

Analiza korištenja integrirane fotonaponske elektrane na krovu obiteljske kuće uz mogućnost korištenja baterijskog spremnika energije

Đurić, Daniel

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:406207>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-21**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Daniel Đurić

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Goran Krajačić, dipl. ing.

Student:

Daniel Đurić

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr.sc. Goranu Krajačiću te asistentu Goranu Stunjeku, mag. ing. mech. na pomoći, stručnim savjetima te uloženom vremenu kako bi mi olakšali izradu ovog rada. Zahvaljujem se projektu INSULAE financiran iz programa Obzor 2020 i projektu OESKEP financiran iz Europskog fonda za regionalni razvoj za ustupljene podatke.

Zahvaljujem se obitelji, kolegama, prijateljima te djevojci koji su mi pomogli i pružili podršku tijekom cijelog studija i pisanja ovog rada.

Daniel Đurić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Daniel Đurić** JMBAG: **0035221329**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza korištenja integrirane fotonaponske elektrane na krovu obiteljske kuće uz mogućnost korištenja baterijskog spremnika energije**

Naslov rada na engleskom jeziku: **The analysis of roof-integrated PV plant with the possible usage of battery energy storage system**

Opis zadatka:

Europski zeleni plan i REPowerEU plan prepoznaju primjenu solarne energije kao ključni dio u tranziciji EU prema značajnijem korištenju obnovljivih izvora energije. Ubrzana primjena solarne energije pridonosi smanjenju ovisnosti EU-a o uvezenim fosilnim gorivima. Osim toga, solarna energija je najdostupniji obnovljivi izvor energije za kućanstva i doprinosi zaštiti potrošača od nestabilnih cijena energije. Također, europska inicijativa za solarne krovove ima za cilj ubrzati ogroman i nedovoljno iskorišten potencijal krovova za proizvodnju čiste energije. Inicijativa uključuje prijedlog da se tijekom sljedećih godina postupno uvede obveza ugradnje solarne energije u različite vrste zgrada, počevši od novih javnih i poslovnih zgrada, ali i stambenih zgrada. Dodatno potaknuti trenutno visokim troškovima energenata sve više se interesa predaje rješenju u obliku korištenja integriranih fotonaponskih elektrana i baterijskih spremnika energije.

Stoga je u okviru završnog zadatka potrebno provesti detaljan pregled literature vezan uz korištenje integriranih fotonaponskih elektrana te pokazati utjecaj proizvodnje električne energije na razini promatranog objekta.

Detaljnije, u okviru zadatka potrebno je :

1. Provesti detaljan pregled literature i regulative vezane uz primjenu integriranih fotonaponskih sustava,
2. Analizirati godišnju proizvodnju fotonaponskog sustava ovisnu o vanjskim parametrima,
3. Provesti postupak dimenzioniranja prema odabranom modelu korištenja integriranih fotonaponskih sustava,
4. Razmotriti mogućnost korištenja sustava pohrane energije,
5. Provesti jednostavnu tehno-ekonomsku analizu korištenja integriranog fotonaponskog sustava s mogućnosti korištenja sustava pohrane energije.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

30. 11. 2022.

1. rok: 20. 2. 2023.
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.
3. rok: 18. 9. 2023.

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Goran Krajačić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD	1
2. PLANOVI EUROPSKE UNIJE	3
2.1. Poticanje obnovljivih izvora energije	5
3. STANJE OBNOVLJIVIH IZVORA U EUROPSKOJ UNIJI I HRVATSKOJ	7
3.1. Stanje obnovljivih izvora u Europskoj uniji	7
3.2. Stanje obnovljivih izvora u Hrvatskoj	10
4. MODELI OTKUPA ELEKTRIČNE ENERGIJE I TARIFNI MODELI	13
4.1. Modeli otkupa električne energije.....	13
4.1.1. Model krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom.....	13
4.1.2. Model korisnik postrojenja za samoopskrbu	14
4.2. Tarifni modeli	16
5. FOTONAPONSKI SUSTAVI	18
5.1. Građa solarnog panela.....	20
5.2. Građa solarnog sustava	20
5.3. Troškovi ugradnje solarne elektrane	22
5.4. Vrste solarnih panela prema građi	24
5.5. Podjela solarnih sustava prema adaptiranju položaju Sunca	24
5.6. Podjela prema mjestu ugradnje FN sustava	25
6. MOGUĆNOSTI POHRANE ELEKTRIČNE ENERGIJE	26
6.1. Mehanički sustavi pohrane energije.....	26
6.2. Elektrokemijski sustavi pohrane energije	27
6.3. Kemijski sustavi pohrane energije	28
6.4. Električni sustavi pohrane energije	28
6.5. Toplinski sustavi za pohranu energije.....	28
7. METODE I ULAZNI PODACI.....	30
7.1. Metoda proračuna	30
7.2. Opis PVGIS alata.....	31
7.3. Ulazni podaci	32
7.3.1. Potrošnja električne energije.....	32
7.3.2. Proizvodnja električne energije.....	32
8. REZULTATI.....	34
8.1. Analiza jednotarifnog modela	34
8.1.1. Optimizirani jednotarifni model	37
8.2. Analiza optimiziranog dvotarifnog modela	42
8.3. Financijski i ekonomski tijek novca	46
8.3.1. Jednotarifni model	47
8.3.2. Dvotarifni model.....	49
9. ANALIZA OSJETLJIVOSTI PROJEKTA	51
9.1. Jednotarifni model	51
9.2. Dvotarifni model.....	52
10. ZAKLJUČAK	54
LITERATURA.....	55

POPIS SLIKA

Slika 1. Porast godišnjih emisija CO ₂ [3].....	2
Slika 2. Europski zeleni plan [5]	3
Slika 3. Udjeli proizvodnje električne energije po izvoru u Europskoj uniji [13]	8
Slika 4. Proizvodnja električne energije po obnovljivom izvoru [14]	8
Slika 5. Novoinstalirane snage solarnih sustava [16].....	9
Slika 6. Instalirani solarni kapaciteti u EU [17]	9
Slika 7. Udjeli proizvodnje električne energije po izvoru u Hrvatskoj [19]	10
Slika 8. Broj solarnih elektrana u Hrvatskoj po županijama [20]	11
Slika 9. Srednji godišnji broj sunčanih sati na teritoriju Hrvatske [21]	11
Slika 10. Potencijal iskorištenja solarne energije u proizvodnji električne energije [21]	12
Slika 11. Usporedba svjetske potrošnje energije i sunčevog zračenja na Zemlju [25]	18
Slika 12. Fotonaponska ćelija [27].....	19
Slika 13. Dijelovi solarnog panela [29].....	20
Slika 14. Solarna elektrana za kućanstvo [32]	22
Slika 15. Raspored troškova po stavkama[33]	23
Slika 16. Cijena solarnih FN modula [34].....	23
Slika 17. Dvoosni fotonaponski sustav [36].....	25
Slika 18. Reverzibilna hidroelektrana [37]	26
Slika 19. Prikaz sučelja PVGIS-a [40]	31
Slika 20. Mjesečna potrošnja na satnoj razini	32
Slika 21. Godišnja proizvodnja na satnoj razini za jediničnu snagu solarne elektrane.....	33
Slika 22. Raspodjela proizvedene električne energije.....	34
Slika 23. Satna raspodjela proizvodnje tijekom tjedna u prosincu	35
Slika 24. Satna raspodjela proizvodnje tijekom tjedna u srpnju	36
Slika 25. Prikaz električne energije poslana u mrežu i preuzete iz mreže	36
Slika 26. Profit po stavkama	37
Slika 27. Profit po stavkama u optimiziranom sustavu	38
Slika 28. Raspodjela proizvedene energije u jednotarifnom modelu.....	39
Slika 29. Optimizirani prikaz energije poslana u mrežu i preuzete iz mreže.....	40
Slika 30. Satna raspodjela proizvodnje tijekom tjedna u prosincu za optimizirani sustav	40
Slika 31. Satna raspodjela proizvodnje tijekom tjedna u srpnju za optimizirani sustav	41
Slika 32. Troškovi prije i nakon ugradnje za jednotarifni model.....	42
Slika 33. Raspodjela proizvedene električne energije.....	43
Slika 34. Profit po mjesecima dvotarifnog modela	44
Slika 35. Prikaz energije poslana u mrežu i preuzete iz mreže u višoj i nižoj tarifi	44
Slika 36. Dvotarifna raspodjela proizvodnje tijekom tjedna u prosincu	45
Slika 37. Dvotarifna raspodjela proizvodnje tijekom tjedna u srpnju.....	45
Slika 38. Troškovi prije i nakon ugradnje za dvotarifni model.....	46
Slika 39. Kumulativni financijski tijek novca.....	47
Slika 40. Kretanje cijene CO ₂ na tržištu [46]	48
Slika 41. Kumulativni ekonomski tijek novca	49
Slika 42. Kumulativni financijski tijek novca dvotarifnog modela	50
Slika 43. Kumulativni ekonomski tijek novca dvotarifnog modela.....	50
Slika 44. Prikaz osjetljivosti promjenom troškova investicije kod jednotarifnog modela.....	51
Slika 45. Prikaz osjetljivosti promjenom cijene električne energije kod jednotarifnog modela	52
Slika 46. Prikaz osjetljivosti promjenom troškova investicije kod dvotarifnog modela.....	52
Slika 47. Prikaz osjetljivosti promjenom cijene električne energije kod dvotarifnog modela.	53

POPIS TABLICA

Tablica 1. Način utvrđivanja vrijednosti isporučene električne energije [22]	14
Tablica 2. Prikaz cijena plavog tarifnog modela [24]	17
Tablica 3. Prikaz cijena bijelog tarifnog modela [24].....	17

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
EU		Europska unija
HEP		Hrvatska elektroprivreda
PDV		porez na dodanu vrijednost
FN		fotonapon
FZOEU		Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost
HOPS		Hrvatski operator prijenosnog sustava
HERA		Hrvatska energetska regulatorna agencija
C_i	€/kWh	vrijednost električne energije isporučene u mrežu od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom u obračunskom razdoblju
E_{pi}	kWh	ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja
E_{ii}	kWh	ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja
PKC_i	€/kWh	prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja
C_p	€/kWh	cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja
EVA		Etilen vinil acetat
HROTE		Hrvatski operator tržišta energije
PVGIS		Fotonaponski geografski informacijski sustav (eng. Photovoltaic geographical information system)
NPV	€	neto sadašnja vrijednost
IRR	%	unutarnja stopa povrata

SAŽETAK

U ovom radu u prvom dijelu su opisani planovi i ciljevi Europske unije za smanjenje štetnih emisija CO₂ i sprečavanje klimatskih promjena. Prikazano je trenutno stanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u Europskoj uniji i Hrvatskoj. Posebno je iznesen napredak primjene solarne energije u Europskoj uniji dok je za Hrvatsku prikazan njen solarni potencijal. Napravljen je pregled poticanja obnovljivih izvora energije kojim bi se i građani uključili u energetska tranziciju. Predstavljene su modeli otkupa električne energije definirani Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji te modeli naplate koji se trenutno primjenjuju. Nadalje, pojašnjen je princip pretvorbe sunčevog zračenja u električnu energiju u fotonaponskoj ćeliji te je prikazana građa solarnog panela. Razmotrene su sve mogućnosti pohrane energije te je definirano koje od njih su primjenjive na kućanstvo i u kojem obliku. Napravljen je analiza korištenja integrirane fotonaponske elektrane uz primjenu baterijskog spremnika energije za kućanstvo prije i nakon optimizacije za različite tarifne modele. Optimizacijom je ustanovljeno da baterija trenutno nije isplativa za promatrani model. Optimalna snaga fotonaponske elektrane iznosi 3,35 kW. Rezultati analize prikazani su dijagramima u kojima se uočavaju proizvodnja električne energije i profiti nakon realiziranog projekta. Pomoću neto sadašnje vrijednosti i unutarnje stope povrata predstavljene su ekonomski i financijski tokovi novca, te je na osnovu njih dokazana isplativost projekta. Povećanjem cijene električne energije isplativost se povećava dok se povećanjem investicijskih troškova isplativost smanjuje što je prikazano analizom osjetljivosti.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, fotonaponski sustav, Europska unija, energetska tranzicija

SUMMARY

This paper describes the plans and goals of the European Union for reducing harmful CO₂ emissions and preventing climate change. The current state of electricity production from renewable sources in the European Union and Croatia is presented. In particular, the progress of the application of solar energy in the European Union was shown, while its solar potential was presented for Croatia. An overview of encouraging renewable energy sources was made, which would also involve citizens in the energy transition. The electricity purchase models defined by the Law on Renewable Energy Sources and High-Efficiency Cogeneration and the billing models are presented. Furthermore, the principle of converting solar radiation into electricity in a photovoltaic cell is explained, and the structure of the solar panel is presented. All energy storage options were considered, and it was determined which of them were applicable to the household and in what form. Optimization found that the battery is not currently profitable to observe in the model. A photovoltaic power plant's optimal power is 3,35 kW. The results of the analysis are shown in diagrams in which electricity production and profits are observed after the project is implemented. With the net current value and internal return rate, economic and financial flows of money were presented, and a project's cost-effectiveness was proven on the basis of them. By increasing the price of electricity, the cost-effectiveness increases as the increase in investment costs decreases, which is shown in the analysis of sensitivity.

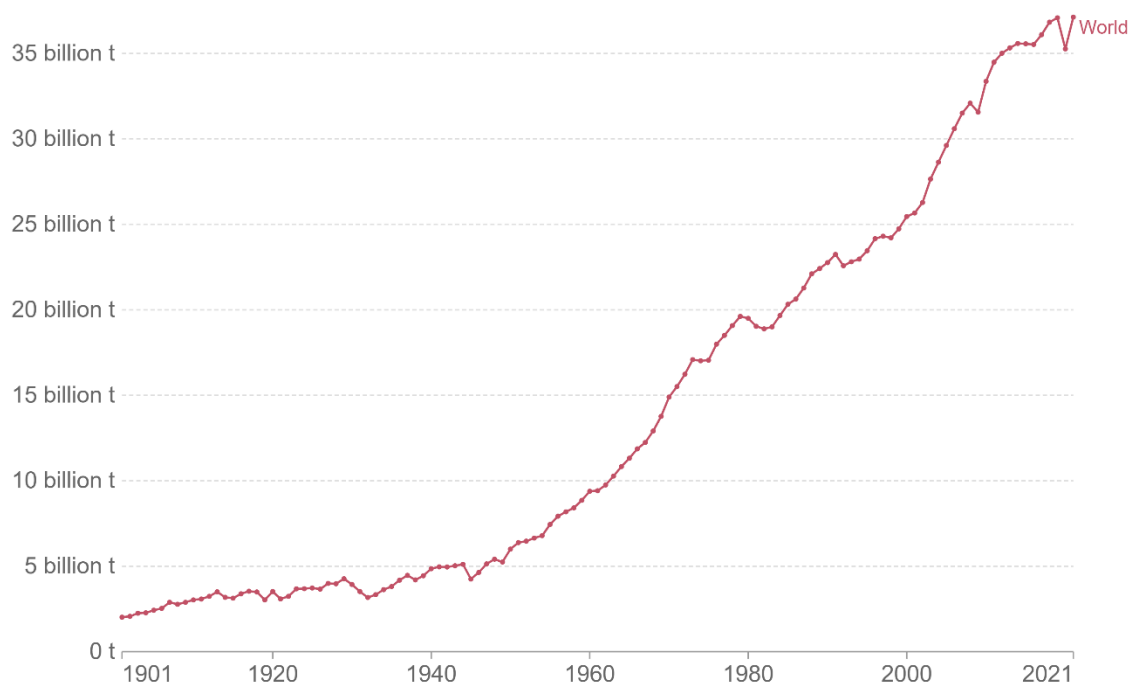
Key words: renewable energy sources, photovoltaic system, European Union, energy transition

1. UVOD

Europska unija (EU) kao predvodnica promjena želi svojim politikama smanjiti utjecaj na klimatske promjene. Utjecaj klimatskih promjena najuočljiviji je u vidu globalnog zatopljenja koje je već doseglo povećanje srednje temperature od oko $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ na svjetskoj razini. Uz to jedan od glavnih čimbenika je i povećanje emisija stakleničkih plinova od kojih je najznačajnija emisija CO_2 koji je zapravo glavni uzročnik globalnog zatopljenja. To je bezbojna, nemirisna plinovita tvar koja se nalazi u atmosferi Zemlje i ima važnu ulogu u toplinskoj regulaciji planeta. Međutim, prekomjernom emisijom CO_2 povećava se koncentracija u atmosferi, što dovodi do globalnog zatopljenja i drugih klimatskih promjena. Stoga se CO_2 smatra jednim od ključnih faktora u sadašnjoj klimatskoj krizi [1].

Emisija CO_2 je ispuštanje ugljičnog dioksida u atmosferu. To može biti rezultat prirodnih procesa poput izgaranja drveća i erupcija vulkana, ali većina emisije CO_2 dolazi od ljudskih aktivnosti, a glavni uzrok je izgaranje fosilnih goriva (nafte, plina i ugljena) za proizvodnju energije, prijevoz i industrijske procese. Visoka razina emisije CO_2 stvara problem jer ovaj plin zadržava toplinsku energiju u atmosferi, što dovodi do globalnog zatopljenja i promjena u klimi. Stoga se mnoge zemlje trude smanjiti svoje emisije CO_2 kroz politike i tehnološka rješenja, kao što su razvoj obnovljivih izvora energije i povećanje učinkovitosti. Cilj je smanjiti emisije i spriječiti posljedice koje bi mogle nepovratno izmijeniti klimu na Zemlji. EU se tako okreće obnovljivim izvorima energije koji će zamijeniti fosilna goriva te time ublažiti utjecaj klimatskih promjena, globalnog zatopljenja i smanjiti koncentraciju stakleničkih plinova. Još 2009. godine iznesena je odluka prema kojoj se emisije CO_2 žele smanjiti za 20 % do 2020. godine što je uspješno postignuto. Pariškim sporazumom, međunarodnim ugovorom o klimatskim promjenama koji je usvojen na UN-ovoj konferenciji u Parizu 2015. godine doneseno je da bi se emisije do 2030. godine trebale smanjiti za 50 %, a do 2050. godine Europa bi trebala postati klimatski neutralan kontinent to jest klimatski neutralno društvo i gospodarstvo. Uz to Pariškim sporazumom ustanovljen je dugoročan cilj kojim se porast globalne prosječne temperature želi održati na razinama znatno manjim od $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ u odnosu na preindustrijsko razdoblje i pokušati ograničiti porast na $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, što bi spriječilo najgore posljedice klimatskih promjena. Da bi se to postiglo, zemlje članice su dužne redovito izvještavati o svojim emisijama stakleničkih plinova i provoditi politike i tehnološka rješenja koja će ih smanjiti. Pariški sporazum predstavlja ambicioznu i koordiniranu globalnu akciju na suzbijanju klimatskih promjena i smatra se važnim korakom u sprječavanju klimatskih promjena. Ukupno 197 zemalja potpisalo je ovaj sporazum što ga čini najširim međunarodnim dogovorom o klimatskim promjenama [2].

Na slici 1. uočava se stalan porast emisija CO₂ u svijetu. EU svojim politikama želi zaustaviti taj trend. Na grafu se može uočiti pad emisija CO₂ u 2020. godini koji je uzrokovan pandemijom koronavirusa. Većina svjetskih zemalja je ograničila slobodno kretanje stanovništva što je dovelo do pada prometa i proizvodnje u gospodarstvu da bi se suzbilo širenje bolesti.

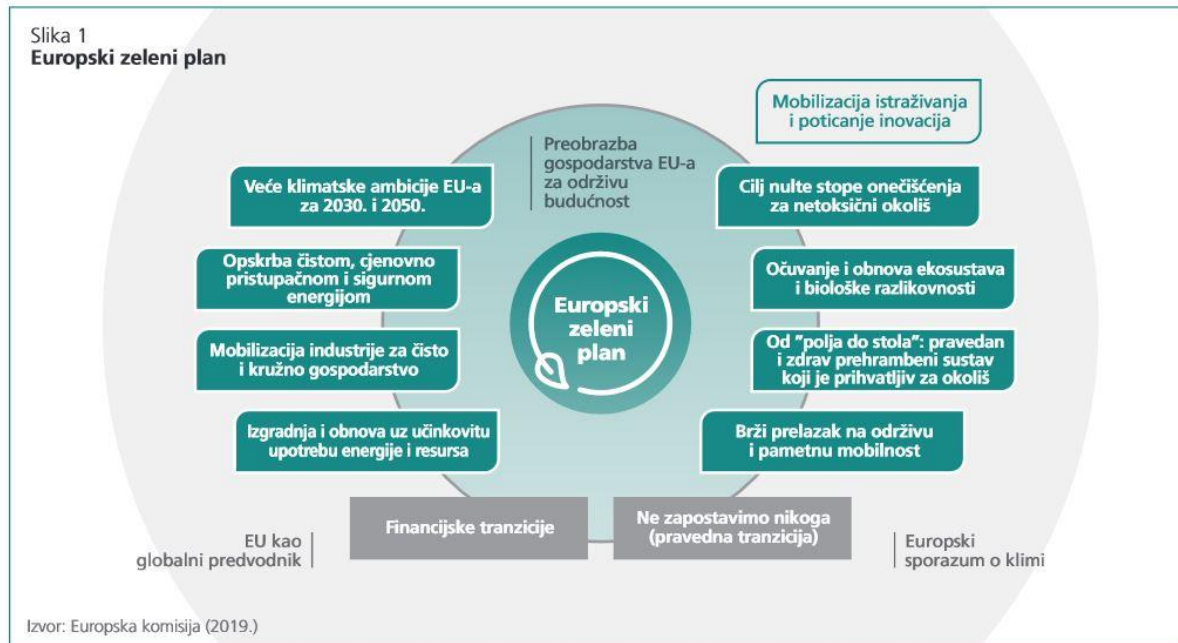


Slika 1. Porast godišnjih emisija CO₂ [3]

Izvore energije koji imaju sposobnosti obnavljanja u cijelosti ili znatnog dijela dovoljnog za ponovnu eksploataciju nazivamo obnovljivima, naspram neobnovljivih fosilnih goriva koja se nepovratno potroše za dobivanje energije. U obnovljive izvore energije ubrajaju se: sunčeva energija, energija vjetra, hidroenergija, geotermalna energija, biomasa i energija plime i oseke [4].

2. PLANOVI EUROPSKE UNIJE

Europska Unija uslijed sve očitijih klimatskih promjena koje se očituju kroz ekstremne klimatske uvjete te globalno zatopljenje i u konačnici uništavanje okoliša donijela je niz direktiva, regulativa i planova kojima bi se taj utjecaj smanjio i neutralizirao te osigurala egzistencija Europe i svijeta.



Slika 2. Europski zeleni plan [5]

Europski zeleni plan jedan je od takvih kojim će se EU pretvoriti u moderno, učinkovito i konkurentno gospodarstvo i zajamčiti da gospodarski rast ne bude ovisan o uporabi resursa te da nijedna osoba ni regija ne budu zanemarene. Konačni cilj je da Europa do 2050. godine postane klimatski neutralan kontinent, a da u tome uspije postavljen je prvotni cilj do 2030. godine smanjiti emisije CO₂ za najmanje 55 % u odnosu na razine iz 1990. godine. Za to je potrebna veća energetska učinkovitost i veći udio obnovljive energije. Klimatske promjene najveći su izazov današnjeg doba te nam pružaju mogućnost osmišljavanja novog gospodarskog modela. Zelenom tranzicijom će se stvoriti nove prilike za inovacije, ulaganja i nova radna mjesta visoke dodane vrijednosti. Također će omogućiti i suzbijanje energetske ovisnosti i siromaštva. U okviru ovog plana omogućit će se zelenija mobilnost. Poticati jačanje tržišta za vozila s nultim i niskim emisijama te osigurati potrebna infrastruktura izgradnjom punionica. Cestovni promet će od 2026. godine biti uključen u sustav trgovanja emisijama, pri čemu će se odrediti cijena onečišćenja. Time će se potaknuti korištenje čišćih goriva te će doći do većih ulaganja u čiste tehnologije kao što je na primjer vodik. Planirano je uključivanje

zračnog i brodskog prometa u sustav trgovanja emisijama. Obnova kućanstava i zgrada smanjit će potrošnju energije što je neophodno za smanjenje emisija. Socijalni fond za klimatsku politiku pomoći će smanjivanjem troškova građanima kojima prijete energetske i mobilno siromaštvo kako bi se osiguralo da tranzicija bude pravedna. Još jedan način redukcije emisija je i sadnja stabala te obnova šuma kojim se povećava otpornost okoliša na klimatske promjene. Za zelenu tranziciju potrebno je u potpunosti promijeniti svijest građana kako bi došlo do smanjenja potrošnje energije. Ideja je napraviti zaokret od gospodarstva usmjerenog samo na profit prema kružnoj i održivoj ekonomiji. Postojeće resurse maksimalno iskoristiti uz minimalnu štetu za okoliš [5].

Europska komisija je brzo reagirala nakon početka ruske invazije na Ukrajinu čime su se poremetila globalna energetska tržišta te je u svibnju 2022. godine predstavila plan pod nazivom REPowerEU kojim želi okončati svoju ovisnost o uvozu ruskog fosilnog goriva i omogućiti brz napredak zelene tranzicije. REPowerEU je plan za uštedu energije, proizvodnju čiste energije i diversifikaciju opskrbe energijom odnosno nadopuna Europskom zelenom planu koji dolazi kao posljedica poremećaja izazvanih događajima na istoku Europe između Rusije i Ukrajine. Njime se dodatno želi ubrzati neovisnost EU-a o ruskim fosilnim gorivima. Europi je potrebna izgradnja nove energetske infrastrukture koja je podržana financijskim i zakonskim mjerama. U okviru paketa „Fit for 55“ u sklopu europskog zelenog plana donesena je obvezujuća odluka da udio obnovljive energije u EU do 2030. godine bude 40 %, ali ta odluka je revidirana i po novom planu treba iznositi 45 %. Osim toga, izmjenjuje se i obvezan cilj povećanja energetske učinkovitosti s 9 % na 13 % koji se također nalazi u paketu „Fit for 55“. Potiče se štednja energije primjenom fiskalnih mjera kao na primjer snižavanje ili ukidanje stope PDV-a na energetske učinkovite sustave, proizvode, uređaje i toplinsku izolaciju. Uspostava zajedničkog mehanizma nabave omogućit će zajedničku nabavu plina i vodika iz obnovljivih izvora. Vanjskom energetske strategijom EU-a stvorit će se nova partnerstva s pouzdanim dobavljačima. Ubrzano uvođenje proizvodnje energije iz obnovljivih izvora potaknut će neovisnost EU-a i s vremenom smanjiti cijene energije [6].

Primjena solarne energije prepoznaje se kao ključni dio u tranziciji EU prema značajnijem korištenju obnovljivih izvora energije. Uporaba solarne energije pridonosi smanjenju ovisnosti EU o uvezenim fosilnim gorivima. Osim toga, solarna energija je najdostupniji obnovljivi izvor energije za kućanstva i doprinosi zaštiti potrošača od nestabilnih cijena energije. Cilj je instalirati više od 320 GW solarnih elektrana do 2025. godine što je više nego dvostruko povećanje u odnosu na 2020. godinu te 600 GW do 2030. godine. Inicijativa za solarne krovove ima u planu uvesti obvezu ugradnje solarnih sustava prvo na nove javne i

poslovne zgrade, a zatim i na stambene zgrade. Riješiti probleme sporog i kompliciranog izdavanja dozvola za krovne solarne sustave te ograničiti trajanje dozvola na najviše tri mjeseca. [6]

Kao poseban dio REPowerEU uvodi se povećanje proizvodnje biometana da bi se uštedjelo 17 milijardi kubika plina koji bi se trebao uvesti. Izgradnja elektrolizatora snage 17,5 GW do 2050. godine omogućit će proizvodnju 10 milijuna tona obnovljivog vodika koji će se upotrebljavati u industriji EU-a [6]. Svaki građanin može štedjeti energiju. Male promjene u ponašanju mogu napraviti veliku razliku.

2.1. Poticanje obnovljivih izvora energije

Postoji niz mjera kojima EU motivira svoje građane da se odluče na korištenje obnovljivih izvora energije. Neki od njih će se navesti i pojasniti u nastavku teksta. Uveden je sustav feed-in tarife u kojoj se dobiva fiksna naknada za proizvedenu energiju po kilovatsatu. Proizvođač je zaštićen ugovorom sa zajamčenom otkupnom cijenom od promjena cijena na tržištu električne energije. Ovakav sustav bio je nužan kako bi se investitori odlučili ulagati u nove tehnologije i na taj način ih poticati. Sustav feed-in tarife kritiziran je zbog dodjele visoke razine poticaja novim tehnologijama. Ipak je pokrenuta povećana implementacija obnovljivih izvora što je omogućilo i pad njihovih troškova. Nakon razvoja tehnologije obnovljivih izvora prestaje njihovo poticanje te se uvodi novi bolji sustav feed-in premija zasnovan na natjecanjima. Proizvođač električne energije prodaje svoju energiju po tržišnim cijenama te na tu cijenu dobiva premije pri čemu je automatski više izložen rizicima na tržištu. Model premija je transparentniji i tržišno orijentiran te je predviđen za integraciju obnovljivih izvora energije na tržište što je i krajnji cilj energetske tranzicije. Učinkovitost premija ovisi o tome jesu li one fiksne ili promjenjive. Kod fiksne premije postoji rizik iz perspektive sustava o prevelikim premijama. Promjenjiva premija se izračunava na temelju prosječne zarade proizvođača. Ona uravnotežuje tržišni rizik među proizvođačima [7].

Mogućnosti udruživanja građana u energetske zajednice jedan su od načina poticanja obnovljivih izvora. To su pravne osobe čiji je primarni cilj ekonomska, socijalna i okolišna korist, a ne stvaranje financijske dobiti. Mogu ulagati i razvijati projekte na objektima svojih članova, međusobno dijeliti viškove proizvedene električne energije pri čemu bi se maksimalno iskoristavao višak proizvedene energije [8].

Zelena energija je energija proizvedena iz obnovljivih izvora. Njeni proizvođači takvu energiju mogu prodavati na tržištu po višoj cijeni, a dodatni prihod mogu ostvariti prodajom zelenih certifikata opskrbljivačima energije. Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost

(FZOEU) i EU fondovi otvaraju javne pozive za sufinanciranje u obnovljive izvore, a najčešće se radi o solarnim elektranama za kućanstva za vlastitu potrošnju. Iako je cijena solarnih panela danas poprilično niska i dalje je potrebna velika početna investicija za ugradnju vlastite solarne elektrane. Bespovratnim sredstvima motivira se građane za taj potez čime bi zaštitili okoliš, ali i smanjili vlastite troškove. Projekti se sufinanciraju ovisno o uvjetima koje treba zadovoljiti od 40 % do 80 %. Osim navedenih fondova sve češće se uključuju gradovi i općine u sufinanciranje obnovljivih izvora kako bi potaknuli građane da odluče izgraditi vlastitu solarnu elektranu te time uštedjeti na troškovima i smanjiti svoj utjecaj na okoliš. U rujnu 2022. godine Vlada Republike Hrvatske donijela je prijedlog izmjene zakona o PDV-u kojim se predlaže da se stopom od 0 % oporezuje oprema za solarne elektrane. Odobrenom izmjenom nulta stopa PDV-a odnosi se na fotonaponske elektrane i na solarne kolektore za proizvodnju toplinske energije. Ukidanje poreza odnosi se na fotonaponske panele, inverter, baterije, izvođenje radova na montaži, projektiranje i ishođenje dozvola te priključenje na elektroenergetsku mrežu. Izmjena zakona donesena je u sklopu paketa mjera za zaštitu domaćinstava od poskupljenja uslijed poremećaja na svjetskom tržištu energije radi geopolitičkih događaja na istoku Europe [9].

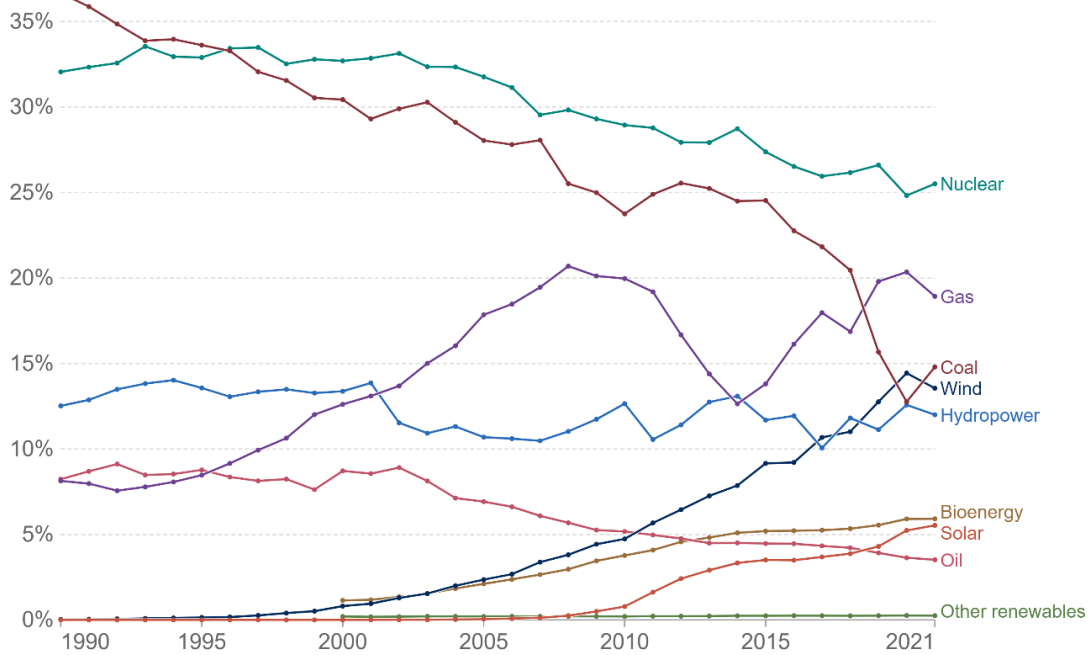
3. STANJE OBNOVLJIVIH IZVORA U EUROPSKOJ UNIJI I HRVATSKOJ

3.1. Stanje obnovljivih izvora u Europskoj uniji

Na slici 3. vizualno je prikazan udio u proizvodnji električne energije iz različitih izvora. Vidljivo je da EU ide u dobrom smjeru jer obnovljivi izvori dobivaju sve značajniju ulogu na tržištu električne energije. Proizvodnja električne energije pomoću ugljena stupnjevito je padala da bi se 2020. godine povećala uslijed smanjene proizvodnje iz hidroelektrana zbog vremenskih neprilika u obliku suša, a povećanju je pridonio i niz održavanja nuklearnih elektrana zbog čega su one radile smanjenim kapacitetom. Tada se govorilo o velikom povratku ugljena koji je u konačnici izostao jer je taj manjak proizvodnje nadomješten kombinirano iz solarne energije i energije vjetra [10]. Proizvodnja električne energije pomoću energije vjetra i sunca u 2021. godini skoro je izjednačena s proizvodnjom električne energije iz plina dok su 2022. godine, u konačnici, po prvi puta premašili proizvodnju iz plina [Slika 3.]. Plin je glasio kao prijelazni resurs iz potpuno fosilne proizvodnje u potpuno obnovljivu. Taj prijelaz otežala je energetska kriza u kojoj su cijene plina postale izrazito nestabilne i visoke [11].

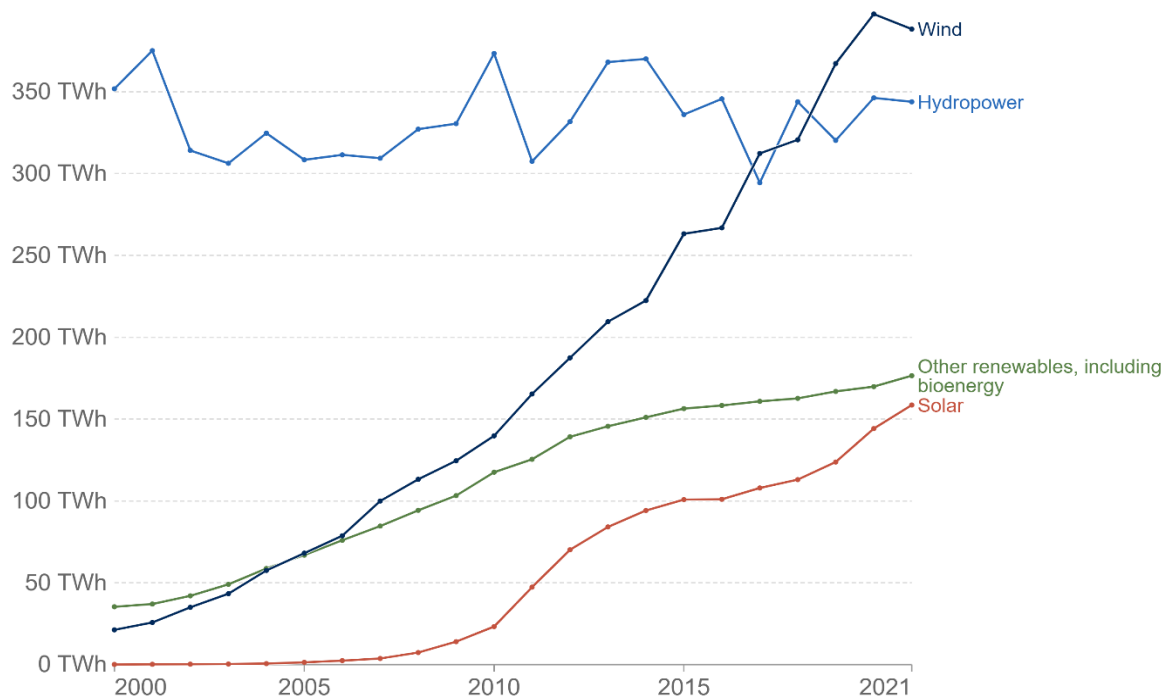
Treba naglasiti važnost nuklearne energije koja čini najveći udio u proizvodnji električne energije u EU. Iako ona nije obnovljiva, ali u istom trenutku ni ne zagađuje okoliš treba se uzeti u obzir. Problem nuklearne energije je velika početna investicija i dug period gradnje te opasnost od nuklearne katastrofe i zbrinjavanje nuklearnog otpada [11].

Solarna energija doprinosi proizvodnji električne energije s oko 5.5 %. Tu je veliki prostor za napredak i povećanje udjela fotonaponskih sustava u ukupnoj proizvodnji električne energije. Istraživanjima je ustanovljeno da se fotonaponski sustavi mogu postaviti na krovove zgrada u postotku od 49 % do 64 %. Rezultat smanjenih mogućnosti postavljanja FN sustava je postojanje klimatizacijskih sustava i dimnjaka na krovovima. Uz to postoji problem zasjenjenja dijela krova postojanjem drugih građevinskih elemenata i susjednih zgrada [12].



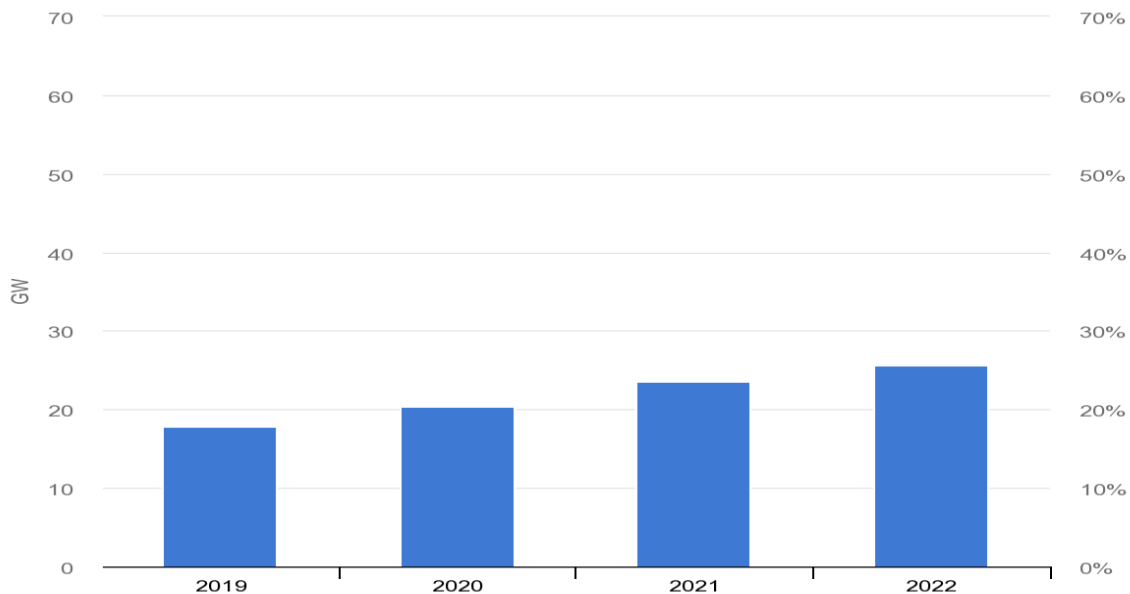
Slika 3. Udjeli proizvodnje električne energije po izvoru u Europskoj uniji [13]

Na slici 4. primjećuje se konstantan rast iz obnovljivih izvora energije. Izuzetak tome je hidroenergija čiji je potencijal većim dijelom već iskorišten, a proizvodnja je promjenjiva ovisno o vremenskim prilikama [10]. Koliki je rast energije vjetra najbolje pokazuje podatak da je još 2019. godine premašio proizvodnju iz hidroenergije te time postao obnovljivi izvor energije s najvećim utjecajem. [Slika 4.]

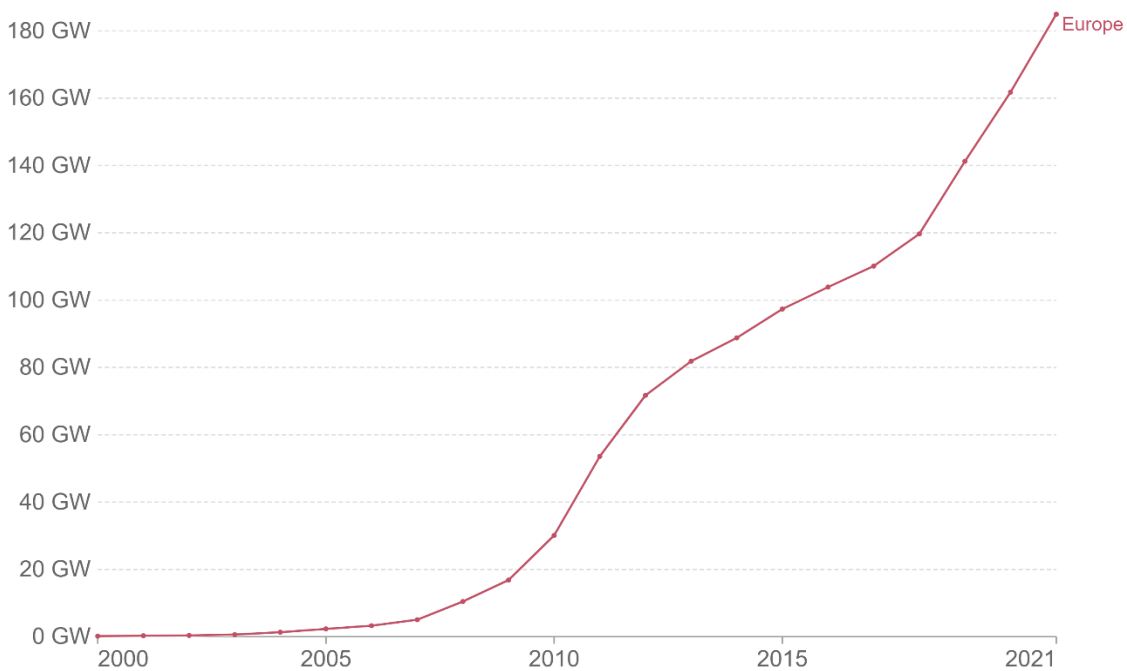


Slika 4. Proizvodnja električne energije po obnovljivom izvoru [14]

Na dijagramu prikazanom na slici 5. uočava se kontinuirani porast novih kapaciteta solarne energije u posljednje četiri godine. Porast se dogodio s 19 GW iz 2019. godine na 26 GW u 2022. godini. Na slici 6. vidljiv je porast ukupno instaliranih kapaciteta solarnih sustava koji je dosegao gotovo 185 GW u 2021. godini. Također, može se uočiti eksponencijalni porast instaliranih kapaciteta što je posljedica politike EU-a kojom se želi ubrzati iskorištavanje velikog potencijala energije sunca. Implementaciju novih kapaciteta potrebno je još povećati da bi se dostigli ciljevi od 320 GW u 2025. godini i 600 GW do 2030. godine [15].



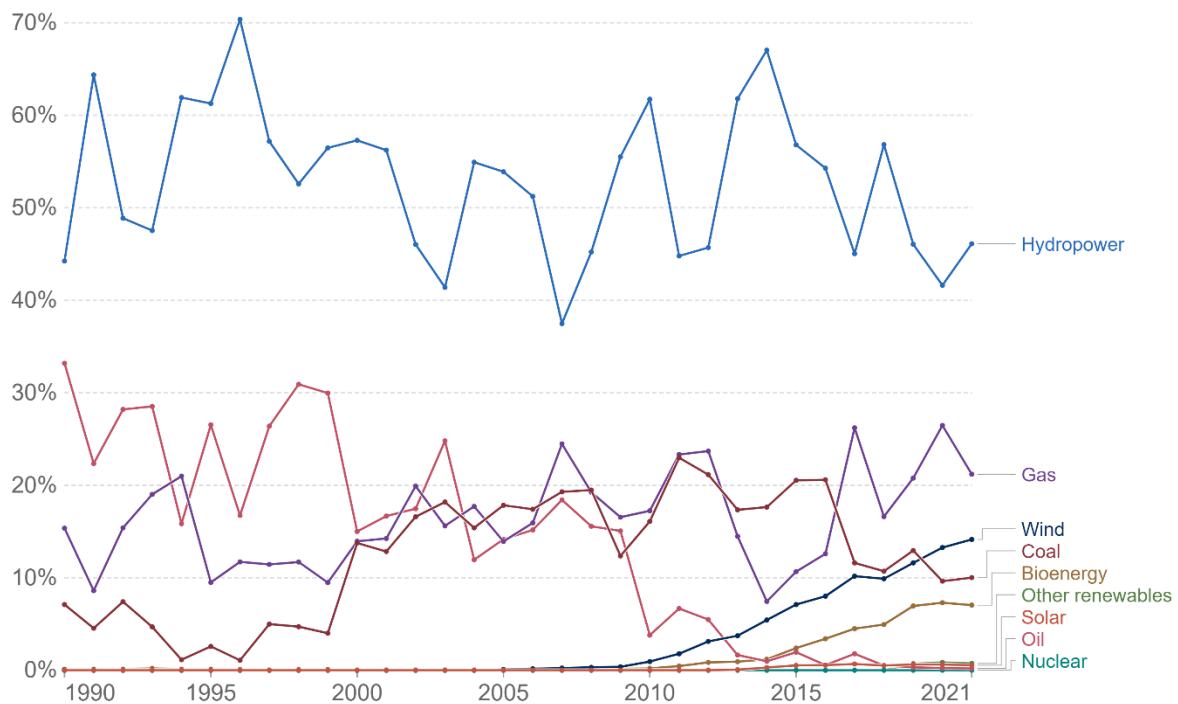
Slika 5. Novoinstalirane snage solarnih sustava [16]



Slika 6. Instalirani solarni kapaciteti u EU [17]

3.2. Stanje obnovljivih izvora u Hrvatskoj

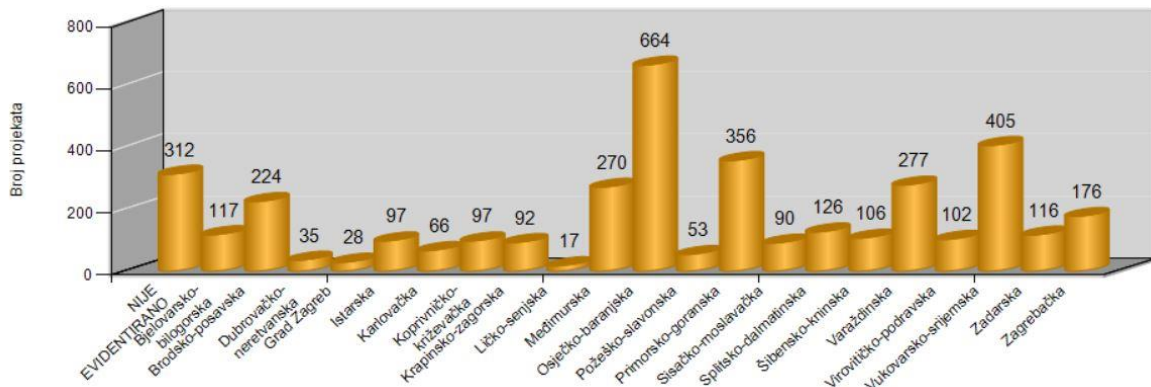
U Hrvatskoj najveći udio proizvodnje električne energije je iz hidroelektrana pa se i po tome može zaključiti da je hidro potencijal Hrvatske gotovo maksimalno iskorišten. Uočava se veliki porast proizvodnje iz energije vjetra koji je 2021. godine iznosio nešto više od 14 %, a samo 15-ak godina prije proizvodnje pomoću vjetra nije ni bilo. Korištenje ugljena je u padu, a udio proizvodnje električne energije pomoću plina je i dalje veći od 20 %. Hrvatska kao zemlja s povoljnim geografskim položajem za iskorištavanje energije sunca proizvodi tek nešto više od 0,5 % električne energije pomoću Sunca. Iako ima dovoljno vlastitih kapaciteta Hrvatska uvozi oko 30 % električne energije radi veće isplativosti kupnje na elektroenergetskom tržištu nego li proizvodnje s dostupnim tehnologijama. Većina uvoza dolazi od nuklearne elektrane Krško koja se nalazi u Sloveniji, a vlasništvo joj je podijeljeno u jednakom omjeru između Slovenije i Hrvatske. Sva energija pristigla iz nuklearne elektrane Krško označava se kao uvezena [18].



Slika 7. Udjeli proizvodnje električne energije po izvoru u Hrvatskoj [19]

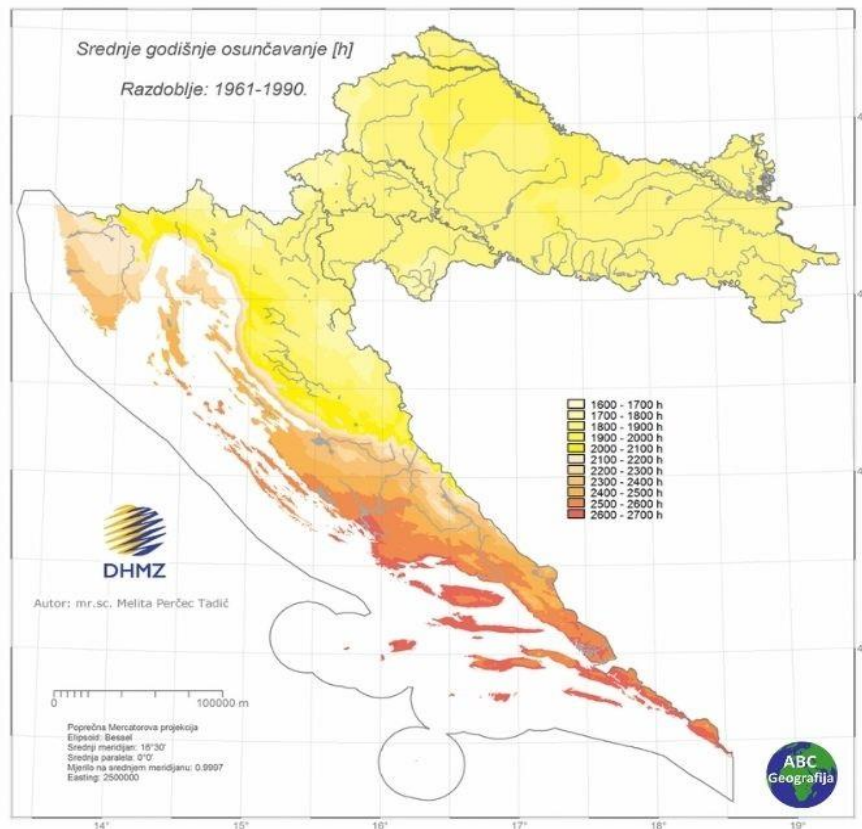
U Hrvatskoj, u 2022. godini ukupno je na mrežu bilo priključeno 3821 fotonaponska elektrana te je njihova snaga iznosila 125 MW. Od toga je 17 MW elektrana snage do 10 kW. Broj elektrana za samoopskrbu kućanstva iznosio je 1478. Najveći broj solarnih elektrana nalazi se u Osječko-baranjskoj županiji čak 664, nakon nje je Vukovarsko-srijemska s 405 i na trećem mjestu Primorsko-goranska s 356 solarnih elektrana. Možemo zaključiti da se solarna energija najviše iskorištava u Slavoniji dok Dalmacija zaostaje iako ima najveći potencijal.

Postoje autonomne solarne elektrane čiji je broj i snagu teško odrediti, a procjenjuje se na oko 8,5 MW [20].

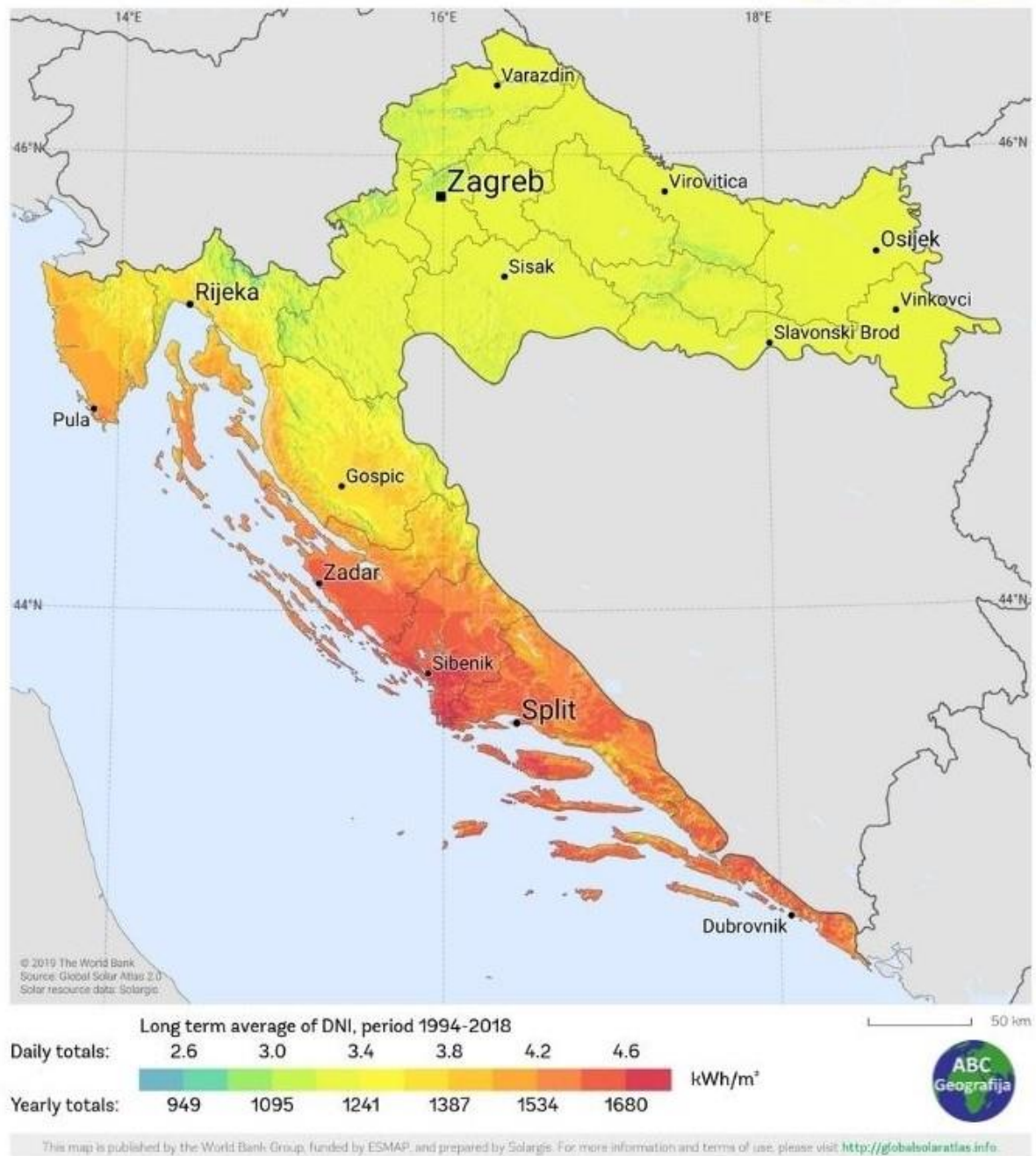


Slika 8. Broj solarnih elektrana u Hrvatskoj po županijama [20]

Srednji godišnji broj sunčanih sati u kontinentalnoj hrvatskoj je oko 2000 sati, dok je u primorju nešto veći te u Istri iznosi 2400 sati, a u Dalmaciji do 2700 sati. Kao najsunčanije lokacije ističu se otoci Hvar i Vis. S ovim podacima može se povezati i prosječna proizvodnja solarnih elektrana po metru kvadratnom. Tako u kontinentalnoj Hrvatskoj ona iznosi od 1000 do 1200 kWh/m², dok se u primorju kreće od 1300 do 1500 kWh/m², a u nekim dijelovima premašuje i 1600 kWh/m² [21].



Slika 9. Srednji godišnji broj sunčanih sati na teritoriju Hrvatske [21]



Slika 10. Potencijal iskorištenja solarne energije u proizvodnji električne energije [21]

4. MODELI OTKUPA ELEKTRIČNE ENERGIJE I TARIFNI MODELI

4.1. Modeli otkupa električne energije

Prema zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji za kućanstva postoje dva modela to jest dvije vrste korisnika od kojih se preuzima električna energija, a to su model krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom te model korisnika postrojenja za samoopskrbu. Korisnik koji posjeduje vlastitu solarnu elektranu na svojem objektu koju koristi za vlastite potrebe te ima trajno priključenje na elektroenergetsku mrežu za proizvodna postrojenja može eventualne viškove proizvedene električne energije predati u mrežu. To mu je omogućeno sklapanjem ugovora o opskrbi koji sklapaju opskrbljivač i krajnji kupac to jest korisnik elektroenergetske mreže. Tim ugovorom opskrbljivač je dužan preuzimati viškove električne energije, ako krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom ili korisnik postrojenja za samoopskrbu ispunjava uvjete koji su propisani člankom 51. Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji. Uvjeti koje je potrebno ispuniti su sljedeći: [22]

- imati status povlaštenog proizvođača električne energije
- ostvaruju pravo na trajno priključenje na elektroenergetsku mrežu
- ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja ne jednom obračunskom mjestu ne prelazi 500 kW
- priključna snaga krajnjeg kupca kao proizvođača ne smije prelaziti priključnu snagu kao kupca, drugim riječima snaga solarne elektrane ne smije prelaziti priključnu snagu objekta
- korisnik električnu energiju isporučuje preko istog obračunskog mjernog mjesta preko kojeg i kupuje
- korisnik vodi podatke o proizvedenoj i isporučenoj električnoj energiji

4.1.1. Model krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom

Ovaj model je širi i obuhvaća osim kućanstva i obrtnike i poduzetnike to jest pravne osobe. Kućanstvo se nalazi u ovom modelu ako u jednoj kalendarskoj godini preda više energije u mrežu nego što iz mreže preuzme, ali ako u sljedećoj godini preda manje ili jednako nego što iz mreže preuzme može se vratiti u kategoriju korisnik postrojenja za samoopskrbu. Model kupca s vlastitom proizvodnjom nije isplativ za kućanstva te se zbog toga teži povratku u model postrojenja za samoopskrbu. U ovom modelu nema „netiranja“ ili „prebijanja“ kao u modelu za samoopskrbu. Netiranje predstavlja regulatorni okvir unutar kojeg krajnji kupac

može višak proizvedene električne energije poslati u mrežu te ju iskoristiti u razdoblju kada mu je potrošnja veća od proizvodnje. Po punoj cijeni se plaća sva preuzeta električna energija iz mreže dok se posebno i to na dva načina ovisno o odnosu energije koja je poslana u mrežu i preuzete iz mreže obračunava proizvedena energija. Dvije vrste obračuna navedene su u tablici 1.

Vrijednost viškova, to jest cijena neto isporučene električne energije u mrežu za ovaj model dana je u tablici 1. U svakom obračunskom razdoblju opskrbljivač električne energije umanjuje račun za isporučenu električnu energiju. Račun za električnu energiju formira se na način da se plaća po svim stavkama kao da nema solarne elektrane te se umanjuje za cijenu električne energije predane u mrežu [22].

Tablica 1. Način utvrđivanja vrijednosti isporučene električne energije [22]

Vrijednost isporučene električne energije	Uvjet za obračunsko razdoblje
$C_i = 0,9 * PKC_i$	$E_{pi} \geq E_{ii}$
$C_i = 0,9 * PKC_i * E_{pi} / E_{ii}$	$E_{pi} < E_{ii}$

Gdje su:

C_i – vrijednost električne energije isporučene u mrežu od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom u obračunskom razdoblju

E_{pi} – ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja, izražena u kWh

E_{ii} – ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja, izražena u kWh

PKC_i – prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja, izražena u €/kWh

4.1.2. Model korisnik postrojenja za samoopskrbu

Ovaj model moguć je za kućanstva pod uvjetom da je količina preuzete električne energije iz mreže veća od električne energije koju je proizvodno postrojenje predalo u mrežu unutar kalendarske godine. U ovom slučaju radi se „netiranje“ to jest plaća se samo razlika energije preuzete iz mreže i predane u mrežu pri čemu se obračun radi na mjesečnoj razini.

Ako smo u obračunskom razdoblju više preuzeli iz mreže nego u nju predali govori se o mjesecu neto potrošnje. Dok mjesec neto proizvodnje predstavlja obračunsko razdoblje u kojem je više energije predano u mrežu nego što je iz mreže preuzeto. Višak električne energije otkupljuje se od korisnika te se vrijednost viška energije gleda kao negativni iznos na računu. Vrijednost višak električne energije računa se na sljedeći način:

$$C_i = 0,8 * C_p$$

Gdje je:

C_i – cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, izražena u €/kWh

C_p – cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, izražena u €/kWh

Treba naglasiti da se gore navedena formula koristi posebno za višu dnevnu tarifu te posebno za nižu dnevnu tarifu ako se koristi dvotarifni model obračuna električne energije.

Dakle, u ovom modelu postoje dva slučaja, a to su mjesec neto potrošnje i mjesec neto proizvodnje. U mjesecu neto potrošnje za svu energiju predanu u mrežu ušteda se gleda kao ukupna cijena električne energije koju plaćamo opskrbljivaču. To je isto kao da smo tu energiju odmah potrošili u kućanstvu. Mjeseci neto potrošnje uobičajeno su zimski mjeseci u kojima je manje sunčanih sati pa je i proizvodnja iz solarnih panela smanjena. U mjesecima neto proizvodnje razlikujemo uštedu i zaradu. Ušteda predstavlja ukupnu cijenu električne energije preuzete iz mreže. Zarada je razlika preuzete i predane energije pomnožena s umanjenom cijenom električne energije za 20 %. Iznosi su negativni te se gledaju kao preplata koja se zbraja te se s njom umanjuju računi u mjesecima neto potrošnje. Za mjesec neto proizvodnje ne plaćaju se solidarna naknada te naknada za poticanje proizvodnje iz obnovljivih izvora energije. Također, u mjesecu neto proizvodnje ne plaća se mrežarina što je zajednički naziv za troškove prijenosa i distribucije električne energije, ali ne ostvaruje se ni preplata kao što se ostvaruje za viškove energije. Iako opskrbljivači mogu uz preuzimanje viškova uvećati preplatu za iznos mrežarine koju bi onda uzimali u obzir. Sve u svemu opskrbljivači mogu ponuditi bolje uvjete od zakonski propisanih te tako preuzimati viškove po većoj cijeni od zakonski propisane i uz to mrežarinu uključiti u preplatu kako je spomenuto [22].

4.2. Tarifni modeli

Na početku potrebno je naglasiti da se troškovi dijele na prijenos i distribuciju što zajedno predstavlja trošak mreže te na trošak energije. HERA regulira i određuje trošak mreže, dok se HOPS bavi vođenjem elektroenergetskog sustava i prijenosom električne energije. Opskrbljivači su ti koji naplaćuju energiju te u Hrvatskoj trenutno postoji 6 opskrbljivača električnom energijom, a to su HEP Elektra, HEP opskrba, ENNA opskrba, Petrol, GEN-I Hrvatska i E.ON energija[23]. Prikazani su tarifni modeli koje omogućuje HEP Elektra. Prema HEP Elektri postoje četiri tarifna modela prema kojima se obračunava potrošnja električne energije. U Hrvatskoj se koriste jednotarifna i dvotarifna brojila. Razlikujemo bijeli, plavi, crveni i crni tarifni model. Plavi tarifni model je jednotarifni u kojem se energija naplaćuje po jedinstvenoj dnevnoj tarifi. Bijeli tarifni model je dvotarifni pri čemu se radna energija naplaćuje po višoj dnevnoj i po nižoj dnevnoj tarifi. Obračun više dnevne tarife je u razdoblju od 7 do 21 sat te niže dnevne tarife od 21 do 7 sati pri zimskom računanju vremena dok je pri ljetnom računanju vremena viša dnevna tarifa od 8 do 22 sata, a niža dnevna tarifa od 22 do 8 sati. Crveni tarifni model odnosi se na korisnike s priključnom snagom većom od 22 kW. Također, kao i bijeli tarifni model, crveni ima višu i nižu dnevnu tarifu radne energije. Uz to naplaćuje se i vršna radna snaga po kilovatu. Crni tarifni model dopunski je tarifni model koji se zasniva na upravljanoj potrošnji za kućanstva. Električna energija kupcu nije dostupna 24 sata dnevno kao u ostalim modelima. Model je primjenjiv u kućanstvima u kojima se trošila mogu prilagoditi dostupnosti električne energije. U kućanstvima su najčešće u upotrebi bijeli i plavi tarifni model dok se crveni model uglavnom upotrebljava za kategoriju poduzeća, a crni se uglavnom ne koristi. Stavke u računu za struju koje se naplaćuju su energija, prijenos, distribucija, naknada za poticanje proizvodnje iz obnovljivih izvora energije te solidarna naknada koja se najčešće zanemaruje to jest ostvaruje se popust za njenu vrijednost. Prijenos i distribuciju se često naziva zajedničkim imenom mrežarina. Svim navedenim stavkama cijena koja ovisi o modelu računa se u eurima po kilovatsatu. Postoje je još i fiksne stavke, a to su naknada za obračunsko mjerno mjesto i naknada za opskrbu koje se naplaćuju na mjesečnoj bazi [24].

U tablici 2. i tablici 3. prikazan je način na koji se formira račun za struju posebno za bijeli i posebno za plavi tarifni model. U oba modela cijene su raspoređene po stavkama koje se naplaćuju. Prikazane su vrijednosti bez PDV-a koji trenutno za električnu energiju u hrvatskoj iznosi 13 %.

Tablica 2. Prikaz cijena plavog tarifnog modela [24]

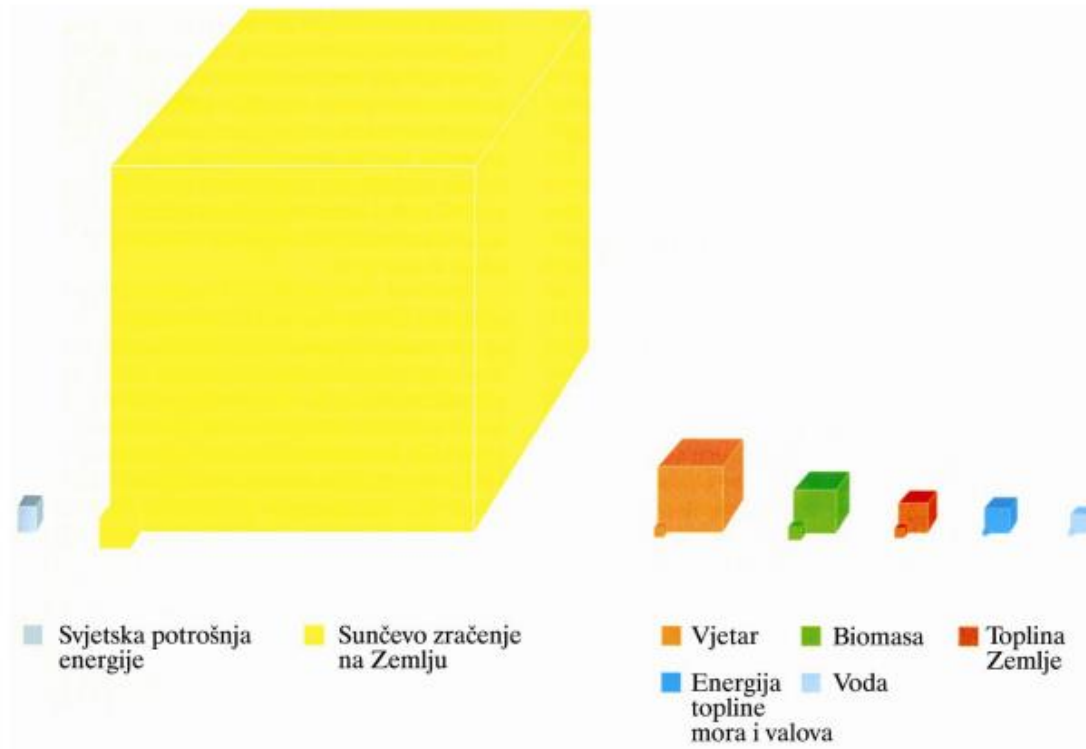
Plavi tarifni model	
Stavka	€/kWh
Energija	0,070276
Prijenos	0,011945
Distribucija	0,029199
Naknada za obnovljive izvore energije	0,014
	€/mjesecu
Mjerno mjesto	1,54
Opskrba	0,982

Tablica 3. Prikaz cijena bijelog tarifnog modela [24]

Bijeli tarifni model	
Stavka	€/kWh
Energija VT	0,074789
Energija NT	0,036697
Prijenos VT	0,017254
Prijenos NT	0,006636
Distribucija VT	0,034508
Distribucija NT	0,015927
Naknada za obnovljive izvore energije	0,014
	€/mjesecu
Mjerno mjesto	1,54
Opskrba	0,982

5. FOTONAPONSKI SUSTAVI

Sunce godišnje dozrači oko $1,07 \cdot 10^{18}$ kWh energije na Zemlju dok godišnja potrošnja primarne energije na Zemlji iznosi oko $1,54 \cdot 10^{14}$ kWh. Zaključuje se da Sunce dovodi nekoliko tisuća puta više energije od ukupne potrošnje na cijelom planetu. Na slici je najbolje ilustrirano koliki je potencijal Sunčeve energije [25].

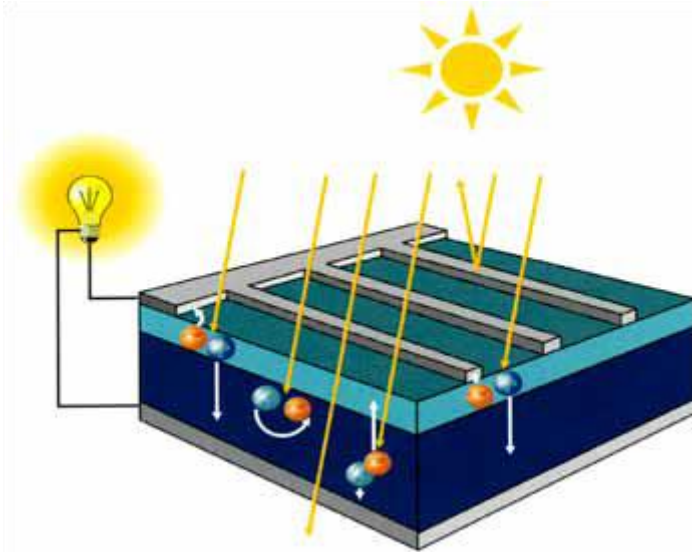


Slika 11. Usporedba svjetske potrošnje energije i sunčevog zračenja na Zemlju [25]

Postoje dvije osnovne vrste fotonaponskih sustava. Sustavi koji nisu priključeni na mrežu često se nazivaju off-grid, autonomni ili otočni sustavi i sustavi koji su priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu nazvani on-grid. Autonomni sustavi najčešće se koriste kada javna elektroenergetska mreža nije dostupna kao na primjer za vikendice. Uglavnom se koriste s baterijama da bi se osigurala kontinuirana opskrba električnom energijom. Proizvedena energija se odmah troši, a viškovi pune bateriju iz koje se koristi energija kada nema vlastite proizvodnje. Sustavi spojeni na mrežu koriste se gdje god je dostupna elektroenergetska mreža. Javnu elektroenergetsku mrežu možemo okarakterizirati kao bateriju pri čemu je sustav fleksibilan i koristi energiju iz vlastite proizvodnje, a ako je ima više nego što je potrebno taj višak se šalje u mrežu. U slučaju kada je vlastita proizvodnja smanjena ili je nema potrebe za električnom energijom osiguravaju se iz mreže.

Postoji i treći, hibridni sustav koji koristi najbolje značajke oba sustava. Osigurava veću sigurnost opskrbe energijom u slučaju pada mreže te omogućuje veće iskorištavanje vlastite proizvedene energije skladištenjem viškova u baterijama [26].

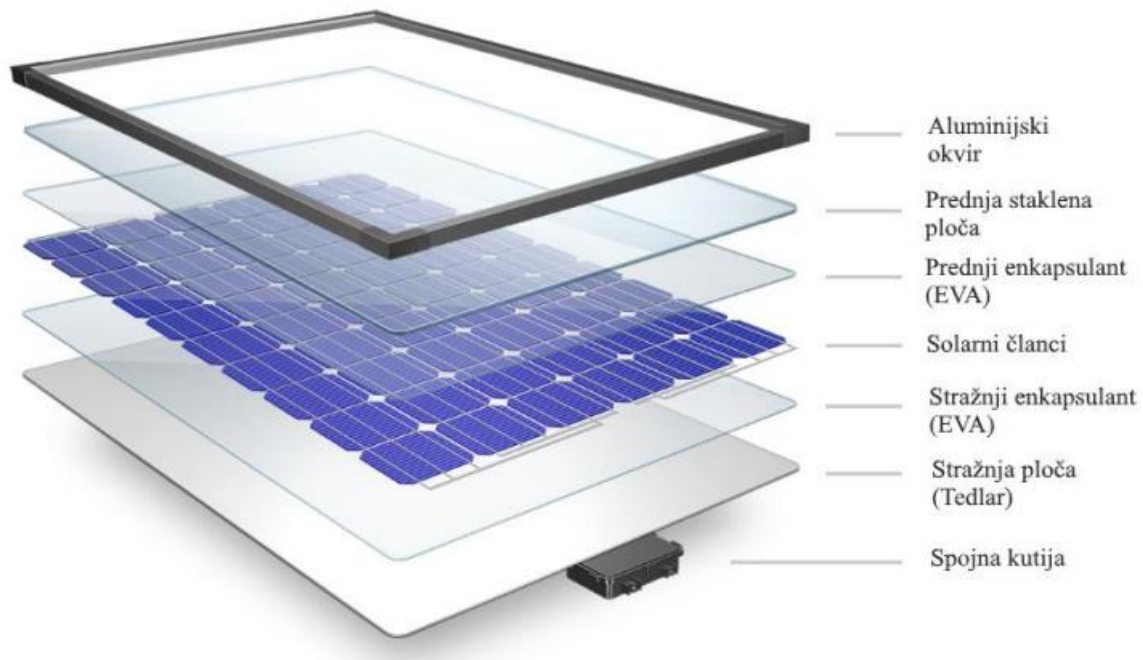
Solarna energija je obnovljivi izvor energije koji koristi sunčevu energiju za generiranje električne i toplinske energije, a pri tome ima veliki potencijal koji se sve više počinje iskorištavati. Fotonaponskim sustavom sunčeva svjetlosna energija se pretvara u električnu energiju. Sustav čini niz modula koji se sastoje od međusobno povezanih solarnih ćelija u paralelnu serijsku kombinaciju da bi osigurale određenu snagu. Na principu fotonaponskog efekta sunčeva energija pretvara se u električnu energiju. Kod fotonaponskog sustava do pretvorbe dolazi u solarnoj ćeliji. Fotonaponske ćelije sastoje se od pozitivnog i negativnog sloja, a između njih stvara se razlika potencijala ovisna o intenzitetu solarnog zračenja. Fotoni se apsorbiraju u solarnoj ćeliji i predaju svoju energiju fotonaponskom modulu te tako izbijaju negativno nabijene elektrone iz atoma. Do razlike potencijala dolazi jer se izbijeni elektroni kreću prema negativnoj strani modula te se time generira električna energija. Fotonaponske ćelije apsorbiraju svjetlosnu energiju te je fotonaponskim efektom pretvaraju u istosmjernu struju [27].



Slika 12. Fotonaponska ćelija [27]

5.1. Građa solarnog panela

Fotonaponske ćelije se spajaju u serijske i paralelne veze te se nakon toga postavljaju između dva sloja polimera. Najčešće se koristi etilen vinil acetat (EVA). EVA je kopolimer etilena i vinil acetata koji zagrijavanjem popunjava šupljine između modula, a proces se odvija u vakuumu da se izbjegne zarobljavanje vlage ili mjehurića zraka između slojeva te se hlađenjem stvrdne. Strana panela okrenuta Suncu štiti se kaljenim staklom s niskim udjelom željeza jer ono dobro apsorbira svjetlost, a staklo se kali da bi bilo otpornije na udarce. Stražnja strana napravljena je od kompozitne polimerne ploče. Za nju se koriste poliester kao elektroizolacija i polivinil-fluorid koji pruža zaštitu od vremenskih uvjeta. Cijeli solarni panel najčešće ima aluminijski okvir koji osigurava krutost. Na stražnjoj strani nalazi se i spojna kutija iz koje izlaze dvije žice pomoću kojih se panel spaja s ostalim dijelovima sustava, a u njemu su smještene i zaobilazne diode [28].



Slika 13. Dijelovi solarnog panela [29]

5.2. Građa solarnog sustava

Dijelovi solarnog sustava su:

- solarni paneli
- inverter
- nosiva konstrukcija solarnih panela
- mjerna oprema
- strujni kabeli
- sigurnosna oprema

Inverter je elektronički uređaj koji služi za pretvaranje istosmjerne struje koja nastaje u solarnim panelima u izmjeničnu struju da bi se mogla koristiti u trošilima ili slati u mrežu. Napon na izlazu mora iznositi 220 V, a frekvencija 50 Hz što odgovara iznosima u mreži. Vrste invertera su centralni, mikro i inverter za niz modula. Kod centralnih invertera moduli se spajaju u više nizova, nizovi se spajaju u paralelu i u konačnici se priključuju na inverter. Mikro inverteri su spojeni svaki na svoj modul ili pak na nekoliko modula, dok je inverter za niz modula što mu i samo ime govori, spojen na jedan niz modula. Prednosti mikro invertera su učinkovitiji rad sustava pri djelomičnom zasjenjenju krova i dug vijek trajanja od 25 godina dok su mu nedostaci veća cijena i veća mogućnost kvarova te otkrivanja istih. Centralni inverteri ističu se svojom povoljnom cijenom i jednostavnošću ožičenja dok su im nedostaci smanjena učinkovitost rada u sjeni te kraći vijek trajanja [30].

Da bi se sustav mogao postaviti na krovove potrebno je imati nosače na koje će se staviti solarni paneli. Prilikom instalacije sustava potrebno je postaviti dvosmjerno brojilo električne energije da bi se viškovi proizvedene električne energije mogli zabilježiti. Uz to potrebno je imati sigurnosnu opremu u vidu prekidača, osigurača i sigurnosne sklopke kako bi zaštitili električnu mrežu objekta, ali i same solarne panele te inverter. Uz sve navedeno poželjno je instalirati i sustav za praćenje proizvodnje energije kojim bi se eventualno mogli otkriti mogući kvarovi i greške u sustavu. Dodatno što bi se moglo implementirati u fotonaponski sustav je baterijska pohrana energije. Ona nosi niz prednosti, a jedna od glavnih je mogućnosti korištenja energije u večernjim satima kada solarni paneli ne proizvode energiju, ali je ona spremljena u baterijske sustave tijekom dana kada je bila veća proizvodnja energije od njene potražnje. Također, prednost baterija je neovisnost o elektroenergetskoj mreži pri čemu se pri padu mreže koristi energija iz baterije. Najveći nedostatak baterijskih sustava je njihova cijena [31].



Slika 14. Solarna elektrana za kućanstvo [32]

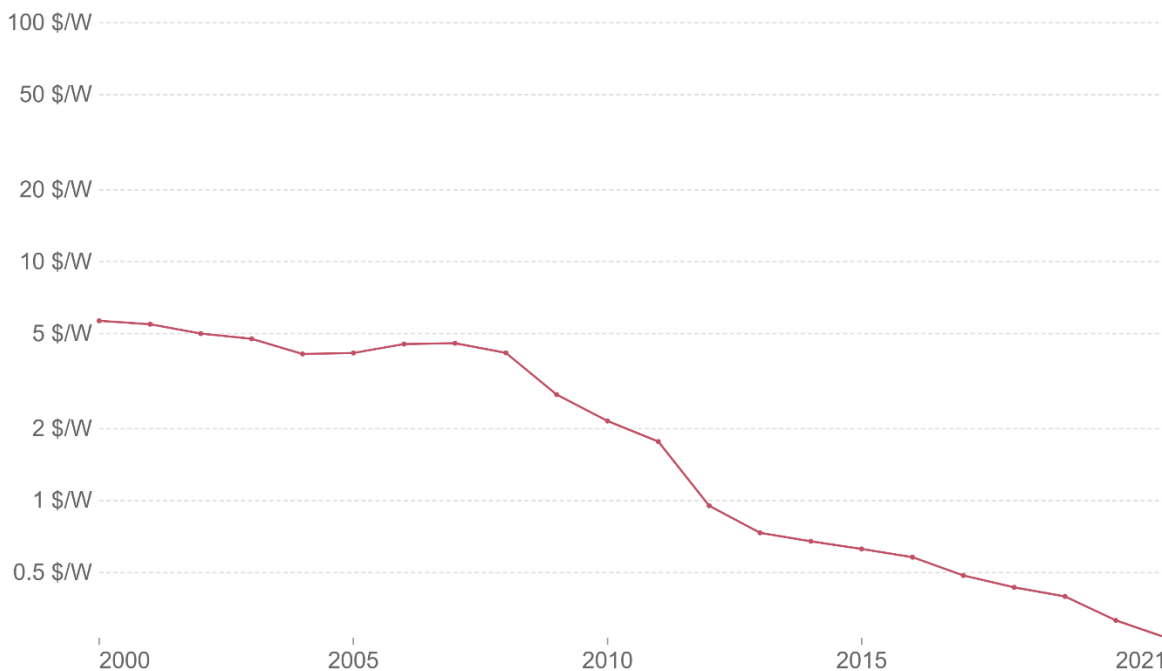
5.3. Troškovi ugradnje solarne elektrane

Ukupni investicijski troškovi za ugradnju solarne elektrane procijenjeni su na 1100 €/kW. Oni se danas kreću od 600 do 1500 €/kW. Razvoj opreme i tržišta pogoduje padu cijena solarnih panela na globalnom tržištu što prikazuje i slika 16. U Hrvatskoj dodatnom smanjenju pogoduje već navedeno uvođenje nulte stope PDV-a. Ukupni troškovi obuhvaćaju izradu projekta, trošak priključka odnosno ugradnje dvosmjernog brojila, trošak fotonaponskih modula, trošak invertera i razvoda kablova, trošak nosive konstrukcije te trošak završnih radova. Njihovi udjeli prikazani su na slici 15. Ukupni troškovi se značajno povećavaju korištenjem baterija u sustavu pri čemu je njihov trošak procijenjen na 1500 €/kWh. Trošak uključuje baterijske članke, pretvarač, sustav nadzora i upravljanja te troškove izrade dokumentacije i testiranja [33].



Slika 15. Raspored troškova po stavkama[33]

Cijena FN modula u posljednjih dvadesetak godina je u drastičnom padu što i prikazuje slika 16. Početkom 2000-ih cijena panela iznosila je 5.5 \$/W dok 2021. godine iznosi 0,27 \$/W što je smanjenje cijene oko 20 puta. To je jasan dokaz da je solarna energija postala isplativa i konkurentna na energetsom tržištu. [Slika 16.]



Slika 16. Cijena solarnih FN modula [34]

5.4. Vrste solarnih panela prema građi

Vrste solarnih panela prema građi mogu se podijeliti prema strukturi materijala koji je organskog ili neorganskog podrijetla. Gotovo svi su neorganskog podrijetla, a najčešći materijal je poluvodič silicij. Fotonaponski paneli na bazi silicija dijele se u tri osnovne skupine monokristalne, polikristalne i amorfne. Osim silicija koriste se još i kombinacije poput bakar – indij, kadmij – telurij te galij - arsen.

Kod monokristalnih solarnih panela kristali su jednoliko raspoređeni po cijeloj površini. Njihova struktura omogućuje im da svjetlost prođe kroz veće područje. Zbog toga imaju veću učinkovitost od ostalih te rade bolje u uvjetima smanjenog osvjetljenja. Za njihovu proizvodnju potreban je apsolutno čisti silicij što im znatno povećava cijenu izrade. Učinkovitosti se kreću od 15 % do 20 %, a maksimalno postignuta vrijednost je oko 25 %.

Za razliku od monokristalnih solarnih panela kod kojih je raspodjela kristala jednolika, polikristalni solarni paneli imaju nejednoliku raspodjelu kristala te se kristalna struktura u određenim dijelovima panela može razlikovati i uz to se na njihovim granicama pojavljuju greške u mikrostrukturi što uzrokuje smanjenje njihove efikasnosti. Njihova proizvodnja je jeftinija i jednostavnija što ih čini dostupnijim za upotrebu, ali im je efikasnost manja. Učinkovitosti se kreću od oko 13 % do oko 16 %.

Amorfni tankoslojni solarni paneli nastaju tako da se tanki sloj silicija od svega jednog mikrometra razvuče po nekoj podlozi. Njihovi troškovi proizvodnje su najniži zbog toga što upotrebljavaju najmanje materijala, ali su im i učinkovitosti najlošije i iznose oko 7 %. Prednost im je smanjen volumen i masa što omogućava postavljanje na konstrukcije manje nosivosti. Takvi paneli neće se ugrađivati u fotonaponske sustave na kućama i zgradama zbog niske učinkovitosti te uslijed toga potrebe za većom raspoloživom površinom za ugradnju. Također treba naglasiti da je vijek trajanja amornih panela znatno kraći za razliku od mono i poli kojima je vijek trajanja od 25 do 30 godina. U konačnici potrebno je naglasiti kako kod svih tipova fotonaponskih panela učinkovitost opada tijekom radnog vijeka [35].

5.5. Podjela solarnih sustava prema adaptiranju položaju Sunca

Fotonaponski sustavi se prema adaptiranju položaju sunca mogu podijeliti na fiksne i pomične. Fiksni fotonaponski sustavi, kako im i sam naziv govori, ne mijenjaju svoj položaj u odnosu na Sunce. Jednom postavljeni ostaju u tom položaju cijeli radni vijek. Prednosti ovog sustava su niža cijena i manje mogućnosti kvarova jer nema pokretnih dijelova. Radi nemogućnosti praćenja položaja sunčevog zračenja proizvode manje električne energije. Pomični FN sustavi mogu se rotirati te time pratiti položaj Sunca. Oni se mogu podijeliti na

sustave s jednom pomičnom osi i na sustave s dvije pomične osi. Jednoosni prate položaj Sunca od istoka prema zapadu, dok dvoosni sustavi dodatno mijenjaju i kut nagiba u odnosu na horizontalu te su uvijek u optimalnom položaju. Dakako, pomični sustavi proizvode više električne energije u odnosu na fiksne, ali njihova isplativost je upitna jer im je cijena znatno veća, a uz to potreban im je veći prostor za ugradnju. Zahtijevaju više održavanja, a s time je uključena i veća mogućnost kvarova sustava [36].



Slika 17. Dvoosni fotonaponski sustav [36]

5.6. Podjela prema mjestu ugradnje FN sustava

FN sustavi mogu se ugraditi na objekt što je i najčešći slučaj kod malih FN sustava, dok je kod većih FN sustava češća ugradnja na tlu. Ugradnja krovnih FN sustava je dominantna kod kućanstava i stambenih zgrada. Krov predstavlja zapravo neiskorišteni prostor na koji dolazi najviše sunčevog zračenja, a smanjuje se i mogućnost zasjenjenja od drugih zgrada i objekata u blizini. Uz krovne FN sustave postoje i fasadni koji se ugrađuju na vanjsku ovojnicu zgrade. Njihova primjena još uvijek nije toliko zaživjela u usporedbi s krovnim sustavima [36].

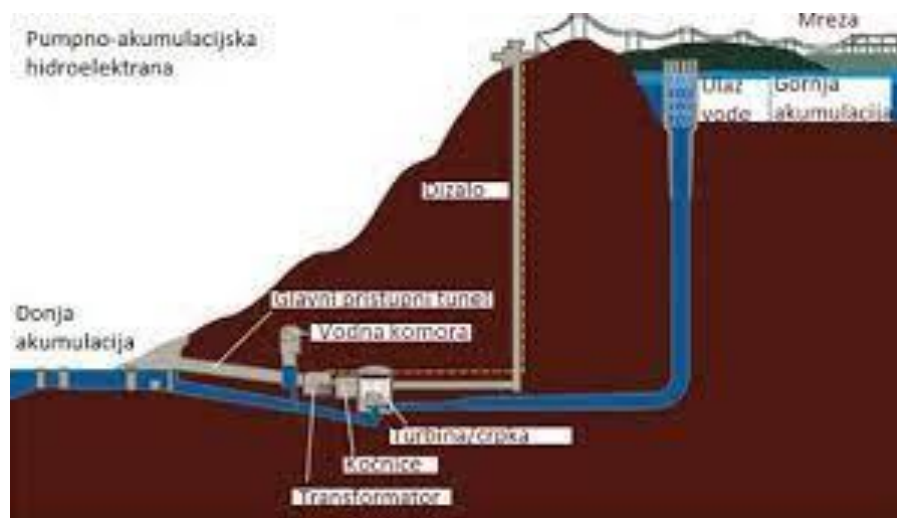
6. MOGUĆNOSTI POHRANE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Električna energija različitim se tehnologijama može pohraniti u nekom drugom obliku. Cilj pohrane je spremanje proizvedenih viškova koji bi se trošili kada je smanjena proizvodnja. Sustavi za pohranu električne energije mogu se podijeliti na:

- mehanički
- kemijski
- elektrokemijski
- električni
- toplinski

6.1. Mehanički sustavi pohrane energije

Mehanička pohrana energije ostvaruje se u reverzibilnim hidroelektranama gdje se iskorištava potencijalna energija vode. Sačinjene su od dva spremnika vode na višoj i nižoj razini, a pri smanjenim potrebama za energijom voda se pumpa iz donjeg spremnika u gornji. Kada dođe do potrebe za povećanjem opterećenja voda se pušta iz gornjeg spremnika te pokreće turbinu i generator proizvodi električnu energiju. Reverzibilne hidroelektrane jedan su od najstarijih načina pohrane energije.



Slika 18. Reverzibilna hidroelektrana [37]

Pohrana energije u obliku komprimiranog zraka također predstavlja mehanički sustav pohrane energije. Kompresor pokrenut električnom energijom komprimira zrak koji se pohranjuje u spremnicima i po potrebi šalje na turbinu čime se dobiva električna energija. Postoji mogućnost da se zrak miješa s prirodnim plinom što povećava učinkovitost ovog ciklusa. Prednost ovog načina je dostupnost zraka kao radnog medija.

Pohrana energije pomoću zamašnjaka ostvaruje se rotacijskom energijom u ubrzanom rotoru masivnog rotirajućeg cilindra. Energija u zamašnjaku održava se konstantnom brzinom vrtnje rotirajućeg dijela. Povećanjem brzine energija se pohranjuje, a smanjenjem energija se odvodi. Da bi se ubrzao zamašnjak električna energija se dovodi pomoću uređaja za prijenos, dok se pomoću istog uređaja za prijenos energija odvodi prilikom smanjenja brzine [38].

6.2. Elektrokemijski sustavi pohrane energije

Ovom sustavu pripadaju popularno nazivane baterije. Danas je ova tehnologija jako napredovala te postaje neizostavna u svim sferama života. U elektrolitu, koji je najčešće u tekućem stanju, nalaze se dva metala od kojih jedan djeluje kao anoda, a drugi kao katoda. Jedan od metala dobit će elektrone dok će drugi osloboditi elektrone. Stvorit će se razlika u koncentraciji elektrona između ta dva metala što će dovesti do razlike električnog potencijala. Prilikom priključenja potrošača, elektroni odlaze s anode koja oksidira te predaju energiju potrošaču i dolaze do katode na kojoj reduciraju. Baterije koje imaju mogućnost punjenja te stoga nisu jednokratne nazivaju se sekundarnim baterijama. Vrste sekundarnih baterija koje postoje su: olovno - kiselinske, nikal - kadmij, nikal - metal hibrid, litij - ion, metal - zrak, natrij - sumpor i natrij nikal – klorid. Također, postoje i protočne baterije, a mogu biti redoks i hibridne. Olovno - kiselinska baterija najstariji je tip sekundarne baterije. Prednosti su joj niska cijena, lako recikliranje i jednostavna tehnologija punjenja, a nedostaci ograničen broj pražnjenja i punjenja, mala specifična gustoća energije i opadanje kapaciteta pri niskim temperaturama. Nikal – kadmij i nikal - metal hibrid sličan su tip baterija pri čemu su nikal – metal hibrid baterije razvijene kao zamjena za nikal – kadmij baterije radi toksičnosti kadmija. Nikal –kadmij baterije obilježava veća energetska gustoća od olovnih i mogućnost rada i pri niskim temperaturama do -40°C i po tome su jedine takve baterije.

Danas su najrasprostranjenije litij – ionske baterije koje se koriste u prijenosnim uređajima kao što su laptopi i pametni telefoni. Njezine prednosti su jednostavnija tehnologija izrade, vrlo visoka učinkovitost od 95 % do 98 %, manje dimenzije, mala masa i velika gustoća energije. Nedostaci su osjetljivost na prekomjerno punjenje i pražnjenje koje je riješeno ugradnjom elektronike te nije pogodna za pražnjenja jakom strujom. Također su toplinski nestabilne na povišenim temperaturama.

Cink - zrak baterija jedina je trenutno tehnološki razvijena baterija iz skupine metal – zrak baterija te potencijalno nudi niske cijene materijala, ali još nije prisutna na tržištu. Natrij – sumpor i natrij nikal – klorid baterije visokotemperaturne su baterije s radnom temperaturom

od 270 ° C do 350 ° C. Njihova komercijalna pohranjena energija kreće se oko 6 MWh. Moguće ih je koristiti za stabilizaciju mreže zbog kratkog odziva te za skladištenje nejednolikih viškova proizvedenih iz obnovljivih izvora energije [38].

6.3. Kemijski sustavi pohrane energije

Dva najčešća načina kemijske pohrane energije su vodik i sintetički plin. Podrazumijeva se provedba kemijskih reakcija kako bi se oslobodila pohranjena energija. Za najučinkovitiji rad sustava vodik bi se proizvodio elektrolizom vode pomoću viškova električne energije. Sustav se sastoji od elektrolizatora, spremnika vode, gorivih članaka i spremnika vodika. Elektrolizator pomoću električne energije razdvaja vodu na kisik i vodik te se vodik skladišti u posudama pod tlakom. U gorivim člancima događa se elektrokemijska reakcija između vodika i kisika te se stvara voda i generira električna energija uz oslobađanje topline. Dodavanjem još jednog koraka dobiva se sintetički prirodni plin. Nakon elektrolize vode, kemijskim reakcijama između vodika i ugljičnog dioksida nastaje metan. Prednost ove pohrane je privremeno smanjenje količina CO₂ [38].

6.4. Električni sustavi pohrane energije

Najpoznatiji oblik električnog sustava pohrane energije je elektrokemijski kondenzator dvostrukog sloja poznat kao i ultra kondenzator. Ima mogućnost vrlo brzog punjenja i pražnjenja što je njegova prednost u odnosu na standardne baterije. Ultra kondenzatori dosežu specifičnu gustoću energije koja je oko deset puta veća nego kod konvencionalnih baterija. Nisu pogodni za skladištenje energije na duže vrijeme jer imaju visoku stopu samo pražnjenja.

Pohrana energije supravodljivim magnetskim svitakom radi na elektrodinamičkom principu. U magnetskom polju pohranjena je energija koja stvara istosmjernu struju u supravodljivom svitku. Supravodiči se čuvaju na temperaturama nižim od kritične temperature supravodljivosti te su danas razvijeni materijali koji mogu funkcionirati na oko 100 K. Zavojnica napravljena od supravodljivih materijala glavna je komponenta sustava. Visoka učinkovitost te dostupnost vrlo visoke snage u kratkom periodu glavne su prednosti ove tehnologije [38].

6.5. Toplinski sustavi za pohranu energije

Toplinski sustavi pohrane energije koncipirani su na pretvorbi električne energije u toplinsku pomoću električnih grijača ili, na efikasniji način, pomoću dizalica topline. Toplinska energija može se odmah koristiti konzumacijom potrošne tople vode, ali može služiti i za pohranu energije. Kada sustavi obnovljivih izvora imaju viška električne energije, taj višak se

može pretvoriti u toplinsku energiju i služiti za grijanje prostora. Korištenjem dizalica topline iz uložene jedne jedinice električne energije može se dobiti tri do pet jedinica toplinske energije dok je odnos kod otporničkih grijača jedan naprema jedan. Razlog zašto i dalje postoje električni grijači je cijena dizalica topline koja je višestruko veća od grijača. Svakako, dugoročno se isplati investirati u dizalice topline. Osim opisanog sustava postoji i pohrana toplinske energije u kombinaciji s rastaljenim solima. To je koncept promjene stanja materijala koji koristi latentnu toplinu. Zbog visokih temperatura isparavanja i niske viskoznosti prigodna je primjena rastaljenih soli [39].

Od navedenih sustava, za kućanstva najjednostavnija je ugradnja baterijskog sustava koji bi skladištio viškove energije proizvedene preko dana i omogućio njezino korištenje u uvjetima smanjene proizvodnje. Svakako, treba razmotriti toplinski sustav pohrane kojim bi se povezao sustav grijanja i proizvodnje potrošne tople vode s vlastitom proizvodnjom električne energije. U obzir se može uzeti i kemijski sustav pohrane u kojem bi se proizvodio vodik i po potrebi upotrebljavao. Zajednički, a i glavni nedostatak je cijena pri kojoj investicije postaju isplative nakon dužeg perioda dok se solarne elektrane bez tih sustava isplative u kraćem razdoblju.

7. METODE I ULAZNI PODACI

7.1. Metoda proračuna

U proračunu je primijenjen hibridni solarni sustav koji osim postavljanja fotonaponskih panela na krov uključuje i baterije. Glavni zadatak proračuna bio je pravilno dimenzionirati fotonaponsku elektranu da bi uštede bile maksimalne. Korišten je model korisnika postrojenja za samoopskrbu, za koji se mora ispuniti nužan uvjet da se manje energije preda u mrežu nego li se iz mreže preuzme na godišnjoj razini. Utvrđeno je da se s tim modelom ostvaruju najveće uštede te je na osnovu toga izabrana snaga elektrane i kapacitet baterija.

Proizvodnja i potrošnja električne energije analizirana je na satnoj razini. Sustav je projektiran tako da ako postoji vlastita proizvodnja u tom satu da se energija prvo troši iz vlastite proizvodnje. U slučaju veće proizvodnje od potrošnje prvo se puni baterija, ako je baterija puna višak se šalje u mrežu. Nadalje, kada vlastita proizvodnja nije dovoljna da pokrije potrošnju ostatak se prvo nadomješta iz baterija, a ako je baterija prazna uzima se iz mreže. Razmatrani su jednotarifni (plavi) i dvotarifni (bijeli) modeli naplate električne energije. Treba napomenuti da u obzir nije uzeto punjenje baterije iz mreže jer bi to zakompliciralo jednostavan proračun proveden u Excelu.

Optimizacija je provedena izmjenom snage fotonaponske elektrane i kapaciteta baterije primjenom solver alata koji je dostupan u Excelu. Takav jednostavan primjer predstavlja problem linearnog programiranja s dvije promjenjive varijable. Pri optimizaciji ograničenje koje se moralo ispuniti je da na godišnjoj razini energija predana u mrežu bude manja ili jednaka energiji preuzetoj iz mreže. Funkcija cilja definirana je zbrojem profita vlastite potrošnje, potrošnje iz baterije, neto potrošnje, uštedom i zaradom umanjenim za cijenu fotonaponskog sustava i cijenu baterije svedenu na sadašnju vrijednost pomoću funkcije PMT. Funkcija cilja optimizacije je prikazati kolika je maksimalna ušteda to jest smanjenje troškova koje se može okarakterizirati kao profit. U daljnjem dijelu rada smanjenje troškova će se nazivati profitom.

$$\mathbf{Funkcija\ cilja} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &= \mathbf{profit\ vlastite\ potrošnje} \\ &+ \mathbf{profit\ potrošnje\ iz\ baterije} \\ &+ \mathbf{profit\ neto\ potrošnje} + \mathbf{ušteta} + \mathbf{zarada} \\ &- \mathbf{PMT\ baterija} - \mathbf{PMT\ fotonaponski\ sustav} \end{aligned}$$

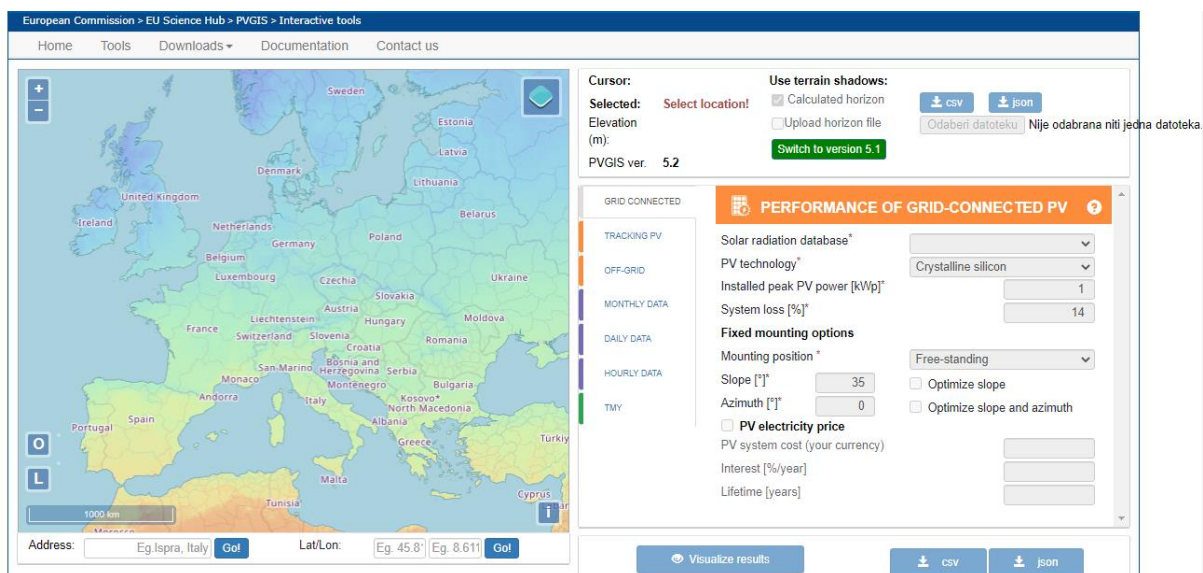
$$\mathbf{Snaga\ fotonaponskog\ sustava} \leq \mathbf{11,8\ kW} \quad (2)$$

$$\text{Kapacitet baterije} < 50 \text{ kWh} \quad (3)$$

$$\text{Suma (iz mreže)} \geq \text{suma (u mrežu)} \quad (4)$$

7.2. Opis PVGIS alata

PVGIS (eng. Photovoltaic Geographical Information System) je besplatni alat pomoću kojeg se mogu dobiti informacije o sunčevom zračenju za gotovo bilo koju lokaciju na Zemlji. Također, mogu se dobiti podaci o proizvodnji električne energije iz fotonaponskih sustava. Koristi se visokokvalitetnim podatcima o sunčevom zračenju dobivene pomoću satelitskih snimaka. Pri izračunu učinkovitosti FN sustava uzima u obzir i promjenu temperature te brzinu vjetrova. Podaci o proizvodnji dobivaju se nakon definiranja niza parametara. Parametri koji se mogu definirati su: nagib krova, azimut, instalirana snaga, tehnologija FN modula i gubici sustava. Njegove mogućnosti su višestruke te tako može prikazati mjesečne, dnevne, ali i podatke po satima. Gubici u sustavu predstavljaju sve gubitke koji mogu smanjiti proizvodnju. Neki od mogućih gubitaka su gubici u inverteru, u kablovima, uslijed nakupljanja prljavštine ili snijega na panelima. U gubitke se ubrajaju i gubici prilikom smanjenja učinkovitosti panela tijekom godina eksploatacije i gubici nastali zasjenjenjem površina panela od zgrada, drveća, dimnjaka i sličnih objekata [40].

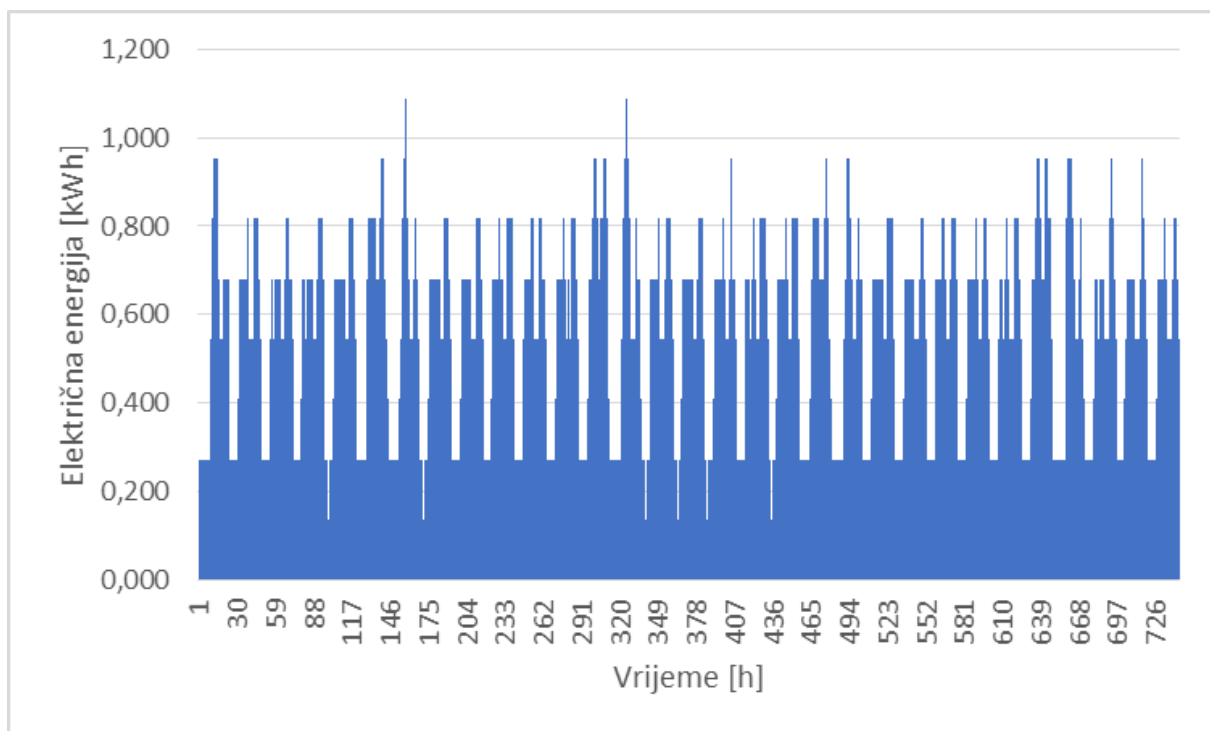


Slika 19. Prikaz sučelja PVGIS-a [40]

7.3. Ulazni podaci

7.3.1. Potrošnja električne energije

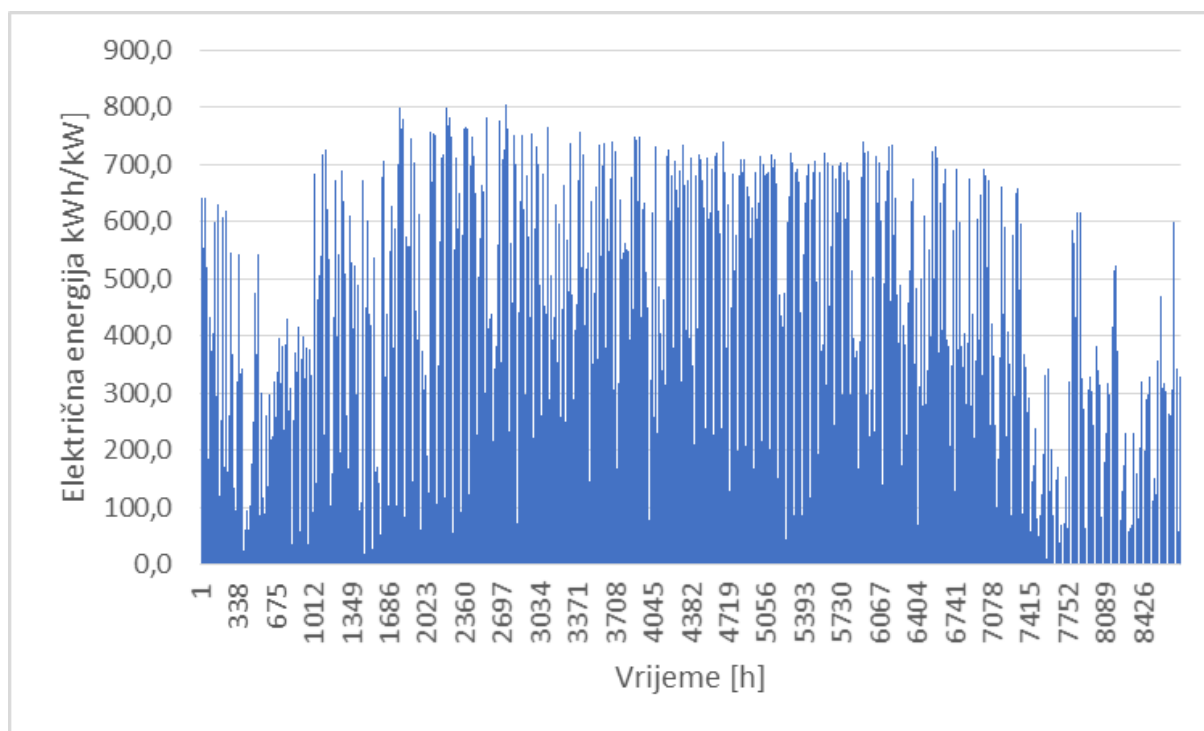
Za promatrano kućanstvo bili su dostupni podaci o godišnjoj potrošnji električne energije koja je u protekloj godini iznosila 4090 kWh. Pomoću Npro alata i podatka o godišnjoj potrošnji električne energije kreirana je normalizirana krivulja potrošnje električne energije po satu [41]. Npro alat softverski je alat za dimenzioniranje i simulaciju komponenti za proizvodnju i pohranu energije. Pomoću njega moguće je dimenzionirati fotonaponske sustave, sustave grijanja i hlađenja te sustave pohrane energije. U radu je korišten samo za kreiranje satne potrošnje električne energije.



Slika 20. Mjesečna potrošnja na satnoj razini

7.3.2. Proizvodnja električne energije

Pomoću ranije opisanog PVGIS alata približno je odabrana lokacija obiteljske kuće u Brodsko – posavskoj županiji u selu Komarnica. Razmatrana je tehnologija silicijskih monokristalnih panela fiksno postavljenih na krov kuće. Zadani su parametri kut nagiba krova od 32°, azimut 5° prema zapadu u odnosu na jug i gubitci sustava od 15 %. Kreirana je satna krivulja proizvodnje na osnovu zadanih parametara i lokacije za jediničnu snagu solarne elektrane. Na osnovu godišnje potrošnje električne energije i jedinične proizvodnje solarne elektrane odabrana je snaga solarne elektrane od 3,2 kW i kapacitet baterije od 5 kWh.



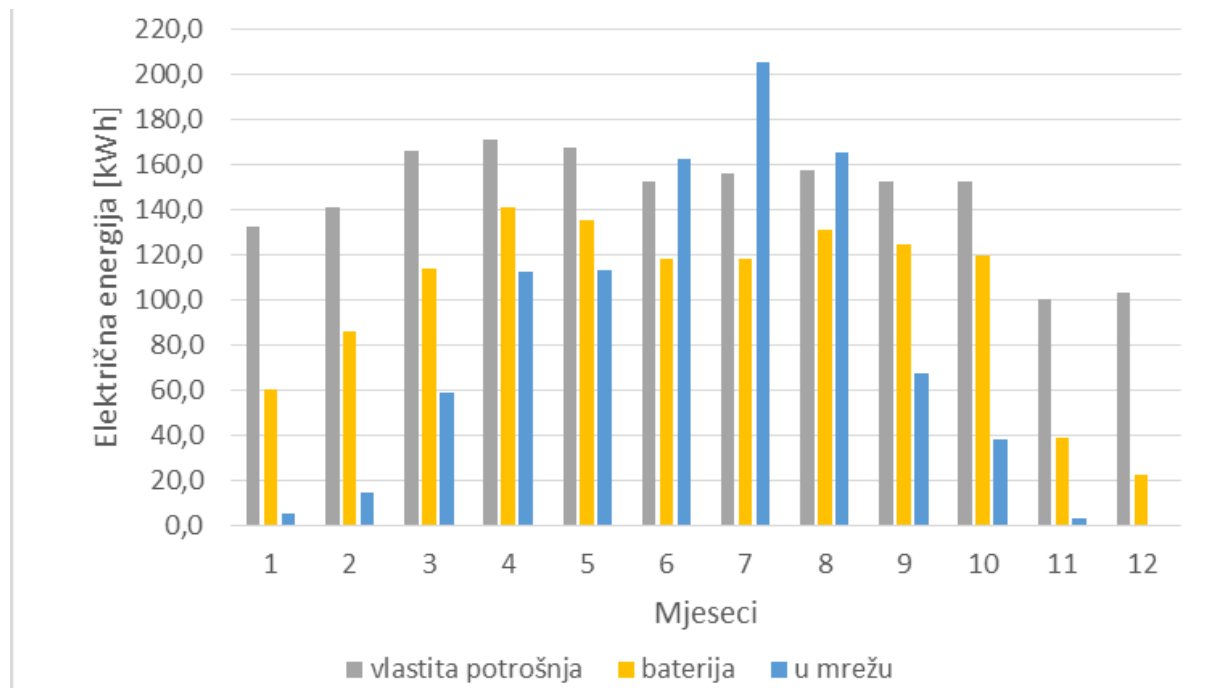
Slika 21. Godišnja proizvodnja na satnoj razini za jediničnu snagu solarne elektrane

8. REZULTATI

U ovom poglavlju prikazani su rezultati proračuna jednotarifnog i dvotarifnog modela. Izračunati su iznosi proizvedene električne energije pomoću fotonaponske elektrane na satnoj razini te su podijeljeni na udjele vlastite potrošnje, skladištenja u baterije i viška predanog u mrežu. Prikazan je i iznos električne energije preuzete iz mreže. Nakon toga prikazan je profit na mjesečnoj razini podijeljen po stavkama. U konačnici je prikazan financijski i ekonomski tijek novca te analiza osjetljivosti projekta promjenom cijene električne energije i promjenom troškova investicije.

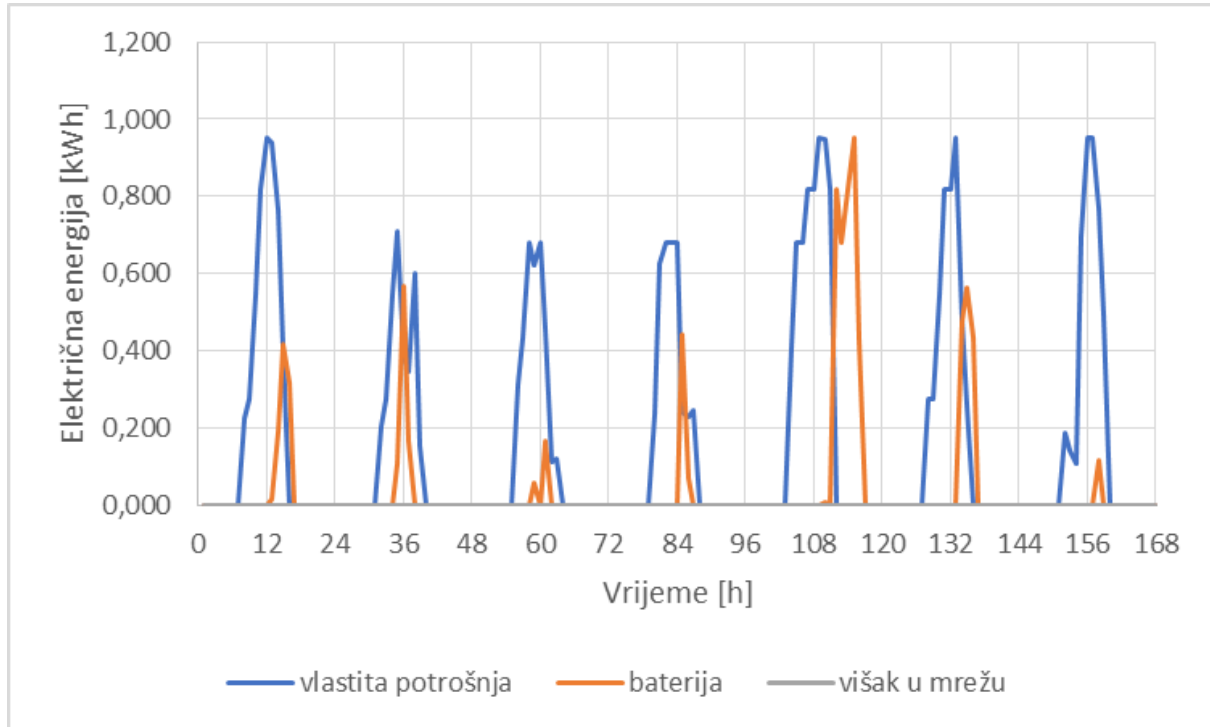
8.1. Analiza jednotarifnog modela

Za odabranu snagu solarne elektrane i kapacitet baterije vlastita potrošnja se kreće u intervalima od 100 kWh sve do 170 kWh mjesečno, a predstavlja maksimalan profit jer se proizvedena energija odmah troši u kućanstvu. Također, energija iz baterija predstavlja maksimalan profit, a koristi se kada nema dovoljno vlastite proizvodnje pod uvjetom da nije prazna. Ostatak se šalje u mrežu, a za njega se dobiva naknada ovisno je li to mjesec neto potrošnje ili proizvodnje. Sustav u srpnju predaje najviše energije u mrežu. Iznos predane energije je nešto veći od 205 kWh što se može vidjeti na slici 22. Kako bi uštede bile što veće potrebno je potrošnju prilagoditi proizvodnji.



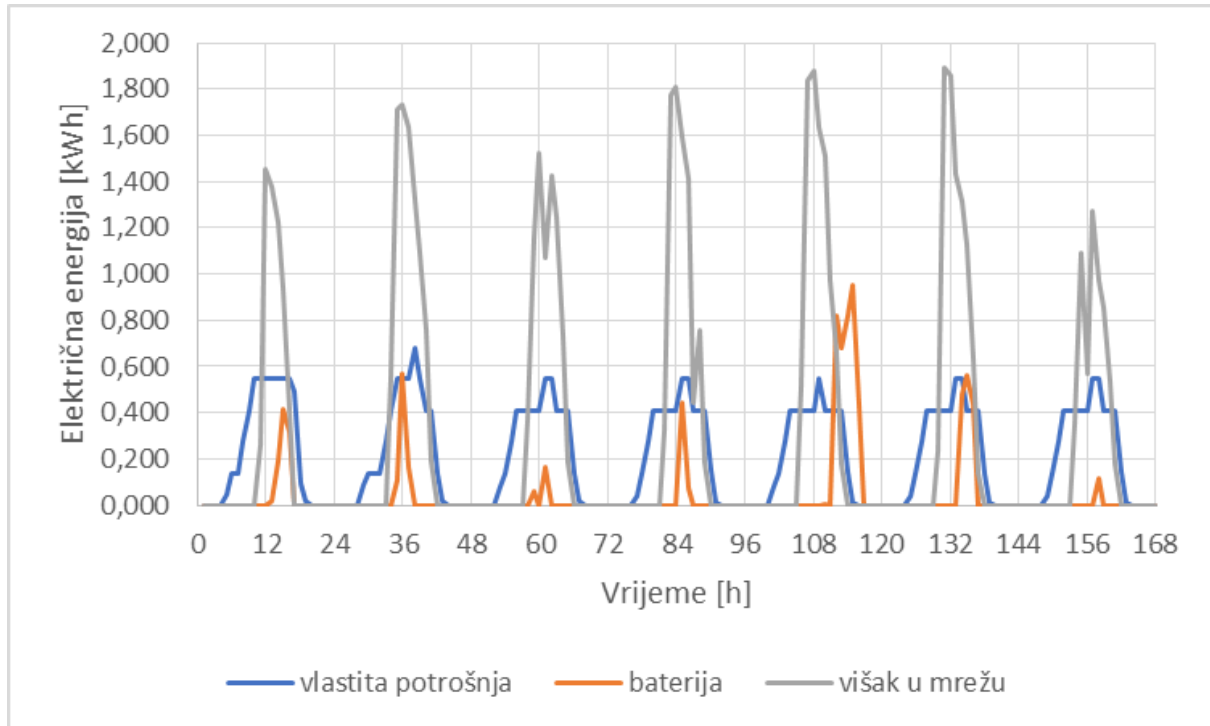
Slika 22. Raspodjela proizvedene električne energije

Slika 23. prikazuje jedan tjedan proizvodnje energije u mjesecu neto potrošnje. Uočava se da se energija ne predaje u mrežu. Energijom iz vlastite proizvodnje kućanstvo se uspijeva opskrbiti samo u najsunčanijim satima dana pa čak proizvede i više energije nego što su potrebe za potrošnjom te se višak skladišti u baterije i koristi kada nema proizvodnje.



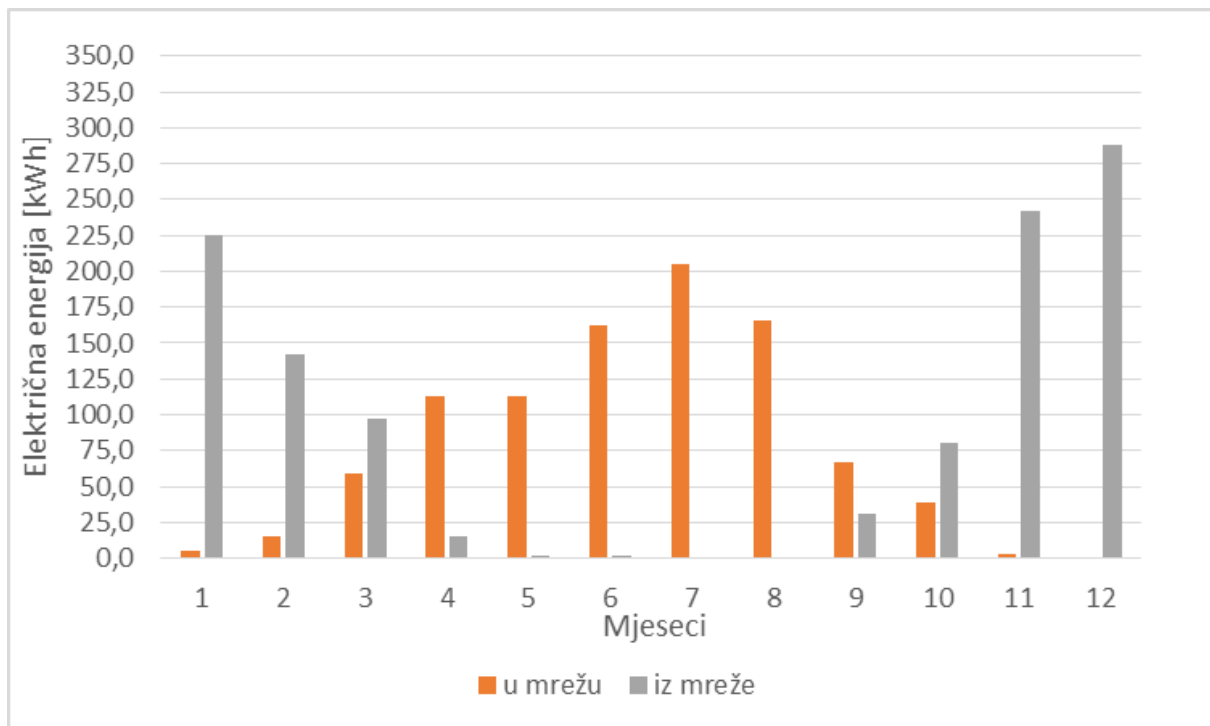
Slika 23. Satna raspodjela proizvodnje tijekom tjedna u prosincu

Slikom 24. prikazana je tjedna raspodjela proizvodnje u mjesecu neto proizvodnje. Uočljiv je izražen iznos energije koja se predaje u mrežu. Iz vlastite proizvodnje osiguravaju se ukupne potrebe za električnom energijom tako da se iz mreže ne uzima energija. To omogućuje baterija u koju se skladište viškovi tijekom sunčanih sati da bi se koristili pri nedovoljnoj proizvodnji.



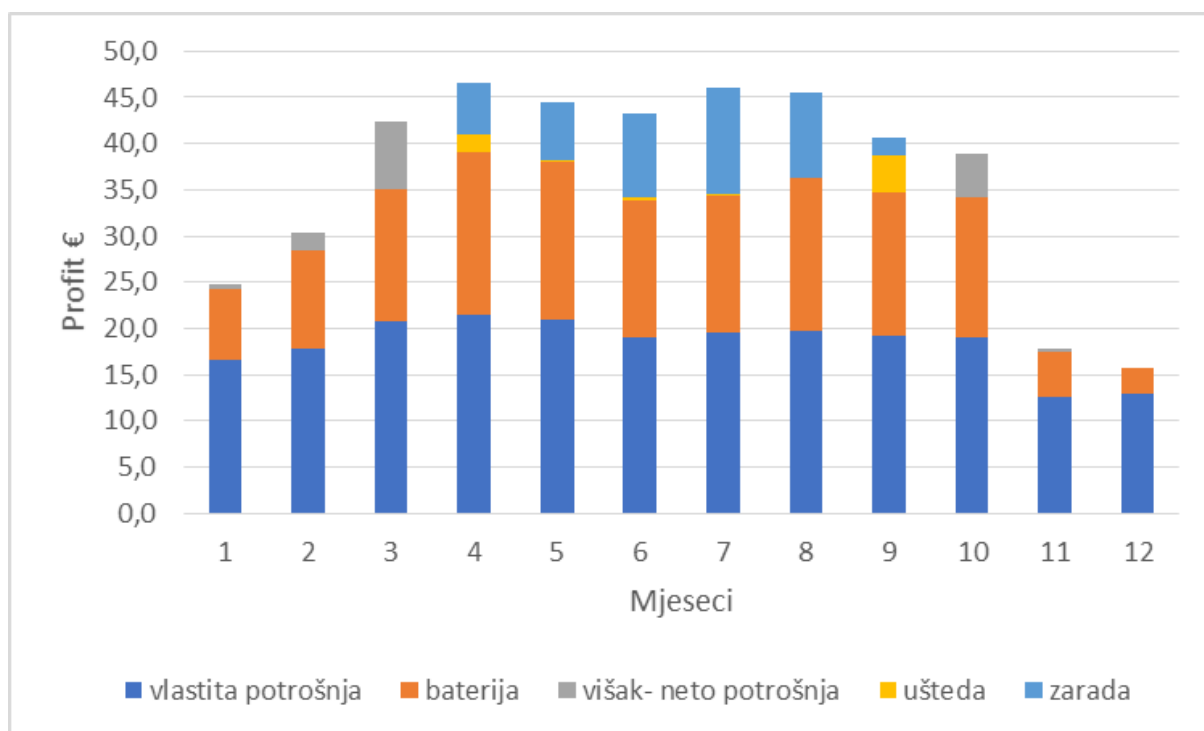
Slika 24. Satna raspodjela proizvodnje tijekom tjedna u srpnju

Za model korisnika postrojenja za samoopskrbu uvjet je osigurati da se na godišnjoj razini manje energije predaje u mrežu nego li se iz nje uzima. Za odabranu snagu elektrane i kapacitet baterije uvjet je ispunjen te je u mrežu poslano 948 kWh, a iz mreže preuzeto 1125,7 kWh. Raspodjelu po mjesecima moguće je vidjeti na slici 25.



Slika 25. Prikaz električne energije poslana u mrežu i preuzete iz mreže

Ukupni profit u godini iznosi 436,7 € na što se još dodaje i iznos PDV-a od 13 % te u konačnici profit iznosi 493,4 €. Na slici 26. prikazan je detaljan pregled profita po stavkama u svakom mjesecu. U svim mjesecima prisutni su profiti vlastite potrošnje i potrošnje iz baterija. Ti profiti su definirani kao količina potrošene električne energije u tim stavkama pomnožena s ukupnom cijenom električne energije. Takav profit smatra se maksimalnim za kućanstvo. U mjesecima neto potrošnje prisutan je profit od viška energije predane u mrežu koji se također smatra maksimalnim profitom. U mjesecima neto proizvodnje profit se dijeli na uštedu i zaradu. Ušteda predstavlja ukupnu cijenu električne energije preuzete iz mreže u mjesecu neto proizvodnje i također se smatra maksimalnim profitom. Zarada se odnosi na razliku predane i preuzete energije pomnoženu s 0,8 cijene samo električne energije. Na računima se gleda kao preplata s negativnim iznosima za koje se umanjuju računi za sljedeći mjesec.



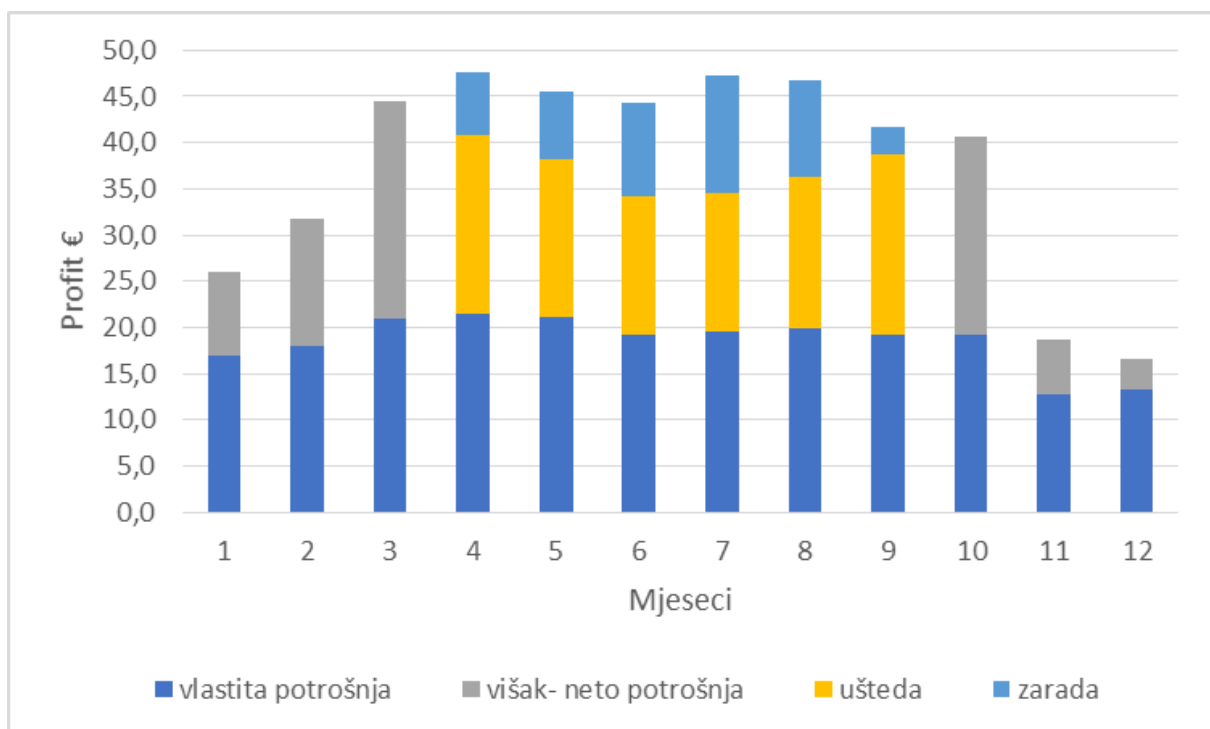
Slika 26. Profit po stavkama

8.1.1. Optimizirani jednotarifni model

Optimizacijom integrirane solarne elektrane dolazi se do zaključka da nam je baterijski sustav još uvijek neisplativ. Elektroenergetska mreža zapravo predstavlja veliku bateriju u koju spremamo proizvedene viškove te ih koristimo kad nemamo dovoljno vlastite proizvodnje. Ako se ostvaruje još dodatnih viškova oni se obračunavaju kao preplata po 80 % cijene samo električne energije i prenose se u sljedeći mjesec. To nam omogućuje model korisnika

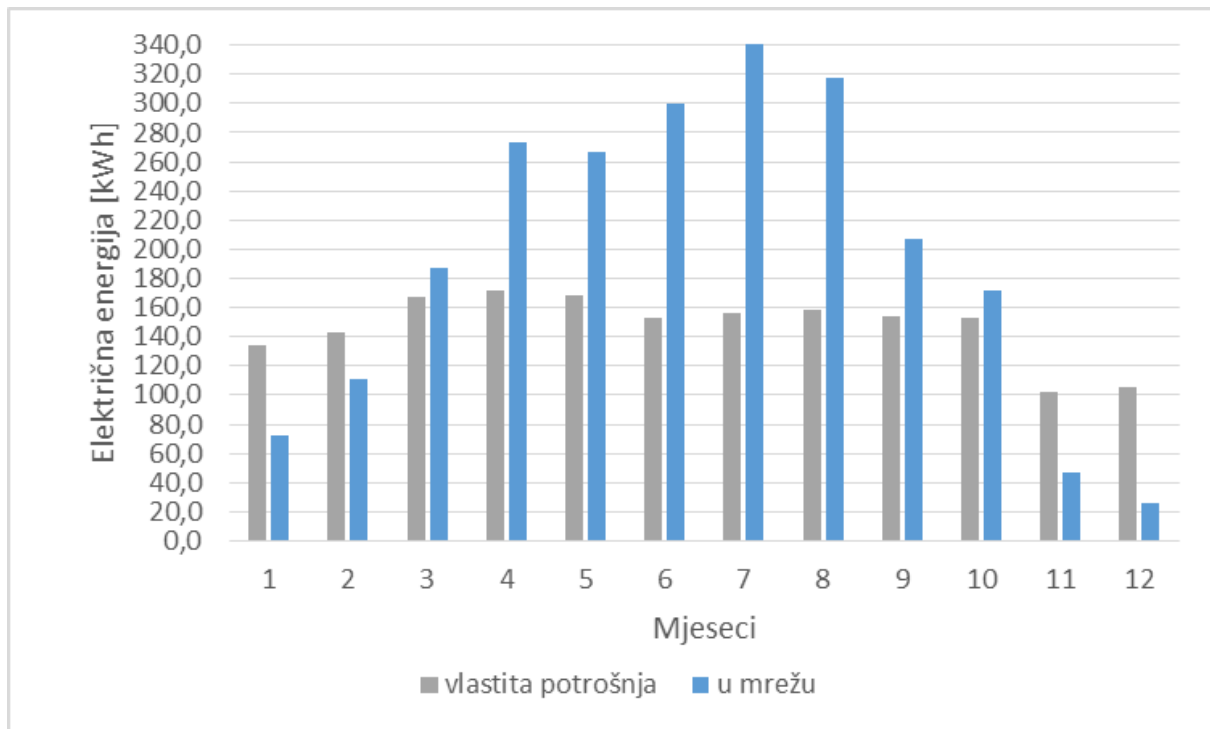
postrojenja za samoopskrbu pri kojem dolazi do „netiranja“ viškova. U optimiziranom sustavu kapacitet baterija je nula, a snaga elektrane je povećana na 3,35 kW.

U optimiziranom sustavu nema baterija pa je energija koja se trošila iz njih raspoređena na viškove neto potrošnje, uštedu i zaradu. Najveća promjena u odnosu na neoptimizirani sustav je u uštedi koja je najviše narasla. U mjesecima neto potrošnje sva energija koja je bila u baterijama se u optimiziranom sustavu šalje u mrežu. Profit iznosi 509,7 € s PDV-om što je povećanje za 16,3 €, ali treba naglasiti da je i snaga elektrane povećana pa i to ima utjecaja na povećanje profita. Slika 27. prikazuje profite po pojedinom elementu. Ukupni maksimalni profit ostvaruje se u sedmom mjesecu i iznosi 47,3 €, dok je najmanji profit ostvaren u prosincu i iznosi 16,5 €.



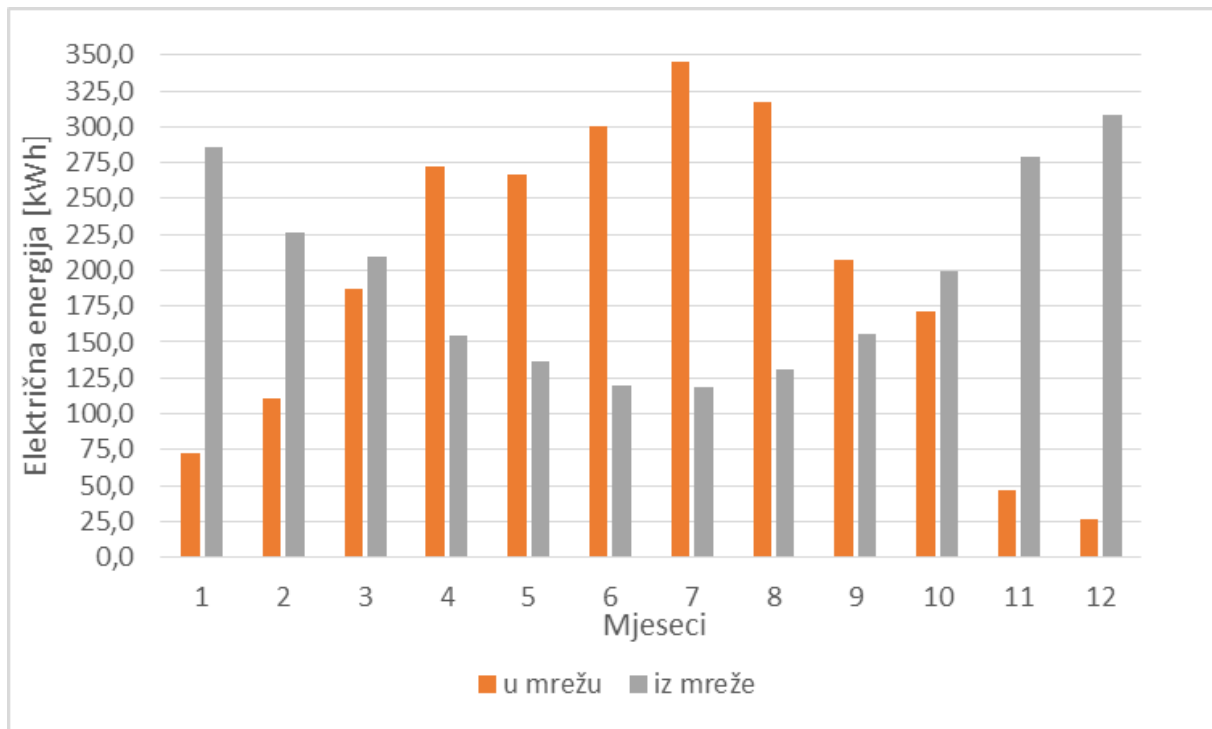
Slika 27. Profit po stavkama u optimiziranom sustavu

Na slici 28. uočava se da je vlastita potrošnja prilično konstanta tijekom godine te se kreće od 102 kWh u zimskim mjesecima do 170 kWh u ljetnim mjesecima. Razlog tomu je svakako veća vlastita proizvodnja ljeti. Naspram tome je promjenjiva raspodjela viškova poslanih u mrežu tijekom godine, a kreće se od 26 kWh u prosincu do 345 kWh u srpnju. U najproduktivnijem mjesecu višak poslan u mrežu je dvostruko veći od vlastite potrošnje, dok u mjesecu najmanje proizvodnje i dalje postoji višak koji se šalje u mrežu te iznosi oko 25 % vlastite potrošnje u tom mjesecu.



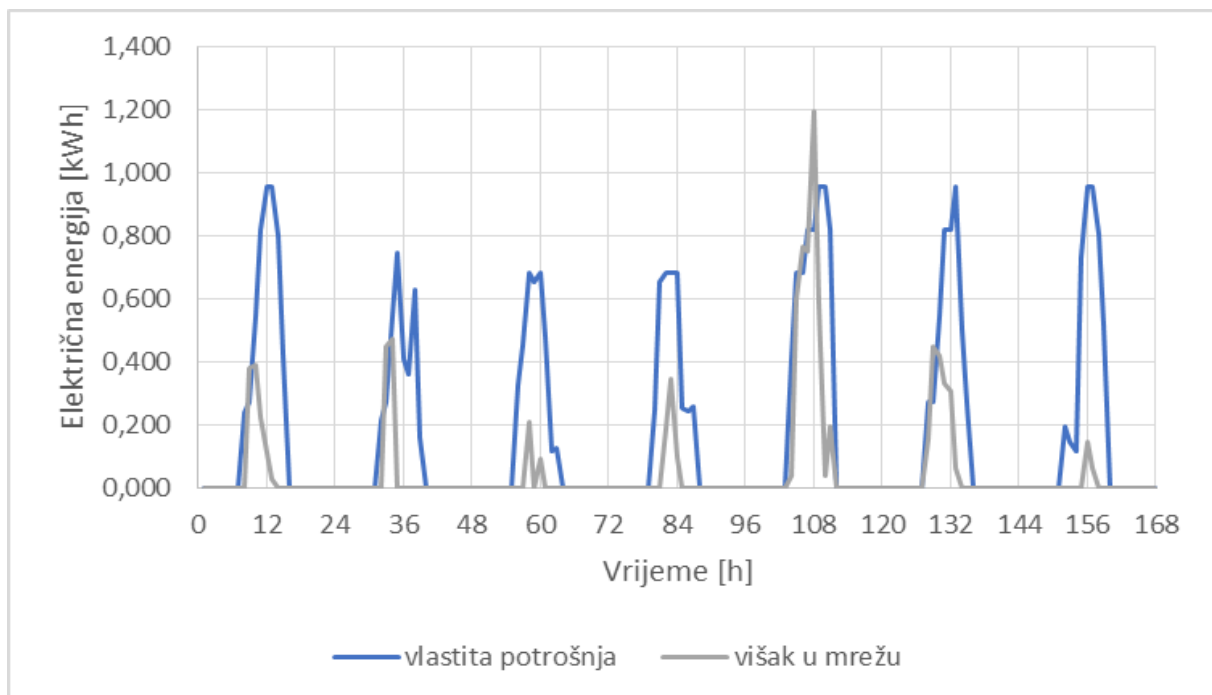
Slika 28. Raspodjela proizvedene energije u jednotarifnom modelu

Na slici 29. prikazan je iznos energije poslana u mrežu i energije preuzete iz mreže. U optimiziranom sustavu godišnja suma energije poslana u mrežu i iz nje preuzete jednaka je i iznosi 2323,1 kWh. To je granični slučaj u kojemu se ostaje u modelu korisnika postrojenja za samoopskrbu. S takvim sustavom se postižu najveće uštede što je i cilj, ali on nije održiv zato što imamo promjenjivu proizvodnju energije, ali i promjenjivu potrošnju energije. Lako bi se moglo dogoditi da se u jednoj godini pošalje više energije nego što se uzme i automatski se prelazi u nepovoljniji model krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom. Najbolja opcija bila bi smanjiti snagu elektrane za 5 % do 10 % kako se ne bi dogodio neželjeni scenarij.

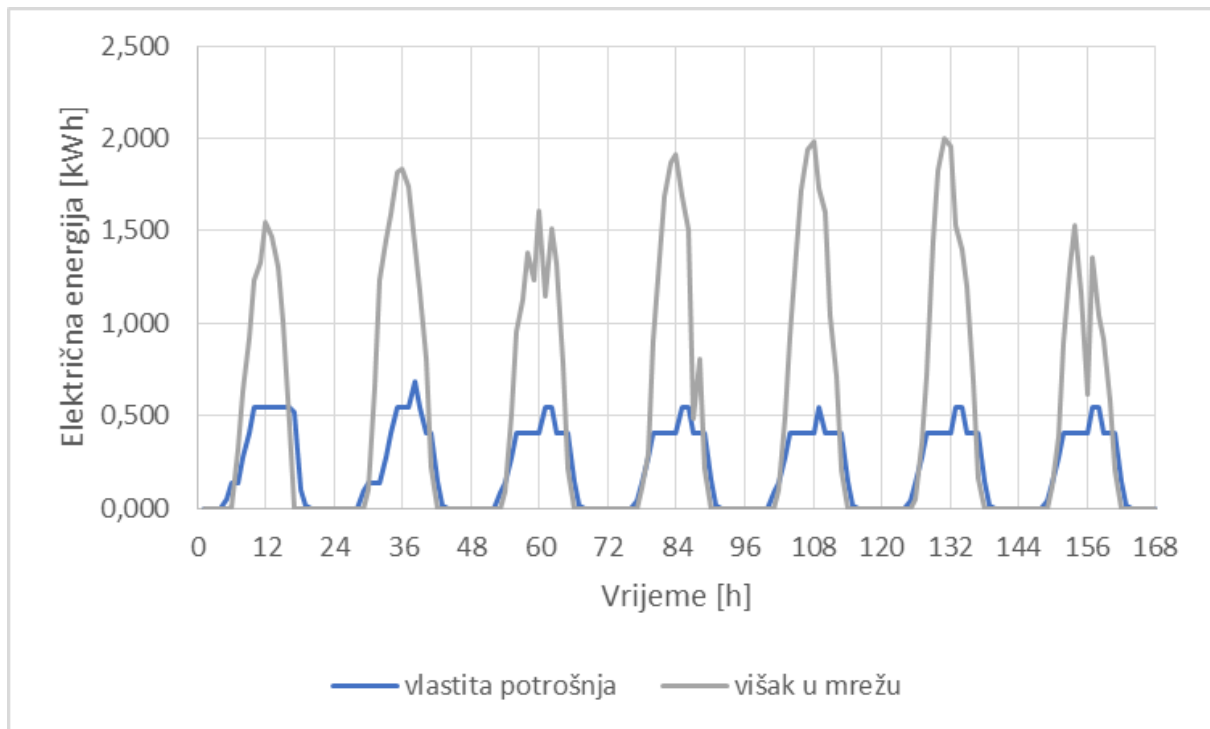


Slika 29. Optimizirani prikaz energije poslana u mrežu i preuzete iz mreže

Slika 30. prikazuje mjesec neto potrošnje u kojem je vlastita proizvodnja smanjena te se u vršnim satima dio energije uspijeva poslati u mrežu. Slika 31. prikazuje mjesec neto proizvodnje u kojem tijekom vršnog opterećenja proizvodi čak do četiri puta više energije u satu nego što je kućanstvu potrebno. Iznos viška poslanog u mrežu tijekom jednog dana doseže 2 kWh.

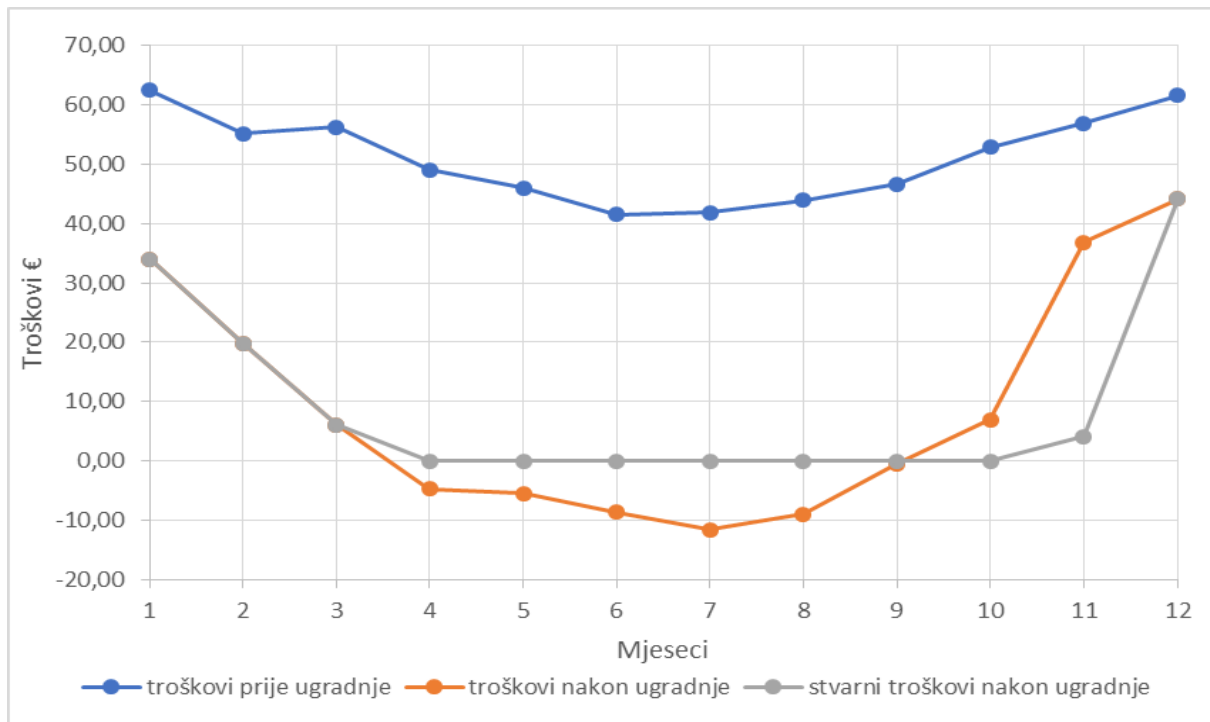


Slika 30. Satna raspodjela proizvodnje tijekom tjedna u prosincu za optimizirani sustav



Slika 31. Satna raspodjela proizvodnje tijekom tjedna u srpnju za optimizirani sustav

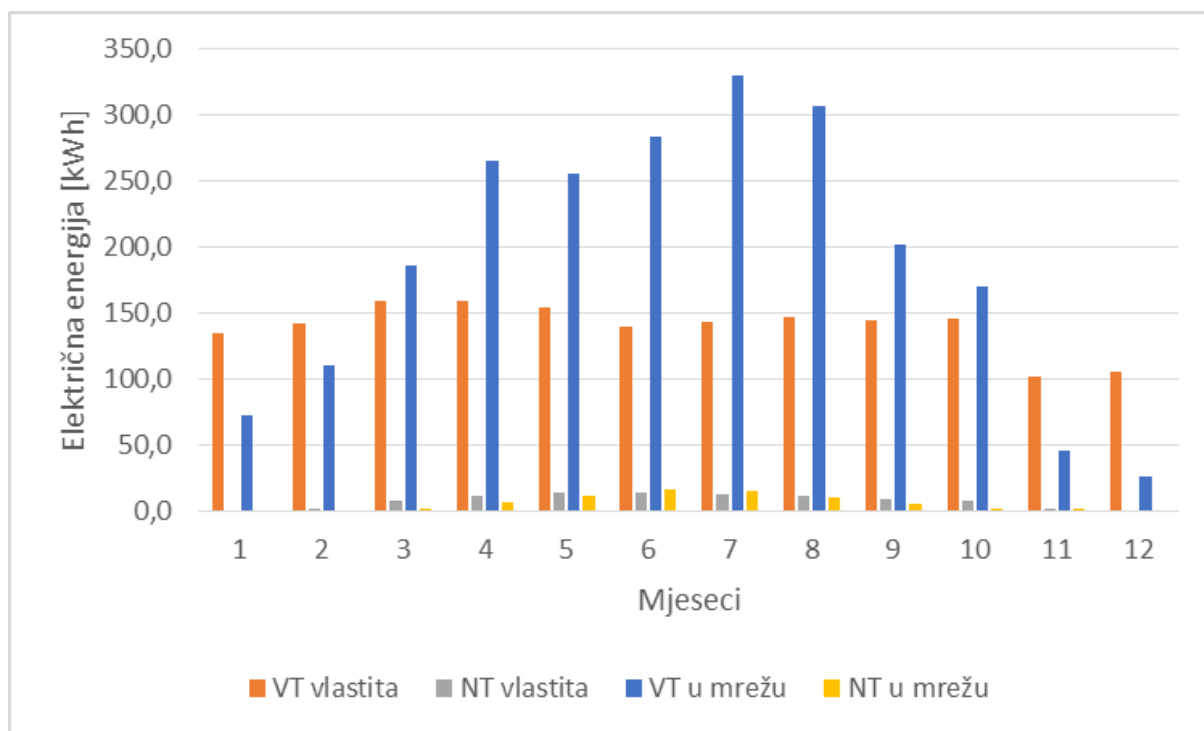
Slika 32. prikazuje troškove prije i nakon instalacije solarne elektrane. Troškovi prije instalacije variraju od minimalnih 41 € u šestom mjesecu do maksimalnih 62 € u prvom mjesecu. Nakon instalacije solarne elektrane od četvrtog do desetog mjeseca iznos računa je nula eura. Tome je prethodio pad iznosa računa u prvom tromjesječju. U posljednja dva mjeseca uslijed smanjenja vlastite proizvodnje energije dolazi do porasta računa. Uočavaju se negativni iznosi, oni predstavljaju preplatu za koju se umanjuje račun za sljedeći mjesec. Tako su umanjeni računi za listopad i studeni. Godišnji troškovi prije ugradnje iznosili su 613,85 €, dok nakon ugradnje iznose svega 108,15 €.



Slika 32. Troškovi prije i nakon ugradnje za jednotarifni model

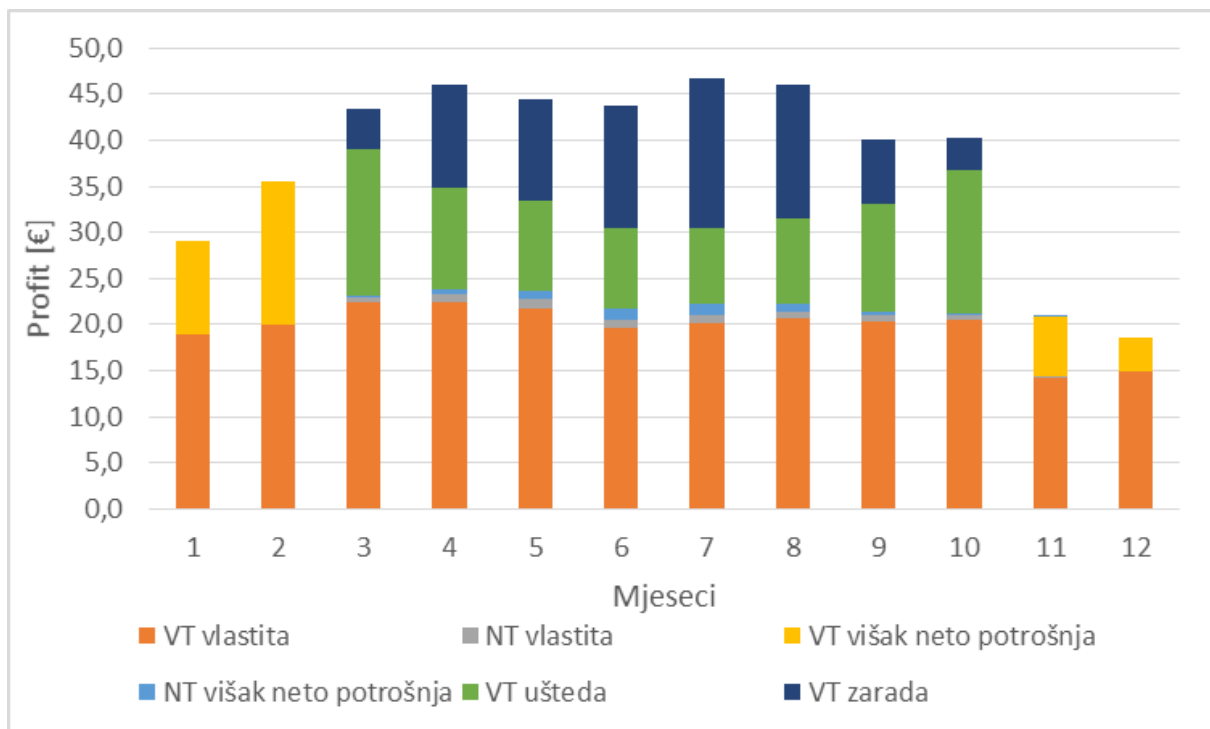
8.2. Analiza optimiziranog dvotarifnog modela

U ovom tarifnom modelu sva proizvedena ili potrošena energija naplaćuje se po višoj dnevnoj tarifi i nižoj dnevnoj tarifi. Podjela vremena na višu i nižu tarifu detaljno je pojašnjena u poglavlju tarifni modeli. Glavnina profita ostvaruje se u višoj dnevnoj tarifi jer se tad događa i većina proizvodnje električne energije. Proizvodnja energije u nižoj dnevnoj tarifi je višestruko niža u odnosu na proizvodnju u višoj tarifi te su slijedom toga i profiti ostvareni u nižim dnevnim tarifama gotovo zanemarivi u odnosu na profite u višoj dnevnoj tarifi. Ukupni godišnji profit iznosi 513,9 € što je oko 4 € više nego u jednotarifnom modelu.



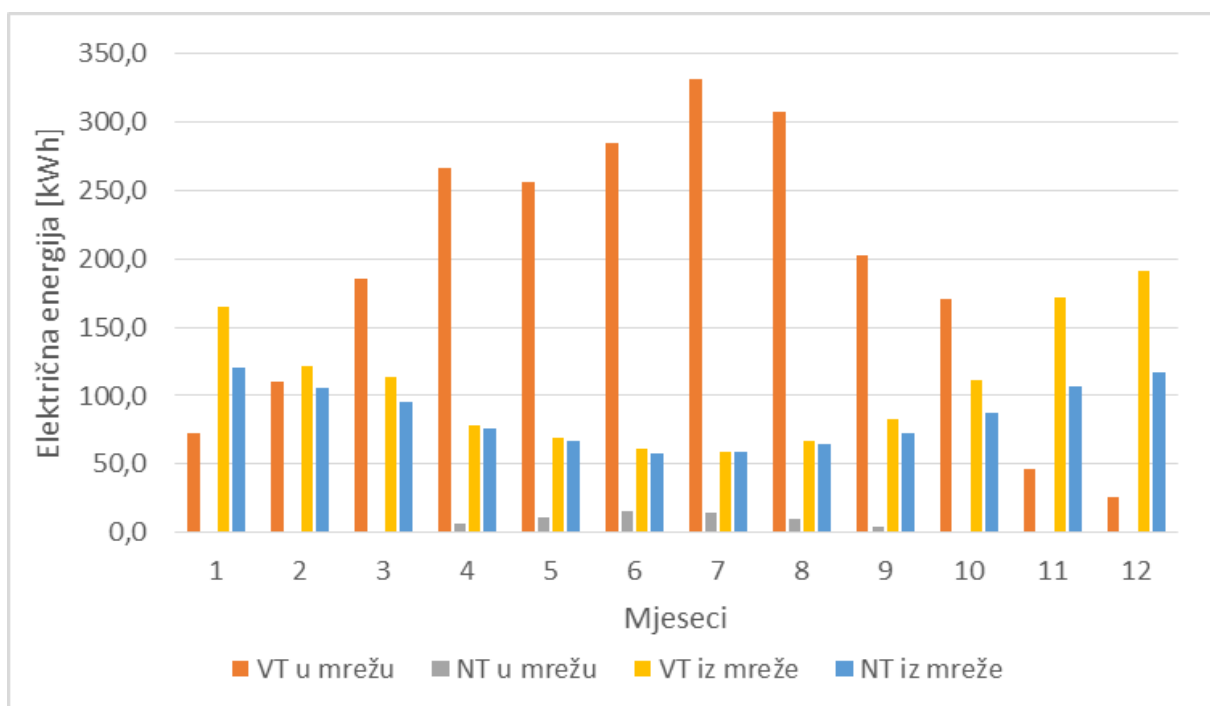
Slika 33. Raspodjela proizvedene električne energije

Bazni profit je vlastita potrošnja u višoj tarifi koji se nadopunjuje s profitom od viška neto potrošnje u višoj tarifi tijekom mjeseca neto potrošnje, a u mjesecima neto proizvodnje sa zaradom i uštedom iz više tarife. U konačnici s puno manjim udjelom ukupnom profitu doprinose i vlastita potrošnja i višak proizvodnje u nižoj tarifi dok zarade i uštede uopće nema u nižoj dnevnoj tarifi. Detaljan prikaz po mjesecima može se vidjeti na slici 34. Maksimalni profit je u sedmom mjesecu i iznosi 46,7 €, a minimalni profit je u dvanaestom mjesecu i iznosi 18,5 €.



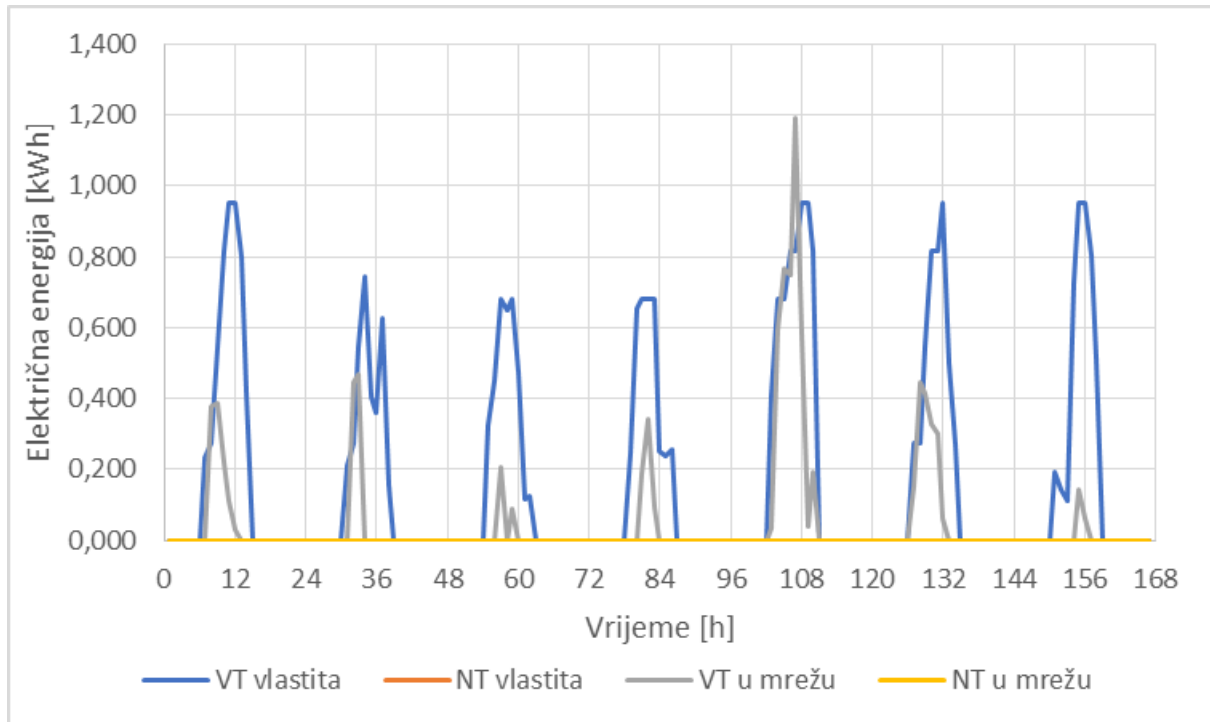
Slika 34. Profit po mjesecima dvotarifnog modela

Preuzeta energija iz mreže ima najmanju varijabilnost tijekom godine pri čemu je najmanja ljeti kada ima više sunčanih sati te se postupno povećava u zimskim mjesecima. Dakako najviše energije se predaje u mrežu u sedmom mjesecu. Zanimljivo je uočiti da se ostvaruje višak proizvodnje u ljetnim mjesecima pri nižoj dnevnoj tarifi koja je za ljetno računanje vremena definirana od 22 h do 8 h.

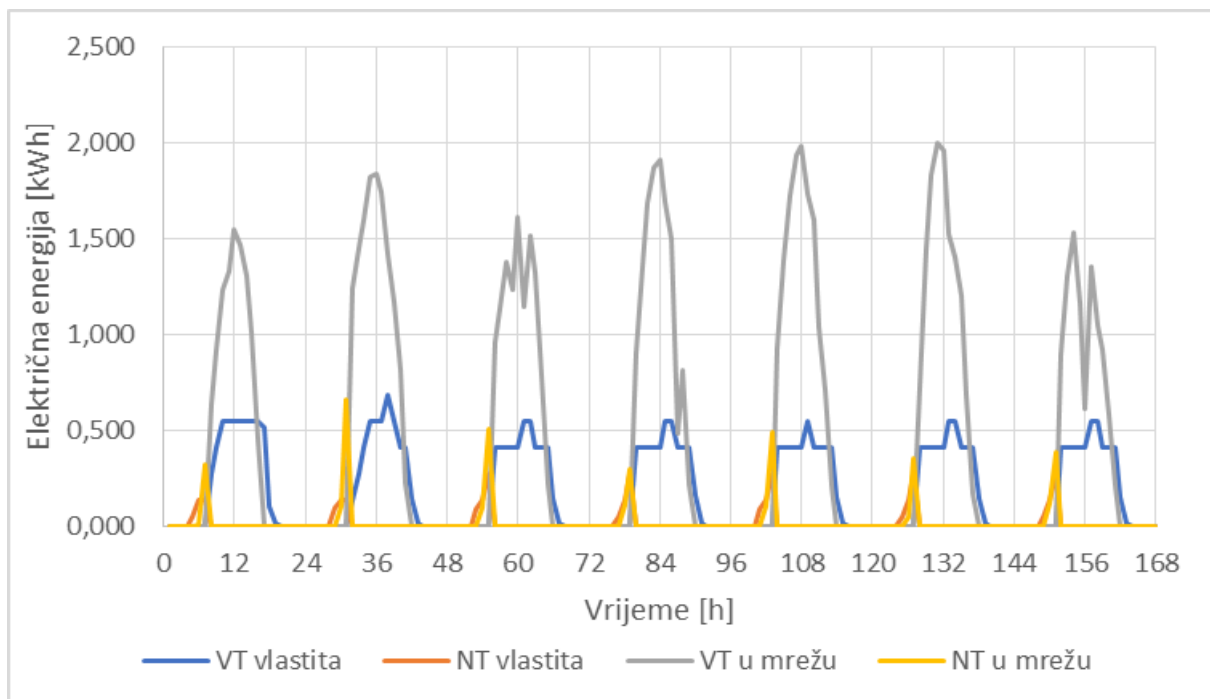


Slika 35. Prikaz energije poslana u mrežu i preuzeta iz mreže u višoj i nižoj tarifi

Slika 36. prikazuje mjesec neto potrošnje u dvotarifnom modelu. Sva proizvodnja se odvija u višoj dnevnoj tarifi. Vidljivo je da je proizvodnja smanjena jer se tek manji iznos energije šalje u mrežu kao višak. U usporedbi s mjesecom neto proizvodnje prikazanim slikom 37. gdje viškovi u višoj tarifi dosežu vrijednosti od 2 kWh u satu. Čak se i u nižoj tarifi ostvaruje vlastita potrošnja, ali i višak koji se šalje u mrežu.

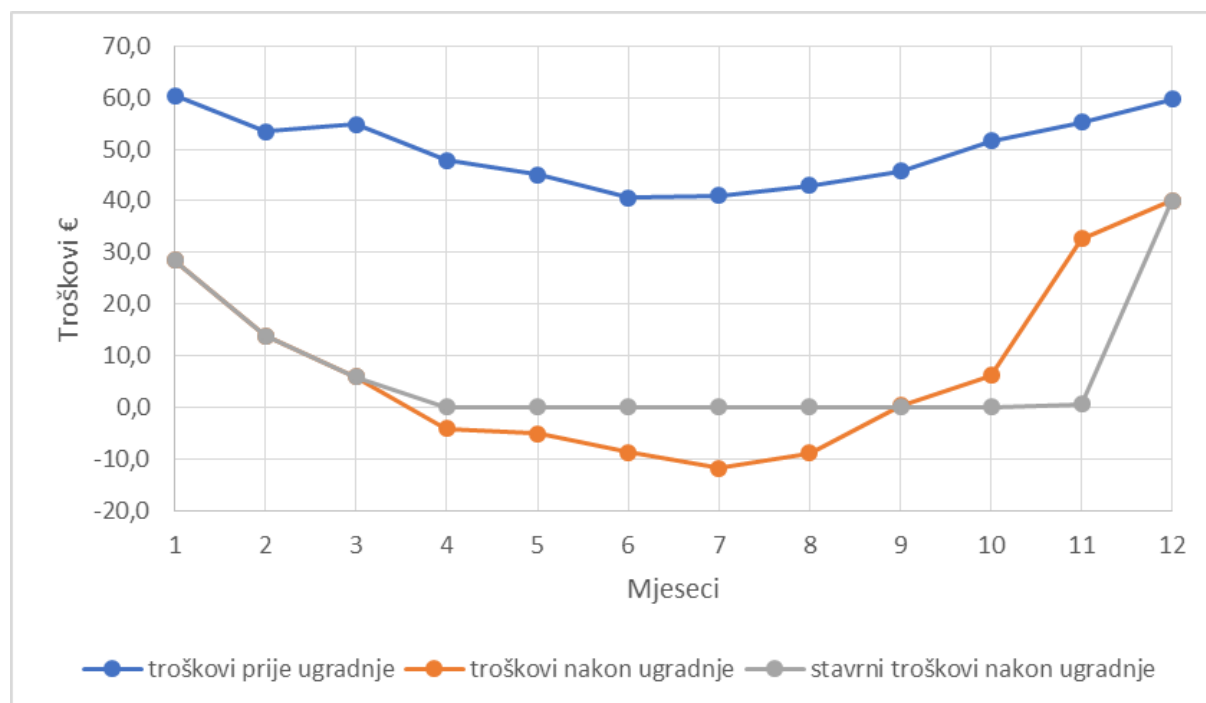


Slika 36. Dvotarifna raspodjela proizvodnje tijekom tjedna u prosincu



Slika 37. Dvotarifna raspodjela proizvodnje tijekom tjedna u srpnju

Troškovi nisu značajno drugačiji u odnosu na jednotarifni model. Krivulje troškova su gotovo identične uz minimalnu razliku. Nakon ugradnje solarne elektrane iznos računa od četvrtog do desetog mjeseca iznose nula eura. U prvom tromjesečju dolazi do postupnog smanjenja troškova, dok se u posljednjem tromjesečju računi umanjuju za nakupljen iznos preplate tijekom ljeta te stoga se do značajnijeg iznosa računa dolazi tek u dvanaestom mjesecu. Dvotarifni model ima svoje prednosti, ali i nedostatke. Većina proizvodnje odvija se u višoj dnevnoj tarifi te su profiti veći jer tada ne plaćamo skuplju struju, a i viškovi se netiraju po višoj tarifi. Nedostatak je ako nam je 40 i više posto potrošnje u nižoj tarifi jer tada je vlastita proizvodnja minimalna pa nema značajnijih ušteda radi vlastite potrošnje što zapravo predstavlja najveći udio u ukupnom profitu. Stoga se potrošačima koji imaju takvu raspodjelu potrošnje preporučuje prelazak na jednotarifni model [42].



Slika 38. Troškovi prije i nakon ugradnje za dvotarifni model

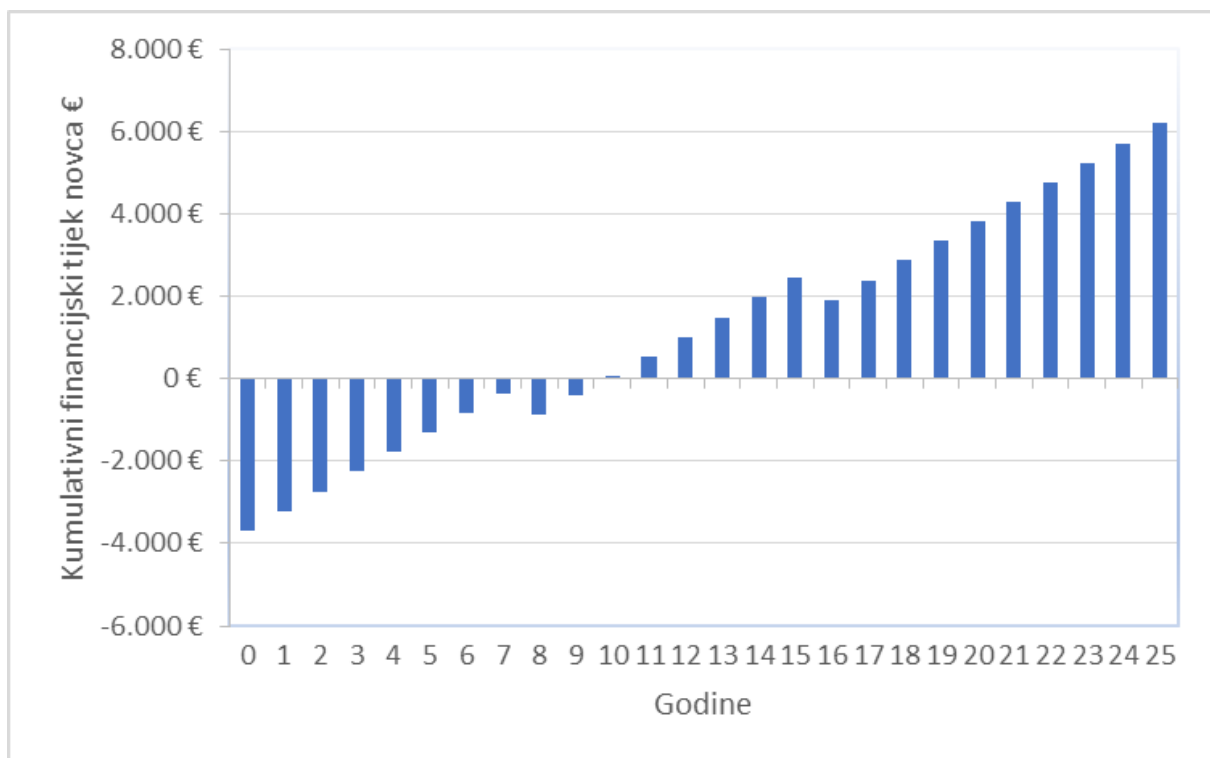
8.3. Financijski i ekonomski tijek novca

Isplativost projekta procjenjuje se računanjem unutarnje stope povrata (IRR) i neto sadašnje vrijednosti (NPV). Neto sadašnja vrijednost je zbroj svih budućih novčanih tokova tijekom trajanja projekta diskontiranog na sadašnju vrijednost. Njegova svrha je određivanje vrijednosti projekta i sigurnosti ulaganja u projekt [43]. Unutarnja stopa povrata je usko povezana s NPV-om i predstavlja kamatnu stopu kod koje NPV iznosi nula te se koristi za određivanje profitabilnosti projekta [44].

Za izračun neto sadašnje vrijednosti korištena je diskontna stopa od 5 %, a trajanje projekta je 25 godina što predstavlja radni vijek solarne elektrane. Stoga, za snagu elektrane od 3,35 kW ukupni investicijski troškovi iznose 3685 €. Investicija je u potpunosti financirana privatnim kapitalom to jest nije korišten kredit za njeno financiranje. Za održavanje sustava godišnje se izdvaja 0,5% ukupne investicije što iznosi 18,4 €.

8.3.1. Jednotarifni model

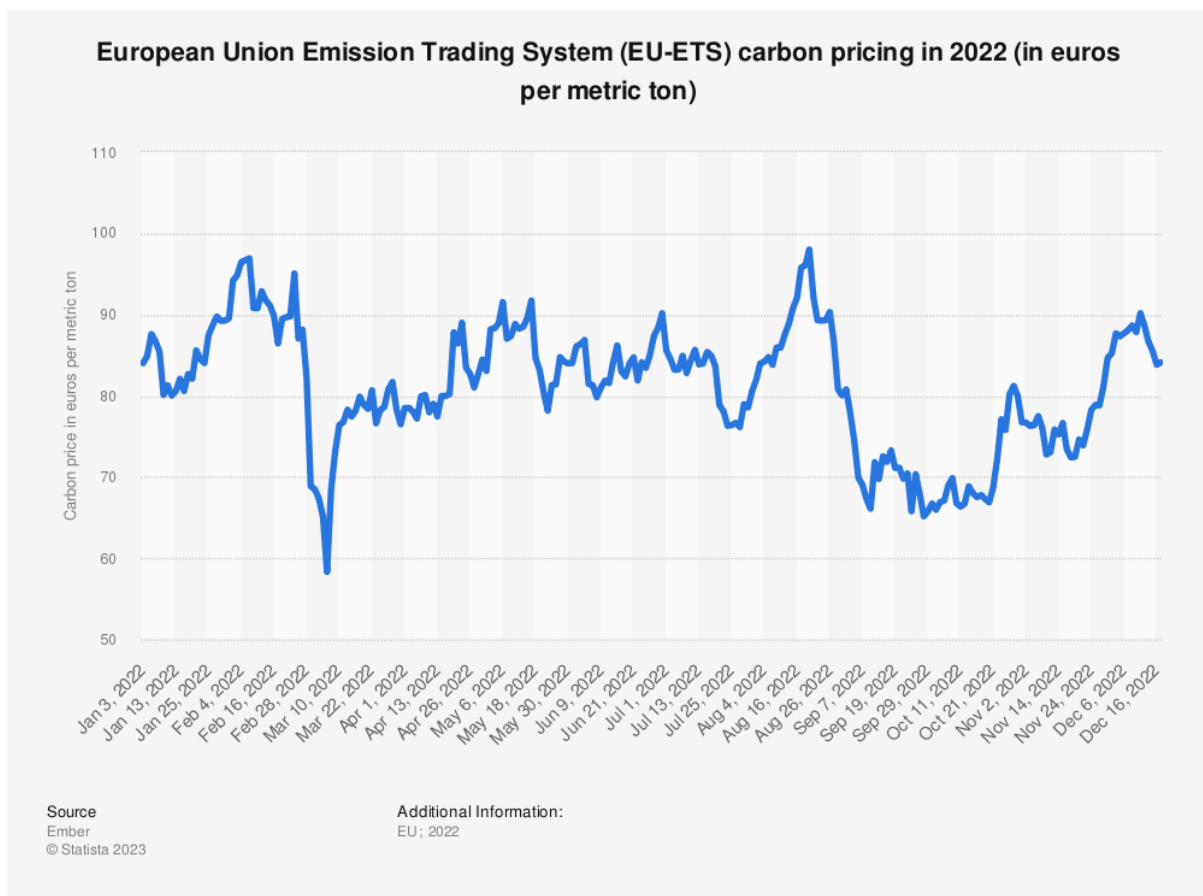
Profit nakon ugradnje elektrane iznosi 509,7 € godišnje. U investiciju se još uključuje zamjena invertera nakon 8 i 16 godina koja iznosi 1000 €. Slika 39. prikazuje da projekt postaje isplativ nakon desete godine pri čemu svaka godina nakon nje predstavlja zaradu koja u dvadeset i petoj godini iznosi 6597 €. NPV za promatrani model iznosi 2708,2 € što je veće od nule i pokazatelj je isplativosti projekta. IRR iznosi 11,74 % čime je opravdana isplativost projekta jer je veći od diskontne stope.



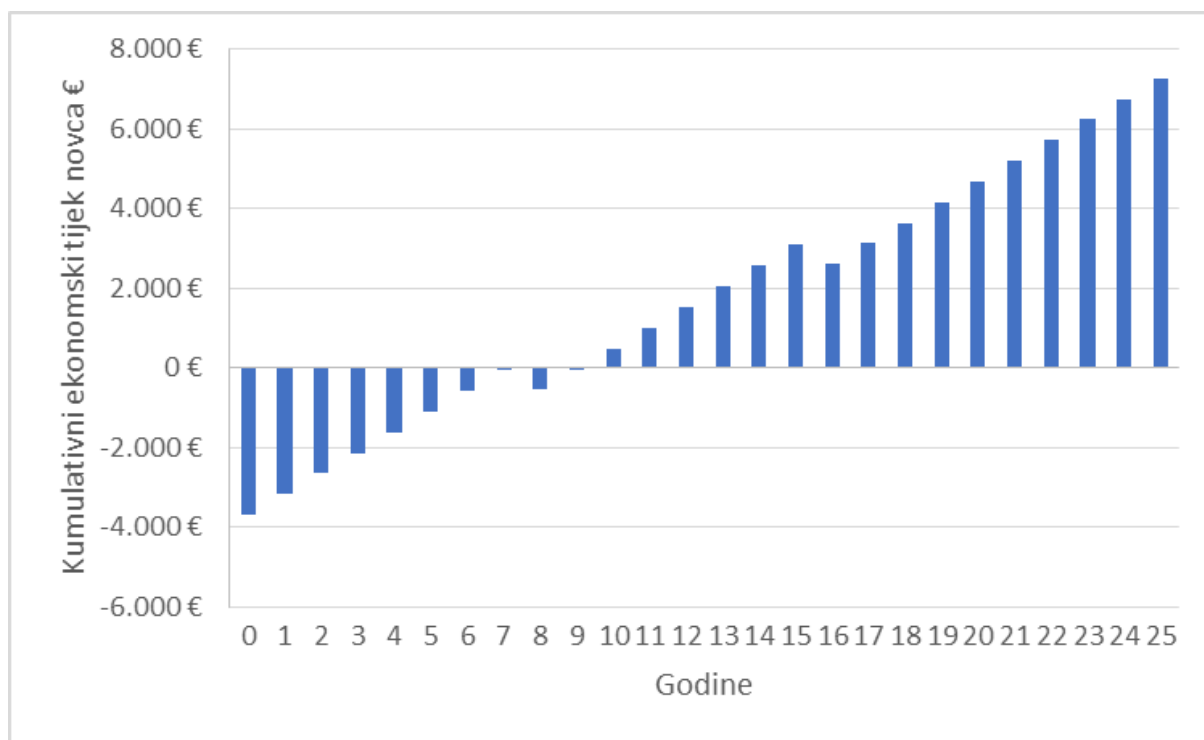
Slika 39. Kumulativni financijski tijek novca

Ekonomski tijek pokazuje pogled na cjelokupno društvo to jest kako je projekt doprinio razvoju društva i je li on prihvatljiv. U ovom primjeru doprinos se očituje proizvodnjom zelene električne energije i smanjenjem emisija CO₂. U Hrvatskoj proizvedena električna energija ima emisije CO₂ u iznosu od 131 gCO₂/kWh [45]. Proizvodnjom električne energije iz fosilnih goriva kao nusprodukt emitira se CO₂ te se iznos emisija svodi na proizvedeni kilovatsat

električne energije. Da bi se dobio konačni broj uključuju se svi izvori pri čemu obnovljivi imaju nultu stopu emisija te time smanjuju konačni intenzitet emisija CO₂ po kilovatsatu. Instalacijom elektrane smanjuju se emisije CO₂ za 2331,3 kg godišnje. Korištena je prosječna tržišna cijena CO₂ u 2022. godini koja iznosi 0,08 €/kg [46]. Količina smanjenih emisija pomnožena s tržišnom cijenom CO₂ dovodi do prihoda od 42,9 €/god. U tome je razlika između financijskog i ekonomskog tijeka novca. Prema ekonomskom toku projekt postaje isplativ u sedmoj godini, ali zbog investicije novog invertera u osmoj godini apsolutno isplativ postaje u devetoj godini. Na kraju projektnog razdoblja dobit iznosi 7668 €.



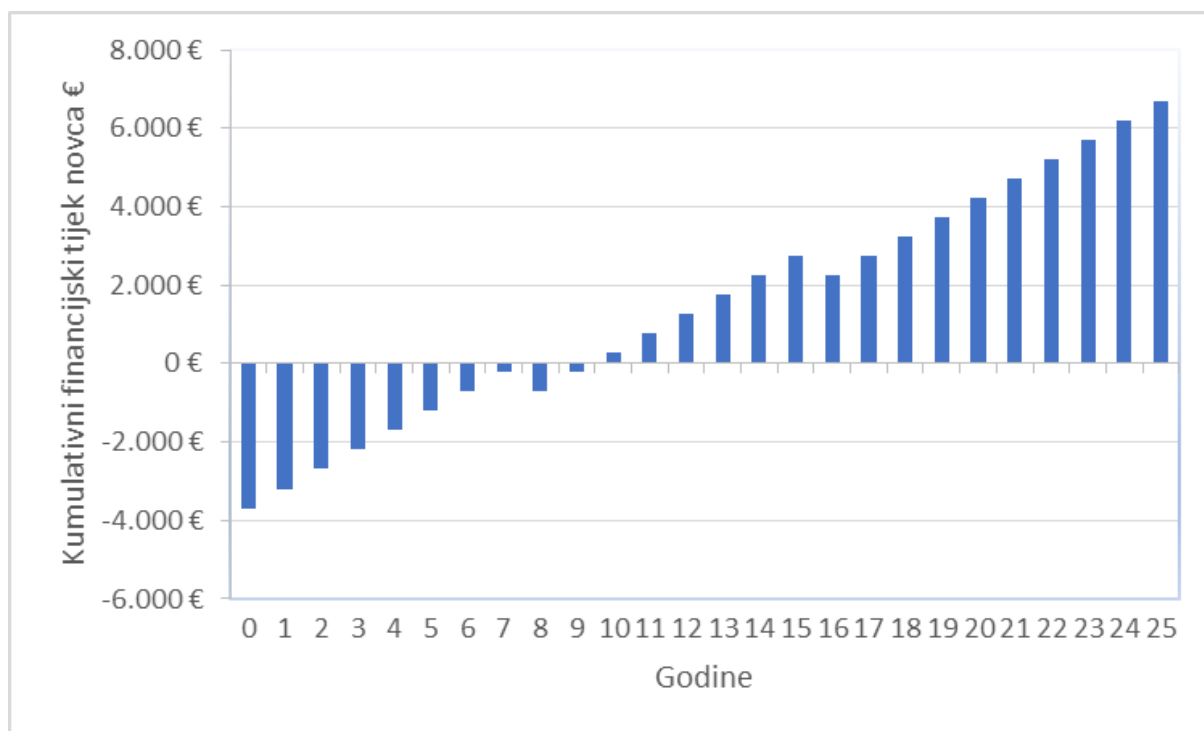
Slika 40. Kretanje cijene CO₂ na tržištu [46]



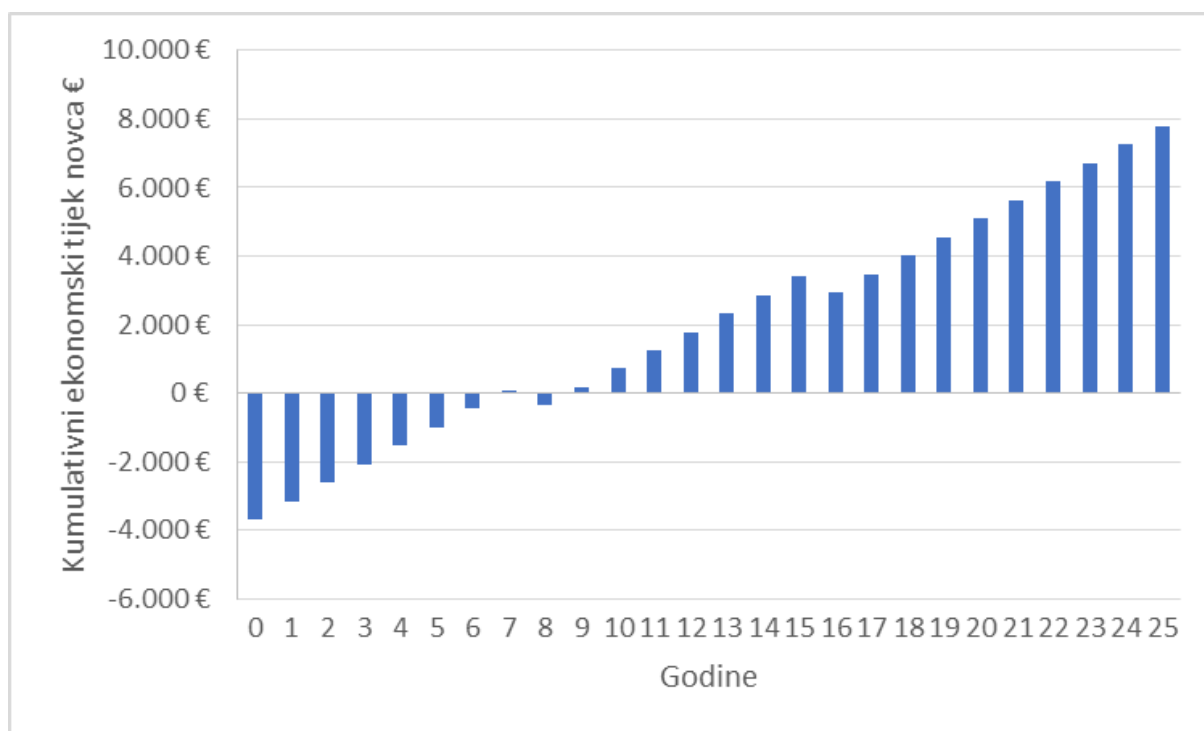
Slika 41. Kumulativni ekonomski tijek novca

8.3.2. Dvotarifni model

Kako je ranije napisano da profiti između jednotarifnog i dvotarifnog modela nisu značajno različiti tako nema razlike niti u financijskom niti u ekonomskom tijeku novca. Projekt postaje isplativ u desetoj godini prema financijskom tijeku, a prema ekonomskom u devetoj što je identično kao u jednotarifnom modelu. Kako je profit na godišnjoj razini nešto veći tako je i ukupni profit veći te za financijski tijek iznosi 6702 € što je povećanje od 105 €. Ekonomski tijek je povećan za 124 € te nakon 25 godina projekta iznosi 7792 €. Neznatno veća isplativost dvotarifnog modela dokazana je i većim NPV-om koji iznosi 2781,8 € te IRR-om kojemu je vrijednost 11,92 %.



Slika 42. Kumulativni financijski tijek novca dvotarifnog modela



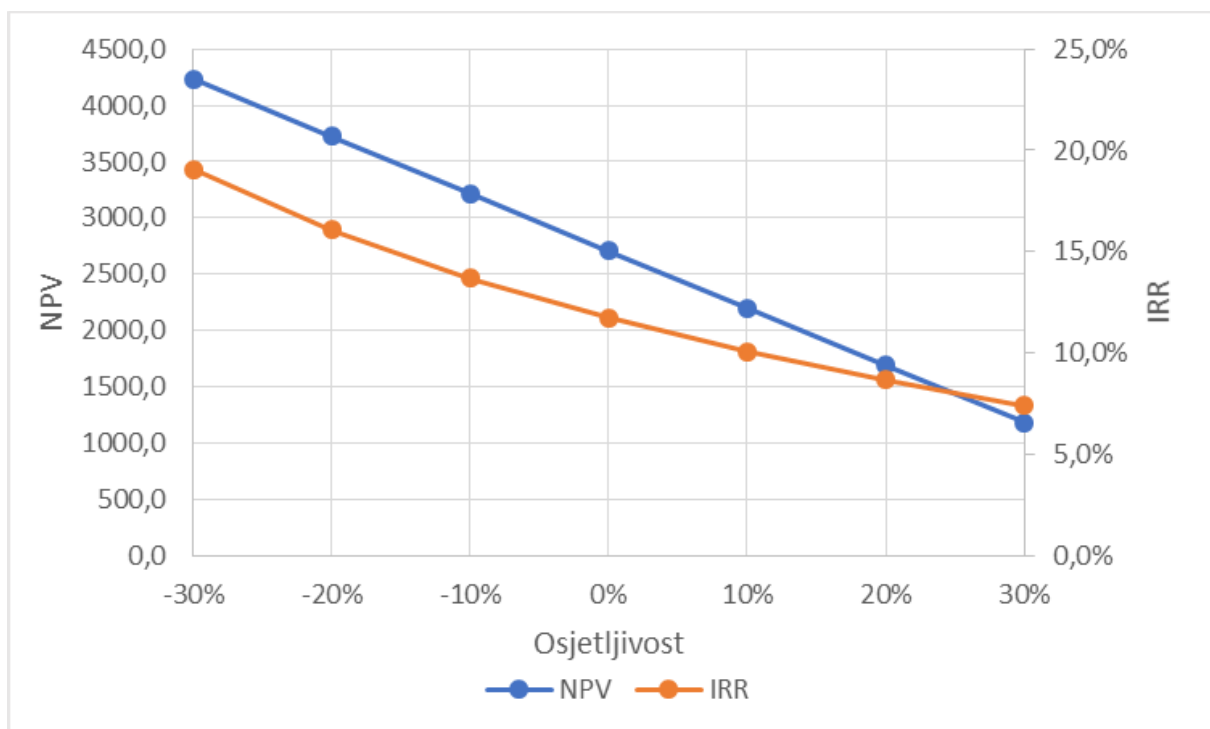
Slika 43. Kumulativni ekonomski tijek novca dvotarifnog modela

9. ANALIZA OSJETLJIVOSTI PROJEKTA

Analiza osjetljivosti projekta provedena je izmjenom troškova investicije i izmjenom cijene električne energije za oba modela. Troškovi investicije mijenjali su se od smanjenja za 30 % do povećanja za 30 % u odnosu na početnu investiciju. Na isti način mijenjala se i cijena električne energije.

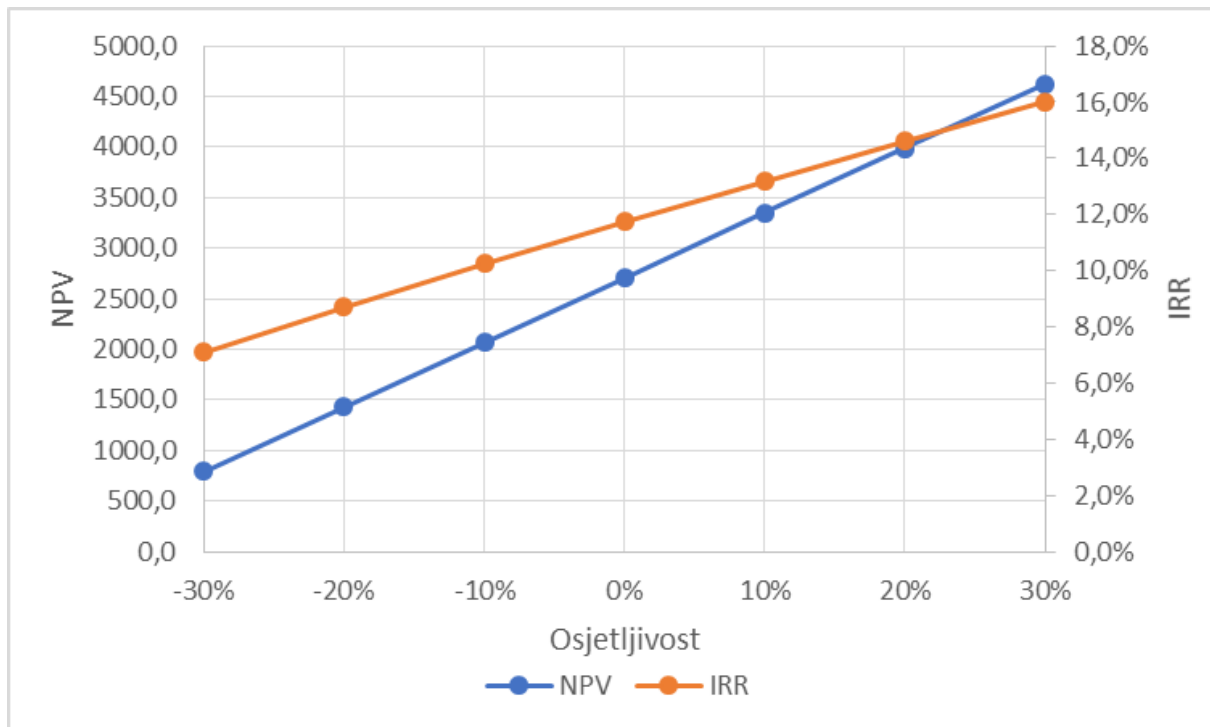
9.1. Jednotarifni model

Slikom 44. pokazuje se utjecaj promjene troškova investicije na NPV i IRR pri jednotarifnom modelu. Najveća isplativost projekta dakako je pri najmanjim troškovima investicije te tada NPV iznosi 4232,1 € dok je IRR 19,1 %. Pokazuje se da je projekt i dalje isplativ i nakon povećanja investicije za 30 % te NPV iznosi 1184,3 €, a IRR svega 7,4 % što je i dalje veće od diskontne stope.



Slika 44. Prikaz osjetljivosti promjenom troškova investicije kod jednotarifnog modela

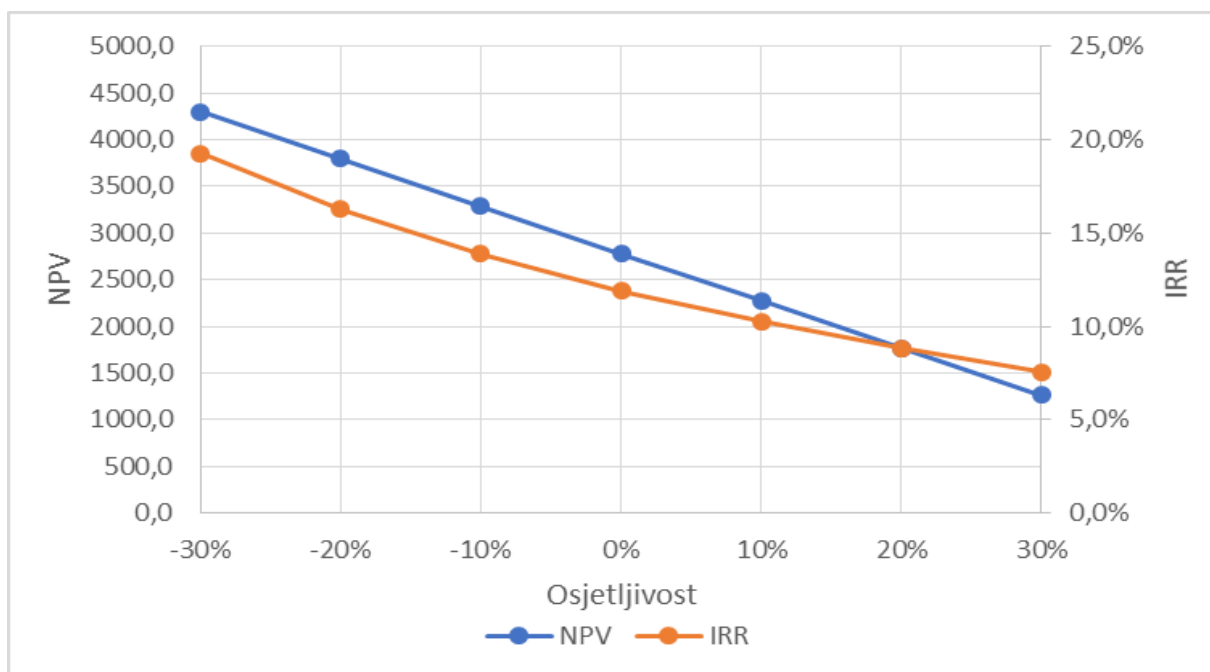
Slika 45. prikazuje promjenu NPV i IRR s obzirom na promjenu cijene električne energije. S porastom cijene električne energije isplativost projekta raste te pri najvećem povećanju cijena NPV iznosi 4623,5 € dok IRR iznosi 16 %. Također je dokazana isplativost projekta i s smanjenjem cijene električne energije jer je NPV pozitivan i iznosi 793,5 €, a IRR je veći od diskontne stope i iznosi 7,1 %. Uočljivo je da promjena cijene električne energije ima veći utjecaj na isplativost projekta od promjene troškova investicije.



Slika 45. Prikaz osjetljivosti promjenom cijene električne energije kod jednotarifnog modela

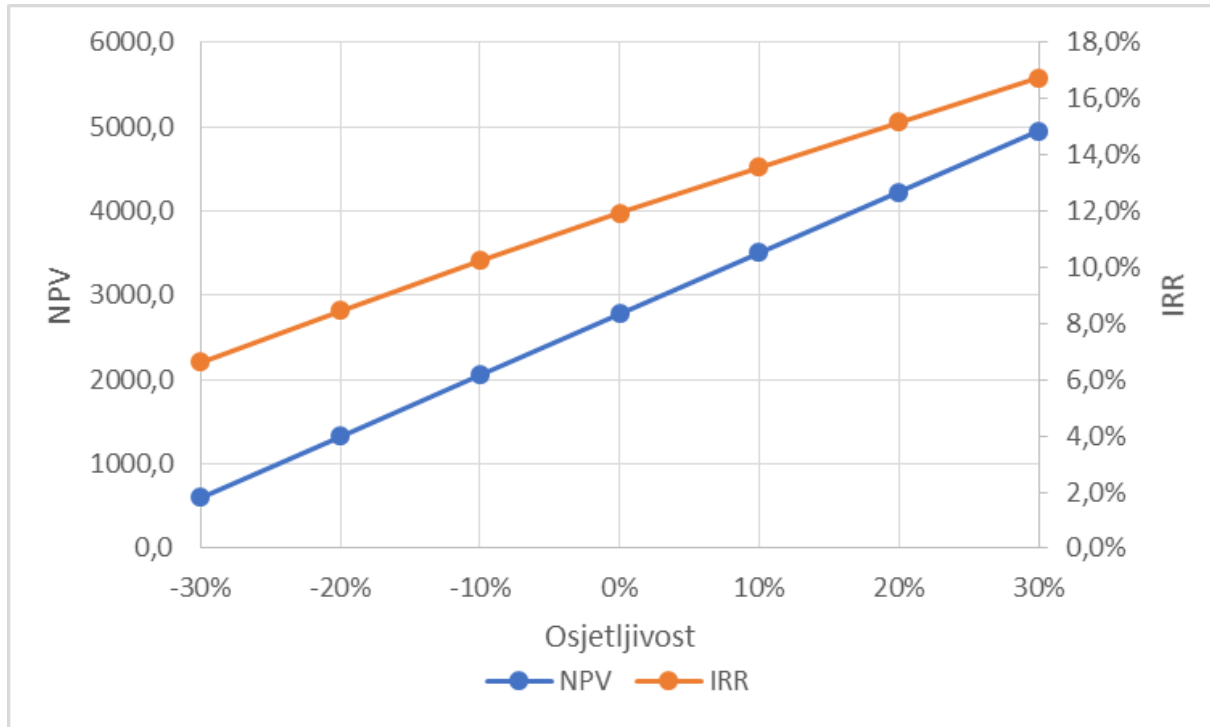
9.2. Dvotarifni model

Kako je ranije prikazano da su financijski i ekonomski tokovi novca veći u dvotarifnom modelu tako su i promjene NPV i IRR veće s promjenom troškova investicije u odnosu na jednotarifni model. Na osnovu toga zaključuje se da je dvotarifni model povoljniji i s obzirom na osjetljivost troškova investicije.



Slika 46. Prikaz osjetljivosti promjenom troškova investicije kod dvotarifnog modela

Usporedbom dvotarifnog i jednotarifnog modela dokazuje se veća osjetljivost dvotarifnog modela na promjenu cijene električne energije. NPV se kreće od maksimalnih 4954,6 € do minimalnih 608,9 €, a IRR od 16,7 % do 6,6 %. Veće su vrijednosti NPV-a i IRR-a, ali veća je i razlika maksimalnih i minimalnih vrijednosti u usporedbi s jednotarifnim modelom.



Slika 47. Prikaz osjetljivosti promjenom cijene električne energije kod dvotarifnog modela

10. ZAKLJUČAK

Europska unija nizom regulativa i planova od kojih je posljednji REPowerEU potiče energetska tranziciju zamjenom fosilnih goriva s obnovljivim izvorima energije u cilju smanjenja utjecaja na okoliš. Da bi se energetska tranzicija provela u potpunosti neizbježan faktor su građani koji svojim ponašanjem i implementacijom obnovljivih izvora energije pospješuju energetska tranziciju. Uz energiju vjetra kao glavni pokretač energetske tranzicije nameće se solarna energija zbog svog neiskorištenog potencijala. Padom cijena fotonaponskih modula, fotonaponski sustavi jedan su od najpovoljnijih načina proizvodnje električne energije. Time postaju dostupni velikom broju građana koji instalacijom solarnih elektrana na kućanstvima potiču održivi razvoj i borbu protiv klimatskih promjena, a uz to značajno smanjuju troškove električne energije. Ostvaruju značajnu osobnu, ali i društvenu korist.

U radu su prikazani rezultati isplativosti ugradnje integriranog fotonaponskog sustava s baterijskom pohranom energije za kućanstvo. Provedenim proračunom utvrđena je isplativost fotonaponskog sustava s optimalnom snagom od 3,35 kW, ali bez baterija jer je utvrđena neisplativost baterijskog sustava pohrane energije. Razlog tomu je sadašnji model naplate s kojim nam elektroenergetska mreža predstavlja veliku bateriju te stoga nema potrebe za primjenom vlastite baterije. Baterijski sustavi mogli bi se primjenjivati uz pomoć električnih automobila. U razdoblju kada se ne bi koristili za transport mogli bi se koristiti kao baterije. Takvom primjenom električni automobili dobili bi dodatnu svrhu kojom bi se omogućile dodatne uštede energije. Ugradnjom fotonaponskog sustava ostvaruje se profit u jednotarifnom modelu u iznosu od 509,7 €, dok u dvotarifnom iznosi 513,9 € čime se zaključuje da je dvotarifni model minimalno isplativiji za promatrano kućanstvo. Posljedično NPV i IRR su minimalno povoljniji kod dvotarifnog modela. Analizom osjetljivosti projekta ustanovljeno je da cijena električne energije i investicijski troškovi nisu kritične varijable pri njihovoj promjeni u intervalu od minus 30 do plus 30 %. U tom rasponu promjene vrijednosti varijabli nema negativnog utjecaja na isplativost, odnosno NPV je uvijek veći od nule, a IRR je uvijek veći od odabrane diskontne stope od 5%.

Investiranje u fotonaponsku elektranu nedvojbeno je učinkovit način promicanja održivog razvoja te sprečavanja klimatskih promjena. Osim toga ugradnjom fotonaponske elektrane postižu se dugoročne financijske uštede.

LITERATURA

- [1] Europska komisija; https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_hr; (zadnji pristup 02.02.2023.)
- [2] Vijeće Europske unije; <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/climate-change/paris-agreement/>; (zadnji pristup 02.02.2023.)
- [3] Our world in dana; https://ourworldindata.org/grapher/annual-co2-emissions-per-country?country=~OWID_WRL; (zadnji pristup 07.02.2023.)
- [4] Europski parlament; <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/hr/sheet/70/energija-iz-obnovljivih-izvora>; (zadnji pristup 08.02.2023.)
- [5] Europska komisija; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52019DC0640&from=EN>; (zadnji pristup 08.02.2023.)
- [6] Europska komisija; https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/hr/IP_22_3131; (zadnji pristup 08.02.2023.)
- [7] OIE Hrvatska; <https://oie.hr/i-energetska-tranzicija-zasto-su-nam-bile-potrebne-feed-in-tarife-i-zasto-prelazimo-na-feed-in-premije/>; (zadnji pristup 15.02.2023.)
- [8] European commission, https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-communities_en; (zadnji pristup 15.02.2023.)
- [9] Zgradonačelnik.hr; <https://www.zgradonacelnik.hr/vijesti/znote-li-koliko-je-uopce-suncanih-elektrana-u-hrvatskoj-i-gdje-ih-je-najvise-saznali-smo/613/>; (zadnji pristup 16.02.2023.)
- [10] Euractiv; <https://euractiv.hr/energetika/a402/uropa-biljezi-rekordni-porast-proizvodnje-elektricne-energije-iz-obnovljivih-izvora.html>; (zadnji pristup 09.02.2023.)
- [11] Ember; [Ember | Clean Energy Policy | Coal to clean energy policy \(ember-climate.org\)](https://ember-climate.org/); (zadnji pristup 07.02.2023.)
- [12] Katalin Bódis, Ioannis Kougias, Arnulf Jäger-Waldau, Nigel Taylor, Sándor Szabó, A high-resolution geospatial assessment of the rooftop solar photovoltaic potential in the European Union, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 114, 2019, ;(zadnji pristup 11.02.2023.)
- [13] Our world in data; <https://ourworldindata.org/grapher/share-elec-by-source?country=~European+Union+%2827%29>; (zadnji pristup 10.02.2023.)
- [14] Our world in data; <https://ourworldindata.org/grapher/modern-renewable-prod?time=2000..latest&country=~European+Union+%2827%29>; (zadnji pristup 10.02.2023.)
- [15] Europska komisija; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0221&from=EN>; (zadnji pristup 16.02.2023.)
- [16] IEA, Annual solar PV capacity additions in Europe, 2019-2022, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/annual-solar-pv-capacity-additions-in-europe-2019-2022>, IEA. Licence: CC BY 4.0; (zadnji pristup 11.02.2023.)
- [17] Our world in data; <https://ourworldindata.org/grapher/installed-solar-pv-capacity?time=2000..latest&country=~Europe>; (zadnji pristup 12.02.2023.)
- [18] Energija u Hrvatskoj; https://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2022/01/Velika_EIHP_Energija_2020.pdf; (zadnji pristup 19.02.2023.)

- [19] Our world in dana; <https://ourworldindata.org/grapher/share-elec-by-source?country=~HRV>; (zadnji pristup 13.02.2023.)
- [20] Zgradonačelnik.hr; <https://www.zgradonacelnik.hr/vijesti/znate-li-koliko-je-uopce-suncanih-elektrana-u-hrvatskoj-i-gdje-ih-je-najvise-saznali-smo/613/>; (zadnji pristup 16.02.2023.)
- [21] ABC geogarafija; <https://abcgeografija.com/teme/insolacija/>; (zadnji pristup 20.02.2023.)
- [22] Zakon.hr; <https://www.zakon.hr/z/827/Zakon-o-obnovljivim-izvorima-energije-i-visokou%C4%8Dinkovitoj-kogeneraciji>; (zadnji pristup 07.02.2023.)
- [23] HROTE; <https://www.hrote.hr/alat-za-usporedbu>; (zadnji pristup 23.02.2023.)
- [24] HEP elektra; <https://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/tarifni-modeli/1577>; (zadnji pristup 23.02.2023.)
- [25] Majdandžić, LJ.: Obnovljivi izvori energije, Graphis Zagreb, 2008. ; (zadnji pristup 14.02.2023.)
- [26] Beny; <https://www.beny.com/hr/on-grid-vs-off-grid-solar-system-all-you-need-to-know/>; (zadnji pristup 14.02.2023.)
- [27] Eko sustav; <https://eko-sustav.hr/strucni-clanci/fotonaponski-sustavi/>; (zadnji pristup 14.02.2023.)
- [28] A. Smets, K. Jäger, O. Isabella, R. van Swaaij, M. Zeman, „Solar energy“, 2015; (zadnji pristup 15.02.2023.)
- [29] Dupont: “What makes up a solar panel”, www.dupont.com; (zadnji pristup 15.02.2023.)
- [30] DS new energy; <https://hr.dsnsolar.com/info/micro-inverter-string-inverter-and-central-in-44719036.html>; (zadnji pristup 22.02.2023.)
- [31] Solarne-elektrane; <https://www.solarne-elektrane.hr/solarne-baterije/>; (zadnji pristup 15.02.2023.)
- [32] Solarna elektrane; <https://solarna-elektrana.hr/#solarne-elektrane>; (zadnji pristup 19.02.2023.)
- [33] INSULAE; <http://insulae-h2020.eu/>; (zadnji pristup 21.02.2023.)
- [34] Our world in data; <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices?yScale=log&time=2000..latest>; (zadnji pristup 18.02.2023.)
- [35] Solarni portal; <https://solarnipaneli.energy/koje-vrste-solarnih-panele-postoje-3-tipa-koje-niste-poznavali/>; (zadnji pristup 10.02.2023.)
- [36] Zgradonačelnik.hr; <https://www.zgradonacelnik.hr/savjeti/na-koje-je-nacine-moguće-instalirati-fotonaponske-panele-na-krovu/514/>; (zadnji pristup 17.02.2023.)
- [37] Wikiwand; https://www.wikiwand.com/hr/Reverzibilne_hidroelektrane; (zadnji pristup 22.02.2023.)

- [38] International Electrotechnical Commission – IEC "Electrical Energy Storage", 2011. ; (zadnji pristup 18.02.2023.)
- [39] Bloess, A.; Schill, W.-P.; Zerrahn, A.; Power-to-heat for renewable energy integration: A review of technologies, modeling approaches, and flexibility potentials, Applied Energy, Volume 212, 2018, Pages 1611-1626, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.073>; (zadnji pristup 18.02.2023.)
- [40] PVGIS tool, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/; (zadnji pristup 20.02.2023.)
- [41] Npro tool, <https://www.npro.energy/main/en/>; (zadnji pristup 19.01.2023.)
- [42] Na sunčanoj strani; <https://nasuncanjojstrani.hr/obracun-struje-solarna-elektrana/>; (zadnji pristup 16.02.2023.)
- [43] Microsoft; <https://support.microsoft.com/hr-hr/office/funkcija-npv-8672cb67-2576-4d07-b67b-ac28acf2a568> (zadnji pristup 23.02.2023.)
- [44] Microsoft; <https://support.microsoft.com/hr-hr/office/irr-opis-funkcije-64925eaa-9988-495b-b290-3ad0c163c1bc>; (zadnji pristup 23.02.2023.)
- [45] HEP; <https://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/zastita-zraka-i-klimatske-promjene/emisije-staklenickih-plinova/158>; (zadnji pristup 23.02.2023.)
- [46] Statista; <https://www.statista.com/statistics/1322214/carbon-prices-european-union-emission-trading-scheme/>; (zadnji pristup 23.02.2023.)

