



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Zaščita in učinkovitost

**TEHNOLOGIJA SONČNE ELEKTRARNE
ŠRC JEŽICA IN NJENA VLOGA V SKUP-
NOSTNI SAMOOSKRBI Z ELEKTRIČNO
ENERGIJO**

Mentor: Dr. Viktor Lovrenčič, univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Andreja Premar, univ. dipl. slov.

Kandidat: Goran Premužič

Ljubljana, oktober 2025

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Viktorju Lovrenčiču, univ. dipl. inž. el.

Zahvaljujem se tudi lektorici Andreji Premar, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

IZJAVA

Študent Goran Premužič izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Viktorja Lovrenčiča, univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne: _____

Podpis: _____

POVZETEK

Diplomska naloga obravnava tehnologijo sončne elektrarne Športno-rekreacijskega centra Ježica in njen pomen v okviru projekta skupnostne samooskrbe Zelena energija MOL. V uvodu sta predstavljena izhodišče problema prehoda s fosilnih goriv na obnovljive vire ter vloga lokalnih energetske skupnosti pri doseganju nacionalnih in evropskih energetske ciljev. Opisani so pravni okvir, ki ga določajo evropske direktive, nacionalna zakonodaja in Odlok o javno-zasebnem partnerstvu Mestne občine Ljubljana. Poseben poudarek je namenjen sodelovanju javnega in zasebnega partnerja pri izvedbi projekta ter vlogi Javnega zavoda Šport Ljubljana kot uporabnika elektrarne.

V tehničnem delu so podrobno predstavljeni sončna elektrarna Ježica z nazivno močjo 121,9 kWp, sestava modulov, razsmernikov, optimizatorjev in nadzornega sistema ter pogoji priključitve na distribucijsko omrežje SODO. Analizirani so tehnični parametri, specifični donos in vpliv degradacije modulov na dolgoročno proizvodnjo. V nadaljevanju sta na podlagi projektne dokumentacije in simulacij izdelani projekcija proizvodnje električne energije in primerjava z referenčnimi podatki za Slovenijo.

Finančni del naloge obravnava višino investicije, stroške obratovanja in vzdrževanja, pričakovane letne prihranke ter kazalnike uspešnosti, kot so neto sedanja vrednost, interna stopnja donosnosti in doba vračanja naložbe. Posebnost naloge je vključitev realnih računov za elektriko in plin v letih 2023-2025, ki omogočajo primerjavo dejanskih učinkov energetske prenove z načrtovanimi izračuni. Pri tem je uporabljena metoda vremenske normalizacije porabe plina in Laspeyresova razčlenitev stroškov, kar omogoča ločevanje med količinskimi in cenovnimi učinki.

KLJUČNE BESEDE

- Sončna elektrarna
- Skupnostna samooskrba z električno energijo
- Energetska prenova
- Finančna analiza

SUMMARY

This thesis examines the technology of the photovoltaic power plant at the Ježica Sports and Recreation Centre and its role within the community project Green Energy MOL. The introduction outlines the problem of transition from fossil fuels to renewable energy sources and the role of local energy communities in achieving national and European energy targets. The legal framework is presented, including European directives, national legislation, and the Decree on Public-Private Partnership of the City of Ljubljana. Special emphasis is placed on the cooperation between the public and private partner in the implementation of the project and on the role of the public institution Šport Ljubljana as the end-user of the power plant.

The technical part provides a detailed description of the Ježica photovoltaic plant with a nominal capacity of 121.9 kWp, the configuration of modules, inverters, optimizers, the monitoring system, and the conditions of connection to the SODO distribution grid. Technical parameters, specific yield, and the effect of module degradation on long-term production are analyzed. Based on project documentation and simulations, a projection of electricity generation is prepared and compared with reference data for Slovenia.

The financial section discusses the investment cost, operating and maintenance expenses, expected annual savings, and performance indicators such as net present value, internal rate of return, and payback period. A particular feature of the thesis is the inclusion of actual electricity and gas bills for the years 2023–2025, allowing a comparison between the real effects of the energy renovation and the projected calculations. The method of weather normalization of gas consumption and Laspeyres cost decomposition is applied, enabling a clear distinction between quantitative and price effects.

KEYWORDS

- Solar power plant
- Energy community self-supply scheme
- Energy renovation
- Financial analysis

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge.....	1
1.3	Predstavitev okolja	3
1.4	Predpostavke in omejitve	4
1.5	Metode dela	5
2	SONČNA ENERGIJA IN SKUPNOSTNA SAMOOSKRBA	6
2.1	Fotovoltaika.....	6
2.1.1	Razvoj sončnih elektrarn	7
2.1.2	Vrste sončnih elektrarn	7
2.2	Načela izrabe sončne energije	9
2.3	Pravni okvir skupnostne samooskrbe v Sloveniji	11
2.4	Nacionalni cilji energetske politike	12
2.5	Energetska politika Mestne občine Ljubljana	14
3	OPIS OBJEKTA ŠRC JEŽICA	15
3.1	Opis objekta ŠRC Ježica	15
3.2	Energetske potrebe objekta	16
4	TEHNOLOGIJA SE.....	17
4.1	Vrsta in zmogljivost PV modulov	18
4.1.1	Fotonapetostni pojav.....	19
4.2	Razsmernik, optimizatorji in nadzor	20
4.3	Priključitev na omrežje	24
4.4	Načrt vzdrževanja in življenjska doba sistema	26
5	ANALIZA IN SIMULACIJA PROIZVODNJE	27
5.1	Sončno obsevanje	27
5.2	Projekcija proizvodnje električne energije	29
5.2.1	Teoretični okvir.....	29
5.2.2	Specifični donos SE Ježica	29
5.2.3	Projekcija proizvodnje energije SE Ježica	30
6	FINANČNI IZRAČUNI	34
6.1	Investicija.....	34
6.2	Stroški obratovanja in vzdrževanja.....	35
6.3	Pričakovani letni prihranki in ROI	37
6.4	Neto sedanja vrednost NSV.....	40
7	REALNI PODATKI PORABE IN FINANČNI UČINKI ENERGETSKE PRENOVE.....	42
7.2	Vremenska normalizacija porabe plina.....	47
7.3	Analiza stroškov ŠRC Ježica.....	50
7.3.1	Vremenska normalizacija porabe plina H1 2023 in H1 2025	51
7.3.2	Povezava na skupne stroške in Laspeyresova razčlenitev	52
8	KOMENTAR IN ZAKLJUČEK	56
9	LITERATURA IN VIRI.....	57

KAZALO SLIK

Slika 1: Alexandre-Edmond Becquerel	6
Slika 2: Hiša Solar One Univerze v Delawareju, 1973	7
Slika 3: Hibridna omrežna sončna elektrarna s hranilnikom.....	9
Slika 4: ŠRC Ježica.....	15
Slika 5: SE Ježica	17
Slika 6: Tehnični list PV modula ReneSola	19
Slika 7: Fotonapetostni pojav	20
Slika 8: SolarEdge razsmernik SE100K.....	22
Slika 9: SolarEdge razsmerniki na SE Ježica	23
Slika 10: SolarEdge P950 Optimizator.....	24
Slika 11: Tipska shema PS.3b.....	25
Slika 12: Letno povprečje trajanje sončnega obsevanja v urah.....	28
Slika 13: Povprečno letno sončno obsevanje v Sloveniji	28
Slika 14: Projekcija proizvodnje električne energije SE Ježica.....	33
Slika 15: Kumulativni prihranki in točka vračila investicije	40
Slika 16: Poraba elektrike po mesecih za leto 2023, 2024, 2025.....	45
Slika 17: Poraba plina	45
Slika 18: Efektivna cena elektrike	46
Slika 19: Efektivna cena plina.....	46
Slika 20: Vpliv cene in količine energentov	54

KAZALO TABEL

Tabela 1: Tehnični dejavniki za učinkovito rabo sončne energije.....	10
Tabela 2: Letna poraba električne energije.....	16
Tabela 3: Osnovni podatki PV generatorja	17
Tabela 4: Tehnični podatki PV modulov	18
Tabela 5: Tehnični podatki razsmernikov	21
Tabela 6: Izkoristek razsmernikov	21
Tabela 7: Specifikacija SE Ježica.....	30
Tabela 8: Projekcija proizvodnje energije z 0,5% letno degradacijo PV modulov... 32	
Tabela 9: Struktura investicije za SE	34
Tabela 10: Struktura stroškov obratovanja in vzdrževanja (O&M)	35
Tabela 11: Projekcija tekočih stroškov obratovanja	36
Tabela 12: Uporabljeni simboli	38
Tabela 13: Projekcija letnih prihrankov SE Ježica	39
Tabela 14: Pregled stroškov energentov po mesecih za leto 2023	42
Tabela 15: Pregled stroškov energentov po mesecih za leto 2024	43
Tabela 16: Pregled stroškov energentov po mesecih za leto 2025	43
Tabela 17: Pregled stroškov energentov po letih.....	44
Tabela 18: Pomen uporabljenih simbolov	48
Tabela 19: Vremenska normalizacija porabe plina (2024 na klimo 2023)	49
Tabela 20: Mesečni izračuni porabe plina za H1 2023 in H1 2025	51
Tabela 21: Prihranki energentov prve polovice leta 2025 v primerjavi z 2023.....	52
Tabela 22: Prihranki energentov.....	53

POJMOVNIK

Bifacial modul – Fotonapetostni modul, ki je sposoben zajemati sončno svetlobo z obeh strani (sprednje in zadnje), kar poveča skupno proizvodnjo električne energije.

Degradacija PV modulov – Postopno zmanjševanje izhodne moči sončnih modulov zaradi staranja materialov in vpliva okolja. Povprečna letna degradacija je okoli 0,5 %.

Laspeyresova razčlenitev – Metoda ekonomske analize, s katero ločimo spremembe stroškov na učinek količine (dejanske porabe) in učinek cene.

Net-billing (mesečni neto obračun) – Obračunski sistem v skupnostni samooskrbi, kjer se presežki in primanjkljaji proizvedene elektrike uravnavajo v evrih na mesečni ravni, ne v kWh.

Optimizator (PV optimizator) – Naprava, ki je povezana na posamezen PV modul in optimizira njegovo delovanje (sledenje točki maksimalne moči – MPPT), kar zmanjša vpliv senčenja in izboljša nadzor nad sistemom.

Performance Ratio (PR) – Kazalnik, ki meri dejansko učinkovitost sončne elektrarne glede na idealne pogoje. Vključuje vplive izgub (senčenje, temperatura, kabli, razsmerniki).

Specifični donos (Y_{spec}) – Količina proizvedene električne energije na enoto instalirane moči (kWh/kWp), omogoča primerjavo med različnimi fotonapetostnimi sistemi.

SODO – Sistemski operater distribucijskega omrežja Slovenije, odgovoren za priključitev, delovanje in zanesljivost distribucijskega elektroenergetskega sistema.

TSG-N-002:2021 – Tehnična smernica za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah v Sloveniji.

TSG-N-003:2021 – Tehnična smernica za zaščito stavb pred delovanjem strele.

SZPV 512 – Slovenska smernica za požarno varnost sončnih elektrarn.

SONDSEE – Sistemska obratovalna navodila distribucijskega sistema električne energije, ki določajo pravila priključevanja in obratovanja naprav v slovenskem distribucijskem omrežju.

MPPT (Maximum Power Point Tracking) – Algoritem, ki ves čas prilagaja obratovalno točko modula, da deluje pri največji mogoči moči glede na pogoje osvetlitve in temperature.

Vremenska normalizacija porabe plina – Metoda, s katero se poraba plina preračuna na enake vremenske pogoje (najpogostejše na enako število ogrevalnih dni ali enako povprečno temperaturo), da lahko primerjamo obdobja med seboj ne glede na to, ali je bila zima hladnejša ali milejša.

ROI (Return on Investment / donosnost naložbe) – Razmerje med letnim prihrankom ali dobičkom in vloženimi sredstvi; meri, kako hitro se povrne naložba.

NSV (Neto sedanja vrednost, Net Present Value – NPV) – Vrednotenje investicije, ki upošteva diskontiranje prihodnjih denarnih tokov; pozitiven NSV pomeni ekonomsko upravičeno naložbo.

ISD (Interna stopnja donosnosti, Internal Rate of Return – IRR) – Diskontna stopnja, pri kateri je NSV naložbe enak nič; predstavlja interno donosnost investicije.

KRATICE IN AKRONIMI

CAPEX – investicijski stroški (Capital Expenditures)

DIIP – dokument identifikacije investicijskega projekta

EZ-1 – Energetski zakon Republike Slovenije

IP – investicijski program

IRR / ISD – interna stopnja donosnosti (Internal Rate of Return / Interna stopnja donosnosti)

JZP – javno-zasebno partnerstvo

LEK – lokalni energetski koncept

MOL – Mestna občina Ljubljana

MPPT – Maximum Power Point Tracking (sledenje maksimalni točki moči)

NEPN – Nacionalni energetski in podnebni načrt

NPV / NSV – neto sedanja vrednost (Net Present Value / Neto sedanja vrednost)

OPEX – obratovalni stroški (Operational Expenditures)

OVE – obnovljivi viri energije

PID – projekt za izvedbo

PV – fotonapetostni (Photovoltaic)

PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System (EU JRC)

ROI – Return on Investment (donosnost naložbe)

SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo

SODO – Sistemski operater distribucijskega omrežja

SONDSEE – Sistemska obratovalna navodila distribucijskega sistema električne energije

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

V zadnjih desetletjih se evropske in svetovne države vse bolj zavedajo nujnosti prehoda na okolju prijazne in obnovljive vire energije. Naraščajoča poraba fosilnih goriv, vse izrazitejše podnebne spremembe, negotovosti na svetovnih energetskih trgih in rast cen energentov so med ključnimi dejavniki, ki silijo sodobne družbe v trajnostno preobrazbo energetskega sektorja. V tem procesu imajo obnovljivi viri energije (OVE), še posebej sončna energija, osrednjo vlogo.

Slovenija kot članica Evropske unije sledi evropskim podnebnim in energetskim politikam, kot so Evropski zeleni dogovor, Fit for 55 in Direktiva (EU) 2018/2001 o spodbujanju uporabe energije iz OVE. Tem ciljem se prilagaja z lastnimi strateškimi dokumenti, zlasti z Nacionalnim energetskim in podnebnim načrtom (NEPN), ki med drugim predvideva povečanje deleža električne energije iz OVE na vsaj 27 % v končni rabi do leta 2030. V okviru tega načrta so ključnega pomena decentralizirani energetski viri in razvoj lokalnih energetskih skupnosti, ki krepijo energetske neodvisnosti in prispevajo k razogljičenju na ravni lokalnih skupnosti. Prav iz tega izhaja pomen projektov, kot je Zelena energija MOL, v okviru katerega so vzpostavljene skupnostne sončne elektrarne na objektih v lasti Mestne občine Ljubljana. Ti projekti omogočajo neposredno vključevanje javnih ustanov in občanov v proizvodnjo elektrike iz obnovljivih virov, zmanjšujejo potrebo po prenosni infrastrukturi in ustvarjajo prihranke na ravni lokalne porabe. Primer sončne elektrarne na objektu ŠRC Ježica sodi med ključne izvedbene primere NEPN-a v praksi, saj združuje tehnično rešitev, finančno inovacijo ter sistemsko podporo s strani države in občine(energetika-portal.si).

V zadnjih letih pospešena elektrifikacija ogrevanja in razmah lokalnih virov obnovljive energije pomembno spreminjata način oskrbe z energijo v javnih športnih objektih. Športno-rekreacijski center Ježica lahko pri tem predstavlja referenčni primer: prehod z zemeljskega plina na toplotne črpalke je temeljito preoblikoval energijsko bilanco objekta, zagon sončne elektrarne Ježica pa je ta prehod podprl z lastno proizvodnjo električne energije in vključitvijo v skupnostno samooskrbo Mestne občine Ljubljana.

1.2 Cilji naloge

V diplomski nalogi želimo raziskati tehnologijo in obratovanje sončne elektrarne SE Ježica z uporabo dosegljivih podatkov o projektu, investiciji, stroških in prihodkih. Podati želimo njen položaj v širši shemi skupnostne samooskrbe Zelena energija Mestne občine Ljubljana ter učinke takšnega modela na energijsko neodvisnost objekta in širše skupnosti. Namen naloge je predstaviti konkretni primer načrtovanja, izvedbe in vključitve sončne elektrarne ŠRC Ježica v sistem skupnostne samooskrbe Mestne

občine Ljubljana ter oceniti njen prispevek k uresničevanju lokalnih, nacionalnih in evropskih energetske ciljev. Projekt smo obravnavali skozi prizmo tehničnih rešitev, zakonodajne skladnosti, ekonomskih koristi ter njegove integracije v širšo energetske strategijo MOL in nacionalni okvir. Cilj naloge je tudi analizirati vpliv degradacije PV modulov na proizvodnjo električne energije in vpliv vremenskih razmer na obseg proizvodnje. Pa tudi oceniti ekonomski učinek investicije v SE Ježica na podlagi izračuna neto sedanje vrednosti (NSV), interne stopnje donosnosti (ISD) in dobe vračanja naložbe. Nadalje smo se v nalogi osredotočili na to, kako elektrifikacija ogrevanja v ŠRC Ježica s toplotnimi črpalkami ter zagon sončne elektrarne Ježica spremeni rabo energentov in stroškovno sliko objekta. Ključni izziv je, kako izmeriti, kolikšen del opaznega zmanjšanja stroškov in porabe izhaja iz strukturnih sprememb (TČ, optimizacija obratovanja, lokalna proizvodnja PV) in kolikšen del iz zunanjih dejavnikov, predvsem vremena in cenovne dinamike energentov. Zato smo pridobili podatke o rabi energentov za leti 2023 in 2024 ter prvo polovico leta 2025 ter jih analizirali.

Pri neposrednih primerjavah med letoma je težava dvojna: zime so lahko milejše ali hladnejše, zato neposredni padec porabe plina ni nujno rezultat ukrepov; cene elektrike in plina se spreminjajo, zato "cenejši račun" ni nujno posledica manjše porabe. To pomeni, da preprosta primerjava računov ne loči med količinskim učinkom ukrepov in vplivom vremena oziroma cen. Zato smo problem v tej nalogi postavili tako: potrebovali smo metodološko čist način, ki (a) pri plinu odpravi vremenski vpliv in (b) pri skupnih stroških (elektrika + plin) razloči količinski od cenovnega učinka. Dodatno smo upoštevali, da PV Ježica deluje v okviru skupnostne samooskrbe MOL (mesečni neto obračun), kar vpliva na omrežne prevzeme in s tem na stroške. V praksi to pomeni, da mora analiza zajeti oboje – tehnične spremembe porabe in obračunski okvir delitve energije.

V empiričnem delu naloge smo uporabili računovodske in izmerjene podatke objekta za leti 2023 in 2024 ter prvo polletje leta 2025, pri čemer so stroški obravnavani na neto osnovi. Skupni strošek elektrike je definiran kot vsota postavk Energetika elektrika, Elektro Ljubljana in podjetja Resalta, strošek plina pa izhaja iz računov za plin. Pri vrednotenju finančnega učinka vremensko normaliziranih količin plina smo nameroma uporabili referenčno ceno plina leta 2023, da smo dosledno ločili količinski učinek od cenovne komponente. Rezultate smo prikazali v tabelah in grafih, kjer smo primerjali surove in normalizirane prihranke plina po mesecih ter prihranke kumulativno, nato pa smo razčlenili spremembo skupnega stroška na prispevke elektrike in plina po količini in po ceni ter preverili ujemanje seštevka prispevkov z dejansko spremembo računa.

Glavni cilji naloge so:

- Ugotoviti, kako SE Ježica kot del projekta Zelena energija MOL prispeva k večji energetske neodvisnosti občinskih objektov.

- Oceniti tehnične značilnosti in skladnost elektrarne s smernicami TSG-N-002:2021, SZPV 512 ter Uredbo o samooskrbi z električno energijo (UL RS 43/2022).
- Razložiti vlogo sončne elektrarne v modelu skupnostne samooskrbe ter prikazati delovanje sistema znotraj pravnega in pogodbenega okvira (koncesijska pogodba, pogodba o ustanovitvi skupnosti, Odlok o JZP).
- Izdelati analizo in simulacijo proizvodnje električne energije SE Ježica z upoštevanjem izgub na elementih SE in degradacije sončnih panelov.
- Oceniti finančno uspešnost energetske prenove objekta pri prehodu z ogrevanja na plin na ogrevanje s toplotno črpalko s pomočjo analize energetskega knjigovodstva.

Namen in cilji so obravnavani na podlagi razpoložljive projektne dokumentacije (DIIP, IP, PID, PIZ), analiz proizvodnje, pravnega gradiva ter aktualnih strateških dokumentov, kot so NEPN, lokalni energetski koncept MOL in evropska zakonodaja OVE. Izračuni pa temeljijo na podlagi podatkov energetskega knjigovodstva objekta.

1.3 Predstavitev okolja

Mestna občina Ljubljana je ena največjih občin v Sloveniji ter pomembno razvojno, upravno in energetsko središče države. V okviru svojega trajnostnega in energetskega razvoja je oblikovala Lokalni energetski koncept (LEK MOL) ter se aktivno vključila v uresničevanje ciljev Evropskega zelenega dogovora in Nacionalnega energetskega podnebne načrta (NEPN).

Projekt Zelena energija MOL, ki ga vodi Energetska zbornica MOL v sodelovanju s podjetjem Resalta d.o.o., predstavlja sistemsko uvedbo sončnih elektrarn na več kot 50 objektih v lasti ali upravljanju MOL. Skupna inštalirana moč teh elektrarn presega 4,6 MWp, letna proizvodnja pa znaša več kot 5200 MWh električne energije. Cilj projekta je povečati delež lokalno proizvedene električne energije iz obnovljivih virov in jo razdeliti znotraj skupnosti uporabnikov javnega sektorja. To bo s pomočjo mesečnega neto obračuna (net-billing) Mestni občini Ljubljana omogočilo, da proizvedene viške sončne energije porabi znotraj obračunskega meseca, ko ji energije primanjkuje. Projekt obenem minimizira tveganja negativnih cen elektrike in prenaša operativna tveganja na zasebnega partnerja.

Eden izmed objektov v tem sistemu je Športno-rekreacijski center (ŠRC) Bežigrad – Ježica, ki ga upravlja Javni zavod Šport Ljubljana. Objekt je energetsko intenziven, saj vključuje večnamensko dvorano, garderobe, razsvetljavo, ogrevanje in druge podporne objekte. Pred vključitvijo v sistem skupnostne samooskrbe je objekt električno energijo v celoti pridobival iz distribucijskega omrežja. Treba je omeniti tudi, da je bil objekt deležen tudi večje energetske sanacije, kjer se je zamenjal način ogrevanja stavbe in ogrevanja sanitarne vode. Obnovljena je bila fasada objekta in streha.

Glavni energent pred energetske prenovi je bil plin, po prenovi pa se ogrevanje izvaja s pomočjo toplotnih črpalk.

1.4 Predpostavke in omejitve

Pri izvedbi in ocenjevanju projekta SE Ježica smo izhajali iz več predpostavk in jasno opredeljenih omejitev, ki vplivajo na obseg in veljavnost ugotovitev diplomske naloge.

Ključne predpostavke:

- Projekt je tehnično izveden v skladu z veljavnimi zakonodajnimi in tehničnimi predpisi: Uredba o samooskrbi (UL RS 43/2022), smernica za NN inštalacije TSG-N-002:2021, tehnične smernice za požarno varnost TSG-1-001:2019, smernica o požarni varnosti sončnih elektrarn SZPV 512, ter z uporabo tehnične smernice za zaščito stavb pred delovanjem strele TSG-N-003:2021.
- Podatki v projektni dokumentaciji (DIIP, IP, PID, PIZ) ustrezajo dejanskemu stanju in so bili pripravljeni v skladu s strokovnimi standardi.
- Podatki o porabi energentov in finančni izkazi energetskega knjigovodstva so točni.

Omejitve raziskave:

- Zaradi poslovne zaupnosti niso javno dostopne vse podrobnosti o finančnih tokovih, pogodbenih klavzulah in notranjih investicijskih ocenah zasebnega partnerja.
- Učinkovitost SE Ježica je analizirana na podlagi simulacij, projektiranih podatkov in predhodno predvidenih energetskih tokov, saj v času pisanja še ni na voljo dovolj dolgoročnih operativnih podatkov iz delovanja elektrarne.
- Analiza ne vključuje presoje vplivov na omrežje ali elektroenergetski sistem kot celoto (npr. vpliv na napetostni profil, stabilnost omrežja ali širši trg z električno energijo).
- Izračuni temeljijo na podatkih, ki zajamejo relativno kratko časovno obdobje.

Te predpostavke in omejitve so pomembne za pravilno razumevanje rezultatov in interpretacijo ugotovitev naloge, saj določajo okvir njene uporabnosti v širšem kontekstu lokalnega energetskega razvoja in energetskega knjigovodstva.

1.5 Metode dela

Pri pripravi diplomske naloge smo uporabili kombinacijo kvalitativnih in kvantitativnih raziskovalnih metod, ki omogočajo celovit pristop k obravnavi tehnologije sončne elektrarne SE Ježica ter njenega vključevanja v model skupnostne samooskrbe Mestne občine Ljubljana.

Uporabljene metode:

- Analiza projektne dokumentacije (DIIP, IP, PID, PIZ), iz katere smo črpali tehnične, investicijske in organizacijske podatke o izvedbi SE Ježica.
- Pregled zakonodajnega okvira, vključno z Direktivo (EU) 2018/2001, NEPN, Uredbo o samooskrbi (UL RS 43/2022), Zakonom o spodbujanju rabe OVE (ZSROVE) in Odlokom o JZP MOL.
- Analiza finančnih vplivov s pomočjo izračuna stroškov in prihodkov, analiza donosnosti naložbe ter neto sedanja vrednost.
- Primerjalna analiza porabe energentov po obdobjih in finančni izračuni vpliva energetske obnove, kjer smo uporabili orodja energetskega knjigovodstva, kot sta vremenska normalizacija porabe plina in Laspeyresova razčlenitev stroškov.
- Interpretacija razpoložljivih tehničnih smernic (TSG-N-002:2021, SZPV 512) v kontekstu konkretnega primera.

Za pisanje naloge so pomembne tudi predhodne raziskave in študije podobnih sončnih elektrarn in skupnostnih samooskrb v Sloveniji, ki so že bile narejene.

2 SONČNA ENERGIJA IN SKUPNOSTNA SAMOOSKRBA

2.1 Fotovoltaika

Fotovoltaika, veja znanosti in tehnologije, ki omogoča neposredno pretvorbo sončne svetlobe v električno energijo, ima korenine v 19. stoletju. Prvi je leta 1839 pojav opazil francoski fizik Alexandre-Edmond Becquerel (Slika 1), ki je pri eksperimentih z elektrodami v elektrolitu opazil, da svetloba povzroči šibek električni tok – ta pojav danes poznamo kot fotovoltaični učinek.

Pomemben mejnik je dosegel Charles Fritts leta 1884, ko je izdelal prvo trdno fotona-petostno celico iz selena, prevlečenega z zlatom. Kljub nizki učinkovitosti (~1 %) je to odprlo pot do nadaljnega raziskovanja. Pravi tehnološki preboj pa se je zgodil leta 1954 v laboratorijih Bell Labs, kjer so razvili prvo učinkovito silicijevo PV-celico z učinkovitostjo okoli 6 %. Takrat se je začelo moderno obdobje fotovoltaike

Prva večja praktična uporaba se je zgodila v vesoljskih programih, kjer so PV-celice zaradi svoje zanesljivosti in vzdržljivosti postale glavni vir energije za satelite – najprej za satelit Vanguard I (1958). Od tod se je tehnologija prenesla tudi na zemeljske aplikacije, predvsem po energetske krizi leta 1973, ko so se države začele bolj zavedati pomena neodvisnih in obnovljivih virov energije. V zadnjih desetletjih je bil razvoj izjemno hiter. Cene PV-tehnologije so se od 1970-ih znižale za več kot 99 %, učinkovitost celic pa je narasla do laboratorijskih rekordov preko 26 % za monokristalni silicij, medtem ko večslojni sistemi (multijunction) presegajo 40 %. Sončna energija je najhitreje rastoči vir energije na svetu. Do leta 2022 je svetovno instalirana zmogljivost presegla 1 TW, s pričakovanim 2 TW že v letu 2025. (National Geographic, 2025).



Slika 1: Alexandre-Edmond Becquerel
(Vir: Wikipedia, 2025)

2.1.1 Razvoj sončnih elektrarn

Sončna energija je eden pomembnejših stebrov prehoda v nizkoogljično družbo, saj omogoča izkoriščanje obnovljivega vira brez neposrednih emisij toplogrednih plinov. Razvoj tehnologij za pretvorbo sončne svetlobe v uporabno električno energijo se je začel že v 19. stoletju, ko je francoski fizik Alexandre-Edmond Becquerel leta 1839 odkril fotovoltaični (PV) učinek. Prvo delujočo sončno celico je razvil Charles Fritts leta 1884, vendar je imela zelo nizko učinkovitost. Preboj v praktično rabo je omogočil šele razvoj silicijevih celic v laboratorijih Bell Labs leta 1954. Te so dosegle okoli 6 % učinkovitosti, kar je omogočilo njihovo uporabo v vesoljskih aplikacijah, predvsem na satelitih. Zaradi energetske krize v 70-ih letih prejšnjega stoletja so se vlade in raziskovalci po svetu začeli intenzivneje posvečati razvoju sončne energije. V tem času je Univerza Delaware zgradila eno prvih hiš s popolnoma integriranim fotonapetostnim sistemom (Slika 2). V 90. letih in začetku 21. stoletja je uvedba podpornih mehanizmov, kot so sistemi odkupnih cen, predvsem v Nemčiji in Španiji, spodbudila množično vgradnjo sončnih elektrarn tako na zasebnih objektih kot v obliki velikih sončnih parkov. Do leta 2022 je svetovna nameščena moč PV sistemov presegla 1 teravat (TW), le dve leti pozneje pa se je približala že drugemu TW. Takšna rast kaže na izjemen globalni interes za to tehnologijo (Wikipedia, 2023).



Slika 2: *Hiša Solar One Univerze v Delawareju, 1973*
(Vir: Science history institute, 2023)

2.1.2 Vrste sončnih elektrarn

Do danes je razvoj sončnih elektrarn že tako napredoval, da poznamo več vrst sončnih elektrarn. Sončne elektrarne se glede na princip delovanja in način priklopa delijo

v dve osnovni skupini, in sicer na fotovoltaične elektrarne (PV) in koncentrirane sončne elektrarne (CSP).

- **Fotovoltaične (PV) elektrarne**

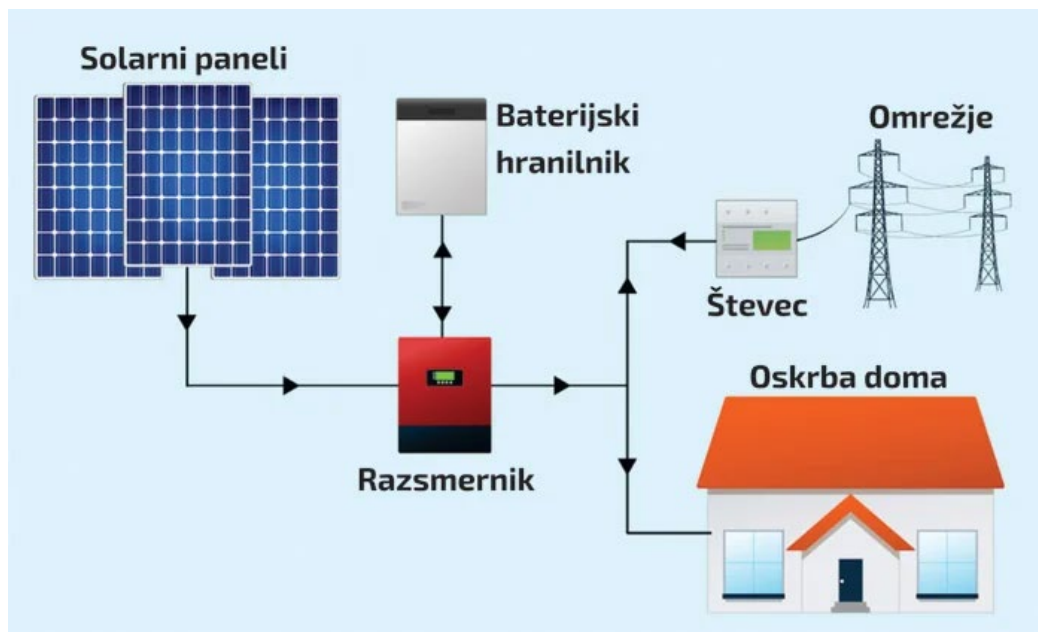
PV elektrarne so najpogostejša oblika pretvorbe sončne svetlobe v elektriko, pri čemer fotonapetostni moduli neposredno pretvarjajo sončno svetlobo v enosmerni tok, ki ga razsmernik nato pretvori v izmenični tok, primeren za uporabo v omrežju. Fotovoltaične elektrarne delimo na:

Omrežne (on-grid) elektrarne, ki so priključene na javno električno omrežje. Večina sončnih elektrarn v svetu sodi v to kategorijo. Električna, ki jo proizvedejo te elektrarne, se porabi na objektu ali pa se odda v omrežje. Izvedene so lahko s hranilnikom ali brez. V sistemih brez baterij se proizvedena energija sproti porablja ali pa se oddaja v omrežje. Prednosti sistema brez hranilnika so manjši stroški investicije, preprosta izvedba in višja učinkovitost, saj ni izgub zaradi hranjenja energije.

Otočne (off-grid) elektrarne pa delujejo izolirano od javnega električnega omrežja, saj nanj niso priključene. Običajno vključujejo tudi hranilnik za shranjevanje električne energije, da lahko zagotavljajo električno energijo tudi ponoči.

Mikrosistemi so naslednja skupina sončnih elektrarn, kjer gre za manjše sisteme z močjo do 600W, ki jih je mogoče priključiti neposredno v vtičnico. Ti sistemi so cenovno ugodni in enostavni za namestitev ter se uporabljajo za osnovno samooskrbo v stanovanjih.

Integrirani PV sistemi pa so fotonapetostni sistemi, ki so integrirani v stavbno konstrukcijo (npr. strešniki ali fasade). Prednost teh rešitev je estetska privlačnost in prihranek prostora, kar je še posebej privlačno za sodobno arhitekturo.



Slika 3: Hibridna omrežna sončna elektrarna s hranilnikom
(Vir: Varčujem energijo, 2024)

- **Koncentrirane sončne elektrarne (CSP-Concentrated Solar Power)**

Za razliko od PV sistemov CSP tehnologija sončnih elektrarn uporablja zrcala ali leče za usmerjanje sončnih žarkov na manjšo površino, kjer se ustvari visoka temperatura. S to toploto se segreva tekočina, ki nato ustvari paro in poganja turbino za proizvodnjo elektrike. Predstavniki te kategorije sončnih elektrarn so parabolični kolektorji, ki so najbolj razširjen tip CSP tehnologije. Zrcalna površina usmerja sončne žarke na cev s tekočino, ki se segreje do 400 °C. Primer tovrstne elektrarne je Andasol v Španiji, ki z 150 MW močjo napaja okoli 200.000 ljudi in omogoča do sedem ur shranjevanja toplote.

Naslednji so solarni stolpi, kjer zrcala (heliostati) usmerjajo svetlobo na vrh stolpa, kjer se segreva tekočina. Tak primer je PS10 pri Sevilji, ki uporablja 624 heliostatov in proizvaja 11 MW električne energije. Sem sodi tudi Linearni Fresnel sistem, ki je cenejša alternativa paraboličnim sistemom z manj kompleksno optiko. Uporabljajo se predvsem v industrijskih toplotnih procesih (Wikipedia, 2023).

2.2 Načela izrabe sončne energije

Sončna energija je eden najčistejših in najbolj razpoložljivih naravnih virov energije, ki temelji na pretvorbi sončnega sevanja v uporabno energijo. V kontekstu elektroenergetike se uporablja predvsem za proizvodnjo električne energije s pomočjo fotonapetostnih (PV) sistemov. Tehnologija omogoča neposredno pretvorbo svetlobne

energije v električni tok z uporabo fotonapetostnega pojava. V spodnji tabeli so podani tehnični dejavniki, ki vplivajo na učinkovitost sončne elektrarne.

Dejavnik	Opis
Orientacija in naklon modulov	V Sloveniji je optimalna usmeritev modulov proti jugu z naklonom med 30° in 35°, kar omogoča največji letni izkoristek.
Senčenje	Prisotnost sence (dimniki, drevesa, sosednji objekti) lahko bistveno zmanjša proizvodnjo, zato je načrtovanje postavitve ključno.
Lokalne vremenske razmere	Povprečna oblačnost, količina sončnega obsevanja in temperatura okolja vplivajo na letno proizvodnjo energije.
Učinkovitost komponent	Kakovost PV modulov, razsmernikov, zaščitne opreme in kablov pomembno vpliva na dolgoročno delovanje sistema.
Vzdrževanje	Redno spremljanje delovanja in čiščenje modulov pripomoreta k ohranjanju proizvodne zmogljivosti.
Sistem za nadzor in spremljanje	Uporaba pametnih sistemov za nadzor (monitoring) omogoča zaznavanje napak, spremljanje proizvodnje in optimizacijo delovanja.

Tabela 1: Tehnični dejavniki za učinkovito rabo sončne energije
(Vir: Wikipedia, 2023)

Energijska učinkovitost PV sistemov se meri s parametrom SD (specifični donos), ki je odvisen od vseh zgoraj naštetih dejavnikov. Poleg tehničnih lastnosti je za dolgoročno uspešno izrabo sončne energije ključno tudi prilagajanje porabe lokalni proizvodnji, kar pomeni spodbujanje lastne porabe.

$$SD = \frac{\text{Letna proizvodnja SE [kWh]}}{\text{Nazivna moč SE [kWp]}}$$

Sončna energija kot vir nima gibljevih delov in ne povzroča hrupa ali emisij, zato je ena najbolj trajnostnih oblik proizvodnje elektrike. Njena vloga v prihodnjem energetskem sistemu temelji prav na teh lastnostih in na možnosti vključevanja v decentralizirane energetske skupnosti.

2.3 Pravni okvir skupnostne samooskrbe v Sloveniji

Pravni okvir skupnostne samooskrbe v Sloveniji je sestavljen iz evropske zakonodaje, nacionalnih zakonov, podzakonskih aktov in lokalnih predpisov. Skupnostna samooskrba temelji na pravici posameznikov, gospodinjstev, podjetij in javnih institucij, da sodelujejo v proizvodnji in porabi električne energije iz obnovljivih virov.

Na evropski ravni je temeljni dokument Direktiva (EU) 2018/2001 o spodbujanju rabe energije iz obnovljivih virov, ki določa, da morajo države članice omogočiti oblikovanje energetskih skupnosti in samooskrbnih sistemov. Direktiva uveljavlja pravico do lastne proizvodnje energije, deljenja energije znotraj skupnosti, dostopa do omrežja brez diskriminacije, primerne podpore investicijam v OVE.

V Sloveniji je ta direktiva prenesena v zakonodajo z Zakonom o spodbujanju rabe obnovljivih virov energije (ZSROVE) in Uredbo o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije (UL RS, št. 43/2022, 121/22 in 121/23). Uredba določa, da se lahko v skupnostno samooskrbo vključijo gospodinjiski in mali poslovni odjemalci, javni zavodi ter občine, ki se povežejo z namenom skupne proizvodnje in porabe električne energije iz obnovljivih virov. Ključni elementi pravnega okvira so:

- Geografska omejitev: člani skupnosti morajo biti priključeni na isto transformatorsko postajo distribucijskega omrežja (t. i. isti SN/NN transformator).
- Omejitve moči: skupna nazivna moč naprav v skupnosti ne sme presegati seštevka priključnih moči članov (razen v posebnih primerih, določenih z uredbo).
- Mehanizem obračuna: uporablja se mesečni neto obračun v evrih (net-billing), pri čemer se presežki proizvedene energije obračunajo po pogodbeni ceni, manjkajoča energija pa se obračuna po ceni dobavitelja (Energetski zakon EZ-1-UPB8).
- Pravni status: skupnost samooskrbe nima statusa pravne osebe, ampak je formalizirana s Pogodbo o ustanovitvi skupnosti in Pogodbo o skupnostni samooskrbi s sistemskim operaterjem (SODO).

Energetski zakon (EZ-1) določa osnovne pogoje za priključitev proizvodnih naprav, pravila za delovanje elektroenergetskega sistema in vlogo distribucijskega operaterja (SODO).

Poleg državne zakonodaje ima pomembno vlogo tudi Zakon o javno-zasebnem partnerstvu (ZJZP), ki omogoča sodelovanje javnih in zasebnih subjektov pri financiranju, gradnji in upravljanju energetskih objektov, kot so skupnostne SE.

Na ravni lokalne samouprave Mestna občina Ljubljana ureja to področje z Odlokom o javno-zasebnem partnerstvu za izvedbo projekta Zelena energija MOL (UL RS, št. 150/22). Odlok določa: koncesijsko razmerje z izbranim partnerjem, pogoje uporabe

občinskih streh in objektov, pravice in obveznosti uporabnikov skupnosti ter nadzor nad izvajanjem pogodbenih določil.

Pravno podlago za skupnostno samooskrbo sestavljajo tudi številni pogodbeni dokumenti, kot so: koncesijska pogodba z izvajalcem, pogodba o ustanovitvi skupnosti za samooskrbo, pogodba o pristopu uporabnikov, služnostne pogodbe za uporabo strešnih površin in pogodba o skupnostni samooskrbi.

Celoten sistem omogoča pravno varno in pregledno sodelovanje med javnim sektorjem, zasebnimi partnerji in uporabniki pri souporabi infrastrukture za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov.

Postopek vzpostavitve skupnosti samooskrbe:

- **Pobuda in dogovor deležnikov**
Pobudnik (npr. občina ali javni zavod) identificira potencialne člane skupnosti ter se z njimi dogovori o sodelovanju, deležih in načinu delitve proizvodnje.
- **Analiza možnosti priključitve**
Preveri se, ali so vsi člani priključeni na isto transformatorsko postajo. Če pogoj ni izpolnjen, skupnost ne more biti vzpostavljena v okviru uredbe.
- **Priprava pravnih aktov**
Pripravi se Pogodba o ustanovitvi skupnosti med člani, ki določa pravice in obveznosti, ter Pogodba o skupnostni samooskrbi, ki se sklene z operaterjem distribucijskega omrežja (SODO).
- **Prijava SODO**
Ustanovitelj skupnosti vloži vlogo pri SODO, ki preveri tehnične pogoje in izvede spremembo merilnih mest.
- **Priklop in začetek delovanja**
Po tehnični izvedbi in morebitni vgradnji dodatne merilne opreme SODO uradno vključi skupnost v sistem net-billing obračuna.

2.4 Nacionalni cilji energetske politike

Energetska politika Republike Slovenije temelji na ciljih Evropske unije, ki jih določajo Evropski zeleni dogovor, sveženj Fit for 55 in Direktiva EU 2018/2001 (RED II). Evropski zeleni dogovor (European Green Deal) ima za cilj doseči podnebno nevtralnost do leta 2050, vključuje pa ukrepe za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, pospešitev uporabe OVE in izboljšanje energetske učinkovitosti. Sveženj zakonodajnih predlogov Fit for 55 predvideva zmanjšanje neto emisij toplogrednih plinov za najmanj 55% do leta 2030 v primerjavi z letom 1990, to pa vključuje reforme v energetskem, prometnem in industrijskem sektorju. Direktiva EU 2018/2001 (RED II) nalaga, da mora

vsaj 32% bruto končne porabe energije v EU prihajati iz obnovljivih virov. Direktiva EU 2019/944 pa ureja pravila notranjega trga z električno energijo in omogoča razvoj energetske skupnosti.

Slovenija te cilje uresničuje prek Nacionalnega energetskega in podnebne načrta (NEPN) ter Dolgoročne podnebne strategije do leta 2050. Glavni cilji NEPN do leta 2030 so: povečanje deleža OVE v bruto končni rabi energije na vsaj 27 %, zmanjšanje emisij toplogrednih plinov v sektorju ne - ETS za do 36 % glede na leto 2005, izboljšanje energetske učinkovitosti za vsaj 35 % glede na referenčne scenarije in povečanje proizvodnje električne energije iz OVE, zlasti iz sončnih in vetrnih virov, ter spodbujanje hranilnikov energije. Pri doseganju teh ciljev so ključni ukrepi decentralizacija proizvodnje energije, spodbujanje investicij v lokalne energetske skupnosti ter vzpostavitev stabilnega podpornega okolja za neto meritve in neto obračun. NEPN določa prednostno izrabo sončne, vetrne in vodne energije, pri čemer je za sončne elektrarne v segmentu stavbnega fonda (gospodinjstva, javne stavbe, podjetja) predvidena namestitev več kot 1000 MW nove inštalirane moči do leta 2030. To ustreza približno 1,1 TWh dodatne letne proizvodnje električne energije iz fotonapetostnih virov. Slovenija uporablja emisijski faktor za električno energijo približno 0,234 kg CO₂/kWh (Inštitut Jožef Štefan – CEU 2023), kar pomeni, da bo 1,1 TWh dodatne proizvodnje iz OVE zmanjšalo emisije za okoli 257.000 ton CO₂ letno. Pri tem imajo sončne elektrarne na javnih stavbah dvojno vlogo: zmanjšujejo neposredne emisije in hkrati zmanjšujejo obremenitev distribucijskega omrežja z lokalno porabo proizvedene energije.

Za doseg teh ciljev so v NEPN in drugih strateških dokumentih predvideni naslednji ukrepi (Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo (2024):

1. Pospešena namestitev sončnih elektrarn:
 - Spodbude za fotonapetostne sisteme na strehah javnih in zasebnih stavb.
 - Namestitev več kot 1000 MW nove inštalirane moči sončnih elektrarn do 2030, kar ustreza približno 1,1 TWh dodatne letne proizvodnje.
2. Povečanje deleža skupnostne samooskrbe:
 - Pravna ureditev in finančne spodbude za energetske skupnosti.
 - Možnost razdeljevanja presežkov energije med člani skupnosti na istem transformatorskem območju.
3. Izboljšanje energetske učinkovitosti stavb:
 - Obnova in energetska sanacija javnih stavb in stanovanjskih objektov.
 - Uvedba minimalnih standardov energetske učinkovitosti za nove in prenovljene stavbe.

4. Dekarbonizacija prometa:
 - Elektrifikacija javnega prevoza.
 - Povečanje deleža električnih vozil in razširitev mreže polnilnic.
5. Razvoj hranilnikov energije in pametnih omrežij:
 - Integracija baterijskih hranilnikov v elektroenergetski sistem.
 - Digitalizacija distribucijskega omrežja in napredni merilni sistemi.
6. Zmanjšanje emisij v industriji:
 - Prehod na nizkoogljične tehnologije in uporabo OVE v industrijskih procesih.
 - Spodbude za učinkovito rabo energije in krožno gospodarstvo.

2.5 Energetska politika Mestne občine Ljubljana

Mestna občina Ljubljana že več let izvaja ambiciozno lokalno energetske politiko, ki je v celoti usklajena z nacionalnimi in evropskimi cilji. MOL je podpisnica Konvencije županov za podnebne spremembe in energijo ter vključena v evropsko pobudo 100 podnebno nevtralnih in pametnih mest do 2030, kar pomeni zavezo k hitrejšemu zmanjšanju emisij in večjemu deležu OVE. V Akcijskem načrtu za podnebno nevtralnost se MOL zavezuje k zmanjšanju emisij CO₂ za najmanj 55 % do leta 2030 glede na izhodiščno leto 2008, povečanju deleža električne energije iz OVE v javnem sektorju, širjenju energetske skupnosti in skupnostne samooskrbe na objektih v občinski lasti ter spodbujanju energetske učinkovitosti in e - mobilnosti.

Eden izmed ključnih izvedbenih projektov je Zelena energija MOL, izveden v obliki javno-zasebnega partnerstva (JZP) med MOL in konzorcijem, ki ga vodi Resalta d.o.o. Projekt vključuje izgradnjo 51 sončnih elektrarn skupne moči okoli 5 MW, od tega jih je 48 vključenih v sistem skupnostne samooskrbe. Letna proizvodnja vseh naprav je ocenjena na približno 5,2 GWh, kar pomeni zmanjšanje emisij za okoli 2500 ton CO₂ (pri uporabi starejših emisijskih faktorjev) oziroma približno 1200 ton CO₂ (pri uporabi faktorja 0,234 kg/kWh). Preračun bazira na osnovi PID SE Ježica (2024) in podatkov o emisijskem faktorju IJS CEU (2023).

3 OPIS OBJEKTA ŠRC JEŽICA

3.1 Opis objekta ŠRC Ježica

Športno-rekreacijski center (ŠRC) Ježica se nahaja v severnem delu Ljubljane v bližini reke Save in ob glavni prometnici Dunajski cesti. Objekt je v lasti Mestne občine Ljubljana in v upravljanju javnega zavoda Šport Ljubljana. Kompleks vključuje večnamensko športno dvorano, vadbene prostore, zunanja igrišča in spremljajoče prostore. Stavba je bila zgrajena v 80. letih prejšnjega stoletja in od takrat večkrat delno energetsko sanirana, vendar je zaradi starosti in zasnove še vedno energetsko intenzivna. Dvorana je primerna za treninge in športna tekmovanja v košarki, odbojki in rokometu. Pred postavitvijo SE in temeljito energetsko obnovo objekta je dvorana vso električno energijo pridobivala iz omrežja ter uporabljala plin za ogrevanje prostorov in sanitarne vode, kar je pomenilo precej velik strošek in zastarelo klimatizacijo prostorov. Po energetski prenovi se je poraba plina občutno zmanjšala, saj je bila v sklopu energijske prenove postavljena toplotna črpalka. Streha in izolacija pod njo je bila zamenjana, prav tako fasada objekta. Prenovljene so bile tudi prezračevalne naprave.



Slika 4: ŠRC Ježica
(Vir: JZŠL, 2024)

3.2 Energetske potrebe objekta

Podatki kažejo, da je letna poraba pred postavitvijo sončne elektrarne znašala približno 169.315 kWh, kar je služilo kot osnova za dimenzioniranje fotonapetostne elektrarne na objektu in poznejše izračune. V tabeli 2 je podan tudi podatek o letni porabi plina leta 2023, ki smo ga uporabili kot referenčni podatek za poznejše izračune.

Kazalnik	Vrednost
Letna poraba električne energije ŠRC Ježica (pred SE)	169.315 kWh/leto
Letna poraba plina (referenčno leto 2023)	285.491 kWh/leto

Tabela 2: Letna poraba električne energije
(Vir: JZŠL, 2023)

4 TEHNOLOGIJA SE

Sončna elektrarna na strehi Športno-rekreacijskega centra Ježica je bila zasnovana z nazivno močjo 121,9 kWp. Sistem je sestavljen iz 265 fotonapetostnih (PV) modulov monokristalnega tipa. Moduli so sestavljeni v panele, ki so pritrjeni na kritino objekta s tipsko podkonstrukcijo iz aluminija. SE je orientirana na dve strani. Prvi sklop, ki obsega 130 PV panelov, je obrnjen na vzhod, drug del, ki obsega 135 panelov, pa na zahod. Paneli so med seboj povezani v stringe, stringi pa nato po UV zaščitnih ceveh in PK kanalih z DC vodniki, ki vodijo do razsmernikov. Omrežni razsmernik, ki pretvori enosmerno napetost v trifazno izmenično, je tipa SolarEdge SE100k. Prek njega je SE povezana z javnim NN električnim omrežjem.



Slika 5: SE Ježica
(Vir: SolarEdge designer, 2024)

Maksimalna moč PV generatorja	121,90 kWp
Moč posameznega PV modula	460 Wp
Tip PV modula	ReneSola RS4-460MBG-E1
Število PV modulov	256 kosov
Maksimalna moč razsmernikov	100 kVA
Tip razsmernika	SolarEdge SE100k, 100kVA, 1 kos
Razmerje DC/AC	1,219

Tabela 3: Osnovni podatki PV generatorja
(Vir: JZŠL, 2025)

4.1 Vrsta in zmogljivost PV modulov

Na strehi objekta je postavljenih 265 PV modulov, ki so postavljeni v dveh skupinah. Skupina 1 vsebuje 130 modulov, ki so orientirani na vzhod z odklonom od južne strani neba -58 stopinj, naklon modulov je osem stopinj. Skupina 2 je sestavljena iz 135 modulov, ki so orientirani na zahod z odklonom od južne strani neba 122 stopinj. Naklon modulov je osem stopinj. Moč posameznega PV modula je 460kWp, skupna moč vseh modulov pa 121,90 kWp. Moduli so tipa Renesola RS4-460MBG-E1, Bifacial GG. Izdelani so iz monokristalnega silicija in po specifikacijah omogočajo optimalno proizvodnjo električne energije iz sončne elektrarne v vseh sevalnih pogojih. Posamezni modul je sestavljen iz 120 zaporedno povezanih celic, ki proizvedejo 34,2 V napetosti in moč 460 Wp. Izkoristek posameznega modula znaša 21,32%. Vse skupaj pa je zapakirano v ohišje iz aluminija in visoko kaljenega stekla debeline 2+2 mm, ki je odporno na mehanske poškodbe.

Proizvajalec	ReneSola
Tip	RS4-460MBG-E1
Maksimalna moč (Pmpp)	460 W
Toleranca moči	0~ + 5 W
Napetost pri maksimalni moči (Umpp)	34,2 V
Tok pri maksimalni moči (Impp)	13,45 A
Napetost odprtih sponk (Uoc)	41,48 V
Kratkostični tok (Isc)	14,01 A
Maksimalna sistemska napetost	1500 V DC
Dimenzije (DxVxŠ)	1903 x 1134 x 30 mm
Število PV modulov	265

Tabela 4: Tehnični podatki PV modulov
(Vir: Renesola Energy, 2023)

SATURN 4

ReneSola

BIFACIAL MODULE WITH DUAL GLASS

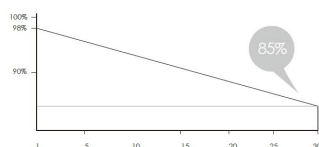
RS4-440~460MBG-E1

P-Type /Positive power tolerance of 0~+3%/Max module efficiency 21.32%

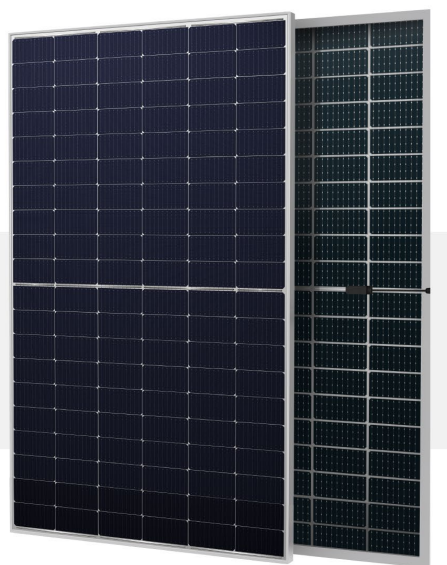
- Suitable for ground power plants and distributed projects
- Advanced module technology delivers superior module efficiency
 - Gallium-doped Wafer- Non destructive cutting - MBB half-cut
- Excellent power generation performance
 - Excellent IAM and Weak light response - Low temperature ratings
 - 0.55% linear Power decline
- High module quality ensures long-term reliability
 - Strict selected material - Advanced technology - Leading standard
- Ultra-hydrophilic self-cleaning coating techniques

Complete System
and IEC Product Certification

IEC 61215(2016), IEC 61730(2016) ISO9001:
2015:Quality Management System ISO14001:
2015:Environment Management System
ISO45001:2018:Occupational Health
and Safety Management System



30-Year excess linear power output warranty



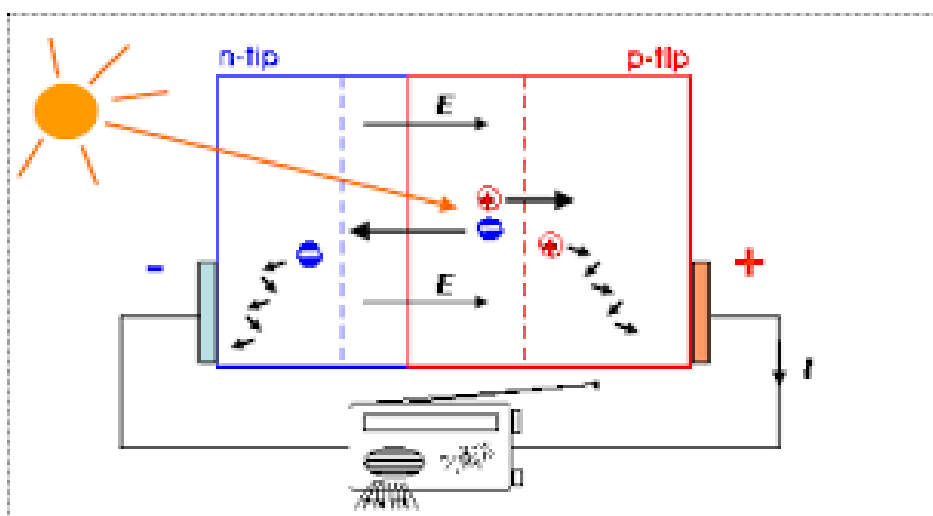
Slika 6: Tehnični list PV modula ReneSola
(Vir: Renesola - energy, 2023)

4.1.1 Fotonapetostni pojav

Fotonapetostna pretvorba energije je direktna pretvorba sončne energije v električno. Pretvorba sončne energije, ki jo nosijo fotoni, se zgodi v sončnih celicah. Sončne celice so polprevodniške diode velikih površin, zgrajene iz dveh različnih tipov polprevodniških plasti. Ena plast ima presežek elektronov, druga pa primanjkljaj. Plast s presežkom elektronov imenujemo plast tipa n, plast s primanjkljajem elektronov pa plast tipa p.

Ko ta dva tipa polprevodnika staknemo skupaj (slika 7), pride do difuzije nabojev prek stične površine. Te spojitve v praksi dejansko ne moremo izvesti, a nam pomaga pri

lažjem razumevanju sončne celice. Elektroni iz polprevodnika tipa n pričnejo prodirati v polprevodnik p tipa, medtem ko vrzeli prodirajo iz polprevodnika tipa p v tip n. Tako ob robu spoja v polprevodniku tipa p nastane negativni prostorski naboj, v tipu n pa pozitiven. Ustvarjeni naboj povzroči električno polje, ki zavira nadaljnjo difuzijo delcev. Če nosilci ne bi imeli naboja in ne bi nastalo električno polje, bi delci prodirali tako dolgo, dokler ne bi bili enakomerno porazdeljeni po celotnem polprevodniku. Območje, kjer se poruši električna nevtralnost, imenujemo prehodno (osiromašeno) področje ali področje prostorskega naboja. S priključitvijo zunanje napetosti na zgradbo z opisanim pn - spojem se zaviralno električno polje v prehodnem področju spreminja in skozi diodo lahko teče električni tok le v eni smeri.



Slika 7: Fotonapetostni pojav
(Vir: PV portal, 2023)

V osvetljeni sončni celici se generirajo pari elektron-vrzel. Električno polje loči in povleče elektrone iz prehodnega področja v polprevodnik tipa n in vrzeli v polprevodnik tipa p. Elektroni in vrzeli se nato v nevtralnem delu polprevodnika s pomočjo difuzije premikajo proti kontaktoma. Ločitev elektronov in vrzeli povzroči napetostno razliko na kontaktih, ki ob priključitvi porabnika požene električni tok (PV portal, 2023).

4.2 Razsmernik, optimizatorji in nadzor

Razsmernik je naprava, ki pretvori enosmerni električni tok, ki ga proizvajajo PV moduli, v izmeničnega. Frekvenca izmenične napetosti je 50 Hz, kot je frekvenca električnega javnega omrežja. Uporabljen je razsmernik SolarEdge SE100k, ki je odgovoren samo za DC/AC konverzijo. MMPT in napetostno upravljanje je izvedeno z optimizatorji na PV modulih in zato v razsmerniku ni potrebno. Posledično je ta model razsmernika bolj enostavna in zanesljiva naprava. Tehnični podatki razsmernika so podani v tabeli spodaj.

Proizvajalec	SolarEdge
Tip	SE100k
Vhodna stran razsmernika (DC)	
Max. DC napetost ($U_{dc, max}$)	1000 V
Št. neodvisnih MPPT	12 MC4 parov
Max. vhodni tok ($I_{vp, max}$)	3 x 48,24 A
Izhodna stran razsmernika (AC)	
AC moč, nominalna ($P_{ac, nom}$)	100 kW
AC moč, maksimalna ($P_{ac, max}$)	100 kVA
Max. izhodni tok ($I_{ac, max}$)	145 A
Nazivna napetost ($U_{ac, nom}$)	3 x 400 VAC
Nazivna frekvenca ($f_{ac, nom}$)	50 Hz
Faktor jalove moči	0,8 - 1 (indukt. , kapac.)

Tabela 5: Tehnični podatki razsmernikov
(Vir: Tehnična dokumentacija proizvajalca, 2023)

Izkoristek	
Max. izkoristek (η_{max})	98,3 %
Evropsko merjeni izkoristek (η_{euro})	98 %
Št. razsmernikov	1

Tabela 6: Izkoristek razsmernikov
(Vir: Tehnična dokumentacija proizvajalca, 2023)



*Slika 8: SolarEdge razsmernik SE100K
(Vir: SolarEdge, 2024)*



*Slika 9: SolarEdge razsmerniki na SE Ježica
(Lastni vir)*

Optimizator energije je priklopljen na PV modul. Optimizator energije optimizira proizvedeno energijo z izvajanjem MMPT na vsakem PV modulu posebej in omogoča nadzor nad vsakim modulom. Nadalje, vsak optimiziran niz samodejno vzdržuje fiksno napetost, kar omogoča inštalaterjem možnost fleksibilnega načrtovanja elektrarne. Uporabljeni so optimizatorji SolarEdge P950.



Slika 10: SolarEdge P950 Optimizator
(Vir: SolarEdge 2024)

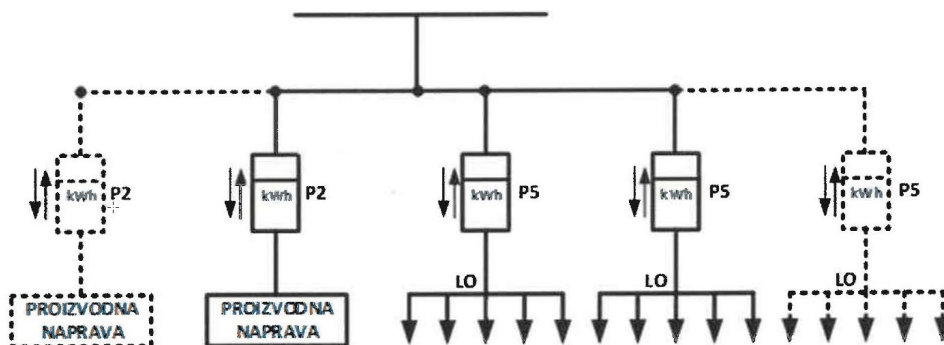
- MPPT pomeni sledenje maksimalni točki moči (ang. *Maximum Power Point Tracking*). Gre za elektronski algoritem, ki se uporablja v razsmer-nikih in optimizatorjih sončnih elektrarn. Njegova naloga je, da prilagaja napetost in tok modula tako, da modul vedno deluje v točki, kjer oddaja največjo možno moč glede na trenutne razmere. Če je optimizator prisoten na vsakem modulu posebej, potem senčenje enega modula ne vpliva na celoten niz.

Nadzor nad delovanjem SE poteka prek spletne aplikacije SolarEdge, ki zagotavlja nadzor na nivoju posameznega modula, na nivoju niza in celotne zmogljivosti sončne elektrarne. Aplikacija omogoča vpogled v proizvodnjo SE, nudi različne analize proizvedene električne energije ter alarmira pri okvarah ali mejnih stanjih glede proizvodnje energije in varnosti.

4.3 Priključitev na omrežje

Priključitev sončne elektrarne ŠRC Ježica na distribucijsko omrežje je izvedena v skladu s pravili operaterja distribucijskega sistema SODO in na podlagi tehničnih zahtev, opredeljenih v projektni dokumentaciji. Soglasje za priključitev na distribucijsko omrežje je izdal Elektro Ljubljana. Elektrarna je priključena na nizkonapetostno

omrežje prek obstoječe transformatorske postaje, ki oskrbuje območje športnega centra. Sistem je zasnovan tako, da omogoča varno oddajanje proizvedene električne energije v javno omrežje in hkratno zagotavljanje lastne porabe v objektu. Razsmerniki so povezani z internim nizkonapetostnim razdelilnikom, na priključni točki pa je nameščena merilno-zaščitna oprema, skladna s tehničnimi pogoji SODO. Priklop v javno NN omrežje je izveden po priključni shemi za skupnostno samooskrbo PS.3B iz SONDSEE navodil (Ur.I.RS.7/21).



Slika 11: Tipična shema PS.3b

(Vir: Sistemska obratovalna navodila (Ur.I.RS.7/21))

Regulativni okvir za priključitev določajo trije ključni sklopi dokumentov. Odlok o javno-zasebnem partnerstvu (2022) predstavlja pravno osnovo za izvedbo projekta Zelena energija MOL, koncesijska pogodba z družbo Resalta opredeljujeta pogoje izvedbe in upravljanja elektrarn, medtem ko pogodba o skupnostni samooskrbi skupaj s pogodbo o ustanovitvi skupnosti ureja pravila delitve energije med člane skupnosti.

Operater distribucijskega sistema SODO je imel v postopku priključitve ključno vlogo. Izdano soglasje za priključitev je določilo maksimalno nazivno moč naprave 121,9 kWp in upoštevalo vpliv na kakovost napetosti v omrežju. Pravila SODO zahtevajo, da proizvodne naprave izpolnjujejo pogoje iz Sistemskih obratovalnih navodil distribucijskega sistema električne energije (SONDSEE), ki temeljijo na evropski uredbi RfG (EU 2016/631). To pomeni, da morajo proizvajalci dokazati skladnost naprav z zahtevami glede električne varnosti, elektromagnetne združljivosti in stabilnosti obratovanja. V primeru ŠRC Ježica se elektrarna obnaša kot mešani priključek, saj hkrati proizvaja energijo za lastne potrebe in oddaja presežke v distribucijsko omrežje, manjkajočo energijo pa po potrebi prejema iz omrežja.

Posebnost priključitve v tem primeru je vključitev elektrarne v model skupnostne samooskrbe, ki ga omogoča mesečni finančni neto obračun. Presežki proizvedene električne energije se v okviru skupnosti prenesejo drugim porabnikom, primanjkljaji pa se doplačajo po tržni ceni (Odlok o JZP (Uradni list RS, št. 150/22), SODO (2024),

Sistemska obratovalna navodila za distribucijski sistem električne energije (Uradni list RS - 007/2021).

4.4 Načrt vzdrževanja in življenjska doba sistema

Sončna elektrarna na objektu ŠRC Ježica je zasnovana za dolgoročno obratovanje in vključena v režim rednega nadzora, ki ga izvaja koncesionar v okviru projekta Zelena energija MOL. Sistem deluje avtomatizirano, vendar so za zagotavljanje zanesljivosti potrebni letni pregledi in občasna vzdrževalna dela. Projektna dokumentacija in priloga o vzdrževanju določata, da se enkrat letno opravi vizualni pregled instalacije, preveri ozemljitev, mehanske pritrditve in stikalna oprema ter testira delovanje zaščitnih naprav. V primeru zaznanih odstopanj se napake odpravijo takoj, pri čemer nadzorni sistem SolarEdge Monitoring omogoča stalno spremljanje proizvodnje in delovanja posameznih modulov. Čiščenje modulov se izvaja po potrebi, običajno enkrat na dve leti, oziroma pogosteje, če okoljski pogoji povzročajo večjo obremenitev.

Življenjska doba sistema je določena z zmogljivostjo njegovih komponent. ReneSola moduli imajo linearno garancijo 25 let, pri čemer ohranjajo najmanj 85 % nazivne moči. Kovinska konstrukcija je projektirana za več kot 30 let, življenjska doba razsmernika SolarEdge SE100K je ocenjena na 12 do 15 let, zato je v času obratovanja predvidena vsaj ena menjava. Prenapetostne zaščite in ostali električni elementi imajo življenjsko dobo 10 do 15 let in se obnavljajo pri rednih pregledih.

Vzdrževanje in pregledovanje sistema poteka skladno s standardom SIST EN 62446-1:2016, ki določa minimalne zahteve za preglede, dokumentacijo in vzdrževanje fotonapetostnih sistemov. Standard zahteva, da so na voljo sheme vezav, podatki o moduli, razsmernikih in zaščitnih napravah, da se ob prevzemu opravi vizualni pregled in funkcionalno testiranje naprav ter da se izvedejo meritve izolacijske upornosti in delovanja zaščit. Prav tako določa, da morajo biti vsi pregledi in testiranja dokumentirani v poročilih, ki so dostopna lastniku sistema (Renesola; SolarEdge, 2025; SIST, 2016; PID SE Ježica, 2024).

5 ANALIZA IN SIMULACIJA PROIZVODNJE

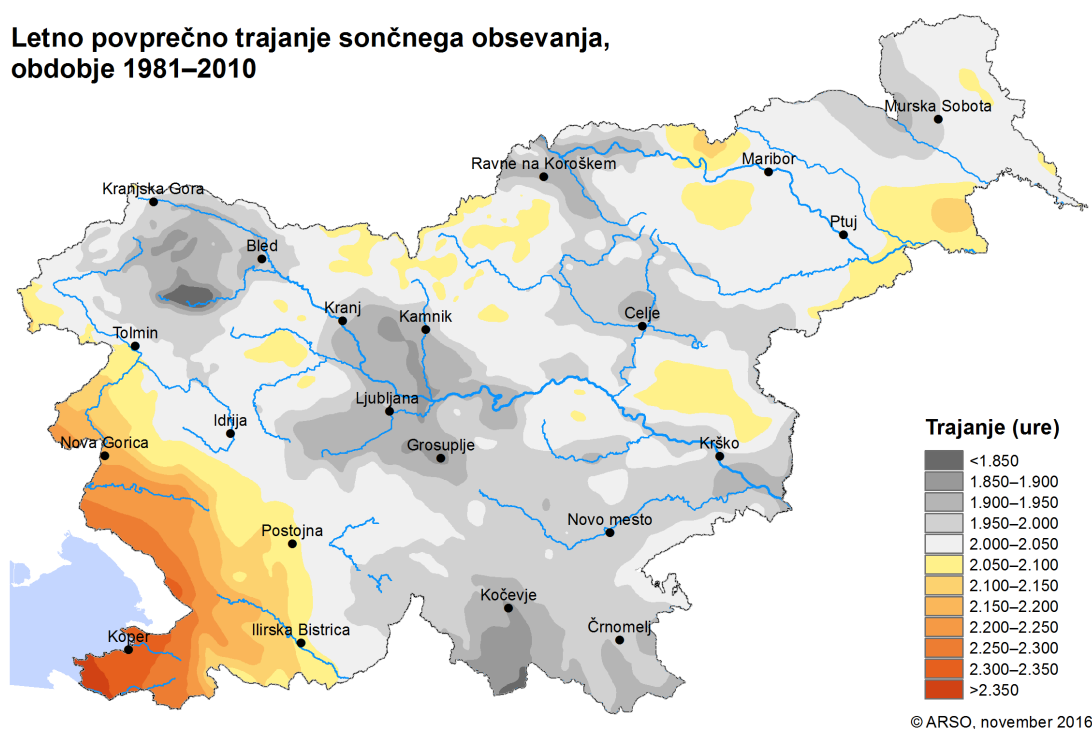
5.1 Sončno obsevanje

Za oceno dolgoročne proizvodnje fotonapetostnih elektrarn se uporabljajo simulacijska orodja, kot so PV*SOL, PVGIS (JRC) in podobni modeli. Temeljijo na meteoroloških podatkih, povprečnem letnem obsevanju in tehničnih parametrih sistema (moč modulov, učinkovitost, naklon, orientacija). V Sloveniji je najpomembnejši vir podatkov Agencija RS za okolje (ARSO), ki spremlja sončno obsevanje na referenčnih meteoroloških postajah in objavlja dolgoročne povprečne vrednosti. Povprečna gostota sončnega sevanja v Sloveniji znaša med 1100 in 1300 kWh/m²/leto na optimalno nagnjeno površino, odvisno od lege in reliefnih značilnosti. Najvišje vrednosti dosegajo območja Primorske (okoli 1350 kWh/m²/leto), medtem ko je v osrednji Sloveniji (Ljubljana) povprečje okoli 1250 kWh/m²/leto, nekoliko nižje vrednosti pa najdemo na Gorenjskem in v notranjosti države. To potrjuje tudi podatek ARSO in Solargis, ki kažeta, da so razlike v Sloveniji relativno majhne v primerjavi z južno Evropo, a še vedno zadostne za ekonomično delovanje sončnih elektrarn.

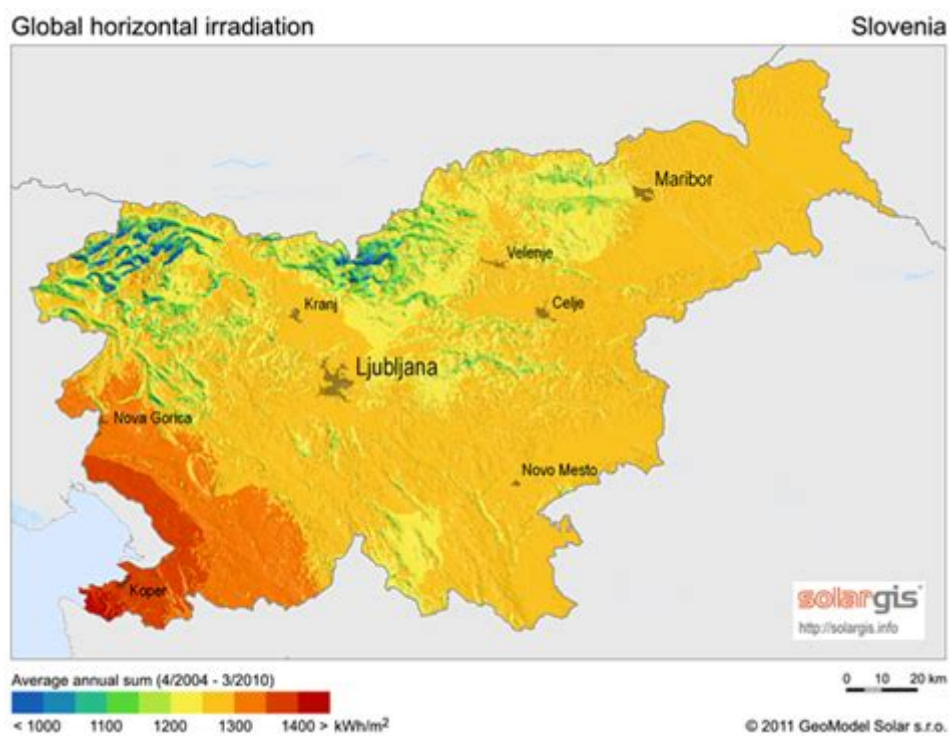
Iz slike 12 je razvidno, da je največ sončnega obsevanja na Primorskem, kjer je povprečno na leto okrog 2300 ur sonca. Nekoliko manj sončnega obsevanja najdemo na Štajerskem, okoli 2000 ur na leto. Najmanj sonca pa prodre na Gorenjskem, kjer našttejemo od 1800 do 2050 ur sončnega obsevanja.

Če primerjamo letno trajanje sončnega obsevanja v urah (slika 12) in gostoto sončnega obsevanja v enem letu (slika 13), lahko opazimo, da se podatka ujemata. Največ sonca je na Primorskem in na jugu države ter na Štajerskem. Najmanj sončnega obsevanja je na Gorenjskem.

**Letno povprečno trajanje sončnega obsevanja,
obdobje 1981–2010**



*Slika 12: Letno povprečje trajanje sončnega obsevanja v urah
(Vir: ARSO, 2016)*



*Slika 13: Povprečno letno sončno obsevanje v Sloveniji
(Vir: Mappery – Solar Radiation Map of Slovenia, 2011)*

5.2 Projekcija proizvodnje električne energije

5.2.1 Teoretični okvir

Projekcija proizvodnje električne energije v fotonapetostnih (PV) sistemih temelji na kombinaciji teoretičnih modelov, statističnih podatkov o sončnem obsevanju in tehničnih značilnostih uporabljenih komponent. Kot poudarja Papler (Naložbe v trajnostni razvoj energetike), je proizvodnja PV sistema neposredno povezana z nazivno močjo sistema in specifičnim donosom (kWh/kWp), ki ga določajo lokalni pogoji in učinkovitost izvedbe.

Osnovna enačba za oceno letne proizvodnje se glasi:

$$E = P_{PV} \times Y_{spec}$$

Kjer je:

E = letna proizvodnja električne energije [kWh],
 P_{PV} = nazivna moč fotonapetostnega sistema [kWp],
 Y_{spec} = specifični donos [kWh/kWp].

Dejavniki, ki vplivajo na proizvodnjo (Papler, 2012):

1. Geografski položaj in osončenost – letno globalno sevanje na lokaciji.
2. Orientacija modulov – azimut in naklon.
3. Sistemske izgube – tipično 10–20 % (senčenje, temperatura, prah, kabli, razsmerniki).
4. Degradacija modulov – povprečno 0,5–0,8 % letno.
5. Kakovost komponent in nadzora – sodobni razsmerniki in optimizatorji omogočajo višji izkoristek.

Namen projekcije je omogočiti finančno analizo in oceno vračilne dobe ter primerjavo med pričakovano in dejansko proizvodnjo (kazalnik Performance Ratio – PR) ter služiti kot podlaga za analizo tveganj in načrtovanje vzdrževanja.

5.2.2 Specifični donos SE Ježica

Specifični donos (Y_{spec}) izraža količino proizvedene električne energije na enoto instalirane moči sončne elektrarne. Njegova enota je kWh/kWp in omogoča primerjavo med različnimi sistemi, ne glede na njihovo moč. Odraža vpliv lokacije, orientacije, senčenja, tehnologije modulov in učinkovitosti sistema ter je osnova za oceno PR (Performance ratio). Tipične vrednosti za Slovenijo so 900-1050 kWh/kWp za optimalno orientirane strešne sisteme. Vrednosti nad 1000 kWh/kWp kažejo na dobro optimiziran sistem z nizkimi izgubami (Papler, 2012).

$$Y_{spec} = \frac{E_{letno}}{P_{pv}}$$

Za izračun specifičnega donosa smo uporabili podatek za letno proizvodnjo električne energije, ki smo ga pridobili iz projektne dokumentacije. Izračunan je bil s pomočjo orodja PVGIS. Letna proizvodnja energije znaša 124.792 kWh.

$$Y_{spec} = \frac{124792 \text{ kWh}}{121,9 \text{ kWp}}$$

$$Y_{spec} = 1023,7 \text{ kWh/kWp}$$

Izračunana vrednost specifičnega donosa je primerljiva s slovenskim povprečjem oziroma se nahaja na zgornjem delu tipičnih vrednosti v Sloveniji.

Lokacija	ŠRC Bežigrad – Ježica, Ljubljana
Nazivna moč	121,90 kWp
Število modulov	265 (ReneSola RS4-460MBG-E1, 460 Wp)
Razporeditev modulov	130 modulov (vzhod, azimut -58°, naklon 8°) 135 modulov (zahod, azimut 122°, naklon 8°)
Razsmernik	SolarEdge SE100k, moč 100 kVA
Letna proizvodnja (PVGIS)	124.792 kWh
Specifični donos (Y_spec)	1.024 kWh/kWp

Tabela 7: Specifikacija SE Ježica
(Vir: PID Ježica, 2024)

5.2.3 Projekcija proizvodnje energije SE Ježica

Na podlagi dokumentacije je bila izvedena projekcija proizvodnje za sončno elektrarno ŠRC Ježica. Elektrarna ima nazivno moč 121,9 kWp, sestavljena je iz 265 modulov ReneSola RS4-460MBG-E1, postavljenih na vzhodno in zahodno streho z naklonom 8°. PVGIS izračun predvideva letno proizvodnjo 124.792 kWh. To vrednost bomo vzeli kot izhodišče za izračun. V projekciji je upoštevana degradacija modulov 0,5 % na leto, kot jo podaja proizvajalec PV modulov.

Za izračun projekcije proizvodnje SE Ježica smo uporabili standardno eksponentno enačbo z upadanjem zaradi degradacije PV panelov, ki bolje odraža realno staranje modulov, kjer so izgube sprva manjše, kasneje pa se relativno kopičijo (Papler, 2012).

$$E_t = E_1 \times (1 - d)^{t-1}$$

Kjer je:

E_t = proizvodnja v letu t

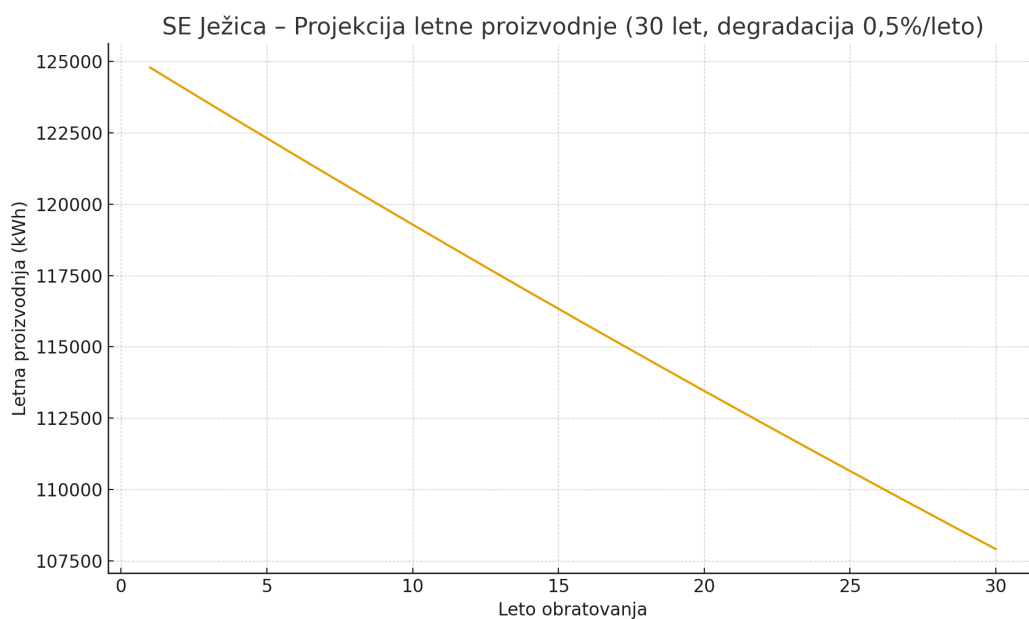
E_1 = začetna proizvodnja (124.792 kWh)

d = stopnja letne degradacije modulov (izražena v decimalni obliki)

t = leto obratovanja (1 – 30)

Leto	Letna proizvodnja (kWh)	Kumulativna proizvodnja (kWh)	Kumulativna degradacija (%)
1	124792.0	124792.0	0.0
2	124168.0	248960.0	0.5
3	123547.0	372507.0	1.0
4	122929.0	495437.0	1.49
5	122315.0	617752.0	1.99
6	121703.0	739455.0	2.48
7	121095.0	860549.0	2.96
8	120489.0	981039.0	3.45
9	119887.0	1100926.0	3.93
10	119287.0	1220213.0	4.41
11	118691.0	1338904.0	4.89
12	118097.0	1457001.0	5.36
13	117507.0	1574508.0	5.84
14	116919.0	1691428.0	6.31
15	116335.0	1807763.0	6.78
16	115753.0	1923516.0	7.24
17	115174.0	2038690.0	7.71
18	114599.0	2153289.0	8.17
19	114026.0	2267314.0	8.63
20	113455.0	2380770.0	9.08
21	112888.0	2493658.0	9.54
22	112324.0	2605982.0	9.99
23	111762.0	2717744.0	10.44
24	111203.0	2828947.0	10.89
25	110647.0	2939594.0	11.33
26	110094.0	3049688.0	11.78
27	109544.0	3159232.0	12.22
28	108996.0	3268228.0	12.66
29	108451.0	3376679.0	13.09
30	107909.0	3484587.0	13.53

*Tabela 8: Projekcija proizvodnje energije z 0,5% letno degradacijo PV modulov
(Lastni vir)*



Slika 14: Projekcija proizvodnje električne energije SE Ježica
(Lastni vir)

Iz tabele in grafa je razvidno, da začetna proizvodnja 124.792 kWh letno zaradi postopne degradacije modulov upada za 0,5 % na leto. V 30-letnem obdobju se proizvodnja zmanjša za približno 14 %, kumulativna proizvodnja pa preseže 3,2 GWh. To pomeni, da bo elektrarna kljub degradaciji zagotovila pomemben prispevek k oskrbi objekta z električno energijo skozi celotno življenjsko dobo.

6 FINANČNI IZRAČUNI

6.1 Investicija

Analiza investicije in stroškov obratovanja je prvi korak pri oceni finančne učinkovitosti sončne elektrarne. Kot navaja Papler (Naložbe v trajnostni razvoj energetike), moramo razlikovati med začetnimi investicijskimi stroški (CAPEX) ter tekočimi stroški obratovanja in vzdrževanja (O&M).

Postavka	Vsebina
Fotonapetostni moduli	Nakup in montaža PV modulov
Razsmerniki in optimizatorji	Glavni razsmernik, optimizatorji moči
Konstrukcije in nosilni elementi	Podkonstrukcija, pritrdilni sistemi
Električne inštalacije in zaščite	Kabli, zaščitne naprave, omarice
Montaža in zagon	Stroški montaže, ožičenja, preizkusi
Projektiranje in nadzor	Projektna dokumentacija, nadzor nad izvedbo, koordinacija z izvajalci

Tabela 9: Struktura investicije za SE
(Lastni vir)

Enačba za izračun investicije:

$$CAPEX = P_{pv} \times c_{kWp}$$

Kjer je:

CAPEX = skupni strošek investicije [€]

P_{pv} = nazivna moč sončne elektrarne [kWp]

c_{kWp} = povprečni strošek na enoto moči [€/kWp]

Povprečni strošek na enoto moči je določen v projektu MOL - Zelena energija, in sicer za vse elektrarne v projektu. Znaša 1015,05 €/kWp.

$$CAPEX_{Ježica} = 121,9 \text{ kWp} \times 1015,05\text{€}$$

$$CAPEX_{Ježica} = 123.735\text{€}$$

Izračunana vrednost predstavlja ocenjeno vrednost investicije v SE Ježica, pridobljene na osnovi podane povprečne vrednosti na enoto moči celotnega projekta MOL. Skupna vrednost investicije znaša 123.735€.

6.2 Stroški obratovanja in vzdrževanja

Stroški obratovanja in vzdrževanja (O&M) vključujejo:

Postavka	Vsebina
Tehnični pregledi in meritve	Redni pregledi in testiranje zaščitnih naprav
Čiščenje modulov	Čiščenje PV modulov (na približno dve leti)
Zavarovanje	Premije za zavarovanje elektrarne
Nadzorni sistem in monitoring	Spremljanje delovanja elektrarne, daljinski nadzor
Servisni posegi in rezervni deli	Vzdrževanje razsmernikov in optimizatorjev ter potrebne zamenjave opreme

Tabela 10: Struktura stroškov obratovanja in vzdrževanja (O&M)
(Vir: Papler, 2012)

O&M stroški se običajno izražajo kot €/kWp/leto. Papler in praksa za Slovenijo navajata razpon 20–30 €/kWp/leto.

$$O\&M = P_{pv} \times r$$

Kjer je:

O&M = letni stroški obratovanja [€]

P_{pv} = nazivna moč elektrarne [kWp]

r = strošek O&M na enoto moči [€/kWp/leto]

Za finančno analizo je pomembno, da ocenimo celotne stroške obratovanja skozi življenjsko dobo elektrarne. V spodnji tabeli je prikazana projekcija tekočih stroškov za 30 let delovanja SE Ježica. Pri izračunu smo uporabili srednjo vrednost 25 €/kWp/leto, kar pomeni osnovo 3048 €/leto. Dodali smo tudi strošek zamenjave razsmernikov po 15. letu, saj je življenjska doba razsmernikov ocenjena na 15 let. Za namen izračuna je bila ocenjena vrednost zamenjave razsmernikov 20.000 €.

Leto obratovanja	Letni O&M strošek (€)	Zamenjava razsmernikov (€)	Skupni strošek v letu (€)	Kumulativni strošek (€)
1	3.048	0	3.048	3.048
2	3.048	0	3.048	6.096
3	3.048	0	3.048	9.144
4	3.048	0	3.048	12.192
5	3.048	0	3.048	15.240
6	3.048	0	3.048	18.288
7	3.048	0	3.048	21.336
8	3.048	0	3.048	24.384
9	3.048	0	3.048	27.432
10	3.048	0	3.048	30.480
11	3.048	0	3.048	33.528
12	3.048	0	3.048	36.576
13	3.048	0	3.048	39.624
14	3.048	0	3.048	42.672
15	3.048	20.000	23.048	65.720
16	3.048	0	3.048	68.768
17	3.048	0	3.048	71.816
18	3.048	0	3.048	74.864
19	3.048	0	3.048	77.912
20	3.048	0	3.048	80.960
21	3.048	0	3.048	84.008
22	3.048	0	3.048	87.056
23	3.048	0	3.048	90.104
24	3.048	0	3.048	93.152
25	3.048	0	3.048	96.200
26	3.048	0	3.048	99.248
27	3.048	0	3.048	102.296
28	3.048	0	3.048	105.344
29	3.048	0	3.048	108.392
30	3.048	0	3.048	111.440

Tabela 11: Projekcija tekočih stroškov obratovanja
(Lastni vir)

Iz projekcije je razvidno, da bodo skupni stroški obratovanja v 30 letih znašali približno 111.440 €, pri čemer pomemben delež predstavlja zamenjava razsmernikov v 15. letu (20.000 €). Ti stroški predstavljajo približno 90,05 % začetnega stroška investicije, kar potrjuje, da imajo O&M stroški ključni vpliv na dolgoročno finančno učinkovitost projekta.

6.3 Pričakovani letni prihranki in ROI

V tem poglavju smo ocenili donosnost sončne elektrarne Ježica. Pri tem smo uporabili povprečno ceno električne energije v letu 2025, ki znaša 0,20 €/kWh (OpenAI ChatGPT, 2025). V ceni so vključene dajatve (DDV) in omrežnina. Letna proizvodnja za prvo leto znaša 124.792 kWh, nato pa pada zaradi degradacije modulov. Upoštevali smo tudi zamenjavo razsmernikov v 15. letu, strošek zamenjave je ocenjen na 20.000 €. Investicijska vrednost SE znaša 123.735 €.

Po Paplerju (2019) se donosnost naložb v trajnostne vire energije najpogosteje ocenjuje z uporabo treh osnovnih metod:

- 1 – preprosta vračilna doba, ki pokaže čas, v katerem se investicija povrne s prihranki
- 2 - neto sedanja vrednost (NPV), ki upošteva diskontno stopnjo ter prikazuje razliko med sedanjimi vrednostmi prilivov in odlivov
- 3 - notranja stopnja donosnosti (IRR), ki izraža diskontno stopnjo, pri kateri je NPV enaka nič

Papler opozarja, da je pri okoljskih in energetskih projektih, kot so sončne elektrarne, preprosta vračilna doba sicer enostaven, a omejen kazalnik, saj ne upošteva diskontiranja, inflacije, stroškov vzdrževanja in morebitnih investicijskih tveganj. Vendar je v praksi še vedno zelo pogosto uporabljen, ker investitorjem ponudi hitro in pregledno oceno ekonomske upravičenosti.

Za javne investicije, kot je projekt MOL – Zelena energija, so posebej pomembne tudi zunanje koristi, ki jih Papler izpostavlja kot ključno dodano vrednost. Te vključujejo zmanjšanje emisij CO₂, povečanje energetske neodvisnosti, izboljšanje lokalnega ugleda in možnost vključevanja prebivalcev v energetske skupnosti. Čeprav se te koristi težje kvantificirajo, pomembno vplivajo na dolgoročno vrednost projekta.

Pri oceni donosnosti sončnih elektrarn je smiselno obravnavati preprosto vračilno dobo, neto sedanjo vrednost (NPV) in notranjo stopnjo donosnosti (IRR). V tem poglavju smo uporabili preprost okvir brez diskontiranja ter prikazali denarne tokove in kumulativne neto prihranke. Uporabili bomo naslednje enačbe:

$$Prihranek_t = E_t \times c_{el}$$

$$Neto\ prihranek_t = E_t \times c_{el} - O\&M_t - (zamenjava\ razsmernika\ v\ 15.\ letu)$$

$$CF_1 = -CAPEX + Neto\ prihranek_1$$

$$CF_t = \text{Neto prihranek}_t, \text{ za } t > 1$$

$$ROI = \sum \frac{\text{Neto prihranek}_t}{CAPEX}$$

Simbol	Enota	Pomen
E_t	kWh	Letna proizvodnja električne energije v letu t (upoštevajo de-gradacijo modulov 0,5 %/leto).
c_{el}	€/kWh	Cena električne energije po enotni tarifi (v izračunu 0,20 €/kWh).
$O\&M_t$	€	Letni stroški obratovanja in vzdrževanja v letu t (v izračunu 3048 €/leto).
CAPEX	€	Začetna investicija v sončno elektrarno (123.735 €).
Prihranek_t	€	Bruto letni prihranek = $E_t \times \text{cena el.}$
Neto pri- hranek _t	€	Neto letni prihranek = $E_t \times c_{el} - O\&M_t$ – (zamenjava raz-smernikov v 15. letu = 20.000 €).
CF_1	€	Denarni tok v 1. letu: $-CAPEX + \text{Neto prihranek}_1$.
CF_t	€	Denarni tok v letih $t > 1$: Neto prihranek_t .
Σ	–	Vsota (seštevek neto prihrankov skozi življenjsko dobo).
ROI	%	Donosnost investicije = $\Sigma(\text{Neto prihranek}_t) / CAPEX$.

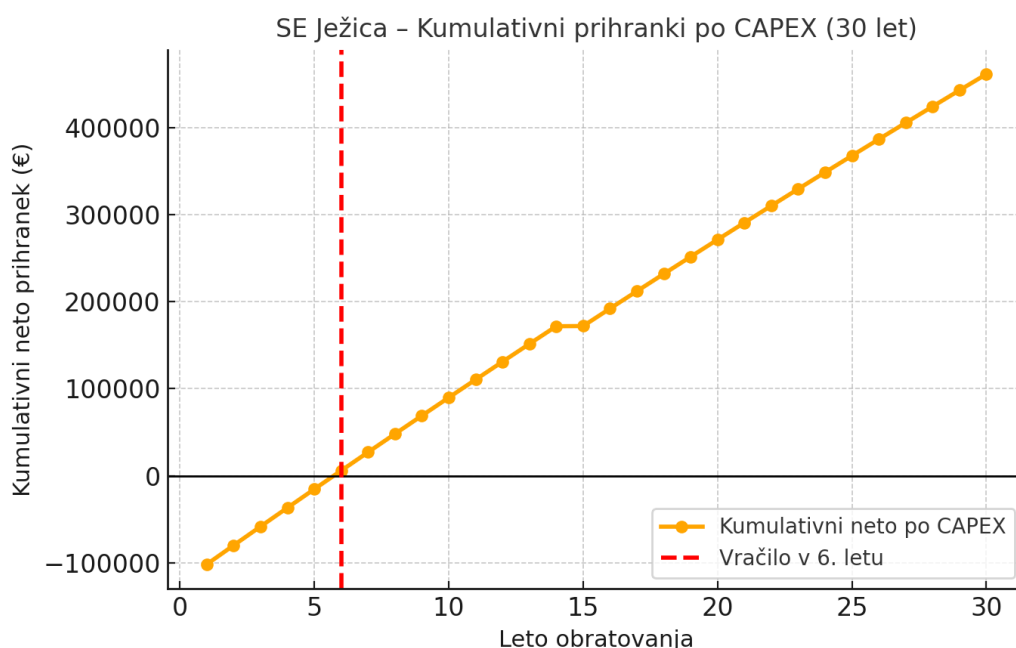
Tabela 12: Uporabljeni simboli
(Lastni vir)

Leto	Proizvodnja (kWh)	Bruto prihranek (€)	O&M (€)	Zamenjava razsmernikov (€)	Neto prihranek (€)	Kumulativni neto (€)	Kumulativni neto po CAPEX (€)
1	124.792	24.958,40	3.048,00	0,00	21.910,40	21.910,40	-101.824,6
2	124.168	24.833,61	3.048,00	0,00	21.785,61	43.696,01	-80.038,99
3	123.547	24.709,44	3.048,00	0,00	21.661,44	65.357,45	-58.377,55
4	122.929	24.585,89	3.048,00	0,00	21.537,89	86.895,34	-36.839,66
5	122.315	24.462,96	3.048,00	0,00	21.414,96	108.310,30	-15.424,70
6	121.703	24.340,65	3.048,00	0,00	21.292,65	129.602,95	5.867,95
7	121.095	24.218,95	3.048,00	0,00	21.170,95	150.773,90	27.038,90
8	120.489	24.097,85	3.048,00	0,00	21.049,85	171.823,75	48.088,75
9	119.887	23.977,36	3.048,00	0,00	20.929,36	192.753,11	69.018,11
10	119.287	23.857,47	3.048,00	0,00	20.809,47	213.562,58	89.827,58
11	118.691	23.738,19	3.048,00	0,00	20.690,19	234.252,77	110.517,77
12	118.097	23.619,50	3.048,00	0,00	20.571,50	254.824,27	131.089,27
13	117.507	23.501,40	3.048,00	0,00	20.453,40	275.277,67	151.542,67
14	116.919	23.383,89	3.048,00	0,00	20.335,89	295.613,56	171.878,56
15	116.335	23.266,97	3.048,00	20.000	218,97	295.832,53	172.097,53
16	115.753	23.150,64	3.048,00	0,00	20.102,64	315.935,17	192.200,17
17	115.174	23.034,88	3.048,00	0,00	19.986,88	335.922,05	212.187,05
18	114.599	22.919,71	3.048,00	0,00	19.871,71	355.793,76	232.058,76
19	114.026	22.805,11	3.048,00	0,00	19.757,11	375.550,87	251.815,87
20	113.455	22.691,09	3.048,00	0,00	19.643,09	395.193,96	271.458,96
21	112.888	22.577,63	3.048,00	0,00	19.529,63	414.723,59	290.988,59
22	112.324	22.464,74	3.048,00	0,00	19.416,74	434.140,33	310.405,33
23	111.762	22.352,42	3.048,00	0,00	19.304,42	453.444,75	329.709,75
24	111.203	22.240,66	3.048,00	0,00	19.192,66	472.637,40	348.902,40
25	110.647	22.129,45	3.048,00	0,00	19.081,45	491.718,86	367.983,86
26	110.094	22.018,81	3.048,00	0,00	18.970,81	510.689,66	386.954,66
27	109.544	21.908,71	3.048,00	0,00	18.860,71	529.550,38	405.815,38
28	108.996	21.799,17	3.048,00	0,00	18.751,17	548.301,54	424.566,54
29	108.451	21.690,17	3.048,00	0,00	18.642,17	566.943,72	443.208,72
30	107.909	21.581,72	3.048,00	0,00	18.533,72	585.477,44	461.742,44

Tabela 13: Projekcija letnih prihrankov SE Ježica
(Lastni vir)

Rezultati kažejo, da projekt ustvarja stabilne letne neto prihranke z jasno točko vračila in izrazito pozitivnim presežkom v drugi polovici življenjske dobe. Upoštevani so de-

gradacija 0,5 %/leto, stroški obratovanja in vzdrževanja ter enkratna menjava razsmernikov v 15. letu, kar povzroči začasno zmanjšanje neto toka v tem letu. Kljub temu projekt doseže vračilo že v šestem letu in ustvari več kot štirikratnik začetne investicije. Kazalnik vračila investicije v šestem letu obratovanja je sicer zelo optimističen, a kot navaja Papler (Naložbe v trajnostne vire energije, 2012), je povprečna doba vračila za sisteme, večje od 100kWp, v povprečju od šest do osem let. Medtem je za manjše sisteme, kot so gospodinjstva (10-15 kWp), doba vračila večja, in sicer od sedem do osem let. Tako lahko rezultat izračuna dobe vračila vzamemo kot verodostojen.



Slika 15: Kumulativni prihranki in točka vračila investicije
(Lastni vir)

6.4 Neto sedanja vrednost NSV

Pri finančni presoji investicij v obnovljive vire energije se poleg vračilne dobe in donosti pogosto uporablja tudi kazalnik neto sedanja vrednost (NSV). NSV predstavlja razliko med sedanjimi vrednostmi vseh pričakovanih denarnih tokov projekta in začetno investicijo (CAPEX). Če je NSV pozitiven, to pomeni, da projekt ustvarja presežno vrednost in je finančno upravičen.

$$NSV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Kjer je:

CF_t = denarni tok v letu t

r = diskontna stopnja (strošek kapitala, zahtevana donosnost)

n = življenjska doba projekta (v našem primeru 30 let)

Tako znaša neto sedanja vrednost projekta po 30 letih, ob upoštevanju diskontne stopnje $r = 5\%$, 168.000 €. Analiza NSV pokaže, da je projekt robusten tudi ob upoštevanju časovne vrednosti denarja. Ker je $NSV > 0$, to pomeni, da je projekt tudi finančno upravičen. In medtem ko preprosta vračilna doba kaže hitro povračilo, NSV bolj realistično upošteva stroške kapitala in dolgoročno donosnost. Visok pozitiven NSV potrjuje, da je investicija ekonomsko smiselna tudi pri konservativni diskontni stopnji, kar potrjuje odločitev za izvedbo projekta. Vračilna doba po diskontiranih tokovih (t. i. diskontirana vračilna doba) se podaljša na približno osem do devet let (namesto šestih let brez diskontiranja).

7 REALNI PODATKI PORABE IN FINANČNI UČINKI ENERGETSKE PRENOVE

Cilj tega poglavja je s pravimi računovodskimi podatki pokazati, kako so ukrepi energetske prenove na ŠRC Ježica – zlasti sončna elektrarna (SE), toplotna črpalka, zamenjava strešne kritine/izolacije in LED razsvetljava – vplivali na dejansko porabo energije in stroške. Za razliko od modelnih izračunov v finančnem poglavju uporabljamo izključno realne mesečne podatke o kWh ter računih za elektriko in plin, dopolnjene s povprečno mesečno temperaturo. Pri elektriki upoštevamo, da je skupni strošek elektrike vsota postavk Energetika elektrika + Elektro + Resalta (neto in bruto). SE je začela obratovati 30.10.2024, zato se njen neposredni učinek v letu 2024 odrazi predvsem v novembru in decembru, od leta 2025 naprej pa pričakujemo celoletni vpliv. Ker ŠRC Ježica sodeluje v skupnostni samooskrbi, bo pri interpretaciji upoštevani realni delež razdeljene proizvodnje za Ježico (v nadaljevanju uporabljamo dejanski delež po pogodbah).

Uporabili smo zbrane podatke energetskega knjigovodstva ŠRC Ježica za leto 2023, 2024 in januar-junij 2025. Podani so v tabelah spodaj:

Mesec	Elektrika [kWh]	Plin [kWh]	Elektrika neto [€]	Plin neto [€]	Elektrika bruto [€]	Plin bruto[€]	T(°C)
Januar	10731.0	33707.0	2723.24	3795.48	2981.95	4156.05	4.0
Februar	10115.0	50307.0	2594.51	5582.47	2840.99	6112.80	3.5
Marec	11090.0	29549.0	2805.34	3347.88	3071.85	3665.93	8.0
April	8477.0	41916.0	2151.07	4679.18	2355.42	5123.70	10.0
Maj	8425.0	15086.0	2138.04	1826.20	2341.15	1999.69	15.9
Junij	5811.0	4288.0	1553.06	642.04	1894.73	783.29	21.0
Julij	4234.0	1911.0	1003.04	378.66	1223.71	461.97	22.5
Avgust	6292.0	2146.0	1588.30	404.70	1937.73	493.73	21.8
September	8169.0	5726.0	2115.04	603.82	2580.35	736.66	19.0
Oktober	11063.0	15943.0	1889.57	1383.38	2305.28	1687.72	15.0
November	12380.0	37038.0	2121.60	2992.92	2588.35	3651.36	7.0
December	12035.0	47874.0	2055.57	3819.71	2507.80	4660.05	4.4
SKUPAJ 2023	108822.0	285491.0	24738.38	29456.44	28629.31	33532.95	

Tabela 14: Pregled stroškov energentov po mesecih za leto 2023
(Vir: JZŠL, 2025 in lastni vir)

Mesec	Elektrika [kW]	Plin [kW]	Elektrika neto [€]	Plin neto [€]	Elektrika bruto [€]	Plin bruto [€]	T (°C)
Januar	13397.0	56037.0	3566.75	4439.01	4351.43	5415.59	1.7
Februar	10237.0	42218.0	2385.89	3385.31	2910.79	4130.08	7.5
Marec	10383.0	32572.0	2398.04	2649.81	2925.61	3232.77	9.8
April	8600.0	23150.0	2042.64	1931.38	2492.02	2356.28	12.8
Maj	2134.0	12576.0	493.32	1125.11	601.85	1372.63	16.2
Junij	4776.0	2533.0	1129.79	359.33	1378.34	438.38	21.2
Julij	4422.0	-352.0	1012.55	139.35	1235.31	170.01	24.5
Avgust	4732.0	0.0	718.83	155.47	876.97	189.67	
September	9395.0	0.0	1724.71	0.00	2104.15	0.00	
Oktober	12031.0	1131.0	1959.76	73.39	2390.91	89.54	12.3
November	22124.0	13156.0	3810.23	852.11	4648.48	1039.57	5.5
December	26571.0	13634.0	4341.54	882.62	5296.68	1076.80	2.0
SKUPAJ 2024	128802.0	196655.0	25584.05	15992.89	31212.54	19511.32	

Tabela 15: Pregled stroškov energentov po mesecih za leto 2024
(Vir: JZŠL, 2025 in lastni vir)

Mesec	Elektrika [kW]	Plin [kW]	Elektrika neto [€]	Plin neto [€]	Elektrika bruto [€]	Plin bruto [€]	T(°C)
Januar	24565.0	3825.0	4311.80	270.31	5260.40	329.78	4.0
Februar	24261.0	1848.0	4346.76	137.83	5303.05	168.15	3.7
Marec	18545.0	2629.0	3103.90	190.15	3786.76	231.98	8.7
April	13880.0	2813.0	2414.54	247.03	2945.74	301.38	13.5
Maj	10024.0	2694.0	1810.25	194.52	2208.51	237.31	15.6
Junij	8894.0	3142.0	1567.50	224.53	1912.35	273.93	24.0
SKU-PAJ 2025	100169.0	16951.0	17554.75	1264.37	21416.81	1542.53	

Tabela 16: Pregled stroškov energentov po mesecih za leto 2025
(Vir: JZŠL, 2025 in lastni vir)

Obdobje	Elektrika [kW]	Plin [kW]	Elektrika neto [€]	Plin neto [€]	Efekt.cena elektrike (€/kWh)	Efekt.cena plina (€/kWh)
2023	108822.0	285491.0	24738.38	29456.44	0.23	0.10
2024	128802.0	196655.0	25584.05	15992.89	0.20	0.08
2025 Jan–Jun	100169.0	16951.0	17554.75	1264.37	0.18	0.07

Tabela 17: Pregled stroškov energentov po letih
(Vir: JZŠL, 2025 in lastni vir)

Preglednice 14, 15 in 16 združujejo mesečne količine energije (kWh) in stroške (neto/bruto). Za elektriko je strošek definiran kot vsota računov Energetika elektrika + Elektro Ljubljana + Resalta. Ti zapisi so računovodska osnova za nadaljnje kazalnike. Strošek elektrike se deli na tri dele. Pri Energetiki se plačuje dobavljena električna energija, Elektro Ljubljana zaračuna omrežnino, distribucijo in prispevek za OVE, Resalta pa izstavi račun za skrbništvo in vzdrževanje sončne elektrarne. Vsota vseh stroškov je celoten strošek za dobavljeno električno energijo, pri čemer je v njej že vključen 0,6% delež dobavljene energije iz skupnostne samooskrbe MOL, ki se odšteje od porabe.

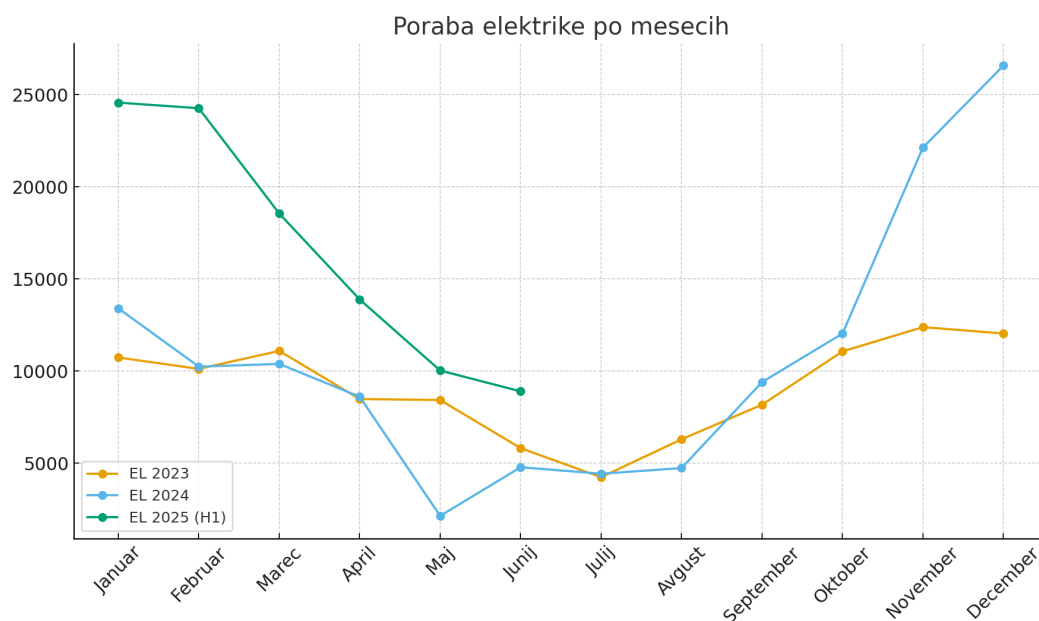
Leto 2023 smo uporabili kot referenčni profil rabe in stroškov kot izhodišče za primerjavo kasneje. Kot je razvidno iz tabele 15, leto 2024 prinese znižanje skupnih neto stroškov za 12.617,88 € glede na 2023, največ prispeva padec porabe plina. Manjšo porabo plina lahko pripišemo zagonu sončne elektrarne v oktobru, preklopu ogrevanja s plina na toplotno črpalko v istem letu (točnega datuma zagona TČ nismo uspeli pridobiti) in izpadu uporabe športne dvorane s strani uporabnikov.

V tabeli 17 pa sta podana letni povzetek porabljene energije ter efektivna cena električne energije in plina. Efektivno ceno elektrike in plina smo dobili iz naslednjih enačb (Papler, skripta Energetsko knjigovodstvo):

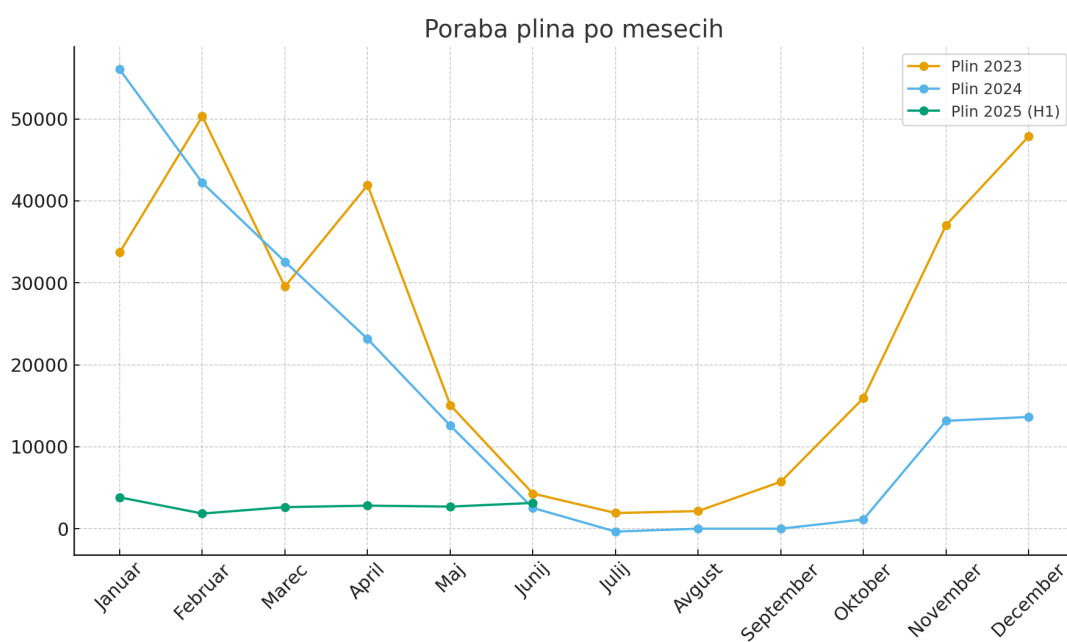
$$c_{EL} = \frac{Elektrika_{neto}}{Elektrika_{kWh}}$$

$$c_{PLIN} = \frac{Plin_{neto}}{Plin_{kWh}}$$

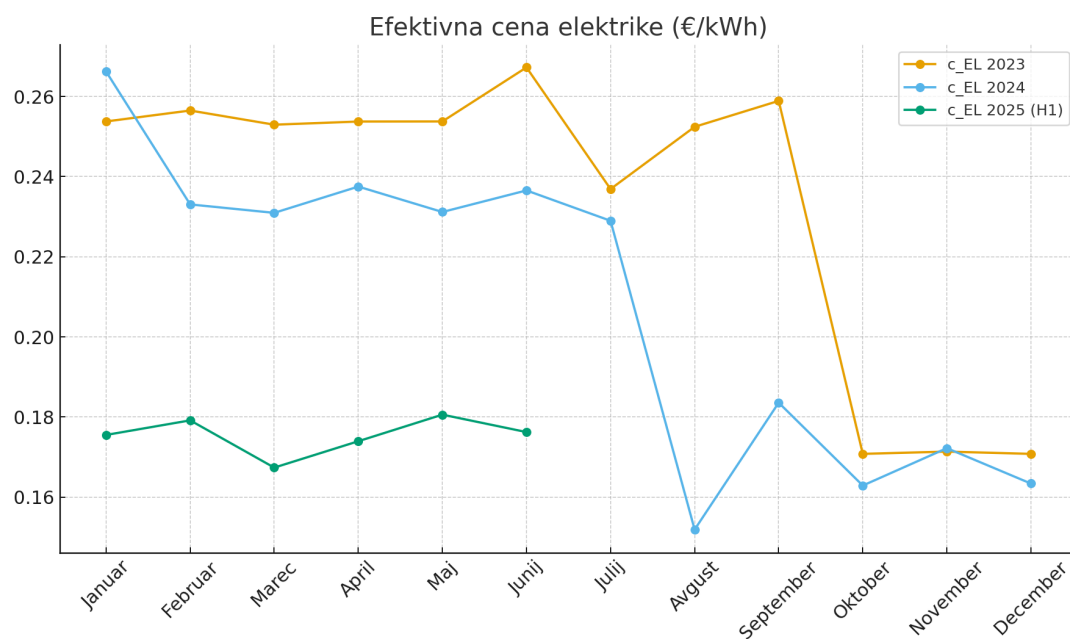
Opazimo, da efektivni ceni plina in elektrike v letu 2024 glede na leto 2023 padeta. In sicer efektivna cena elektrike za približno 13%, plina pa približno 21%. Opazno je še dodatno znižanje cene energentov v prvi polovici leta 2025.



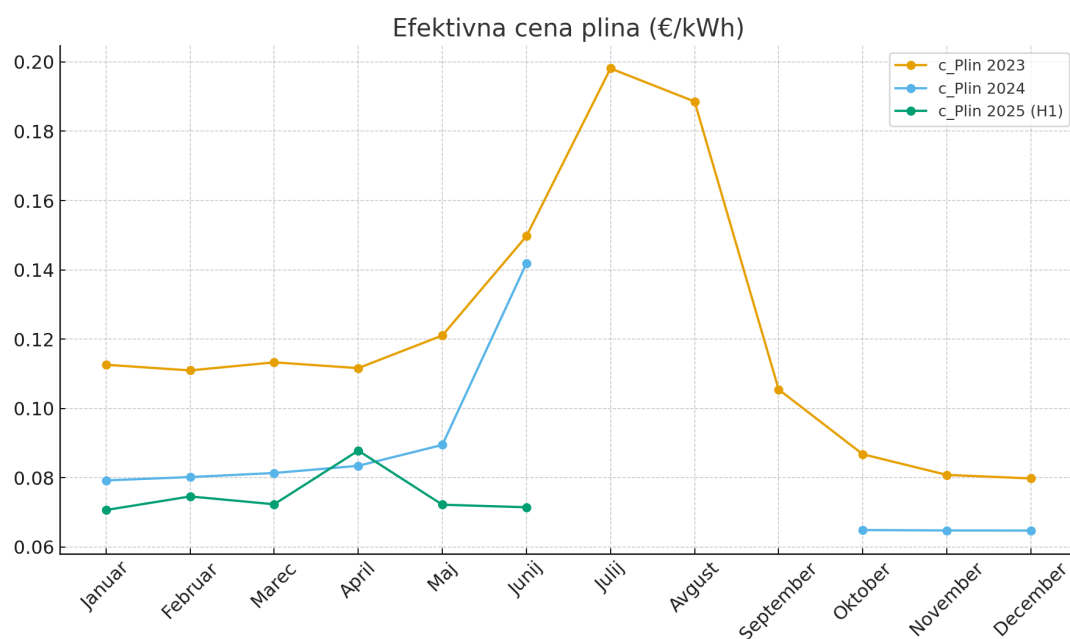
Slika 16: Poraba elektrike po mesecih za leto 2023, 2024, 2025
(Lastni vir)



Slika 17: Poraba plina
(Lastni vir)



Slika 18: Efektivna cena elektrike
(Lastni vir)



Slika 19: Efektivna cena plina
(Lastni vir)

7.2 Vremenska normalizacija porabe plina

Namen vremenske normalizacije je, da primerjavo porabe plina med 2023 (referenca) in 2024 „očistimo“ vpliva različnih temperatur. Tako lahko prihranek pripišemo ukrepom (prehod na TČ, nova fasada, obnovljena streha z novo izolacijo, optimizacija režimov) in ne milejši zimi. V tej analizi za normalizacijo uporabimo ogrevalne stopinjske dni (HDD) z bazo $T_{bazna} = 18^{\circ}\text{C}$ ter mesečne podatke o temperaturi in številu dni v mesecu, ki so že bili vključeni v osnovne tabele.

Metodološki koraki so standardni (ASHRAE Guideline 14, IPMVP) in potekajo mesec po mesec; nato rezultate seštejemo na letni ravni.

Ogrevalne stopinjske dni za vsak mesec smo izračunali kot:

$$HDD_m = \max(0, T_{bazna} - T_{povprečna}) \times D_m, \quad T_{bazna} = 18^{\circ}\text{C}$$

Specifično porabo plina za leto 2024 smo določili kot:

$$Spec_{2024,m} = \frac{Plin_{2024,m}}{HDD_{2024,m}} [kWh/HDD]$$

Porabo plina v letu 2024 smo nato preračunali na isto klimo leta 2023:

$$Plin_{2024na2023,m} = Spec_{2024,m} \times HDD_{2023,m}$$

Ter primerjali »surovi« in vremensko očiščeni prihranek:

$$\Delta Q_{raw,m} = Plin_{2023,m} - Plin_{2024,m}, \quad \Delta Q_{norm,m} = Plin_{2023,m} - Plin_{2024na2023,m}$$

SIMBOL	POMEN	ENOTA
T_m	Povprečna zunanja temperatura v mesecu m	°C
D_m	Število dni v mesecu m	dni
HDD_m	Ogrevalni stopinjski dnevi v mesecu m	K x dni
$Plin_{y,m}$	Poraba plina v letu y in mesecu m	kWh
$Spec_{2024,m}$	Specifična raba plina v 2024 (na HDD)	kWh/HDD
$Plin_{2024na2023,m}$	Poraba 2024, preračunana na klimo 2023	kWh
$\Delta Q_{raw,m}$	Surovi prihranek plina	kWh
$\Delta Q_{norm,m}$	Očiščen prihranek plina	kWh
$c_{plin,2023}$	Referenčna enotna cena plina 2023	€/kWh

Tabela 18: Pomen uporabljenih simbolov
(Vir: Papler, 2019)

Mesec	HDD-2023	HDD-2024	Spec _{2024,m}	Plin-2023	Plin-2024	Plin _{2024na2023,m}	$\Delta Q_{\text{trav,m}}$	$\Delta Q_{\text{notm,m}}$
Januari ^a	434.0	505.3	110.898	33707.0	56037.0	48129.9	-22330.0	-14422.9
Februari ^a	406.0	304.5	138.647	50307.0	42218.0	56290.7	8089.0	-5983.7
Marec ^a	310.0	254.2	128.135	29549.0	32572.0	39722.0	-3023.0	-10173.0
April ^a	240.0	156.0	148.397	41916.0	23150.0	35615.4	18766.0	6300.6
Maj ^a	65.1	55.8	225.376	15086.0	12576.0	14672.0	2510.0	414.0
Junij ^a	0.0	0.0		4288.0	2533.0		1755.0	
Julij ^a	0.0	0.0		1911.0	-352.0		2263.0	
Avgust ^a	0.0	0.0		2146.0	0.0		2146.0	
September ^a	0.0	0.0		5726.0	0.0		5726.0	
Oktober ^a	93.0	176.7	6.401	15943.0	1131.0	595.3	14812.0	15347.7
November ^a	330.0	375.0	35.083	37038.0	13156.0	11577.3	23882.0	25460.7
December ^a	421.6	496.0	27.488	47874.0	13634.0	11588.9	34240.0	36285.1
SKUPAJ ^a	2299.7	2323.5		285491.0	196655.0	218191.49	88836.0	53228.5

Tabela 19: Vremenska normalizacija porabe plina (2024 na klimo 2023)
(Lastni vir)

Iz tabele je razvidno, da je skupen surov prihranek plina leta 2024 v primerjavi z letom 2023, 88836 kWh. Bolj zanimiv je drug podatek glede prihranka plina, in sicer vremensko normaliziran prihranek plina, ki nam pove, koliko plina bi prihranili, če bi leti 2023 in 2024 imeli enako temperaturo skozi leto. Količina prihranjenega plina po tej metodi znaša 53228,5 kWh, kar pokaže, da so spremembe pri porabi plina strukturne narave in ne posledica milejših temperatur v letu 2024. Konec leta 2024 se začne kazati učinek zagona toplotnih črpalk ter obnove fasade in izolacije. Manjšo porabo plina prej (skozi leto) pa gre pripisati dejstvu, da je v letu 2024 trajala obnova dvorane in je bil objekt manj obiskan ter zato manj ogrevan.

Izračunali smo tudi finančni učinek manjše porabe plina leta 2024 glede na 2023. Za izračun smo vzeli referenčno ceno plina leta 2023:

$$C_{PLIN} = \frac{Plin_{neto}}{Plin_{kWh}}$$

$$C_{PLIN} = \frac{29456,44 \text{ €}}{285491 \text{ kWh}}$$

$$C_{PLIN} = 0.1032 \text{ €/kWh}$$

Surovi denarni učinek pri referenčni ceni znaša:
 $88836 \text{ kWh} \times 0.1032 \text{ €/kWh} \approx 9165.94 \text{ €}$

Vremensko očiščeni (strukturni) denarni učinek:
 $53228.6 \text{ kWh} \times 0.1032 \text{ €/kWh} \approx 5492.03 \text{ €}$

Pomeni: če ne upoštevamo vpliva temperatur na porabo plina, znaša prihranek 9165,94 €, ko pa z vremensko normalizacijo izenačimo temperature leta 2023 in 2024, se prihranek zmanjša in znaša 5492,03 €.

7.3 Analiza stroškov ŠRC Ježica

V tem poglavju smo primerjali porabo energentov in stroške energentov med prvo polovico leta 2023 in prvo polovico leta 2025. Ti obdobji smo izbrali, ker za leto 2024 ne moremo zagotovo trditi, da je bila dvorana Ježica polno zasedena oziroma uporabljena, saj je v tem letu potekala celovita energetska obnova in je bil njen običajen delovni proces zato moten. Tako kot v poglavju prej smo izvedli vremensko normalizacijo porabe plina ter primerjali surovi in vremensko očiščeni prihranek energentov. Vremensko normalizacijo smo uporabili zato, da izničimo vpliv vremena, saj milejše zime avtomatsko pomenijo manjšo porabo plina. Izračunali bomo tudi finančni učinek prehoda z ogrevanja na plin na ogrevanje s toplotnimi črpalkami.

7.3.1 Vremenska normalizacija porabe plina H1 2023 in H1 2025

Ker imamo dostop do podatkov o temperaturi za vsak mesec, smo izračunali vremensko normalizacijo porabe plina. Najprej smo izračunali ogrevalne stopinjske dneve, za kar smo uporabili $T_{bazna} = 18^{\circ}\text{C}$. Ogrevalni dnevi so vsi dnevi, ko je bila temperatura nižja od 18°C .

Ogrevalne dneve za vsak mesec od januarja do junija za leti 2023 in 2025 smo izračunali po enačbi:

$$HDD_m = \max(0, T_{bazna} - T_{povprečna}) \times D_m, \quad T_{bazna} = 18^{\circ}\text{C}$$

Nato smo izračunali specifično porabo plina za vsak mesec prvega polletja 2023 in 2025:

$$Spec_{leto,m} = \frac{Plin_{leto,m}}{HDD_{leto,m}} \quad [\text{kWh}/\text{HDD}]$$

Porabo plina za vsak mesec leta 2025 smo nato preračunali na klimo referenčnega leta 2023:

$$Plin_{2025na2023,m} = Spec_{2025,m} \times HDD_{2023,m}$$

Nato pa še surovi prihranek plina in vremensko očiščeni prihranek plina:

$$\Delta Q_{raw,m} = Plin_{2023,m} - Plin_{2025,m}, \quad \Delta Q_{norm,m} = Plin_{2023,m} - Plin_{2024na2025,m}$$

Mesečni izračuni po zgornjih enačbah so zbrani v spodnji tabeli:

Mesec	HDD 2023	HDD 2025	Plin 2023 kWh	Plin 2025 kWh	Spec 2025 kWh HDD	Plin 2025 na HDD2023 (kWh)	Prihra- nek su- rov (kWh)	Prihranek norm (kWh)
Januar	434.0	434.0	33707.0	3825.0	8.813	3825.0	29882.0	29882.0
Februar	406.0	400.4	50307.0	1848.0	4.615	1873.8	48459.0	48433.2
Marec	310.0	288.3	29549.0	2629.0	9.119	2826.9	26920.0	26722.1
April	240.0	135.0	41916.0	2813.0	20.837	5000.9	39103.0	36915.1
Maj	65.1	74.4	15086.0	2694.0	36.210	2357.2	12392.0	12728.8
Junij	0.0	0.0	4288.0	3142.0			1146.0	

Tabela 20: Mesečni izračuni porabe plina za H1 2023 in H1 2025
(Lastni vir)

KAZALNIK	KOLIČINA [kWh]	ZNESEK [€]
Referenčna cena plina 2023		0.10318 €/kWh
Surovi prihranek (H1)	157902.00	16292.04
Vremensko očiščeni prihranek (H1)	154681.13	15959.72
Prispevek vremena (= Surovi – Normalizirani)	3220.87	332.32

Tabela 21: Prihranki energentov prve polovice leta 2025 v primerjavi z 2023
(Lastni vir)

V prvi polovici 2025 je poraba plina glede na enako obdobje 2023 močno padla v vseh zimskih/prehodnih mesecih. Ogrevalni stopinjsko-dnevi (HDD) so visoki v januarju–marcu (npr. januar ≈ 434 K x dni, februar ≈ 406 K x dni, marec ≈ 310 K x dni), kar je pričakovano, saj HDD merijo “količino mraza” in niso število dni. Spomladi HDD hitro upadajo (april ≈ 240 K x dni, maj ≈ 65 K x dni), junija so 0, zato je normalizacija takrat praktično enaka surovemu učinku. Mesečni prihranki (H1 2025 proti H1 2023) po kWh so največji v hladnih mesecih: januar približno 29,9 MWh, februar približno 48,5 MWh, marec približno 26,9 MWh, april približno 39,1 MWh, maj približno 12,4 MWh, junij približno 1,1 MWh. Vremensko očiščeni (NORMAL) prihranki so zelo blizu surovim (RAW): januar 2023 in januar 2025 sta enaka; februar in marec sta za las nižja; april ima nekoliko večji vremenski popravek; maja je NORMAL malenkost višji od RAW (ker je bil maj 2025 hladnejši kot maj 2023), junij pa je praktično nespremenjen zaradi HDD=0. Iz tabele 21 lahko razberemo, da je surovi prihranek plina približno 157,9 MWh, vremensko očiščeni pa približno 154,7 MWh. Razlika, ki jo pojasni vreme, je le ~3,2 MWh (okoli 2 % surovega prihranka), kar pomeni, da je ~98 % zmanjšanja porabe posledica strukturnih sprememb (prehod na TČ, optimizacija in upravljanje). Pri pretvorbi v denar pri referenčni ceni plina 2023 (≈0,10318 €/kWh) to pomeni približno 16,29 tisoč € surovega učinka in 15,96 tisoč € vremensko očiščenega, z vremenskim prispevkom približno 0,33 tisoč €.

7.3.2 Povezava na skupne stroške in Laspeyresova razčlenitev

Ker leta 2025 ogrevanje prevzamejo toplotne črpalke (TČ), je poraba elektrike večja, porabe plina pa skoraj ni. Namesto da gledamo vsak energent posebej, seštejemo celoten račun: elektrika + plin. Tukaj bom uporabili zbrane podatke o porabi elektrike in plina v prvi polovici leta 2023 in prvi polovici leta 2025. Analizirali smo jih z Laspeyresovim razcepom, da dobimo realno sliko prihrankov. Najprej smo izračunali skupni strošek energentov, in sicer plina in elektrike, po enačbi (uporabili smo neto zneske v € iz zbranih podatkov):

$$C_{H1,leto} = Elektri_{H1,leto} + Plin_{H1,leto}$$

Prihranek oziroma sprememba porabe:

$$\Delta C = C_{H1,2025} - C_{H1,2023}$$

Za izračun stroškov smo izračunali še efektivno ceno elektrike in plina za obdobji H1 2023 in H1 2025:

$$p_{elektrika,H1} = \frac{\text{Elektrika [€]}}{\text{Elektrika [kWh]}}$$

$$p_{plin,H1} = \frac{\text{Plin [€]}}{\text{Plin [kWh]}}$$

Iz enačb smo dobili efektivni ceni plina in elektrike za prvo polovico leta 2023 in 2025:

$$p_{plin2023} = 0,1136 \text{ €/kWh}$$

$$p_{elektrika2023} = 0,2556 \text{ €/kWh}$$

$$p_{plin2025} = 0,0746 \text{ €/kWh}$$

$$p_{elektrika2025} = 0,1752 \text{ €/kWh}$$

Efektivni ceni elektrike in plina smo potrebovali, da smo lahko izračunali finančni učinek preklopa ogrevanja s plina na toplotne črpalke. Rezultati so zbrani v tabeli 22.

OBD OBJE	EL [kWh]	PLIN [kWh]	EL€ (neto)	PLIN€ (neto)	SKUPAJ €
H1 2023	54.649	174.853	13.965,26	19.873,25	33.838,51
H1 2025	100.169	16.951	17.554,75	1.264,37	18.819,12
Razlika (2025 – 2023)	45.520	-157.902	3.589,49	-18.608,88	-15.019,39

Tabela 22: Prihranki energentov
(Lastni vir)

V tabeli 22 so razvidne razlike v porabi energentov prve polovice leta 2023 in 2025. Količina porabljene elektrike se je povečala za približno 2 krat, kar gre na račun preklopa ogrevanja s plina na toplotne črpalke. Prav zato se je poraba plina občutno zmanjšala oziroma je skoraj ni več. Izračunali smo še finančni učinek zamenjave načina ogrevanja, kjer smo ugotovili, da je prihranek prvega polletja 2025 glede na prvo polletje 2023 15.019,39 €. Občuten prihranek nam pove, da je bila odločitev za zamenjavo načina ogrevanja s plina na toplotne črpalke pravilna.

V nadaljevanju smo uporabili Laspeyresov razcep, ki je pokazal, koliko se je spremenil račun za energente zaradi količine porabljenih energentov in cene energentov.

Enačba:

$$p_1 \times Q_1 - p_0 \times Q_0 = p_0 \times (Q_1 - Q_0) + Q_1 \times (p_1 - p_0)$$

Q_0 = količina energenta v referenčnem obdobju H1 2023

Q_1 = količina energenta v obdobju H1 2025

p_0 = efektivna cena energenta v H1 2023

p_1 = efektivna cena energenta v H1 2025

$p_0 \times (Q_1 - Q_0)$ = količinski učinek energenta

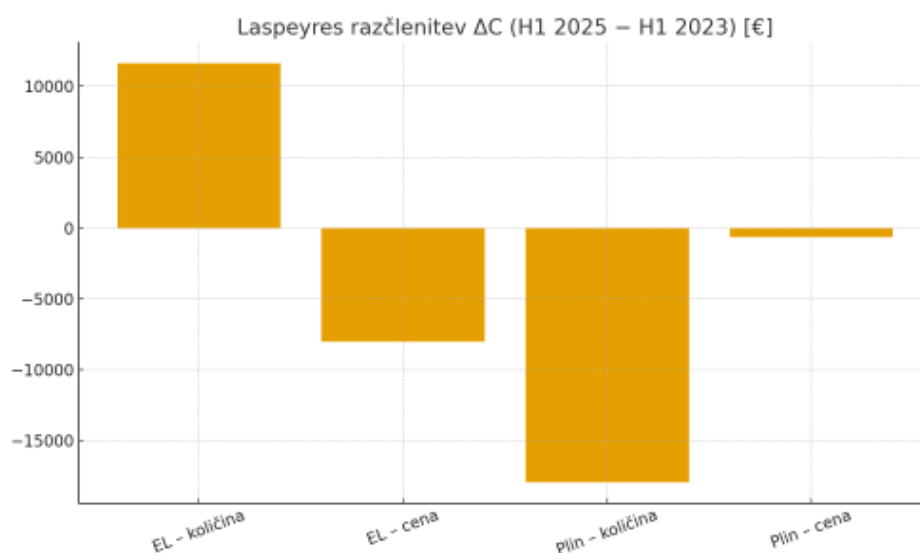
$Q_1 \times (p_1 - p_0)$ = cenovni učinek energenta

Finančni učinek po Laspeyresu:

$$\Delta C = (Q_1^{el} - Q_0^{el}) \times p_0^{el} + (p_1^{el} - p_0^{el}) \times Q_1^{el} + (Q_1^{plin} - Q_0^{plin}) \times p_0^{plin} + (p_1^{plin} - p_0^{plin}) \times Q_1^{plin}$$

$$\Delta C = (100169 - 54649) \times 0,2555447 + (0,1752513 - 0,2555447) \times 100169 + (16951 - 174853) \times 0,1136569 + (0,0745897 - 0,1136569) \times 16951 = 11632,39 - 8042,90 - 17946,65 - 662,23 = 15.019,39 \text{ €}$$

Iz razcepa lahko točno razberemo, kakšen vpliv sta imela količina porabljenega energenta in cena energenta, prikazan je na spodnjem grafu:



Slika 20: Vpliv cene in količine energentov
(Lastni vir)

Na sliki 20 vidimo, kolikšen vpliv na zmanjšanje stroškov energentov je imela cena energenta in kolikšen njegova količina. Količina porabljene elektrike je bila leta 2025 v primerjavi z letom 2023 občutno višja, kar je dvignilo strošek energentov. A ker je bila efektivna cena elektrike nižja, se vpliv povečanja količine porabljene elektrike razpolovi. Dodatno znižanje stroškov energentov pa povzroči občutno znižanje porabe plina, ki prispeva največji prihranek. Cena plina se tudi zniža, a je količina porabljenega plina tako nizka, da skoraj nima vpliva. Če pogledamo številke, je znašal strošek porabljene večje količine elektrike +11.632,39€, nižja efektivna cena elektrike v letu 2025 v primerjavi z letom 2023 pa je zmanjšala strošek elektrike za -8042,90€. Skupna razlika stroška za elektriko je znašala +3589,49€. Pomeni, da je bil račun za elektriko v prvem polletju leta 2025 glede na leto 2023 večji za +3589,49€.

Pri plinu je znašal količinski učinek -17.946,65€, cenovni učinek pa -662,23€. Skupni finančni učinek zmanjšane porabe plina in spremembe cene plina je tako znašal -18.608,88 €.

8 KOMENTAR IN ZAKLJUČEK

Analiza tehnologije sončne elektrarne ŠRC Ježica in njenega vključevanja v sistem skupnostne samooskrbe Mestne občine Ljubljana je pokazala, da projekt predstavlja primer uspešne izvedbe energetske prenove javnega objekta. Rezultati potrjujejo, da tehnične rešitve, kot so bifacialni moduli, optimizatorji in napreden nadzorni sistem, zagotavljajo visoko stopnjo učinkovitosti in stabilno proizvodnjo električne energije. Projekcija proizvodnje kaže, da lahko elektrarna z nazivno močjo 121,9 kWp proizvede približno 124.792 kWh električne energije na leto, kar ustreza specifičnemu donosu okoli 1023,7 kWh/kWp. Izvedeni finančni izračuni so pokazali, da se investicija v višini 123.735 € povrne v približno 6 letih, neto sedanja vrednost pri petodstotni diskontni stopnji ostaja pozitivna, interna stopnja donosnosti pa presega 7 %, kar potrjuje dolgoročno ekonomsko upravičenost projekta.

Pomemben del naloge je bila vključitev dejanskih računov za elektriko in plin za obdobje 2023–2025 ter uporaba metodoloških orodij, kot sta vremenska normalizacija porabe plina in Laspeyresova razčlenitev stroškov. Ti postopki so omogočili, da smo ločili vplive zunanjih dejavnikov (vreme, cene energentov) od dejanskih učinkov energetske prenove in obratovanja sončne elektrarne. Rezultati jasno kažejo, da se je poraba plina po prehodu na toplotne črpalke zmanjšala iz 174.853 kWh v letu 2023 na okoli 16.951 kWh v letu 2025 (prvo polletje 2023 in 2025), kar pomeni več kot 90 % zmanjšanje porabe. Stroški elektrike so se sicer povečali zaradi večje rabe, a jih pomembno zmanjšuje proizvodnja SE Ježica, ki objektu prinaša približno 11.000 € letnih prihrankov.

Z vidika Mestne občine Ljubljana projekt potrjuje pravilnost strateške usmeritve v oblikovanje skupnostnih energetskih shem. Model javno - zasebnega partnerstva se je izkazal kot učinkovito orodje, ki omogoča delitev investicijskih in operativnih tveganj, hkrati pa zagotavlja javnim ustanovam stabilne in predvidljive prihranke. Posebej pomembno je, da projekt Zelena energija MOL presega zgolj ekonomske učinke: prispeva tudi k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov za približno 60 ton CO₂ letno, izboljšanju energetske neodvisnosti občinskih objektov in krepitvi trajnostne podobe mesta.

Sklepno lahko ugotovimo, da je sončna elektrarna Ježica uspešno integrirana v lokalni energetski sistem ter da njeni učinki potrjujejo vrednost projektov skupnostne samooskrbe kot enega ključnih mehanizmov pri doseganju ciljev nacionalne energetske politike in Evropskega zelenega dogovora. Naloga obenem pokaže, da je za celovito vrednotenje tovrstnih projektov nujna kombinacija tehnične, finančne in metodološke analize, ki omogoča realno presojo doseženih rezultatov in podaja smernice za nadaljnje projekte na področju trajnostne energetike.

9 LITERATURA IN VIRI

Agencija Republike Slovenije za okolje – ARSO. (2023-2025). *Mesečni bilteni o podnebnih razmerah*. Pridobljeno 15. 9. 2025 z naslova <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/bulletins/>

Babič, D. (2024). *Analiza obratovanja in ekonomske učinkovitosti sončne elektrarne logistični center BTC*. Pridobljeno 25.8.2025 z naslova <https://bb.si/f/docs/diplomska-dela/Analiza-obratovanja-in-ekonomske-ucinkovitosti-soncne-elektrarne-Logi.pdf>

Direktiva (EU) 2018/2001 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 11. decembra 2018 o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov (prenovitev). Uradni list Evropske unije, št. L 328/82. Pridobljeno 12.9.2025 z naslova <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=DE>

Dvorana Ježica. (2025). Dvorana Ježica. Pridobljeno 3.9.2025 z naslova <https://www.sport-ljubljana.si/dvorana-jezica/>

Energetika Ljubljana. (2025). *Ceniki oskrbe z električno energijo in plinom*. Pridobljeno 10. 9. 2025 z naslova <https://www.energetika.si/ceniki-0>

EPIA.(2013). *Sončne elektrarne. Energija, ki nam jo nudi sonce*. Pridobljeno 2.9.2025 z naslova <http://www.ape.si/publikacije.html>

European Commission, Joint Research Centre. (2025). PVGIS – *Photovoltaic Geographical Information System*. Pridobljeno 10. 8. 2025 z naslova https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

Finance. (2025). *Resalta je na strehah mestne občine Ljubljana zgradila 51 sončnih elektrarn*. Pridobljeno 15.8.2025 z naslova <https://www.finance.si/okolje-%26-energija/resalta-je-na-strehah-mestne-obcine-ljubljana-zgradila-51-soncnih-elektrarn/a/9033231#:~:text=name-stili%20za%20pet%20megavatov%20mo%C4%8Di,ur%20elektri%C4%8Dne%20energije%20na%20leto>

JZ Šport Ljubljana. (2023). Interno gradivo: *Pogodba o pristopu JZ Šport Ljubljana k skupnosti samooskrbe*. Ljubljana: JZ Šport Ljubljana.

Lovrenčič, V. (2023). *Varovanje okolja in varstvo pri delu*. Študijsko gradivo pri predmetu VOVD. Ljubljana: Višja strokovna šola B&B.

Mestna občina Ljubljana. (2023). Interno gradivo: *Odlok o javno-zasebnem partnerstvu za projekt Zelena energija*. Uradni list RS, št. 45/23.

Mestna občina Ljubljana. (2023). Interno gradivo: *Pogodba o skupnostni samooskrbi z električno energijo*. Ljubljana: MOL.

Mestna občina Ljubljana. (2023). Interno gradivo: *Pogodba o ustanovitvi skupnosti za samooskrbo z električno energijo*. Ljubljana: MOL.

Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo. (2012-2025). *Energetska prenova javnih stavb*. Pridobljeno 17.9.2025 z naslova <https://www.energetika-portal.si/podrocja/energetika/energetska-prenova-javni-hstavb/>

Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo. (2012-2025). *Nacionalni energetske in podnebne načrte*. Pridobljeno 17.9.2025 z naslova <https://www.energetika-portal.si/dokumenti/strateske-razvojni-dokumenti/nacionalni-energetski-in-podnebni-nacrt-2024/>

National Geographic (2025). Solar Energy. Pridobljeno 17.8.2025 z naslova <https://education.nationalgeographic.org/resource/solar-energy/>

Papler, D. (2011). *Naložbe v trajnostne vire energije*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani.

Papler, D. (2025). *Učinkovita raba energije in obnovljivi viri energije*. Študijsko gradivo pri predmetu UROVE. Ljubljana: Višja strokovna šola B&B.

Papler, D. (b. l.). *Energetsko knjigovodstvo*. Interna skripta. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani.

PV portal. (2007-2025). *Fotovoltaika-energija sonca*. Pridobljeno 15.8.2025 z naslova <http://pv.fe.uni-lj.si/sl/fotovoltaika/osnove/>

Renesola. (2022). *Renesola-Energy*. Pridobljeno z naslova https://www.renesola-energy.com/product_1/8.html

SIST EN 62446-1. (2016). *Fotovoltaični sistemi – Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje – 1.del: Sistemi priključeni na omrežje – Dokumentacija, prevzemni preskusi in nadzor*. Pridobljeno 7.9.2025 z naslova <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/25293/0235aa467dc64540a9bd4b54f9863758/SIST-EN-62446-1-2016.pdf>

SODO. (2024). *Sistemska obratovalna navodila za distribucijski sistem električne energije*. Pridobljeno 2.9.2025 z naslova <https://www.sodo.si/storage/app/uploads/public/66e/3d3/8fe/66e3d38fe06b5432671141.pdf>

SZPV 512:2022. (2022). *Smernice za požarno varnost pri vgradnji sončnih elektrarn*. Ljubljana: Slovensko združenje za požarno varstvo.

TSG-N-002:2021. (2021). *Tehnične smernice za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah*. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor.

TSG-N-003:2021. (2021). *Tehnične smernice za zaščito stavb pred delovanjem strele*. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor.

Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije. (2022). *Uradni list RS*, št. 43/22.

Wikipedia (2025). *Concentrated solar power*. Pridobljeno 3.9.2025 z naslova https://en.wikipedia.org/wiki/Concentrated_solar_power

Wikipedia. (2025). *Solar Power*. Pridobljeno 5.9.2025 z naslova https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power

Wikipedia. (2025). *Edmond Becquerel*. Pridobljeno 5.9.2025 z naslova: https://en.wikipedia.org/wiki/Edmond_Becquerel

Zakon o spodbujanju rabe obnovljivih virov energije (ZRSOVE). (2021). *Uradni list RS*, št. 121/21.