa med  $33^\circ$  do  $35^\circ$ ;
- ugotovili, da je pri večji moči in čim manjši oddaljenosti umetnega svetila od fotovoltaičnega panela največji izkoristek;
- z meritvami in izračuni tako pri naravni kot umetni svetlobi dobili podoben izkoristek fotovoltaičnega panela;
- s pomočjo fotovoltaičnega panela preverili, katera orientacija in naklon fotovoltaičnega panela sta najugodnejša za čim večji izkoristek;
- ugotovili, da je največji izkoristek sončne elektrarne na dan 29. 1. 2018 ob 13.00 ob naklonu  $65^\circ$  ter da se ta naklon glede na letni čas zelo razlikuje;

- z eksperimentom ugotovili, da je izkoristek modela fotovoltaičnega panela primerljiv z izkoristkom sončne elektrarne;
- ugotovili, da odstopanja naklona sončne elektrarne od idealnega do 45° nimajo večjega vpliva na izkoristek;
- ugotovili, da sta orientacija in naklon sončnih elektrarn na terenu raznolika, najverjetneje zaradi gradnje sončnih elektrarn na že obstoječe gradbene objekte; vendar lahko kljub temu predvidevamo, da so njihovi izkoristki visoki, saj so vse postavljene znotraj sprejemljivih odstopanj (do 45°);
- spoznali, da je pri eksperimentalnem delu potrebno upoštevati različne dejavnike, ki vplivajo na potek in rezultate eksperimenta.

Raziskovalna naloga nas je pritegnila zaradi aktualnosti tematike in teženj Evropske unije, da bi se povečala proizvodnja energije iz obnovljivih virov. Za obravnavano področje je na razpolago veliko različnih virov ter podatkov. Po pregledu literature smo si zastavili štiri hipoteze. Naša predvidevanja smo potrdili v treh hipotezah.

Eksperimentalni del naloge je bil preprost, vendar smo za dobre rezultate morali delo dobro načrtovati, paziti smo morali na zunanje dejavnike in biti natančni pri odčitkih. Zanimivo je bilo tudi delo na terenu, predvsem spremljanje monitoringa izbrane sončne elektrarne s pomočjo računalniškega programa SolarEdge, s pomočjo katerega je na voljo izjemno veliko podatkov o delovanju elektrarne. Na terenu nas je zelo presenetila raznolikost orientacije in naklona elektrarn.

Zanesljivost eksperimentalnega dela smo izboljšali z dodatnimi meritvami. Vseponovljene meritve smo izvajali v sončnem vremenu ob približno enakem času in ugotovili, da so dobljene vrednosti podobne, zato lahko rečemo, da je bil dobro načrtovan in izveden.

Predlagamo, da se raziskava razširi na preučitev monitoringov več različnih sončnih elektrarn in se primerjajo njihovi izkoristki. Raziskava bi bila celovitejša, če bi meritve ponovili v različnih letnih časih in ob različnih urah.

## 6 VIRI IN LITERATURA

1. Arsovreme (b. d.). Pridobljeno 29. januarja 2018 s <http://vreme.arso.gov.si/napoved/Ljubljana/graf>
2. Dobro je vedeti (b. d.). Na Sol-navitas.si. Pridobljeno 15. februarja 2018 s <https://www.sol-navitas.si/dobro-je-vedeti/>
3. Cegnar, T. (2017 a). Podnebne spremembe v avgustu 2017. *Naše okolje*, XXIV (8), 3–24. Pridobljeno 2. februarja 2018 s <http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/mese%C4%8Dni%20bilten/NASE%20OKOLJE%20-%20Avgust%202017%20.pdf>
4. Cegnar, T. (2017 b). Podnebne spremembe v septembru 2017. *Naše okolje*, XXIV (9), 3–23. Pridobljeno 2. februarja 2018 s <http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/mese%C4%8Dni%20bilten/bilten2017.htm>
5. Cegnar, T. (2017 c). Podnebne spremembe v oktobru 2017. *Naše okolje*, XXIV (10), 3–24. Pridobljeno 2. februarja 2018 s <http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/mese%C4%8Dni%20bilten/NASE%20OKOLJE%20-%20Oktober%202017.pdf>
6. Cegnar, T. (2017č). Podnebne spremembe v novembru 2017. *Naše okolje*, XXIV (11), 3–24. Pridobljeno 2. februarja 2018 s

- <http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/mese%C4%8Dni%20bilten/NASE%20OKOLJE%20-%20November%202017.pdf>
7. Cegnar, T. (2017 d). Podnebne spremembe v decembru 2017. *Naše okolje*, XXIV (12), 3–27. Pridobljeno 2. februarja 2018 s <http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/mese%C4%8Dni%20bilten/NASE%20OKOLJE%20-%20December%202017.pdf>
  8. Evropski parlament, Direktiva 2009/28/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. aprila 2009 o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov spremembi in poznejši razveljavitvi direktiv 2001/77/ES in 2003/30/ES (UL L 140, 5. 6. 2009). Pridobljeno 10. februarja 2018 s [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2009.140.01.0016.01.SLV&toc=OJ:L:2009:140:TOC](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2009.140.01.0016.01.SLV&toc=OJ:L:2009:140:TOC)
  9. Eurostat: Yourkey to European statistics (28. 3. 2017). *Energyconsumptionandusebyhouseholds*. Pridobljeno 16. februarja 2018 s <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20170328-1?inheritRedirect=true&redirect=%2Feurostat%2F>
  10. Fraile, D., Latour, M., El Gammal, A., Annett, M. in Nematic, F. (b. d.). *Sončne elektrarne. Energija, ki nam jo nudi Sonce*. Ljubljana: Agencija za prestrukturiranje energetike d. o. o. Pridobljeno 15. februarja 2018 s <http://www.ape.si/publikacije/brosura-soncne-elektrarne.pdf>
  11. Godec, G., Glažar, S. in Grubelnik, L. (2015). *Naravoslovje 6: i-učbenik za naravoslovje v 6. razredu osnovne šole*. Ljubljana: Zavod RS za šolstvo. Pridobljeno 12. februarja 2018 s <http://eucbeniki.sio.si/nar6/3345/index.html>
  12. Kastelec, D., Rakovec, J. in Zakšek, K. (2007). *Sončna energija v Sloveniji*. Ljubljana: ZRC SAZU.
  13. Kladnik, R. (1983). *Fizika za tehniške usmeritve*. Ljubljana: Državna založba Slovenije.
  14. Koprivnikar, M. in Đurasovič, T. (2010). *Tehnologije obnovljivih virov energije in vplivi na okolje. Učbenik* (elektronski vir). Maribor: Biotehniška šola. Pridobljeno 14. februarja 2018 s [http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/ss/Gradiva\\_ESS/Biotehniška\\_podrocja\\_\\_sole\\_za\\_zivljenje\\_in\\_razvoj/BT\\_PODROCJA\\_62NARAVOVARSTVO\\_Tehnologije\\_Durasovic.pdf](http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/ss/Gradiva_ESS/Biotehniška_podrocja__sole_za_zivljenje_in_razvoj/BT_PODROCJA_62NARAVOVARSTVO_Tehnologije_Durasovic.pdf)
  15. Kazalci okolja v Sloveniji: Obnovljivi viri energije (26. 11. 2014). Pridobljeno 14. februarja 2018 s [http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind\\_id=643](http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=643)
  16. Mikro sončne elektrarne (b. d.). Pridobljeno 15. februarja 2018 s <https://www.ekosklad.si/fizicne-osebe/nameni/prikazi/actionID=177>
  17. Modeliranje obsevanja (b. d.). *PV portal: Slovenski portal za fotovoltaike*. Pridobljeno 15. februarja 2018 s <http://pv.fe.uni-lj.si/ModelObsevanja.aspx>
  18. Portal o astronomiki in astronomiji (b. d.). Pridobljeno 20. februarja 2018 s <https://vesolje.net/planetarij/>
  19. Pot Sonca in igranje s koti za sončno odzivno oblikovanje pri PH (22. 2. 2017). Pridobljeno 12. februarja 2018 s <https://www.instalater.si/prispevek/440/pot-sonca-in-igranje-s-koti-za-soncno-odzivno-oblikovanje-pri-ph>
  20. Renewableenergyprogressreport (16. 6. 2015). Pridobljeno 14. februarja 2018 s [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-15-5181\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-5181_en.htm)
  21. Spekter elektromagnetnega valovanja (b. d.). Pridobljeno 12. februarja 2018, s [https://sl.wikipedia.org/wiki/Spekter\\_elektromagnetnega\\_valovanja](https://sl.wikipedia.org/wiki/Spekter_elektromagnetnega_valovanja)
  22. Statistični urad Republike Slovenije (10. 10. 2017). *V 2016 je količina energije za končno rabo znašala 206.000 TJ, od tega 23 % za rabo v gospodinjstvih*. Pridobljeno 16. februarja 2018 s <http://www.stat.si/StatWeb/News/Index/7001>
  23. Vzhod in zahod Sonca ter Lune, dolžina dneva, navtični mrak za leto (1. 3. 2017). Pridobljeno 16. februarja 2018 s <https://www.observatorij.org/Efemeride/sonce17.html>
  24. Žalar, Z. (2016). *Obnovljivi viri energije: Učbenik za srednje strokovne in poklicne šole*. Ljubljana: BookStore.si.