



Gibanje MLADI RAZISKOVALCI KOROŠKE

(Področje: aplikativni inovacijski predlogi in projekti)

VPLIV NAKLONA IN USMERITVE NA IZKORISTEK SONČNE ELEKTRARNE

Avtor: Žiga Slemenik, Matevž Serušnik

Mentor: Robert Sterkuš, prof.

Šmartno, 2020

OŠ Šmartno pri Slovenj Gradcu

ZAHVALA

Pri najini raziskovalni nalogi se zahvaljujema učitelju Robert Sterkušu za vso potrpežljivost, vodenje in usmerjanje pri izdelavi tega raziskovalnega zapisa, naloge.

KAZALO

1	UVOD	5
2	TEORETIČNI DEL	6
2.1	Energija in energetika	6
2.2	Obnovljivi viri energije	6
2.3	Sonce kot vir energije	8
2.4	Sončno obsevanje v Sloveniji	10
2.5	Fotovoltaična sončna energija	10
3	RAZISKOVALNO DELO	14
3.1	Namen	14
3.2	Cilji	14
3.3	Hipoteze	14
3.4	Raziskovalne metode	14
3.4.1	Postopki zbiranja podatkov	14
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	16
4.1	Izkoristek fotovoltaičnega panela glede azimut in naklon	16
5	ZAKLJUČEK	20
6	VIRI IN LITERATURA	22

Kazalo tabel:

Tabela 1: Simulirano letno sončno obsevanje na vodoravno površino in optimalni kot naklona pri orientaciji jug.	13
Tabela 2: Prikaz napetosti pri kotu vpadne svetlobe 50°	16
Tabela 3: Osnova za Graf 5 je tabela meritev (stolpci predstavljajo krivulje). Kako se napetost spreminja v odvisnosti od naklona in azimuta.	18

Kazalo slik:

Slika 1: Prehod sončnega sevanja skozi ozračje, dolgodobno povprečje prek vseh krajev na Zemlji.	8
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.	12
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.	15

Kazalo grafov:

Graf 1: Struktura porabe energije glede na vir v Sloveniji leta 2016 in Evropski uniji leta 2015.	7
Graf 2: Struktura oskrbe z obnovljivimi viri energije v Sloveniji in Evropski uniji leta 2013.	8
Graf 3: Delež sončne energije je začel rasti nekje v letu 2006.	9
Graf 4: Meritve Niz1 pomeni kot 50°, Niz2 pomeni kot 45°	16
Graf 5: Vpliv padca napetosti pri različnih naklonih strehe in usmerjenostjo panelov	17

POVZETEK

Raziskovalna naloga raziŕče vpliv kota in usmerjenosti povrŕine na kateri se nahaja sončna elektrarna. V sloveniji imamo po vaseh dokaj razprŕeno gradnjo individualnih stanovanjskih zgradb. Usmeritev povrŕin pri starih gradnjah, hiŕah ni veĉ mogoĉa. Na izkoristek lahko vplivamo samo z dvigom panelov na strehah hiŕ.

V teoretiĉnem delu naloge sva preuĉila obnovljive vire energije, posebej sonĉno energijo s fotovoltaiiko, ki omogoĉa direktno pretvorbo sonĉne energije v elektriĉno.

Izkoristek fotovoltaiĉnega panela predstavlja razmerje med energijo, ki jo panel odda, in prejeto energijo, ki jo panel prejme. Ugotovili smo, da pri veĉji moĉi in ĉim manjŕi oddaljenosti umetnega svetila od fotovoltaiĉnega panela dobimo najveĉji izkoristek. Meritve izkoristka fotovoltaiĉnega panela so ne glede na umetni oziroma naravni vir energije dale podoben rezultat ($\eta = 12\text{--}13\%$). Izmerjen in izraĉunan izkoristek fotovoltaiĉnega panela je primerljiv z monitoringom izbrane sonĉne elektrarne. Orientacija in naklon sonĉnih elektrarn na terenu je raznolika, najverjetneje zaradi gradnje sonĉnih elektrarn na ŕe obstojeĉe gradbene objekte. Najugodnejŕi naklon sonĉnih elektrarn se glede na letni ĉas spreminja. Sonĉne elektrarne na terenu so usmerjene tako, da imajo veĉje izkoristke v poletnem ĉasu.

Z raziskovalno nalogo smo dokazali, da je z izraĉuni izkoristka modela fotovoltaiĉnega panela moŕno na doloĉenem geografskem podroĉju predvideti izkoristek sonĉne elektrarne glede na njeno orientacijo in naklon.

Ključne besede: sonĉna elektrarna, fotovoltaiika, panel, izkoristek

ABSTRACT

INFLUENCE OF TILT AND ORIENTATION ON THE EFFICIENCY OF A SOLAR POWER PLANT

The research task investigates the influence of the angle and orientation of the surface on which the solar power plant is located. In Slovenia, we have a fairly scattered construction of individual residential buildings in the villages. Orientation of surfaces in old buildings, houses is no longer possible. Efficiency can only be affected by raising the panels on the roofs of houses.

In the theoretical part of the thesis, we examined renewable energy sources, especially solar energy with photovoltaics, which allows the direct conversion of solar energy into electricity.

The orientation and inclination of solar power plants in the field is diverse, most likely due to the construction of solar power plants on existing buildings. The most favorable inclination of solar power plants varies according to the time of year. Field solar power plants are geared to have higher efficiencies in the summer. With the research task we proved that by calculating the efficiency of the photovoltaic panel model it is possible to predict the efficiency of the solar power plant in a certain geographical area according to its orientation and slope.

Key words: solar power plant, photovoltaics, panel, efficiency

1 UVOD

Sodoben čas, uporaba strojev, naprav, ki za svoje delovanje potrebujejo električno energijo so nas pripeljala do roba zmogljivosti hidroelektrarn, jedrskih elektrarn in ostalih običajnih procesov pri katerih se pridobiva električna energija. Sodobna družba za zadovoljevanje potreb po električni energiji potrebuje drugačen, sodobnejši, čisti vir pridobivanja električne energije. Veliko rezerve pri pridobivanju električne energije se skriva v sončnih panelih oziroma v pridobivanju električne energije iz sončnega obsevanja. 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 postavitve fotovoltaičnega panela pri različnih kotih naklona strehe in usmerjenostjo panela glede na vzhod-zahod (azimut postavitve). Pomembno vprašanje ali pri neugodni postavitvi strehe povečati površino elektrarne in predvsem ekonomski vidik takšne gradnje.

Zastavila sva si naslednji hipotezi:

Hipoteza 1: Predvidevamo, da odmik od smeri V-Z za 30° ne vpliva toliko na izkoristek elektrarne kot naklon postavitve elektrarne.

Hipoteza 2: Predvidevamo, da je uravnavanje naklona stroškovno upravičeno.

V teoretičnem delu naloge sva preučila energijo sevanja Sonca in parametre, ki pogojujejo izkoristek sončevega sevanja na Zemlji. O delovanju modulov, pretvornikov sončeve energije je napisano veliko. Problematika v delovanju fotovoltaičnih sistemov je v izkoristku le teh. Z razvojem tehnologije se izkoristek večja iz leta v leto. Izplen modulov je v naravi, na terenu odvisen predvsem od postavitve le teh. Eksperimentalni del sva glede na hipoteze razdelila na dva dela:

1. del: Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na naklon strehe

2. del: Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na usmeritev-usmerjenost slemena strehe, panela

Podatke sva zbirala s pomočjo literature in z eksperimentiranjem, ki je potekalo v šoli. Rezultati so podani v tabelah in diagramih, so primerjani in s pomočjo teorije analizirani.

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).

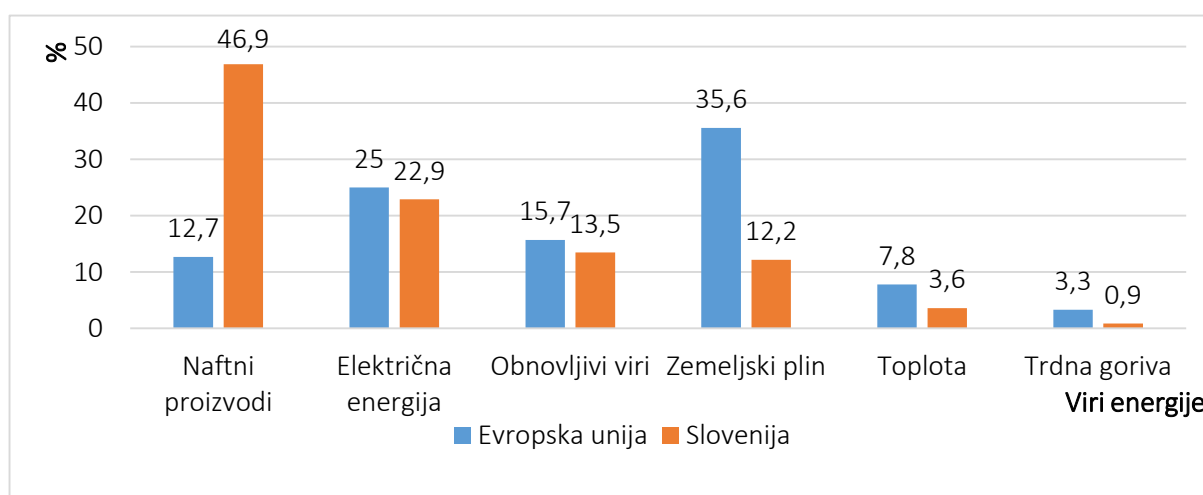
Sonce je največji izvor obnovljive energije, ki je posledica jedrske fuzije v Sončevi notranjosti. Sončno energijo delimo na posredno in neposredno. Neposredno iz sončne energije pridobivamo električno in toplotno energijo (fotovoltaika, solarni toplotni zbiralniki), posredno energijo pa pridobivamo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

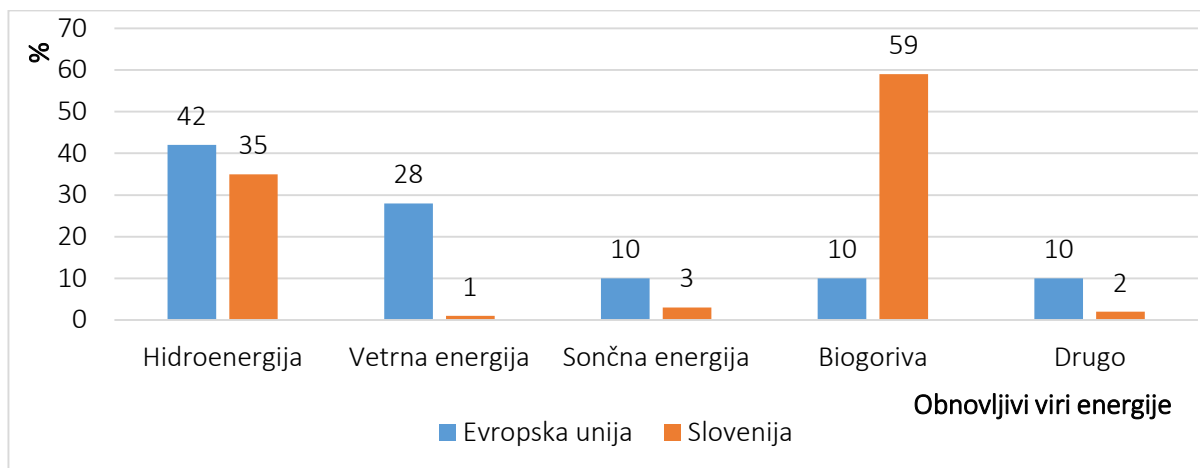
Planetna ali gravitacijska energija je energija, ki nastaja s pomočjo gravitacijskih sil. Najbolj znana oblika gravitacijske energije je plimovanje, ki nastane kot posledica gravitacije Lune in Sonca. Gravitacijske energije se po svetu uporablja malo, saj je malo znana, tehnologija pa še ni tako napredovala,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



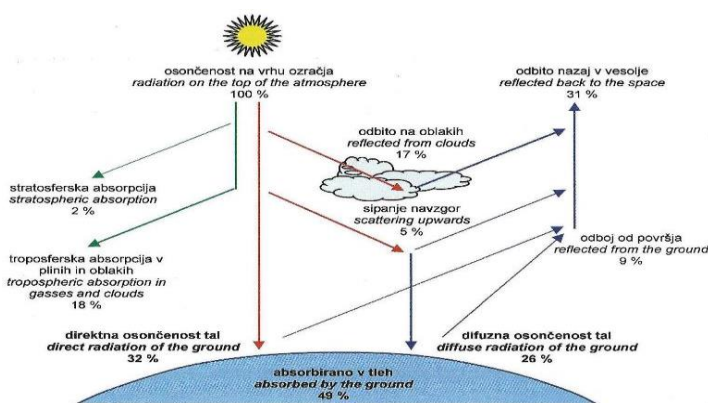
Graf 2: Struktura oskrbe z obnovljivimi viri energije v Sloveniji in Evropski uniji leta 2013. (Vir: Kazalci okolja v Sloveniji ..., 2014; Renewableenergyprogressreport ..., 2015)

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.

2.3 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^2 . 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).

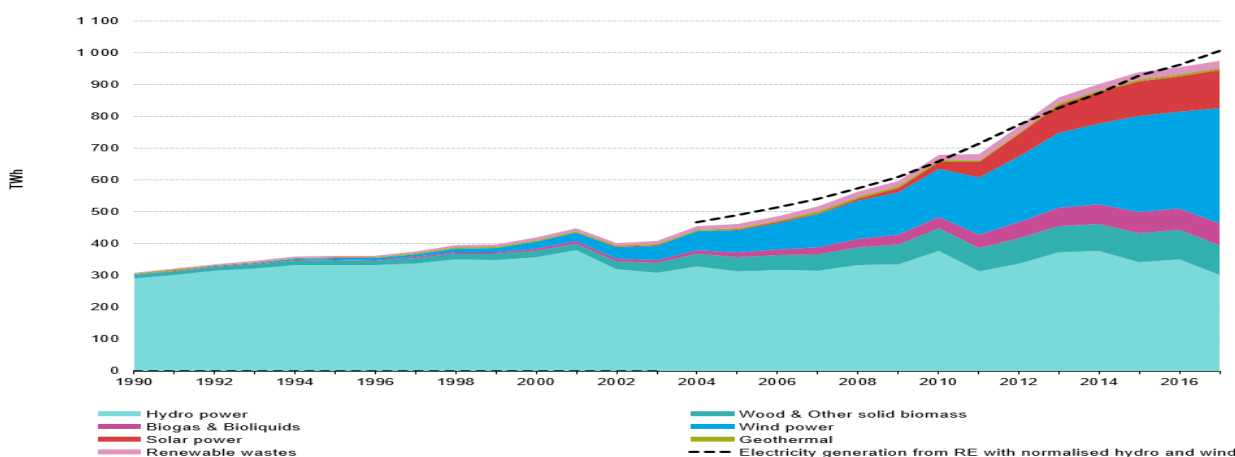


Slika 1: Prehod sončnega sevanja skozi ozračje, dolgodobno povprečje prek vseh krajev na Zemlji. (Vir: Kastelec, Rakovec in Zakšek (po Kiehl in Trenberthu, 1997), 2007, str. 14)

»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 tlu 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.



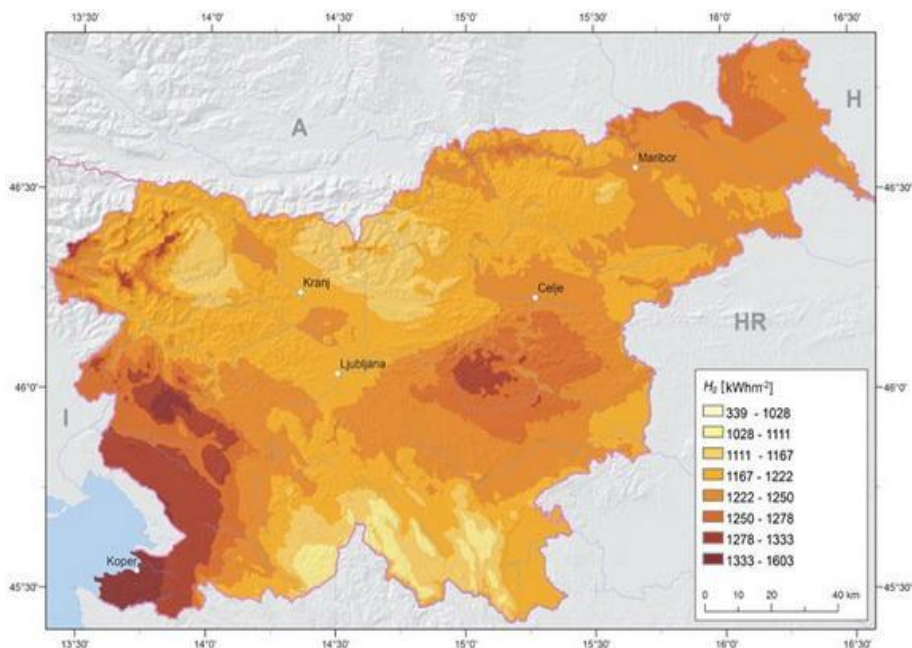
Graf 3: Delež sončne energije je začel rasti nekje v letu 2006.

Leta 2017 je delež proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov v skupni bruto porabi električne energije v EU-28 znašal več kot četrtno (30,7 %). Prvič je največji vir vetrna energija, tesno pa ji sledi vodna energija.

Med državami članicami EU obstajajo pomembne razlike. V Avstriji (72,2 %), na Švedskem (65,9 %) in na Danskem (60,4 %) so bile vsaj tri petine vse porabljene električne energije proizvedene iz obnovljivih virov energije – zlasti v okviru proizvodnje vodne energije in trdnih biogoriv – na Portugalskem (54,2 %) in v Latviji (54,4 %) pa je bila iz obnovljivih virov energije proizvedena več kot polovica električne energije. Po drugi strani je bil na Cipru, Madžarskem, v Luksemburgu in na Malti delež električne energije, proizvedene iz obnovljivih virov, manj kot 10-odstoten. (vir: https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/sl#Vetrna_energija_je_postala_najpomembnej.C5.A1i_vir_elektri.C4.8Dne_energije_iz_obnovljivih_virov)

2.4 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 m² 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).



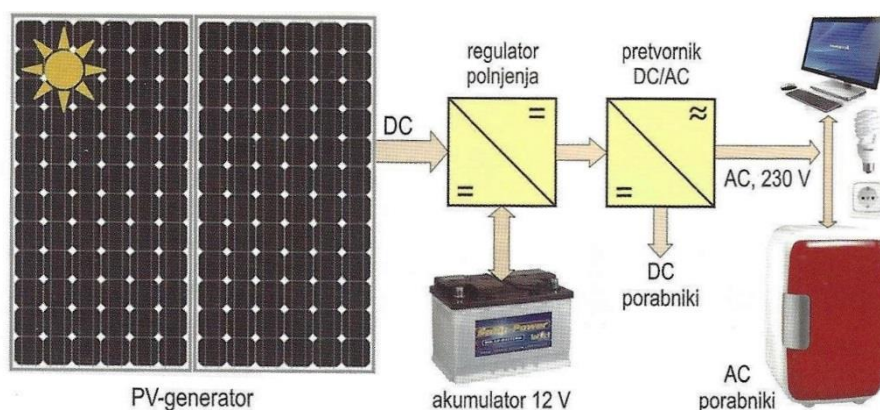
Slika 2: Desetletno (1994–2003) povprečje letnega globalnega sončnega obseva.
(Vir: Kastelec, Rakovec in Zakšek, 2007, str. 76)

2.5 Fotovoltaična sončna energija

Fotovoltaika je zloženka besede »foto«, ki je grškega izvora in pomeni svetloba, ter besede »voltaika«, 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 (η) 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 Nemač, b. d.).



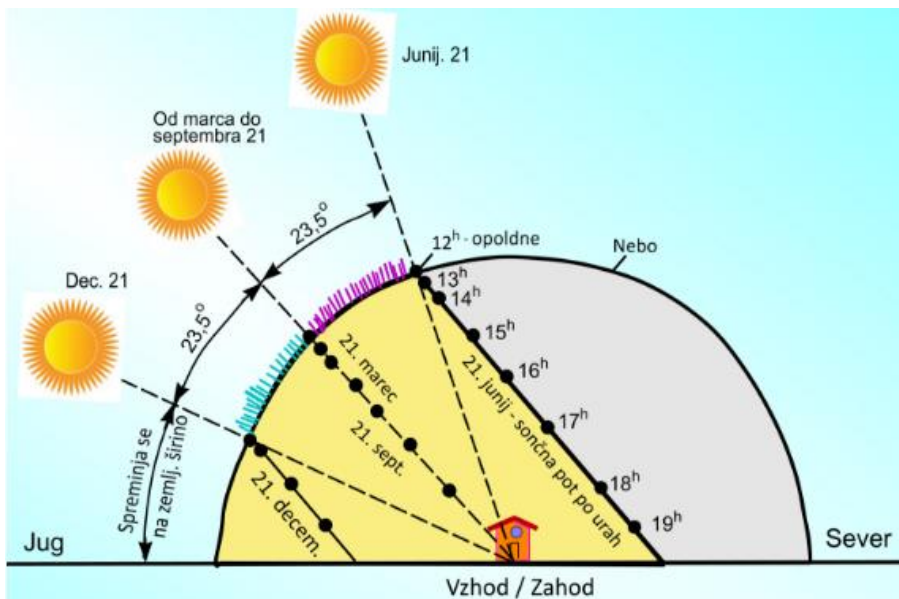
Slika 3: Princip delovanja manjšega samostojnega fotonapetostnega sistema.
(Vir: Žalar, 2016, str. 40)

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:

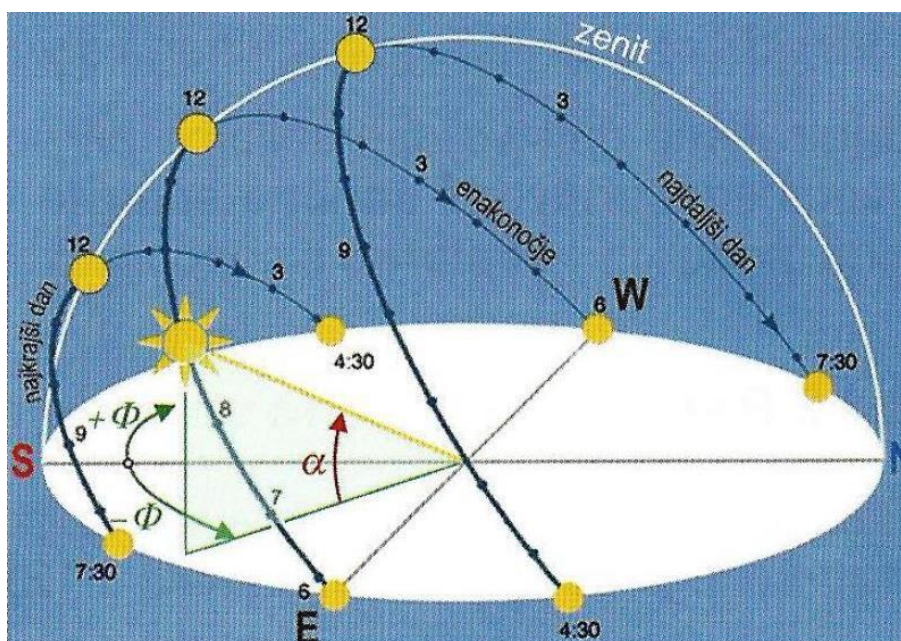
- lego objekta glede na sončno obsevanje,
- usmerjenost in naklon ploskve obsevanja.



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° severne zemljepisne širine. Sonce 21. marca in 23. septembra sije ob lokalnem poldnevu na ravno površino pod kotom 44° . 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° in 35°. 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 ²)	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 različnih kotih vpadne svetlobe
- primerjati izkoristek fotovoltaičnega panela pri različni usmerjenosti (azimut)
- ugotoviti, katera postavitev bolj vpliva na izkoristek

3.2 Cilji

Cilji raziskave so:

- ugotoviti izkoristek fotovoltaičnega panela pri različnih kotih vpadne svetlobe
- ugotoviti najprimernejši kot postavitve fotovoltaičnega panela glede na smer vira svetlobe
- primerjati izkoristek fotovoltaičnega panela z izkoristkom sončne elektrarne na strehi na površini 0,005 m²;
- ugotoviti, kakšna postavitev je najbolj idealna, postavitev, ki daje največji izplen

3.3 Hipoteze

Zastavila sva si naslednje hipoteze:

Hipoteza 1: Predvidevamo, da odmik od smeri V-Z za 30° ne vpliva toliko na izkoristek elektrarne kot naklon postavitve elektrarne.

Hipoteza 2: Predvidevamo, da je uravnavanje naklona stroškovno upravičeno.

3.4 Raziskovalne metode

V raziskovalni nalogi sva uporabila 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 (žarnica) moči 100 W;
- stojalo za panel;
- stojalo za umetno svetilo;
- merilni trak;
- kotomer;
- leseno ploščo za podlago;
- model hiše z nastavljivo streho
- merilec toka in napetosti.

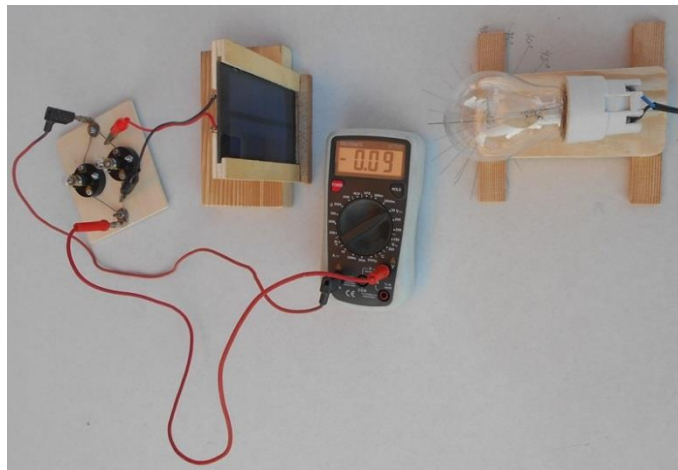
Raziskovalno delo sva razdelila na tri dele:

- del: Merjenje toka in napetosti panela pri različnih kotih vira svetlobe
- del: Merjenje toka in napetosti panela pri različnem azimutu
- del: Izračun moči panela v posameznih točkah

Dobljene podatke smo analizirali in preverili naše hipoteze.

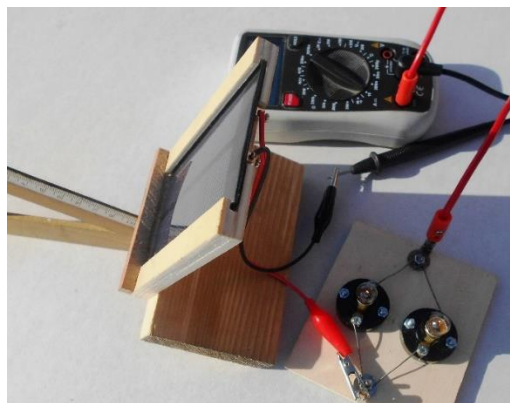
Opis eksperimenta:

- nastavitev kota strehe
- nastavitev odklona
- nastavitev svetila (konstantna oddaljenost in višina)
- merjenje napetosti



Slika 6: Pripomočki za merjenje, povezani v električni krog.

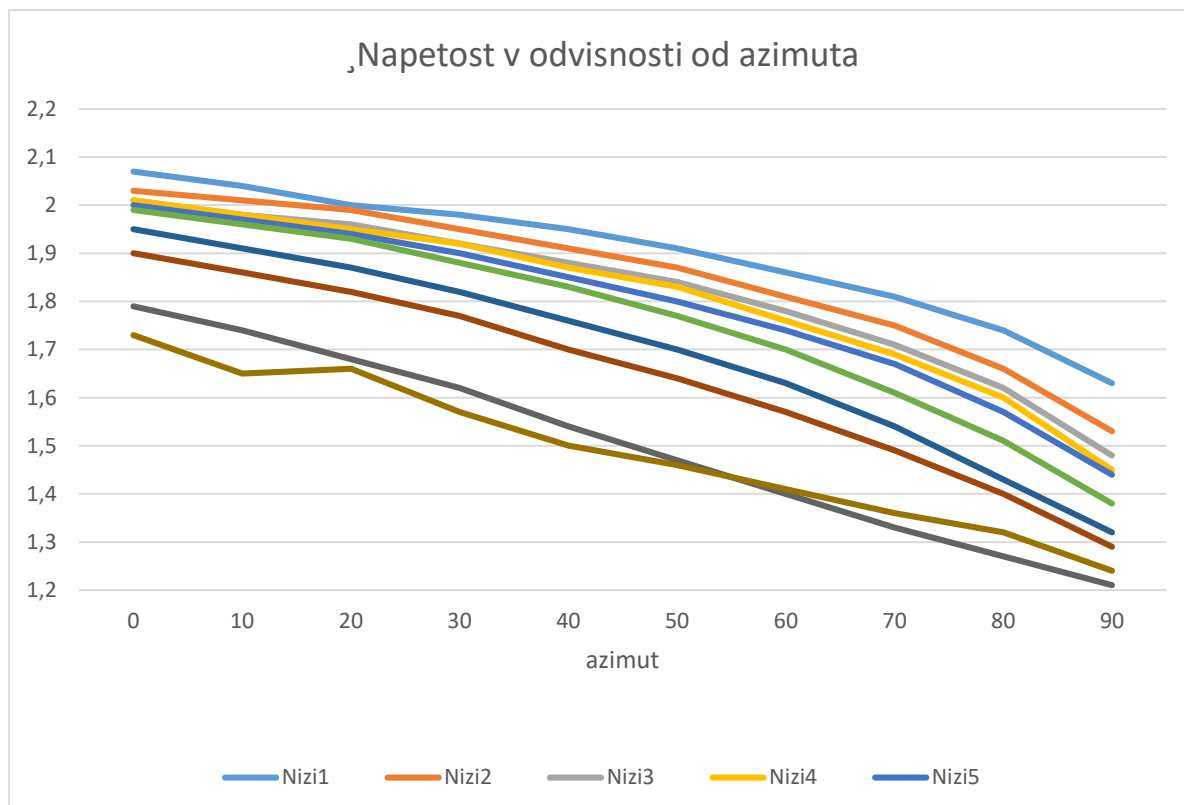
Izkoristek fotovoltaičnega panela glede na kot med virom energije in fotovoltaičnim panelom



Slika 7: Prikaz meritev s fotovoltaičnim panelom, ko se kot vir energije uporablja Sonce.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 Izkoristek fotovoltaičnega panela glede azimut in naklon



Graf 4: Meritve Niz1 pomeni kot 50°, Niz2 pomeni kot 45°...

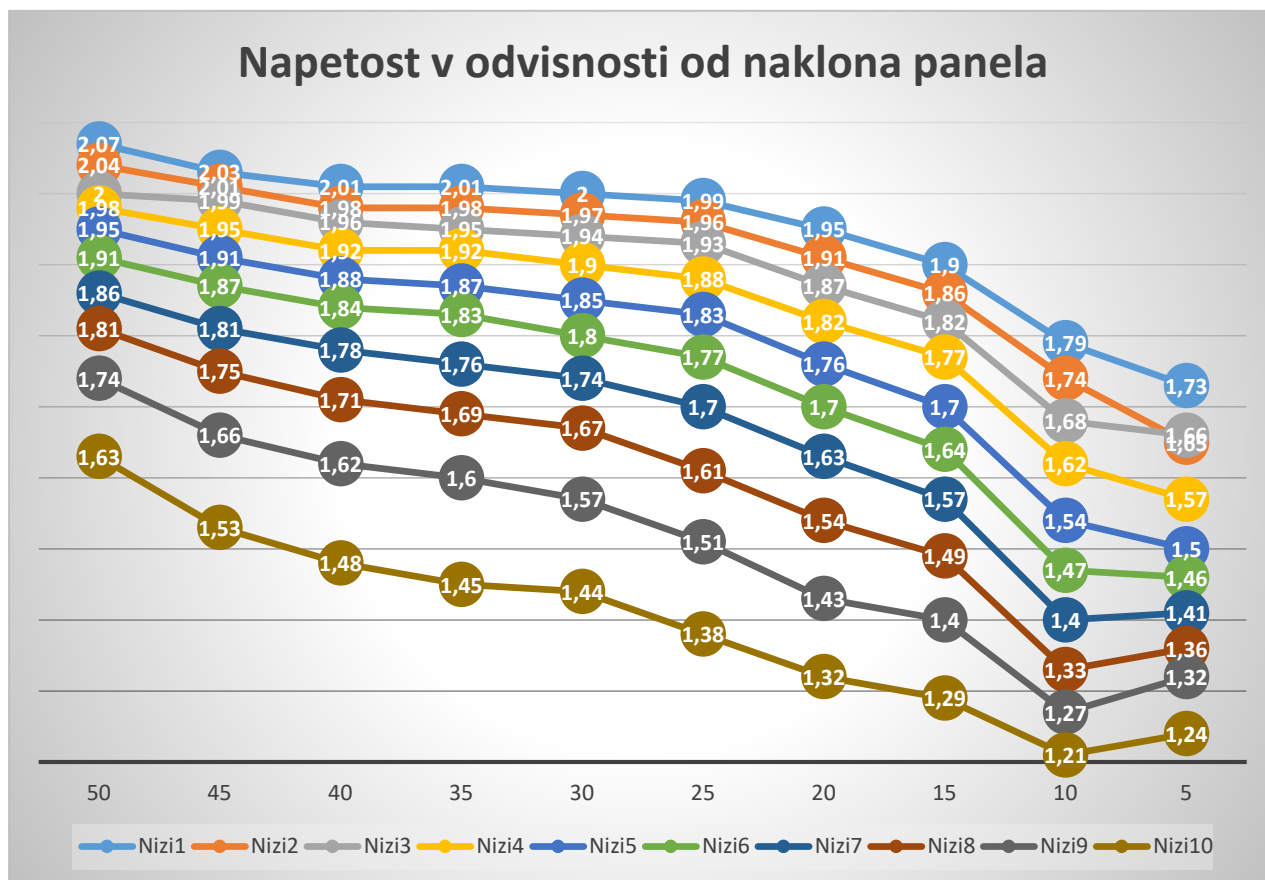
Graf nam prikaže kako napetost na modulih spreminja v odvisnosti od naklona oziroma od usmeritve. Žarnica je bila usmerjena vsako meritev enako (enakovredno Soncu v neki točki). Spreminjali smo samo kot naklona in kot usmeritve-azimut. Največji izplen je seveda pri azimutu 0°. Bolj ko smo obračali streho od idealne usmeritve bolj je napetost padala.

Spodnja tabela prikazuje kaj se dogaja s procentualnim odklonom idealne napetosti in izkoristku panela pri različnih postavitvah.

kot 50										
azimut	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Napetost V	2,07	2,04	2	1,98	1,95	1,91	1,86	1,81	1,74	1,63
padec v %	0	1,45	3,38	4,35	5,80	7,73	10,14	12,56	15,94	21,26

Tabela 2: Prikaz napetosti pri kotu vpadne svetlobe 50°

Odstopanje od idealne lege in usmeritve prikazuje spodnji diagram:



Graf 5: Vpliv padca napetosti pri različnih naklonih strehe in usmerjenostjo panelov

Niz1 pomeni azimut 0°, Niz2 pomeni azimut 10°,... in predstavlja napetosti za postavitve pri različnih naklonih od 50° do 5°. Iz diagrama lahko razberemo, da je padec napetosti (najmanjša strmina krivulje v diagramu) nekje v območju 25° do 40° naklona strehe.

Iz diagrama se lepo vidi, da so krivulje azimuta od 0° do 30° dokaj skupaj. Pomen tega je, da je padec napetosti v tem območju najmanjši.

Literatura (Žalar, 2016) v Sloveniji moramo solarni modul namestiti tako, da bo obrnjen proti jugu. Pri tem je treba paziti, da solarni panel ne bo zasenčen v teku dneva, saj bi to povzročilo močno zmanjšano pridobivanje elektrike iz sonca. Pomemben je kot pod katerim je nameščen solarni panel. Naklonski kot je odvisen od letnega časa v katerem se uporablja solarni sistem. Če bomo solarni sistem v Sloveniji uporabljali čez celo leto, namestimo solarni panel pod kotom 35 stopinj. Če se otočni solarni sistem v največji meri uporablja le v poletnih mesecih, od aprila do septembra, sončne celice namestite pod kotom 40 stopinj.

Solarni panel, ki pridobiva solarno elektriko čez celo leto bi bilo najbolje namestiti tako, da bi med letom 4 krat spremenili naklonski kot. Naklonski kot solarnega panela bi se tako spreminjal od 20 stopinj poleti do 60 stopinj pozimi. Na ta način, bi pridobili za nekaj odstotkov boljši izplen. Vendar je ob nizkih cenah sončnih celic to vprašljivo, saj je konstrukcija za namestitev solarnih modulov, kjer se kot lahko prilagaja, sorazmerno draga.

naklon	azimut	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
50	napetost	2,07	2,04	2	1,98	1,95	1,91	1,86	1,81	1,74	1,63
45	napetost	2,03	2,01	1,99	1,95	1,91	1,87	1,81	1,75	1,66	1,53
40	napetost	2,01	1,98	1,96	1,92	1,88	1,84	1,78	1,71	1,62	1,48
35	napetost	2,01	1,98	1,95	1,92	1,87	1,83	1,76	1,69	1,6	1,45
30	napetost	2	1,97	1,94	1,9	1,85	1,8	1,74	1,67	1,57	1,44
25	napetost	1,99	1,96	1,93	1,88	1,83	1,77	1,7	1,61	1,51	1,38
20	napetost	1,95	1,91	1,87	1,82	1,76	1,7	1,63	1,54	1,43	1,32
15	napetost	1,9	1,86	1,82	1,77	1,7	1,64	1,57	1,49	1,4	1,29
10	napetost	1,79	1,74	1,68	1,62	1,54	1,47	1,4	1,33	1,27	1,21
5	napetost	1,73	1,65	1,66	1,57	1,5	1,46	1,41	1,36	1,32	1,24

Tabela 3: Osnova za Graf 5 je tabela meritev (stolpci predstavljajo krivulje). Kako se napetost spreminja v odvisnosti od naklona in azimuta.

Optimalni letni izplen s fiksnimi pretvorniki sončne energije na območju Ljubljane dobimo (danes že tudi na osnovi izkušenj) pri naklonu okrog 27 – 28 stopinj in azimutu okrog +4 stopinje do +5 stopinj. Odstopanje do naklona 30 stopinj in azimuta 0 stopinj verjetno v največji meri izhaja iz pogostejših meglenih jutur, katerih posledic je koriščenje povprečno nekoliko višjega in nekoliko zahodnejšega sonca.

Izbira naklona je lahko odvisna tudi od potreb, ki jih imajo uporabniki pretvornikov sončne energije. Če so večje potrebe po energiji poleti, bomo zaradi visokih poti sonca izbrali naklone okrog 15 stopinj za večje zimske potrebe po energiji pa naklone okrog 60 stopinj. Podobno velja za azimut pri različnih potrebah po energiji dopoldan ali popoldan.

Odkloni azimuta in naklona pretvornika energije za + ali – 1 stopinja znotraj določenih meja zmanjšamo letni donos za manj kot 1%. To velja upoštevati pri postavljanju sončnih pretvornikov na strehe, katerih ravnine odstopajo do optimalnega naklona in azimuta pretvornika. Pri odklonih naklona pretvornika za okrog + ali – 15 stopinj in azimuta za okrog + ali – 30 stopinj zmanjšanje letnega izplena najverjetneje ne bo preseglo 15% izplena pri optimalni orientaciji.

Omejeno dejstvo pogosto odtehta strošek mehanske nosilne konstrukcije prilagajanja lege pretvornikov na optimalno izplen.

Hipoteza 1: Predvidevamo, da odmik od smeri V-Z za 30° ne vpliva toliko na izkoristek elektrarne kot naklon postavitve elektrarne.

Iz vsega zapisanega, eksperimentalnega dela, meritev lahko hipotezo potrdimo. V okviru 30° od idealne usmeritve panelov je pomembnejše in cenejše, da prilagodimo kot naklona panelov. Investicija je relativno poceni in se hitro povrne. Problem usmeritve je urbanizacija prostora in gradnja hiš v preteklosti. Sončne elektrarne so se pojavile nekako od leta 2015 kot dosegljiva alternativa za prebivalstvo. Urbanizem in gradnja v smislu postavljanja objektov, hiš v preteklosti ni slutila, da bo ta način oskrbe, proizvodnje električne energije postal standard. Smer slemena hiš oziroma orientacija slemena oz. streh je bila prepuščena posameznikom. Danes se gradnje lotevamo preišljeno in že pred gradnjo načrtujemo hišne sisteme samooskrbee in hiše postavljamo v idealni smeri.

Na podlagi meritev hipotezo 1 potrdima.

Hipoteza 2: Predvidevamo, da je uravnavanje naklona stroškovno upravičeno.

Omenjeno dejstvo, da pri ceni nosilnih profilov, konstrukcije, montaže in ceni električne energije, povečamo izplen elektrarne za 5 do 10 procentov. Pri izgradnji npr. elektrarne z močjo 15kW bi bil izplen na letni ravni okoli 1,2MWh kar po trenutnih cenah energije zneso okoli 1000€. Torej se bi investicija povrnila izredno hitro.

Na podlagi meritev in sklepanja hipotezo 2 potrdima.

5 ZAKLJUČEK

V okviru raziskovalne naloge sva:

- se seznanili s fotovoltaiiko, prednostmi in slabostmi njene uporabe;
- se seznanili s sončno elektrarno Kioto 270 pure poly
- se seznanili s postopkom izračuna izkoristka fotovoltaičnega panela ter z monitoringom sončne elektrarne;
- s pomočjo literature ugotovili, da je za izbrano geografsko področje najprimernejša orientacija sončne elektrarne jug, njen naklon pa med 33° do 35°;
- s pomočjo fotovoltaičnega panela preverili, katera orientacija in naklon fotovoltaičnega panela sta najugodnejša za čim večji izkoristek;
- z eksperimentom ugotovili, da je izkoristek modela fotovoltaičnega panela primerljiv z izkoristkom sončne elektrarne;
- ugotovili, da odstopanja usmeritve sončne elektrarne od idealnega do 30° 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 naju 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. Najina predvidevanja sva potrdila v obeh hipotezah.

Predlagava, 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 PRILOGA

kot 50										
azimut	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
napetost	2,07	2,04	2	1,98	1,95	1,91	1,86	1,81	1,74	1,63
padec v %	0,0	1,4	3,4	4,3	5,8	7,7	10,1	12,6	15,9	21,3
diferenca napetost	0	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07	0,11
kot45										
azimut	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
napetost	2,03	2,01	1,99	1,95	1,91	1,87	1,81	1,75	1,66	1,53
padec v %	0,0	1,0	2,0	3,9	7,7	9,7	12,6	15,5	19,8	26,1
kot 40										
azimut	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
napetost	2,01	1,98	1,96	1,92	1,88	1,84	1,78	1,71	1,62	1,48
padec v %	0	1,49	2,49	4,48	9,18	11,11	14,01	17,39	21,74	28,50
kot 35										
azimut	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
napetost	2,01	1,98	1,95	1,92	1,87	1,83	1,76	1,69	1,6	1,45
kot 30										
azimut	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
napetost	2	1,97	1,94	1,9	1,85	1,8	1,74	1,67	1,57	1,44
kot 25										
azimut	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
napetost	1,99	1,96	1,93	1,88	1,83	1,77	1,7	1,61	1,51	1,38
kot 20										
azimut	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
napetost	1,95	1,91	1,87	1,82	1,76	1,7	1,63	1,54	1,43	1,32
kot 15										
azimut	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
napetost	1,9	1,86	1,82	1,77	1,7	1,64	1,57	1,49	1,4	1,29
kot10										
azimut	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
napetost	1,79	1,74	1,68	1,62	1,54	1,47	1,4	1,33	1,27	1,21
kot 5										
azimut	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
napetost	1,73	1,65	1,66	1,57	1,5	1,46	1,41	1,36	1,32	1,24

7 VIRI IN LITERATURA

1. Arsovretime (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
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 Nemas, 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
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
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 fotovoltaiiko*. 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
21. Spekter elektromagnetnega valovanja (b. d.). Pridobljeno 12. februarja 2018, s 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.
25. Sterkuš, Miha (2018), raziskovalna naloga