

Poročilo C1.1, Zvezek 5b

Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in
srednjeročni izzivi

Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050

Končno poročilo

LIFE ClimatePath2050 (LIFE16 GIC/SI/000043)

Poročilo *Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050* je del pregleda novih tehnologij pripravljenega v okviru projekta *LIFE Podnebna pot 2050, Slovenska podnebna pot do sredine stoletja* (LIFE ClimatePath2050 »*Slovenian Path Towards the Mid-Century Climate Target*«, LIFE16 GIC/SI/000043). Projekt izvaja konzorcij, ki ga vodi Institut »Jožef Stefan« (IJS), s partnerji: ELEK, načrtovanje, projektiranje in inženiring, d. o. o., Gradbeni Inštitut ZRMK (GI ZRMK), d. o. o., Inštitut za ekonomska raziskovanja (IER), Kmetijski inštitut Slovenije (KIS), PNZ svetovanje projektiranje, d. o. o., Gozdarski inštitut Slovenije (GIS) in zunanjimi izvajalci.

ŠT. POROČILA/REPORT N.:

IJS-DP-12619, ver. 1.1

DATUM/DATE:

14. junij 2018

(dopolnjeno 2021, dodan povzetek)

AVTORJI/AUTHORS:

dr. Marko Kovač

mag. Andreja Urbančič

mag. Damir Staničič, vsi IJS

REPORT TITLE/NASLOV POROČILA:

Deliverable C1.1: Climate Mitigation 2050 Potentials and Mid-term Challenges
Part 5b: Photovoltaic Rooftop Potential in Slovenia by 2050

Poročilo C1.1: *Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in srednjeročni izzivi*

Zvezek 5b: *Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050*

Vsebina

Povzetek	5
Summary	9
1 Uvod.....	12
2 Pregled literature	13
2.1 Potencial solarne energije za Slovenijo	13
2.2 Računski postopki	15
2.2.1 Statistični pristop s predpostavljeno porazdelitvijo izkoristka streh	16
3 Vhodni podatki	19
3.1 Osončenje	19
3.2 Površine	20
3.2.1 Stavbe	21
3.2.2 Parkirišča	23
3.2.3 Degradirana območja	25
3.2.4 Potencialna območja primerna za postavitve PV	25
3.3 Vpliv klimatskih sprememb	26
3.4 Degradacija celic	28
3.5 Povečevanja izkoristka PV panelov	28
3.6 Izkoristek površin	30
3.7 Ovire	30
3.7.1 Omrežje	30
3.7.2 (Dolgotrajno) shranjevanje	33
3.8 Ekonomski parametri za potencial	35
3.8.1 Cena postavitve strešne PV elektrarne	38
3.8.2 Referenčni stroški električne energije	43
4 Ocene in verifikacija	44
4.1 Tehnični potencial	44
4.1.1 Povprečenje po celotni Sloveniji	44
4.1.2 Lokalno povprečenje z upoštevanjem stopnje urbanizacije	44
4.2 Ekonomski potencial	47
4.2.1 Namembnost stavb	47

4.2.2	Skupni referenčni stroški električne energije	49
4.2.3	Ocena letnih stroškov glede na predhodne scenarije	52
5	Zaključek	55
6	Seznami	56
6.1	Seznam oznak in okrajšav	56
6.2	Seznam slik	56
6.3	Seznam tabel	57
7	Reference	58

Povzetek

V okviru projekta LIFE Podnebna pot 2050¹ je bilo pripravljeno *Poročilo C1.1, Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in srednjeročni izzivi*, v katerem so predstavljene glavne ugotovitve analize potencialov za zmanjšanje emisij TGP, pripravljene v okviru projekta v obdobju med 2017 in 2021. Rezultati analiz so bili s pomočjo modelov, razvitih ali nadgrajenih v projektu, uporabljeni za modeliranje ukrepov, scenarijev in njihovih učinkov², kar je bilo ključna strokovna podlaga za *Dolgoročno podnebno strategijo Slovenije do leta 2050 (DPSS)*, *Nacionalnega energetskega podnebnega načrta Republike Slovenije (NEPN)*³; *Dolgoročne strategije energetske prenovе stavb do leta 2050*, *Operativnega programa nadzora nad onesnaževanjem zraka (OP NOZ)* in drugih strateških dokumentov.

Dokumentacijo analize potencialov oz. *Poročilo C1.1, Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in srednjeročni izzivi* sestavlja več zvezkov:

- **Zvezek 0, Povzetek za odločanje**, kjer so izpostavljeni glavni rezultati analize potencialov;
- **Zvezek 1, Vloga novih tehnologij in goriv ter njihova perspektiva po sektorjih**, vključuje pregled tehnologij za katere se na podlagi inženirske ocene predvideva, da bi lahko v nekoliko daljši prihodnosti pomembno prispevale k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. Obravnavane so naslednje tehnologije: shranjevanje energije – toplotne in električne, vpliv shranjevanja energije na razvoj drugih tehnologij, gorivne celice, toplotne črpalke in odvečna toplota, vozila na električen in alternativne pogone (vodikove, plinske in druge), rešitve na področjih pametnih omrežij in snovne učinkovitosti ter prihodnje tehnologije v kmetijstvu;
- **Zvezek 2, Stavbe**, v katerem so celovito prikazani potenciali na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju stavb. Podan je pregled tehnologij in rešitev za zmanjšanje emisij TGP na ovoju stavbe, v sistemih v stavbah, prezračevanju, gospodinjskih aparatih in povzetek analize za razsvetljavo (celotna analiza je v Zvezku 7)⁴. Vključuje tudi dve posebni analizi: potencialov za zmanjšanje emisij TGP v stavbah kulturne dediščine in povzetek analize finančnih zmožnosti gospodinjstev za izvedbo ukrepov (celotna analiza je v Zvezku 2a). Predstavljena je tudi tipologija stavb, ki je osnova nadaljnjih analiz ter rezultati z oceno tehničnega in ekonomskega potenciala;
- **Zvezek 3, Promet**, v katerem je celovito prikazano potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju promet. Vključuje poglavja o ukrepih za zmanjšanje emisij TGP v prometu, dejavnikih, ki vplivajo na prometno delo, analizo novih tehnologij in storitev ter osnove za ocenjevanje vpliva na prometno delo, zmanjšanje emisij ter

¹ LIFE ClimatePath2050 (*Slovenian Path Towards the Mid-Century Climate Target*)

² Poročilo C3.2. Povzetek analize scenarijev za odločanje o Dolgoročni podnebni strategiji Slovenije do leta, Poročilo projekta LIFE Podnebna pot 2050.

³ Obveznost pogodbenic za pripravo dolgoročne strategije razvoja, usmerjenega v družbo z nizkimi emisijami toplogrednih plinov, je opredeljena v 4. členu 19. odstavku *Pariškega sporazuma*.

⁴ Horizontalna analiza tehnologij za področje razsvetljave za več sektorjev je podana v *Poročilu C1.1, Zvezku 7*.

druge koristi in vplive, obširno poglavje o e-mobilnost ter o alternativnih gorivih v prometu;

- **Zvezek 4, Industrija**, ki vključuje celovit prikaz potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju industrija. Zvezek povzema pregled tehnologij po panogah, tehnologije na področjih izkoriščanja odvečne toplote in obnovljivih virov energije ter drugih horizontalnih tehnologij. Podani so rezultati ankete o porabi energije v industriji, ocena tehničnega potenciala za zmanjšanje emisij TGP v energetske intenzivnih dejavnostih in horizontalnih tehnologij ter izhodišča za analizo potenciala za zmanjšanje emisij z ukrepi na področju snovne učinkovitosti v industriji;
- **Zvezek 5, Transformacije**, ki vključuje celovit prikaz potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju transformacij. Zvezek obravnava tehnične in ekonomske potenciale za hidroelektrarne, sončne elektrarne, jedrske elektrarne tehnološki in gorivni prehod (*technology switch*), zajem in shranjevanje ogljika, soproizvodnjo toplote in električne energije, male hidroelektrarne, fleksibilne tehnologije (*smart flex technology*), vetrne elektrarne na kopnem, napredna (pametna) omrežja, geotermalne elektrarne in koncentratorske sončne elektrarne. Shranjevanje električne energije, je v celoti, vključno s potenciali za prodor zrelih tehnologij, obravnavano v Zvezku 1;
 - **Zvezek 5a, Analiza potenciala plitve geotermalne energije v Sloveniji do leta 2050**, ki vključuje ekonomske vidike izkoriščanja geotermalne energije, dejavnike in omejitve njenega izkoriščanja, pripravo koncepta in modela za izračun potenciala, izračun na primeru Maribora in analizo potenciala za gosto poseljena območja za celotno Slovenijo;
 - **Zvezek 5b, Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050**, celovit prikaz potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP s pridobivanjem električne energije v Sloveniji iz strešnih elektrarn in samostojnih elektrarn na degradiranih območjih. Analiza vključuje podatke o osončenju, površinah, klimatskih pogojih, degradaciji tehnologije z leti, razvoj tehnologij, možnih izkoristkih površin, ovirah, glede omrežja in povpraševanja oz. možnosti shranjevanja energije, ekonomske parametre za ocen potenciala, ter oceno tehničnega in ekonomskega potenciala.
 - **Zvezek 5c, Študija orientacij streh obstoječega stavbnega fonda v Sloveniji**, ki pomeni nadgradnjo analize potenciala sončnih elektrarn z natančnejšo analizo orientacije streh v Sloveniji na podlagi katastra stavb in aerolaserskega skeniranja, izračune ter rezultate izračunanih segmentov po razredih nagibov in orientacije streh;
- **Zvezek 6, Ostali sektorji - LULUCF**, kjer je celovito prikazano stanje na področju zmanjševanja emisij TGP in povečevanja ponorov v sektorju rabe zemljišč, spremembe rabe zemljišč in gozdarstvo (LULUCF), kjer so podani ukrepi in tehnični potencial na gozdnih, kmetijskih in drugih zemljiščih. Podana so tudi izhodišča za vrednotenje ekonomskega potenciala;
- **Zvezek 7, Analiza - razsvetljava v Sloveniji do leta 2050**, v kateri so predstavljene perspektive na področju razvoja tehnologij in njihove uporabe v gospodinjstvih, industriji

in stavbah storitvenega sektorja ter zunanje razsvetljave, vključno z novimi tehnologijami;

- **Zvezek 8, Analiza dejavnikov, povezanih s finančnimi sposobnostmi gospodinjstev, ki vplivajo na odločanje o investicijah za učinkovito rabo energije**, ki podaja in dokumentira analizo v celoti. Predstavljeni rezultati vključujejo: značilnosti gospodinjstev, ki so izvedla posamezne investicije za učinkovito rabo energije, ki so uporabila spodbude Eko sklada, glede njihove opremljenosti in glede na sposobnosti za financiranje potrebnega obsega investicij;
- **Part 9. Financiranje prehoda v nizkoogljično družbo v Sloveniji – ključni izzivi in strateške usmeritve**, naslavlja naslednje vsebine in izzive: trenutno strukturo javnega financiranja, ki je pomembna za podnebje, naložbe v nizkoogljične možnosti, institucionalna ureditev, povezana z upravljanjem javnih podnebnih financ, ureditev finančnega sektorja, vprašanja distribucije in sprejemljivosti;
- **Zvezek 10: Metodologija**, v katerem so podana izbrana poglavja o metodologijah za ocene potencialov: okvir za oceno tehničnega in ekonomskega potenciala za izkoriščanje plitve geotermalne energije, ocena potenciala sončne energije, analiza dejavnikov povezanih s finančnimi sposobnostmi gospodinjstev za izvedbo ukrepov URE in OVE ter ocena potenciala za izkoriščanje odvečne toplote v industriji. V tem poročilu so izpostavljene izbrane metodologije, opisi ostalih uporabljenih metodologij so podani v posameznem zvezku;
- **Dodatek 1: Povzetek rezultatov in gradiva tehničnih delavnic**, obsega Poročilo o delavnici, program delavnice in predstavitev z delavnic: *Izkoriščanje trde biomase v energetske namene in potenciali do leta 2050*, poroči in *Prihodnost zemeljskega plina in razvoj niskoogljičnih nadomestnih goriv* obsega. Za gradiva z ostalih delavnic na področjih analize potencialov glej spletno stran projekta (*Poročilo 5.3. Gradiva objavljena na spletni strani projekta - sinteza delavnic analize scenarijev*).

Pričujoči dokument je **Zvezek 5b, Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050**.

Namen raziskave in poročila »*Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050*« (*Photovoltaic Rooftop Potential in Slovenia by 2050*) je ocena potenciala za proizvodnjo električne energije iz solarnih panelov montiranih na strehe obstoječih objektov (na primer hiš, stanovanjskih blokov, gospodarskih industrijskih in upravnih poslopij) ter degradiranih površin in tudi parkirišč do leta 2050.

Raziskava je bila izvedena v okviru projekta LIFE Podnebna pot 2050 in zajema kritičen pregled literature na področju ocene potencialov fotovoltaičnih sistemov za več različnih držav, pri čemer je zajetih več različnih metodologij, posebna pozornost pa je namenjena pridobivanju ustreznih parametrov. Oboje je bilo uporabljeno za izračun tehničnih in ekonomskih potencialov za pridobivanje električne energije v Sloveniji tako iz strešnih elektrarn (pri čemer se je predpostavilo tudi možnost pokritja in izkoristka obstoječih parkirišč), kot tudi samostojnih elektrarn na degradiranih območjih. Za oceno je bil uporabljen agregiran pristop, ki je bil uporabljen tudi v številnih podobnih raziskavah. Uporabljen pristop je upošteval geografske razlike v Sloveniji (npr. glede osončenosti in urbanizacije), navedene pa so bile tudi nekatere

ovire, kot so nepripravljenost omrežja na večje količine razpršene proizvodnje in problem presežka ponudbe oziroma shranjevanja električne energije (pojav račje-krivulje).

Ocenjen tehnični potencial v Sloveniji predstavlja skoraj dvakratnik sedanje proizvodnje električne energije v Sloveniji. Glede na podatke in upoštevanju investicijskih stroškov (med 820-960 EUR/kW_{el} v letu 2020 in 595-700 EUR/kW_{el} v letu 2070) so bili ocenjeni skupni referenčni stroški električne energije iz fotovoltaičnih panelov glede na površino streh stavb. Ti tako znašajo med 70 in 170 EUR/MWh_{el} za leto 2020 in padejo na 40-105 EUR/MWh_{el} do leta 2050. Izračunani skupni referenčni stroški električne energije za Slovenijo so primerljivi s cenami pridobljenimi za druge podobne države.

Summary

The *Deliverable C1.1, A composite report: Climate Mitigation 2050 Potentials and Mid-term Challenges* presents the main findings of the analysis GHG emissions reduction potential prepared in the frame of the project LIFE ClimatePath2050⁵ in the period between 2017 and 2021. The results of the analyses of potentials were used in the models, developed or upgraded in the project for the assessment of several scenarios of measures as regards GHG emission reduction, air emission reduction, socio-economic impacts and impacts on sectorial development targets. The analyses were key expert basis for *Slovenian climate long-term strategy 2050 (LTS)*, final version of the *Integrated national energy and climate plan of the Republic of Slovenia (NECP)*, *National air pollution control programme* and *Long-term energy renovation strategy for 2050 (DSEPS 2050)* and other strategic documents.

The *Deliverable C1.1, A composite report: Climate Mitigation 2050 Potentials and Mid-term Challenges* consists of the following parts:

- **Part 0, Summary for decision-makers**, highlights the key results of the analysis of potentials;
- **Part 1, Role of new technologies and fuels and their perspectives by sector**, includes an overview of the GHG reduction potential of the following new technologies and fuels: electrical and thermal storage (short- and long-term), the impact of storage system on the deployment of the other technologies, fuel cells, waste heat and heat pumps, alternative fuels and electric mobility for transport of passengers and goods, smart grids, new technologies in agriculture and also potential for energy efficiency through material efficiency was presented;
- **Part 2, Deep renovation of buildings**, in this part, a comprehensive presentation of potentials for GHG reduction in building sector is given, including an overview of technologies and solutions on building envelope, heating and cooling systems in the buildings, household appliances and lighting (a summary⁶). Two specific analyses are included: analysis of GHG reduction potential at cultural heritage buildings and a summary of the analysis on financial capabilities of households to implement renewable energy (RES) and energy efficiency (EE) measures⁷. In this part, also includes a new typology of buildings, being a basis of the further analyses, and presents the final the results of the assessment of technical and economic potential for GHG emissions reduction in buildings.

⁵ LIFE ClimatePath2050 (*Slovenian Path Towards the Mid-Century Climate Target*)

⁶ In *Part 2*, summary on lighting in buildings is included, the entire analysis on prospect of lighting until 2050, is presented in *Deliverable C1.1, Part 7*, was carried out by external assistance of Fakulteta za elektrotehniko/Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana.

⁷ *Deliverable C1.1, Part 2a, Analysis of factors related to the financial capacity of households influencing energy efficiency investment decisions*, includes the entire analysis, carried out by external assistance of Center poslovne odličnosti Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, CPOEF, Centre of Business Excellence of the School of Economics and Business, University of Ljubljana,.

- **Part 3, Transport**, includes overview of potentials for GHG reduction in the transport sector. Includes chapters on GHG reduction measures in transport, factors influencing transport load, analysis of new technologies and services and basis for estimation of the impacts on transport load, emission reduction, other benefits and impacts, e-mobility and alternative fuels in transport;
- **Part 4, Industry**, includes overview of potentials for GHG reduction in the industrial sector. The overview of technologies includes technologies used in energy intensive branches by branch, waste heat use and horizontal technologies including energy efficient electric motors, compressed air, lighting, renewable energy technologies and cogeneration. The report presents also results of the pool among industrial companies and is concluded by the results of the assessment of technical potential for GHG emissions reduction in energy intensive industrial branches and by horizontal technologies;
- **Part 5, Transformation**, includes results of the analysis of GHG emission reduction potentials in the transformation sector. The analysis comprise overview of technical and economic potentials for hydroelectric power plants, solar power plants (summary), nuclear power plants, technology and fuel switching, carbon capture and storage, cogeneration of heat and electricity, small hydropower plants, smart flex technology, onshore wind farms, advanced (smart) networks, geothermal power plants and concentrator solar power plants. The energy storage is entirety, including the potential for penetration of mature technologies, discussed in Part 1 on new technologies;
 - **Part 5a, The analysis of shallow geothermal energy potential in Slovenia until 2050**, consists of overviews of economic aspects of geothermal energy exploitation, the other factors and limitations, preparation of concept and model for potential calculation, results for the case study Maribor and results of the analysis of potential for densely populated areas Slovenia;
 - **Part 5b, The analysis of the Photovoltaic Rooftop Potential in Slovenia by 2050**, provides a comprehensive presentation of potentials for reducing GHG emissions in Slovenia by electricity from rooftop PV systems and stand-alone systems in degraded areas Analysis includes data on insolation, surfaces, climatic conditions, technology degradation over the years, technology development, possible surface utilization, barriers, electricity grid, demand, energy storage options, economic parameters for potential assessments, and the results of the assessment of technical and economic potential;
 - **Part 5c, Study of roof orientations of the existing building stock in Slovenia**, presents results of an upgrade of the analysis photovoltaic rooftop potential, including a more detailed analysis of roofs orientation. The analysis includes data on cadastre and airborne laser scanning, calculations and results of the calculated segments by classes of slopes and roof orientation;
- **Part 6, Other Sectors - LULUCF**, which presents the situation in the field of reducing GHG emissions and increasing sinks in the sector of land use, land use change and forestry (LULUCF), and gives overview of measures and analysis technical potential in forest, land and other land categories.

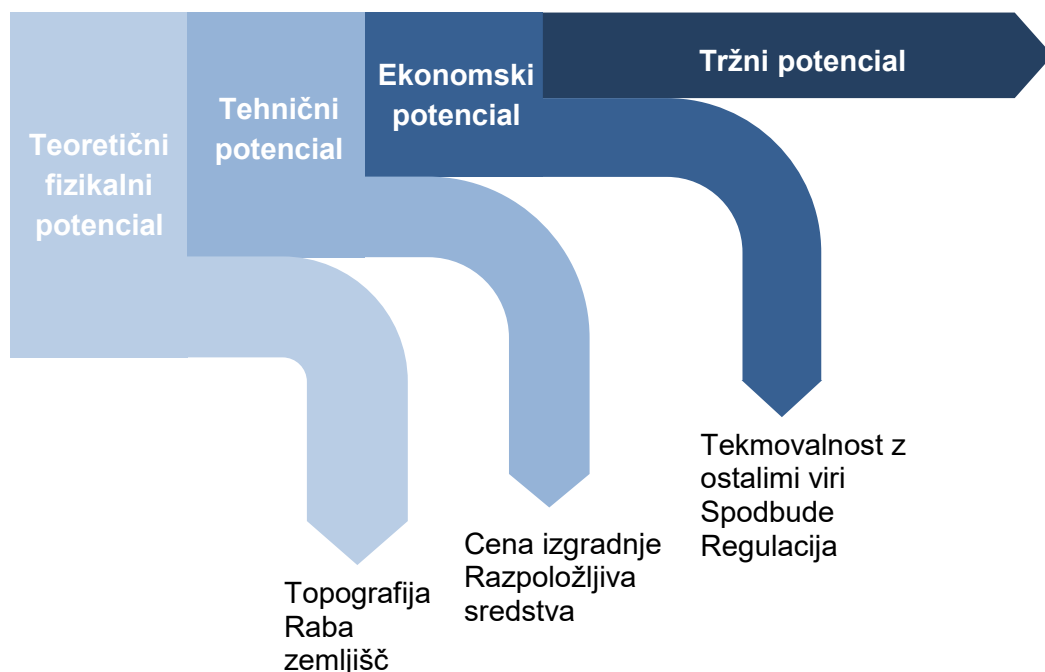
- **Part 7, Analysis lighting in Slovenia until 2050**, which presents perspectives in the field of lighting technology development and their use in households, industry and buildings of the service sector and outdoor lighting, including new technologies.
- **Part 8, The Analysis of financial capacity factors influencing investment choices of end users**, includes analyses of characteristics of households that have made individual investments for energy efficiency, which have used the incentives of the Eco fund, characteristics of households and their equipment, and in terms of ability to finance the required volume of investments;
- **Part 9, Financing transition to low-carbon society in Slovenia - Key challenges and guidance towards policy strategies**, is addressing the following topics and challenges: current structure of public financing with climate relevance, investments in low-carbon options, institutional set up related to the governance of public climate finances, financial sector's set-up and distributional issues and acceptance;
- **Part 10, Methodology**, which provides selected chapters on methodologies for potential assessments: framework for assessing technical and economic potential for shallow geothermal energy, assessment of solar energy potential, analysis of factors related to household financial capacity to implement EEU and RES measures and assessment of the potential for exploitation of excess heat in industry. Selected methodologies are highlighted in this report, while the other methodologies are described in parts 1-7 of this composite report;
- **Supplement 1: Summary of results and materials of technical workshops** includes summaries of the outcomes, agendas and presentations of workshops: *Exploitation of solid biomass for energy purposes and potentials until 2050, reports and The future of natural gas and development of carbon-free alternative fuels includes*. Material of the other workshops on the analysis of potentials, see the project website (and *Deliverable C5.3, Documentation published on the project web page: A Synthesis of Outcomes and Documentation of Workshops on Scenario Analysis*).

1 Uvod

Namen raziskave Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov je določitev največje količine energije, ki bi jo v tipičnem meteorološkem letu lahko pridobili iz sončnih elektrarn, ki bi bile do leta 2050 postavljen na strehah že zgrajenih objektov. Omejitev na zgrajene objekte je logična, saj okolja ne želimo dodatno obremenjevati z novimi konstrukcijami ali celo zgradbami. Zato je tej površini pridružena še površina parkirišč in degradiranih območij.

Potenciali so lahko različnih vrst in z različnimi predpostavkami, kar je smiselno poznati, da se tako lahko izognemo določenim metodološkim napakam. Slika 1 prikazuje primer zaporedja potencialov povzeto po (1) (2):

- **Teoretični fizikalni** (solarni) potencial zajema vso vpadlo energijo ne glede na ekonomsko, okoljsko in druge sprejemljivosti.
- **Tehnični potencial** je omejen na namenska področja (npr. obstoječe stavbe, degradirana območja) z upoštevanjem tehnoloških zmožnosti (npr. izkoristki).
- **Ekonomski potencial** upošteva še različno stopnjo ekonomske opravičljivosti tehničnega potenciala, npr. cena izgradnje in razpoložljiva sredstva.
- **Tržni potencial** pa poleg tega upošteva še primernost izbranega vira z ostalimi ter regulacije in spodbude pri uveljavljanju vira.



Slika 1: Tipi potencialov in vplivi na njihov izkoristek

Tako pridobljeni ekonomski potencial bo služil kot osnova za naslednji del naloge, ki bo obsegalo modeliranje morebitne proizvodnje električne energije iz fotovoltaičnih panelov v Sloveniji do leta 2050.

Postopek ocene potencialov je razdeljen na posamezne dele. V poglavju Pregled literature je opravljen pregled napovedi potencialov solarne energije za Slovenijo, ki so bili narejeni v preteklosti, nadalje so pregledani računski postopki, vključno s statističnimi in diskretnimi. Pregled zajema primere iz celega sveta z osredotočenjem na tozadevno razvitejše dele. Poglavje Vhodni podatki obravnava poglavitne parametre, s katerimi izvajamo statistično obdelavo: osončenje, površine, klimatske spremembe, degradacija, izkoristek panelov in površin ter morebitne ovire. V poglavju Ocene in verifikacija sta podrobneje ocenjena tehnični in ekonomski potencial na podlagi tako postopkov kot tudi parametrov opisanih v prejšnjih poglavjih. Glavne ugotovitve poročila so povzeta v poglavju Zaključek.

2 Pregled literature

2.1 Potencial solarne energije za Slovenijo

V preteklosti je bilo opravljenih več analiz potenciala solarne energije za Slovenijo. Vendar ker so zadnje celovite ocene stare skoraj desetletje, je smiselni pregled le-teh in nadgradnja z novimi dognanji. Poleg tega pa so potenciali lahko različnih vrst in z različnimi predpostavkami, kar je smiselno poznati, da se tako lahko izognemo določenim metodološkim napakam.

Eden starejših pregledov ocen potenciala za sončno energijo se najde v (3), ki je povzet v Tabeli 1. Podobno raznolike so tudi tuje analize. Tako Poročilo IRENA (4) navaja, da tehnični potencial za sončno energijo znaša 478 GWh, kar je najmanj med vsemi analizami.

Tabela 1: Napovedi potenciala sončne energije (3)

	Teoretični fizikalni potencial [GWh]	Tehnični potencial [GWh]	Skupni ekonomski potencial [GWh]
UL-FS, 2006 (5)		8.555	
UL-FS, 2008 (6)	5.405.153	961	
IREET, 2009 (7)		20.463	
ZSFI, 2010			862
IRENA (4)		478	
BOSON (8)		6500	

Podoben razkorak je tudi pri v scenarijih do leta 2020 in 2030, kot je navedeno v Tabeli 2 (3). Podobno je tudi pri solarnem potencialu do leta 2050, ki ga navaja le Fraunhofer (9), toda količina za Slovenijo je zanemarljiva – 100 GWh.

Tabela 2: Potenciali po scenarijih do leta 2020 oziroma 2030

	Potencial možne dodatne proizvodnje leta 2020 [GWh]	Ciljna vrednost kapacitete ocenjenih projektov za leto 2020 [GWh]	Referenčni scenarij do leta 2020 [GWh]	Intenzivni scenarij do leta 2020 [GWh]	Referenčni scenarij do leta 2030 [GWh]	Intenzivni scenarij do leta 2030 [GWh]
IJS, 2006			6	20	30	100
UL-FE, 2007	37 - 155					
IREET, 2009 (7)		469				
REPAP2020, 2010 (10)			3	80		
Fraunhofer II, 2017 (9)						100
AN OVE VE ⁸ 2015	320					570
AN OVE SE ⁹ 2015	418					916
PRIMES	391					849

Primerjava rezultatov letne proizvodnje v obdobju 2000 – 2016 in zgoraj navedenih analiz kaže, da se je trg fotovoltaične energije v Sloveniji po letu 2010 močno spremenil. V letih 2015 in 2016 (11; 12; 13) (14) je proizvodnja električne energije iz fotovoltaičnih elektrarn dosegla 257 GWh oziroma 274 GWh, kar znese približno 1,9% v Sloveniji proizvedene električne energije. Do umiritve pri investicijah v fotovoltaične elektrarne pa je prišlo po letu 2014, ko so se zmanjšale subvencije.

Šele novejšje projekcije, nastale po letu 2015, so uspele upoštevati te fenomene. Slika 2 levo prikazuje različne napovedi in podatke o proizvodnji do leta 2020. Opaziti je mogoče, da so starejše študije podcenile potencial zaradi zgoraj navedenih razlogov, novejšje pa ta razvoj deloma že upoštevajo. Ta trend pa se nadaljuje tudi pri novejših projekcijah, kjer pa so razkoraki še vedno ogromni, le deloma pa lahko te razlike pojasnimo z različnimi predpostavkami in metodologijami.

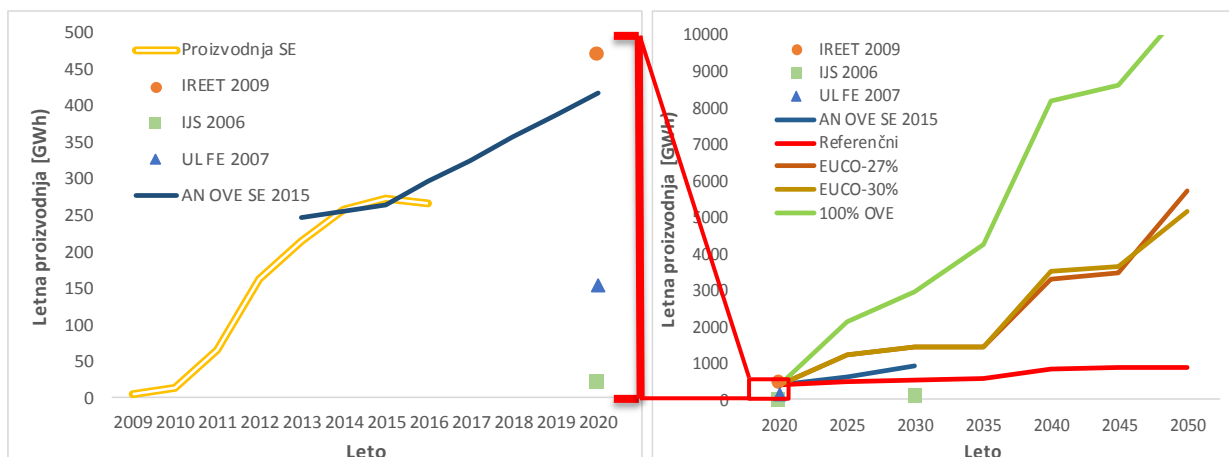
⁸ Scenarij s poudarjeno vetrno energijo.

⁹ Scenarij s poudarjeno sončno energijo.

Tabela 3: Scenariji razvoja sončnih elektrarn do leta 2050

Predvidena letna električna proizvodnja iz PV [GWh]							
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
AN OVE SE 2015	418	611	916				
Referenčni	422	504	554	582	863	875	891
EUCO27	422	1227	1445	1445	3297	3494	5740
EUCO30	422	1227	1460	1460	3509	3661	5169
100% OVE	422	2138	2973	4250	8186	8633	10831

Še večji razkorak pa je pri novejših projekcijah, ki so nastale po podpisu Pariškega sporazuma, ki predvidevajo hiter porast proizvodnje električne energije iz solarnih elektrarn vse do leta 2050, kar je navedeno v Tabeli 3 in prikazano na sliki 2 desno. Pri slednji velja opozorilo, da je skala na ordinati veliko večja, da ustreza smelim napovedim, ki v povprečju napovedujejo 10% letno rast.


Slika 2: Letna proizvodnja fotovoltaičnih elektrarn v Sloveniji z nekaterimi napovedi potencialov

Na podlagi v mnogočem nasprotujočih si podatkov, je smiseln nov vpogled v fizikalne, tehnološke in ekonomske potenciale, ki bo v pomoč nadaljnjim modelom in projekcijam.

2.2 Računski postopki

Pri pregledu literature se v grobem srečujemo z dvema različnima pristopoma. Zelo dober pregled postopkov je mogoče najti v poročilu NREL (15).

Prvi postopek uporablja večje geografske enote za povprečenje parametrov, npr. površina streh, naklon, osončenost. Pri tem se naslanja na nekatere obstoječe idealizirane modele in statistično obdelavo območja. Takšen pristop je uporaben za hitro oceno potenciala na

določenem območju in daje solidne rezultate, če območje ni preveč heterogeno (glede na povprečenja). Z opisanim *top-down* postopkom je bilo poleg v prejšnjem poglavju omenjenih ocen potencialov izvedenih veliko podobnih analiz, tudi in predvsem na nivoju EU (PVGIS) (16).

Z razvojem GIS (geografski informacijski sistem) tehnologije pa se je izoblikoval drugi močno determinističen *bottom-up* pristop, ki iz realnih podatkov (pridobljenih s tehnologijo LiDAR – ang. *Light Detection And Ranging*) konstruira geometrijo naselja (s tem seveda orientacijo in naklone streh) ter nato za vsako površino izračuna potencial za solarno energijo. Navkljub hitremu razvoju tehnologije pa je takšen izračun še vedno dolgotrajen in večinoma omejen na manjša območja, npr. naselja ali občine.

2.2.1 Statistični pristop s predpostavljeno porazdelitvijo izkoristka streh

Za konkretne realne podatke o situaciji glede osončenosti streh v Sloveniji je morda smiselno izvesti GIS študijo in potrditi (ali zavrniti) pristope s povprečenjem opisane zgoraj. V (trenutnem) pomanjkanju konkretnjših podatkov pa se je smiselno nasloniti na že zbrane podatke iz (17) in (1). Trenutno dostopni podatki o površini streh so črpani iz (18), pri čemer upoštevamo, da je površina strehe enaka površini pod stavbo. Prav tako smatramo lahko, da so podane površine zaradi trenutnih gradbenih aktivnosti razmeroma konservativna ocena.

S statističnim pristopom lahko uporabno površino streh $S_{uporabno}$ poenostavljeno izrazimo kot niz vplivnih parametrov:

$$S_{uporabno} = C_{orientiranost} \cdot C_{zapolnjenost} \cdot C_{termični\ koeficient} \cdot C_{pokritost} \cdot C_{senčenje} \cdot \frac{S_{streh}}{\cos(\beta)} \quad (1)$$

Pri čemer $C_{orientiranosti}$ popisuje delež strehe, ki je obrnjen k soncu, $C_{zapolnjenosti}$ popisuje izkoriščenost strehe zaradi pritikin, ki onemogočajo namestitve elektrarne (npr. dimniki, okna), $C_{termični\ koeficient}$ popisuje delež streh, ki je že zaseden s kolektorji, $C_{pokritost}$ popisuje delež panelov, ki ni izkoriščen in $C_{senčenje}$ upad učinkovitosti zaradi senčenja. S_{streh} je površina vseh streh, β pa njen naklon. Za faktorje C_i velja:

$$0 \leq C_i \leq 1 \quad (2)$$

Letni energetski izplen P_E lahko določimo:

$$P_E = \int_{\text{letno}} \eta_{cell}(t) \cdot \eta_{inv}(t) \cdot P_{son}(t) \cdot C_{vreme}(t) \cdot C_{geom}(t) \cdot dt, \quad (3)$$

Pri čemer je η_{cell} izkoristek PV celic, izkoristek η_{inv} inverterja in podpornih sistemov, P_{son} vrednost sončnega obsevanja, C_{vreme} je vpliv vremena (npr. oblačnost) in C_{geom} je geometrijski vpliv (kot sonca napram PV panelu), vse v odvisnosti od časovnega okna.

Celoten (letni) potencial pa je produkt letnega energijskega izplena in uporabne površine streh:

$$E = P_E \cdot S_{uporabno} \quad (4)$$

Zaradi številnih vplivov razvidnih v enačbah (1)-(4) je smiselno nekatere vplive združevati in jih skupno statistično vrednotiti na podlagi agregirani podatkov oziroma uveljavljenih postopkov iz

literature. Zato je smiseln podroben pregled znanstvene literature, ki je opisovala postopke ocene potenciala PV in dobljenih makroskopskih parametrov, ki lahko služijo v pomoč pri naši statistični evalvaciji.

Eden od zgodnejših primerov analize, kjer so avtorji uporabili statistični pristop za evalvacijo celotne države, je analiza Španije (19). Pri tem so ocenili tipično tipologijo gradnje za različne gostote poselitve (4. tipi) in različne vrste naselij (4. vrste), kar je skupaj dalo 16 kombinacij, s katerimi so popisali vso strukturo v Španiji. Skupen produkt korekcijskih faktorjev C iz enačbe (1) znaša med 4,6 in 9,3%. Povprečna potencialna generacija električne energije znaša med 40 in 110 W/m². S podobnim pristopom bi za Slovenijo prišli do nekoliko manjše vsote zaradi manjše energije sončnega obsevanja.

Podoben pristop so ubrali tudi pri postopku opisanem v (20) za analizo pokrajine Piemont v Italiji, kjer so stavbna zemljišča razdelili na rezidenčni in industrijski del ter vsakemu pripisali ustrezne korekcijske faktorje. Iz podatkov za površine streh so potem lahko izračunali potencial za sončne elektrarne. Pri stanovanjskih stavbah je delež primernih streh znašal 6.5 %, pri industrijskih pa 30,4 %. Bruto izkoristek PV panelov (skupaj z inverterjem in ostalimi pripomočki) je znašal med 4-10 %, s 16 % ostalih izgub. Količina energije na površino strehe je znašala med 100 in 110 W/m².

Ameriški pristop v delu (1), ki popisuje potencial PV za celotne (kontinentalne) ZDA, zajema mešan pristop. S tehnologijo LiDAR je analiziranih 127 mest oziroma 23 % stavb v ZDA, kot tipičnih predstavnikov ameriških mest in naselij. Pri tem so stavbe razdelili na tri vrste po velikosti: majhne, do 464 m², 94% stavb in 58% tlorisne površine; srednje, nad 464 do 2322 m², 5% stavb in 18% tlorisne površine ter velike, nad 2322 m², 1% stavb oziroma 24% tlorisne površine. Predpostavili so nagib 15° proti J za ravne strehe in 4 tipične vrednosti za nagnjene strehe s širino območja približno 12.5° ter tudi 5 tipičnih vrednosti zasuka s širino območja 45°. Uporabni delež strehe je bil iz podatkov ocenjen na 70% za ravne strehe in 98% za nagnjene, moč PV modulov pa je znašala približno 160 W/m² ob 16% učinkovitost le-teh in cca 30% izgub na drugih komponentah (inverter ipd.).

Podobno sta izvedena Project Sunroof (21) (22), Googlova analiza podatkov o naklonih streh, in Mapdwell (23), ki prav tako veljata za ZDA. Na žalost so zaradi komercialne narave obeh projektov informacije zelo skope, toda iz podatkov se da sklepati, da so ti pridobljeni za vsako stavbo posebej (nekaj več o tehnologiji je na voljo tule: (24)). Googlova analiza je na voljo za velik del urbaniziranih stavb v ZDA, evropski partnerji pa orodje širijo tudi v Nemčijo (25), Mapdwellova analiza pa je narejena le za nekaj večjih ameriških mest. Toda glede na to, da Google s svojimi 3D modeli pokriva tudi del Slovenije (Ljubljana in Ankaran), to nakazujejo, da bi tak pristop bil mogoč tudi pri nas.

Nizozemski avtorji (26), (27) so izvedli analizo mesta Apeldoorn in njegovega zaledja na podlagi LiDAR podatkov. V nasprotju s prejšnjimi modeli so, pri približno 70% osončenosti v primerjavi s Slovenijo, predvideli potencial streh med 75-140 W/m². Ta je bil dosežen na 37,5 % vseh streh. Hkrati pa podatki kažejo, da so določeni parametri (npr. stopnja osončenosti) uniformno porazdeljeni, kar morda nakazuje uporabnost pristopov s povprečenjem oziroma idealiziranjem.

Nemške raziskave so pričakovano raznolike. Prve ocene potenciala PV so bile pavšalne (28), z napredkom GIS tehnologije pa so hitro začeli uporabljati podatke LiDAR za oceno potenciala, npr. (29) (30), kjer avtorji ocenjujejo, da je kar 50 % površin streh primernih za PV panele. Zelo poglobljena je tudi raziskava (31), kjer sicer uporabljajo statistični pristop, vendar sloni na predhodnih raziskavah z LiDAR podatki. Za Nemčijo je potencial PV ocenjen na 208 GWp, pri čemer potencial posamezne zvezne dežele glede na površino niha med 0,27 in 2,0 GWh/km² s povprečjem 0,68 GWh/km². S stališča širšega pogleda je zanimiv pregled (2), kjer so poleg dela Nemčije zajeti tudi drugi deli EU (npr. Francija, Poljska).

Še bolj temeljito je poročilo (32), kjer so podatki LiDAR uporabljeni za oceno PV potenciala Danske. Pristop je razdelil urbanizirana območja na tri skupine glede na poselitev: mesto, predmestje in podeželje. Pri vsaki skupini je bila še delitev na stanovanjske in gospodarske stavbe ter tudi glede lastnine (zasebni lastniki stanovanjskih stavb se glede nadgradnje hiše s PV elektrarno odločajo nekoliko drugače kot skupinski lastniki). Analiza je pokazala, da je PV potencial znaša 69, 92 oziroma 79 kWh na m² zazidane površine letno za mestno, primestno oziroma podeželsko okolje. Pri prenosu v slovensko okolje, bi te meje znašale 80, 110 oziroma 80 kWh/m². Podobno kot pri drugih analizah je bila tudi tu izvedena analiza glede na površino posamičnih stavb.

Tudi v Sloveniji so bile izvedene nekatere študije potenciala PV, ki so slonele na podatkih LiDAR. Med njimi so opaznejše: (33) (34) (35) in (36). Dr. Lukač v svojih delih celovito obravnava PV potencial, vse od temperaturno odvisnega izkoristka PV panelov (tri vrste panelov), prek časovnega in vremenskega vpliva, senčenja ipd. Za primer je vzel mestno površino v izmeri 1 km², pri tem pa je izplen 110 W/m² stavbnega fonda, ocenjuje pa tudi, da je 20% streh primernih za postavitev elektrarne. Podatke je uspešno verificiral s podatki obstoječe PV elektrarne.

Podoben pristop sta ubrala avtorja (35), ki sta se osredotočila na območje naselja Lavrica. Pri tem sta strehe stavb glede na nagib in zasuk ter primernost lokacije (senčenje) razdelila na 5 kategorij glede primernosti – od slabih (pod 62 % maksimalnega) do idealnih (95 % in več). Iz dobljenih podatkov sta ocenila ekonomski potencial, ki znaša 15,8 % oziroma slabo šestino streh stavb, pri čemer je 2 % streh idealnih, 13,8 % pa zelo dobrih (z izplenom >84 %). Tudi tu je bila uporabljena predpostavka o 16 % izkoristku, moč fotovoltaičnega panela pa znaša 160 W/m².

Z bolj idealiziranimi modeli osončenja stavb oziroma delov naselji so se ukvarjale nekatere študije narejene na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, Univerze v Ljubljani (37) (38) (39) (40).

Pregled številnih študij solarnega potenciala na strehah, ki temeljijo na konkretnih podatkih LiDAR, je bilo zbranih v (41) in (42). V prvem delu so statistično obdelani podatki o 1500 mest, ki so jih pridobili z tehnologijo LiDAR in GIS. Statistična obdelava nakazuje, da je takšno vrednotenje primerno tudi na nivoju celotnih mest. Pri tem podaja tudi zelo preproste modele glede na število prebivalcev, hkrati pa so zbrane reference za številne podrobne raziskave potencialov PV. Drugo delo (42) prav tako povzema nekatere predhodne analize površin streh.

Zbrane analize so večnivojske, tako zajemajo statistična vrednotenja različnih površin, npr. celotnih ali le delov mest, pokrajine ipd. Analiza rezultatov pokaže, da različni pristopi dajo tudi različne rezultate, ki se lahko razlikujejo tudi za trikrat. Pri tem pa je treba opozoriti, da so rezultati za Evropo najbolj konsistentni.

Navedeni so samo nekateri primeri analize potencialov PV elektrarn na strehah stavb z različnimi pristopi glede agregacije rezultatov. Toda skozi vse pristope je mogoče razbrati ponavljajoče se vzorce, ki se nanašajo na:

- **Povprečni delež »uporabnih« streh**, enovit ali glede na gostoto ali tip gradnje, kot je modelsko zapisano v enačbi (1).
- **Povprečno moč strehe oziroma izkoristek PV panelov**, naveza na enačbo (3).

V primeru ocene potenciala fotovoltaičnih elektrarn v Sloveniji je smiselno uporabiti eno od ali kombinacijo zgoraj navedenih raziskav. Pri tem je smiselno Slovenijo razdeliti vsaj na **regije**, prav tako pa je smiselno razdelati po **namenu** in **velikosti** stavb.

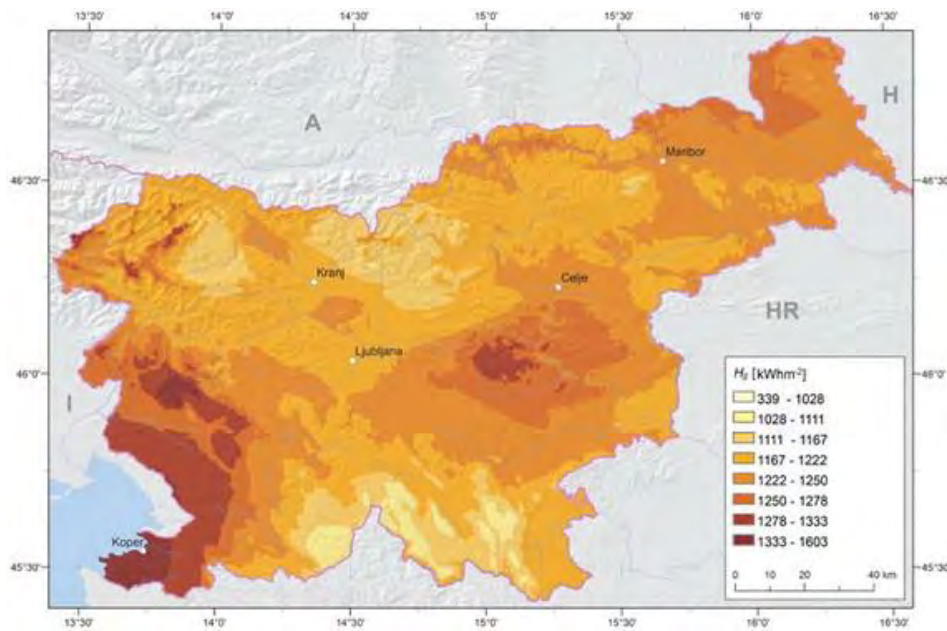
3 Vhodni podatki

Za modeliranje tehničnega in ekonomskega potenciala za fotovoltaične (PV) elektrarne v Sloveniji potrebujemo naslednje podatke:

- Podatke o osončenju (razdelano po lokalnih enotah: pokrajine, občine)
- Ocena deleža razpoložljivih površin
- Vpliv klimatskih sprememb
- Drugi vplivi (npr. degradacija celic)
- Ekonomski parametri za potencial

3.1 Osončenje

Vsi modeli za izračun potencialov za PV elektrarne temeljijo na upoštevanju osončenosti (Slika 3). Pri prenosu drugih modelov na Slovenijo, je potrebno temu prilagoditi tudi podatke o osončenosti. Zaradi nekaterih razlik smo se odločili, da upoštevamo osončenost po pokrajinah (tabela 4). Podatke smo pridobili iz (43). Osončenost sega med 1181 kWh/m² za Savinjsko regijo pa vse do 1342 za kWh/m² za Obalno-kraško regijo. Uteženo povprečje za Slovenijo znaša 1240 kWh/m², kar ustreza podatkom navedenim v drugi literaturi, npr. (43) (44) (45).



Slika 3: Letno obsevanje na horizontalno površino v Sloveniji

Tabela 4: Podatki o osončenosti po pokrajinah

	Površina [km²]	Letna osončenost [kWh/m²]
Gorenjska	2148,5	1202,3
Goriška	2325,7	1321,6
Jugovzhodna	2115,1	1241,5
Koroška	1040,8	1233,0
Notranjsko-kraška	1233,1	1232,1
Obalno-kraška	1322,9	1341,9
Osrednjeslovenska	3154,7	1213,5
Podravska	2179,0	1234,3
Pomurska	1336,1	1256,3
Savinjska	2354,6	1181,4
Spodnjeposavska	889,1	1234,8
Zasavska	263,5	1212,4
Slovenija	20363,1	1240,3

3.2 Površine

Pri oceni primernih površin za postavitev fotovoltaičnih panelov se bomo osredotočili na tri kategorije:

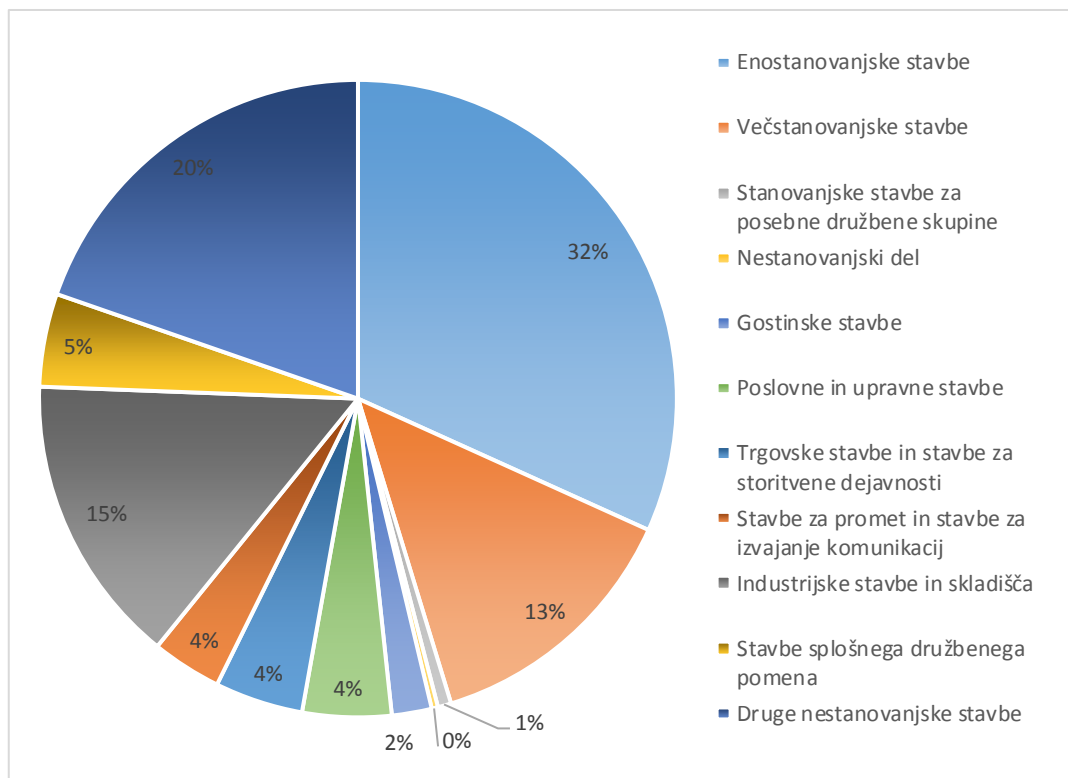
- **Strehe obstoječih stavb**, kjer se lahko PV panele postavi tako, da se izkoristi obstoječo strešno konstrukcijo ali po potrebi doda nosilno konstrukcijo (npr. ravne strehe). Fasade objektov niso upoštevane.

- **Parkirišča**, kjer je smiselno postavitve strešne konstrukcije s PV paneli, saj lahko PV neposredno ali pa s pomočjo shranjevanja energije polni parkirana električna vozila, hkrati pa se na ta način tudi ustrezno elektrificira parkirišča. Drugi infrastrukturni objekti, na primer železniški in avtocestni koridorji, niso upoštevani.
- **Degradirana območja**, kjer nosilna konstrukcija ne predstavlja dodatne škode okolju.

3.2.1 Stavbe

Register streh za Slovenijo ne obstaja, zato je potrebno podatke o razpoložljivih strehah pridobiti iz podatkov LiDAR (opisano v poglavju 2.2 Računski postopki) ali posredno prek drugih registrov. Zaradi zahtevnosti prej omenjenega načina, smo izbrali slednji način s statističnim vrednotenjem ustreznih površin. Register nepremičnin (18) vsebuje podatke o velikosti zemljišč pod stavbami, kar za naše potrebe ustreza površini streh. Nepremičnine so označene z namembnostjo (npr. stanovanjske stavbe, industrijska poslopja), za vsako stavbo pa je navedena tudi površina strehe (t.j. zemljišča neposredno pod stavbo).

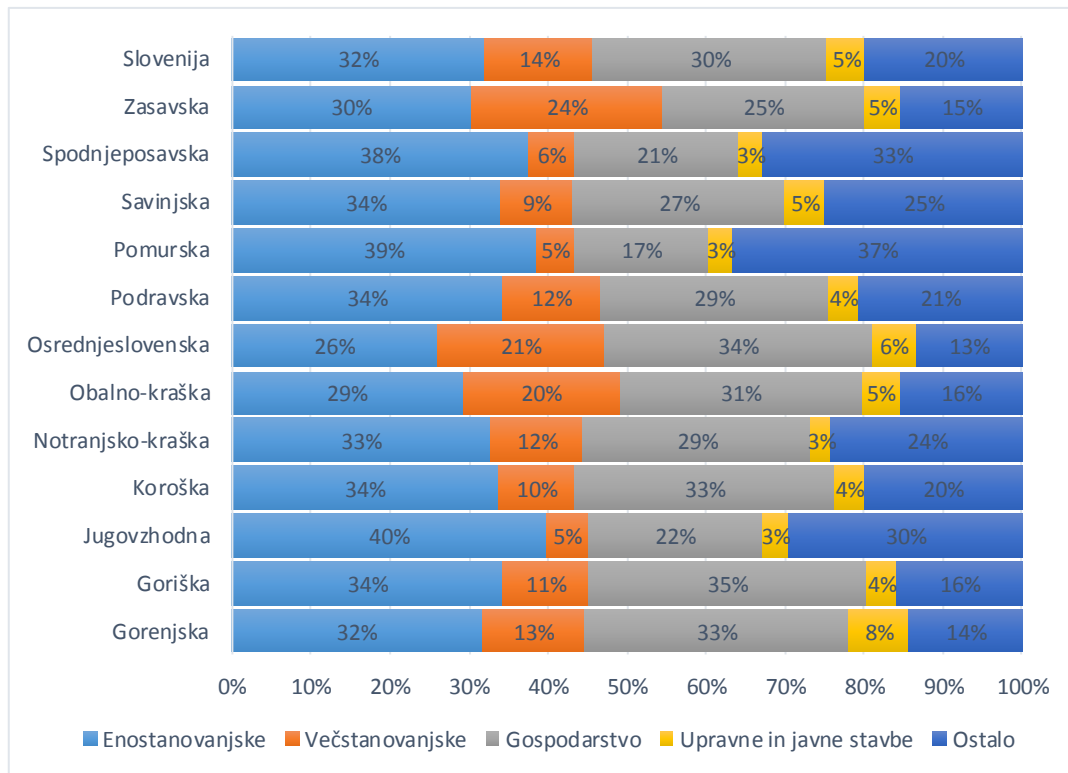
Slika 4 prikazuje delež površine pod stavbami (enakovredno površini streh) glede na namenskost stavb po CC-SI klasifikaciji (18). Polovico površin za stavbe zasedajo stanovanjske gradnje, poslovne, trgovske in industrijske stavbe pa prispevajo dobro šestino.



Slika 4: Delež površine pod stavbami (enakovredno površini streh) glede na namenskost stavb po CC-SI klasifikaciji.

Slika 5 kaže deleže površine streh glede na (poenostavljeno) namenskost stavb po statističnih regijah v Sloveniji. Razviden je nekoliko višji delež večstanovanjskih stavb v Zasavski, Osrednje-slovenski in Obalno-kraški regiji, kar lahko pojasnimo z gostejšo poselitvijo in težnji k

bivanju v večstanovanjskih zgradbah (bloki). Prav tako je razviden nizek delež stavb povezanih z gospodarstvom v Spodnjeposavski, Pomurski in Jugovzhodni regiji. Vsaj slednjega se da delno pojasniti tudi z nekoliko nižjo razvitostjo.



Slika 5: Delež površine streh glede na namenskost stavb za statistične regije

Podatki o površini streh stavb po poenostavljeni klasifikaciji po regijah so podani v tabeli 5 (18). Navedena je tudi pozidanost (delež vsega ozemlja, ki ga predstavljajo stavbe), pri čemer pričakovano izstopa Osrednjeslovenska pokrajina, nad povprečjem pa sta še Podravska in Zasavska regija. Iz podatkov tabele je razvidno, da skupna površina pod stavbami v Sloveniji znaša prek 273 milijonov m².

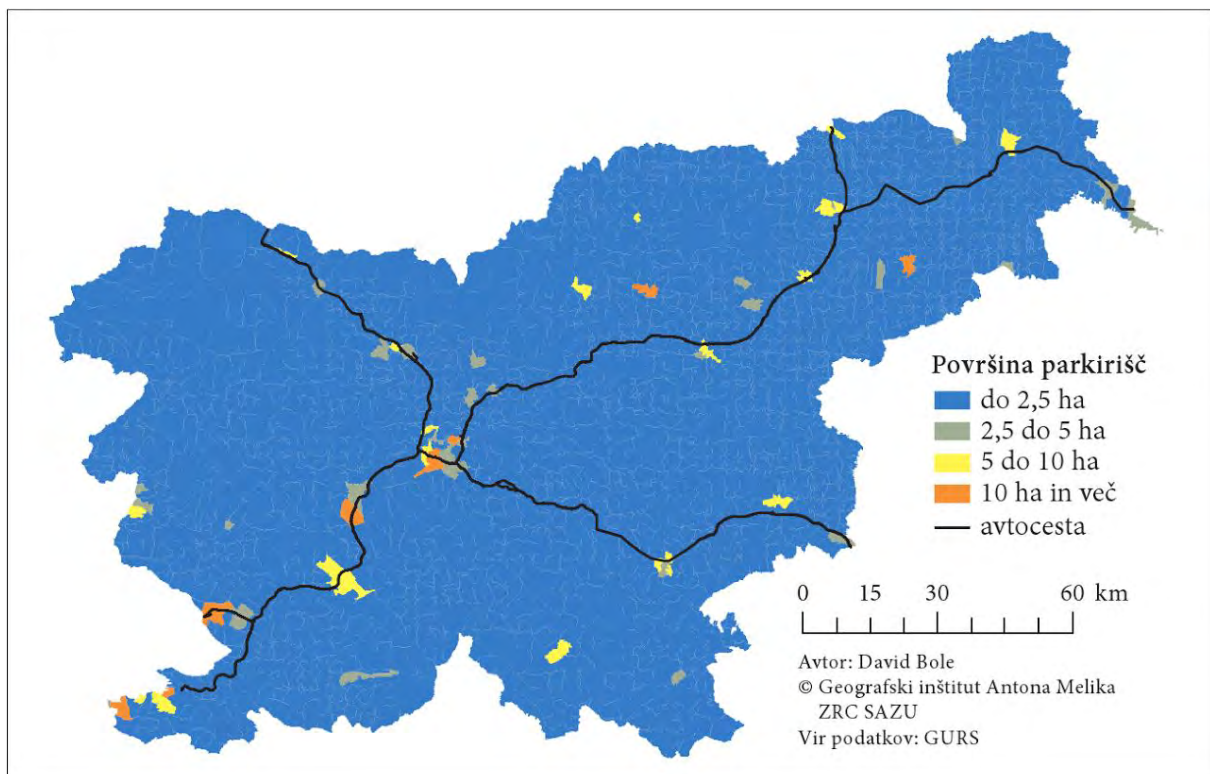
Tabela 5: Površina pod stavbami (ekvivalentno površini streh) po CC-SI klasifikaciji.

Regija	Površina						Skupaj [milijon m ²]	Pozidanost
	Enostanovanjske stavbe [milijon m ²]	Večstanovanjske stavbe [milijon m ²]	Gospodarske stavbe [milijon m ²]	Upravne in javne stavbe [milijon m ²]	Ostalo [milijon m ²]			
Gorenjska	9,4	3,9	9,9	2,3	4,3	29,8	1,40%	
Goriška	6,3	2,0	6,5	0,7	2,9	18,4	0,80%	
Jugovzhodna	7,0	0,9	3,9	0,6	5,2	17,7	0,84%	
Koroška	3,3	1,0	3,3	0,4	2,0	9,9	0,96%	
Notranjsko-kraška	2,2	0,8	1,9	0,2	1,6	6,6	0,54%	
Obalno-kraška	4,7	3,2	4,9	0,8	2,5	15,9	1,25%	
Osrednjeslovenska	19,1	15,5	24,7	4,1	9,9	73,3	2,35%	
Podravska	13,2	4,7	11,1	1,4	8,0	38,4	1,78%	
Pomurska	6,2	0,8	2,7	0,5	5,9	16,1	1,21%	
Savinjska	11,0	3,0	8,7	1,6	8,1	32,4	1,38%	
Spodnjeposavska	3,8	0,6	2,1	0,3	3,3	10,1	1,15%	
Zasavska	1,4	1,1	1,2	0,2	0,7	4,7	1,78%	
Slovenija	87,7	37,3	80,9	13,0	54,3	273,3	1,36%	

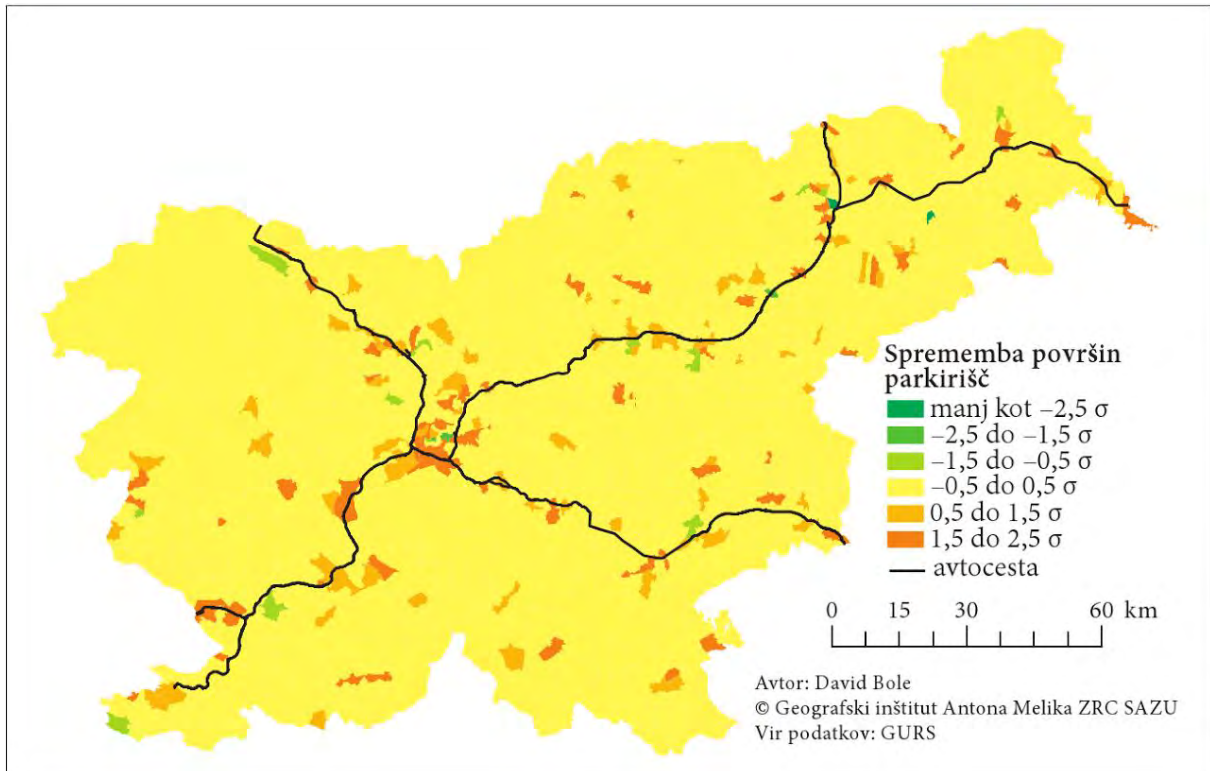
3.2.2 Parkirišča

Površino (nepokritih) parkirišč je ocenil dr. Bole v (46) iz podatkov GURS. Za leto 2011 tako navaja podatek, da so parkirišča v Sloveniji zavzemala 6,56 milijona m² površine, pri čemer je to precej konzervativna ocena, saj nekatera večja mesta oziroma središča (npr. Ljubljana – Center, Maribor) nimajo ustrezno evidentiranih parkirišč. Nadaljnje je bila analizirana tudi rast površine parkirišč v obdobju od leta 1999 do 2011. Pri tem je bilo ugotovljeno, da se je površina parkirišč povečala za 2,20 milijona m², torej za polovico glede na leto 1999. Ta podatek se sklada s povečano motorizacijo v Sloveniji in tudi z razmahom gradnje v zadnjih letih.

Slika 6 kaže površino parkirišč po katastrskih občinah v letu 2011 (46), pri čemer so vidna večja mesta in industrijska središča. Slika 5 pa kaže relativne spremembe površine v obdobju od 1999 do 2011, po katastrskih občinah. Podatki kažejo na velik razmah novih parkirišč predvsem v obmestnih okoljih.



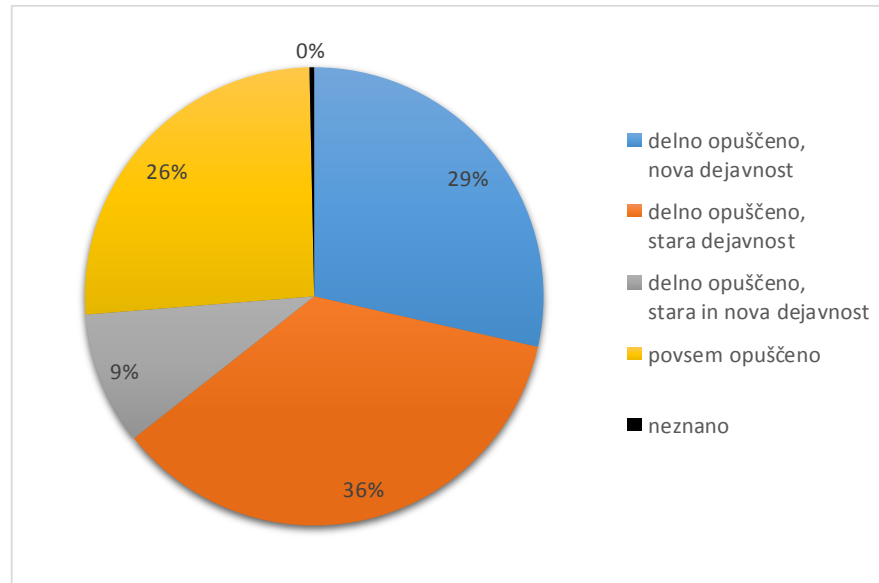
Slika 6: Površina parkirišč po katastrskih občinah (46)



Slika 7: Sprememba površine parkirišč od leta 1999 do 2011 po katastrskih občinah (46)

3.2.3 Degradirana območja

Degradirana območja v Sloveniji je evidentirala in analizirala študija (47). Pri tem so ugotovili 194 degradiranih območij v skupni površini 9,79 km². Med njimi po površini s približno 2/3 prevladujejo območja degradirana zaradi industrije. Slika 6 prikazuje deleže degradiranih območij glede na stopnjo opuščenosti.



Slika 8: Delež degradiranih območij glede na stopnjo opuščenosti

Pri obsegu degradiranih območij je smiselno upoštevati povsem opuščena območja (2,5 milijonov m²) in v manjši meri tudi delno opuščena (skupaj 6,3 milijonov m²). Smiselna je nekoliko konzervativnejša ocena, ki za površino namenjeno za sončne elektrarne na uporabnih degradiranih območij namenjena 3 milijone m².

3.2.4 Potencialna območja primerna za postavitev PV

Iz zbranih podatkov je mogoče ugotoviti, da veliko večino potenciala za postavitev fotovoltaičnih elektrarn v Sloveniji predstavljajo strehe objektov (Tabela 4). Delež parkirišč in uporabnih degradiranih območij je na nivoju dobrih dveh oziroma enega odstotka, kar je verjetno manj kot znaša zanesljivost naših podatkov.

Tabela 6: Delež obravnavanih površin v celotnem potencialu

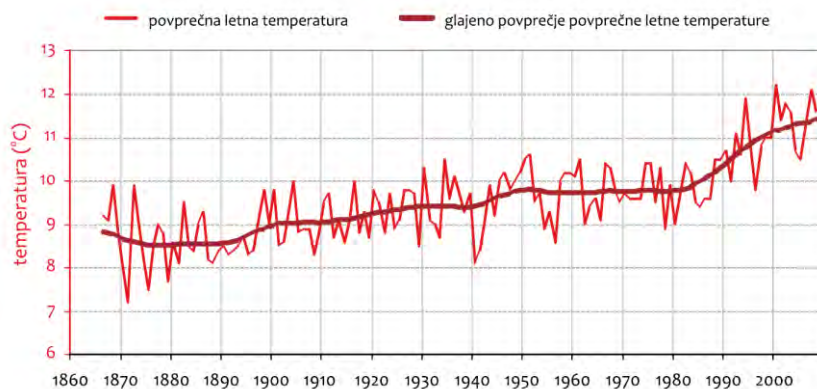
	Površina [milijon m ²]	Delež potenciala [%]
Strehe stavb	273,3	96,60%
Parkirišča	6,6	2,30%
Degradirana območja	3	1,10%
Skupaj	282,9	100,00%



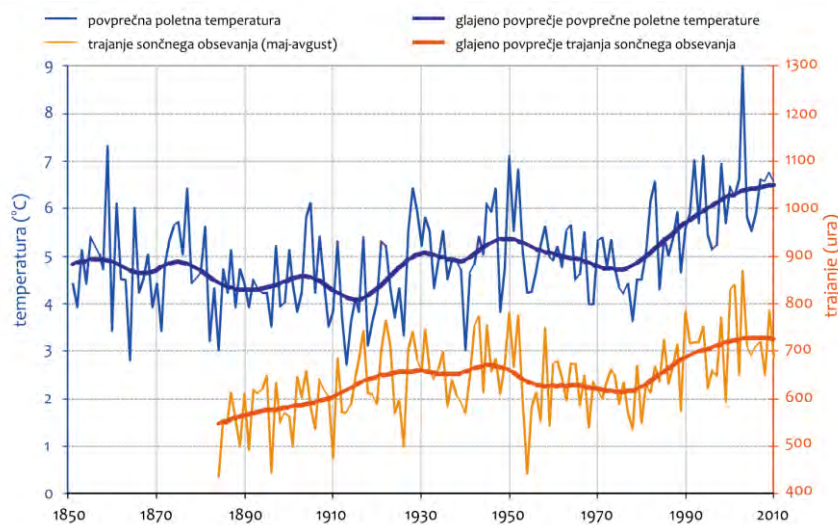
Slika 9: Površine namenjenje PV

3.3 Vpliv klimatskih sprememb

Klimatske spremembe (Slika 10, Slika 11, (48)) imajo več nivojski vpliv na izkoristke PV panelov: povišane temperature spreminjajo (t.j. znižujejo) izkoristek samih celic (33), spremembe vremenskih vzorcev (npr. več ali manj oblačnosti, megle) pa vplivajo na stopnjo osončenja.

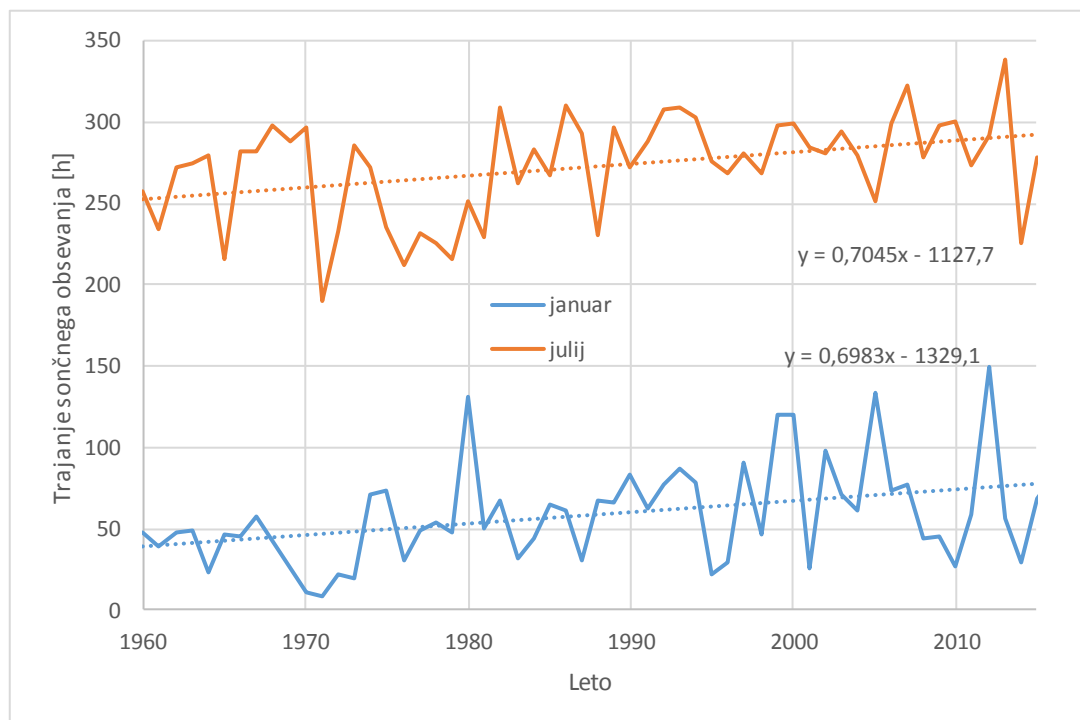


Slika 10: Povprečna temperatura v Ljubljani (48)



Slika 11: Povprečna poletna temperatura in trajanje sončnega obsevanja na Kredarici (48)

Spremembe pri osončenju so razvidne na daljši rok. Slika 12 prikazuje trajanje mesečnega sončnega obsevanja v urah od leta 1960 do 2016 za Ljubljano v mesecu januarju (morda črta) in juliju (oranžna črta) (49) in (50). Dodani sta tudi linearni aproksimaciji z vpisano enačbo. Razvidno je, da v povprečju mesečno število ur sončevega sevanja vsako leto zraste za približno 0.7 h. Na ta način se izkoristek PV panelov poveča za 0.4% (0.23% poleti in 0.9% pozimi).



Slika 12: Povprečno mesečno trajanje sončnega obsevanja 1960-2016 (49) (50)

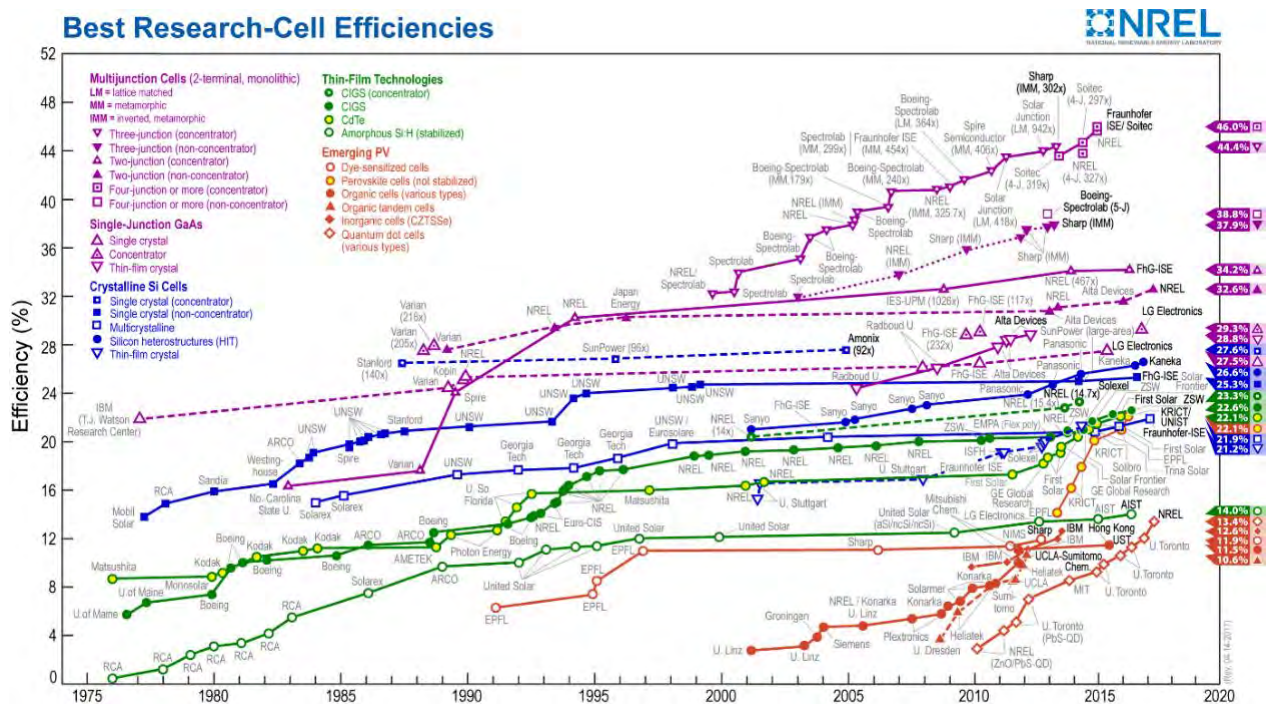
Če se bo dolgotrajni trend nadaljeval, bo njegov vpliv do leta 2050 znašal približno 13%, pri čemer nekatere študije z globalnimi modeli omenjajo nekoliko manjše vrednosti (51). Hkrati pa se je potrebno zavedati, da bodo na učinkovitost PV panelov še močneje vplivali nekateri drugi vplivni parametri, kot na primer degradacija celic.

3.4 Degradacija celic

Eden pglavitnih vplivov, ki lahko znižuje izkoristek nameščenih PV panelov, je degradacija le-teh. Obširna raziskava je na voljo v (52), pri čemer se izkoristek lahko znižuje s stopnjo 0,5 – 3 % na leto. Razvoj tehnologije v zadnjih letih pa je omogočil izdelavo inverterjev, ki tak tip degradacije vsaj zavira. Vpliv degradacije v novejših PV panelih lahko ocenimo na pod 1 % na leto, kar je približno dvakratnik vpliva podnebnih sprememb.

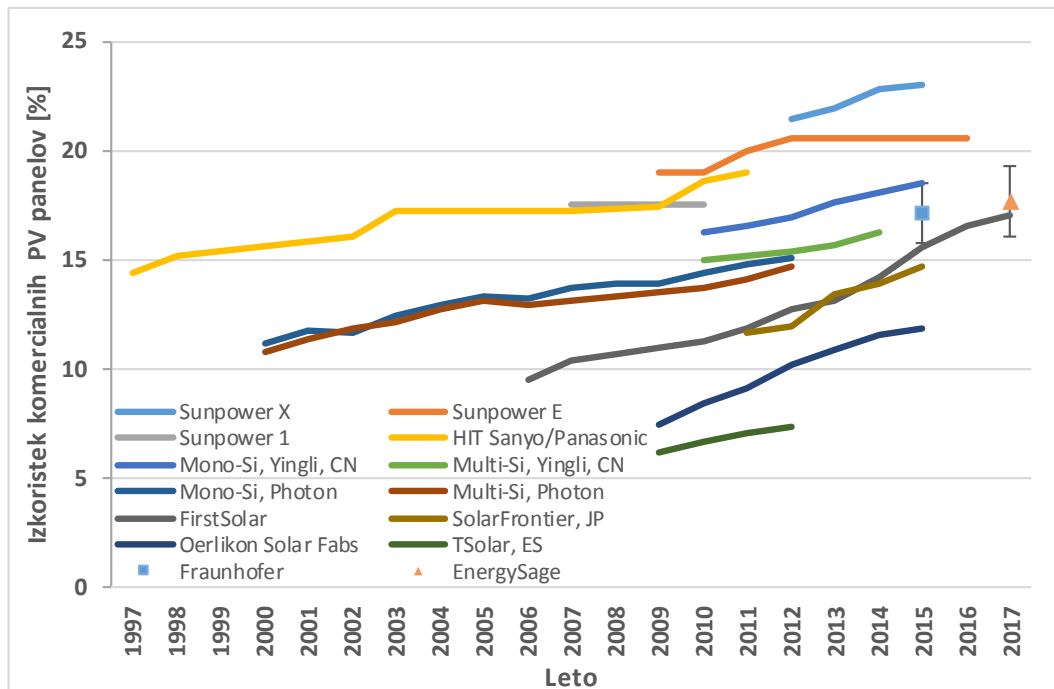
3.5 Povečevanja izkoristka PV panelov

Napredek in širitev tehnologije PV panelov omogoča tako zniževanje cene panelov (53), kot tudi njihov večji izkoristek (54). Slika 13 prikazuje rast učinkovitosti PV celic pri meritvah v laboratoriju.



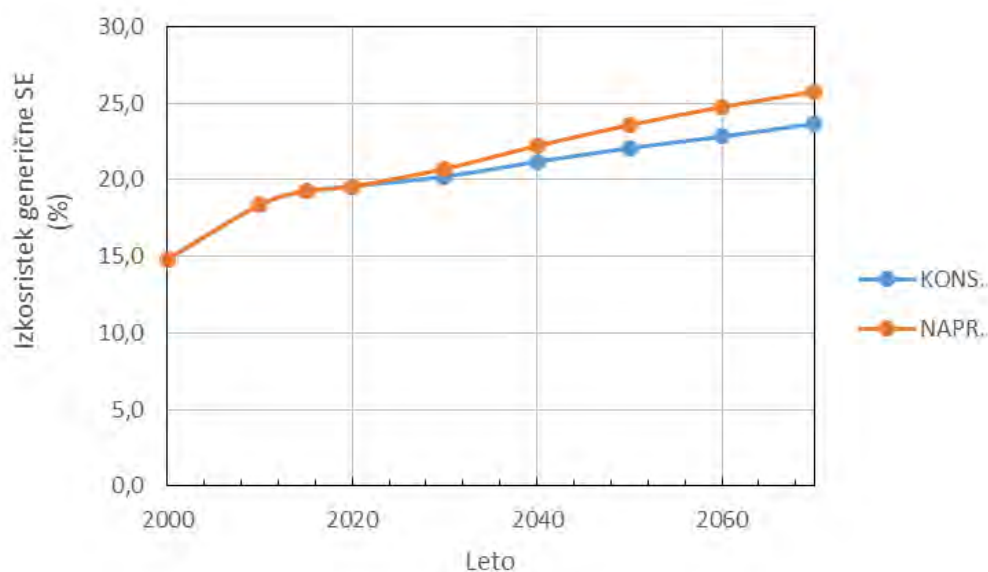
Slika 13: Učinkovitosti PV celic, laboratorijske meritve

Slika 14 prikazuje izkoristke komercialno dosegljivih PV panelov pridobljenih iz literature (9) (55) (56), pri čemer se parametri uporabljeni v večini simulacij ujemajo s trenutnim stanjem (točki za Fraunhofer, EnergySage).



Slika 14: Izkoristki komercialnih PV panelov

Glede na dostopne podatke so v Elek oblikovali dva scenarija za napredek pri izkoristku bodočih PV panelov (57). Pri tem konservativni scenarij predvideva nekoliko bolj zadržano rast izkoristkov, napredni pa hitrejšo rast. Slika 15 prikazuje napoved bodočih izkoristkov generične sončne elektrarne (SE) za oba scenarija (57).



Slika 15: Napoved bodočih izkoristkov generične SE (57)

Večina znanih analiz potenciala PV v zadnjih letih uporablja (generični) izkoristek 16% (npr. (35), (32)). To je dodaten namig glede konzervativnosti uporabljenega parametra.

3.6 Izkoristek površin

Med površinami primernimi za postavitev PV panelov močno prednjačijo strehe objektov (96,6 %), zato se je smiselno pri izračunu različnih potencialov osredotočiti na njih. Vse strehe (oziroma druge potencialne površine) niso primerne za namestitev PV panelov, bodisi zaradi konstrukcije bodisi nagiba ipd. Poročilo (1) navaja, da je med manjšimi stavbami 83% takšnih, katerih strehe je mogoče izkoristiti, toda skupno je mogoče izkoristiti le 26% streh manjših stavb. Za srednje oziroma večje stavbe je delež uporabnih streh večji – 74 % oziroma 94%. Za Slovenijo, ki ima verjetno nekaj več streh z nagibom kot ZDA, je smiselno uporabiti nekaj manjše razmerje – 25%. Skupni izkoristek površine streh, ki definira tehnični potencial, znaša približno 48%, kar pri upoštevanju letne osončenosti 1240 kWh/m² znaša povprečna osončenost 595 kWh/m² strehe. Ob upoštevanju celotnega izkoristka postrojenja (približno 14 %), znaša pričakovani izplen 80 W za m² strehe oziroma pri upoštevanju deleža streh (1,38 %) 1,15 kWh/m² vse(!) površine.

Tabela 7: Povprečni donos strehe glede na okolje

Okolje	Donos strehe [W _{el} /m ²]
Mestno okolje	75
Primestno okolje	102
Podeželsko okolje	84

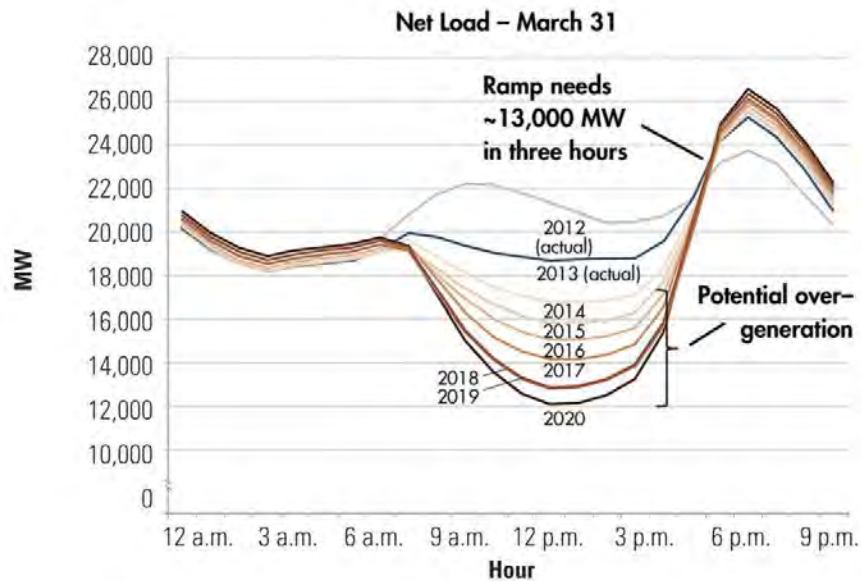
Podobna klasifikacija je mogoča tudi glede na tip naselja iz podatkov (26) (27) (32), kjer za osončenost v Sloveniji lahko predpostavimo makroskopske povprečne donose 75, 102 oziroma 84 W/m² strehe za mestno, primestno oziroma podeželsko okolje (Tabela 7). Podatki iz teh študij kažejo na precejšnje ujemanje parametrov, zato je uporaba makroskopskega pristopa s povprečenjem pri (hitremu) izračunu potenciala PV panelov v Sloveniji smiselna.

3.7 Ovire

3.7.1 Omrežje

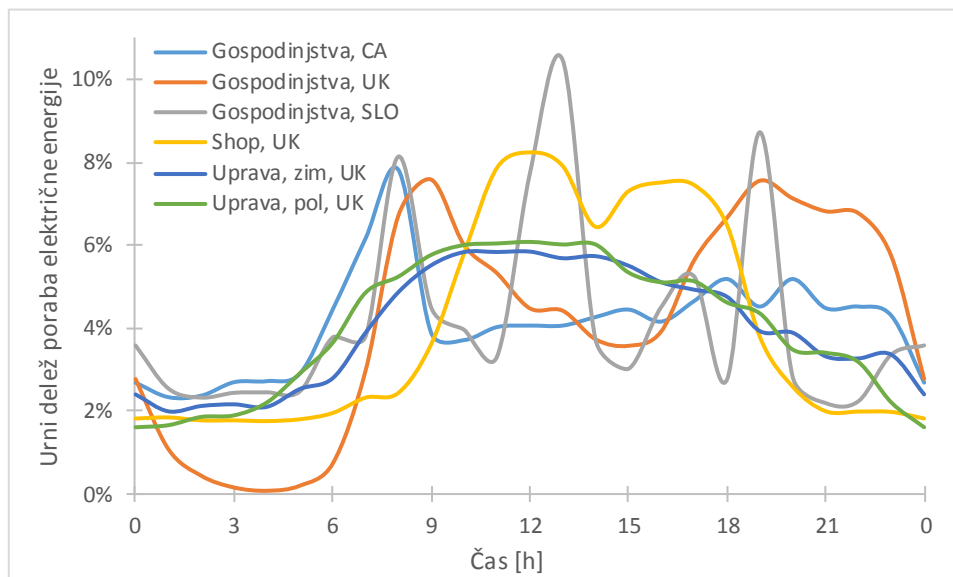
Trenutno prenosno in distribucijsko omrežje sta se razvila v zadnjih sto letih, ko je električna energija postopoma zamenjevale druge energente (58). Pri tem je osnovna paradigma ostala podobna – prenos električne energije je pretežno enosmeren od proizvajalca k porabniku, pri čemer so se temu ustrezno prilagodili vsi nadzorni sistemi (59). Na drugi strani pa je uvajanje številnih manjših PV sistemov, ki energijo v zadostni meri proizvajajo le podnevi in ob jasnem vremenu, upravjalce omrežij postavilo pred nove izzive (60).

V primeru Net-metering pristopa k merjenju oddaje in porabe električne energije, se na nivoju proizvajalca/porabnika ne upošteva tržna (spremenljiva) cena energije. Dnevni presežki sončne energije v elektroenergetskih sistemih so zaradi težav, ki jih povzročajo proizvajalcem električne energije, zaradi svoje značilne oblike dobili ime »račja krivulja« (and. *Duck Curve*) (61). Krivulja potrebne ostale proizvodnje električne energije z večjo penetracijo solarne energije postaja vedno bolj strma (Slika 16). Tak presežek dnevne proizvodnje je podoben v vseh državah oziroma sistemih, kjer je veliko inštaliranih PV elektrarn (62).



Slika 16: Račja krivulja v Kaliforniji postaja strmejša z večjo penetracijo sončne energije

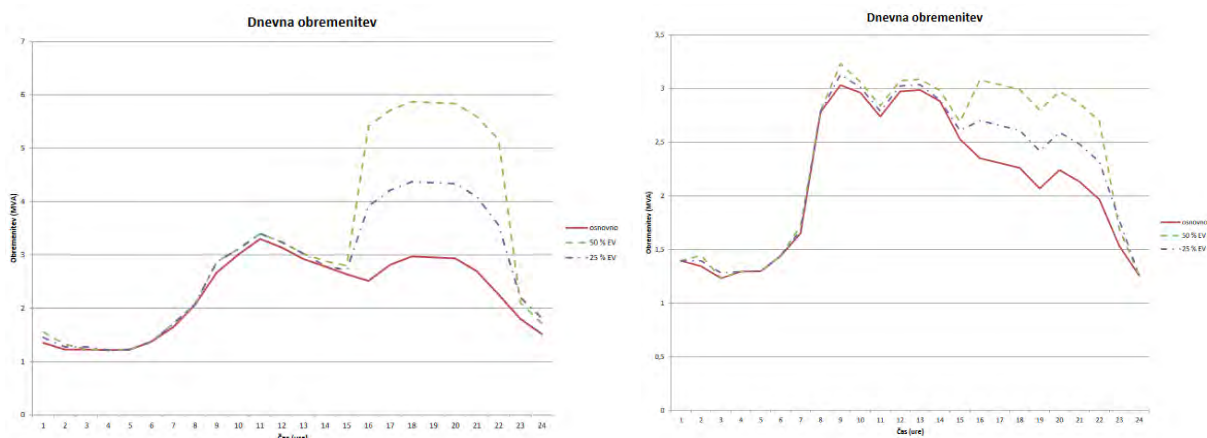
Distributerji zaradi naraščajočega vpliva presežkov sončne energije zato že pospešeno razvijajo pametna omrežja (63). Model merjenja oddaje in prejema električne energije bo spremenjen tako, da bo upošteval trenutne potrebe oziroma tržno ceno električne energije. Pri tem pa ni zanemarljivo poudariti, da bodo večje prilagoditve težavne, saj integracija baterij v PV sisteme omogoča dobra izhodišča za samooskrbo (64) (65). Za samooskrbo so najprimernejša podjetja, kjer višek dnevne porabe energije sovпада z viškom sončne energije. Slika 17 kaže urni delež porabe električne energije v gospodinjstvih, upravnih zgradbah in gospodarstvu (66).



Slika 17: Urni delež porabe električne energije v gospodinjstvih, upravnih zgradbah in gospodarstvu

Iz zgornjega grafa je razvidno, da se s proizvodnjo elektrike iz PV najboljše ujema odjem električne energije v upravnih zgradbah in gospodarstvu (slednje sploh pri enoizmenskem delu). Za več podrobnosti glede vplivu baterij na energetski sistem glej naslednje poglavje.

Do zanimivih ugotovitev so prišli tudi v Sloveniji (67), pri čemer so na realnih podatkih odjema (tako mešanega kot industrijskega) simulirali domače polnjenje električnih vozil (Slika 18). Izkazalo se je, da je kombinacija industrijskega odjema z izrazito dnevno porabo in domače polnjenje baterij električnih vozil kompatibilno, saj padec porabe zaradi izklopa industrijskih naprav omili prav polnjenje vozil v popoldanskem času. Tak podaljšan dnevni odjem je primeren za pokrivanje z elektriko iz PV. Pri gospodinjškemu odjemu pa je opazen visok višek v popoldanskem času, kar pa je brez ustrezne pametne regulacije porabe lahko moteče.



Slika 18: Obremenitve sredjenapetostnega izvoda (mešani odjem levo in industrijski odjem desno) s simulacijo dodatne obremenitve zaradi polnjenja električnih vozil, obratovalni podatki za RTP Vrtojba 2015 (67)

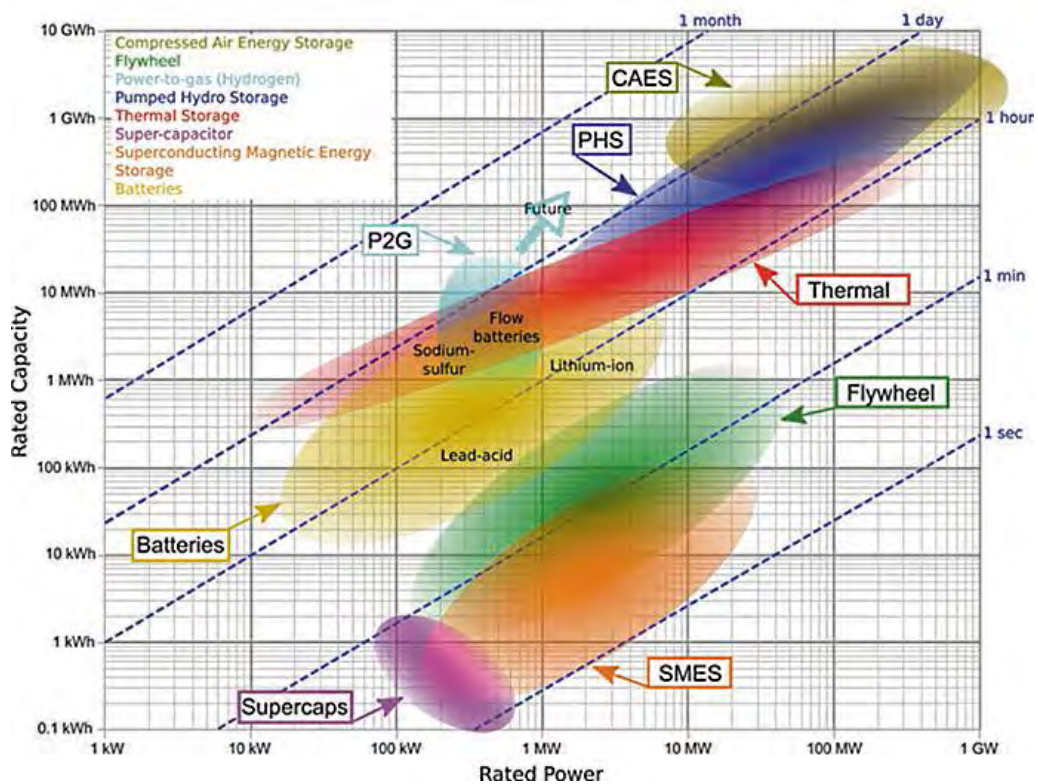
Pri stanju prenosnega omrežja v EU pa je potrebno poudariti, da je to relativno neprilagojeno na intra- in interkontinentalni transport velike količine električne energije (npr. poleti fotovoltaične energije iz J na S Evrope in pozimi vetrne energije iz S na J Evrope). V svetu se zato razvijajo in tudi uporabljajo ultra-visokonapetostni sistemi (npr. Kitajska; 800 – 1200 kV DC sistemi (68)), ki omogočajo transport velike količine električne energije iz obnovljivih virov na daljše razdalje, pri čemer EU pri tem zaostaja.

3.7.2 (Dolgotrajno) shranjevanje

Sončna energija je izrazito terminsko naravnana, saj jo je mogoče izkoriščati le podnevi in pretežno v poletnih mesecih. Na izkoriščanje sončne energije vplivajo predvidljive okoliščine (dolžina dneva, pot sonca po nebu) in manj predvidljive okoliščine (vpliv vremena, ki je izrazitejši v jesenskem in zimskem obdobju, ko je tudi dan krajši).

Periodičnost in (delna) nepredvidljivost sončne energije pomenita velik izziv za energetski sistem – tako glede regulacije in prenosa električne energije. Povečani delež sončne energije zato predstavlja dodaten moment k manjši stabilnosti energetskega sistema. Vendarle hiter porast deleža električne energije pridobljene iz sonca v Sloveniji v letih 2010-13 na skoraj 2% (44) kaže, da je elektro energetski sistem trenutno in ob danih obremenitvah robusten. Navkljub temu pa izkušnje ni mogoče interpolirati, saj se s povečanim deležem spremenljive količine sončne energije njegov vpliv na nestabilnost hitro povečuje.

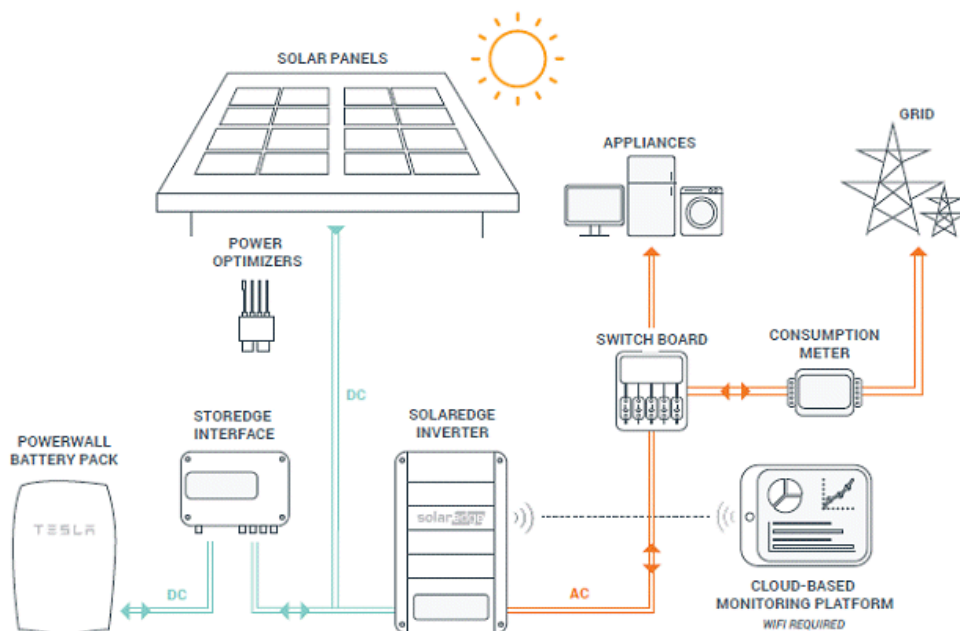
Trenutni sistem za zagotavljanje tovrstne stabilnosti temeljijo na podpori ostalih tipov energije – tako iz obnovljivih kot tudi neobnovljivih virov. V slednjem pa levji delež prispevajo fosilna goriva, zato je veliko raziskovalnih aktivnosti namenjeno diverzifikaciji virov (gradnja daljnovodov z visoko kapaciteto) ali zamiku porabe ter shranjevanju energije. Slika 19 kaže različne tehnologije shranjevanje (sončeve) energije, pri čemer so le-te osredotočene na kratkotrajna shranjevanja (69) (70). Takšni načini shranjevanja (npr. Li baterije) že omogočajo, da se pokrijejo poletne potrebe po energiji posameznih gospodinjstev. Zmožnost obstoječih baterij za dopolnitev fotovoltaičnih inštalacij za samooskrbo je raziskalo že precej avtorjev, na primer (64), (71) in (72).



Slika 19: Tehnologije za shranjevanje energije

Dodatek baterij(e) v omrežje omogoča številne prednosti, kot je izravnava ponudbe in povpraševanja, zniževanje cene vršne energije, shranjevanje in povprečenje generacije iz obnovljivih virov, preferiranje lokalnih virov ter seveda rezerva energije (73). Slika 20 prikazuje shemo navezave PV panela in baterijskega shranjevanja električne energije.

NEW PV + BATTERY – SINGLE PHASE



Slika 20: Shema navezave PV panela in baterijskega shranjevanja električne energije

Eden bolj poznanih primerov praktične uporabe systemske baterije v elektro energetskem sistemu je *Hornsedale Power Reserve* (HPR) v Južni Avstraliji. HPR je sestavljena iz Teslinih *Powerpack 2* modulov. Skupna kapaciteta baterij je 129 MWh, pri čemer je največja moč 100 MW (70 MW v 10 minutnem režimu + 30 MW v 3 urnem režimu praznjenja). Enota je povezana z 315 MW poljem vetrnic *Hornsedale Wind Farm*. Navkljub kratkem časovnem obdobju od zagona, so izkušnje z baterijo precej pozitivne, pri čemer je ustrezno prestala izpade drugih elektrarn (74). Navkljub dobrim izkušnjam, pa so takšne baterije primerne le za omrežja, kjer so druge rešitve (vsaj trenutno) precej dražje. Cene celotnih baterijskih inštalacij (Li-ion tehnologija) znašajo približno 300 €/kWh pri 1000-1500 polnih ciklih (69), kar za skladiščenje pomeni neto ceno 200 – 300 €/MWh

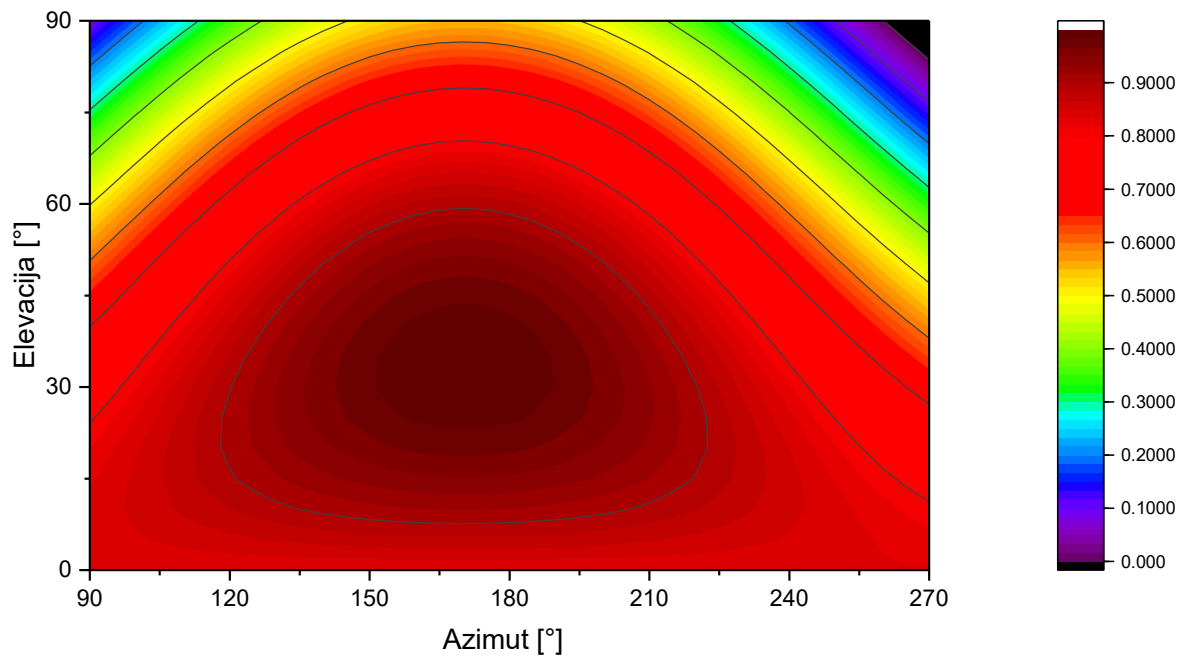
Druge rešitve shranjevanja energije so izkoriščanje vršne PV energije za sintezo plina (vodik ali metan) in sistemi s stisnjenim zrakom. Pri sintezi plinov (ang. *Power to Gas*; P2G) je sedanja tehnologija pridobivanja vodika precej okorna (75), (76). Prav tako je ostala infrastruktura za vodikovo tehnologijo (npr. polnilnice) še razmeroma redka. Nekoliko drugače je s pridobivanjem metana. Pri tem so raziskave sicer res večinoma nedavne (npr. (77) in (78)), vendar je na drugi strani zelo razširjena infrastruktura za zemeljski plin, ki je v največji meri sestavljen prav iz metana.

Prav tako zanimiva je shranjevanje energije s stisnjenim zrakom. Med morebitnimi primernimi lokacijami so rudniki, še posebej rudniki soli (kjer se sol in vlaga sprimeta v za zrak nepropustno bariero). Teh v Sloveniji ni, ostali rudniki pa bi zahtevali verjetno dražjo prilagoditev na nepropustnost. Novejši viri pa omenjajo še drug način podzemnega shranjevanja, kjer sta v opuščnem rudniku eden ali dva bazena črpalne elektrarne (70). Tako se uporabi že degradiran prostor, seveda pa je potrebno zagotoviti primernost rudnika (nepropustnost, konstrukcijsko integriteto neodvisno od višine vode ipd.). To je verjetno ekonomsko smiselno le v primerih, ko je potrebno opuščeni rudnik vzdrževati zaradi drugih razlogov (npr. preprečevanje posedanja).

3.8 Ekonomski parametri za potencial

V prejšnjih poglavjih smo uporabili povprečenje, torej so zanemarili razlike v kvaliteti površin (nagib, zasuk, izkoriščenost) oziroma le-to skrili v povprečne vrednosti. Toda dejstvo je, da vse površine niso enako primerne za postavitve PV panelov. Glede ekonomičnosti, je seveda smiselno izbirati strehe, ki so obrnjene v smeri optimalnega (maksimalnega) izkoristka.

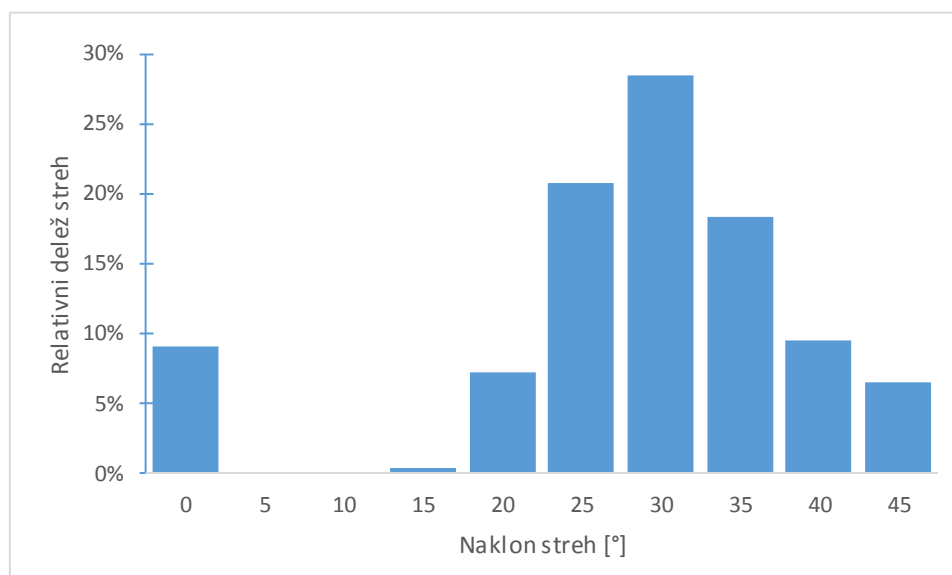
Slika 21 prikazuje izkoristek PV panela za Slovenijo glede na zasuk in naklon. Optimalen kot naklona za maksimalen (letni) izkoristek PV panela za Slovenijo znaša okoli 32° (44). Optimalen zasuk pa je okoli -5° (malenkosten zasuk od J proti V). Odklon 20° od navedenih vrednosti zmanjša izkoristek za 5%, še večji padci pa so z večjimi odkloni.



Slika 21: Izkoristek PV panela glede na azimut (180° = J) in elevacijo.

Morebitni izkoristek strehe, ki je prvenstveno odvisen od zasuka in naklona strehe, je mogoče pridobiti iz analize podatkov LiDAR. V našem primeru pa smo se zadovoljili s kritično analiziranimi rezultati iz literature.

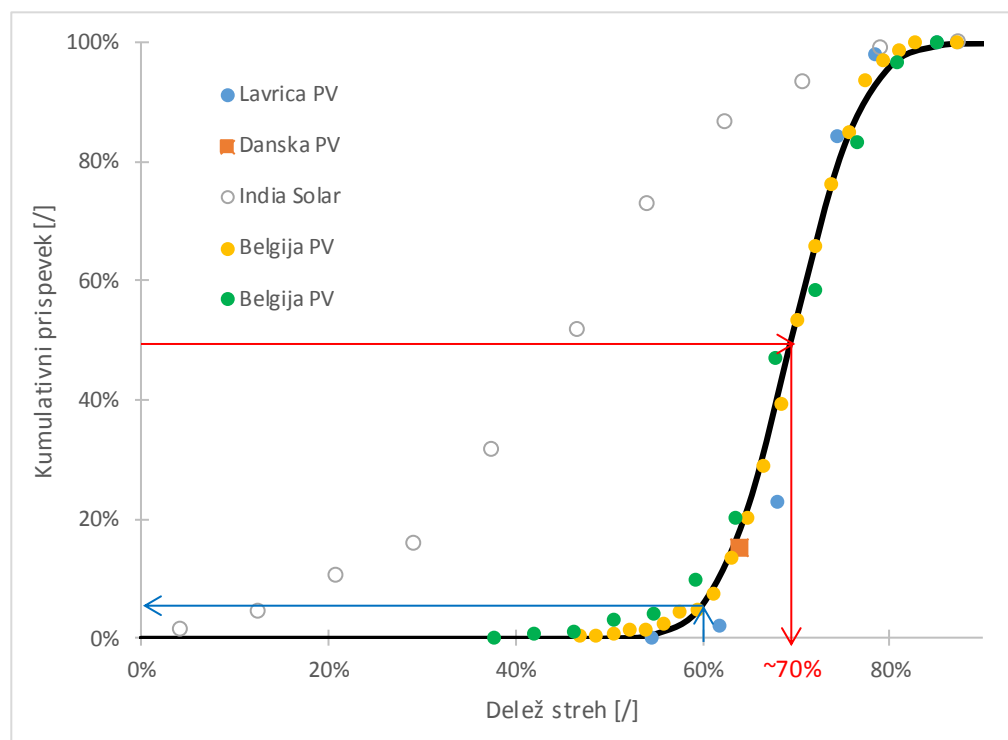
Slika 22 prikazuje delež streh glede na njihov naklon v Mariboru (34). Delež ravnih streh je pod 10%, večina streh pa ima naklon 30° z raztrosom $\pm 5^\circ$. Zasuk streh pa je enakomerno naključen.



Slika 22: Delež streh glede na naklon (34)

Podatke o izkoristku PV panelov glede na naklon in zasuk streh (Slika 21) lahko kombiniramo s podatki o porazdelitvi naklona in zasuka streh (Slika 22) ter tako pridobimo povprečno vrednost izkoristka strehe, ki znaša 74,0 %.

Podobne podatke zasledimo tudi v literaturi (glej tudi poglavje 2 *Pregled literature*), na primer za razmere v Evropi (79) (80), kjer je ugotovljeno, razmerje med deležem streh in njihovim kumulativnim prispevkom potencialne sončne energije. Podobne podatke je mogoče najti tudi v analizi možnosti za PV na Lavrici (35), deloma pa se ujemajo s podatkom v študiji (32). Prav tako pa je v literaturi mogoče najti podatke za popis streh na nacionalnem nivoju, npr. (81). Slika 23 prikazuje kumulativen izkoristek streh glede na njihov delež. Na abscisi so energetsko najmanj ugodne strehe na levi strani, zato prispevajo le malo oziroma skoraj nič. Energetsko najbolj ugodne strehe so na desni strani grafa, kjer se vidi njihov pomemben delež. Ugotovimo lahko solidno ujemanje za PV panele (Lavrica, EU I in II, Danska), podatki za vse strehe (India Solar) pa so nekoliko konzervativnejši, kar je tudi pričakovano, saj so v obzir vzete vse strehe.



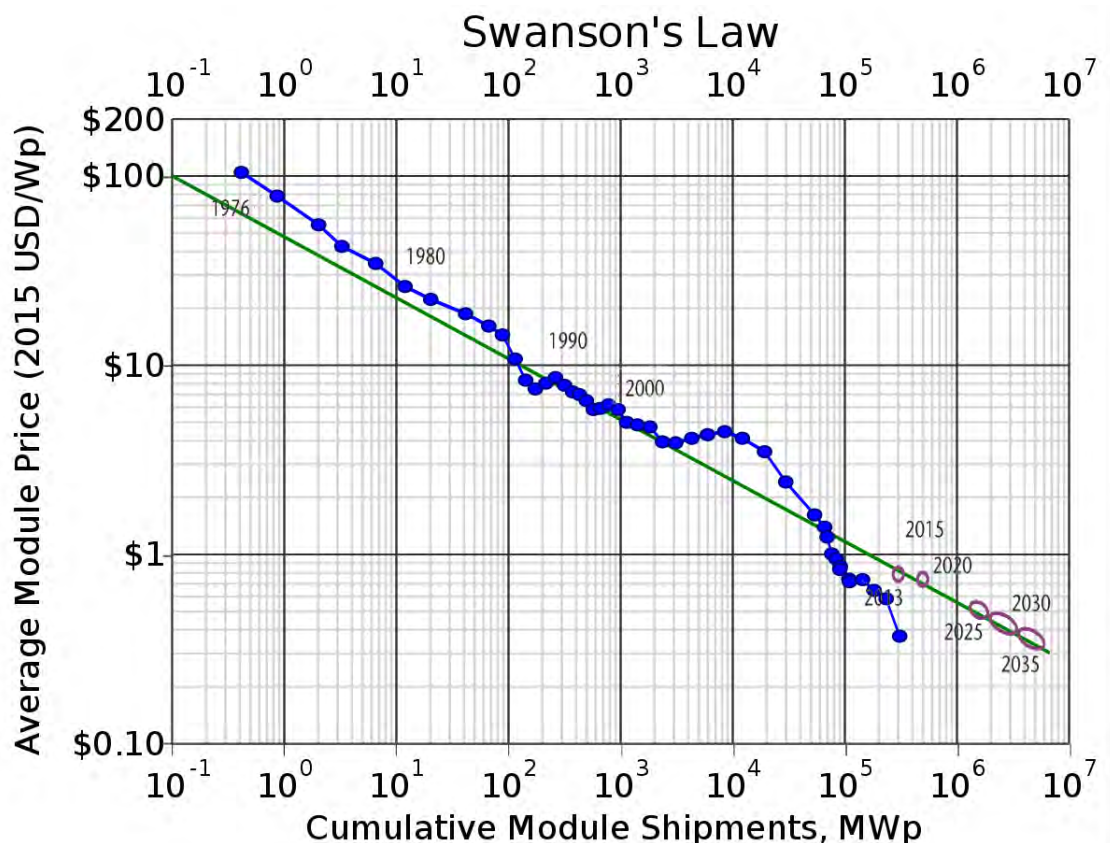
Slika 23: Kumulativni prispevek PV elektrarn oziroma streh v odvisnosti od deleža streh

Glede na rezultat je smiselno, da se za ekonomski potencial upošteva vsaj 30% streh (rdeča puščica), pri čemer pa 40 % najugodnejših streh po ocenah zajema že prek 90 % vsega potenciala (modra puščica). Za potrebe analize so bile uporabljene enake vrednosti kot v študiji (32), torej 35 %.

Povprečne cene PV panelov pa so odvisne tudi od njihove letne proizvodnje. Pred leti je povezavo med njima opazil Richard Swanson, po katerem se imenuje Swansonov zakon (53). Ta pravi, da se pri vsaki podvojitvi proizvodnje, cene solarnih panelov znižajo za 20 %. Ker je

povečevanje proizvodnje približno konstantno, cene panelov padejo za približno 10 % letno. Padanje cen panelov se pojasnjuje z boljšim razumevanjem proizvodnih postopkov in razvojem.

Slika 24 kaže Swansonov zakon – razmerje med proizvodnjo solarnih panelov in njihovo povprečno ceno v obdobju 1976-2015. Z modro barvo so označeni realni podatki, z zeleno pa trend. Vijolični krogi predstavljajo napovedi za prihodnost vse do leta 2035 (65). Toda pri slednjem je potrebno biti previden, saj so možnosti za nadaljnje širitve proizvodnje nekoliko omejene, zato je prihodnja predvidena cena panelov ocenjena konzervativneje.



Slika 24: Swansonov zakon: padajoče cene panelov v odvisnosti od količine letne proizvodnje

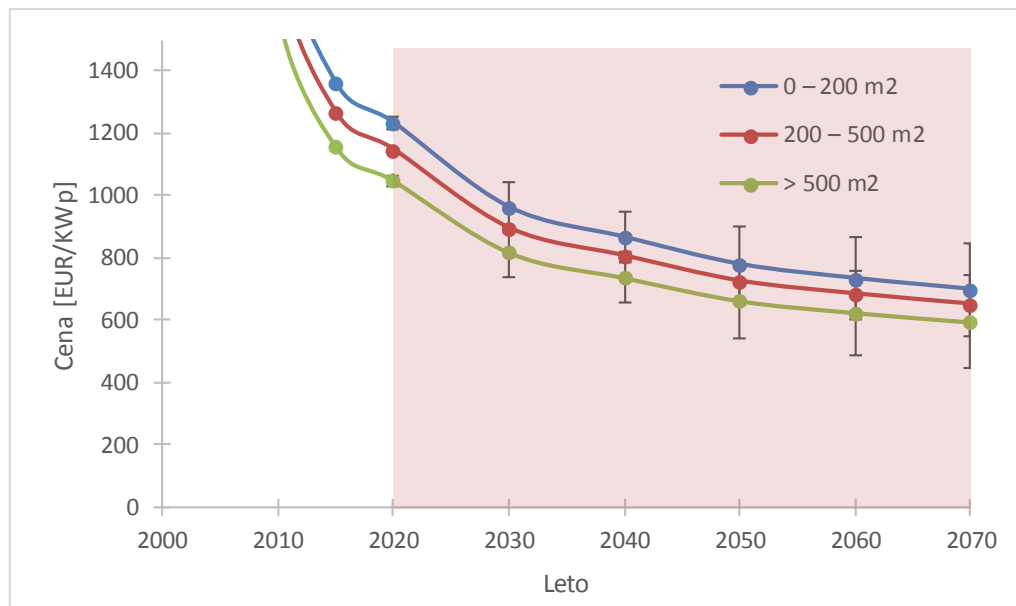
3.8.1 Cena postavitve strešne PV elektrarne

Cena postavitve strešne PV elektrarne je močno odvisna od njene velikosti. Hkrati pa se cene iz leta v leto spreminjajo (t.j. padajo), kar navaja poročilo Elek (57), kjer so se posvetili investicijskim stroškom v prihodnje. Pri tem so elektrarne glede na površino razdeljene v tri velikostne razrede, napovedi pa so prikazane v osenčenih celicah (

Tabela 8). Slika 25 prikazuje podatke o cenah v grafu, pri čemer so označene tudi najširše ocenjene morebitne neznanke v bodočih cenah (od leta 2020 dalje gre za oceno cen, kar je prikazano osenčeno). Pri tem lahko ugotovimo da se predvideni investicijski stroški skladajo z drugimi (globalnimi) ocenami, kot na primer (82) (65) (83).

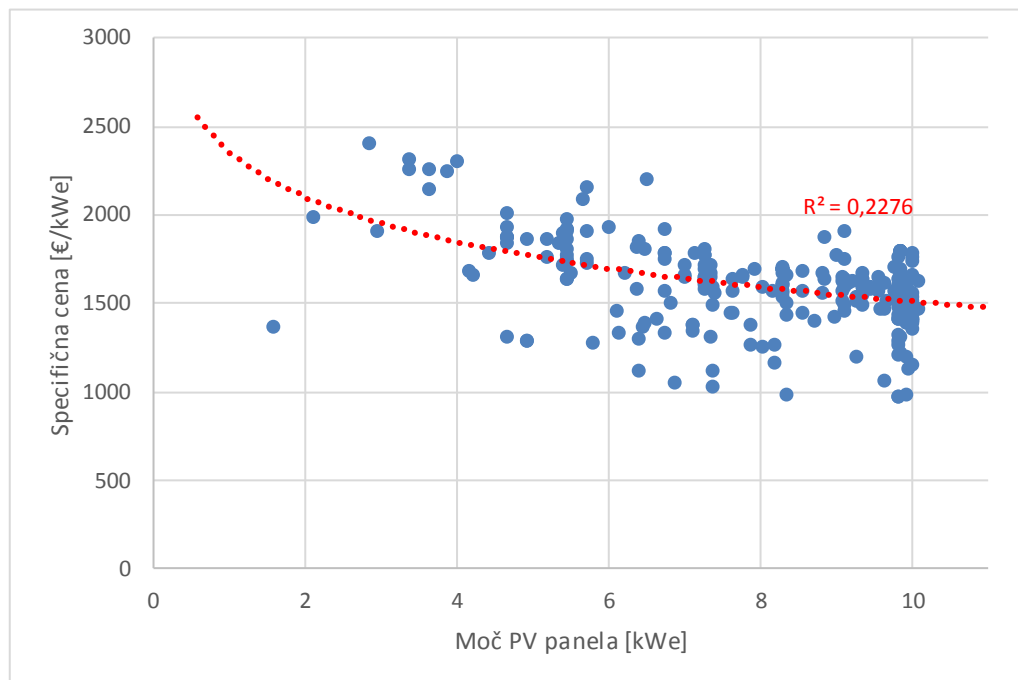
Tabela 8: Investicijski strošek za postavitve strešne PV v odvisnosti od površine elektrarne

Leto \ Površina PV	Investicijski strošek (EUR/kW _p)		
	0 – 200 m ²	200 – 500 m ²	> 500 m ²
2000	5958	5541	5064
2010	1880	1748	1598
2015	1361	1266	1157
2020	1234	1147	1048
2030	963	895	818
2040	867	806	737
2050	780	725	663
2060	735	684	625
2070	700	651	595



Slika 25: Investicijski strošek za postavitve strešne PV v odvisnosti od površine elektrarne.

Podatki Elek (57) kažejo, da se je hitro padanje cen, kateremu smo bili priča v preteklih nekaj letih, zaustavilo ter da bodo pocenitve investicijskih stroškov manjše, kar prav tako ustreza razmeram na trgu, npr. (82). Za vpogled v relativne investicijske stroške elektrarn manjših površin oziroma inštalirane moči (pod 100 m² oziroma 16 kW_{el}) pa je smiselno pogledati realne podatke. Slika 26 tako prikazuje specifične cene nameščenih PV elektrarn na strehe (na kW inštalirane moči) v Sloveniji v letu 2017 (84).



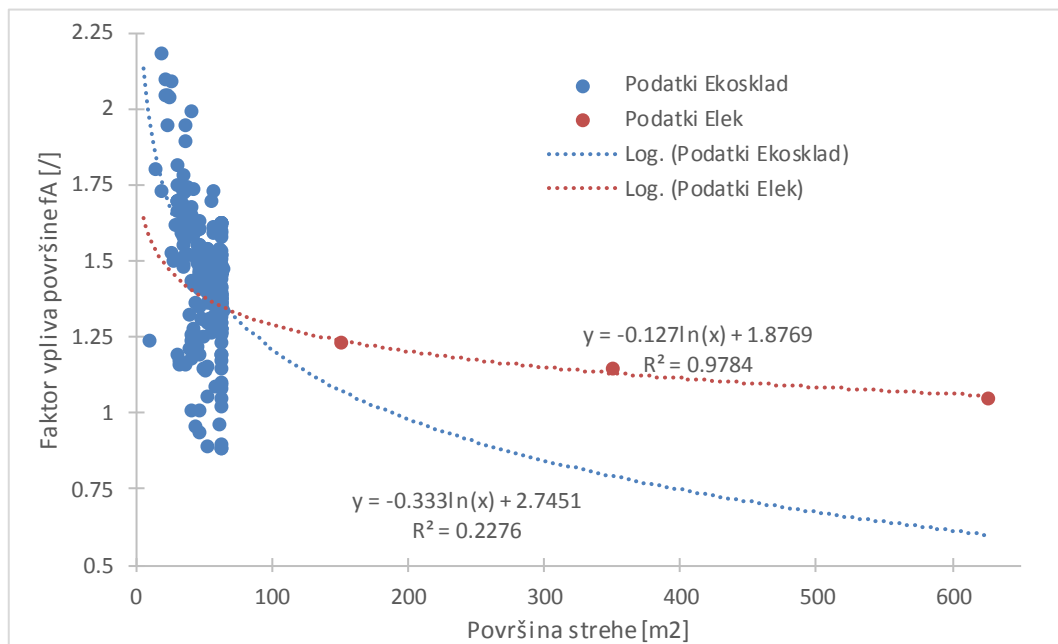
Slika 26: Specifične cene nameščenih PV elektrarn na strehe v Sloveniji v letu 2017 (84).

Za namen izračuna skupnih referenčnih stroškov električne energije, smo parametrizirali nekatere tabelarične funkcije. Specifična cena elektrarne C (€/kW_p) v odvisnosti od leta y :

$$C(y) = 5064 \left(0,087363621 + \frac{2,222368687}{y} \right) \cdot f_A \quad (6)$$

Pri čemer je faktor vpliva površine f_A znaša (Slika 27):

$$f_A = \begin{cases} -0,333 \ln(A) + 2,7451; & A \leq 67m^2 \\ -0,127 \ln(A) + 1,8769; & A > 67m^2 \end{cases} \quad (7)$$

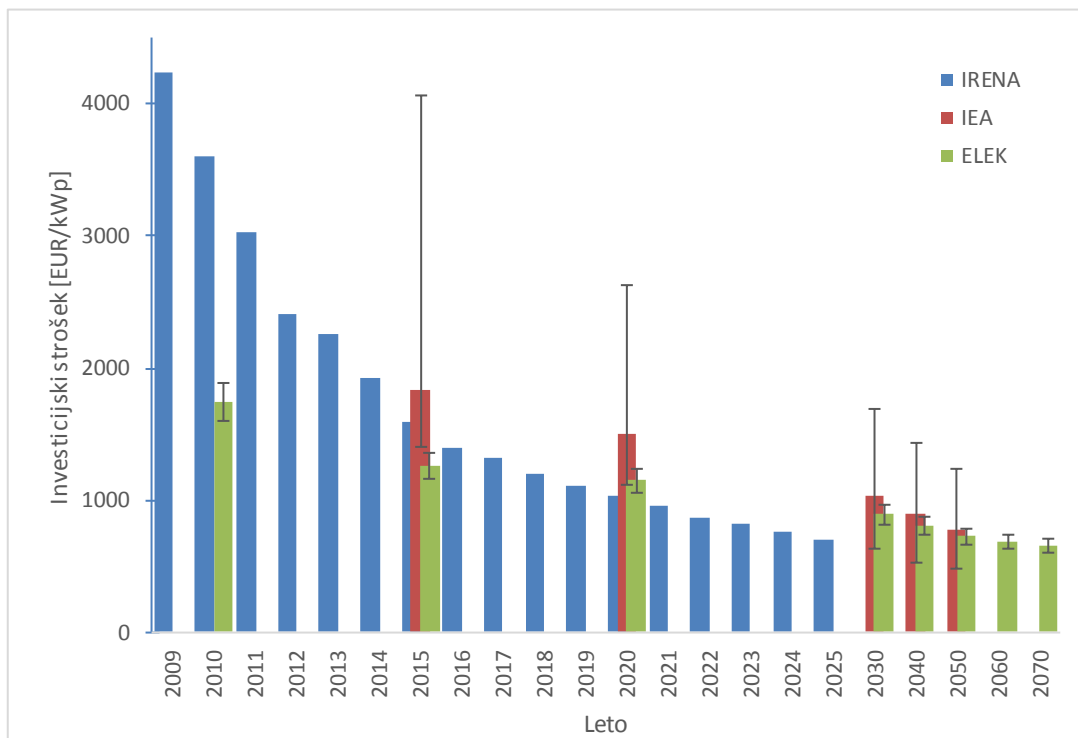


Slika 27: Določitev faktorja vpliva površine f_A

Prav tako je bila v funkcijo spremenjena bodoča specifična moč (ki je linearno odvisna od izkoristka panelov):

$$P_s = -0.00018883y^3 + 0.024622y^2 - 0.112259y + 156.5882 \quad (8)$$

Slika 28 prikazuje različne napovedi investicijskih stroškov za postavitve strešnih PV elektrarn do leta 2070 (57; 65; 83; 9). Razviden je hiter padec preteklih cen do nekje leta 2015 in umiritev cen do leta 2070. Podatki ELEK (57), ki so bili uporabljeni za to analizo in so prikazani s stolpci v zeleni barvi, kažejo solidno ujemanje in konsistentnost z drugimi vrednostmi pridobljenimi iz literature.



Slika 28: Napoved investicijskih stroški za majhne (oziroma strešne) solarne elektrarne

3.8.2 Referenčni stroški električne energije

Skupni referenčni stroški električne energije (RSEE) predstavljajo celotne letne proizvodne stroške tipične proizvodne naprave (PN) PV, zmanjšane za vse druge prihodke in koristi delovanja (85) (86):

$$RSEE = \frac{\text{Stroški} - \text{Prihodki}}{\text{Električna energija}} \quad (9)$$

kjer so stroški sestavljeni iz investicijskih stroškov (anuiteta¹⁰), stroškov obratovanja in vzdrževanja ter stroškov goriva, prihodki pa so vsota npr. prodaja toplote in drugih koristi, električna energija pa količina letno proizvedene električne energije.

Podobno so deklarirani izravnani stroški električne energije (ang. *Levelized cost of electricity, LCOE*) (87):

$$LCOE = \frac{\text{Stroški}}{\text{Električna energija}} \quad (10)$$

Glavna razlika sta, da RSEE konkretno omenja prihodke, ki zmanjšujejo stroške, LCOE pa v stroških zajema tudi stroške izpustov ogljika in stroške razgradnje. V obravnavanem primeru solarnih elektrarn na strehah stavb, so drugi prihodki enaki nič. Podobno so nični stroški izpusta ogljika. Ocena stroškov razgradnje so izvedene le za nekatere večje samostojne sončne elektrarne in znašajo približno 50 000 EUR za 2 MW_{el} elektrarne (pregled je narejen v poročilu:

¹⁰ Investicijski stroški se v izračunu upoštevajo z **anuitetnim izračunom** in predstavljajo stroške amortizacije in stroške kapitala.

(88)), pri čemer pa se predvideni stroški močno razlikujejo glede na vir. Za samostojne sončne elektrarne so stroški razgradnje ocenjeni na do 5% investicijskih stroškov, kar pomeni razmeroma majhen prispevek k skupnim stroškom.

4 Ocene in verifikacija

4.1 Tehnični potencial

4.1.1 Povprečenje po celotni Sloveniji

Literatura navaja več različnih povprečji za izračun PV potenciala. Pri tem sta najbolj relevantni vrednosti za specifični potencial $C_{PVA} = 1,12 - 1,33 \text{ GWh/km}^2$ ozemlja (32) (21) (22).

Tehnični potencial E_{PV_0} se izračuna z enostavno enačbo:

$$E_{PV_0} = C_{PVA} \cdot A \quad (10)$$

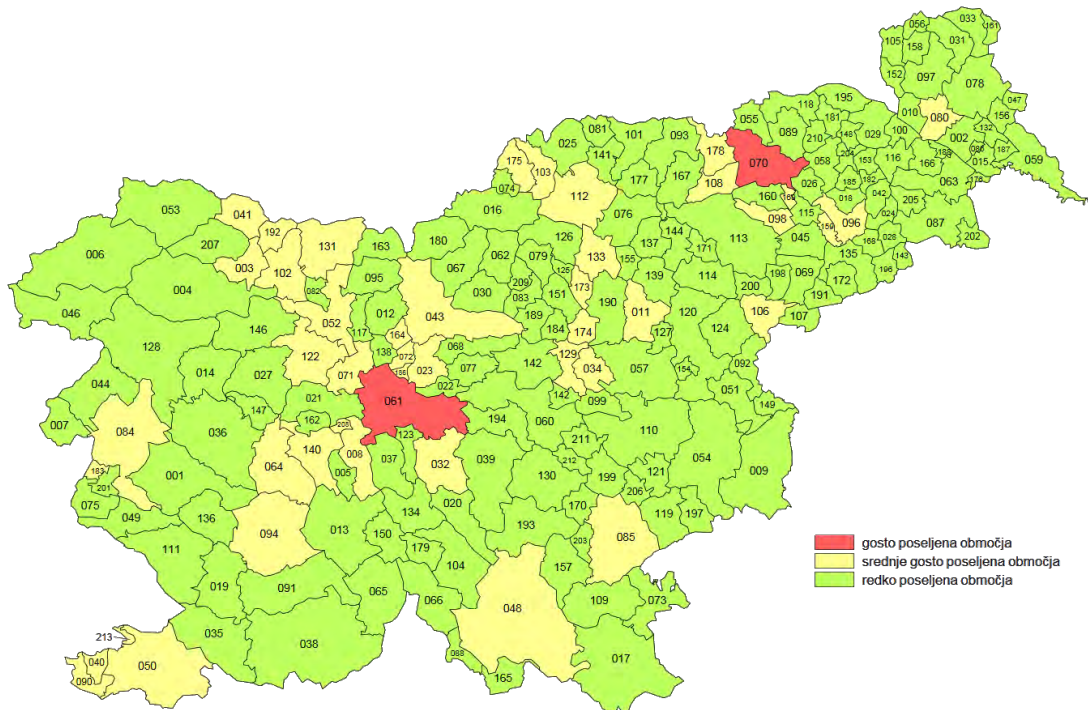
Tako pridobljeni rezultat znaša 23 - 27 TWh letno za vso Slovenijo, pri čemer ta vrednost posebej ne vrednoti parkirišč in degradiranih območij.

4.1.2 Lokalno povprečenje z upoštevanjem stopnje urbanizacije

V poročilu (32) navajajo tri različne specifične potenciale streh glede na stopnjo urbaniziranosti, od mest, prek predmestij in podeželja.

Slika 29 prikazuje stopnjo urbanizacije za občine v letu 2017 pridobljeno iz podatkov SURS (89). Preračun je v grobem predstavljen v tabeli 8, kjer so navedene površine posameznih regij, površine streh oziroma aktivnih območij (parkirišča, degradirana območja) in pričakovani izplen na m^2 strehe oziroma območja. Za parkirišča in degradirana območja smo nekoliko arbitrarno prevzeli, da bo s paneli pokrito le 40% parkirišč in 100% degradiranih območij. Z upoštevanjem izkoristka, osončenosti in drugih parametrov, lahko za parkirišča predvidimo izplen $80 \text{ W}_{\text{el}}/\text{m}^2$, za degradirana območja pa $200 \text{ W}_{\text{el}}/\text{m}^2$. Tehnični potencial E_{PV_1} se izračuna s podobnim postopkom kot zgoraj:

$$E_{PV_1} = \sum_i C_{PVA,i} \cdot A_i \quad (10a)$$



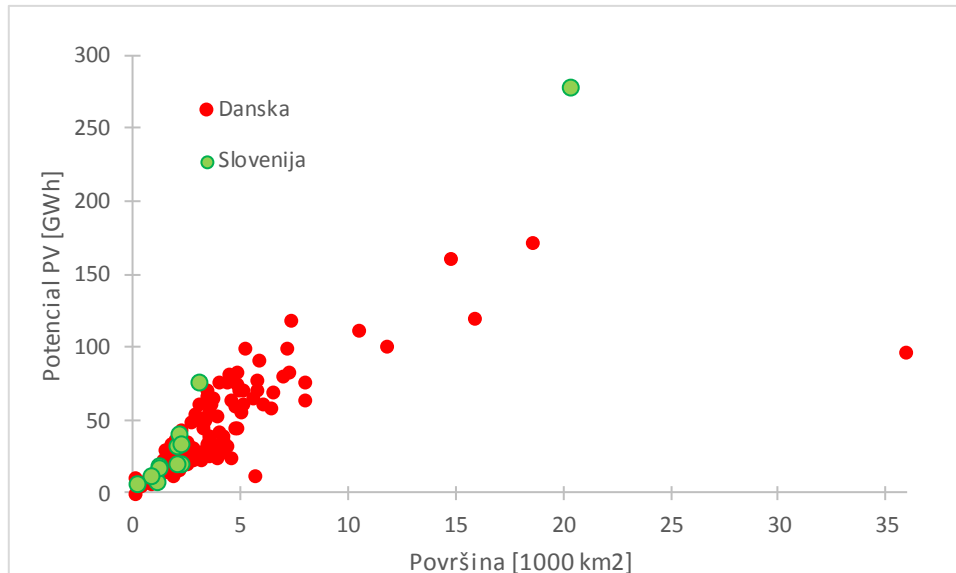
Slika 29: Stopnja urbanizacije za občine v Republiki Sloveniji

Tabela 9: Pregled projekcij letnih donosov PV povprečeno po regijah

Statistična regija ali območje	Površina regije [km ²]	Izplen [kWh/m ²]	Površina streh [km ²]	Projekcija [GWh/leto]
Gorenjska	2148,5	105,4	30,2	3178,3
Goriška	2325,7	99,0	18,5	1835,2
Jugovzhodna	2115,1	97,6	17,8	1735,7
Koroška	1040,8	99,6	9,9	990,9
Notranjsko-kraška	1233,1	97,2	6,6	645,6
Obalno-kraška	1322,9	96,9	16,5	1603,1
Osrednjeslovenska	3154,7	91,4	74,0	6767,8
Podravska	2179,0	91,2	38,7	3533,8
Pomurska	1336,1	94,7	16,2	1531,9
Savinjska	2354,6	99,0	32,5	3222,9
Spodnjeposavska	889,1	92,0	10,2	938,4
Zasavska	263,5	103,6	4,7	485,4
Parkirišča	N/A	80,0	6,6	528,0
Degradirano	N/A	200,0	3,0	600,0
Slovenija	20363,1		282,6	27597,0

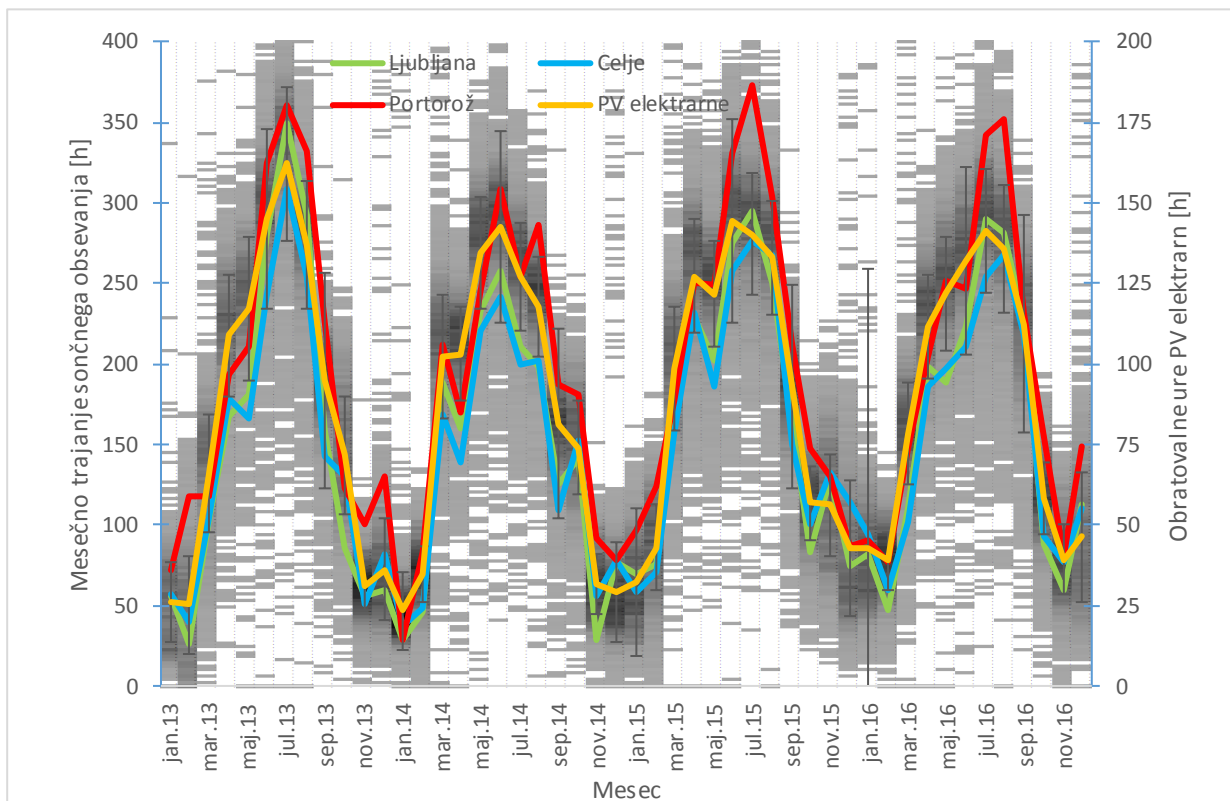
Skupni rezultat za tehnični potencial predstavlja dobrih 27 TWh letne proizvodnje iz PV panelov nameščenih na strehe obstoječih stavb, parkiriščih in degradiranih območjih.

Slika 30 kaže potencial PV elektrarn za prostorske enote za Dansko in Slovenijo. Viden je nekoliko večji relativni potencial v Sloveniji, kar je posledica večje osončenosti v primerjavi z Dansko.



Slika 30: Premerjava potenciala PV elektrarn za prostorske enote za Dansko in Slovenijo

Za hitro in grobo verifikacijo uporabljene metode smo uporabili podatki o obratovalnih urah sončnih elektrarn v Sloveniji v letih 2013-2016 (90) in jih primerjali s podatki o mesečnem trajanju sončnega obsevanja (91). Slika 31 prikazuje sestavljene podatke: podatki vseh sončnih elektrarn so normirani in razdeljeni v mesečne histograme, pri čemer odtenek sivine določa pogostost obratovalnih ur. Povprečje je izrisano z oranžno črto, pri čemer je označen standardni raztros meritev. Mesečno trajanje sončnega obsevanja je predstavljeno za Ljubljano, Celje in Portorož v zeleni, modri in rdeči barvi, pri čemer sta Celje in Portorož predstavnika pokrajin (tabela 8), kjer je sončnega obsevanja najmanj oziroma največ.



Slika 31: Premerjava obratovalnih ur sončnih elektrarn v Sloveniji in mesečno trajanja osončenja v letih 2013-2016

Rezultati pokažejo, da je sončevega obsevanja praviloma manj kot pa je normiranih obratovalnih ur, saj je potrebno upoštevati, da sonce ne sije vedno pravokotno na panel in tako nima maksimalnega izkoristka. A po drugi strani skrajni odkloni, sploh v smeri večje količine obratovalnih ur, kažejo na slabo kvaliteto tako pridobljenih podatkov (91), a večina podatkov je ustreznih.

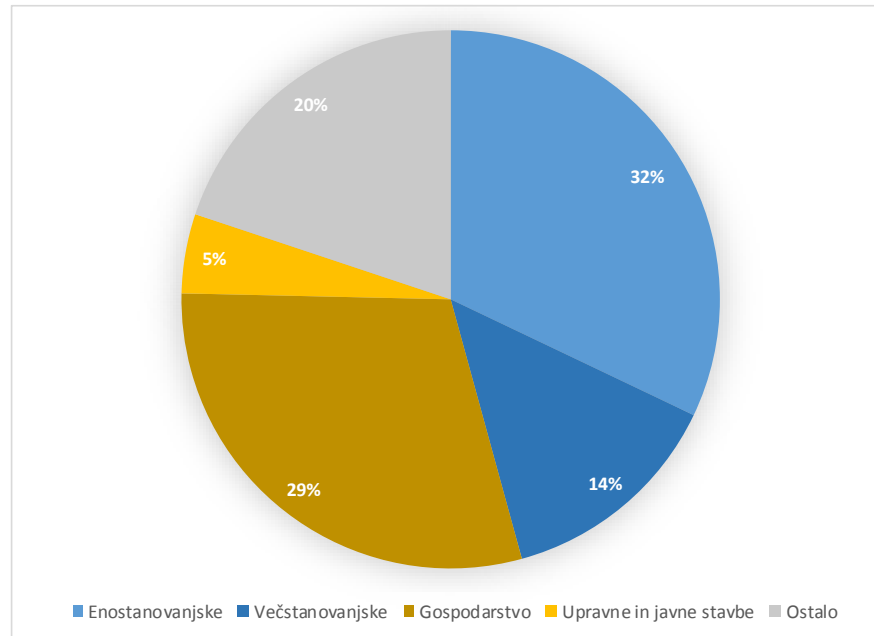
Primerjava s trajanjem sončnega obsevanja razkrije, da v povprečju elektrarne »izkoristijo« 59.8 % razpoložljivih ur. Če upoštevamo še nagib PV panelov (le-ti so v Sloveniji praviloma nagnjeni proti jugu za 30-35°) pa se lahko ta »izkoristek« spusti vse do 48.4 %. Ta dva podatka pa sta v skladu s številom tipičnih letnih obratovalnih ur za Slovenijo (npr. (92) v primerjavi s številom ur letnega sončnega obsevanja, ki se v Sloveniji giblje med 1650 in 2480 ur. To hkrati tudi potrjuje nekoliko konzervativnejšo oceno iz poročila (32), pri čemer nekatere študije za Slovenijo kažejo na solidno ujemanje. (npr. (84)).

4.2 Ekonomski potencial

4.2.1 Namembnost stavb

Obravnavane stavbe je za potrebe izračuna ekonomskega potenciala smiselno razdeliti glede namembnosti. Stanovanjske stavbe (npr. (93), (94) (95) (96)) imajo tipično porabo razporejeno drugače kot poslovne zgradbe (65). Slika 32 prikazuje delež stavb po namembnosti. Za potrebe

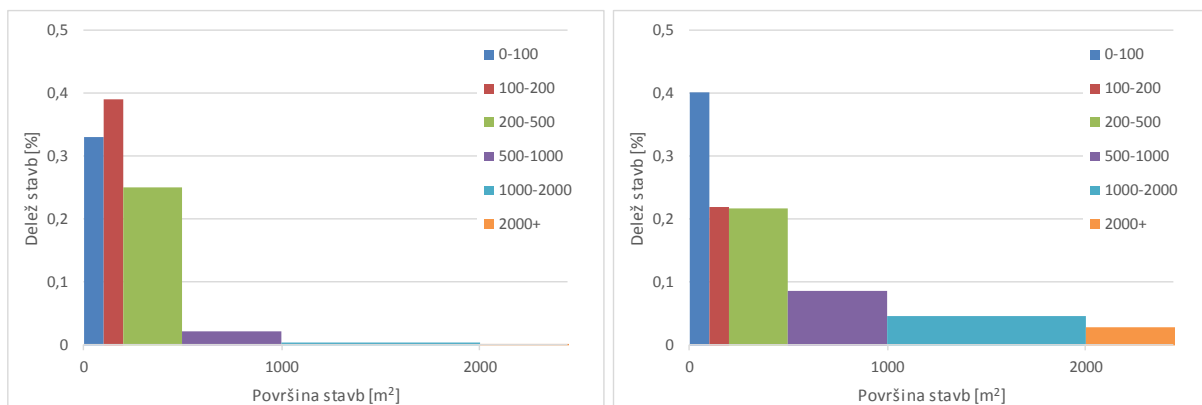
naše analize je razdelitev razmeroma groba, na stanovanjske, gospodarsko-poslovne in upravne stavbe in ostale stavbe. Delež stanovanjskih stavb je skorajda polovičen, gospodarsko-poslovne in upravne stavbe pa predstavljajo dobro tretjino stanovanjskega fonda.



Slika 32: Delež stavb po namembnosti

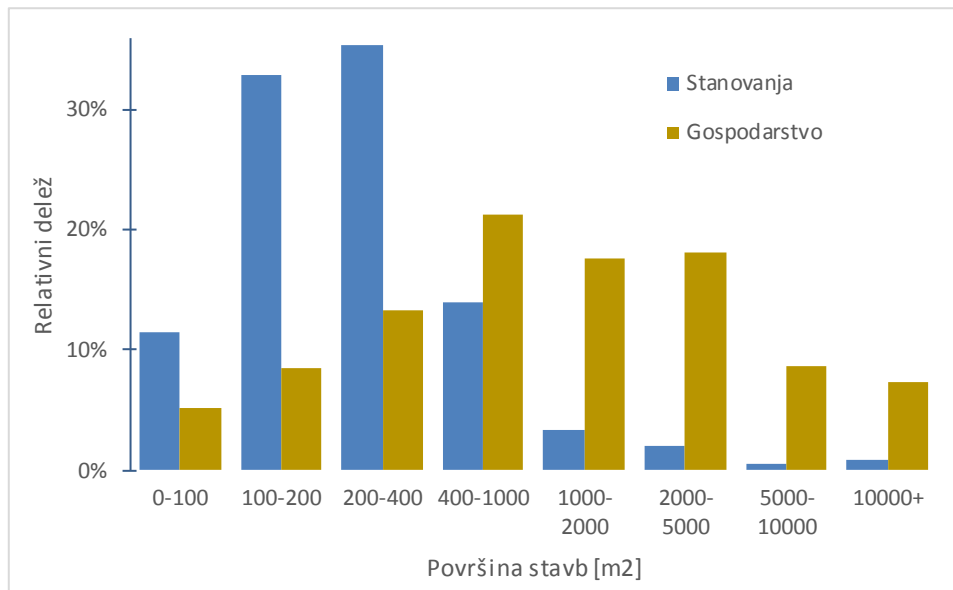
Za hitro analizo je smiselno površine pod objekti razdeliti na razrede velikosti (0 – 100, 100 – 200, 200 – 500, 500 – 1000, 1000 – 2000 in nad 2000 m²).

Glede na ugotovitve iz poglavja 3.7.1 *Omrežje* glede odjema, je bolj smiselno primarno osredotočenje na industrijske (gospodarske) in upravne stavbe, ki imajo večino potreb po energiji podnevi (glej tudi Slika 17) ter večje površine posameznih streh. Slika 33 tako prikazuje histograma površin pod stavbami za stanovanjske (levo) ter gospodarsko-poslovne in upravne stavbe (desno), pri čemer širina posameznega stolpca ustreza razredu velikosti stavb v njem. Porazdelitev površin ostalih stavb je podobna porazdelitvi površin stanovanjskih stavb.



Slika 33: Histogram števila stavb v odvisnosti od površine pod njimi za stanovanjske (levo) ter gospodarsko-poslovne in upravne stavbe (desno).

Slika 34 prikazuje histogram relativnega deleža površin pod stavbami (ekvivalent površini streh) za stanovanjske ter gospodarsko-poslovne in upravne stavbe. Razvidno je, da so površine industrijskih stavb pričakovano večje od stanovanjskih. Pri slednjih največjo kumulativno površino predstavljajo stavbe, ki pokrivajo med 200 in 400 m² zemljišča, pri industrijskih stavbah pa takšne s površino med 400 in 1000 m².



Slika 34: Histogram površin pod stavbami za stanovanjske (modre) ter gospodarsko-poslovne in upravne stavbe (rdeče).

4.2.2 Skupni referenčni stroški električne energije

Oceno skupnih referenčnih stroškov električne energije (RSEE) iz PV elektrarn lahko ocenimo glede na predhodno dobljene parametre in postopke (glej poglavje 3.8 *Ekonomski parametri za potencial*). Pri tem so bila upoštevana diskontna stopnja 4.0 % in amortizacijska doba 15 let, kar prinese anuitetni faktor 0,0899. Pri izračunih bodočih stroškov so upoštevani tudi:

- Površina streh (manjše stavbe imajo višjo specifično ceno)
- Bodoče cene PV panelov
- Povečanje izkoristka bodočih PV panelov
- Povečanje osončenosti (upoštevano je le 60% trenda v zadnjih 60 letih, kar je razmeroma konzervativna ocena).

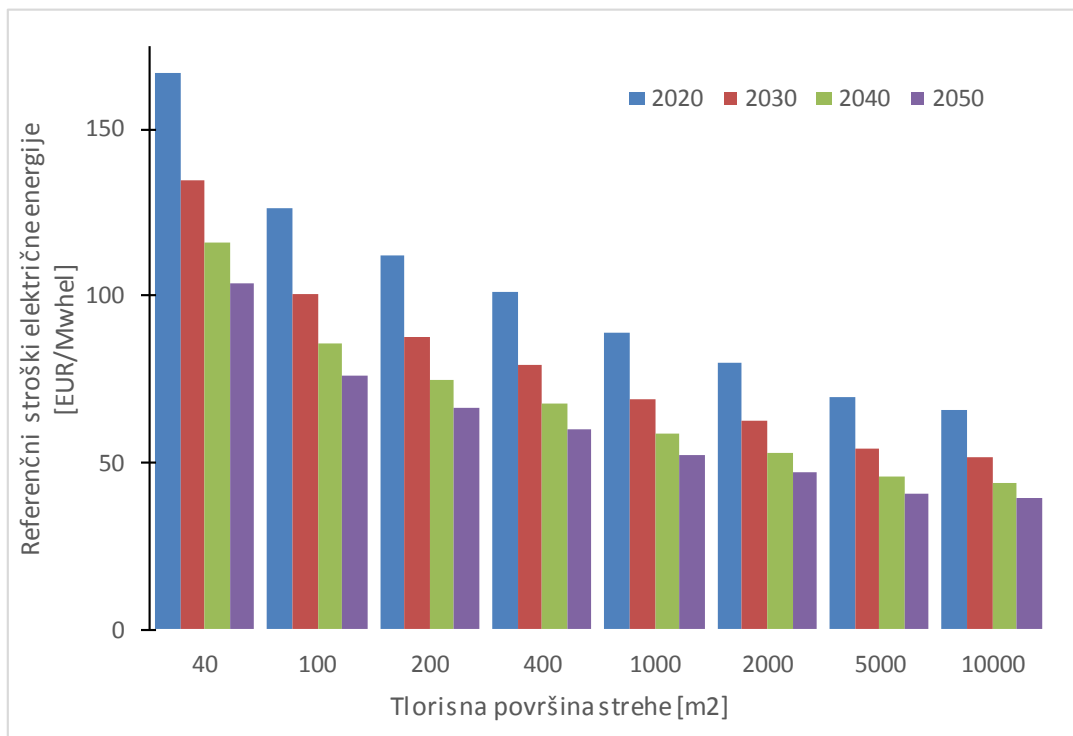
Tabela 10: Poglavitni parametri ekonomske analize

Parameter	Vrednost
<i>Diskontna stopnja</i>	4,0 %
<i>Amortizacijska doba</i>	15 let
<i>Anuitetni faktor</i>	8,99 %
<i>Obratovalne ure</i>	1100 – 1250 h/p.a.
<i>Vzdrževanje</i>	0,1 %
<i>Osebj</i>	0,01 za elektrarne pod 50 kW _{el} 0,12 za elektrarne 50 kW _{el} – 1 MW _{el} 0,3 za elektrarne do 10 MW _{el}
<i>Strošek dela</i>	25 000 EUR/osebo p.a.
<i>Stroški zavarovanja, upravljanja, zakupa</i>	0,4%
<i>Obratovalni stroški</i>	0,04%

Tabela 11: Predvideni skupni referenčni stroški električne energije iz PV panelov glede na površino streh

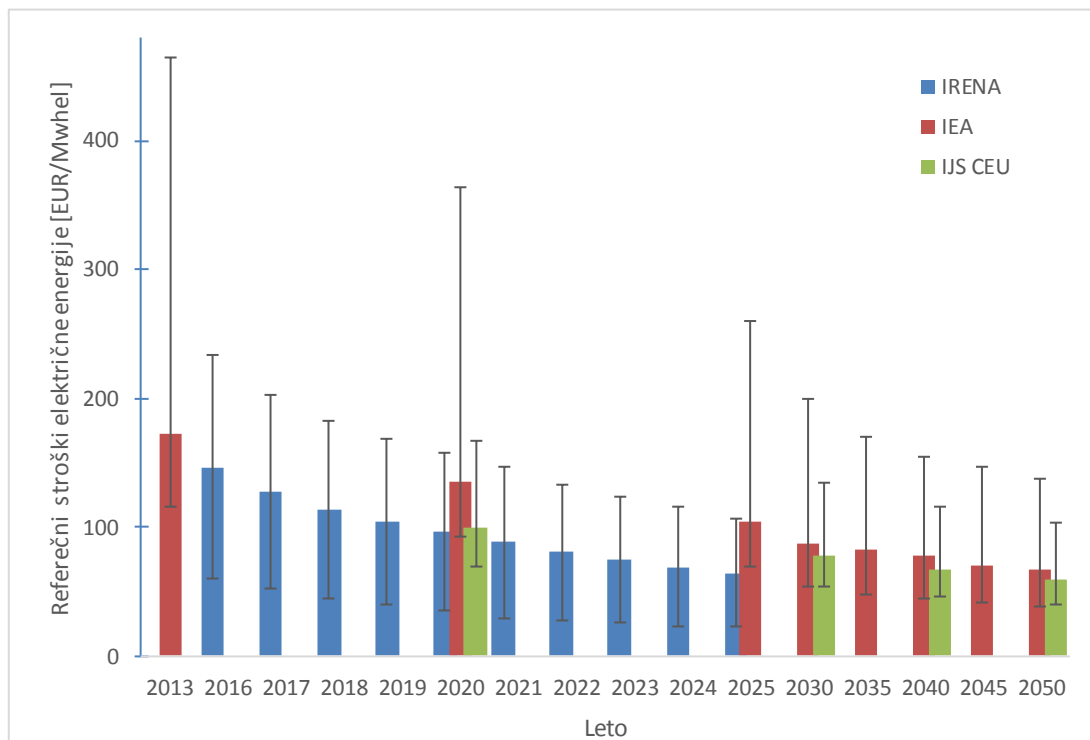
Površina strehe [m ²]	Nazivna moč [kW _{el}]	Skupni referenčni stroški električne energije [EUR/MWh _{el}]			
		2020	2030	2040	2050
100	9,8	167.1	134.7	116.2	103.7
200	19,6	126.5	100.3	85.9	76.4
400	39,2	111.9	88.0	75.0	66.6
1000	98,0	101.4	79.5	67.7	60.0
2000	196,0	88.8	69.3	58.9	52.2
5000	490,0	80.3	62.6	53.1	47.0
10000	980,0	69.6	54.2	46.0	40.7

Slika 35 prikazuje predvidene skupni referenčni stroški električne energije iz PV panelov glede na površino streh. Razviden je trend močnega upadanja, tako po letih kot tudi po površini streh.



Slika 35: Predvideni skupni referenčni stroški električne energije iz PV panelov glede na površino streh

Za primerjavo predvidenih skupnih referenčnih stroškov električne energije iz PV panelov je mogoče vzeti nekatera novejša poročila. Slika 36 prikazuje primerjavo dobljenih rezultatov in referenčne podatke IRENA (65) in IEA (83) (97). Opazen je trend zmanjševanja cen, ki naj bi do leta 2050 znašale 60-70 EUR/MWh_{el}. Hkrati pa je razvidno tudi zmanjševanja raztrosa stroškov, kar je verjetno posledica zrelosti tehnologije. Izračunani rezultati kažejo dobro ujemanje izračunanih referenčnih stroškov (prikazano s stolpci v zeleni barvi) z drugimi dosegljivimi ocenami stroškov.



Slika 36: Predvideni skupni referenčni stroški električne energije iz strešnih sončnih elektrarn – primerjava z referenčnimi podatki

4.2.3 Ocena letnih stroškov glede na predhodne scenarije

Glede na podatke prikazane v poglavju 3.8 *Ekonomski parametri za potencial*, je v danem naboru streh najbolj smiselna inštalacija PV sistemov na gospodarsko-poslovne in upravne stavbe. Zaradi izrazitega dnevnega cikla (potrebe po električni energiji so največje med delovanjem teh ustanov) so potrebe po pametni oziroma aktivni regulaciji najmanjše. Hkrati pa je večji tudi delež večjih objektov, kar nekoliko poceni investicijske stroške.

Za indikativno določitev ekonomskega potenciala se je smiselno omejiti le na pomembnejše scenarije predstavljene v poglavju 2.1 *Potencial solarne energije za Slovenijo*

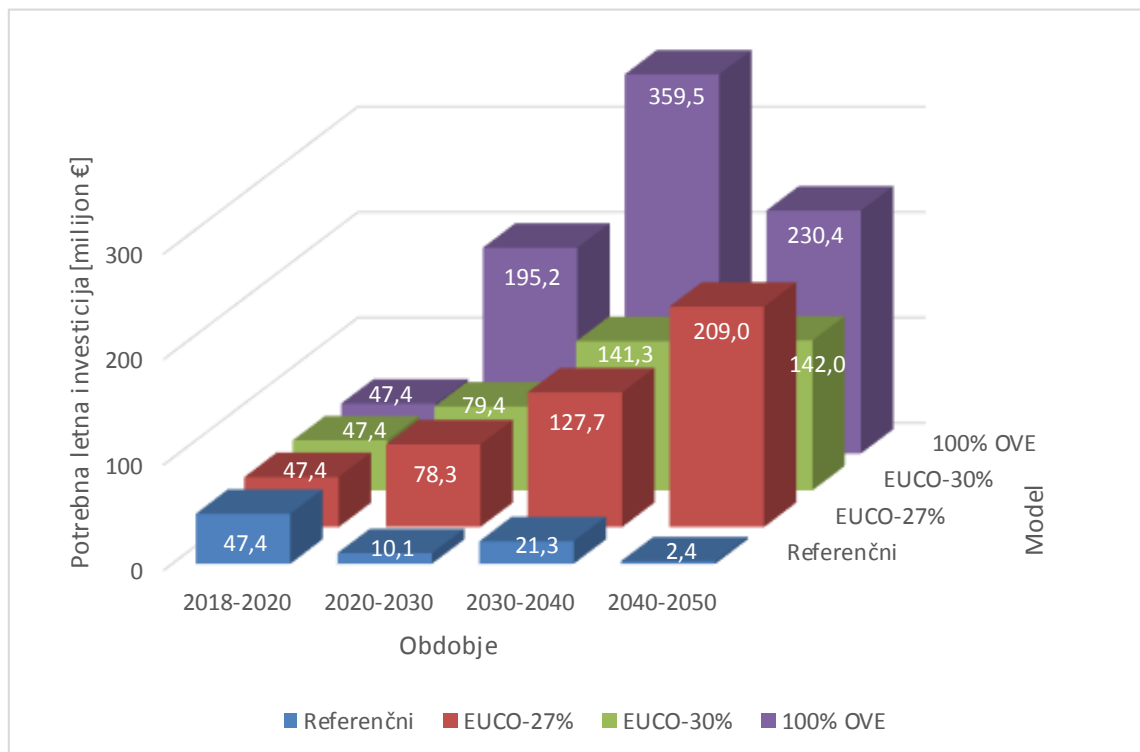
Tabela 3 – (1) referenčni, (2) EUCO27, (3) EUCO30 in (4) 100% OVE, ki do leta 2050 navajajo 891, 5740, 5169 oziroma 10831 GWh električne energije proizvedene iz PV panelov. Tabela 12 prikazuje potrebne dodatne količine energije, dodatne površine panelov in dodatne investicije za izvedbo posameznih scenarijev.

Tabela 12: Potrebne velikosti PV panelov in investicije za zadovoljitev različnih scenarijev

	Model	Predvidena količina energije iz PV panelov [GWh]	Razlika od prejšnje napovedi [GWh]	Predviden izkoristek novih PV panelov [W_p/m^2]	Potrebna površina PV panelov [km^2]	Na novo inštalirana moč [MW]	predvidena cena inštalacije [€/kW]	Potrebna investicija [milijon €]	Potrebna letna investicija [milijon €]
2020	vsi	422	145	162,8	0,891	135,7	1048,0	142,2	47,4
2030	(1) Referenčni	554	132	170,3	0,775	123,5	818,0	101,0	10,1
	(2) EUCO27	1445	1023	170,3	6,007	957,2	818,0	783,0	78,3
	(3) EUCO30	1460	1038	170,3	6,095	971,2	818,0	794,5	79,4
	(4) 100% OVE	2973	2551	170,3	14,980	2386,9	818,0	1952,5	195,2
2040	(1) Referenčni	863	309	180,6	1,711	289,1	737,0	213,1	21,3
	(2) EUCO27	3297	1852	180,6	10,256	1732,9	737,0	1277,1	127,7
	(3) EUCO30	3509	2049	180,6	11,346	1917,2	737,0	1413,0	141,3
	(4) 100% OVE	8186	5213	180,6	28,867	4877,7	737,0	3594,8	359,5
2050	(1) Referenčni	891	28	189,9	0,147	36,1	663,0	23,9	2,4
	(2) EUCO27	5740	2443	189,9	12,862	3151,7	663,0	2089,6	209,0
	(3) EUCO30	5169	1660	189,9	8,740	2141,6	663,0	1419,9	142,0
	(4) 100% OVE	10831	2645	189,9	13,925	3412,3	675,2 ¹¹	2304,0	230,4

Slika 37 kaže potrebno letno investicijo za inštalacijo PV panelov v obdobju 2018-2050 za zagotovitev izpolnitve različnih scenarijev.

¹¹ Specifična cena je višja, ker je za zagotavljanje dovoljšnje kapacitete potrebno inštalirati PV panele na strehe manjših dimenzij, kar podraži inštalacijo. Izračun je ustrezno upošteval delež posameznih streh.



Slika 37: Potrebna letna investicija za inštalacijo PV panelov za zagotovitev izpolnitve različnih scenarijev.

5 Zaključek

Poročilo zajema kritičen pregled literature na področju (strešnih) fotovoltaičnih sistemov. Uporabljeni podatki in metodologije so bile uporabljene za izračun različnih potencialov (fizikalni, tehnični, ekonomski ipd.) za pridobivanje elektrike iz sončnih strešnih elektrarn. Iz pregleda literature so bili povzeti in preverjeni ključni parametri za agregiran pristop. Zaradi trenutnih omejitev nismo uspeli uveljaviti determinističnega pristopa (z diskretnimi podatki LiDAR o površini in nagibu streh vseh poslopij v Sloveniji), ki bi omogočil še natančnejše vrednotenje podatkov. Uporabljen agregiran pristop je upošteval geografske razlike v Sloveniji (npr. glede osončenosti in urbanizacije). Pri analizi so navedene nekatere ovire kot so nepripravljenost omrežja na večje količine razpršene proizvodnje in problem presežkov električne energije (pojav račje-krivulje).

Podatki o površini streh stavb v Sloveniji so bili pridobljeni iz ustreznih baz GURS. Dodatno sta bilo ocenjeni površini degradiranih in parkirnih površin, ki bi prav tako služile za postavitve fotovoltaičnih sistemov (npr. oblika nadstreška), čeprav predstavljata manj kot 3,5 % primernih površin.

Tehnični potencial v Sloveniji je ocenjen na dobrih 27 TWh letno, kar je skoraj dvakratnik sedanje proizvodnje električne energije v Sloveniji (16,5 TWh, (98)). Glede na podatke so bili ocenjeni skupni referenčni stroški električne energije iz fotovoltaičnih panelov glede na površino streh stavb. Stroški znašajo med 70 in 170 EUR/MWh_{el} za leto 2020 in padejo na 40-105 EUR/MWh_{el} do leta 2050.

6 Seznami

6.1 Seznam oznak in okrajšav

AN	<i>Akcijski načrt</i>
DC	<i>Direct Current (enosmerni tok)</i>
EUCO	<i>EU Core Policy Scenarios Using the PRIMES Model</i>
EUCO	<i>European Commission, core policy scenarios</i>
GIS	<i>Geografski informacijski sistem</i>
GURS	<i>Geodetska uprava Republike Slovenije</i>
HPR	<i>Hornsedale Power Reserve</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IREET	<i>inštitut za raziskave v Energetiki, ekologiji in tehnologiji</i>
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
LiDAR	<i>Light detection and ranging</i>
LIFE	<i>'L'Instrument Financier pour l'Environnement'</i>
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
OVE	<i>Obnovljivi viri energije</i>
P2G	<i>Power to Gas</i>
PRIMES	<i>Price-Induced Market Equilibrium System</i>
PV	<i>Fotovoltaično</i>
PVGIS	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
REPAP2020	<i>Renewable Energy Policy Action Paving the Way towards 2020</i>
RTP	<i>Razdelilna transformatorska postaja</i>
SURS	<i>Statistični urad Republike Slovenije</i>
ZSFI	<i>Združenje slovenske fotovoltaične industrije</i>

6.2 Seznam slik

Slika 1: Tipi potencialov in vplivi na njihov izkoristek	12
Slika 2: Letna proizvodnja fotovoltaičnih elektrarn v Sloveniji z nekaterimi napovedi potencialov	15
Slika 3: Letno obsevanje na horizontalno površino v Sloveniji	20
Slika 4: Delež površine pod stavbami (enakovredno površini streh) glede na namenskost stavb po CC-SI klasifikaciji.	21
Slika 5: Delež površine streh glede na namenskost stavb za statistične regije	22
Slika 6: Površina parkirišč po katastrskih občinah (46).....	24
Slika 7: Sprememba površine parkirišč od leta 1999 do 2011 po katastrskih občinah (46).....	24
Slika 8: Delež degradiranih območij glede na stopnjo opuščenosti	25
Slika 9: Površine namenjenje PV.....	26
Slika 10: Povprečna temperatura v Ljubljani (48)	26
Slika 11: Povprečna poletna temperatura in trajanje sončnega obsevanja na Kredarici (48)	27
Slika 12: Povprečno mesečno trajanje sončnega obsevanja 1960-2016 (49) (50).....	27

Slika 13: Učinkovitosti PV celic, laboratorijske meritve	28
Slika 14: Izkoristki komercialnih PV panelov.....	29
Slika 15: Napoved bodočih izkoristkov generične SE (57)	29
Slika 16: Račja krivulja v Kaliforniji postaja strmejša z večjo penetracijo sončne energije	31
Slika 17: Urni delež porabe električne energije v gospodinjstvih, upravnih zgradbah in gospodarstvu	32
Slika 18: Obremenitve sredjenapetostnega izvoda (mešani odjem levo in industrijski odjem desno) s simulacijo dodatne obremenitve zaradi polnjenja električnih vozil, obratovalni podatki za RTP Vrtojba 2015 (67)	32
Slika 19: Tehnologije za shranjevanje energije	34
Slika 20: Shema navezave PV panela in baterijskega shranjevanja električne energije	35
Slika 21: Izkoristek PV panela glede na azimut ($180^\circ = J$) in elevacijo.....	36
Slika 22: Delež streh glede na naklon (34).....	36
Slika 23: Kumulativni prispevek PV elektrarn oziroma streh v odvisnosti od deleža streh.....	37
Slika 24: Swansonov zakon: padajoče cene panelov v odvisnosti od količine letne proizvodnje	38
Slika 25: Investicijski strošek za postavitve strešne PV v odvisnosti od površine elektrarne.	40
Slika 26: Specifične cene nameščenih PV elektrarn na strehe v Sloveniji v letu 2017 (84).....	41
Slika 27: Določitev faktorja vpliva površine f_A	42
Slika 28: Napoved investicijskih stroškov za majhne (oziroma strešne) solarne elektrarne	43
Slika 29: Stopnja urbanizacije za občine v Republiki Sloveniji	45
Slika 30: Primerjava potenciala PV elektrarn za prostorske enote za Dansko in Slovenijo	46
Slika 31: Primerjava obratovalnih ur sončnih elektrarn v Sloveniji in mesečno trajanja osončenja v letih 2013-2016	47
Slika 32: Delež stavb po namembnosti.....	48
Slika 33: Histogram števila stavb v odvisnosti od površine pod njimi za stanovanjske (levo) ter gospodarsko-poslovne in upravne stavbe (desno).	49
Slika 34: Histogram površin pod stavbami za stanovanjske (modre) ter gospodarsko-poslovne in upravne stavbe (rdeče).....	49
Slika 35: Predvideni skupni referenčni stroški električne energije iz PV panelov glede na površino streh	51
Slika 36: Predvideni skupni referenčni stroški električne energije iz strešnih sončnih elektrarn – primerjava z referenčnimi podatki	52
Slika 37: Potrebna letna investicija za inštalacijo PV panelov za zagotovitev izpolnitve različnih scenarijev.	54

6.3 Seznam tabel

Tabela 1: Napovedi potenciala sončne energije (3).....	13
Tabela 2: Potenciali po scenarijih do leta 2020 oziroma 2030.....	14
Tabela 3: Scenariji razvoja sončnih elektrarn do leta 2050	15
Tabela 4: Podatki o osončenosti po pokrajinah	20
Tabela 5: Površina pod stavbami (ekvivalentno površini streh) po CC-SI klasifikaciji.	23
Tabela 6: Delež obravnavanih površin v celotnem potencialu	25
Tabela 7: Povprečni donos strehe glede na okolje	30
Tabela 8: Investicijski strošek za postavitve strešne PV v odvisnosti od površine elektrarne	40
Tabela 9: Pregled projekcij letnih donosov PV povprečeno po regijah	45
Tabela 10: Poglavitni parametri ekonomske analize	50
Tabela 11: Predvideni skupni referenčni stroški električne energije iz PV panelov glede na površino streh	50

Tabela 12: Potrebne velikosti PV panelov in investicije za zadovoljitev različnih scenarijev 53

7 Reference

1. **Gagnon, Pieter, in drugi, in drugi.** *Rooftop Solar Photovoltaic Technical Potential in the United States: A Detailed Assessment.* NREL. Golden, CO, ZDA : National Renewable Energy Laboratory, January 2016. NREL/TP-6A20-65298.
2. **Sliz-Szkliniarz, Beata.** *Energy Planning in Selected European Regions - Methods for Evaluating the Potential of Renewable Energy Sources.* Karlsruhe : KIT Scientific Publishing, 2013. ISBN 9783866449510.
3. **Urbančič, Andreja et. al.** *NEP 2011: Dolgoročne energetske bilance NEP do leta 2030; Izhodišča, IJS-DP-10548, Izdaja: 03.* Ljubljana : Institut "Jožef Stefan", Center za energetska učinkovitost (CEU), 2011.
4. **International Renewable Energy Agency (IRENA), Joanneum Research and University of Ljubljana.** *Cost-Competitive Renewable Power Generation: Potential across South East Europe.* Abu Dhabi : International Renewable Energy Agency (IRENA), 2017.
5. **IREET.** *Strokovne podlage za akcijski načrt za doseganje ciljnih deležev končne porabe električne energije iz obnovljivih virov do leta 2020.* Ljubljana : IREET d.o.o., avgust 2009.
6. *Operativni program ravnanja z ločeno zbranimi frakcijami komunalnih odpadkov v obdobju 2009 – 2013, osnutek.* s.l. : FS Univerza v Ljubljani, november 2009.
7. **Združenje slovenske fotovoltaične industrije.** *Pripombe na osnutek Akcijskega načrta za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020.* Ljubljana : ZSFI, junij 2010.
8. **Tahir, Aljoša Jasim, in drugi, in drugi.** *Strokovna podpora fokusnim skupinam v sklopu priprave Strategije prostorskega razvoja Slovenije 2050, Sklop 2: prostorske možnosti za nizkoogljično družbo.* Ljubljana : BOSON, trajnostno načrtovanje, d.o.o., 2017. 219/16.
9. **Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.** *Photovoltaics Report.* s.l. : Fraunhofer ISE, 12 julij 2017.
10. **Energy Economics Group.** *REPAP2020, Renewable Energy Industry Roadmap for Slovenia.* Dunaj : Energy Economics Group, Vienna University of Technology, , 2010.
11. **Brecl, K.** *Pregled fotovoltaičnega trga v Sloveniji: Poročilo za leto 2016.* Ljubljana : PV Portal, 2017. str. 1-5.
12. —. *Pregled fotovoltaičnega trga v Sloveniji: Poročilo za leto 2015.* Ljubljana : PV Portal, 2016. str. 1-5.
13. —. *Pregled fotovoltaičnega trga v Sloveniji: Poročilo za leto 2017.* Ljubljana : PV Portal, 2018. str. 1-5.
14. **Ministrstvo za infrastrukturo Republike Slovenije.** Portal Energetika. *Električna energija - količine.* [Elektronski] 14. 12 2017. <http://www.energetika-portal.si/statistika/statisticna-podrocja/elektricna-energija-kolicine/>.

15. **Melius, J., Margolis, R. in Ong, S.** *Estimating Rooftop Suitability for PV: A Review of Methods, Patents, and Validation Techniques*. Denver : National Renewable Energy Laboratory, 2013. NREL/TP-6A20-60593.
16. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). [Elektronski] Institute for Energy, Renewable Energy Unit, 2017. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.
17. **International Energy Agency.** *Rooftop Solar PV Potential in Cities - Annex H; Part of Energy Technology Perspectives 2016 - Towards Sustainable Urban Energy Systems*. s.l. : International Energy Agency, 2016.
18. **Geodetska uprava Republike Slovenije.** Register nepremičnin. *Portal Prostor*. [Elektronski] 2017. <http://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/nepremicnine/register-nepremicnin/>.
19. *A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations.* **Izquierdo, Salvador, Rodrigues, Marcos in Fueyo, Norberto.** s.l. : Elsevier Ltd., 2008, *Solar Energy*, Zv. 82, str. 929–939.
20. *Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: Application to Piedmont Region (Italy).* **Bergamasco, Luca in Asinari, Pietro.** s.l. : Elsevier Ltd., 2011, *Solar Energy*, Zv. 85, str. 1041-1055.
21. **Google.** Project Sunroof. [Elektronski] Google, 2017. <https://www.google.com/get/sunroof>.
22. **Elkin, Carl.** Using machine learning to help people make smart decisions about solar energy. *Google Blog*. [Elektronski] 12. 6 2017. <https://www.blog.google/products/earth/using-machine-learning-help-people-make-smart-decisions-about-solar-energy/>.
23. Mapdwell. [Elektronski] 2017. <https://www.mapdwell.com/en/solar>.
24. **O’Beirne, Justin.** Google Maps's Moat. *Justin O’Beirne*. [Elektronski] 2017. <https://www.justinobeirne.com/google-maps-moat>.
25. **E.ON.** E.ON Solar - Photovoltaik & Solaranlage mit Stromspeicher. [Elektronski] E.ON SolarCloud, 2017. <https://www.eon-solar.de/>.
26. *Assessment of policy based residential solar PV potential using GIS-based multicriteria decision analysis: A case study of Apeldoorn, The Netherlands.* **Kausika, B.B., Dolla, O. in van Sark, W.G.J.H.M.** s.l. : Elsevier Ltd., 2017, *Energy Procedia*, Zv. 134, str. 110-120.
27. *Bottom-up Analysis of the Solar Photovoltaic Potential or a City in the Netherlands: A Working Model for Calculating the Potential using High Resolution LiDAR Data.* **Kausika, B.B., in drugi, in drugi.** Lisbon, Portugal : IEEE, 2015. *Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS)*, 2015 International Conference on. str. 129-135.
28. *Assessment of roof & facade potentials for solar use in Europe.* **Lehmann, Harry in Peter, Stefan.** Aachen : Institute for Sustainable Solutions and Innovations (ISUSI), 2003.
29. **Ursula Eicker, Romain Nouvel, Eric Duminil, Volker Coors.** Assessing passive and active solar energy resources in cities using 3D city models. *Energy Procedia*. 2014, Zv. 57.

30. **Laura Romero Rodríguez, Eric Duminil, José Sánchez Ramos, Ursula Eicker.** Assessment of the photovoltaic potential at urban level based on 3D city models: A case study and new methodological approach. *Solar Energy*. 2017, Zv. 146.
31. **Mainzer, Kai, in drugi, in drugi.** A high-resolution determination of the technical potential for residential-roof-mounted photovoltaic systems in Germany. *Solar Energy*. 2014, Zv. 105.
32. **Mathiesen, B. V., David, A., Petersen, S., Sperling, K., Hansen, K., Nielsen, S., ... Neves, J. B. D.** *The role of Photovoltaics towards 100% Renewable energy systems*. Aalborg : Department of Development and Planning, Aalborg University, 2017.
33. **Lukač, Niko.** *Algoritem za celostno vrednotenje fotovoltaičnega in vetrnega potenciala večjih geografskih območij*. Maribor : Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru, 2016.
34. *Buildings roofs photovoltaic potential assessment based on LiDAR (Light Detection And Ranging) data*. **Lukač, Niko, in drugi, in drugi.** s.l. : Elsevier Ltd., 2014, Energy, Zv. 66, str. 598-609.
35. *Geinformacijsko vrednotenje lokacij za postavitev sončnih celic v naselju Lavrica*. **Mohorič, Nino in Repe, Blaž.** 2014, Digitalni prostor, str. 197-205.
36. **Lukač, Niko, in drugi, in drugi.** Rating of roofs' surfaces regarding their solar potential and suitability for PV systems, based on LiDAR data. *Applied Energy*. 2013, Zv. 102, str. 803-812.
37. **Šterk, L.** *Optimizacija izkoriščenosti terena s pomočjo izračuna odstotka osončenosti*. Ljubljana : Fakulteta za gradbeništvo Univerze v Ljubljani, 2012. Dipl. nal. – VSŠ. UL FGG.
38. **Prislan Kodelja, K.** *Analiza osončenosti stavbe v tipičnem vzorcu pozidave in njen zapis s parametrično enačbo*. Ljubljana : Fakulteta za gradbeništvo Univerze v Ljubljani, 2013. Dipl. nal. – UNI. UL FGG,.
39. **Zupan, N.** *Izračun osončenosti stavbnega ovoja realnih urbanih vzorcev*. Ljubljana : Fakulteta za gradbeništvo Univerza v Ljubljani, 2012. Dipl. nal. –UNI-B, UL FGG.
40. *Solar Potential in the Existing Slovenian Building Stock*. **Mitja Košir, Mateja Dovjak, Živa Kristl.** Aix-les-Bains-France : International solar energy society, 2014. str. 1-8.
41. **IEA.** *Annex H: Rooftop Solar PV Potential in Cities; Part of Energy Technology Perspectives 2016 - Towards Sustainable Urban Energy Systems*. s.l. : International Energy Agency, 2016.
42. *Rooftop solar photovoltaic potential in cities: how scalable are assessment approaches*. **Sergio Castellanos, Deborah A. Sunter, Daniel M. Kammen.** s.l. : IOP Publishing Ltd, 2017, Environ. Res. Lett., Zv. 12.
43. **Geopedia.si.** Geopedia.si. *Letno sončno obsevanje-horizontalno*. [Elektronski] 14. 12 2017. Vir podatkov: Fakulteta za matematiko in fiziko, Katedra za meteorologijo, Ljubljana, Ob iskoristku modulov 16% in učinkovitosti sistema 0,7. <http://www.geopedia.si/?params=L1678>.
44. **PV Portal.** Sončno obsevanje v Sloveniji . *PV Portal*. [Elektronski] 14. 12 2017. <http://pv.fe.uni-lj.si/ObsSLO.aspx>.
45. **D. Kastelec, J. Rakovec, K. Zakšek.** *Sončna energija v Sloveniji*. Ljubljana : ZRC SAZU, 2007.

46. *Spremljanje prometne rabe zemljišč v Sloveniji*. **Bole, David**. Ljubljana : Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, 2015, Georitem 25.
47. **Lampič, Barbara**. *Degradirana območja zaradi opuščene dejavnosti*. Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta. Ljubljana : Univerza v Ljubljani, 2012. TP02.
48. **Renato Bertalanič, Miha Demšar, Mojca Dolinar, Damjan Dvoršek, Mateja Nadbath, Boris Pavčič, Metka Roethel-Kovač, Gregor Vertačnik, Zorko Vičar**. *Spremenljivost podnebja v Sloveniji*. Ljubljana : Agencija RS za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor, 2010.
49. **Agencija RS za okolje**. *Klimatografija Slovenije: Trajanje sončnega obsevanja*. Urad za meteorologijo. Ljubljana : Agencija RS za okolje, 2004.
50. **Državna meteorološka služba**. meteo.si. *Državna meteorološka služba*. [Elektronski] Agencija RS za okolje, 2017. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/>.
51. **Wild, Martin, in drugi, in drugi**. Projections of long-term changes in solar radiation based on CMIP5 climate models and their influence on energy yields of photovoltaic systems. *Solar Energy*. 2015, Zv. 116.
52. **Dirk C. Jordan, Sarah R. Kurtz**. *Photovoltaic Degradation Rates – An Analytical Review*. s.l. : National Renewable Energy Laboratory, 2012. NREL/JA-5200-51664.
53. **Swanson, Richard M**. A vision for crystalline silicon photovoltaics. *Progress in Photovoltaics*. 2006, Zv. 14, 5.
54. Photovoltaic Research. *National Renewable Energy Laboratory*. [Elektronski] NREL, 2017. <https://www.nrel.gov/pv/>.
55. *Silicon Photovoltaics: Prepared for Terawatts*. **Sinke, Wim**. Tokijo, Japonska : PV EXPO 2014, 2014.
56. **Energysage**. 2017 Most Efficient Solar Panels on the Market. *EnergySage*. [Elektronski] 2017. <https://news.energysage.com/what-are-the-most-efficient-solar-panels-on-the-market/>.
57. **Elek**. *Projekcije za generično sončno elektrarno (SE)*. Ljubljana : Elek, 2018.
58. *Electrical Power Transmission: Background and Policy Issues*. **Kaplan, S. M.** s.l. : The Capital.Net, Government Series, 2009.
59. **Kaplan, Stan Mark**. *Electric Power Transmission: Background and Policy Issues*. Washington DC, ZDA : Congressional Research Service, 2009. 7-5700.
60. **Strbac, Goran, Kirschen, Daniel in Moreno, Rodrigo**. Reliability Standards for the Operation and Planning of Future Electricity Networks. *Foundations and Trends in Electric Energy Systems*. 2016, Zv. 1, 3.
61. **Denholm, Paul, in drugi, in drugi**. *Overgeneration from Solar Energy in California: A Field Guide to the Duck Chart*. Denver, CO, ZDA : National Renewable Energy Laboratory, 2015. NREL/TP-6A20-65023.
62. **Andrews, Roger**. The California Duck Curve isn't confined to California. *Energy Matters*. [Elektronski] November 2017. euanmearns.com/the-california-duck-curve-isnt-confined-to-california/.
63. **GIZ – distribucije električne energije**. GIZ – distribucije električne energije. *Pametna omrežja*. [Elektronski] Elektro Gorenjska, 2018. www.giz-dee.si/pametna-omrezja/Projekt/9/EDP/5/Vsebina/4.

64. *Assessing solar potential and battery instalment for self-sufficient buildings with simplified model*. **Kovač, Marko, in drugi, in drugi**. Paisley, UK : University of the West of Scotland, 2018. The Sustainable Energy and Environmental Protection 2018.
65. **International Energy Agency**. *Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy. Energy Technology Perspective*. Paris : IEA, 2014.
66. **Torriti, Jacopo et al**. Peak residential electricity demand and social practices: Deriving flexibility and greenhouse gas intensities from time use and locational data. *Indoor and Built Environment*. Zv. 24.
67. **Vojsk, Stanislav**. Vpliv nekaterih dejavnikov na razvojni načrt distribucijskega omrežja električne energije za desetletno obdobje. 4. *Strateška konferenca elektrodistribucije Slovenije 2018: Elektrifikacija za leto 2050*. Ljubljana : GIZ - distribucije električne energije, 2018.
68. **Huang, Daochun, in drugi, in drugi**. Ultra High Voltage Transmission in China: Developments, Current Status and Future Prospects. *Proceedings of the IEEE*. 2009, Zv. 97, 3.
69. **Komarnicki, Przemyslaw, Lombardi, Pio in Styczynski, Zbigniew**. *Electric Energy Storage Systems: Flexibility Options for Smart Grids*. Berlin : Springer-Verlag, 2017. ISBN 978-3-662-53274-4.
70. **Luo, Xing, in drugi, in drugi**. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*. 2015, Zv. 137.
71. **Hassan, Abubakar Sani, Cipcigan, Liana in Jenkins, Nick**. Optimal battery storage operation for PV systems with tariff incentives. *Applied Energy*. 2017, Zv. 203.
72. **Merei, Ghada, in drugi, in drugi**. Optimization of self-consumption and techno-economic analysis of PV-battery systems in commercial applications. *Applied Energy*. 2016, Zv. 168.
73. **Lee, April**. Batteries perform many different functions on the power grid. *Today in Energy*. [Elektronski] January 2018. www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=34432.
74. **Parkinson, Giles**. Tesla big battery outsmarts lumbering coal units after Loy Yang trips. *REneweconomy.com.au*. [Elektronski] 2017. reneweconomy.com.au/tesla-big-battery-outsmarts-lumbering-coal-units-after-loy-yang-trips-70003/.
75. **Gahleitner, Gerda**. Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2013, Zv. 38, 5.
76. **Götza, Manuel, in drugi, in drugi**. Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review. *Renewable Energy*. 2016, Zv. 85.
77. **Schaaf, Tanja, in drugi, in drugi**. Methanation of CO₂ - storage of renewable energy in a gas distribution system. *Energy, Sustainability and Society*. 2014.
78. **Jentsch, Mareike, Trost, Tobias in Sterner, Michael**. Optimal Use of Power-to-Gas Energy Storage Systems in an 85% Renewable Energy Scenario. *Energy Procedia*. 2014, Zv. 46.
79. *Monitoring 30,000 PV systems in Europe: Performance, faults, and state of the art*. **Leloux, Jonathan, in drugi, in drugi**. Hamburg : European PV Solar Energy Conference and Exhibition, 2015.
80. *Analysis of the state of the art of PV systems in Europe*. **Leloux, Jonathan, in drugi, in drugi**. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2015. PVCROPS D8.5.

81. **Millstein, D. E. in Fischer, M. L.** Reflective 'cool' roofs under aerosol-burdened skies: radiative benefits across selected Indian cities. *Environmental Research Letters*. 2014, Zv. 9.
82. **International Renewable Energy Agency.** *The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025*. s.l. : IRENA, 2016. ISBN 978-92-95111-97-4.
83. —. *Letting in the Light: How solar PV will revolutionise the electricity system*. Abu Dhabi : IRENA, 2016. ISBN 978-92-95111-96-7.
84. **Stegnar, Gašper.** *Pregled nameščenih strešnih PV elektrarn v letu 2017*. Ljubljana : IJS CEU, 2018.
85. **Merše, Stane, in drugi, in drugi.** *Metodologija določanja podpor električni energiji proizvedeni iz obnovljivih virov energije in v soproizvodnji toplote in električne energije z visokim izkoristkom*. Ljubljana : Institut Jožef Stefan, 2016.
86. —. *Metodologija za določanje cene elektrike proizvodnih naprav in referenčnih stroškov proizvodnje elektrike proizvodnih naprav*. Ljubljana : Center za energetska učinkovitost, Institut Jožef Stefan, 2016. IJS DP 12222.
87. **International Energy Agency, Nuclear Energy Agency and Organisation For Economic Co-Operation And Development.** *Projected Costs of Generating Electricity: 2015 Edition*. Paris : IAE, NEA, OECD, 2015. www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf.
88. **Raimi, Daniel.** *Decommissioning US Power Plants: Decisions, Costs, and Key Issues*. s.l. : Resources for the Future, 2017.
89. **SURS.** Stopnja urbanizacije, občine, Slovenija, 2017. [Elektronski] Geodetska uprava RS. [Navedeno:] <http://www.stat.si/dokument/9485/Kartografski%20prikaz%20ob%C4%8Din%20po%20stopnji%20urbanizacije%202017.pdf>.
90. **Đorić, Marko.** *Podporna shema proizvodnje električne energije iz OVE in SPTE : Priprava strokovnih podlag za pripravo strateških dokumentov, akcijskih načrtov in ukrepov s področja energije*. Ljubljana : Institut Jožef Stefan, center za energetska učinkovitost, 2017. interno gradivo.
91. **Agencija Republike Slovenije za okolje.** Meteorološki letopisi. *meteo.si*. [Elektronski] 2017. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/yearbook/>.
92. **Sol Navitas.** Dobro je vedeti. *Sol-Navitas*. [Elektronski] Sol-Navitas, 2016. <https://www.sol-navitas.si/dobro-je-vedeti/>.
93. **Ipsos-RSL, Office for National Statistics.** *United Kingdom Time Use Survey, 2000*. s.l. : UK Data Service, 2003. 4504.
94. **Anderson, Ben.** *Modeling Electricity Demand in Time and Space*. [https://www.slideshare.net/ben_anderson/modeling-electricity-demand-in-time-and-space] s.l. : Sustainable Energy Research Group Faculty of Engineering & Environment , 2014.
95. **Luft, Scott.** A Tried and True Method of Reducing Electricity Consumption. *Cold Air: Analysis and commentary on energy, environment, and politics*. [Elektronski] 8. 2 2015. <http://coldair.luftonline.net/2015/02/a-tried-and-true-method-of-reducing.html>.

96. Sončna elektrarna- Izračun moči . *Prekoneta Solar WebPoint*. [Elektronski] Prekoneta , 2014. <http://prekoneta.ruf.si/mini-mikro-pv-male-hisne-otocene-solarne-soncne-vetrne-veterne-hibridne-elektrarne/fotovoltaika-7/soncna-elektrarna-izracun-moc-71>.

97. **International Energy Agency**. *World Energy Outlook 2017*. Paris : IEA, 2017. iea.org/wea.

98. **Statistični urad RS**. Proizvodnja električne energije po vrstah elektrarn (GWh). *Podatkovna baza SI-STAT*. [Elektronski] Statistični urad RS, 2017. http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/viewplus.asp?ma=H029S&ti=&path=../Database/Hitre_Repozitorij/&lang=2.

99. Fotovoltaika. [Elektronski] Tersus , 2017. <http://www.soncna-elektrarna.net/fotovoltaika.asp?fotovoltaika=Fotovoltaika&sistemi=Pogosta%20vpra%9Aanja>.