

**SONČNE CELICE
KOT NADOMESTNI
VIR ENERGIJE ZA
SLOVENIJO**

SONČNE CELICE KOT NADOMESTNI VIR ENERGIJE ZA SLOVENIJO

**STROJNIŠTVO
RAZISKOVALNA NALOGA**

Daniil Gainullov
2. letnik

Mentor:

Helena Kregar, prof. kemije
Gimnazija Jožeta Plečnika
Ljubljana

Zunanji mentor:

dr. Ambrož Kregar, univ. dipl. fizik
Fakulteta za strojništvo
Pedagoška Fakulteta
Univerza v Ljubljani

Gimnazija Jožeta Plečnika Ljubljana

2022

Naslov naloge: »Sončne celice kot nadomestni vir energije za Slovenijo«

Vrsta naloge: **Raziskovalna naloga**

Avtor naloge: **Daniil Gainullov**

Šola: **Gimnazija Jožeta Plečnika Ljubljana**

Oddelek: **2.D**

Mentor: **Helena Kregar, prof. kemije**, Gimnazija Jožeta Plečnika Ljubljana

Zunanji mentor: **dr. Ambrož Kregar**, univ. dipl. fizik, Fakulteta za strojništvo in Pedagoška fakulteta, Univerza v Ljubljani

Kraj in leto izdelave: **Ljubljana, 2022**

Ključne besede: **sončne celice, sončni paneli, energetika, baterije, obnovljiva energija, obnovljivi viri, Slovenija, gospodarstvo, električna energija**

Povzetek

Naš glavni namen je preučiti, ali bi lahko bile sončne celice energijski vir za celotno porabo električne energije v Sloveniji. Preučiti smo želeli njihove zmožnosti in uporabni potencial tega alternativnega vira, kot tudi stroške in ceno, ki bi jo ta sprememba prinesla. Samo področje še ni dovolj raziskano, še posebej z vidika Slovenije in njenih gospodarskih in geografskih zmožnosti. Predpostavili smo energijski sistem, kjer se del proizvedene energije iz sončnih celic porabi pri porabnikih v omrežju, presežek pa shrani v baterijah, ki ob času znižane proizvodnje sistem oskrbujejo z energijo.

Točne podatke za osončenost in porabo energije v Sloveniji smo našli v spletnih bazah pristojnih ustanov. Te smo nato obdelali s pomočjo enostavnega matematičnega modela za ravnovesje proizvodnje in porabe električne energije. Model smo implementirali v programski jezik Python, ki je lahko hitro in z visoko natančnostjo preračunaval celoletne podatke o energijskih nihanjih z ločljivostjo ene ure, ki vsebuje več kot 8000 vnosov. Naš cilj je bil najti najugodnejšo konfiguracijo sistema sončnih celic in baterij, določeno s površino celic in kapaciteto baterij za slovensko gospodarstvo. Zato smo ga ocenili tudi s stališča cene. Za boljše razumevanje naravnih danosti Slovenije z vidika porazdelitve sončnega obsevanja, smo analizirali podatke za tri različne lokacije.

Rezultati naše raziskave kažejo, da je za zasnovo energijskega sistema ključno, na kakšni časovni skali želimo uravnovesiti proizvodnjo in porabo energije. To namreč določa, kolikšno površino sončnih celic potrebujemo za proizvodnjo in kolikšno kapaciteto baterij za shranjevanje električne energije. Preverili smo časovna okna enega dneva, tedna, meseca in celotnega leta in ugotovili, da krajša okna zahtevajo več sončnih celic, daljša pa večjo količino baterij. Kot cenovno najugodnejša rešitev se je izkazalo uravnovešanje na časovni skali enega tedna, vendar pa tudi v tem primeru znaša strošek postavitve, vzdrževanja in razgradnje sistema več kot 1000 milijard € za življenjsko dobo 25 let. Ker to znaša več kot 90% slovenskega bruto domačega proizvoda, sklepamo, da predlagani sistem proizvodnje in skladiščenja energije z gospodarskega vidika ni sprejemljiv.

Abstract

The main goal of our research is to analyze the possibility of using solar panels as the only source of electric energy in Slovenia. We wanted to determine the potential of this energy source and determine the cost of this solution from the economic and geographic potential of Slovenia. We assumed the energy system in which part of the energy, produced by the solar panels, is immediately consumed by the consumers, while part can be stored in batteries and can be used by the consumers in the time periods of lower energy production.

The data for insolation and energy consumption in Slovenia was obtained from the publicly available databases from relevant authorities. The data was analyzed using a simple mathematical model of balance between production and consumption of energy at each hour during the entire year. The model as implemented in Python programming language, which enabled us time efficient and precise analysis of hourly data on energy balance, consisting of more than 8000 data points. Since our goal was to find the most economically viable solution, the system configuration, determined by the solar panel surface and battery capacity, the cost of the proposed system was also evaluated. For better understanding of geographical differences in solar insolation, we analyzed the viability of three distinct locations in Slovenia.

The results of our research indicate that the time scale on which the energy in the system is equilibrated is a crucial parameter in determining the solar panel surface and battery capacity. We analyzed the time windows of a day, a week, a month and the entire year and concluded that shorter time windows require larger amounts of solar panels but smaller battery capacity, while longer time windows require smaller amounts of solar panels but larger battery capacity. Time window of one week was determined as the economically most viable solution. Even in this best-case scenario, the cost of establishing, maintaining and decomposing the proposed system would exceed 1000 billion € over a lifespan of 25 years. Since this cost exceeds 90% of the gross domestic product of the Republic of Slovenia, we conclude that the proposed solution for energy production in Slovenia is not economically viable.

Zahvala

Zahvaljujem se vsem, ki so mi pomagali pri izdelavi raziskovalne naloge s spodbudami, kritiko in komentarjem. Zahvaljujem se mentorici Heleni Kregar, prof. kemije. Največjo zahvalo pa želim dati mojemu zunanjemu mentorju, dr. Ambrožu Kregarju, za nenehno pomoč, stalno dostopnost, potrpežljivost, spodbudo in seveda za pomoč pri pisanju kode in celotne raziskovalne naloge.

Vsebina

1. UVOD	7
1.1 Namen	7
1.2 Hipoteze	7
2. TEORETIČNO OZADJE	8
2.1 Energija in njeni viri	8
2.1.1 Stanje z energijo v Sloveniji	8
2.1.2 Drugi viri energije	9
2.1.3 Sončna energija	10
2.2 Sončne celice in baterije	10
2.2.1 Splošno	10
2.2.2 Zgradba sončnih celic in njihovo delovanje	11
2.2.3 Vrste sončnih celic	12
2.2.4 Ekološki vpliv sončnih celic	13
2.2.5 Baterije	13
2.2.6 Pregled cen	14
2.2.7 Električno omrežje	15
3. EKSPERIMENTALNO DELO	15
3.1 Vhodni podatki	16
3.2 Metode in analiza podatkov	18
3.2.1 Razlaga programske kode z uporabo formul	18
3.2.2 Nekaj primerov analize z razlago in grafičnim prikazom	19
4. REZULTATI Z DISKUSIJO	26
5. ZAKLJUČEK	34
6. VIRI IN LITERATURA	35

Kazalo slik

Slika 1: Energetska bilanca Slovenije 2020	8
Slika 2: Shema zgradbe sončne celice	10
Slika 3: Prikaz nastanka električne energije v sončnih celicah	11
Slika 4: Razlika videza med mono in polikristalnimi celicami	12

Kazalo grafov

Graf 1: Pridobljena energija iz sončnih celic glede na čas	19
Graf 2: Pridobljena energija glede na čas z odšteto porabo	20
Graf 3: Pridobljena energija napolnjena v baterijo	20
Graf 4: Pridobljena energija glede na čas s porabo	21
Graf 5: Pridobljena energija, napolnjena v baterijo in pridobljena energija	21
Graf 6: Pridobljena energija čez mesec	23
Graf 7: Osončenost proti porabljeni energiji čez leto	24
Graf 8: Shranjena energija v bateriji glede na celoletno razporeditev.	25
Graf 9: Letna poraba v Sloveniji	26
Graf 10: Letna osončenost v Ankaranu	26
Graf 11: Letna osončenost v Ljubljani	28
Graf 12: Letna osončenost Murske Sobote	30
Graf 13: Cena son. celic in baterij ob različnih uravnoveženjih sistema za lokacijo Ankaran	31
Graf 14: Cena son. celic in baterij ob različnih uravnoveženjih sistema za lokacijo Ljubljana	32
Graf 15: Cena son. celic in baterij ob različnih uravnoveženjih sistema za lokacijo Murska Sobota	32

Kazalo tabel

Tabela 1: Podatki o letni porabi energije v Sloveniji	16
Tabela 2: Podatki o urni osončenosti v Ljubljani, primer za leto 2016	17
Tabela 3: Pridobljena energija, pridobljena energija z odšteto porabo, energija baterije	22
Tabela 4: : Minimalna potrebna količina sončnih celic, preračunana po dnevih	23
Tabela 5: Rezultati za Ankaran	27
Tabela 6: Rezultati za Ljubljano	28
Tabela 7: Rezultati za Mursko Soboto	30

1. UVOD

1.1 Namen

Nobena skrivnost ni, da se nahajamo v času hitrega tehnološkega razvoja. Svet okrog nas se razvija in vsak dan nas preseneti z različnimi tehnološkimi odkritji. Vendar večkrat pozabimo, kaj stoji za celim modernim svetom, ki ga poznamo danes. Kaj žene avto, da nas pelje v službo, kaj osvetli in ogreje naše domove, ter zažene vse različne vrste naprav, kot so sodobni telefoni, računalniki in kamere, kot tudi starejše in vsem bolj znane hladilnike, mikrovalovke in pralne stroje? Brez česa nam vsem znani moderni svet neha biti "moderen"? Odgovor je lahek, to je energija. Danes nas energija obdaja v svojih najrazličnejših pojavnih oblikah od elektrike, brez katere ne bi delala nobena od prej naštetih naprav, do goriva, ki nam daje možnost premikanja na velikih razdaljah v neverjetno kratkem času.

Energijski viri so v današnjem času dokaj pogosta in zanimiva tema za razpravo, saj je razmah ekološkega razmišljanja močno spremenil pogled sodobnega človeka na svet. Posledično nas je poleg dobička in količine pridobljene energije začela zanimati dostopnost in njen vpliv na okolje. Na žalost so največji viri energije v današnjem času nafta, premog in zemeljski plin [1], ki so fosilna goriva. Fosilna goriva proizvajajo 89% vseh emisij ogljikovega dioksida [2], pri čemer so izpusti CO₂ en največjih in najpomembnejših ekoloških problemov našega časa. Ena od ekoloških alternativ, ki se zadnje čase močno promovira in reklamira, je sončna energija, ki proizvaja samo 1,1% svetovne energije [1]. Čeprav sončna energija temelji na obnovljivem in ekološko prijaznem viru energije – soncu, njeno večjo razširjenost omejuje njena nestalnost, ki bi jo bilo potrebno rešiti z zanesljivim načinom shranjevanja. Kot ena izmed rešitev se ponuja možnost shranjevanja presežkov energije v baterije, iz katerih dobivamo elektriko v obdobju manjše proizvodnje sončne energije. Ker pa so baterije drage in bi jih za shranjevanje sončne energije potrebovali veliko, smo si za cilj naše raziskave zastavili vprašanje, ali je možnost, da bi sončna energija nadomestila ostale vire energije, sploh realna.

Ta alternativa še ni dovolj raziskana in nima točnega odgovora, zato je vprašanje še bolj zanimivo za raziskavo! Naš glavni namen je prikazati sončne celice kot nadomestek celotne proizvodnje električne energije ter prikazati prednosti in slabosti te odločitve. Izračunali bomo, koliko sončnih celic in baterij je potrebnih za proizvodnjo in skladiščenje in koliko bi postavitev takšnega sistema stala. Za boljšo uporabnost rezultatov bomo določili ugodnosti te izbire za primer Slovenije glede na njeno gospodarstvo, osončenost in finančne zmožnosti.

1.2 Hipoteze

Pred začetkom raziskave smo si postavili nekaj **hipotez**:

- Slovenija bo pridobila več koristi kakor izgub od izbire sončnih celic kot nadomestnega vira celotne električne energije.
- Slovenija si bo lahko privoščila to spremembo glede na njen bruto domači proizvod (BDP) in gospodarske možnosti brez velikih negativnih posledic za svoje gospodarstvo.
- Skladiščenje proizvedene energije iz sončnih celic je dražje kakor same sončne celice, zato bo za Slovenijo ugodnejše postaviti presežek sončnih celic z manjšo količino shranjevalnega prostora.

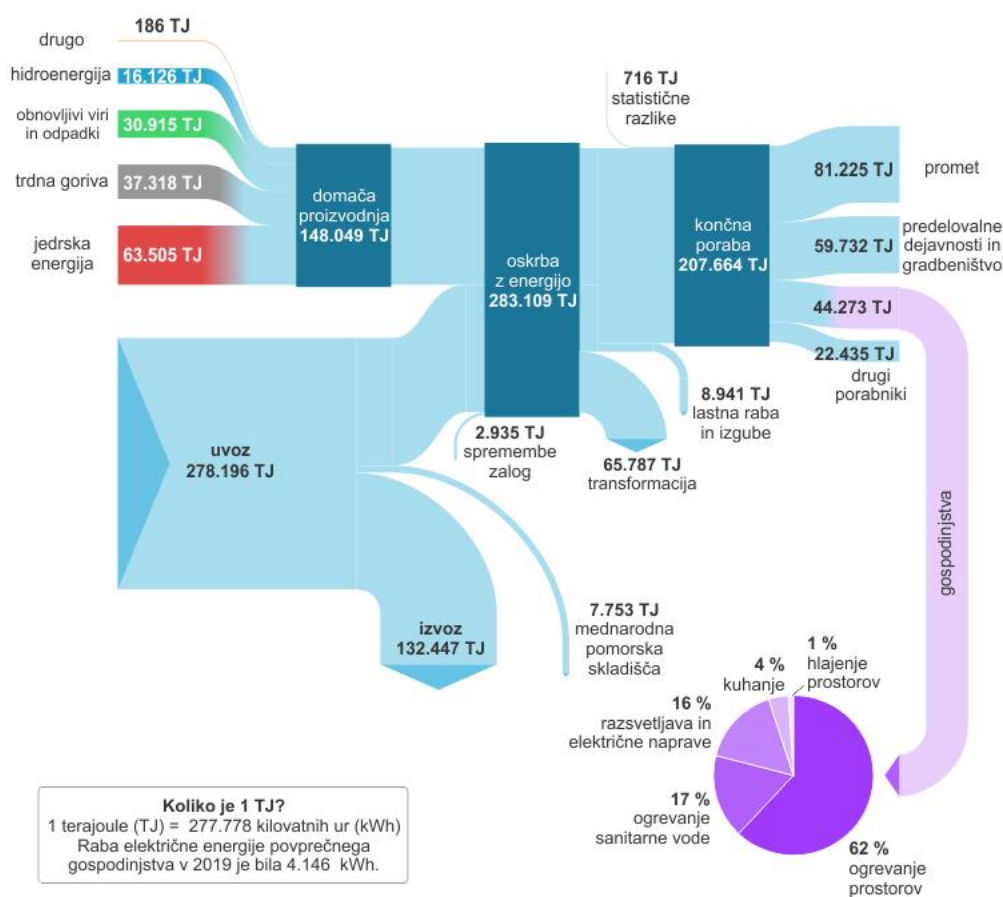
2. TEORETIČNO OZADJE

2.1 Energija in njeni viri

2.1.1 Stanje z energijo v Sloveniji

Iz pridobljenih podatkov Statističnega urada Republike Slovenije vidimo, da smo za oskrbo z energijo v Sloveniji v letu 2020 smo potrebovali 180.000 TJ energije. Proizvedli smo 267.000 TJ energije. Največji delež ima nafta, podobno kot v svetovni statistiki in znaša 29%. Drugi največji vir je jedrska energija s 25%, takoj za njo so obnovljivi viri, ki znašajo 19%, ter premog s 16% in zemeljski plin z 11%. [3]

Energetska bilanca, Slovenija, 2019



Vir: SURS

© SURS

Slika 1: Energetska bilanca Slovenije 2020

Po podatkih iz istega vira izvemo, da končna poraba energije v Sloveniji pada, medtem ko uporaba obnovljivih virov energije z vsakim letom raste. Ti podatki dajejo naši raziskavi še več ambicij, saj Slovenija sama počasi že prestopa na obnovljive vire energije. Iz podatka o zmanjševanju porabe energije lahko sklepamo, da bi količina sončnih celic, ki jo bomo določili v nalogi, zadoščala tudi za prihodnja leta.

2.1.2 Drugi viri energije

Žal je največji vir energije v Sloveniji je nafta, kar ima veliko negativnih posledic. Pri zgorevanju nafte se sprostijo velika količina CO₂, kar negativno vpliva na raven onesnaženosti okolja. Nafta je neobnovljiv vir energije. Prej ali slej bo nafta začelo zmanjkovati, kar bo močno povečalo njene stroške, s tem pa tudi stroške naftnih derivatov, na primer bencina. Proizvodnja običajno uporablja plinsko dvigalo, za katerega je znano, da se ne izplača, če ga postavite v eno vrtino ali majhna polja. Ker pa so danes svetovne zaloge nafte še zelo velike, je proces prehoda na nove načine pridobivanja energije upočasnen. [4]

Drugi največji vir je jedrska energija. Tudi uporaba jedrske energije ima precej slabih plati. Voda, ki hladi reaktorske turbine, se običajno preprosto izpusti v bližnja vodna telesa, kar povzroča toplotno onesnaženje. Poleg tega pri jedrskih elektrarnah obstaja nevarnost onesnaženja okolja zaradi nesreče, tovrstne elektrarne tudi ob normalnem delovanju proizvajajo radioaktivne odpadke. V večini držav se izrabljeno jedrsko gorivo ne uporablja, za odlaganje pa se uporabljajo tehnologije za shranjevanje predelane goriva v zaprtih kovinskih posodah na odlagališčih jedrskih odpadkov. [5]

Tretji največji vir, ki znaša eno petino celotne slovenske energetske proizvodnje, so obnovljivi viri. Obnovljiva energija prihaja iz trajnostnih virov, kot so vodna energija, energija vetra, sončna energija, geotermalna energija, biomasa in energija plimovanja. Za razliko od fosilnih goriv, kot so nafta, zemeljski plin, premog in uranova ruda, se ti viri energije ne izčrpajo, zato jih imenujemo obnovljivi. Samo v letu 2019 so bili po svetu nameščeni objekti za obnovljive vire energije (OVE) s skupno zmogljivostjo 200 GW. Čeprav večina sveta zadnje čase spodbuja uporabo obnovljivih virov energije, ti vseeno imajo nekaj slabih strani: visoka obremenitev elektroenergetskih sistemov z močnim upadom proizvodnje električne energije zaradi sprememb vremenskih razmer, kar vodi do izpadov električnega omrežja, potreba po uporabi velikih površin in veliki stroški shranjevanja energije pri virih, ki nimajo stalne moči delovanja. [6]

Glavna konkurenca sončni energiji na področju obnovljivih virov so vetrne elektrarne in hidroelektrarne, vendar imajo tudi te značilne pomanjkljivosti. Poudarim naj, da vetrna elektrarna proizvede veliko hrupa in je tudi nevarna za ptice, kar postavi pod vprašaj njeno ekološko ustreznost. Z bolj gospodarskega vidika imajo vetrne elektrarne visoko ceno in dolgo vračilno dobo za investicijo, poleg tega pa je veter nezanesljiv in njegove moči ni mogoče za regulirati [7]. Tudi hidroelektrarne imajo nekaj težav. Glede na ekološki vidik, ki je eden najpomembnejših za obnovljive vire, je težava v tem, da akumulacijski jez zmanjša raven raztopljenega kisika v vodi, saj se normalni tok reke tako rekoč ustavi. To lahko privede do pogina rib v umetnem rezervoarju in ogrozi življenje rastlin v in okoli akumulacijskega jezera. Jez lahko moti tudi cikel drstenja rib. To težavo je mogoče rešiti z gradnjo ribjih prehodov in ribjih dvigal v jezu ali s premikanjem rib na drstišča s pomočjo pasti in mrež. Vendar to vodi v povečanje stroškov gradnje in obratovanja hidroelektrarn. Dodatna težava je, da je gradnja hidroelektrarn na ravninskih območjih neučinkovita, daljša suša pa zmanjša in lahko celo prekine proizvodnjo električne energije. [8]

2.1.3 Sončna energija

Povsod po Evropi se gradijo nove sončne elektrarne in to se počne s prepričanjem, da ima sončna energija veliko prednosti pred drugimi viri. Prva prednost na seznamu je seveda javna dostopnost in neizčrpnost vira, saj je sonce glavni vir energije na Zemlji. Na naš planet vsako leto pride približno 173 PW (ali 173 milijonov GW) sončne energije, kar je več kot 10 tisoč krat več od globalnih potreb po energiji [9]. Teoretično so sončne celice popolnoma varne za okolje. Obstajajo sicer teorije, da bi se ob množični uporabi sončne energije spremenil albedo zemeljske površine, vendar to še ni bilo znanstveno dokazano. Z namestitvijo sončne elektrarne postanemo popolnoma neodvisni od zunanjih virov energije, saj je tudi v Sloveniji sončno obsevanje na voljo v veliki količini. Poleg tega je sistem sončnih celic dokaj avtonomen in zaradi tega ne potrebuje veliko pozornosti. Sončne celice imajo tudi dolgo življenjsko dobo, delujejo okoli 25 let, ter se pokvari v dokaj redkih primerih.

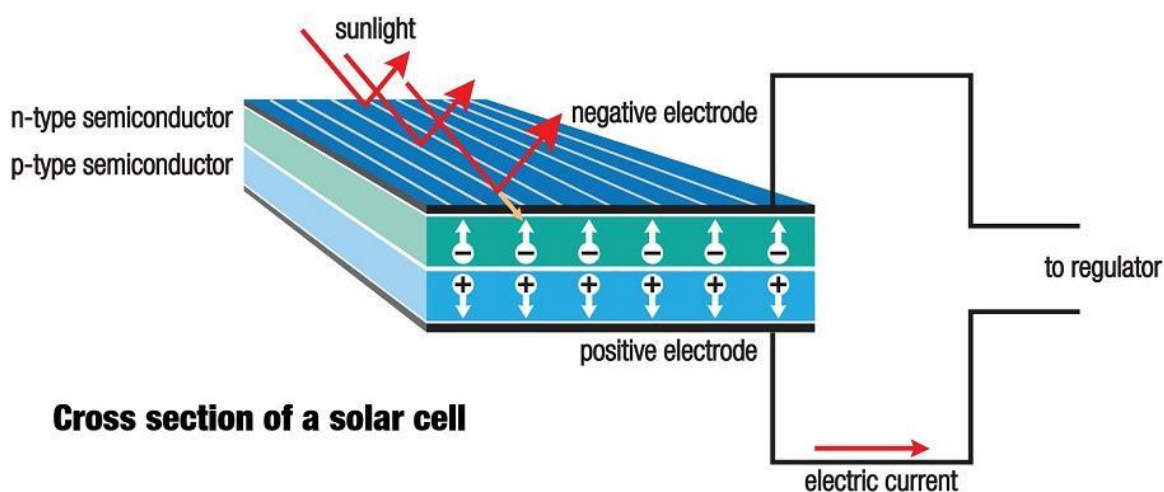
Ko naštevamo prednosti sončne energije je treba poudariti, da bo ta vir deloval milijarde let. Z razvojem solarnih tehnologij in povečanjem produktivnosti sončnih kolektorjev sodobna družba ne prejema le neizčrpnega vira alternativne električne energije. Zmanjša se tudi poraba fosilnih goriv, ki služijo kot gorivo za številne termoelektrarne po svetu. V kompleksu opreme solarne postaje tudi ni gibljivih enot in mehanizmov. Delovanje sončne elektrarne je tiho, kar omogoča vgradnjo na strehe in celo na stene stanovanjskih objektov. [10]

2.2 Sončne celice in baterije

2.2.1 Splošno

Sončne celice postajajo vse bolj priljubljene po vsem svetu. Dandanes lahko vsak izbere in pridobi svoj neodvisen vir električne energije in si ga pritrdi na streho svojega doma. Visoka cena namestitve se sčasoma odplača z možnostjo prejema brezplačne električne energije. Pomembno je, da so sončni kolektorji okolju prijazen vir energije. V zadnjih letih so cene fotovoltaičnih panelov padle za več kot desetkrat in še naprej upadajo, kar kaže na dostopnost in velike možnosti za njihovo uporabo. [11]

V svoji klasični obliki bo tak vir električne energije sestavljen iz naslednjih delov: sončnega panela (DC generatorja), baterije z napravo za nadzor polnjenja in pretvornika, ki pretvarja enosmerni tok v izmenični tok.



Slika 2: Shema zgradbe sončne celice

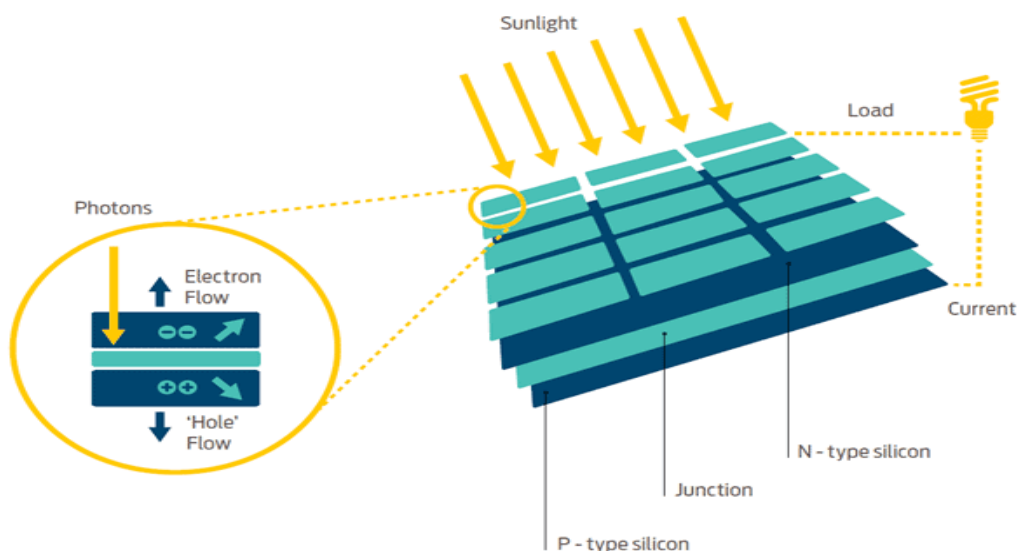
Sončni paneli so sestavljeni iz niza sončnih celic (fotovoltaičnih pretvornikov), ki neposredno pretvarjajo sončno energijo v električno energijo. Večina sončnih celic je narejenih iz silicija, ki je precej drag. To dejstvo bo določilo visoke stroške električne energije, ki se pridobiva z uporabo sončnih kolektorjev. [12]

Najpomembnejši tehnični parameter solarnega panela, ki močno vpliva na učinkovitost celotne inštalacije, je njena uporabna moč. Določata ga napetost in izhodni tok. Ti parametri so odvisni od intenzivnosti sončne svetlobe, ki pade na panel.

2.2.2 Zgradba sončnih celic in njihovo delovanje

Če želimo razumeti kako delujejo sončne celice, moramo razumeti, kako so izdelani. Večina sončnih celic uporablja element silicij, ki je eden od najbolj razširjenih elementov na zemlji. Vendar pa je izdelava silicijevih kristalov ustrezne kakovosti dokaj težak in drag proces. Zato je večina sončnih celic, ki so narejene za domačo in ne masovno proizvodnjo, zgrajenih iz podobnih, vendar cenejših materialov kot so baker, indij, galij in selen. Niso tako učinkoviti kot visokokakovostni silicij, vendar zagotavljajo dovolj visoko moč po razumni ceni. Če želimo maksimalno izkoristiti moč sončnih celic, je smiselno uporabiti sončne celice iz silicija, kar bo sicer povečalo ceno, a tudi količino proizvedene energije.

Iz silicija so zgrajeni tranzistorji, drobna stikala v mikrovezjih in sončne celice delujejo na podoben način. Silicij zaradi svojih lastnosti imenujemo polprevodnik. Poznamo materiale, na primer kovine, ki prepuščajo električni tok, zato so imenovani prevodniki, drugi materiali, kot na primer plastika ali les, pa onemogočajo prehod električnega toka, zato jih imenujemo izolatorji. Obstajajo pa tudi materiali, kot na primer silicij, ki običajno ne prevajajo električnega toka, vendar v posebnih okoliščinah lahko prevzamejo lastnosti prevodnikov. [12]



Slika 3: Prikaz nastanka električne energije v sončnih celicah

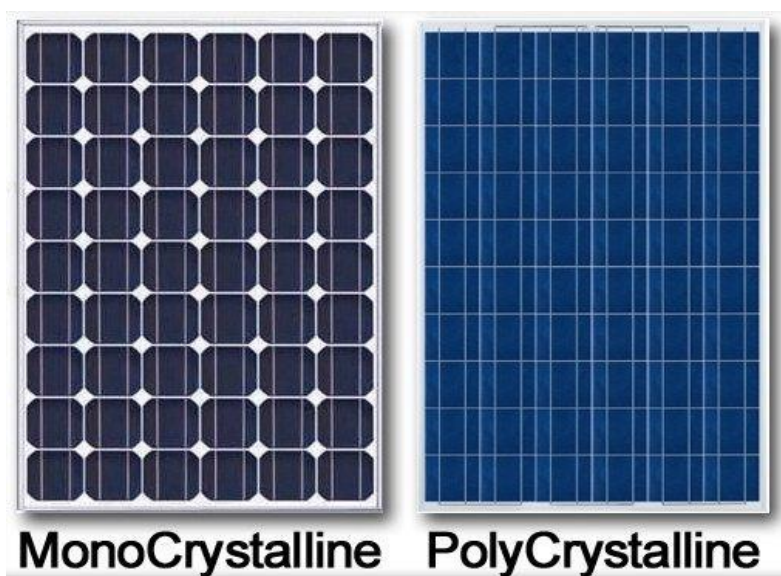
Sončna celica je sestavljena iz dveh različnih plasti silicija, ki sta obdelani na poseben način (dopirani), da preko njih teče električni tok samo v določenih pogojih. V spodnjo plast so dodane snovi za spremembo fizikalnih lastnosti, ki povzročijo primanjkljaj elektronov. Imenovali ga bomo p-silicij ali pozitivni tip silicija. Obratni postopek opravimo z zgornjim delom sončne celice, ki dobi presežek elektronov. Imenujemo ga n-silicij ali silicij negativnega tipa.

Ko položimo plast n-silicija na plast p-silicija, nastane na stičišču obeh materialov izpraznjena plast, v kateri ni prostih elektronov. Če to konstrukcijo povežemo s porabnikom, na primer žarnico, se ta ne bo prižgala. Če pa plasti osvetlimo, dobimo čudovit rezultat. Svetlobo si lahko predstavljamo kot tok energijskih svetlobnih delcev, ki jih imenujemo fotone in so opredeljeni kot kvanti svetlobne energije in se stalno gibljejo. Ko fotoni zadenejo našo konstrukcijo, oddajo svojo energijo elektronom v siliciju. Nenadna sprostitvev energije izbije elektrone iz spodnjih plasti p-silicija, ki preskočijo v n-silicij nad njim in se začnejo aktivno gibati ter s tem povzročijo električno napetost ali tok [11].

2.2.3 Vrste sončnih celic

Najučinkovitejši solarni paneli so monokristalni solarni paneli. Monokristalni elementi in s tem plošče, ki temeljijo na njih, imajo danes najvišjo učinkovitost: do 22 % v serijski proizvodnji in do 38 % za tiste, ki se uporabljajo v vesoljski industriji. Monokristalni silicij je proizveden iz visoko prečiščenih surovin.

Hkrati je produktivnost monokristalnih plošč 15-20% višja kot pri polikristalnih vzorcih. Če vzamemo obdobje zadnjih 10 let vidimo, da monokristalne sončne celice proizvedejo 35-40 % več električne energije zaradi nižje stopnje razgradnje silicija, pa tudi zaradi boljše zmogljivosti pri nižji stopnji sončnega obsevanja.



Slika 4: Razlika videza med mono in polikristalnimi celicami

Komercialno dostopne polikristalne celice imajo izkoristek do 18 %. Nižja učinkovitost je posledica dejstva, da se pri proizvodnji polikristalnega silicija ne uporablja samo primarni silicij visoke čistosti, temveč tudi sekundarne surovine kot so reciklirane sončne celice ali silicijevi odpadki iz metalurške industrije. To vodi do pojava različnih napak v polikristalnih elementih, kot so meje med kristali, mikro defekti, nečistoče ogljika in kisika, vendar pa to hkrati tudi zniža ceno celice [13]. Monokristalni sončni paneli lahko pri manjši površini pridobivajo enako količino elektrike kakor polikristalni, zato bomo za našo nadaljnjo obravnavo uporabili monokristalne panele.

2.2.4 Ekološki vpliv sončnih celic

Recikliranje in odlaganje sončnih celic je eden od pomembnih problemov, ki ga bo potrebno rešiti v prihodnosti. Silikonske rezine standardnih solarnih modulov so zapečatenene, običajno s plastjo etil vinil acetata (EVA), ki ščiti silikonsko rezino. Če moduli niso pravilno odstranjeni in izpostavljeni določenim preskusnim pogojem, je možno nekaj izpiranja EVA v okolje, a se v normalnih pogojih delovanja se ti materiali ne izločajo. Sončna energija je zelo učinkovita pri zmanjševanju emisij ogljika. Kot pri vseh tehnologijah pa je tudi tu treba skrbno ravnati z ne namernimi odpadki ali stranskimi proizvodi. Odgovor na ta problem je reciklaža sončnih celic, a postopki zaenkrat še niso ekonomični in dovolj razširjeni [14].

Tudi med izdelavo sončni paneli zahtevajo veliko energije in posledično so skupne emisije velike, vendar ko so pa nameščeni, sončni paneli proizvajajo energijo brez emisij več kot 25 let. Zaradi tega lahko trdimo, da je energija potrebna za proizvodnji proces zanemarljiva glede na vso proizvedeno energijo, ustvarjeno v življenjski dobi sončne celice.

2.2.5 Baterije

Baterije, ki so nameščene s sončnimi paneli, morajo imeti dolgo življenjsko dobo in globoko toleranco praznjenja. VRLA (Valve Regulated Sealed Lead Acid Batteries) baterije, ki so zatesnjene svinčovo kislinske baterije z regulacijo ventila, v celoti izpolnjujejo te pogoje zaradi tehnologij, ki se uporabljajo pri njihovi proizvodnji.

Poznamo dve vrste VRLA baterij, ki jih bomo med seboj primerjali. AGM (Absorbent Glass Mat) baterije so baterije z vpojno stekleno podlogo. GEL baterije pa so baterije, ki večinoma vsebujejo gel. Med sabo jih bomo primerjali in izbrali bomo najugodnejšo možnost glede na naše potrebe.

Oglejmo si jih podrobneje. Kljub temu, da so GEL baterije posebna vrsta baterije, se ime pogosto uporablja za celotno skupino baterij, ki vključuje tako baterije z gelom kot tudi tiste z vpojnim elektrolitom. Imajo podobne skupne lastnosti, zaradi katerih se delovanje ne razlikuje bistveno. Prva in najpomembnejša razlika med gel baterijami za sončne celice in običajnimi svinčnimi baterijami je oblika vsebovanih elektrolitov. Sama sestava elektrolita ni spremenjena ali pa je le rahlo spremenjena z različnimi dodatki. Pomembno je le, da elektrolit v celicah ni v tekoči, ampak v gelasti obliki [15].

Pri GEL VRLA baterijah se to doseže z zgoščevanjem elektrolita do gelaste konsistence z dodajanjem silicija ali drugih snovi. Kot rezultat dobimo elektrolit kot gosto porozno maso. AGM VRLA baterija

uporablja navaden tekoči elektrolit, vendar ga absorbirajo posebne porozne blazinice iz steklenih vlaken, tesno zapakirane med elektrodami.

Poglejmo si, kako se gel baterija obnese v najpomembnejšem načinu delovanja za naš primer uporabe – s cikličnim virom (Cyclic source). Ciklični način delovanja je za baterijo najbolj »težak«.

V tem načinu se baterija popolnoma izprazni, nato napolni in ponovno popolnoma izprazni. Življenjska doba je v tem primeru odvisna od globine praznjenja baterije. Ker poskušamo minimizirati količino baterij, je ta podatek za nas zelo pomemben.

Večina svinčenih akumulatorjev tipa AGM ima življenjsko dobo največ 300 ciklov 100 % praznjenja. Vendar že obstajajo baterije nove generacije z življenjsko dobo 600 ciklov 100 % praznjenja. Pri tradicionalnih baterijah je ta številka zelo majhna. Znižanje stopnje napolnjenosti pod 50 % je že škodljivo, pri uporabi solarne baterije pa lahko pride do precej globljih izpraznitev. AGM baterije zmorejo neboleče praznjenje do 30 %, GEL baterije pa so še precej boljše. Tudi če je baterija razreda GEL izpraznjena na nič, bo brez opaznih posledic zlahka prišla iz globokega praznjenja. Zaradi svoje tolerance na močna praznjenja lahko AGM in GEL baterije ciklično delujejo več kot pet let. Fizično so takšne lastnosti običajno utemeljene s tesnim prileganjem elektrolita na celotno površino elektrod in odsotnostjo izhlapevanja, kar praktično preprečuje korozijo. Poleg ciklične življenjske dobe in tolerance na globoka praznjenja se VRLA baterije odlično obnesejo pri nizkih temperaturah in imajo najnižje samopraznjenje [16].

Glede na pridobljene podatke lahko sklepamo, da je za naše potrebe najugodnejša izbira GEL baterij, saj so zelo primerne za masovno proizvodnjo energije z sončnimi celicami.

2.2.6 Pregled cen

Cene solarnih panelov so različne in variirajo med 3.500 in 35.000 \$, odvisno od vrste in modela. Uporabili bomo energetsko najbolj učinkovito vrsto, to so monokristalni sončni paneli. Opremljanje 6kW solarnega sistema, ki v povprečju meri okoli 29m² stane okoli 6000-9000\$ [17]. Če to prevedemo v našo valuto in preračunamo na površino, za lažje razumevanje in računanje dobimo 185€ - 280 €/m², uporabili bomo srednjo vrednost, to je 232,5 €/m².

V povprečju se sončne celice menja na 25 let. Čiščenje in oskrba sončnih celic stane 15-20€ (povprečno 17,5€) na običajno celico velikosti 1,7m² [18]. Običajno se jih čisti enkrat na 6 mesecev. V izračunu ugotovimo, da med življenjsko dobo sončnih celic potrebujemo 514,7 €/m² za njihovo oskrbo.

Cena GEL Baterij je približno 1440 €/kWh [19]. Zdržijo lahko do 6 let, vendar bomo spet uporabili srednjo vrednost ki je 5 let [20]. Da bomo med delovanjem z baterijami opremili celo generacijo sončnih celic (25 let), bomo torej baterije zamenjali 5x, kar ceno pomnoži za 5x. Dobimo 7200€/kWh, to število pretvorimo v megavatne ure za lažje računanje. Rezultat je, da za 1 življenjsko dobo sončnih celic strošek baterij znaša 7,2 milijona €/MWh.

Zdaj pa pogledajmo še cene recikliranja baterij in sončnih celic. Vemo da za recikliranje $1,8\text{m}^2$ sončne celice potrebujemo 400 \$, torej za reciklažo m^2 potrebujemo 222,22\$ [21], če to prevedemo v našo valuto dobimo 202,50 €/m².

Za recikliranje baterij bomo potrebovali okoli 100-200\$(150\$) na tono [22]. Enoto tono bomo za lažje računanje rezultatov spremenili v MWh (pri baterijah je 1kg enak 1,2kWh), dobimo 180\$/MWh [23]. Če to še prevedemo v eure dobimo 163,85€/MWh, kar nato še pomnožimo z 5, da pokrijemo celotno življenjsko dobo celic, oziroma 5 generacij baterij. Dobimo 819,25€/MWh. Ta strošek je zanemarljiv v primerjavi s ceno baterij.

Če seštejemo stroške postavitve, vzdrževanja in reciklaže, dobimo:

- Sončne celice: 949€/m²
- Baterije: 7,2 milijona €/MWh

2.2.7 Električno omrežje

Kot smo že omenili, je eden glavnih problemov pri vpeljavi sončnih celic v množično uporabo nestanovitnost njihovega delovanja. Ne smemo pozabiti, da mora biti električno omrežje ves čas v ravnovesju, torej moramo proizvesti toliko energije, kolikor se je v danem času porabi. V naši raziskavi bo ta pogoj glavno vodilo pri izračunu količine sončnih celic in baterij, ki jih je potrebno namestiti v energijski sistem. Obstoječe električno omrežje v Sloveniji je namenjeno prenosu energije iz relativno majhnega števila elektrarn k velikemu številu porabnikov, kar bi se pri zamenjavi za sistem sončnih celic verjetno spremenilo. To bi pomenilo dodaten strošek pri prehodu na oskrbo s sončno energijo, ki pa ga v naši analizi nismo obravnavali. Z vidika električnega omrežja se bomo zato v nadaljevanju osredotočili zgolj na to, da bo naš sklop sončnih celic in baterij v kateremkoli trenutku zagotavljal toliko energije, kot jo zahtevajo porabniki, bodisi direktno iz proizvodnje sončnih celic bodisi skozi praznjenje baterij.

3. EKSPERIMENTALNO DELO

V naši raziskavi eksperimentalnega dela nismo izvajali v klasičnem smislu, torej z izvedbo eksperimentalnega dela v realnem svetu, saj je to zaradi velikostne skale obravnavanega sistema, električnega omrežja v Sloveniji, popolnoma nemogoče. Eksperimentalnega dela smo se zato lotili drugače in sicer z uporabo računalniških modelov. Ti opišejo osnovno obnašanje energijskega sistema in nam tako prek matematičnih enačb in rezultatov podajo odgovore na raziskovalna vprašanja in hipoteze. Naš glavni cilj bo ugotoviti, kolikšna površina sončnih celic in kolikšna kapaciteta baterij je potrebna, da bi lahko pokrila celotno porabo električne energije v Sloveniji. Izračunane vrednosti bomo na koncu pomnožili z ustreznimi cenami, pridobljenimi v prejšnjem poglavju. Tako bomo presodili ekonomsko izvedljivost predlagane rešitve.

3.1 Vhodni podatki

Kot smo pojasnili v prejšnjem poglavju, bomo potrebno količino baterij in sončnih celic računali na podlagi predpostavke, da mora biti električno omrežje ves čas v ravnovesju. To pomeni, da moramo v vsakem trenutku poznati količino pridobljene in porabljene energije in poskrbeti, da sta ti uravnoteženi. Za časovno skalo, na kateri bomo preverjali ravnovesje, smo izbrali 1 uro, saj podrobnejši podatki o porabi niso javno dostopni, poleg tega pa smo presodili, da manjše oscilacije v tem časovnem okviru ne bodo bistveno vplivale na naše rezultate.

Prvi podatek, ki ga potrebujemo za analizo je časovni potek porabe električne energije v Sloveniji. Ta podatek smo pridobili v javnem podjetju ELES. V tem podjetju skrbijo za varen, neprekinjen prenos električne energije v Republiki Sloveniji. So »varuhi« slovenskega elektroenergetskega sistema, tesno povezanega s prenosnimi omrežji sosednjih držav in vpetega v evropski energetski sistem. Na svoji spletni strani objavljajo podatke o letni porabi električne energije v Sloveniji za nekaj preteklih let [24], s podrobnimi rezultati za vsak mesec, dan in uro. To nam omogoča, da v naši raziskavi porabo spremljamo s časovno ločljivostjo 1 ure.

V tabeli 1, prikazani spodaj, vidimo primer podatkov, pridobljenih na spletni strani ELES. Podatki vključujejo predvideno in dejansko proizvodnjo ter predvideno in dejansko porabo v enotah MW. Poleg tega je proizvodnja energije razčlenjena glede na vir energije, torej termoelektrarne, hidroelektrarne in jedrsko elektrarno. V raziskavi bomo uporabili le podatek o dejanski porabi, ki se nahaja v četrtem stolpcu.

predviden	dejanska	predviden	dejanski	nek	termo	hidro
968	977	1083	1087	694	246	50
962	1059	1036	1050	695	262	115
959	982	997	1008	695	250	49
961	979	972	960	694	250	47
870	947	983	935	694	218	47
885	937	1017	958	694	207	47
925	943	1079	1004	694	208	52
1018	1046	1137	1048	694	228	136
1086	1073	1204	1086	694	221	170
1073	1066	1271	1127	694	220	163
1110	1089	1302	1129	694	217	189
1085	1136	1333	1139	694	239	215
1074	1112	1315	1137	695	240	188
1067	1115	1275	1116	695	240	192
1060	1145	1235	1119	695	242	219
1056	1080	1232	1148	694	240	157
1151	1179	1311	1224	695	229	266
1420	1442	1426	1319	695	301	458
1472	1477	1444	1381	694	305	489
1475	1487	1447	1382	694	334	471
1477	1603	1412	1364	694	346	575
1347	1488	1341	1304	694	320	486
1179	1263	1264	1223	694	252	330

Tabela 1: Podatki o letni porabi energije v Sloveniji

Drugi podatek, ki ga bomo uporabili v analizi, je osončenost zemeljskega površja, izražena kot gostota toka sončnega obsevanja v W/m^2 . Podatke o osončenosti smo pridobili iz baze Znanstvenega središča EU (JRC EU). Fotovoltaični geografski informacijski sistem (PVGIS) je interaktivni sistem, ki omogoča pregled in izvoz podatkov o osončenosti določenega območja za nekaj preteklih let za izbrano lokacijo in časovno ločljivostjo 1 ure. Poleg tega že sam izračuna najugodnejši kot za postavitev sončnih celic, ko je njihov izkoristek največji. Tabela 2 spodaj prikazuje primer podatkov o osončenosti v Ljubljani za leto 2019. Pri analizi bomo uporabili drugi stolpec v tabeli, označen z G(i), ki prikazuje globalno obsevanost v ravnini v enotah W/m^2 . [25]

time	P	G(i)	H_sun	T2m	WS10m	Int
20160101:0010	0	0	0	-0,3	1,52	0
20160101:0110	0	0	0	-0,05	1,49	0
20160101:0210	0	0	0	0,19	1,45	0
20160101:0310	0	0	0	0,44	1,42	0
20160101:0410	0	0	0	0,47	1,37	0
20160101:0510	0	0	0	0,49	1,32	0
20160101:0610	0	0	0	0,52	1,27	0
20160101:0710	0	0	0	0,98	1,08	0
20160101:0810	81,82	105,91	10,56	1,44	0,88	0
20160101:0910	385,63	444,98	16,47	1,89	0,69	0
20160101:1010	901,53	1160,2	20,2	2,51	0,54	0
20160101:1110	614,03	738,92	21,38	3,13	0,4	0
20160101:1210	880,89	1149,9	19,88	3,75	0,25	0
20160101:1310	723,13	896,08	15,86	3,47	0,54	0
20160101:1410	58,27	82,18	9,72	3,2	0,84	0
20160101:1510	0	0	0	2,93	1,13	0
20160101:1610	0	0	0	2,48	1,29	0
20160101:1710	0	0	0	2,04	1,45	0
20160101:1810	0	0	0	1,6	1,61	0
20160101:1910	0	0	0	1,48	1,59	0
20160101:2010	0	0	0	1,36	1,56	0
20160101:2110	0	0	0	1,25	1,53	0
20160101:2210	0	0	0	1,48	1,33	0
20160101:2310	0	0	0	1,71	1,13	0
20160102:0010	0	0	0	1,94	0,92	0
20160102:0110	0	0	0	1,7	1,23	0
20160102:0210	0	0	0	1,47	1,54	0
20160102:0310	0	0	0	1,23	1,85	0
20160102:0410	0	0	0	1,38	1,74	0
20160102:0510	0	0	0	1,53	1,63	0
20160102:0610	0	0	0	1,68	1,52	0
20160102:0710	0	0,04	2,96	2,21	1,43	0
20160102:0810	45,77	65,98	10,58	2,74	1,33	0
20160102:0910	274,5	317,82	16,51	3,26	1,24	0
20160102:1010	301,41	348,99	20,27	3,76	1,18	0
20160102:1110	43,06	62,96	21,47	4,25	1,12	0

Tabela 2: Podatki o urni osončenosti v Ljubljani, primer za leto 2016

Slovenija je geografsko in klimatsko zelo razgibana, zato različni deli skozi leto prejmejo različne količine sončne energije. Vpliv teh razlik smo v raziskavi upoštevali tako, da smo analizo izvedli za tri geografsko in klimatsko precej različne kraje v Sloveniji: Ljubljano, Mursko Soboto in Ankarano. Za analizo smo izbrali podatke za leto 2019, saj je bilo ob času pridobitve podatkov to edino leto, za katerega so bili hkrati dostopni podatki tako o porabi energije kot o sončnem obsevanju.

3.2 Metode in analiza podatkov

3.2.1 Razlaga programske kode z uporabo formul

Električno omrežje bomo opisali z enostavnim modelom, kjer bomo predpostavili, da se proizvedena električna energija iz sončnih celic porabi za zagotavljanje energije porabnikom, presežek pa se shrani v baterijski sistem. Če je proizvodnja manjša od porabe, se baterijski sistem prazni in tako zagotavlja energijo porabnikom.

Napolnjenost baterij računamo na podlagi podatkov za proizvodnjo in porabo energije v vsaki uri. Proizvodnjo izračunamo iz podatkov, pridobljenih na PVGIS, ki podajajo količino uporabne sončne energije v vsaki uri izbranega leta kot gostoto sončne moči G_i , izražene v $\frac{W}{m^2}$. Električno moč, ki jo proizvajajo sončne celice, izračunamo tako, da gostoto moči pomnožimo z izkoristkom sončnih celic, ki smo jo na podlagi teoretičnih podatkov in podatkov JCR ocenili na $\eta = 20\%$, in nameščeno površino sončnih celic S_{SC} , $P_{proizvodnja}(t) = \eta \times G_i(t) \times S_{SC}$. Moč, ki se porablja v omrežju $P_{poraba}(t)$ lahko razberemo direktno iz ELES-ovih podatkov. Spremembo napolnjenosti baterijskega sistema v eni uri torej določimo kot

$$\Delta W_{baterije}(t) = (P_{proizvodnja}(t) - P_{poraba}(t))\Delta t.$$

Spreminjanje napolnjenosti baterije s časom $W_{baterije}(t)$ določimo kot vsoto sprememb $\Delta W_{baterije}(t)$. Napolnjenost v določenem trenutku bo seveda odvisna od začetne napolnjenosti $W_{baterije,0}$

$$W_{baterije}(t) = W_{baterije,0} + \sum_{i=0}^n \Delta W_{baterije}(i \Delta t),$$

kjer je zgornja meja za seštevanje določena s časom, ko nas napolnjenost baterije zanima, $n = \frac{t}{\Delta t}$. Če želimo, da bo energijska bilanca v ravnovesju v določenem časovnem okviru, recimo enem dnevu, mesecu ali letu, kar označimo z T mora veljati, da $W_{baterije}(T) = W_{baterije,0}$. Zagotovitev tega pogoja je eden od glavnih ciljev, ki jih želimo zagotoviti pri uravnovešanju količine baterij in sončnih celic v sistemu. Kot vidimo, začetna napolnjenost baterije v resnici ni pomembna, saj se pri pogoju za energijsko bilanco odšteje, torej mora veljati $\sum_{i=0}^N \Delta W_{baterije}(i \Delta t)$, kjer je $N = \frac{T}{\Delta t}$.

Ker je poraba energije popolnoma določena z ELES podatki, lahko iz te enačbe direktno določimo količino sončnih celic, ki jih v izbranem časovnem okviru potrebujemo za oskrbo z elektriko:

$$S_{SC} = \frac{\sum_{i=0}^N P_{poraba}(i \Delta t)}{\sum_{i=0}^N \eta \times G_i(i \Delta t)}$$

Pri zgornjem računu smo predpostavili, da količina energije, ki jo lahko shranimo v baterije, ni omejena. Pri izbrani inštalirani površini sončnih celic S_{SC} nam torej izračun $W_{baterije}(t)$ omogoči, da določimo količino baterij, ki jih potrebujemo, da bo v energijskem sistemu ves čas dovolj prostora za shranjevanje presežne električne energije. Kapaciteto baterij $C_{baterije}$, ki je za to potrebna, v tem

primeru izračunamo kot razliko med največjo in najmanjšo napolnjenostjo baterij v izbranem časovnem okvirju:

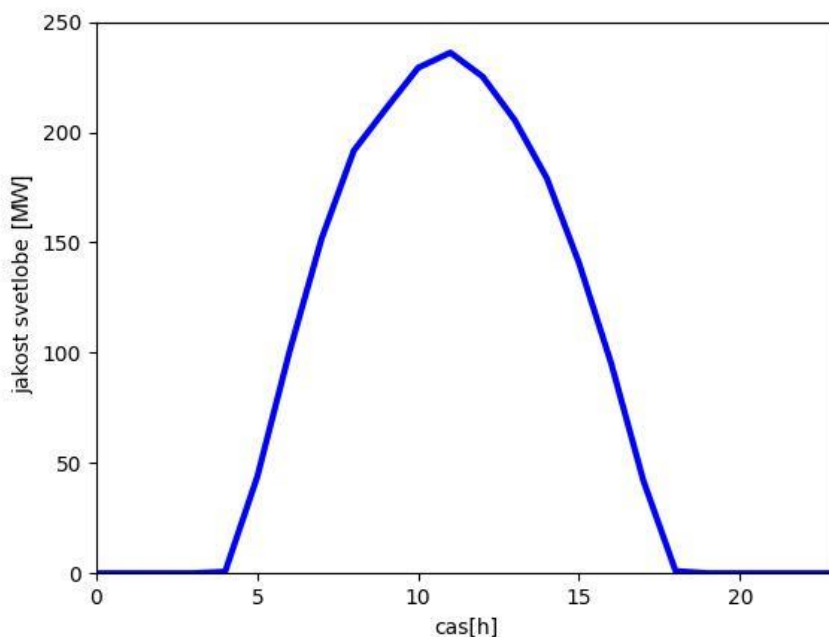
$$C_{baterije} = \max(W_{baterije}(t)) - \min(W_{baterije}(t)) .$$

Zbrani podatki o osončenosti in porabi energije v enem letu pri časovni ločljivosti 1 ure skupaj znašajo več kot 15 tisoč številskih vrednosti. Seveda računanje na roke ne bi bila najbolj racionalna izbira, saj zaradi se zaradi običajne človekove nenatančnosti lahko hitro zmotimo ali spregledamo rezultat, kar bo pokvarilo točnost rezultatov in zanesljivost naše naloge, poleg tega pa bi računanje trajalo nerazumno dolgo. Zato bomo za analizo uporabili enega izmed priljubljenih in razširjenih programskih jezikov – Python. Na podlagi zgoraj opisanih enačb smo spisali programsko kodo, ki hitro in učinkovito izračuna potrebno površino sončnih celic S_{SC} in zahtevano kapaciteto baterij $C_{baterije}$.

Ker se osončenost na različnih legah v Sloveniji razlikuje, bosta pridobljeni vrednosti za različne lege različni. Poleg tega na obe količini pomembno vpliva tudi to, kakšno časovno okno T si izberemo za izračun, kar bomo podrobneje razložili v nadaljevanju.

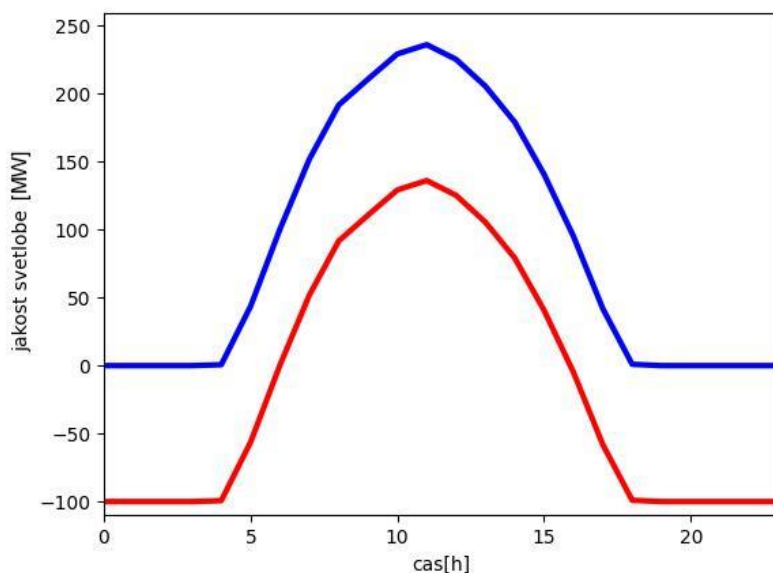
3.2.2 Nekaj primerov analize z razlago in grafičnim prikazom

Za boljše razumevanje delovanja opisane programske kode bomo predstavili nekaj vmesnih rezultatov naše analize. Za začetek je zanimivo videti, kako izgleda osončenost oziroma kako se spreminja skozi dan. Ker ravnovesje sistema računamo na časovni skali ene ure, so dnevne variacije pomembne. Primer spreminjanja sončne moči čez dan je prikazan na grafu 1, prikazanem spodaj.



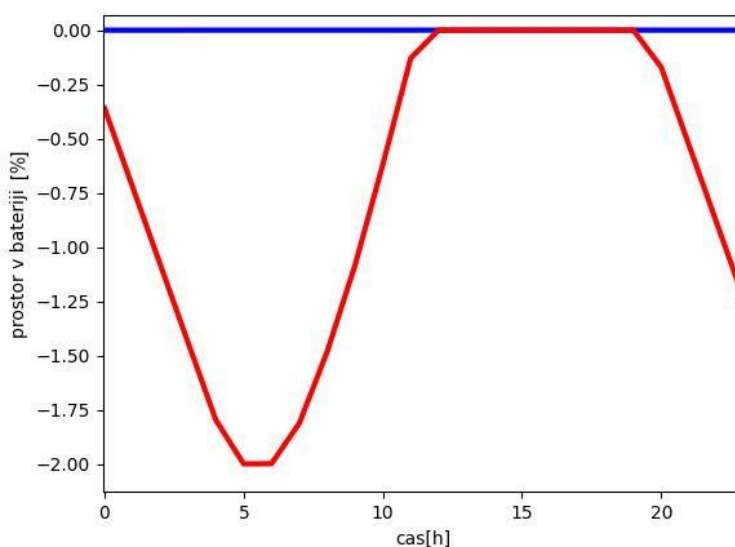
Graf 1: Pridobljena energija iz sončnih celic glede na čas

Za enostavno demonstracijo računanja stanja energije v bateriji za začetek predpostavimo, da je poraba energije v omrežju kar konstantna. Rdeča črta na grafu 2 prikazuje razliko med pridobljeno in porabljeno energijo, ki se od pridobljene energije razlikuje samo za konstanten premik.



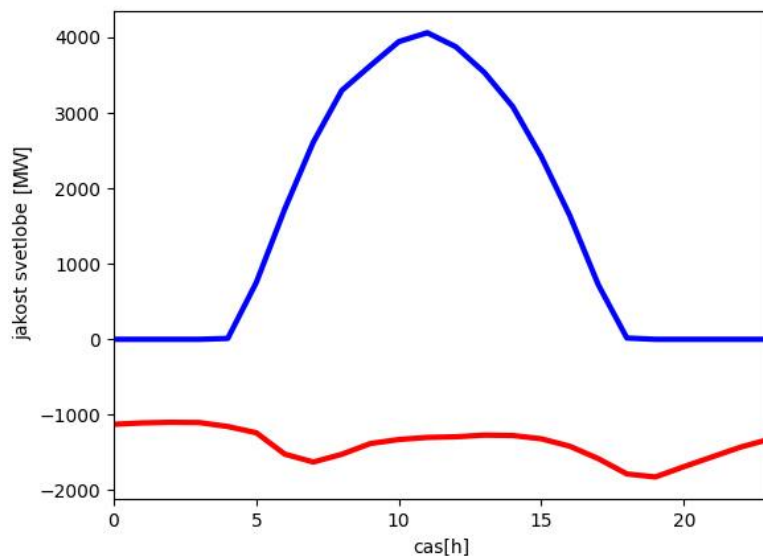
Graf 2: Pridobljena energija glede na čas z odšteto porabo

Graf 3 prikazuje primer izračuna napolnjenosti baterije $W_{baterije}(t)$. Ponoči se napolnjenost zmanjšuje, saj se energija porablja v omrežju. Okrog 6. ure, ko sonce vzhaja, pa potrebo po energiji lahko zagotavlja sončna energija in pri tem ponovno napolni baterije. Program omogoča tudi upoštevanje maksimalne kapacitete baterij, prek katere se te ne morejo napolniti. V prikazanem primeru, ki smo ga uporabili za testiranje in demonstracijo, je ta vrednost nastavljena kar na 0, kar pomeni, da je napolnjenost izražena z negativno vrednostjo $W_{baterije}(t)$.



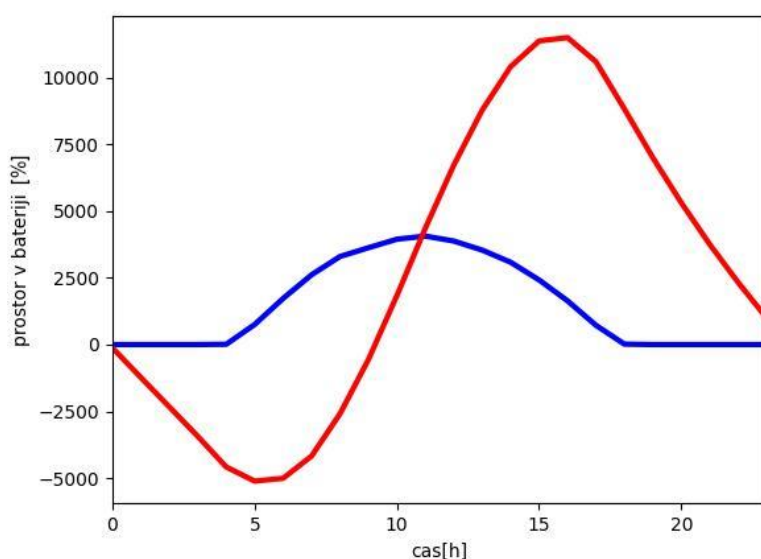
Graf 3: Pridobljena energija napolnjena v baterijo

Oglejmo si še nekoliko realnejši primer, ko sta tako proizvodnja kot poraba časovno odvisni. Spodnji graf 4 z rdečo prikazuje porabo (v MW) običajnega januarskega dneva. Ker se energija porablja, so prikazane vrednosti negativne, modra črta pa kaže osončenost v W/m^2 v Ljubljani.



Graf 4: Pridobljena energija glede na čas s porabo

Če obe odvisnosti uporabimo v enačbah našega modela, lahko določimo ustrezno količino sončnih celic, ki zagotovi, da bo napolnjenost baterije zjutraj enaka napolnjenosti zvečer. To je prikazano na Grafu 5, kjer modra črta prikazuje osončenost, rdeča pa napolnjenost baterije. Razlika med najnižjo in najvišjo točko rdeče črte nam poda potreben prostor, ki ga rabimo v bateriji, da je takšno polnjenje in praznjenje možno izvesti, brez da bi presegli kapaciteto baterij. Čeprav je iz grafa videti, da je baterija na koncu dneva bolj polna kot na začetku, je sistem kljub temu usklajen, saj zadnja točka prikazuje stanje ob 23h, kar pomeni, da se baterija do 24:00 oziroma 0:00 naslednjega dne izprazni točno na začetno raven napolnjenosti.



Graf 5: Pridobljena energija, napolnjena v baterijo, in pridobljena energija

Pridobljene podatke si lahko ogledamo tudi v tabeli, ki nam jo je preračunal program. Tabela prikazuje pridobljeno energijo, pridobljeno energijo z odšteto porabo, energijo baterije z odšteto porabo in procent napolnjenosti baterije glede na vsako uro. Iz te tabele razberemo, da med poznim večerom in zgodnjim jutrom sončne celice ne proizvajajo energije, saj takrat niso izpostavljeni soncu.

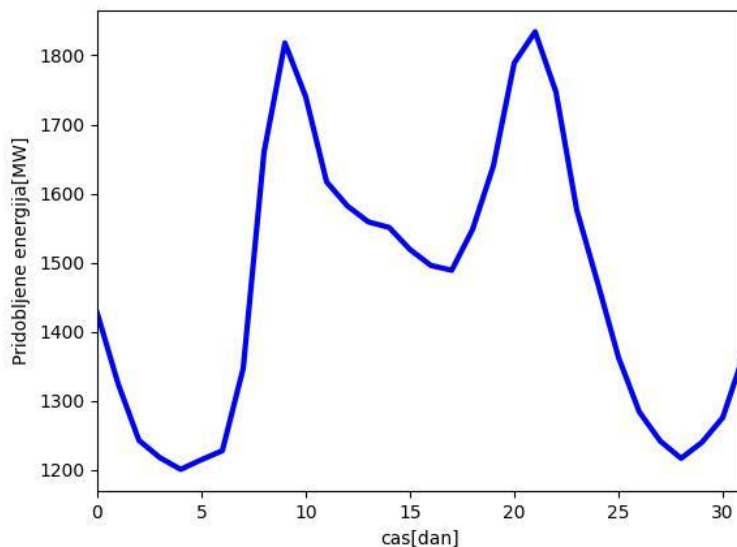
Cas	Pridobljena energija	Pridobljena - poraba	Energija baterije - poraba	% Baterije s porabo
00:00	0	-1126	-126	-1.05
01:00	0	-1108	-1234	-10.28
02:00	0	-1100	-2334	-19.45
03:00	0	-1103	-3437	-28.64
04:00	0.67	-1155.33	-4581.47	-38.18
05:00	43.71	-1238.29	-5111.29	-42.59
06:00	100.37	-1521.63	-5006.08	-41.72
07:00	151.78	-1626.22	-4172.19	-34.77
08:00	191.61	-1523.39	-2589.88	-21.58
09:00	210.68	-1381.32	-556.413	-4.64
10:00	229.21	-1327.79	1830.93	15.26
11:00	236.08	-1299.92	4357.49	36.31
12:00	225.26	-1291.74	6716.86	55.97
13:00	205.5	-1269.5	8778.19	73.15
14:00	179.09	-1274.91	10406	86.72
15:00	140.62	-1318.38	11366.9	94.72
16:00	95.12	-1416.88	11491.8	95.76
17:00	41.92	-1582.08	10589.1	88.24
18:00	0.98	-1784.02	8821	73.51
19:00	0	-1824	6997	58.31
20:00	0	-1688	5309	44.24
21:00	0	-1557	3752	31.27
22:00	0	-1427	2325	19.38
23:00	0	-1325	1000	8.33

Tabela 3: Pridobljena energija, pridobljena energija z odšteto porabo, energija baterije

Na primeru enega dneva smo prikazali delovanje programa in njegove vmesne rezultate. Podatki za en sam dan seveda niso zelo relevantni, saj je rezultat odvisen od tega, kateri dan smo izbrali in sam zase še ne pove, ali bodo izračunane količine ustrezne tudi za kak drug dan, ko bo osončenost večja ali manjša.

Račun je zato smiselno razširiti na daljše časovno obdobje. Graf 6 prikazuje spreminjanje pridobljene energije skozi obdobje enega meseca. Opazimo da je graf zanimive oblike: vidimo, da na sredini izbranega meseca pridobi največ energije, na koncu in na začetku meseca pa najmanj.

Potek je odvisen od vremenskih pogojev, ob sončnem vremenu bo proizvodnja energije večja kot ob oblačnem vremenu.



Graf 6: Pridobljena energija čez mesec

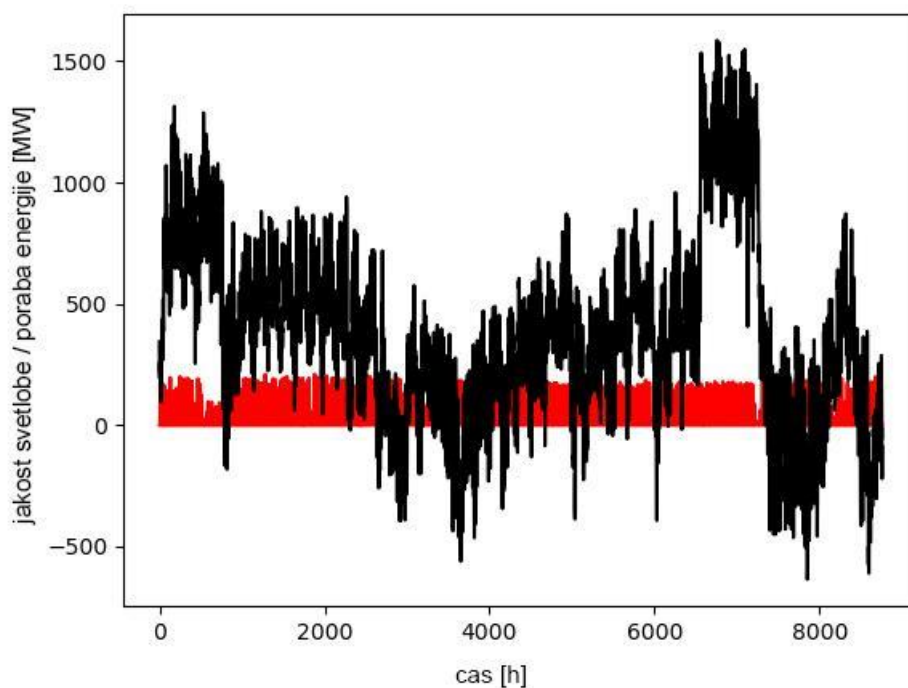
S pomočjo zgoraj opisanih postopkov lahko za vsak dan v mesecu ali letu izračunamo minimalno količino sončnih celic. Tabela 4 prikazuje primer izpisov za računanje v obdobju enega meseca. Rezultat, ki nam določa dejansko količino potrebnih sončnih celic, je seveda maksimalna izračunana vrednost, saj s tem zagotovimo zadostno količino energije tudi na najbolj neugoden dan v izbranem časovnem okviru. Prav tako nam račun vrne količino baterij, ki je potrebna, da na posamezen dan lahko uskladimo energetske sistem.

Optimised area:	18497515 m ²	=	18.5 km ²
Optimised area:	18228588 m ²	=	18.23 km ²
Optimised area:	18135048 m ²	=	18.14 km ²
Optimised area:	17760889 m ²	=	17.76 km ²
Optimised area:	17491961 m ²	=	17.49 km ²
Optimised area:	17410114 m ²	=	17.41 km ²
Optimised area:	18099971 m ²	=	18.1 km ²
Optimised area:	19175680 m ²	=	19.18 km ²
Optimised area:	20917860 m ²	=	20.92 km ²
Optimised area:	21444022 m ²	=	21.44 km ²
Optimised area:	20426776 m ²	=	20.43 km ²
Optimised area:	18427360 m ²	=	18.43 km ²
Optimised area:	17199649 m ²	=	17.2 km ²
Optimised area:	15936861 m ²	=	15.94 km ²
Optimised area:	15013154 m ²	=	15.01 km ²
Optimised area:	14522070 m ²	=	14.52 km ²
Optimised area:	14229757 m ²	=	14.23 km ²
Optimised area:	14498685 m ²	=	14.5 km ²
Optimised area:	14919614 m ²	=	14.92 km ²
Optimised area:	15971938 m ²	=	15.97 km ²
Minimalna potrebna ploscina med mesecom:	21444022 m ²	=	21.44 km ²

Tabela 4: : Minimalna potrebna količina sončnih celic, preračunana po dnevih

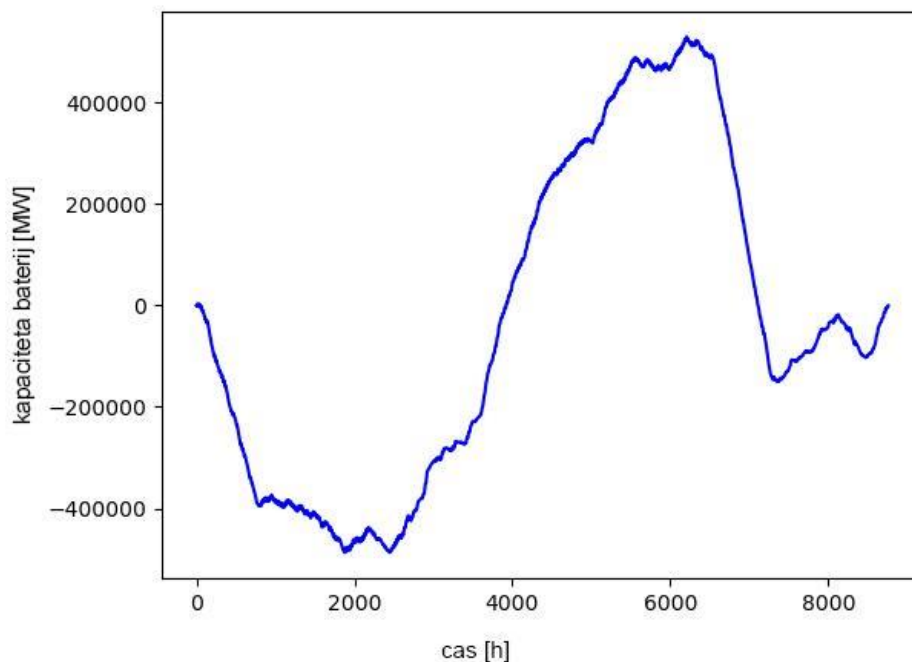
Podobno, kot smo računali površino celic in količino baterij za posamezen dan, lahko izračunamo tudi, kolikšna količina bi bila potrebna, da bi sistem uskladili na podlagi nihanj skozi celo leto. Graf 7 prikazuje spreminjanje porabe in osončenosti skozi celo leto v Ljubljani. Osončenost je prikazana z rdečo barvo, urno energijsko porabo pa prikazuje črna črta. Opazimo zanimivo gibanje: najvišja poraba je jeseni in šele nato pozimi, kar je presenetljivo. Najnižjo porabo pa opazimo med pomladjo in poletjem, saj takrat ljudje potrebujejo veliko manj energije za segrevanje in osvetlitev.

V primeru uravnovešenja po posameznih dnevih so baterije kompenzirale predvsem spreminjanje proizvodnje sončne energije zaradi dnevno-nočnega nihanja. V primeru celotnega leta se tem spremembam pridružijo še izrazite spremembe v porabi in do neke mere tudi v proizvodnji zaradi različnih vremenskih trendov. Primer tega lahko vidimo na grafu 7, ko je proizvodnja konec januarja in v začetku februarja nekoliko nižja. Razlike zaradi spremembe zenitnega kota sonca niso tako izrazite, saj smo uporabili podatke, ki predpostavijo aktivno spreminjanje kota sončnih celic in s tem prilagajanje kotu vpadnih sončnih žarkov.



Graf 7: Osončenost proti porabljeni energiji čez leto

Rezultat, ki ga dobimo ob celoletnem uravnovešenju omrežja in bo določal potrebno kapaciteto baterij, je prikazan na grafu 8. Graf prikazuje spreminjanje napolnjenosti baterij skozi leto. Napolnjenost pričakovano pada pozimi in spomladi, poleti pa baterije dosežejo največjo napolnjenost, ki jeseni spet pade. Opazimo tudi, da je količina potrebnih baterij vsaj 40x krat večja, kakor če naredimo uravnoveženje na posameznem dnevu.



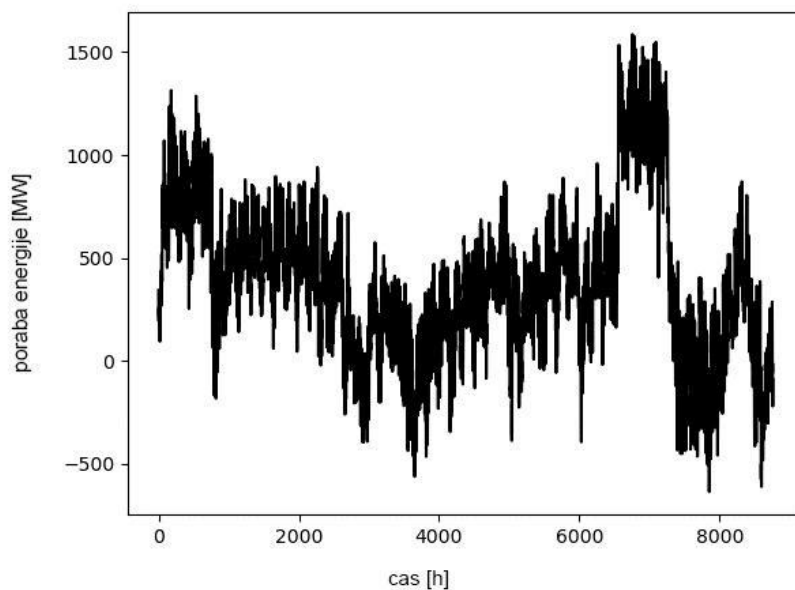
Graf 8: Shranjena energija v bateriji glede na celoletno razporeditev.

Na prikazanih primerih smo ugotovili, da je za končni rezultat našega dela, torej za oceno stroška energetskega omrežja, zelo pomembno, kakšno časovno skalo izberemo za uravnoteženje energetskega sistema. Uravnoteženje v krajših časovnih obdobjih zahteva manjšo količino baterij, saj pokrivajo le dnevna nihanja v proizvodnji in porabi. To pa pomeni večjo količino sončnih celic, ki morajo tudi ob dnevih s slabim vremenom zagotoviti dovolj energije. Obratno daljša časovna obdobja zahtevajo več baterij, ki pa jih lahko polnimo z manj celicami, saj manjšo proizvodnjo v določenem obdobju lahko nadomestimo z večjo proizvodnjo kasneje. To lahko tudi vidimo na zgornjem grafu 8, če ga primerjamo s prejšnjim, ki prikazuje razpored baterij v krajšem časovnem obdobju, kot ga na primer graf 5.

4. REZULTATI Z RAZPRAVO

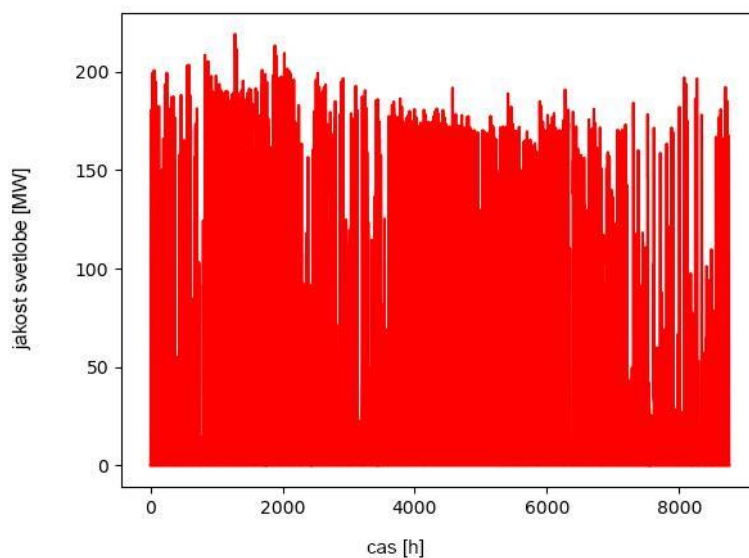
V tem delu bomo prikazali končne rezultate izračunov za različna izbrana časovna okna za povprečje in različne lokacije v Sloveniji. Izbrali smo dnevno, tedensko, mesečno in celoletno povprečje, kot lokacije pa Ankaran, Ljubljano in Mursko Soboto.

Za začetek si ogledamo letno porabo energije za leto 2019 v Sloveniji, ki je prikazana z črno barvo.



Graf 9: Letna poraba v Sloveniji

Začeli bomo z Ankaranom. Na Grafu 10 smo prikazali osončenost tega območja preko celega leta.



Graf 10: Letna osončenost v Ankaranu

Rezultati izračunov so prikazani v Tabeli 5. Stolpci prikazujejo površino sončnih celic v km² in kapaciteto baterij v MWh, izračunano z uravnoteženjem po posameznih dnevih (1 sklop), mesecih (2 sklop) in tednih (3. sklop). Ker je količina podatkov velika, smo v tabeli prikazali le del kot primer. Pomembni vrednosti, ki jih izluščimo iz podatkov, sta maksimalna površina celic in maksimalna kapaciteta baterij, zahtevani v izbranem časovnem oknu. Vrednosti sta navedeni v 3. in 4. vrstici posameznega. Ti dve količini določata končno velikost sistema, saj mora ta ustrezati zahtevanim pogojem za kateri koli dan v letu. Iz teh dveh vrednosti zato izračunamo končno ceno izgradnje energijskega sistema. Poleg tega smo izračunali ceno posameznih komponent ter skupno ceno celotnega sistema.

lokacija: ankaran leto 2019				lokacija: ankaran leto 2019				lokacija: ankaran leto 2019				lokacija: ankaran leto 2019			
Poraba je izravnan: dnevno				Poraba je izravnan: tedensko				Poraba je izravnan: mesečno				Poraba je izravnan: letno			
Cena [10 ⁹ €] skupna cena				Cena [10 ⁹ €] skupna cena				Cena [10 ⁹ €] skupna cena				Cena [10 ⁹ €] skupna cena			
max SSC[km ²]=				max SSC[km ²]=				max SSC[km ²]=				max SSC[km ²]=			
max C bat[MWh]=				max C bat[MWh]=				max C bat[MWh]=				max C bat[MWh]=			
mesec dan				mesec dan				mesec dan				mesec dan			
1	1	32,5	19530	1	1	42,27	58470	1	1	49,34	142000	1	1	31,85	2132610
1	2	36,85	23490	1	8	43,72	74550	2	1	29,63	135600				
1	3	32,02	28190	1	15	54,9	95950	3	1	25,88	189000				
1	4	34,28	27520	1	22	56,69	115900	4	1	30,49	218200				
1	5	76,36	28620	1	29	61,96	112700	5	1	35,04	153400				
1	6	29,26	24490	2	5	32,43	64470	6	1	18,66	75710				
1	7	188,1	29170	2	12	24,78	38470	7	1	20,74	60470				
1	8	194,24	32190	2	19	25,49	39460	8	1	21,45	125800				
1	9	60,36	30190	2	26	26,59	41010	9	1	27,62	122500				
1	10	31,73	28010	3	5	35,28	64090	10	1	40,18	151500				
1	11	30,75	27960	3	12	35,63	62640	11	1	81,05	219600				
1	12	65,34	24750	3	19	20,18	43560	12	1	58,59	287300				
1	13	35,35	25830	3	26	18,66	33490								
1	14	31,31	26130	4	2	48,62	76920								
1	15	31,03	27310	4	9	38,65	82390								
1	16	40,24	27810	4	16	17,59	31820								
1	17	414,96	28100	4	23	37,32	82300								
1	18	248,66	28530	4	30	27,21	84550								
1	19	53,36	24010	5	7	37,75	79660								
1	20	31,76	22990	5	14	39,73	82590								
1	21	62,93	27350	5	21	31,99	87520								
1	22	48,47	31240	5	28	25,17	87480								
1	23	444,83	31040	6	4	19,21	38730								
1	24	30,54	28460	6	11	20,18	27130								
1	25	33,66	28300	6	18	21,03	32160								
1	26	38,02	26350	6	25	16,3	25900								
1	27	121,98	26910	7	2	19,88	24910								
1	28	400,99	27840	7	9	22,51	36540								
1	29	43,9	27410	7	16	18,67	26490								
1	30	49,34	28090	7	23	24,06	53770								
1	31	81,39	27470	7	30	18,31	37580								

Tabela 5: Rezultati za Ankaran

Rezultati so: Dnevna razporeditev sončnih celic:

- Potrebna ploščina sončnih celic: 1699,77 [km²]
- Potrebna kapaciteta baterij: 32.190 [MWh]
- Skupna cena: 1613,08 milijard € + 231,77 milijard € = 1844,85 milijard €

Tedenska razporeditev sončnih celic:

- Potrebna ploščina sončnih celic: 133,78 [km²]
- Potrebna kapaciteta baterij: 142.900 [MWh]
- Skupna cena: 126,96 milijard € + 1028,88 milijard € = 1155,84 milijard €

Mesečna razporeditev sončnih celic:

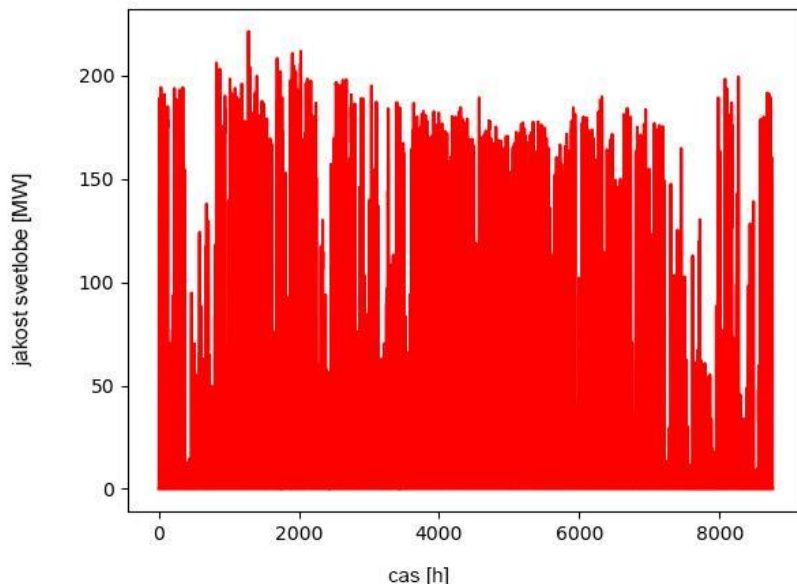
- Potrebna ploščina sončnih celic: 81,05 [km²]
- Potrebna kapaciteta baterij: 297.300 [MWh]
- Skupna cena: 76,92 milijard € + 2140,56 milijard € = 2217,48 milijard €

Letna razporeditev sončnih celic:

- Potrebna ploščina sončnih celic: 31,85 [km²]
- Potrebna kapaciteta baterij: 2.132.610 [MWh]
- Skupna cena: 30,23 milijard € + 15354,79 milijard € = 15385,02 milijard €

Najboljša izbira in cena za Ankaran: **Tedenska razporeditev**, ki bo stala **1155,84 milijard €** na 25 let

Nadaljujemo z naslednjim mestom, to je Ljubljana. Oglejmo si osončenost tega območja s pomočjo naslednjega grafa.



Graf 11: Letna osončenost v Ljubljani

Zdaj ogledamo si dejanske rezultate iz tabele:

lokacija:	ljubljan	leto	2019	lokacija:	ljubljan	leto	2019	lokacija:	ljubljan	leto	2019	lokacija:	ljubljan	leto	2019
Poraba je izravnan:	dnevno	Cena [10 ⁹ eur]	skupna cena	Poraba je izravnan:	tedensko	Cena [10 ⁹ eur]	skupna cena	Poraba je izravnan:	mesečno	Cena [10 ⁹ eur]	skupna cena	Poraba je izravnan:	letno	Cena [10 ⁹ eur]	skupna cena
max SSC[km ²]=	1952,05	1852,5	2074,12	max SSC[km ²]=	220,92	209,65	1420,69	max SSC[km ²]=	147,84	140,3	2558,06	max SSC[km ²]=	36,44	34,58	17052,05
max C bat[MWh]=	30780	221,62		max C bat[MWh]=	168200	1211,04		max C bat[MWh]=	335800	2417,76		max C bat[MWh]=	2363537	17017,47	
mesec	dan	SSC [km ²]	C bat [MWh]	mesec	dan	SSC [km ²]	C bat [MWh]	mesec	dan	SSC [km ²]	C bat [MWh]	mesec	dan	SSC [km ²]	C bat [MWh]
1	1	21,13	18480	1	1	40,2	71680	1	1	67,32	335800	1	1	36,44	2363537
1	2	25,87	20330	1	8	53,11	94120	2	1	33,42	190200				
1	3	37,74	24410	1	15	88,59	135800	3	1	31,18	187800				
1	4	36,27	25940	1	22	150,84	106700	4	1	31,27	270400				
1	5	252,62	24090	1	29	82,55	116700	5	1	39,39	166500				
1	6	27,64	23070	2	5	45,7	98720	6	1	19,5	122200				
1	7	168,53	26750	2	12	25,45	38760	7	1	23,21	92200				
1	8	491,03	28440	2	19	27,74	46600	8	1	25,5	147000				
1	9	89,46	28090	2	26	30,24	49580	9	1	33,27	152000				
1	10	69,6	27930	3	5	42,87	67800	10	1	42,53	165800				
1	11	36,38	27840	3	12	40,94	65510	11	1	147,84	279700				
1	12	61,33	25090	3	19	24,63	74760	12	1	63,02	333500				
1	13	30,3	24210	3	26	22,23	61530								
1	14	32,12	25040	4	2	48,06	78950								
1	15	28,92	25250	4	9	74,14	84000								
1	16	57,61	25240	4	16	15,21	30440								
1	17	960,8	28810	4	23	36,47	87830								
1	18	640,86	24490	4	30	28,67	89990								
1	19	476,97	23900	5	7	40,37	70260								
1	20	53,16	21560	5	14	55,43	70610								
1	21	255,04	26940	5	21	32,13	73130								
1	22	151,8	26920	5	28	29,52	91210								
1	23	570,78	27090	6	4	17,35	28170								
1	24	259	27270	6	11	22,33	44280								
1	25	73,03	26200	6	18	26,08	46950								
1	26	87,43	23920	6	25	16	26060								
1	27	138,85	25220	7	2	25,88	40380								
1	28	426,08	24580	7	9	24,44	40850								
1	29	59,59	25990	7	16	19,77	30210								
1	30	56,3	27570	7	23	24,98	45820								
1	31	197,62	25460	7	30	21,11	34000								
2	1	268,23	26480	8	6	22,6	43290								

Tabela 6: Rezultati za Ljubljano

Pridobljeni rezultati za velikost sistema in ceno so:

Dnevna razporeditev sončnih celic:

- Potrebna ploščina sončnih celic: 1952,05 [km²]
- Potrebna kapaciteta baterij: 30.780 [MWh]
- Skupna cena: 1852,5 milijard € + 221,62 milijard € = 2074,12 milijard €

Tedenska razporeditev sončnih celic:

- Potrebna ploščina sončnih celic: 220,92 [km²]
- Potrebna kapaciteta baterij: 168.200 [MWh]
- Skupna cena: 209,65 milijard € + 1211,04 milijard € = 1420,69 milijard €

Mesečna razporeditev sončnih celic:

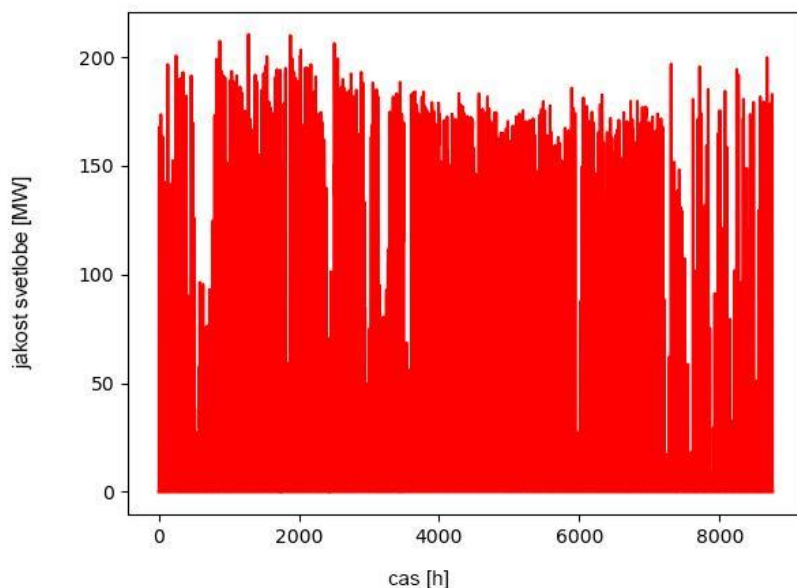
- Potrebna ploščina sončnih celic: 147,84 [km²]
- Potrebna kapaciteta baterij: 335.800 [MWh]
- Skupna cena: 140,3 milijard € + 2417,76 milijard € = 2558,06 milijard €

Letna razporeditev sončnih celic:

- Potrebna ploščina sončnih celic: 36,44 [km²]
- Potrebna kapaciteta baterij: 2.364.000 [MWh]
- Skupna cena: 34,58 milijard € + 17017,47 milijard € = 17052,05 milijard €

Najboljša izbira in cena za Ljubljano: **Tedenska razporeditev**, ki bo stala **1420,69 milijard €** na 25 let.

Ostane nam samo še eno mesto – Murska Sobota, ogledamo si tudi njegov graf osončenosti.



Graf 12: Letna osončenost Murske Sobote

Ogledamo si naslednjo tabelo z rezultati:

lokacija: murska_sobota leto 2019				lokacija: murska_sobota leto 2019				lokacija: murska_sobota leto 2019				lokacija: murska_sobota leto 2019			
Poraba je izravnan: dnevno				Poraba je izravnan: tedensko				Poraba je izravnan: mesecno				Poraba je izravnan: letno			
max SSC[km²2]=	1404,95	1333,3	1557,51	max SSC[km²2]=	150,5	142,82	1134,26	max SSC[km²2]=	75,44	71,59	2181,19	max SSC[km²2]=	33,8	32,08	15618,5
max C bat[MWh]=	31140	224,21		max C bat[MWh]=	137700	991,44		max C bat[MWh]=	293000	2109,6		max C bat[MWh]=	2164781	15586,42	
mesec	dan	SSC [km²2]	C bat [MWh]	mesec	dan	SSC [km²2]	C bat [MWh]	mesec	dan	SSC [km²2]	C bat [MWh]	mesec	dan	SSC [km²2]	C bat [MWh]
1	1	31,23	19520	1	1	94,34	89090	1	1	75,44	293000	1	1	33,8	2164781
1	2	46,8	20960	1	8	101,3	114600	2	1	35,63	167200				
1	3	44,43	25900	1	15	125,17	77800	3	1	30,78	157600				
1	4	64,86	25920	1	22	125,27	91610	4	1	26,7	214800				
1	5	682,42	25100	1	29	121,31	99310	5	1	33,56	151600				
1	6	55,1	25530	2	5	123,39	93870	6	1	19,29	108900				
1	7	578,03	28570	2	12	138,08	46550	7	1	22,46	81000				
1	8	174,08	31140	2	19	150,5	47430	8	1	23,39	100800				
1	9	91,88	29140	2	26	140,83	50950	9	1	30,31	106300				
1	10	420,95	29970	3	5	144,85	54690	10	1	35,06	158300				
1	11	34,15	27780	3	12	134,26	58430	11	1	74,57	194700				
1	12	39,8	26650	3	19	128,8	79920	12	1	60,56	212000				
1	13	29,95	23900	3	26	115,51	70980								
1	14	39,25	26650	4	2	128,8	62060								
1	15	40,68	29000	4	9	140,16	109500								
1	16	74,09	28280	4	16	136,68	33560								
1	17	45,12	29050	4	23	140,4	61350								
1	18	167,56	29410	4	30	142,14	99610								
1	19	168,38	24620	5	7	118,99	65920								
1	20	32,12	22960	5	14	110,97	82290								
1	21	55,1	30500	5	21	147,41	67820								
1	22	101,49	27210	5	28	131,51	103800								
1	23	820,64	28550	6	4	137,98	26110								
1	24	438,98	30390	6	11	146,87	31960								
1	25	98,06	27800	6	18	134,36	50800								
1	26	148,86	25540	6	25	123,43	33780								
1	27	107,97	25880	7	2	125,06	41070								
1	28	273,69	29110	7	9	140,69	37360								
1	29	118,7	25400	7	16	122,76	24310								
1	30	146,92	28280	7	23	136,68	44710								
1	31	209,61	28000	7	30	135,32	38490								

Tabela 7: Rezultati za Mursko Soboto

Naši pridobljeni rezultati so:

Dnevna razporeditev sončnih celic:

- Potrebna ploščina sončnih celic: 1404,95 [km²]
- Potrebna kapaciteta baterij: 31.140 [MWh]
- Skupna cena: 1333,3 milijard € + 224,21 milijard € = 1557,51 milijard €

Tedenska razporeditev sončnih celic:

- Potrebna ploščina sončnih celic: 150,5 [km²]
- Potrebna kapaciteta baterij: 137.700 [MWh]
- Skupna cena: 142,82 milijard € + 991,44 milijard € = 1134,26 milijard €

Mesečna razporeditev sončnih celic:

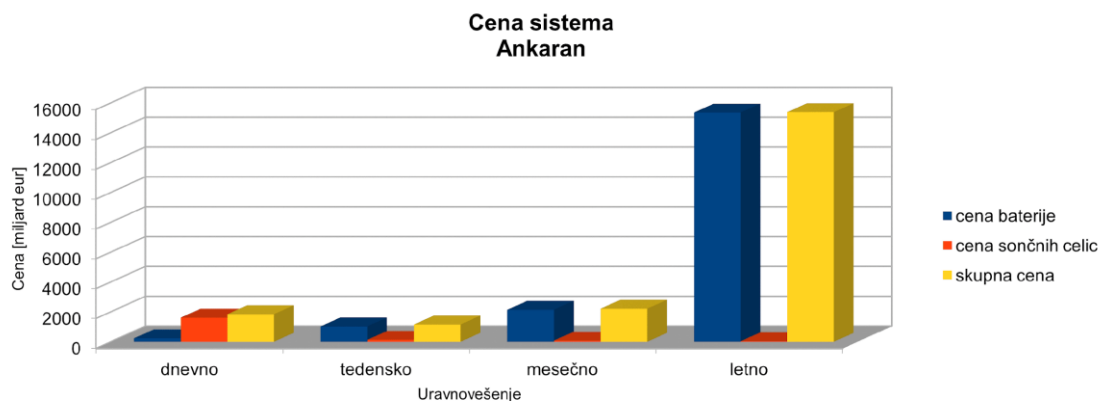
- Potrebna ploščina sončnih celic: 75,44 [km²]
- Potrebna kapaciteta baterij: 293.000 [MWh]
- Skupna cena: 71,59 milijard € + 2109,6 milijard € = 2109,6 milijard €

Letna razporeditev sončnih celic:

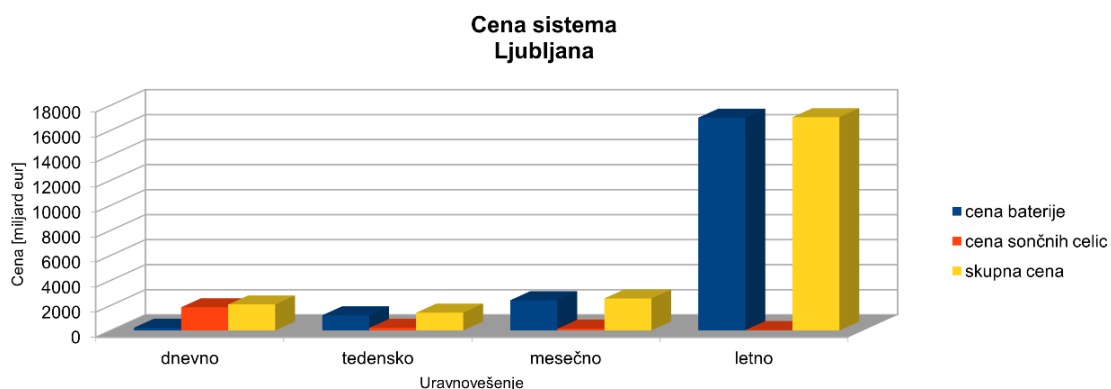
- Potrebna ploščina sončnih celic: 33,8 [km²]
- Potrebna kapaciteta baterij: 2.165.000 [MWh]
- Skupna cena: 32,08 milijard € + 15586,42 milijard € = 15618,5 milijard €

Najboljša izbira in cena za Mursko Soboto: **Tedenska razporeditev**, ki bo stala **1134,26 milijard €** na 25 let.

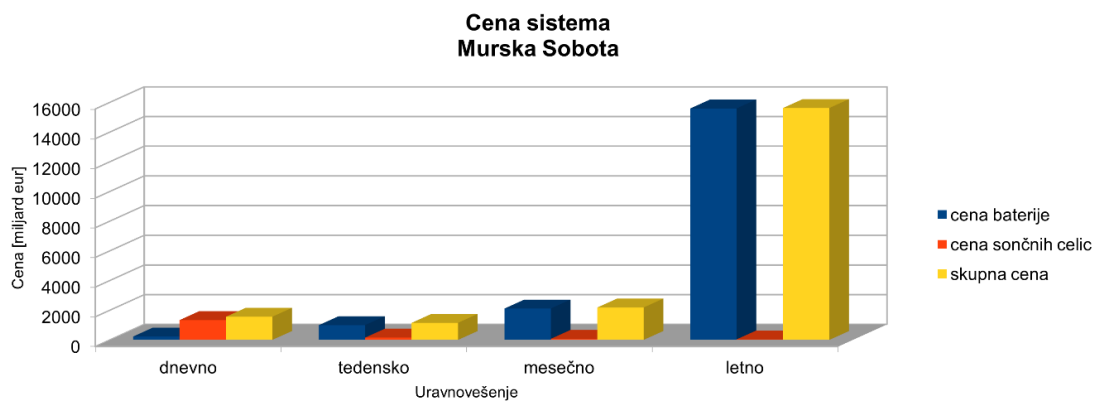
Za boljšo preglednost rezultate predstavimo še grafično:



Graf 13: Cena sončnih celic in baterij ob različnih uravnoveženjih sistema za lokacijo Ankaran



Graf 14: Cena sončnih celic in baterij ob različnih uravnoveženjih sistema za lokacijo Ljubljana



Graf 15: Cena sončnih celic in baterij ob različnih uravnoveženjih sistema za lokacijo Murska Sobota

Rezultati jasno kažejo, da je izbira časovnega okna, v katerem želimo doseči uravnovešenost sistema, zelo pomembna za rezultat. Daljše časovno okno, recimo eno leto, pomeni potrebo po bistveno večji količini baterij, ki v tem primeru predstavljajo glavino cene sistema. Krajši čas uravnovešanja, recimo dnevno, pomeni manjšo potrebo po baterijah, a se ob tem bistveno poveča potrebna količina sončnih celic, ki morajo tudi ob slabih dnevih zagotoviti zadostno količino energije.

Cenovno najugodnejša rešitev se kaže nekje vmes. Pri naši izbiri časovnih oken je najugodnejše tedensko uravnovešanje. To pomeni, da je baterij dovolj, da pokrijejo tedenska nihanja proizvodnje sončne energije. Mesečno uravnovešanje se od tedenskega ne razlikuje dosti, iz česar sklepamo, da bi z bolj podrobno analizo izbire časovnega okna morda lahko našli še ugodnejšo rešitev, ki pa se verjetno ne bi bistveno razlikovala od teh, ki smo jih preučili v nalogi.

Primerjava lokacij v Sloveniji kaže, da bi bila postavitve celic najbolj smotrna v Ankaranu, kar se zdi smiselno, saj ima Primorska več sonca kot preostali deli Slovenije. Murska Sobota s tega vidika ne zaostaja dosti, najslabše pa se je odrezala Ljubljana, kjer je predvsem jeseni in pozimi zaradi megle sončnih dni manj.

Ne glede na izbiro časovnega okna in lokacije so cene postavitve predlaganega sistema ogromne. Najcenejša opcija s tedenskim povprečjem in sončnimi celicami, postavljenimi v Ankaranu, še vedno znaša **1155,84 milijard €** na 25 let. Če številko primerjamo s slovenskim BDP, ki je v letu 2021 znašal približno 50 milijard €, ugotovimo, da bi vzpostavitev in vzdrževanje takšnega sistema vsako leto zahtevala približno 89% BDP Slovenije.

5. ZAKLJUČEK

Za zaključek preverimo, ali hipoteze, ki smo jih predstavili na začetku raziskave držijo:

- Slovenija bi imela od oskrbe z elektriko iz sončnih celic veliko koristi, kot na primer čisto okolje, zmanjšano količino izpustov toplogrednih plinov in energetska neodvisnost od uvoza energentov iz tujine. Vendar pa visoka cena vzpostavitve takšnega sistema, ki smo jo določili z našo računsko analizo, kaže, da bi bil strošek vzpostavitve takšnega sistema zelo visok.
- Visoka cena vzpostavitve in vzdrževanja sistema, ki znaša skoraj 90% slovenskega BDP, kaže, da si Slovenija vzpostavitve takšnega sistema ne bi mogla privoščiti. Našo drugo hipotezo zato ovržemo.
- Rezultati, prikazani v prejšnjem poglavju, kažejo, da je v večini obravnavanih primerov cena shranjevanja energije v baterijah večja, kot pa cena proizvodnje s sončnimi celicami, kar potrди našo tretjo hipotezo.

Zaključimo lahko, da se zdi oskrba izključno s sončno energijo vabljiva rešitev za zmanjšanje človekovega vpliva na okolje. Dejanska izvedba pa je problematična predvsem z vidika cene. Kot smo videli, je posebej problematična visoka cena baterij, zato bi bilo v prihodnosti potrebno najti bolj ugodne načine shranjevanja energije. Kljub temu pa se moramo zavedati, da tudi cena samih sončnih celic ni nizka. Kot vidimo iz analize cen, predstavljene v prvem poglavju, se cene sončnih celic za primer celoletnega povprečja, ko je njihova potrebna količina najmanjša, še vedno gibljejo okrog 30 milijard evrov za 25 let. To ni zanemarljiva številka in je približno 5-kratnik ocenjenega stroška za izgradnjo drugega bloka jedrske elektrarne Krško, ki je 5 do 6 milijard evrov [29]. Ta bi prav tako zagotavljal električno energijo brez izpustov CO₂, vendar pri dosti bolj stabilnem delovanju in brez potrebe po dodatnih shranjevalnih kapacitetah. Pri tem moramo upoštevati tudi dejstvo, da bo drugi blok JEK pokril le določen del potreb po električni energiji in ne celotne, na kar se nanaša naš izračun. Seveda ne smemo pozabiti na bodoče radioaktivne odpadke, ki bodo nastali kot posledica obratovanja in bodo zahtevali določena finančna sredstva za shranjevanje.

Izbira ustreznega ekološko prijaznega načina oskrbe z električno energijo v Sloveniji ne bo preprosta. Pri izbiri bo potrebo upoštevati precej dejavnikov, ki bodo določili cenovno in ekološko najustreznejšo rešitev. Največja prednost sončne energije je njena ekološka prijaznost. Vendar predvidevamo, da bo z razvojem tehnologije cena baterij, panel in procesa recikliranja vedno manjša. Morda bo v prihodnosti ta izbira finančno veliko bolj ugodna in zato bolj priporočljiva za Slovenijo tako z ekološkega kot tudi z gospodarskega vidika.

6. VIRI IN LITERATURA

- [1]. Hannah Ritchie in Max Roser: Energy mix | <https://ourworldindata.org/energy-mix> | pridobljeno 03.2022
- [2]. ClientEarth (dobrodelna organizacija okoljskega prava po celi evropi) Communications, 18 February 2022 | <https://www.clientearth.org/latest/latest-updates/stories/fossil-fuels-and-climate-change-the-facts/> | pridobljeno 03.2022
- [3]. Statistični urad republike Slovenije: Energetska statistika, Slovenija, 2020 | <https://www.stat.si/StatWeb/news/Index/9884> | pridobljeno 03.2022
- [4]. Blog "Pluse in minuse"/"Plusiiminsi.ru" | <https://plusiminsi.ru/osnovnye-plyusy-i-minusy-neftyanoj-promyshlennosti/> | pridobljeno 03.2022
- [5]. Ewan McLeish: The Pros and Cons of Nuclear Energy, The Rosen Publishing group Inc., 2008
- [6]. Kerry Thoubboron on EnergySage (Boston Solar Company): Advantages and disadvantages of renewable energy, 2021 | <https://news.energysage.com/advantages-and-disadvantages-of-renewable-energy/> | pridobljeno 03.2022
- [7]. iKNET (Vodstvo energetskih projektov v Ukrajini): Prednosti in slabosti tehnologij SES in WES | <https://iknet.com.ua/ru/articles/useful-to-know/advantages-and-disadvantages/...> | pridobljeno 03.2022
- [8]. ENERSY: Prednosti in slabosti hidroelektrarn, 2019 | <http://www.ensy.ru/energiya/preimushchestva-i-nedostatki-gidroelektrostantsiy.html> | pridobljeno 03.2022
- [9]. Anna Andrievskaya za RBK (eden od največjih multimedijških holdingov v Rusiji): "Zelena smer": Kakšna je prihodnost alternativnih virov energije, 2021 | <https://trends.rbc.ru/trends/green/609e76449a7947f4755ac9dc> | pridobljeno 03.2022
- [10]. Luke Richardson on EnergySage (Boston Solar Company): How long do solar panels last? Solar panel lifespan explained | <https://news.energysage.com/how-long-do-solar-panels-last/#:~:text=As%20a%20general%20rule%2C%20solar,to%20be%20a%20significant%20amount.> | pridobljeno 03.2022
- [11]. Recyclemag.ru (ekološka revija v Rusiji): Kako so sončni paneli urejeni in delujejo, 2015 | <https://recyclemag.ru/article/kak-ustroeny-i-rabotajut-solnechnye-batarei> | pridobljeno 03.2022
- [12]. Peter Würfel: Fizika sončnih celic: od osnovnih načel do naprednih konceptov, Wiley-VCH, 2002
- [13]. Prolog Semicor (ena od vodilnih ukrajinskih proizvajalcev materialov, komponent in opreme za sončno energijo): Polikristalni ali monokristalni sončni paneli, kaj izbrati? | <http://semicor.com.ua/polikristall-or-monokristall/> | pridobljeno 03.2022
- [14]. Panich N. V., Tyukina T. A. Ekološki problemi sedanosti. - M.: Univerza MGIMO, 2012
- [15]. Mywatt.ru (Trgovina sončnih celic v Rusiji): Katere baterije so najboljše? Najnovejša informacija za leto 2021, 2021 | <https://mywatt.ru/poleznaya-informaciya/kakie-akkumulyatory-luchshe-dlya-solnechnyh-batarei> | pridobljeno 03.2022
- [16]. Sergey Kurt za VoltMarket (Trgovina elektrotehnike in baterij v Ukrajini): Najboljše sončne baterije, 2022 | <https://voltmarket.ua/luchshie-akkumulyatory-dlya-solnechnykh-batarei> | pridobljeno 03.2022

- [17]. Rebecca Brill, Lexie Pelchen na Forbes: How Much Do Solar Panels Cost?, 2022 | <https://www.forbes.com/advisor/home-improvement/average-cost-of-solar-panels/> | pridobljeno 03.2022
- [18]. Thumbtack: How much does solar panel maintenance cost?, 2020 | <https://www.thumbtack.com/p/solar-panel-maintenance-cost> | pridobljeno 03.2022
- [19]. PowerTech (Francosko podjetje ki je osredotočeno na trg litij-ionskih skladišč in s tem povezane tehnologije): Lithium LiFePO4 vs Lead-Acid cost analysis | <https://www.powertechsystems.eu/home/tech-corner/lithium-ion-vs-lead-acid-cost-analysis/> | pridobljeno 03.2022
- [20]. Mastervolt (Raziskovalno podjetje na področju baterij): Determining the lifespan of a battery | <https://www.mastervolt.com/determining-the-lifespan-of-a-battery/> | pridobljeno 03.2022
- [21]. Solar Metric: Solar panel waste: Could leasing be the answer? | <https://solarmetric.com/learn/solar-panel-waste-could-leasing-be-the-answer/> | pridobljeno 03.2022
- [22]. Patrick Curran za GLG: The Economics Around Battery Recycling Are Strong and Growing | <https://glginsights.com/articles/the-economics-around-lithium-ion-battery-recycling-are-strong-and-growing/> | pridobljeno 03.2022
- [23]. Oluwaseun Ibosiola on LinkedIn: AMP HOURS VS KILOWATT HOURS | <https://www.linkedin.com/pulse/amp-hours-vs-kilowatt-oluwaseun-ibosiola> | pridobljeno 03.2022
- [24]. Elektro-Slovenija/ELES(državno podjetje, ki je sistemski operater prenosnega električnega omrežja v Sloveniji), 2022 | <https://www.eles.si/prezem-in-proizvodnja> | pridobljeno 01.2022
- [25]. EU Science Hub : PVGIS Photovoltaic Geographical Information System 5.2, 2020 | https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR | pridobljeno 01.2022
- [26]. Marco Raugi, Sgouris Sgouridis, David Murphy in drugi: Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation: A comprehensive response, 2017
- *(uporabljeno pri izdelavi kode, izračunov in splošnemu razumevanju naloge)
- [27]. Ferruccio Ferroni: Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation, 2016
- *(uporabljeno pri izdelavi kode, izračunov in splošnemu razumevanju naloge)
- [28]. Ferruccio Ferroni, Alexandros Guekos, Robert J.Hopkirk: Further considerations to: Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation, 2017
- *(uporabljeno pri izdelavi kode, izračunov in splošnemu razumevanju naloge)
- [29]. RTV Slovenija: Drugi blok jedrske elektrarne dobil energetska dovoljenje, 2021 | <https://www.rtvlo.si/gospodarstvo/drugi-blok-jedrske-elektrarne-dobil-energetsko-dovoljenje/588078> | pridobljeno 03.2022