

Analiza razvoja energetskeg sustava i infrastrukture za punjenje električnih vozila na lokalnoj razini

Vrdoljak, Ivan

Master's thesis / Diplomski 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:235:874716>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Vrdoljak

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Pukšec, dipl. ing.

Student:

Ivan Vrdoljak

Zagreb, 2023.

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

Zahvaljujem se dr. sc. Tomislavu Pukšecu na pruženom povjerenju u pisanje ovog diplomskog rada te asistentu Antunu Pfeiferu na iskazanoj neizmjerne pomoći tijekom pisanja rada. Također zahvaljujem i Ani Kodba, mag. ing. na pruženoj pomoći. Zahvaljujem i svojoj obitelji bez kojih ovaj rad, ali i cijeli studij ne bih uspio dovršiti.

Ivan Vrdoljak



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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivan Vrdoljak**

JMBAG: 0035204943

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza razvoja energetskega sustava i infrastrukture za punjenje električnih vozila na lokalnoj razini**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of the energy system and electric vehicle charging infrastructure development on the local level**

Opis zadatka:

U skladu s Europskim zelenim planom, povezivanje energetskega sustava i sustava elektrificiranog transporta predviđeno je kao jedna od mjera za smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima i smanjenje štetnih emisija. Opskrbu za elektrificirani transport potrebno je osigurati iz izvora koji pri generiranju električne energije i skladištenju iste ne proizvode dodatne štetne emisije. Da bi se to postiglo, nužno je planirati razvoj energetskega sustava na regionalnoj i lokalnoj razini imajući u vidu sve veću potrebu za infrastrukturom za punjenje električnih vozila.

U okviru rada, stoga je potrebno:

1. Dati pregled znanstvenih istraživanja u području razvoja energetskega sustava povezanog s elektrificiranim cestovnim prometom te mjere koje su predviđene u strateškim dokumentima jedinica lokalne i regionalne samouprave Primorsko-goranske županije za poticanje elektrifikacije cestovnog prometa.
2. Analizirati potrebe za energijom na području Primorsko-goranske županije, kao i dostupnu energetskega infrastrukturu, s naglaskom na razdoblje turističke sezone.
3. Izraditi kartu infrastrukture i potencijalnih lokacija za nove instalacije proizvodnih kapaciteta i punionica u geografskom informacijskom sustavu (GIS).
4. Razviti scenarije razvoja lokalnog energetskega sustava i sustava punionica za električna vozila obnovljivom energijom do 2030. i 2050. godine koristeći alat za energetskega planiranje EnergyPLAN.
5. Napraviti tehno-ekonomsku analizu isplativosti investicija u punionice na temelju brojača prometa i AaCTA alata za optimizaciju lokacija za punionice električnih vozila.

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

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

19. siječnja 2023.

23. ožujka 2023.

27.- 31. ožujka 2023.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Doc.dr.sc. Tomislav Pukšec

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD	1
2. POLITIČKE STRATEGIJE ENERGETSKOG RAZVOJA EUROPE I HRVATSKE S NAGLASKOM NA ELEKTRIČNA VOZILA.....	3
2.1. Energetske strategije Europske unije i pojedinih europskih zemalja.....	4
2.2. Energetske strategije Republike Hrvatske	5
2.2.1. Energetski razvoj Primorsko-goranske županije.....	5
3. ELEKTRIČNI AUTOMOBILI I PUNJAČI	8
3.1. Tehnološki pregled BEV i PHEV vozila	9
3.2. Tehnološki pregled punjača za električne automobile.....	11
3.3. Infrastruktura za električne punionice.....	15
4. ODREĐIVANJE POSTOJEĆIH I POTENCIJALNIH LOKACIJA PUNIONICA U PRIMORSKO-GORANSKOJ ŽUPANIJI.....	18
4.1. Postojeće punionice u Primorsko-goranskoj županiji.....	18
4.2. Potencijalne lokacije punionica za električna vozila u Primorsko- goranskoj županiji	25
5. MODELIRANJE ENERGETSKOG SUSTAVA PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE U SKLADU RASTA BROJA ELEKTRIČNIH VOZILA.....	31
5.1. Podaci o broju vozila u Primorsko-goranskoj županiji.....	31
5.1.1. Matematički model potrošnje energije u jednom mjesecu.....	33
5.2. Modeliranje u EnergyPLAN-u.....	35
5.2.1. Modeliranje trenutne potrošnje energije u EnergyPLAN-u.....	37
5.2.2. Modeliranje trenutne proizvodnje energije u EnergyPLAN-u.....	42
5.2.3. Modeliranje scenarija potrošnje i proizvodnje energije u PGŽ	43
5.2.4. Tehno-ekonomska analiza izgradnje punionica za električna vozila.....	49
6. MODELIRANJE ENERGETSKOG SUSTAVA I OPTIMALNOG RASPOREDA PUNIONICA ZA ELEKTRIČNA VOZILA.....	51
6.1. Trenutno stanje potrošnje i proizvodnje energije u Primorsko-goranskoj županiji ...	51
6.1.1. Izrada satnih distribucija potrošnje	57
6.1.2. Izrada satnih distribucija proizvodnje	60
6.2. Analiza scenarija elektrifikacije.....	65
7. EKONOMSKA ANALIZA IZGRADNJE PUNIONICA.....	80
8. ZAKLJUČAK	87
LITERATURA.....	88

POPIS SLIKA

Slika 1.	Emisije stakleničnih plinova po sektoru gospodarstva.....	1
Slika 2.	Vrste električnih vozila.	8
Slika 3.	Sastav tipične baterije u električnom vozilu.....	9
Slika 4.	Shema serijskog PHEV vozila.	10
Slika 5.	Shema paralelnog PHEV vozila.	11
Slika 6.	Shema punjača za električna vozila.....	12
Slika 7.	Priključak <i>Type 2</i>	14
Slika 8.	Priključak <i>CCS Combo 2</i>	14
Slika 9.	Priključak <i>CHAdeMO</i>	15
Slika 10.	<i>QuickOSM</i> u QGIS-u.....	18
Slika 11.	<i>OpenStreetMap</i> u QGIS-u.	19
Slika 12.	Postojeće punionice na području PGŽ.	20
Slika 13.	Lokacije potencijalnih punionica na području PGŽ.....	26
Slika 14.	Potrošnja, proizvodnja i skladištenje energije u EnergyPLAN-u.....	36
Slika 15.	Troškovi i rezultati u EnergyPLAN-u.	37
Slika 16.	Distribucija korištena za potrošnju toplinske energije u svrhe PTV.	40
Slika 17.	Broj turističkih automobila prisutnih u jednom danu po mjesecu u PGŽ.	52
Slika 18.	Potrošnja električne energije za promet po mjesecu u 2022. u PGŽ.....	53
Slika 19.	Istalirana snaga baterija u kućanstvima.	56
Slika 20.	Kapacitet pohrane energije u baterijama u kućanstvima.....	56
Slika 21.	Potrošnja električne energije po satu.	57
Slika 22.	Prosječna temperatura u PGŽ.	58
Slika 23.	Satno toplinsko opterećenje individualnog grijanja.	58
Slika 24.	Satno toplinsko opterećenje daljinskog centralnog grijanja.	59
Slika 25.	Satna potrošnja električne energije od strane električnih vozila u PGŽ u 2022....	59
Slika 26.	Kvalitativna krivulja <i>smart</i> punjenja.	60
Slika 27.	Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz vjetra; Tuhobić.	61
Slika 28.	Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz vjetra; Peškovo.	62
Slika 29.	Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz vjetra; Ruševo Kromptsko.	62
Slika 30.	Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz vjetra; Poljička Kosa.	63
Slika 31.	Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz sunca.....	63
Slika 32.	Kvalitativna krivulja satne izolacije.	64
Slika 33.	Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz akumulacijskih hidroelektrana.	64
Slika 34.	Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz protočnih hidroelektrana.	65
Slika 35.	Potrošnja električne energije izvan svrha prometa i grijanja.	65
Slika 36.	Potrošnja električne energije u svrhe prometa.	66
Slika 37.	Potrošnja električne energije u prometu; S0.....	67
Slika 38.	Potrošnja električne energije u prometu; S2.....	67
Slika 39.	Potrošnja električne energije u prometu; S1.....	67
Slika 40.	Toplinsko opterećenje kućanstava i komercijalnih objekata; S0.	68
Slika 41.	Toplinsko opterećenje kućanstava i komercijalnih objekata; S1.	69
Slika 42.	Toplinsko opterećenje kućanstava i komercijalnih objekata; S2.	69
Slika 43.	Postojeće i preporučene lokacije punionica u Gorskom kotaru u 2040. (S0).	72
Slika 44.	Postojeće i preporučene lokacije punionica u istarskom dijelu PGŽ u 2030.	72
Slika 45.	Postojeće i preporučene lokacije punionica u Rijeci i okolici.....	73

Slika 46.	Postojeće i preporučene lokacije punionica u Hrvatskom primorju u 2030.....	73
Slika 47.	Postojeće i preporučene lokacije punionica na Krku u 2030. i u 2040. (S0).	74
Slika 48.	Postojeće i preporučene lokacije punionica na Cresu u 2030. za S0 i S2.	75
Slika 49.	Postojeće i preporučene lokacije punionica na Lošinju u 2030. i u 2040. (S0). ...	75
Slika 50.	Postojeće i preporučene lokacije punionica na Lošinju u 2030. (S0).	76
Slika 51.	Instalirana snaga krovnih solarnih panela	76
Slika 52.	Emisije CO ₂ kroz godine po scenarijima.	78
Slika 53.	Proizvodnja električne energije iz OIE.	79
Slika 54.	Ukupna potrošnja goriva.	79
Slika 55.	Električna energija isporučena turističkim vozilima.	80
Slika 56.	NPV u ovisnosti o razlici cijena kupovne i prodajne električne energije.	81
Slika 57.	IRR u ovisnosti o razlici cijena kupovne i prodajne električne energije.	81
Slika 58.	Ekonomski tok novca za razliku kupovne i prodajne cijene 0,31 €/kWh.	82
Slika 59.	Financijski tok novca za razliku kupovne i prodajne cijene 0,31 €/kWh.....	83
Slika 60.	Neto sadašnja vrijednost za razliku cijena 0,77 €/kWh.....	84
Slika 61.	Ekonomski tok novca za razliku kupovne i prodajne cijene 0,77 €/kWh.	85
Slika 62.	Financijski tok novca za razliku kupovne i prodajne cijene 0,77 €/kWh.....	86

POPIS TABLICA

Tablica 1. Projekcije broja električnih vozila u EU.	5
Tablica 2. Projekcije broja domaćih električnih vozila u PGŽ.	6
Tablica 3. Vrste punjača za električna vozila.	12
Tablica 4. Podjela punjača prema snazi.	13
Tablica 5. Potrebna energija za električna vozila na razini EU.	16
Tablica 6. ELEN punionice u PGŽ.	20
Tablica 7. Petrol punionice u PGŽ.	21
Tablica 8. HT punionice u PGŽ.	21
Tablica 9. Tesla punionice u PGŽ.	22
Tablica 10. Ostale punionice u PGŽ.	22
Tablica 11. Potencijalne lokacije za punionice u PGŽ.	26
Tablica 12. Trenutni broj električnih vozila u PGŽ.	32
Tablica 13. Implementacija <i>smart</i> i V2G punjenja.	41
Tablica 14. Udio električnih vozila u Hrvatskoj tijekom godina.	43
Tablica 15. Udio električnih vozila u EU tijekom godina.	43
Tablica 16. Postotak grijanja pokriven električnom energijom.	46
Tablica 17. Udio površine krovova pokrivenih solarnim panelima u PGŽ.	46
Tablica 18. Instalirana snaga solarnih panela po stanovniku.	47
Tablica 19. Udio goriva u daljinskom grijanju.	47
Tablica 20. Udio kućanstava s baterijom za skladištenje energije.	48
Tablica 21. Vodik u industriji kroz godine i scenarije.	49
Tablica 22. Biomasa i električna energija u industriji kroz godine i scenarije.	49
Tablica 23. Potrošnja različitih oblika energije u svrhe grijanja.	51
Tablica 24. Potrošnja različitih oblika energije u industrijske svrhe.	52
Tablica 25. Postrojenja koja proizvode električnu energiju u PGŽ.	54
Tablica 26. Emisije CO ₂ po vrsti goriva.	54
Tablica 27. Specifični investicijski troškovi postrojenja.	55
Tablica 28. Specifične cijene goriva.	55
Tablica 29. Broj turističkih električnih automobila u 1 danu u kolovozu.	70
Tablica 30. Iznosi investicija po godinama i scenarijima.	80

SAŽETAK

Kako zabrinutost za okoliš i globalno zatopljenje rastu, električna vozila postaju sve češća pojava. Za razliku od tradicionalnih, benzinom ili dizelom pokretanih vozila, pokretana su električnim motorom, a električnu energiju dobivaju iz baterija ili gorivih ćelija. Glavna je prednost i motivacija pri razvoju električnih vozila smanjenje emisija. Osim navedenoga, ovakva vrsta vozila koristi jeftinije gorivo i ima manje pokretnih dijelova što doprinosi dugotrajnosti.

No, kako bi se električna vozila počela naširoko koristiti, potrebna je velika infrastruktura. To uključuje stanice za punjenje gdje im se nadopunjavaju baterije, ali i elektroenergetsku mrežu potrebnu u skladu s povećanjem potražnje za električnom energijom. U izgradnju su diljem svijeta uključene i države i privatne tvrtke s ciljem poticanja ljudi da prijeđu na električna vozila. Još uvijek postoje neki izazovi poput velikih inicijalnih troškova proizvodnje te potrebe za jeftinijim i efikasnijim baterijama.

Ključne riječi: električna vozila, stanica za punjenje, infrastruktura za električna vozila

SUMMARY

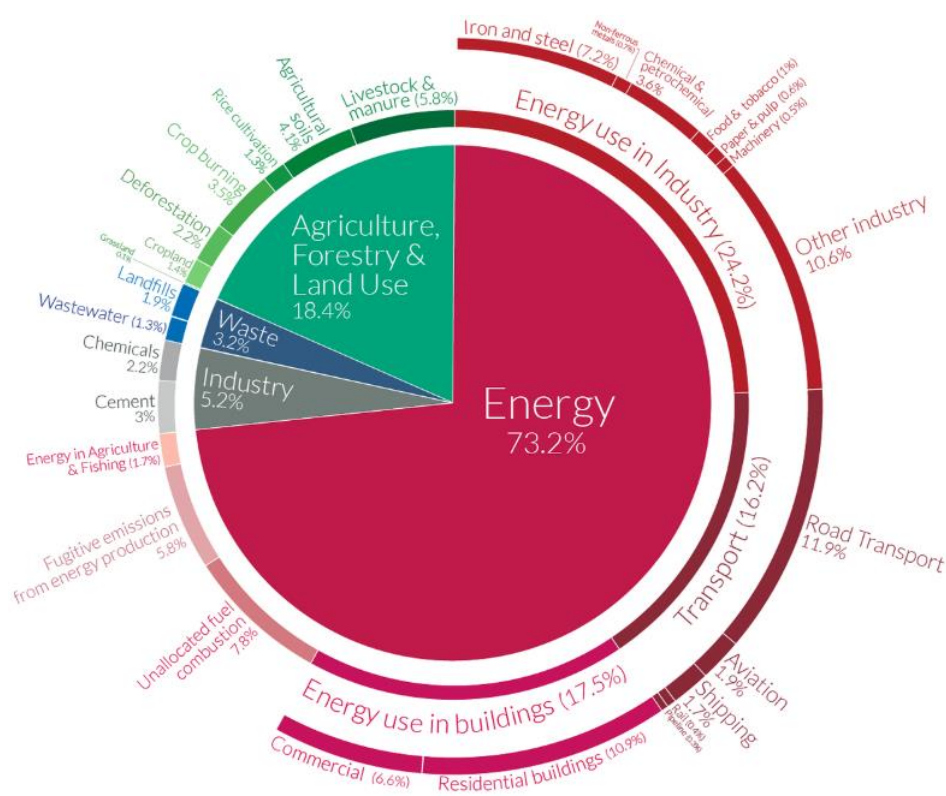
Electric vehicles (EVs) are becoming an increasingly popular choice for transportation as concerns about the environment and climate change continue to grow. Unlike traditional gasoline or diesel-powered vehicles, EVs are powered by electric motors and use electricity from batteries or fuel cells to run. One major advantage of EVs and the main reason for producing them are their reduced emissions. In addition to the benefits for the environment, EVs run on fuel that costs less and have fewer moving parts which is reflected in their longevity.

To support the widespread adoption of EVs, a robust electric vehicle infrastructure is needed. This includes charging stations where EV owners can recharge their vehicles, as well as the electricity grid infrastructure necessary to support the increased demand for electricity. Both governments and private companies are working to build out this infrastructure and make it more convenient for people to switch to EVs. However, there are still challenges to overcome, such as the high upfront cost of EVs and the need for more affordable and efficient batteries.

Key words: electric vehicles, charging station, electric vehicle infrastructure

1. UVOD

Sektor transporta jedan je od glavnih emitira stakleničkih plinova, a posebnu ulogu u tome igra cestovni promet koji sam ispušta nešto više od devetine stakleničkih plinova u atmosferu, slika 1. [1].



Slika 1. Emisije stakleničkih plinova po sektoru gospodarstva.

Na svu sreću, tehnologije vezane uz rješavanje tih problema napreduju brzo te je već danas moguće voziti osobni automobil nulte emisije za jednaku cijenu kao i automobil s motorom s unutarnjim izgaranjem. Naravno, za potonje postoji razvijena infrastruktura svugdje u svijetu. Električni automobili još su relativno nova pojava u svijetu. Kako je njihov udio u tržištu nizak, ni punionice nemaju gustu mrežu kao tradicionalne benzinske postaje. No, taj udio raste velikom brzinom, posebice u razvijenim zemljama pa je tako u Europskoj uniji 2021. 17.8 % novoregistriranih auta bilo električno [2].

Treba imati na umu da je, ukoliko se žele postići puni efekti elektrifikacije prometa, potrebno djelovati i na energetske sektor – električna energija negdje treba biti proizvedena. Naravno, i bez obzira na način na koji se električna energija proizvodi, električna vozila sveukupno emitiraju manje štetnih plinova

od vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem. Prosječna emisija nekog područja ne smije prelaziti 1.000 gCO₂e/kWh (što odgovara starijim elektranama na ugljen, dakle najgoroj mogućoj opciji) kako bi električna vozila sa sigurnošću bila povoljnija po okoliš. 2015. je globalni prosjek emisija energetskeg sektora iznosio 740 gCO₂e/kWh.

Ovaj rad fokusirat će se prvenstveno na Primorsko-goransku županiju (PGŽ) te na moguća rješenja koja bi trebalo implementirati prilikom neizbježnog rasta broja električnih vozila. PGŽ primorska je županija koju bi se geografski, ali i demografski moglo podijeliti u 3 dijela: planinski i slabo naseljeni Gorski kotar u unutrašnjosti, otoke, od kojih su najznačajniji Krk, Cres, Rab i Lošinj te priobalni dio u kojem živi većina stanovnika u gradovima poput Novog Vinodolskog, Crikvenice, Opatije i trećeg najvećeg hrvatskog grada Rijeke. Kako je PGŽ naša 4. najmnogoljudnija županija ^[4], a i kao svaka druga priobalna i planinska izrazito turistička, povećanje broja električnih vozila zasigurno će utjecati na povezanu infrastrukturu. U ovom će se radu pregledati infrastruktura trafostanica, mapirati postojeće punionice za električna vozila, ali i odrediti potencijalne lokacije za nove te sukladno postojećim političkim strategijama razvoja procijeniti rast broja električnih vozila i proporcionalno tomu rast potrošnje električne energije.

2. POLITIČKE STRATEGIJE ENERGETSKOG RAZVOJA EUROPE I HRVATSKE S NAGLASKOM NA ELEKTRIČNA VOZILA

Kao što je već i naglašeno, elektrifikacija prometa jedna je od glavnih točaka svake strategije vezane uz smanjenje zagađenja okoliša. Većina razvijenijih zemalja svijeta, uključujući i Hrvatsku, ali i Europsku uniju kao zajednicu, ima u većoj ili manjoj mjeri definirane dugoročne energetske planove koji gledaju nekoliko desetljeća u budućnost. Teme takvih planova redovito su energetska neovisnost o drugim državama, energetska efikasnost, prelazak na obnovljive izvore energije (OIE), smanjenje korištenja fosilnih goriva i sl.

Dakako, često su ciljevi navedeni u takvim dokumentima samo smjernice, a ne obveze, posebice ako se radi o državi koja nije član neke veće, nadnacionalne zajednice. Tako npr. EU može postaviti uvjete pojedinim članicama, dok države poput Ujedinjenog Kraljevstva, Sjedinjenih Američkih Država i Kine neće osjetiti direktne posljedice i ako se ne pridržavaju svojih samozadanih ciljeva.

Neki od važnijih službenih dokumenata ovog karaktera su “*UREDBA (EU) 2018/1999 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 11. prosinca 2018. o upravljanju energetskom unijom i djelovanjem u području klime*” Europske unije ^[5], “*THE LONG-TERM STRATEGY OF THE UNITED STATES - Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050*” SAD-a ^[6], “*Germany’s Energy Efficiency Strategy 2050*” Njemačke ^[7], “*Net Zero Strategy: Build Back Greener*” UK-a ^[8] te hrvatska “*Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu*” ^[9].

Značajniji hrvatski znanstveni radovi koji se bave integracijom električnih vozila su “*Long-term energy planning of Croatian power system using multi-objective optimization with focus on renewable energy and integration of electric vehicles*” ^[10] koji govori o stabilizaciji energetskog sustava prilikom povećanja broja električnih vozila, “*The integration of renewable energy sources and electric vehicles into the power system of the Dubrovnik region*” ^[11] koji se bavi problemom skladištenja električne energije u Dubrovniku s fokusom na *smart* punjenje i *vehicle-to-grid* tehnologiju te “*Building smart energy systems on Croatian Islands by increasing integration of renewable energy sources and electric vehicles*” ^[12] koji govori o obnovljivim izvorima energije, skladištenju energije i električnim vozilima na hrvatskim otocima.

2.1. Energetske strategije Europske unije i pojedinih europskih zemalja

Ranije spomenutim dokumentom uređuje se energetska vizija EU do 2030., ali i iza u skladu s Pariškim sporazumom o promjeni klime iz 2015 ^[13].

Energetskom unijom trebalo bi biti obuhvaćeno pet dimenzija: energetska sigurnost, unutarnje energetske tržište, energetska učinkovitost, dekarbonizacija te istraživanje, inovacije i konkurentnost. Pariški sporazum zahtjeva da se prosječna globalna temperatura drži znatno ispod 2 °C iznad prosjeka predindustrijskog razdoblja, ali i da se uloženi napor u to da se prosjek ne povisi ni za 1.5 °C.

Konkretni, kvantitativno definirani ciljevi, konstantno se mijenjaju. Tako npr. "*DIREKTIVA (EU) 2018/2001 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 11. prosinca 2018. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora*" ^[14] govori o udjelu dobivene energije iz OIE od 32% do 2030., dok najnoviji *REPowerEU* plan iz 2022., nakon ruske invazije na Ukrajinu, govori o udjelu od čak 45% ^[15].

Što se elektrifikacije prometnog sektora tiče, definirana su 2 scenarija, scenarij koji stavlja minimalne zahtjeve na proizvođače automobila (scenarij S0) i Road2Charge scenarij (scenarij S1) ^[16] koji je u skladu s ugljičnom neutralnošću do 2050. Scenarij S0 pretpostavlja 34 milijuna, a scenarij S1 45 milijuna BEV i PHEV automobila do 2030., što uz ukupan broj vozila u EU ^[17] i pretpostavljen jednak rast ukupnog broja vozila, daje postotke od 11.79% električnih vozila u S0 te 15.60% u S1.

Za 2050. god manje optimističan scenarij S0 pretpostavlja 69% električnih vozila, a za ispunjenje S1, 100% bi vozila trebalo biti električno. Treba naglasiti da ne treba emisija ugljika biti 0 kako bi se postigla ugljična neutralnost jer postoje tehnologije izdvajanja i spremanja ugljikova dioksida iz atmosfere, no budući da je transport jedan od tehnološki manje zahtjevnih sektora za potpunu elektrifikaciju, a posebice kada je riječ o osobnim automobilima koji su relevantni za turističke dolaske u PGŽ, može se pretpostaviti 100% električnih osobnih automobila 2050. u najboljem mogućem scenariju ^[18].

Omjer BEV i PHEV vozila također je bitan. Prema ^[16] 2030. u oba će scenarija taj omjer biti 70/30 u korist BEV vozila. Za 2050. godinu u slučaju S1, pretpostavit će se 100% BEV vozila, a budući da nema dostupnih podataka o projekcijama za scenarije slične S0, za 2050. će u tom slučaju biti uzet omjer 85/15 u korist BEV vozila. Budući da za Hrvatsku postoje definirana 3 scenarija (iduće potpoglavlje), i za EU će se dodati 3. scenarij S2 koji će po razini elektrifikacije biti između S0 i S1. Sve je prikazano u tablici 1.

Kako su svih 5 država s najvećim brojem turista u Hrvatskoj (i 8 od 10) upravo članice EU, uzet će se, jednostavnosti radi, u obzir prosjek EU u pogledu elektrifikacije prometnog sektora.

Tablica 1. Projekcije broja električnih vozila u EU.

Broj EV u EU	2022.		2030.		2050.	
	BEV	PHEV	BEV	PHEV	BEV	PHEV
S0	1.375.000	1.375.000	23.800.000	10.200.000	204.372.693	36.065.769
S1	1.375.000	1.375.000	31.500.000	13.500.000	348.461.539	0
S2	1.375.000	1.375.000	27.650.000	11.850.000	272.366.250	22.083.750

2.2. Energetske strategije Republike Hrvatske

Sukladno dokumentu „*Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu*“, razmatrana su 3 scenarija, označena S0, S1 i S2 ^[9].

Scenarij S0 (Scenarij razvoja uz primjenu postojećih mjera) označava kontinuitet sadašnje politike primjene postojećih mjera u promjenama energetskog sektora. U pogledu električnih vozila, ovaj scenarij pretpostavlja povećanje njihova udjela na 2.5% do 2030., odnosno na 30% do 2050.

Scenarij S1 (Scenarij ubrzane energetske tranzicije) teži dostizanju ciljeva Pariškog sporazuma koja se oslikava u globalnoj raspoloživosti potrebnih tehnologija. Na svim razinama proizvodnje, prijenosa/transporta, distribucije i potrošnje energije očekuje se poboljšanje energetske učinkovitosti. Predviđa povećanje udjela električnih vozila na 4.5% do 2030. i 85% do 2050.

Scenarij S2 (Scenarij umjerene energetske tranzicije) ima niže ciljeve od S1 - niža stopa rasta potrošnje električne energije, neznatno manji portfelj novoizgrađenih vjetroelektrana, sunčanih i plinskih elektrana, ali i sporije promjene u sektoru prometa i sporijom tranzicijom u gospodarstvu. 2030, udio električnih vozila trebao bi biti 3.5%, 2050. 65%.

2.2.1. Energetski razvoj Primorsko-goranske županije

Javna ustanova „*Regionalna razvojna agencija Primorsko-goranske županije*“ izdala je 2021. godine dokumente naziva „*Analiza stanja plana razvoja Primorsko-goranske županije 2021. godine*“ ^[19] i „*Plan razvoja Primorsko-goranske županije za razdoblje 2022.-2027. godine*“ ^[20]. U dokumentima se opisuje trenutno stanje, ali i mogućnosti razvoja raznih grana gospodarstva, školstva, infarstrukture i energetike.

Dokument procjenjuje da će se do 2050. ukupna potrošnja energije smanjivati. Područjem Primorsko-goranske županije prolazi magistralni plinovod Pula – Karlovac, a toplinarstvom upravlja tvrtka Energo d.o.o. sa svojih 11 toplana i 4 kotlovnice ^[21].

Tehnički potencijal energije iz vjetra procijenjen je na 342 MW, no nema nijedne vjetroelektrane što će se svakako uzeti u obzir u kasnijem dijelu ovoga rada. Za izgradnju vjetroelektrana predloženo je 5 lokacija: Tuhobić, Peškovo, Pliš, Ruševo Krumpotsko i Poljička Kosa. Zbog raznolikosti reljefa, ne preporuča se gradnja većih solarnih elektrana od 10 MW, a za njih je predloženo 6 lokacija: Barbičin na Otoku Krku, Orlec-Trinket-Zapad, Orlec-Trinket-Istok i Ustrine na otoku Cresu, Gusta Draga, Grad Novi Vinodolski i Belinovica na otoku Rabu.

Ciljevi su uglavnom definirani opisno, a ne kvantitativno pa će se u nastavku rada većina proračuna temeljiti na strategijama na razini Hrvatske uz uzimanje u obzir spomenute trenutne situacije i potencijala u PGŽ.

Tablica 2. prikazuje rast broja električnih vozila u PGŽ i to svih vrsta jer su domaća vozila koja nisu osobni automobili znatno relevantnija za potrošnju električne energije. S obzirom da ^[9] ne radi razliku, pretpostavljen je jednak rast broja električnih vozila svake vrste što možda u stvarnosti neće biti slučaj jer se može očekivati da će osobni automobili biti ti koji će u najvećoj mjeri podlijegati elektrifikaciji. Rast ukupnog broja vozila procijenjen je iz dosadašnjeg rasta po godinama, a omjer BEV i PHEV automobila u 2050. (90/10 BEV u S1, 80/20 u S0 i 85/15 u S2) pretpostavljen je kao malo niži od onog u EU jer i najzahtjevniji scenarij, S1, u Hrvatskoj ne obećava 100% električnih vozila pa je besmisleno pretpostaviti da na cestama neće biti PHEV automobila ako će još uvijek biti i 15% automobila s MUI ^[22].

Tablica 2. Projekcije broja domaćih električnih vozila u PGŽ.

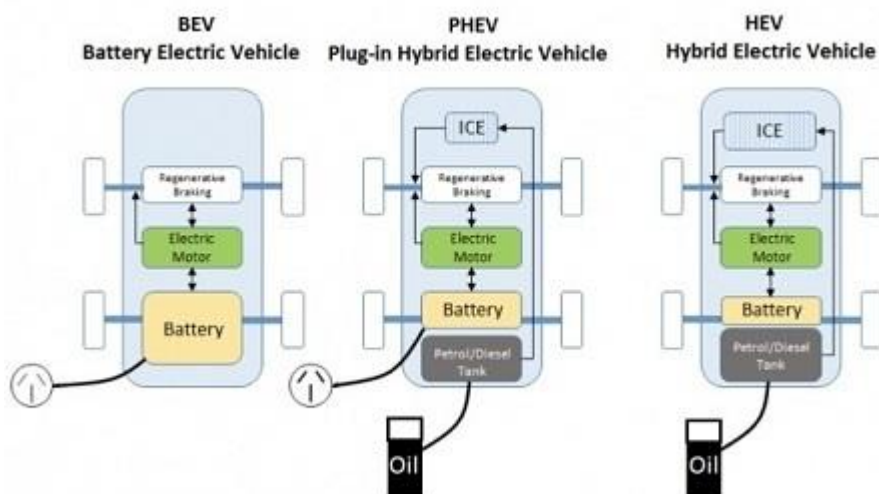
broj EV u PGŽ		danas	2030.	2050.
BEV automobili	S0	279	2.917	40.007
	S1	279	5.251	173.422
	S2	279	4.084	125.250
PHEV automobili	S0	107	1.250	10.002
	S1	107	2.250	19.269
	S2	107	1.750	22.103
kombiji	S0	32	465	5.577
	S1	32	837	24.302
	S2	32	651	18.584

kamioni	S0	0	84	1.602
	S1	0	150	4.540
	S2	0	117	3.472
autobusi	S0	0	9	105
	S1	0	16	298
	S2	0	12	228

Osim električnih vozila, na potrošnju električne energije utjecat će najviše promjena u načinu grijanja, odnosno porast broja dizalica topline. Prema ^[23] do 2050. će u najboljem slučaju, S1, 24% potrošnje energije za hlađenje i grijanje prostorija u Hrvatskoj biti u obliku električne energije. Manje ambiciozan scenarij, S0, nije strogo definiran za Hrvatsku, ali na razini EU je pretpostavka da će to iznositi 14% pa će tako biti pretpostavljeno i za Hrvatsku, a za S2 uzet će se srednja vrijednost od 19%. Također je naglašeno kako će ukupna potrošnja energije za grijanje i hlađenje prostora pasti pa je moguće da i potrošnja same električne energije u te svrhe bude manja iako je udio dakako veći. Trendovi ukupne potrošnje energije za grijanje modelirat će se uz pomoć najboljih dostupnih podataka i treba imati na umu da su to samo projekcije ^[24] ^[25].

3. ELEKTRIČNI AUTOMOBILI I PUNJAČI

Kada je riječ o električnim automobilima, najčešće se govori o 3 osnovne vrste: potpuno električni automobili (*battery electric vehicle- BEV*), *plug-in* hibridni automobili (*plug-in hybrid electric vehicle- PHEV*) i hibridni automobili (*hybrid electric vehicle- HEV*). Na Slici 2. prikazane su 3 vrste, navedenim redosljedom. Potpuno električni automobili nemaju motor s unutarnjim izgaranjem (MUI) i moguće im je baterije puniti vanjskim punionicama. Obje vrste hibridnih automobila, kao što im ime i nalaže, sadržavaju i MUI i elektromotor. Razlika je u tome što se tzv. *plug-in* automobili mogu puniti vanjskim punionicama, a klasični hibridi koriste isključivo tehnologije poput regenerativnog kočenja ili im se baterije pune motorom s unutarnjim izgaranjem preko električnog generatora.

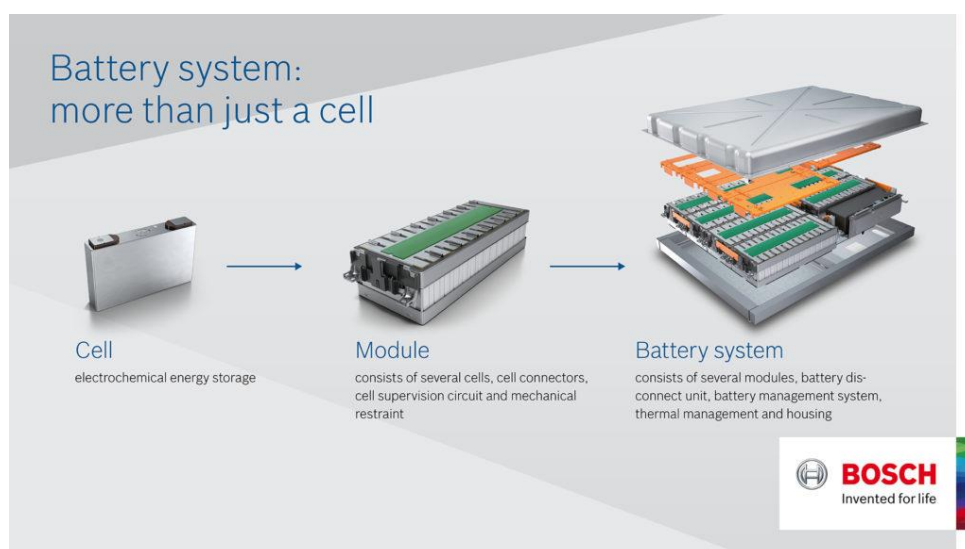


Slika 2. Vrste električnih vozila.

Samim time, kada je riječ o strateškom postavljanju punjača, u obzir se uzima samo broj automobila pogodnih za punjenje, a ne ukupan broj električnih automobila. Prema ^[26] 1.1% automobila, 0.4% kombiniranih vozila (*kombija*), 0.2% kamiona te 1% autobusa u EU bilo je ili BEV ili PHEV 2020. godine.

3.1. Tehnološki pregled BEV i PHEV vozila

Kao što je već rečeno, obje se vrste mogu puniti iz mreže. Osnovna i najbitnija razlika između BEV i PHEV vozila je MUI. Kod BEV-a su izvor energije baterija i elektromotor. Punjiva baterija pogoni elektromotor. Najčešće je riječ o litij-ionskim baterijama što znači da su same baterije lagane jer je litij najlakši poznati metal. Najveći zahtjev u odnosu na baterije (akumulatore) u konvencionalnim automobilima je rad na duži period. Tzv. „kapacitet baterije“ izražava se električnim nabojem čija je SI jedinica kulon (C) koji je sam izveden iz umnoška ampera (A) i sekunde (s), a u razgovoru se najčešće koriste ampersati (Ah). Uglavnom se baterije sastoje od nekoliko stotina članaka od kojih svaki ima par volti nominalnog napona. Čelije se slažu u module koji se slažu u konačnu bateriju što je slikovito prikazano na Slici 3. Osim litij-ionskih, ponekad se koriste i baterije olovo-kiselina, nikal-metal-hidrid i baterije na rastaljenu sol.

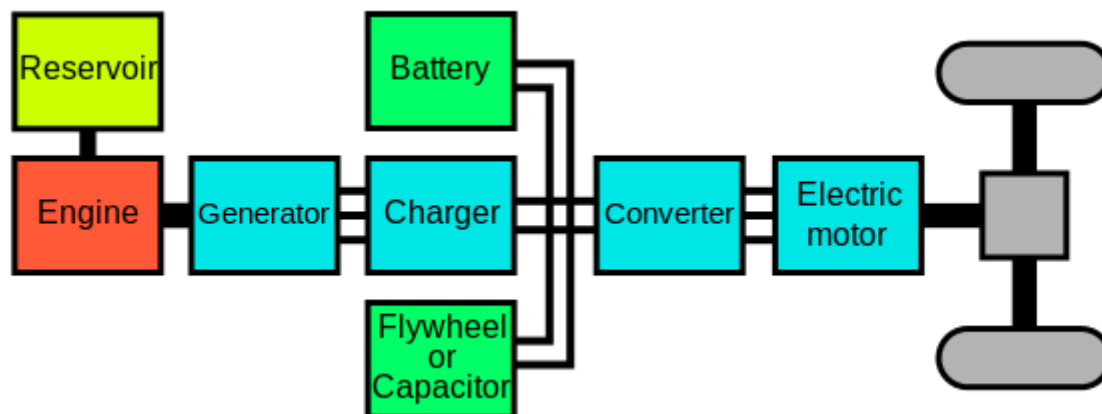


Slika 3. Sastav tipične baterije u električnom vozilu.

Elektromotori koji se koriste za pogon u automobilima su izmjenični. Mogu biti sinkroni i asinkroni. Sinkroni motori postižu veći moment pri nižim okretajima te su idealni za gradsku vožnju. Također su lakši. Asinkroni postižu veće snage.

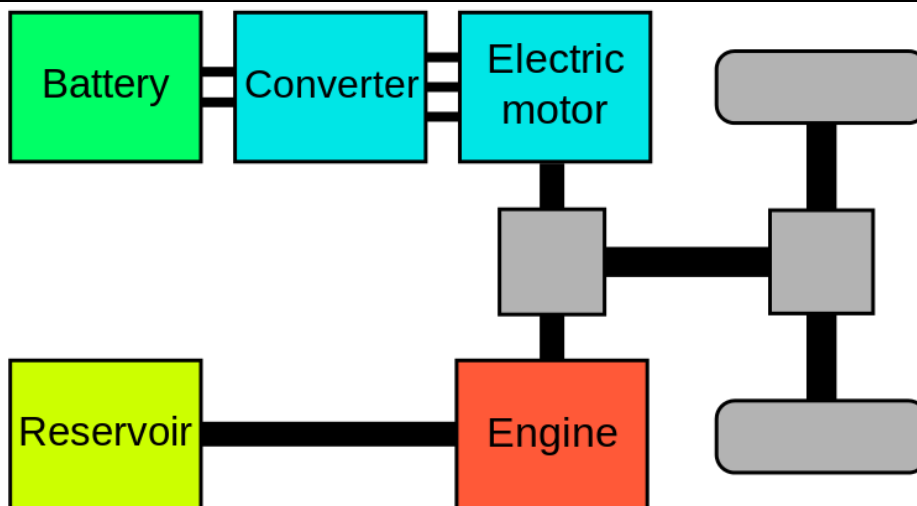
Nasuprot motorima, baterije zahtijevaju istosmjernu struju, dakle između njih mora postojati pretvorba. To se obavlja uređajima koji se zovu izmjenjivači (inverteri). Električna struja iz mreže uvijek je izmjenična pa se prije baterije mora pretvoriti u istosmjernu, a uređaji koji ju pretvaraju u istosmjernu, ispravljači, ponekad su ugrađeni u samim punionicama.

PHEV vozila mogu biti serijska ili paralelna. Kod serijskih, MUI isključivo pokreće generator te uopće nije spojen s kotačima, Slika 4. Kako MUI ovdje nisu primarni pokretači, mogu biti manji nego u ostalim vrstama vozila, a činjenica da su odvojeni od kotača znači i da se mogu uvijek okretati svojom najpovoljnijom brzinom. Električnu energiju elektromotor može, dakako, primati iz baterije, ali i direktno iz generatora ili oboje. Pri zaustavljanju ili u izrazito gustom gradskom prometu, MUI se gasi i dovoljna je sama baterija što uvelike utječe na ekološki otisak vozila.



Slika 4. Shema serijskog PHEV vozila.

Kod paralelnih PHEV-ova, moguća je vožnja isključivo MUI-em, elektromotorom ili kombinirana vožnja što se vidi na Slici 5. U kombiniranoj vožnji brzine okretanja moraju biti izjednačene, a momenti sile se zbrajaju. Spojkama se jedan od motora može odvojiti. Ponekad su oba motora na istom vratilu. Vozila se razlikuju prema udjelu snage koji svaki od motora doprinosi. Blagi hibridi su oni hibridi kod kojih ne postoji vožnja isključivo elektromotorom.

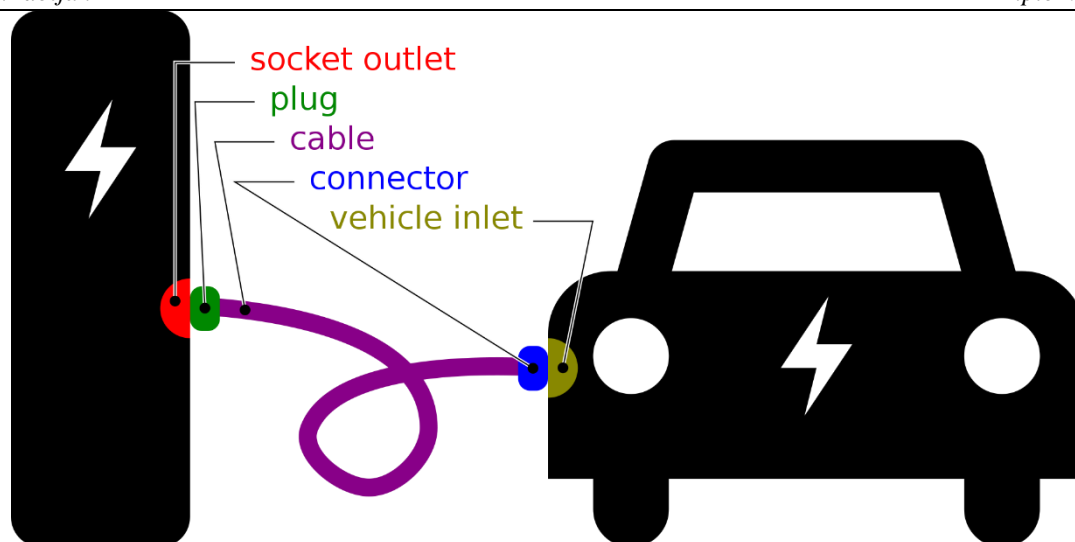


Slika 5. Shema paralelnog PHEV vozila.

Studija iz 2021. ^[27] usporedila je cijene električnih vozila s klasičnima, uključujući sve moguće troškove poput kupovine, održavanja, poticaja, cijena goriva i slično. Istraživanje je provedeno u Kaliforniji, Teksasu, Floridi, Njemačkoj, Francuskoj, UK-u, Kini, Japanu i Južnoj Koreji s 11 najpoznatijih svjetskih marki automobila iz različitih klasa (manji ekonomski i veći luksuzni). U svim je navedenim regijama zaključeno kako je za manja i srednja vozila trošak manji kod električnih vozila, dok kod npr. većih, luksuznih limuzina to ovisi o regiji.

3.2. Tehnološki pregled punjača za električne automobile

Postoje istosmjerne (DC) i izmjenične (AC) punionice. Budući da se baterija automobila može puniti isključivo istosmjernom strujom, kod izmjeničnih je punionica potreban ispravljač. Kod istosmjernih se punionica ispravljač nalazi u njima samima, a razlog je uglavnom ograničena snaga ispravljača u automobilima. Prema ^[28] punionice se sastoje od priključnice punionice, priključka kabla na strani punionice, kabla, priključka kabla na strani automobila i priključnice automobila, Slika 6.



Slika 6. Shema punjača za električna vozila.

Međunarodna elektrotehnička zajednica (IEC) definiira 4 načina rada ^[29] prema jakosti električne struje, naponu, odnosno samim time i snazi. U tablici 3. prikazani su načini rada. Izmjenični punjači mogu biti jednofazni (*1f*) ili trofazni (*3f*).

Tablica 3. Vrste punjača za električna vozila.

Način rada	Vrsta	Jakost el. struje [A]	Napon [V]	Snaga [W]
1	1f AC	16	250	4
	3f AC	16	480	11
2	1f AC	32	250	7.4
	3f AC	32	480	22
3	1f AC	63	250	14,5
	3f AC	63	480	43,5
4	DC	200	400	80

Način rada 1 nema sigurnosnih sustava, mogu se koristiti obične priključnice i obično se koristi za električne motocikle i mopede. Način rada 2 sadržava u kابلu kontrolnu kutiju i koristi se najčešće za električne automobile. Način rada 3 zahtjeva da se vozilo puni uređajem stalno spojenim na električnu mrežu. Ovo je daleko najrasprostranjeniji način punjenja na javnim punionicama. Način rada 4 koristi istosmjernu struju, odnosno ispravljač je ugrađen u samu punionicu te su zbog toga punionice robusnije. To su najjači i najbrži punjači.

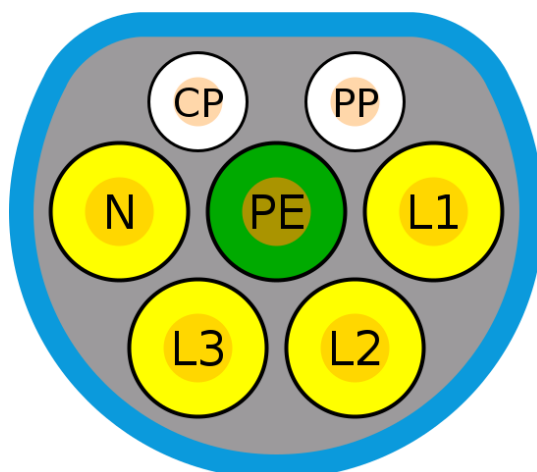
Česta je i podjela na „razine“ punionica, a koja se bazira na snazi punionice, odnosno brzini punjenja, tablica 4 ^[30].

Punjači razine 1 nisu dostupni u Europi jer električni priključci na 120 V nisu standard. Najčešća im je uporaba u domovima za punjenje preko noći. Punjači razine 2 najrasprostranjeniji su u svijetu i primjena im je široka – u domovima, na radnim mjestima, ispred trgovina, na benzinskim crpkama itd. Punjači razine 3 su brzi punjači i nalaze se na lokacijama poput stajališta na autocestama ili benzinskim crpkama gdje se ljudi neće zadržavati duže vremena. Cijene su prikazane u tablici 4., a preuzete su s projekta AaCTA i diplomskog rada „Planiranje budućih energetske potreba prometnog sektora u turističkim destinacijama“ ^[31].

Tablica 4. Podjela punjača prema snazi.

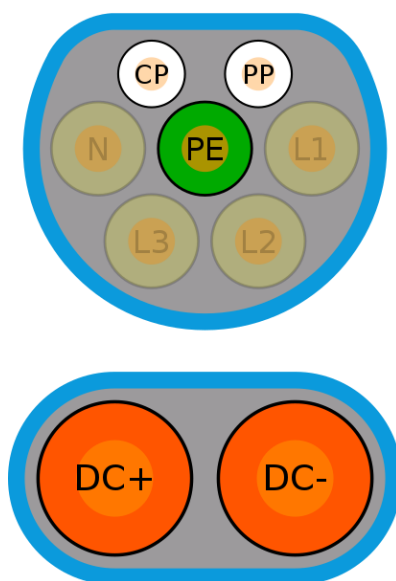
Razina	Snaga [kW]	Vrijeme punjenja [min]	Cijena [€]	Instalacija [€]	Naknada za spajanje [€]
1	22	60-180	5.352	2.475	3.960
2	50	20-30	12.083	9.062	10.800
3	150	<20	41.067	16.495	23.400

IEC također postavlja standarde i na priključke kablova. Izmjenični priključci su uglavnom isti, neovisno o načinu rada, eventualno se mogu razlikovati od države do države. U EU se koristi priključak prikazan na slici 7., tzv. *Type 2*.

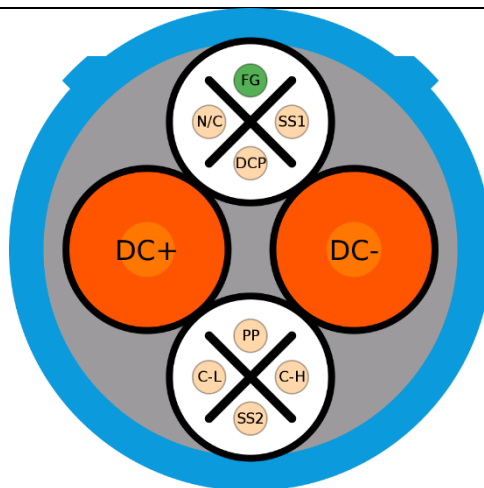


Slika 7. Priključak Type 2.

DC priključci se međusobno više razlikuju, najkorišteniji su *CCS Combo 1* (korišten u SAD-u), *CCS Combo 2* (korišten u EU), *CHAdeMO* (podrijetlom iz Japana, ali raširen u EU), *BB* (korišten u Kini) te *ChaoJi* (Japan i Kina). Na slikama 8. i 9. vide se 2 vrste korištene u EU, navedenim redoslijedom.



Slika 8. Priključak CCS Combo 2.



Slika 9. Priključal CHAdeMO.

Vrijeme punjenja ovisi proporcionalno o snazi punjača i gustoći snage baterije, a obrnuto proporcionalno o kapacitetu baterije. Također postoje i gubici pri punjenju koji u najekstremnijim slučajevima dosežu i 20% [32].

3.3. Infrastruktura za električne punionice

Kada je električno vozilo spojeno na punionicu, ona vuče električnu energiju iz električne mreže. Povećanje broja električnih vozila neminovno će dovesti do povećanja potrebe za električnom energijom. Prosječna litij-ionska baterija u BEV vozilu može pohraniti 40 kWh energije, a u PHEV-u 10 kWh [33][34].

Uz podatke o ukupnom broju vozila u EU [17] i podatke o prosječnoj godišnjoj pređenoj udaljenosti automobila, uz to da kombiji prijeđu 1.7, kamioni 6, a autobusi 4 puta više [35][36][37], podatke o postocima BEV i PHEV vozila s početka ovog poglavlja te podatke o potrošnji energije po prijeđenom kilometru [38][38][40],

može se izračunati koliko električne energije se već sada godišnje „troši“ na električna vozila. U EU je trenutno oko 250.000.000 osobnih automobila, 30.000.000 kombija, 6.500.000 kamiona i 700.000 autobusa.

Uzet će se u obzir i činjenica da prosječni PHEV automobil godišnje prijeđe 7.500 km električnim motorom te da je broj PHEV i BEV automobila podjednak [41][42].

Potrebna je godišnja energija procijenjena jednostavnim množenjem broja električnih vozila pojedine vrste prijeđenim kilometrima godišnje svake vrste te potom prosječnom potrošnjom električne energije po prijeđenom kilometru za tu vrstu vozila.

U tablici 5. prikazani su pojedinačni zahtjevi za dodatnom proizvodnjom električne energije za svaku vrstu vozila kao i ukupni iznos od 7.505,8 GWh što teoretski znači da već sada malo više od 2 prosječne nuklearne elektrane ili oko 1300 prosječnih vjetroturbina radi samo za električna vozila ^[43]. U nastavku ovog rada provest će se sličan, ali detaljniji račun za Primorsko-goransku županiju (PGŽ).

Tablica 5. Potrebna energija za električna vozila na razini EU.

Vrsta vozila	Količina	Udio električnih [%]	Količina električnih	Prijeđeni put [km/god]	Prosječna potrošnja energije [kWh/km]	Potrebna energija [GWh/god]
automobil	250.000.000	0,55 (BEV)	1,375,000 (BEV)	11,000 (BEV)	0,2	3,025 (BEV)
		0,55 (PHEV)	1,375,000 (PHEV)	7,500 (PHEV)		2,062,5 (PHEV)
kombi	30.000.000	0,4	120.000	18.700	0,2	448,8
kamion	6.500.000	0,2	13.000	55.000	2	1.430
autobus	700.000	1	7.000	44.000	1,75	539
ukupno	286.500.000	-	2.890.000	-	-	7.505,8

Razvodno postrojenje (često nazivano i trafostanicom) dio je energetskeg sustava koji napon spušta s viših na niže vrijednosti ili obrnuto. Glavni i sastavni dio scake trafostanice je transformator, od kojeg i dolazi njeno ime. Najčešća je uloga trafostanice spuštanje razine napona s prijenosnih razina na distributivne. Spuštaju, recimo, visoki napon od 110 kV na srednji napon od 35 ili 20 kV. Krajnji je cilj (u Hrvatskoj i ostatku Europe, bitno je naglasiti da standardi nisu isti svugdje u svijetu) 230 V (jednofazna struja) ili 400 V (trofazna struja) ^[44].

Upravo je to bitan podatak jer kao što je ranije prikazano u tablicama 3 i 4, brzi ili superpunjači zahtjevaju napone više od 230 V pa je bitno da u blizini postoje trafostanice koje spuštaju na samo 400 V što možda u stvarnosti često i nije slučaj.

4. ODREĐIVANJE POSTOJEĆIH I POTENCIJALNIH LOKACIJA PUNIONICA U PRIMORSKO-GORANSKOJ ŽUPANIJU

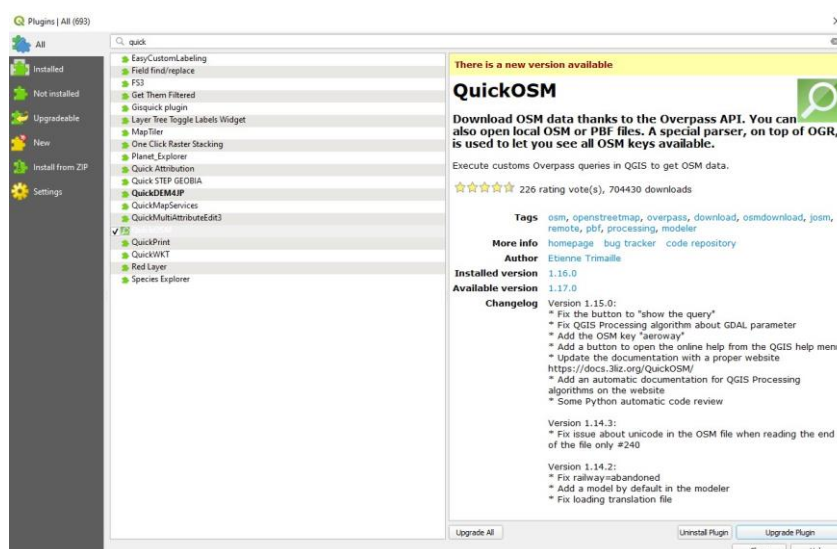
Lokacije i osnovne informacije o postojećim punionicama javno su dostupne pa ih je samo trebalo popisati.

Jedan dio potencijalnih lokacija tražen je uz pomoć programa QGIS [45]. QGIS (Quantum Geographic Information System) besplatan je višeplatformski program otvorenog koda koji omogućava pregledavanje, uređivanje i analiziranje geografski vezanih podataka. Omogućuje pregled, stvaranje i uređivanje vektorskih (točka, linija ili poligon) i rasterskih podataka. Primjena mu je široka, moguće je npr. stvaranje karata u više slojeva, traženje specifičnih lokacija (što će u nastavku biti uvelike korišteno), označavanje različitih vrsta površina, ucrtavanje puteva i slično. Podaci se dakako mogu i unositi u obliku *shapefileova*.

4.1. Postojeće punionice u Primorsko-goranskoj županiji

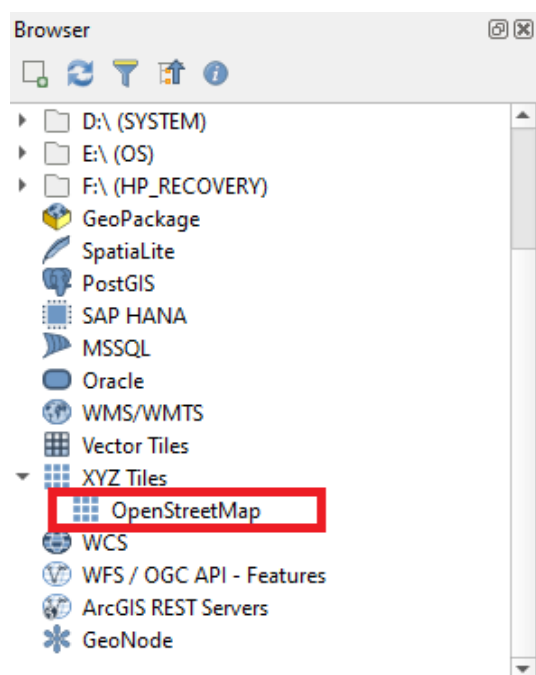
Za početak je instaliran alat (*plugin*) naziva *QuickOSM*, slika 10., koji omogućuje pretraživanje raznih objekata, bilo industrijskih, uslužnih ili komercijalnih. Nama su potrebne punionice što je također moguće pomoću njega pronaći. Instalacija *plugina* vrlo je jednostavna i dostupna na samoj alatnoj traci::

Plugins -> Manage and Install Plugins -> QuickOSM



Slika 10. *QuickOSM* u QGIS-u.

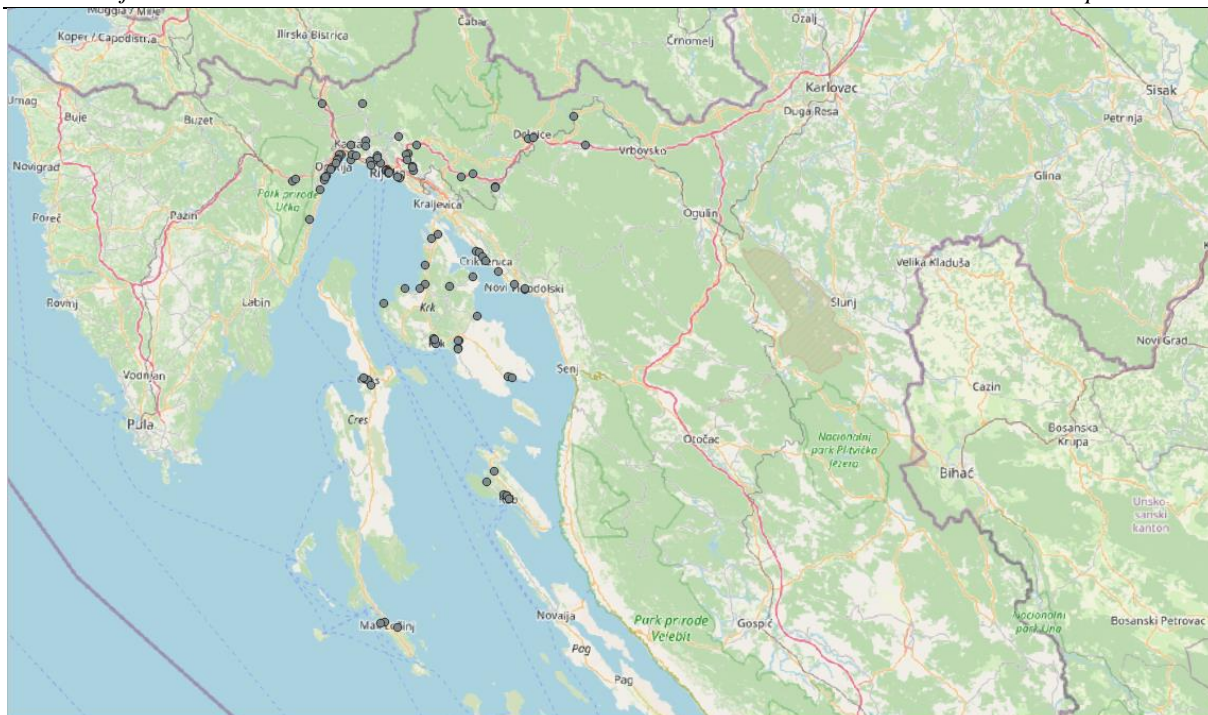
Prije svega, potrebno je postaviti kartu *OpenStreetMap* koja se nalazi u padajućem izborniku s lijeve strane, Slika 11. i služi kao podloga za sve daljnje prikaze.



Slika 11. *OpenStreetMap* u QGIS-u.

Nakon toga, potrebno je mapirati punionice. *QuickOSM* također nudi i opciju pronalaska punionica za električne automobile, no očito je da su podaci nepotpuni. Prvo su u Microsoft Excel tablici ručno popisane sve punionice s nazivom, lokacijom (geografska širina i visina) te brojem, vrstom i snagom pojedinog punjača. Nakon toga dokument je spremljen u *csv* (*comma-separated value*) obliku, jednostavno ubačen u QGIS u koordinatnom sustavu koji koristi Google Maps gdje su lokacije locirane te su svi punjači na slici 12. prikazani kao točke (bitno je naglasiti da se neki preklapaju ako je više punjača na istoj lokaciji):

Layer -> Add Layer -> Add Delimited Text Layer



Slika 12. Postojeće punionice na području PGŽ.

Tablice 6.-10. sadržavaju popis svih punionica Hrvatske elektroprivrede (oznake ELEN), Petrola, Hrvatskog telekoma i Tesle, ali i, koliko god je to bilo moguće, neodređenih punionica. Stupci x i y predstavljaju geografsku širinu, odnosno dužinu ^{[46][47][48][49][50]}.

Tablica 6. ELEN punionice u PGŽ.

x	y	naziv/opis	broj punjača	vrsta punjača	snaga punjenja [kW]
45,3809	14,3858	ELEN Viškovo	2	Type 2	22
45,3772	14,3511	ELEN Kastav	2	Type 2	22
45,3578	14,3192	ELEN Verdieva	2	Type 2	22
45,3488	14,3170	ELEN Lipovica	2	Type 2	22
45,3480	14,5136	ELEN Kukuljanovo	2	Type 2	22
45,3474	14,3188	ELEN Štangerova	1	Type 2	43
45,3474	14,3188	ELEN Štangerova	1	CHAdEMO	50
45,3474	14,3188	ELEN Štangerova	1	CCS/SAE	50
45,3420	14,4243	ELEN Jolly Mercedes	2	Type 2	22
45,3322	14,4428	ELEN Parking Gomila	2	Type 2	22
45,3308	14,4452	ELEN Parking Delta	2	Type 2	22
45,3183	14,2908	ELEN Liburnijska	2	Type 2	22
45,3124	14,2856	ELEN Ičići	1	Type 2	43
45,3124	14,2856	ELEN Ičići	1	CHAdEMO	50

45,3124	14,2856	ELEN Ičići	1	CCS/SAE	50
45,3042	14,7078	ELEN Sveti Križ	2	Type 2	22
45,2193	14,5728	ELEN Zračna luka Krk	2	Type 2	22
45,1733	14,6927	ELEN Crikvenica	2	Type 2	22
45,1270	14,7912	ELEN Novi Vinodol- ski	2	Type 2	22
44,9603	14,4054	ELEN Cres	1	Type 2	43
44,9603	14,4054	ELEN Cres	1	CHAdEMO	50
44,9603	14,4054	ELEN Cres	1	CCS/SAE	50
44,5336	14,4646	ELEN Mali Lošinj	2	Type 2	22

Tablica 7. Petrol punionice u PGŽ.

x	y	ime/opis	broj punjača	vrsta punjača	snaga punjača [kW]
45,3368	14,5053	Lesinina Rijeka	4	Type 2	11
45,3913	14,7911	Petrol Delnice	1	Type 2	22
45,3913	14,7911	Petrol Delnice	2	CCS/SAE	50
45,3913	14,7911	Petrol Delnice	1	CHAdEMO	50

Tablica 8. HT punionice u PGŽ.

x	y	ime/opis	broj punjača	vrsta punjača	snaga punjača [kW]
45,3140	14,2878	ACI Marina Opatija	2	Type 2	22
45,3468	14,3513	Hotel Hilton Rijeka	6	Type 2	22
45,3464	14,4224	K Centar Fiume	1	Type 2	43
45,3464	14,4224	K Centar Fiume	1	CCS/SAE	50
45,3464	14,4224	K Centar Fiume	1	CHAdEMO	50
45,3456	14,4068	Interspar Rujevica	5	Type 2	22
45,3299	14,4398	Zagrad B garaža	2	Type 2	22
45,3299	14,4398	Zagrad B garaža	1	Wall	3.84
45,3188	14,4684	HT Tower Center	1	Type 2	43
45,3188	14,4684	HT Tower Center	1	CCS/SAE	50
45,3188	14,4684	HT Tower Center	1	CHAdEMO	50
45,3967	14,8052	Konzum centar Delnice	1	Type 2	43
45,3967	14,8052	Konzum centar Delnice	1	CCS/SAE	50
45,3967	14,8052	Konzum centar Delnice	1	CHAdEMO	50
45,1253	14,7930	Hotel Lišanjski	2	Type 2	22
45,2106	14,5558	G2B Omišalj	2	Type 2	11
45,1231	14,5298	G2B Malinska	2	Type 2	11

45,1282	14,6046	G2B Dobrinj	2	Type 2	11
45,1458	14,6629	G2B Šilo	2	Type 2	11
45,0757	14,6742	G2B Vrbnik	2	Type 2	11
45,0184	14,6285	G2B Punat	2	Type 2	11
44,9716	14,7557	G2B Parking Gruh	2	Type 2	11
44,9689	14,7641	G2B Parking Palada	2	Type 2	11
45,1289	14,5448	Tommy Malinska	1	CCS/SAE	50
45,1289	14,5448	Tommy Malinska	1	CHAdEMO	50
44,9627	14,3973	Kamp Kovačine	1	Type 2	22
44,9603	14,3975	Hotel Kimen	2	Type 2	22

Tablica 9. Tesla punionice u PGŽ.

x	y	ime/opis	broj punjača	vrsta punjača	snaga punjača [kW]
45,3140	14,2878	ACI Marina Opatija	1	Tesla	22
45,3177	14,2910	Remisens Hotel Giorgio II	1	Tesla	22
45,3277	14,3004	Remisens Hotel Admiral	1	Tesla	22
45,3322	14,3024	Remisens Hotel Palace-Bellevue	1	Tesla	22
45,3402	14,3119	Remisens Hotel Ambassador	1	Tesla	22
45,3554	14,3261	Design Hotel Navis	2	Tesla	22
45,1815	14,6839	Hotel Kvarner Palace	2	Tesla	22
44,7549	14,7625	Arbiana hotel	1	Tesla	22
44,7637	14,7496	Apartment Resort Kaldana	1	Tesla	11
44,8035	14,7259	ACI Marina Supetarska Draga	2	Tesla	22
44,9496	14,4160	ACI Marina Cres	1	Tesla	22
45,0203	14,6281	Falkensteiner Hotel Park Punat	2	Tesla	22
45,0334	14,6310	Marina Punat Hotel & Resort	1	Tesla	22

Tablica 10. Ostale punionice u PGŽ.

x	y	ime/opis	broj punjača	vrsta punjača	snaga punjača [kW]
45,2400	14,2504	Mošćenička Draga	1	Type 2	22

45,3072	14,2106	Restoran Dopolavoro	1	Euro	?
45,3091	14,2145	Park prirode Učka	1	Type 2	11
45,2921	14,2761	Lovran	1	Type 2	3.7
45,4431	14,2743	Rupa zapad	1	Type 2	22
45,4431	14,2743	Rupa zapad	1	CHAdEMO	50
45,4431	14,2743	Rupa zapad	1	CCS/SAE	50
45,4431	14,2743	Rupa istok	1	Type 2	43
45,4431	14,2743	Rupa istok	1	CHAdEMO	50
45,4431	14,2743	Rupa istok	1	CCS/SAE	50
45,4462	14,3764	Klana	1	Type 2	22
45,3561	14,3512	Vrata Jadrana sjever	1	Type 2	43
45,3561	14,3512	Vrata Jadrana sjever	1	CHAdEMO	50
45,3561	14,3512	Vrata Jadrana sjever	1	CCS/SAE	50
45,3561	14,3512	Vrata Jadrana jug	1	Type 2	43
45,3561	14,3512	Vrata Jadrana jug	1	CHAdEMO	50
45,3561	14,3512	Vrata Jadrana jug	1	CCS/SAE	50
45,3468	14,3524	Hilton Costabella Resort & Spa	4	Type 2	11
45,3529	14,3634	Peugeot Kuželka	3	Type 2	11
45,3708	14,3861	Duferco Energia Spa	2	Type 2	22
45,3451	14,3976	BP Rijeka obilaznica	2	Type 2	22
45,3398	14,4006	Interspar Krnjevo	4	Type 2	11
45,3545	14,4172	has.to.be gmbh	2	Type 2	22
45,3545	14,4172	has.to.be gmbh	1	CCS/SAE	140
45,3545	14,4172	has.to.be gmbh	1	CCS/SAE	128
45,3545	14,4172	has.to.be gmbh	1	CCS/SAE	95
45,3290	14,4380	Parking Korzo	2	Type 2	22
45,3294	14,4386	Zagrad Garage A	1	Type 2	11
45,3269	14,4461	Garaža Stari grad	1	Type 2	11
45,3269	14,4461	Garaža Stari grad	1	Euro	3.7
45,3890	14,4675	Jelenje	1	Type 2	22
45,3167	14,4727	Lidl Pećine Rijeka	1	Type 2	22
45,3167	14,4727	Lidl Pećine Rijeka	1	CHAdEMO	50
45,3167	14,4727	Lidl Pećine Rijeka	1	CCS/SAE	50
45,3494	14,4908	has.to.be gmbh	1	Type 2	22
45,3768	14,5060	Gostiona Putniku	1	Euro	3.7
45,3367	14,5042	Lidl Kukuljanovo	1	Type 2	22
45,3367	14,5042	Lidl Kukuljanovo	1	CHAdEMO	50
45,3367	14,5042	Lidl Kukuljanovo	1	CCS/SAE	50

45,3223	14,6197	Odmorište Tuho- bić	1	Type 2	?
45,3223	14,6197	Odmorište Tuho- bić	1	CHAdEMO	?
45,3223	14,6197	Odmorište Tuho- bić	1	CCS/SAE	?
45,3828	14,9335	TIFON Ravna Gora	1	Type 2	43
45,3828	14,9335	TIFON Ravna Gora	1	CHAdEMO	50
45,3828	14,9335	TIFON Ravna Gora	1	CHAdEMO	62
45,3828	14,9335	TIFON Ravna Gora	1	CCS/SAE	50
45,3828	14,9335	TIFON Ravna Gora	1	CCS/SAE	160
45,4320	14,9050	Skrad	1	Type 2	22
45,1914	14,6695	Hotel Abalone	1	Type 2	11
45,1891	14,6735	Hotel Omorika	1	Type 2	11
45,1891	14,6735	Hotel Omorika	1	Euro	3,7
45,1557	14,7269	Restaurant Sidro	1	Type 2	3,4
45,1557	14,7269	Restaurant Sidro	1	Euro	?
45,1353	14,7616	Novi Spa Hotel and Resort	3	Euro	?
45,1353	14,7616	Novi Spa Hotel and Resort	1	3 phase	11
44,9641	14,3909	Kamp Kovačine	2	Type 2	11
44,5328	14,4529	Hotel Bellevue	1	Type 2	11
44,5241	14,4925	Vitality Hotel Punta	1	Euro	?
44,7566	14,7645	Rab Marina	1	Type 2	?
44,7612	14,7586	Hotel Imperial	1	Type 2	?
44,7620	14,7581	Rab	2	Type 2	22
44,7854	14,7084	Lando Resort campground	1	Euro	?
44,7854	14,7084	Lando Resort campground	1	Caravan Ma- ins	?
45,0954	14,4414	Kamp Glavotok	1	Type 2	22
45,1215	14,4940	G2B Porat	2	Type 2	11
45,1650	14,5413	G2B Njivice Par- king	2	Type 2	11
45,0355	14,5665	Lidl Krk	1	Type 2	22
45,0355	14,5665	Lidl Krk	1	CHAdEMO	50
45,0355	14,5665	Lidl Krk	1	CCS/SAE	50
45,0329	14,5693	G2B Ponikve	2	Type 2	11
45,0260	14,5729	G2B Ul. kralja To- mislava	2	Type 2	11
45,0329	14,6287	Marina Punat	1	CEE5	22

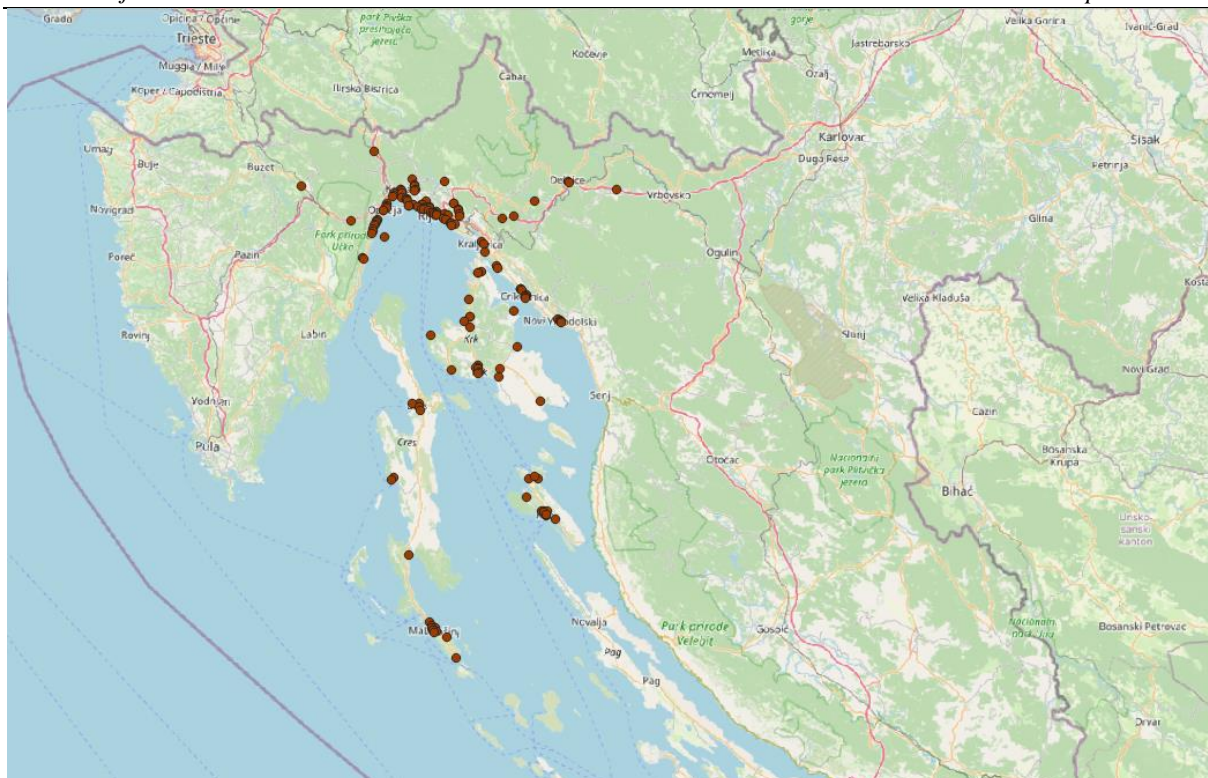
45,0329	14,6287	Marina Punat	3	CEE3	3,6
---------	---------	--------------	---	------	-----

Osim samih lokacija punionica, korisno je pronaći i ceste i njihove duljine kako se bi se dobili neki podaci o gustoći mreže punionica. U Primorsko-goranskoj županiji postoji 1.550,60 km cesta ^[51].

Taj nam podatak, uz gore navedena 152 punjača daje broj od 9,8 punjača na 100 km ceste što PGŽ stavlja iznad prosjeka Europe, usporedivo s Austrijom i malo iznad Italije te iznad hrvatskog prosjeka ^[52]. Dakako, treba imati na umu da se na nekim lokacijama nalazi više punjača pa je relevantniji broj od 94 stanice, odnosno 6,06 stanica na 100 km ceste.

4.2. Potencijalne lokacije punionica za električna vozila u Primorsko-goranskoj županiji

Sljedeći je korak određivanje potencijalnih lokacija za punionice. Lokacije su određivane ručno, jedna po jedna. U obzir su uzeta mjesta poput parkinga, supermarketa, trgovačkih centara, benzinskih postaja, odmarališta, kolodvora, zračnih luka, ali i fakulteta i bolnica. Osim potpuno novih lokacija, kao mogućnost je uzeto i instaliranje dodatnih punjača na neke lokacije gdje punjači već postoje, ali u nedovoljnom broju, odnosno s nedovoljnom snagom. Podaci koji su se popisivali su zemljopisne koordinate, kratki opis/naziv, procjena broja parkirnih mjesta te potencijal [kW] koji bi se tamo mogao instalirati. Potencijal je procjenjivan odokativno, no namjerno je uziman veći broj koji bi zadovoljio čak i najoptimističnije scenarije elektrifikacije prometa. Korišteni su realni iznosi snage koji postoje kod stvarnih punionica, dakle 22 kW, 50 kW, 150 kW i sl. Na slici 13. prikazane su lokacije potencijalnih punionica.



Slika 13. Lokacije potencijalnih punionica na području PGŽ.

Tablica 11. prikazuje sve potencijalne lokacije te, kao što je već naglašeno, neke već iskorištene lokacije (sveukupno 156) s time da tu stupac „potencijal“ predstavlja razliku one snage koja bi tu mogla biti i trenutno instaliranog kapaciteta.

Tablica 11. Potencijalne lokacije za punionice u PGŽ.

x	y	Ime/opis	Potencijal [kW]	Parkirna mjesta
44,9615	14,4096	parking uljara Cres	100	20
44,8249	14,7404	parking rajska plaža Rab	143	30
44,8237	14,7153	predutor Rab	150	25
44,8195	14,3504	parking Martinšćica	150	30
44,8165	14,3431	parking Martinšćica kamp	250	50
44,7897	14,7087	parking Rab random	100	20
44,7700	14,7495	Tommy Palit	100	50
44,7629	14,7574	auto parking Rab	50	20
44,7598	14,7603	parking Slavija Rab	143	50
44,7596	14,7601	parking Rab centar	143	30
44,7585	14,7595	parking Rab	186	70
44,7538	14,7630	parking Barbat	150	20

44,7476	14,7893	INA Banjol	50	10
45,3567	14,7141	Lokvarsko jezero	100	15
44,6721	14,3967	tifon Lošinj	100	15
44,5453	14,4555	Adria Oil Mali Lošinj	100	10
44,5381	14,4642	parking Mali Lošinj luka	250	90
44,5355	14,4704	parking Mali Lošinj	150	50
44,5341	14,4724	INA Mali Lošinj	50	5
44,5338	14,4633	INA Mali Lošinj 2	50	10
44,5300	14,4672	garaža Mali Lošinj Omladinska	250	60
44,5289	14,4765	parking Dubovica Mali Lošinj	150	60
44,5186	14,5031	parking Veli Lošinj	100	20
44,4775	14,5311	parking jug Lošinja	50	30
45,4431	14,2743	Rupa	300	220
45,3954	14,8045	INA Delnice	50	10
45,3931	14,8054	Konzum centar Delnice	86	120
45,3927	14,3797	Lidl delnice	100	70
45,3890	14,4675	Jelenje	43	35
45,3819	14,9361	TIFON Ravna Gora	350	170
45,3809	14,3858	ELEN Viškovo	44	100
45,3804	14,3856	parking Milihovo	143	80
45,3732	14,3895	microlima Marinići	86	30
45,3731	15,0764	INA Vrbovsko	50	15
45,3727	14,3498	ELEN Kastav	22	40
45,3726	14,3497	parking Kastav	143	35
45,3708	14,3861	Duferco Energia Spa	86	90
45,3707	14,3519	Spar Kastav	43	70
45,3659	14,3312	Plodine Rubeši	143	70
45,3657	14,3524	Plodine „ikovići	100	100
45,3608	14,3296	Petrol Matulji	150	15
45,3581	14,3269	Adria oil Opatija	100	15
45,3561	14,3512	Vrata Jadrana	386	120
45,3545	14,3642	Spar iznad Rijeke	286	170
45,3545	14,3643	Marti retail park	200	180
45,3542	14,3656	Adria oil BP Martinkovac	143	40
45,3529	14,3634	Peugeot Kuželka	43	35
45,3515	14,3664	Petrol Martinkovac	100	30
45,3509	14,4173	K Centar Fiume	86	60
45,3489	14,4948	Petrol Kukuljanovo	143	25
45,3473	14,4940	Metro Rijeka	600	250
45,3452	14,4071	Interspar Rijeka	143	50
45,3442	14,3114	Spar Opatija	143	100
45,3440	14,4088	Crodux Rijeka	100	20
45,3439	14,3842	sportska dvorana Zamet	100	50
45,3419	14,3715	INA Kantrida	100	20

45,3413	14,4190	parking kvart Rijeka	44	50
45,3412	14,3729	Kantrida bazeni	50	40
45,3405	14,4279	Plodine Rijeka	100	60
45,3402	14,3119	Remisens Hotel Ambasador	86	50
45,3394	14,4273	Spar Rijeka	100	20
45,3390	14,3960	Autolavaggio Krnjak	143	50
45,3390	14,3092	Konzum Opatija	143	30
45,3376	14,4084	ZTC	400	150
45,3368	14,5053	Lesinina Rijeka	386	200
45,3358	14,3109	parking Opatija Luka	143	40
45,3358	14,5057	Lidl Kukuljanovo	196	100
45,3358	14,4077	CNG Rijeka	150	50
45,3351	14,4120	parking Mlaka	44	30
45,3339	14,4265	parking kbc Rijeka	286	180
45,3313	14,3015	Slatina shopping centar	143	40
45,3313	14,3015	garaža Opatija	286	100
45,3310	14,4465	parking Kalvarija	66	70
45,3299	14,4327	parking Krešimirova Rijeka	143	35
45,3299	14,4398	Zagrad B garaža	250	200
45,3294	14,4386	Zagrad garaža A	250	200
45,3294	14,5092	adria oil Kukuljanovo	143	50
45,3290	14,4380	parking Korzo	143	70
45,3288	14,4705	parking studentski Rijeka	286	120
45,3285	14,4472	parking Školjić	100	120
45,3280	14,4426	ELEN parking Gomila	143	120
45,3269	14,4461	garaža Stari grad	246	100
45,3266	14,6568	INA odmorište Lepenica Sjever	150	38
45,3254	14,4777	INA Rijeka	50	10
45,3249	14,4470	ELEN parking Delta	600	370
45,3235	14,5114	Rijeka trans BP	143	50
45,3218	14,6257	odmorište Tuhobić	443	150
45,3188	14,4672	HT Tower Center	143	50
45,3175	14,4727	Petrol Rijeka	50	10
45,3140	14,2878	ACI marina Opatija	100	15
45,3123	14,2856	parking Ičići	86	15
45,3105	14,4844	Plodine Rijeka	100	130
45,3099	14,4877	INA Martinšćice	50	20
45,3091	14,2145	park prirode Učka	150	25
45,3091	14,2860	parking Ičići plaža	43	15
45,3082	14,4976	parking Glavani	100	40
45,3057	14,4897	parking Žurkovo	50	35
45,3035	14,2827	parking Lovran mol	100	25
45,3016	14,2792	plodine Lovran	143	40
45,2965	14,2758	ina Lovran	50	5

45,2914	14,2748	parking Brajdica Lovran	186	80
45,2876	14,2731	parking Lovran jug	143	60
45,2807	14,3079	parking Ika Opatija	50	30
45,2768	14,5709	INA Kraljevica	50	10
45,2720	14,5767	Petrol Kraljevica	50	15
45,2564	14,5812	Tifon Šmrika	143	40
45,2400	14,2504	Mošćenička Draga	143	40
45,2382	14,2525	parking Mošćenička Draga	186	40
45,2314	14,6128	parking Jadranovo	143	60
45,2274	14,6167	Konzum Jadranovo	43	10
45,2193	14,5728	ELEN Zračna luka Krk	500	250
45,2170	14,5653	shopping centar Omišalj	143	40
45,2168	14,5650	Konzum Omišalj	143	40
45,1883	14,6799	Duga mall Crikvenica	143	50
45,1879	14,6804	Superkonzum Crikvenica	143	25
45,1877	14,6811	Lidl Crikvenica	143	25
45,1857	14,6838	INA Crikvenica	50	10
45,1756	14,6961	parking Crikva autobusni	300	110
45,1744	14,6929	ELEN Crikvenica	350	170
45,1718	14,6928	2 velika parkinga Crikvenica	350	320
45,1708	14,6954	parking Crikvenica luka	100	50
45,1650	14,5413	G2B Njivice parking	86	30
45,1458	14,6629	G2B Šilo	86	15
45,1329	14,5461	Petrol Malinska	150	20
45,1320	14,7831	Tommy+Plodine Novi Vinodolski	143	40
45,1312	14,5438	Tommy Malinska	100	80
45,1292	14,7885	parking Brajda	50	40
45,1280	14,7910	parking Novi Vinodolski tržnica	100	50
45,1270	14,7912	ELEN Novi Vinodolski	100	70
45,1268	14,7918	parking Novi Vinodolski škola	143	80
45,1255	14,7927	INA Novi Vinodolski	50	15
45,1231	14,5298	G2B Malinska	143	50
45,1112	14,5459	Adria Petrol Milčetići	143	30
45,0954	14,4414	Kamp Glavotok	143	30
45,0757	14,6742	G2B Vrbnik	143	50
45,0392	14,5692	In'sol Krk	50	10
45,0359	14,5692	Konzum Krk	286	200
45,0355	14,5683	Lidl Krk	150	150
45,0339	14,5656	Plodine Krk	143	100
45,0329	14,5693	G2B Ponikve	143	90
45,0329	14,6287	Marina Punat	86	40
45,0290	14,4979	Valbiska	100	10
45,0272	14,5729	robna kuća Krk	86	30
45,0244	14,5707	INA Krk	100	10

45,0184	14,6285	G2B Punat	86	50
44,9745	14,7423	Tommy Baška	43	20
44,9639	14,4122	Plodine Cres	143	100
44,9629	14,3964	Kamp Kovačine	100	50
44,9563	14,4146	Konzum Cres	43	15
44,9496	14,4160	ACI marina Cres	143	80
44,8292	14,7295	Maxi Konzum Lopar	143	160
44,7625	14,7673	Plodine Palit	100	30
44,7620	14,7581	Rab	143	25
44,7566	14,7645	Rab marina	143	20
44,5300	14,4677	Lidl Mali Lošinj	100	25
44,5249	14,4703	Maxi market Mali Lošinj	143	50

Alpe-Adria clean transport alliance (AaCTA) u suradnji je s njemačkim Ministarstvom gospodarstva i klimatske akcije i Europskom klimatskom inicijativom razvilo alat koji optimizira lokacije punionica. Unose se gore navedeni podaci o postojećim i potencijalnim punionicama te predviđeni broj električnih vozila prisutnih u jednom trenutku, a alat s obzirom na to izbacuje optimalan broj i optimalne lokacije punionica. Lokacije na kojima punjači već postoje, a zaključeno je da instalirana snaga nije dovoljna, uneseni su u alat 2 puta, jednom kao postojeća lokacija punionice i drugi put kao potencijalna sa smanjenim brojem parkirnih mjesta i dodatnim potencijalom snage koji se može instalirati. Kako alat ima gornje ograničenje broja lokacija i automobila nakon kojih ne funkcionira, PGŽ će se razdvojiti u 3 podregije regije i nekoliko mikroregija: priobalje (istarski poluotok, Rijeka i okolica te Hrvatsko primorje), otoci (Krk, Cres, Lošinj te Rab) i Gorski kotar ^[19], a broj turističkih vozila podijelit će se na način da Priobalje ima polovicu ukupnog broja vozila, otoci jednu trećinu, a Gorski kotar jednu šestinu. Unutar briobalja svaka će mikroregija imati jednak broj turističkih vozila, a kod otoka će Krk i Cres imati po 2/6, a Rab i Lošinj po 1/6. Također će se iz istog razloga broj lokacija za godine i scenarije koje alat nije u mogućnosti izračunati samo odokativno pretpostaviti prilikom ekonomske analize projekta. Dakle, na slikama će biti prikazane samo one preporučene lokacije koje su dobivene uz pomoć alata te se te lokacije, iako nisu prikazane za sve godine i scenarije, mogu shvatiti kao one najhitnije na kojima bi trebalo instalirati punionice.

5. MODELIRANJE ENERGETSKOG SUSTAVA PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE U SKLADU RASTA BROJA ELEKTRIČNIH VOZILA

Kako bi se predvidio, odnosno modelirao razvoj energetskeg sustava, potrebno je odrediti neke scenarije. Kao što je i spomenuto, osim elektrifikacije prometnog sektora koja će biti razjašnjena u detalje, uzet će se u obzir i elektrifikacija grijanja prostorija te porast broja krovnih solarnih panela i termalnih kolektora te porast broja baterija za skladištenje električne energije. Osobni prijevoz i grijanje/hlađenje dvije su tehnologije koje su u elektrificiranom obliku već dostupne širokim masama i smatra se da će prve prijeći u potpunosti na električnu energiju. Teška industrija, s druge strane, puno je zahtjevniji tehnološki pothvat u pogledu eliminacije fosilnih goriva kao i npr. zračni promet ili sama proizvodnja električne energije.

Kao glavni fokus ovog rada, za početak će se projicirati broj električnih vozila tijekom nadolazećih godina, kako u Hrvatskoj, tako i u zemljama iz kojih u Hrvatsku dolaze turisti. Zatim će se u EnergyPLAN-u napraviti model trenutnog stanja potrošnje i proizvodnje energije u PGŽ te naposljetku provesti scenariji s povećanjem broja električnih vozila. U scenarijima će se po potrebi postupno smanjivati uporaba fosilnih goriva u svrhe grijanja i transporta, ali i u samoj proizvodnji električne energije.

5.1. Podaci o broju vozila u Primorsko-goranskoj županiji

Prvi je korak skupljanje podataka o broju vozila, njihovim vrstama i prijeđenom broju kilometara. Svi podaci su dostupni na službenim stranicama Centra za vozila Hrvatske, a prikazani su u tablici 12 ^[53].

Bitno je naglasiti da su vozila namijenjena za prijevoz tereta mase do 12 tona svrstana u istu skupinu s vozilima namijenjenim za prijevoz tereta do 3.5 tona jer im je godišnji prijeđeni put gotovo jednak, a ne u onu preko 12 tona jer takva vozila prijeđu u prosjeku oko 3 puta više.

Tablica 12. Trenutni broj električnih vozila u PGŽ.

vrsta vozila	prosječan put godišnje [km/god]	ukupan broj	broj BEV	broj PHEV
automobil	11.016,81	139.699	279	107
motocikl	1.440,44	16.539	237	0
kombi	17.343,50	14.090	32	0
kamion	50.489,28	2.441	0	0
autobus	39.186,04	310	0	0

Budući da je Primorsko-goranska županija izrazito turistička, osim domaće registriranih vozila, izrazito je bitan i podatak o turističkim vozilima, posebice u ljetnim mjesecima. Isto tako, bitno je kada ti turisti dolaze jer sa strane infrastrukture nije isto ako svi dođu u isto vrijeme ili ravnomjerno raspoređeni tijekom cijele godine, potrebno je zadovoljiti trenutak kada je vrhunac turističke sezone. Korisno je i razdvojiti turiste na domaće i strane s obzirom da udio električnih vozila vjerojatno neće biti jednak u flotama koje dolaze iz Europe i onih koje dolaze iz ostatka Hrvatske. Statistike vezane uz turizam uzete su za 2019. godinu jer se smatra kako je to najrelevantnija godina s obzirom na pandemiju Covid-19 koja je uvelike utjecala na mogućnost prelaska državnih granica diljem svijeta u 2020. i 2021. godini. 2022. godina bila je gotovo neometena pandemijom, no dovoljno podataka još uvijek nema.

2019. PGŽ brojila je 2.966.000 turista, odnosno 15.315.000 noćenja ^[54]. Najposjećeniji mjesec, pogotovo u primorskim županijama, redovito je kolovoz. U kolovozu je 2019. PGŽ primila 801.543 turista te pružila 4.939.456 noćenja ^[55].

Dakle, ukoliko infrastruktura zadovolji kolovoz, zadovoljit će i bilo koji drugi mjesec. Još preciznije bilo bi računati za dan u kolovozu u kojem ima najviše automobila, no tako precizni podaci ne postoje pa će se pretpostaviti da je svaki dan u kolovozu jednako opterećen prometom. Broj turista u PGŽ u ostalim mjesecima skalirat će se kao i ukupan broj turista u Hrvatskoj po mjesecima ^[54].

Uslijed nedostatka podataka, za raspodjelu domaćih i stranih turista uzet će se omjeri koji vrijede za cijelu Hrvatsku. Na razini države, strani su turisti 2019. činili 88,70 % dolazaka i 92,22 % noćenja ^[54]. To su velikom većinom turisti iz Zapadnih, razvijenijih država pa se mora uzeti u obzir i veći udio električnih vozila nego u Hrvatskoj. Svih 10 država s najvećim brojem posjetitelja ima znatno veći udio električnih automobila od Hrvatske ^[56].

U kolovozu, 27,9 % turista dolazi organizirano, a za takve dolaske koji su najčešće autobusom, a rjeđe i vlakom ili avionom, može se pretpostaviti da neće biti električnim vozilom. Turisti koji dolaze individualno (72,1 %), u prosjeku prenoće 5,87 noći, broj koji je bitan za procjenu prijeđenog puta automobila turista ^[54].

Broj noćenja također je relevantan podatak. Jedno noćenje smatrat će se jednim danom boravka. Konačna vrijednost koja je potrebna za račun je prosječan broj električnih vozila aktivnih po danu, kvocijent broja električnih vozila u danom mjesecu i broja dana u tom mjesecu. Pretpostavit će se da prosječan turistički automobil dolazi s troje ljudi te radi sigurnosti uzeti da prosječan turistički automobil prijeđe 50% više puta dnevno od gore navedenog prosjeka domaćeg automobila.

Udio BEV i PHEV vozila u ukupnom broju vozila u Hrvatskoj lako se dobije iz podataka o jednom i drugom broju i iznosi 0,40897% ^{[57][58]}.

Prosječni električni motocikl troši 0,35816 kWh/km, a radi jednostavnosti će se zanemariti turistički dolasci motociklima ^[59].

5.1.1. Matematički model potrošnje energije u jednom mjesecu

Račun koji je prikazan vrijedi za pojedinačan mjesec (indeks "i"). Prvi je korak računanje prosječnog broja turističkih automobila prisutnih u jednom danu u pojedinom mjesecu:

$$n_{auto,tur,i} = \frac{n_{tur,i} * \frac{1}{3} * n_{dan,i}}{30,5}$$

gdje su:

$n_{auto,tur,i}$ -broj svih turističkih automobila prisutnih tijekom jednog dana u određenom mjesecu

$n_{tur,i}$ -broj turista koji dolaze individualno u određenom mjesecu

$n_{dan,i}$ -prosječan broj noćenja turista u određenom mjesecu.

Za prosječan broj dana u mjesecu uzet će se 30,5 jer EnergyPLAN zahtjeva unos 8.784 satnih vrijednosti, odnosno za godinu od 366 dana (366/12=30,5).

Uz brojku svih automobila dođe se do brojke pojedine vrste automobila:

$$n_{el,k,j} = \gamma_{el,k} * \beta_{j,el,k} * n_{auto,tur,i} * \mu_{k,tur,i}$$

gdje su:

indeks “j” = vrsta vozila (u ovom slučaju ili BEV ili PHEV automobil)

indeks “k” = podrijetlo vozila (u ovom slučaju strani turistički ili hrvatski turistički)

$n_{el.,k,j}$ = broj automobila jedne vrste tijekom jednog dana u određenom mjesecu

$\gamma_{el.,k}$ = udio el. automobila u ukupnom broju automobila u 10 europskih država koje čine najveći broj turista u Hrvatskoj ili u Hrvatskoj

$\beta_{j,el.,k}$ = udio PHEV ili BEV automobila u ukupnom broju el. automobila u EU ili u Hrvatskoj

$\mu_{k,tur.}$ = udio stranih ili hrvatskih turista u ukupnom broju turista

Kao što je već dosad vidljivo, vozila su podijeljena u 3 skupine:

1. vozila domaćeg stanovništva
2. vozila turista iz ostatka Hrvatske
3. vozila turista izvan Hrvatske

Vozila domaćeg stanovništva razlikuju se od vozila turista iz Hrvatske po broju prijeđenih kilometara, ali u jednakom su udjelu električna. Vozila turista iz Hrvatske imaju isti prijeđen dnevni put kao i vozila stranih turista, ali različitog su sastava.

Sljedeći je korak određivanje koliko el. energije dnevno potroši svaka od podskupina vozila:

$$E_{el.,k,j} = n_{el.,k,j} * l_{dan,j} * e_{el,j},$$

gdje su:

indeks “j” = vrsta vozila (u ovom slučaju BEV ili PHEV automobile, kombi, autobus ili kamion)

indeks “k” = podrijetlo vozila (u ovom slučaju strani ili hrvatski turistički ili domaći)

$E_{el.,k,j}$ = električna energija koju potroši prosječno vozilo određenih vrste i podrijetla u jednom danu [kWh]

$l_{dan,j}$ = prosječan put kojeg dnevno prijeđe određena vrsta vozila [km]

$e_{el,j}$ = el. energija koju troši određena vrsta vozila na 1 km. [kWh/km]

Kada se zna potrošnja svake podvrste vozila posebno, sve se jednostavno zbroje:

$$E_{el.ukupno} = \sum_{j,k} E_{el.,k,j}$$

gdje je:

$E_{el.ukupno}$ = ukupna potrošnja električne energije prometnog sektora u jednom danu u određenom mjesecu [kWh]

Potrošnja benzina i dizela računat će se na ekvivalentan način uz poznate udjele vozila koja koriste pojedinu vrstu goriva ^{[53][60]} te prosječnu potrošnju energije na 1 km prijeđenog puta vozila na benzin i dizel ^[61].

Potrošnja ukapljenog naftnog plina (UNP), prirodnog plina i kerozina će se radi jednostavnosti skalirati u odnosu na ukupnu Hrvatsku potrošnju ^[62].

Za motocikle, kombije, kamione i buseve koji koriste dizel u 0, 96, 100 i 100 posto slučajeva, tim redosljedom ^[53], prosječna potrošnja energije po kilometru izračunat će se uz podatak o sadržaju energije po litri pojedinog goriva ^[63] i prosječnog broja potrošenih litara po km ^{[64][65][66]}.

Za kombije nema dostupnih podataka pa će se uzeti potrošnja od 9 l dizela na 100 km.

Za pojedinačan dan u godini potrošnja energije se računa kao:

$$E_{g,k,j} = n_{g,k,j,mjesec} * l_{dan,g,k,j} * e_{g,k,j} * \eta_{g,k,j},$$

gdje su:

indeks “g” = vrsta goriva (u ovom slučaju dizel ili benzin)

indeks “j” = vrsta vozila (u ovom slučaju automobil, kombi, kamion, autobus ili motocikl)

$E_{g,k,j}$ = energija koju potroši određena vrsta vozila u jednom danu u određenom mjesecu [kWh]

$n_{g,k,j,mjesec}$ = broj vozila određene vrste u jednom danu u određenom mjesecu

$l_{dan,g,k,j}$ = prijeđeni put određene vrste vozila u jednom danu [km]

$e_{g,k,j}$ = energija po kilometru prijeđenog puta određene vrste vozila koje koristi dizel kao gorivo [kWh/km]

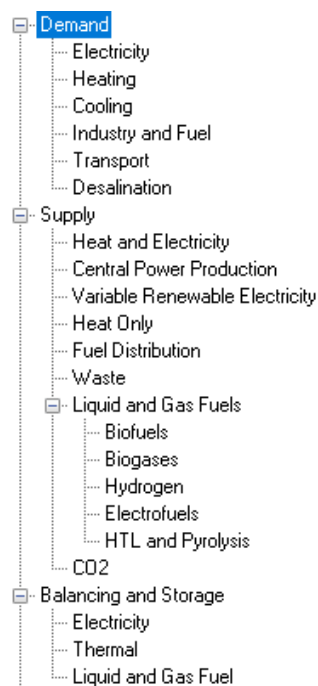
$\eta_{g,k,j}$ = udio vozila određene vrste koja koriste dizel kao gorivo

5.2. Modeliranje u EnergyPLAN-u

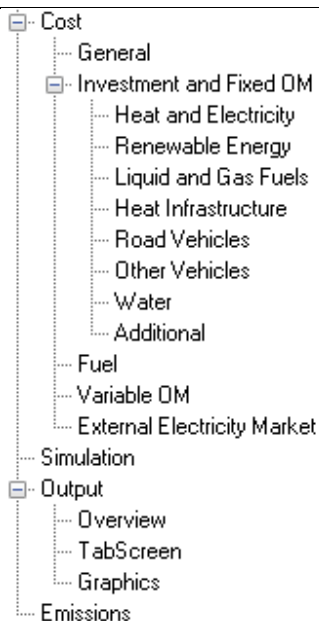
EnergyPLAN je program razvijen na Sveučilištu Aalborg u Danskoj koji služi za modeliranje i analiziranje energetske sustava ^[67].

Omogućava korisniku unos podataka sa strane energetske potražnje, ali i proizvodnje u gotovo svim mogućim oblicima, uključujući i obnovljive izvore energije te pod zadanim uvjetima provodi razne simulacije. Moguće je i uspoređivanje scenarija izazvanih različitim donesenim odlukama. Potrošnja i proizvodnja definiraju se na godišnjoj razini, ali se zahtjeva unos njihovih

distribucija na satnoj bazi te se u skladu s time mogu dobiti i rezultati po svakom satu u godini. Procijeniti se mogu i troškovi raznih scenarija ovisno o odabranim tehnologijama, ali i njihov utjecaj na okoliš. Također se mogu i predvidjeti buduće razine potražnje i/ili potrebne proizvodnje energije. Slike 14. i 15. prikazuju glavni padajući izbornik programa s mogućnostima vezanim uz potrošnju, proizvodnju i skladištenje energije, troškove te mogućnosti prikaza rezultata.



Slika 14. Potrošnja, proizvodnja i skladištenje energije u EnergyPLAN-u.



Slika 15. Troškovi i rezultati u EnergyPLAN-u.

5.2.1. Modeliranje trenutne potrošnje energije u EnergyPLAN-u

EnergyPLAN omogućava mnoge pojedinosti pri definiranju potrošnje energije. U EnergyPLAN se unose ukupne potrošnje, dakle s uračunatim uvozom, gubicima i potrošnjom samog energetskeg sektora.

Kod električne se energije definira godišnja ukupna potrošnja. Mogu se dodati i pojedinosti poput grijanja i hlađenja te uvoza/izvoza. Satna distribucija definirana je na način da se za svaki od 8.784 sata unese faktor odstupanja od prosječnog sata, dakle 1 ako je jednako prosjeku, 0,5 ako je točno upola od prosjeka i sl., no mogu se unijeti i stvarne vrijednosti za pojedini sat jer je EnergyPLAN-u bitan samo relativni odnos brojeva. Ukupna potrošnja električne energije u PGŽ definirana je tako da bude u jednakom omjeru s ukupnom potrošnjom u cijeloj Hrvatskoj kako im se odnose i stanovništva, dakle $6,8551/100$. Podaci o potrošnji energije su iz 2019. iz ranije navedenih razloga vezanih uz COVID-19, a podaci o broju stanovnika su s popisa 2021 [68][69].

U nastavku ovog rada, za bilo koji podatak u EnergyPLAN-u za koji nisu navedeni izvor i/ili metodologija dobivanja, koristit će se model Hrvatske iz 2015. u EnergyPLAN-u projekta RESFLEX skaliranjem na po stanovništvu na ranije spomenuti način^[62].

U slučaju za PGŽ, unosi se samo podatak o potrošnji električne energije:

$$E_{el,PGŽ} = E_{el,HRV} * \frac{6,8551}{100},$$

gdje su:

$E_{el,PG\check{Z}}$ =ukupna potrošnja električne energije u PGŽ u svrhe različite od grijanja i transporta

$E_{el,HRV}$ =ukupna potrošnja električne energije u Hrvatskoj u svrhe različite od grijanja i transporta

Potrošnje toplinske energije definirane su gorivima (ugljen, prirodni plin, biomasa i sl.) u mjernim jedinicama energije te učinkovitostima. Distribucije su također definirane u odnosu na prosječnu satnu potrošnju. Također se može definirati grijanje iz nekoliko vrsta kogeneracijskih postrojenja, sunčanih kolektora (koji zahtijevaju distribuciju osunčanosti), pomoću toplinskih pumpi ili nespecificiranog električnog grijanja. Kao i kod električne energije, detaljna bilanca potrošnje i proizvodnje toplinske energije dana je u dokumentu „*Energija u Hrvatskoj – 2019.*“ Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja.

Potrošnja se toplinske energije dijeli u individualne i daljinske oblike opskrbe. Energo d.o.o. jedina je tvrtka na području PGŽ koja pruža usluge daljinskog grijanja^[70].

Individualno se grijanje u EnergyPLAN-u dijeli po vrsti goriva: ugljen, nafta (loživo ulje), prirodni plin ili biomasa, a unosi se također u godišnjoj vrijednosti te će, kao i električna energija, biti definirano kao udio od ukupna hrvatske potrošnje. Treba naglasiti kako će se u ovom prvom dijelu definiranja toplinske energije u EnergyPLAN-u u obzir uzimati svu onu potrošenu od bilo kojeg sektora osim industrije i prometa jer se to definira zasebno. Zahtjeva se i unos efikasnosti pojedine vrste bojlera kako bi se dobio stvarni iznos potrebnog goriva. Daljinsko grijanje u županiji vrši samo tvrtka Energo d.o.o. i to toplanama bez CHP^[21], a isporučena toplina unosi se direktno, uz mogućnost definiranja gubitaka^[70].

Isporučena toplinska energija računa se kao zbroj isporučene toplinske energije kućanstvima i one isporučene industriji:

$$Q_{dalj.,ispor.,uk} = Q_{dalj.,ispor.,kuć.} + Q_{dalj.,ispor.,ind.}$$

gdje su:

$Q_{dalj.,ispor.,uk}$ =ukupno daljinski isporučena toplina [Twh]

$Q_{dalj.,ispor.,kuć.}$ = daljinski isporučena toplina kućanstvima [TWh]

$Q_{dalj.,ispor.,ind.}$ = daljinski isporučena toplina industriji [TWh]

Faktor mrežnih gubitaka određuje se pomoću isporučene i proizvedene topline:

$$\beta_{mreža} = 1 - \frac{Q_{dalj.,ispor.,uk}}{Q_{dalj.,proiz.,uk}}$$

gdje su:

$Q_{dalj.,proiz.,uk}$ = ukupno proizvedena toplina [Twh]

$\beta_{mreža}$ = faktor gubitka toplinske energije prilikom transporta medija kroz mrežu

Postoji i mogućnost definiranja grijanja solarnim kolektorima koji zahtjevaju krivulju osunčanosti koja je također zadana relativno.

Potrebno je napraviti 2 satne distribucije potrošnje toplinske energije, jednu za individualno grijanje, a drugu za centralno daljinsko. Postupak je sličan, prvo treba odrediti stupanj-sat:

$$DD = (T_p - T_v) * h,$$

gdje su:

DD = stupanj-sat [$^{\circ}\text{Ch}$]

T_p = temperatura prostorije, zadano 21°C

T_v = vanjska temperatura tog sata [$^{\circ}\text{C}$]

Satno toplinsko opterećenje računa se na sljedeći način:

$$STP = \frac{THP}{\sum_1^{8784} DD} * DD,$$

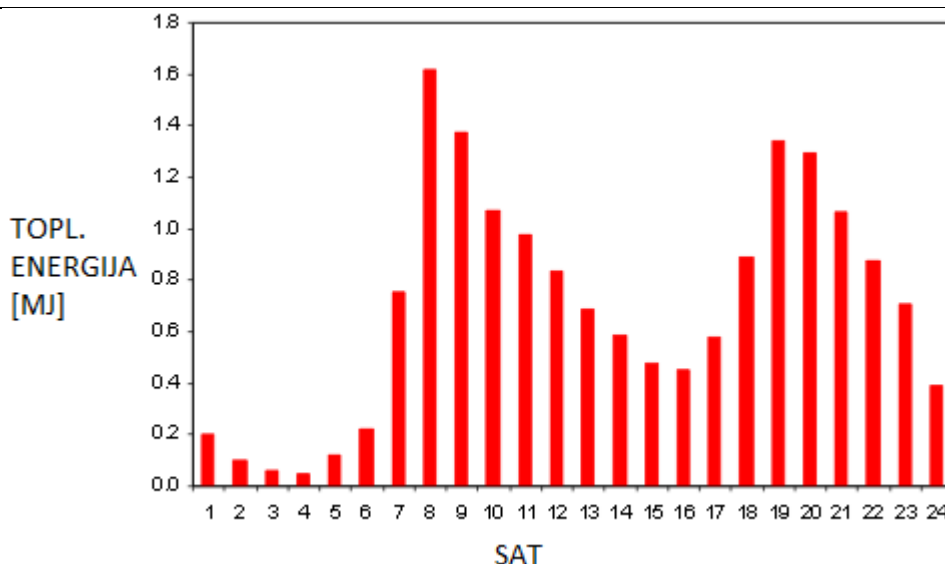
gdje su:

STP = satno toplinsko opterećenje [kWh]

THP = 80% potrošnje toplinske energije u sektorima kućanstva i usluga u slučaju individualnog grijanja; ukupna proizvodnja toplinske energije u slučaju centralnog daljinskog grijanja

$\sum_1^{8784} DD$ = zbroj svih DD -a tijekom jedne godine

Kod individualnog se grijanja unutarnja temperatura T_p za period od 23h do 6h smanjuje na 18°C . Daljinsko grijanje radi u periodu od 5h do 23h, osim ako vanjska temperatura T_v padne ispod te se onda uzima T_p od 15°C . U oba se slučaja dodaje i potrošnja energije u svrhe potrošne tople vode (PTV) koja predstavlja 20 % ukupne potrošnje, a jednaka je u svakom danu u godini te se po satu modelira kao što je prikazano na slici 16. ^[71]



Slika 16. Distribucija korištena za potrošnju toplinske energije u svrhe PTV.

Potrošnja energije potrebne za individualno grijanje s godinama će se smanjivati, najvjerojatnije zbog smanjenja broja stanovnika, a sve veći udio bit će pokriven dizalicama topline.

Smanjenje će se projicirati prema pretpostavkama za grad Rijeku ^[70]:

$$E_{gr,m} = 0,972 * E_{gr,m-1},$$

gdje su:

indeks „*m*“=godina

$E_{gr,m}$ = potrošnja toplinske energije u PGŽ u svrhe individualnog grijanja [GWh]

Potrošnja energije u industriji također je definirana gorivima u mjernim jedinicama energije: ugljen, nafta, prirodni plin, biomasa i vodik uz dodatak njihovih gubitaka. Ovaj će dio za PGŽ isto tako biti proračunat kao dio hrvatske potrošnje pojedinog goriva u industriji ^[68].

Ostavljena je mogućnost uređivanja satne distribucije za prirodni plin, no iz dosad viđenih EnergyPLAN projekata, zaključeno je kako je u praksi dovoljno točno ostaviti tu distribuciju konstantnom. U scenarijima će vodik i električna energija zamjenjivati fosilna goriva.

I u sektoru prometa EnergyPLAN vrlo je detaljan. Mogu se unijeti gotovo sve vrste goriva, u jedinicama energije, a električnu energiju, za koju je metoda računanja potrošnje prikazana u prošlom poglavlju, dijeli na tzv. *dumb* i *smart* punjenje. *Dumb* punjenje predstavlja punjenje običnim punjačima, bez mogućnosti upravljanja i *vehicle to grid* tehnologije. Za potrebu energije za takvu vrstu punjenja, uzet će se broj turističkih vozila jer se pretpostavlja da turisti imaju potrebu svoja vozila napuniti brže. *Vehicle to grid* (V2G) je sustav u kojem plug-in električna

vozila (BEV i PHEV) komuniciraju s električnom mrežom te ovisno o trenutnoj potražnji električne struje, ili se pune samo kad je vrhunac potrošnje energije nizak ili, ako je vozilo puno, vraća dio električne struje u mrežu te tako funkcionira kao ispomoć u mreži. *Smart* punjenje predstavlja način u kojem se vozilo prestaje puniti kada se dosegne određena razina napunjenosti baterije, ali nema mogućnosti vraćanja energije u mrežu. I *smart* i V2G načini punjenja definirat će se uz pomoć broja domaćih vozila koji bi se mogli puniti na duže periode, npr. preko noći ili za vrijeme radnog vremena.

Ukupni se kapacitet *smart* punjenja u pojedinoj godini i scenariju računao uz prosječni kapacitet baterije od 50 kWh^[33] jer u domaćim vozilima ima i kombija, kamiona i autobusa:

$$E_{smart} = n_{dom,dan,y,s} * 50,$$

E_{smart} = kapacitet *smart* punjenja u pojedinoj godini i scenariju [MWh]

$n_{dom,dan,y,s}$ = maksimalno očekivan broj električnih vozila u jednom danu u pojedinoj godini i scenariju

indeks „s“ = scenarij

Kako su električna vozila glavna tema ovog rada, njihov se broj i promjena odredio znatno detaljnije u prošlom poglavlju te će biti glavni objekt promjene u daljnjim analizama osjetljivosti. Podaci o projekcijama postotka automobila koji će u budućnosti koristiti tehnologije *smart* i V2G punjenja ne postoje pa su izabrani proizvoljno i prikazani u tablici 13.

Tablica 13. Implementacija *smart* i V2G punjenja.

postotak električnih vozila s tehnologijom		2030.	2040.	2050.
S0	<i>smart</i>	7	20	60
	V2G	2	8	20
S1	<i>smart</i>	13	40	40
	V2G	6	20	60
S2	<i>smart</i>	10	30	60
	V2G	4	14	40

5.2.2. Modeliranje trenutne proizvodnje energije u EnergyPLAN-u

Nakon potrošnje njene energije, potrebno je definirati njenu proizvodnju. Uglavnom se to radi nazivnim kapacitetima postrojenja, njihovim učinkovitostima, ali ponekad i satnim distribucijama.

Proizvodnja toplinske energije podijeljena je u 3 različita sustava daljinskog grijanja. Prvi su sustavi bez kogeneracijskog postrojenja (CHP), zatim oni s malim CHP-om i na kraju oni s velikim CHP-om. Tvrtka Energo d.o.o. posjeduje 11 kotlovnica koje proizvode isključivo toplinsku energiju i jednu malu energanu isključivo za jedan sportski objekt te će ona biti zanemarena. Dakle, sva će proizvodnja biti svrstana u prvu grupu ^[21].

Bitno je za naglasiti da, budući da EnergyPLAN ne nudi opciju potrošnje toplinske energije u industriji u prvom dijelu, to će se odraditi u dijelu proizvodnje na način da se unese u zamišljeni industrijski CHP sustav koji proizvodi 0 električne energije, a svu proizvedenu toplinsku energiju ujedno i potroši.

Pri proizvodnji električne energije mogu se još definirati termoelektre, nuklearne i geotermalne elektre i hidroelektre (akumulacijske i reverzibilne). Također se mogu postaviti uvjeti skladištenja energije kod reverzibilnih hidroelektrana. U PGŽ se trenutno nalazi 5 hidroelektrana od kojih je 1 reverzibilna i 1 termoelektrana ^[72].

Budući da postoje podaci o stvarnim postrojenjima, ovdje se proizvodnja neće skalirati u odnosu na proizvodnju u ostatku Hrvatske što će dati preciznije rezultate.

Sljedeći je korak definiranje proizvodnje električne energije iz varijabilnih OIE. Tu se može unijeti kapacitet vjetroelektrana (i *onshore* i *offshore*), protočnih hidroelektrana, fotonaponskih (FN) solarnih elektrana te još nekih oblika proizvodnje električne energije koji su od manjeg značaja za PŽG. Svaki oblik zahtjeva unos satne distribucije koja u svakom satu pretstavlja broj koji pomnožen kapacitetom daje proizvedenu električnu energiju u tom satu. U PGŽ trenutno postoji samo jedna FN elektrana, ona Cresu ^[73].

Uz pomoć njene lokacije i online alata za *renewablesninja* ^[74] može se dobiti tražena satna distribucija proizvodnje.

Za svaki od ranije navedenih izvora topline (ili u slučaju CHP topline i el. energije), moguće je unijeti omjere goriva – ugljena, loživog ulja, prirodnog plina i biomase, što će biti bitno, između ostaloga i za rezultate vezane uz emisije stakleničkih plinova. U slučaju PGŽ, tu je riječ o spomenutih 11 toplana. Potrošnja goriva unosi se u omjerima.

Na poslijetku treba definirati emisije CO₂ za pojedinu vrstu goriva, kg/GJ, te cijene investicija i održavanja za pojedinu vrstu instalacije.

5.2.3. Modeliranje scenarija potrošnje i proizvodnje energije u PGŽ

Kao što je već i spomenuto, napraviti će se predviđanja vezana uz povećanje potrošnje električne energije u 3 različita scenarija. Radi boljeg pregleda promjene, u tablicama 14. i 15. prikazano je kretanje udjela električnih vozila u Hrvatskoj, odnosno EU.

Tablica 14. Udio električnih vozila u Hrvatskoj tijekom godina.

Hrvatska		2030.	2050.
S0	udio [%]	2.5	30
	BEV/PHEV	70/30	80/20
S1	udio [%]	4.5	80
	BEV/PHEV	70/30	90/10
S2	udio [%]	3.5	65
	BEV/PHEV	70/30	85/15

Tablica 15. Udio električnih vozila u EU tijekom godina.

EU		2030.	2050.
S0	udio [%]	11.79	69
	BEV/PHEV	70/30	85/15
S1	udio [%]	15.60	100
	BEV/PHEV	70/30	100/0

S2	udio [%]	13.70	84.5
	BEV/PHEV	70/30	92.5/7.5

Za početak će se izračunati ukupne potrošnje energije u prometu do 2050., odnosno električne energije, dizela i benzina jer će električna energija zamijenjivati ta 2 oblika. Udjeli i omjeri su kvantitativno zadani u 2030. i 2050. godini a između njih se pretpostavio linearan rast broja električnih vozila, odnosno pad broja vozila pogonjenih fosilnim gorivima. Tako se udjeli električnih vozila pojedine vrste u pojedinoj godini do 2030., odnosno 2050. računaju:

$$\gamma_{j,y} = \gamma_{j,y-1} + \frac{\gamma_{2030,j} - \gamma_{2022,j}}{8}$$

$$\gamma_{j,y} = \gamma_{j,y-1} + \frac{\gamma_{2050,j} - \gamma_{2030,j}}{20}$$

gdje je:

indeks „j“= vrsta vozila

indeks „y“=godina

$\gamma_{i,j}$ =udio električnih vozila u vrsti vozila „i“ u godini „j“.

Račun za apsolutni broj vozila te njihovu potrošnju pokazan je u 5.1.1. i ekvivalentan je za svaku godinu.

Također će se u obzir uzeti i povećanje broja toplinskih pumpi koje je isto pretpostavljeno kao linearno do 2050. godine, a rast je prikazan u tablici 16. Prosječna cijena pretpostavljena je na 3000 € po komadu, a električna snaga 3.5 kW, dakle prosječna cijena je 0.85714 €/W. COP je 3 [75][76][77][78].

Električna energija potrošena za grijanje iznosi:

$$E_{el,gr,y} = \frac{Q_{uk,to,y} - Q_{fos,to,y}}{3},$$

gdje su:

$E_{el,gr,y}$ =električna energija utrošena za grijanje u određenoj godini [kWh]

$Q_{uk,to,y}$ =ukupno toplinsko opterećenje u određenoj godini [kWh]

$Q_{fos,to,y}$ =toplinsko opterećenje pokriveno izgaranjem fosilnih goriva u određenoj godini [kWh]

Dokumenata koji govore on predviđanjima rasta broja krovnih solarnih panela nema, no gotovo je sigurno kako će njihov broj samo rasti te će njihov rast biti procijenjen odokativno, kako je prikazano u tablici 17.

Također će se pretpostaviti porast broja solarnih kolektora na krovovima s mogućnošću skladištenja topline dovoljne za 1 dan grijanja. Podaci o prijekcijama rasta broja solarnih kolektora također su vrlo šturi pa će se pretpostaviti da je projekcija od 0,3 kW_{th} po osobi u 2030. [79] ekvivalentna scenariju S2, a uz pomoć broja stanovnika PGŽ [66], prosječne toplinske energije koja se može dobiti iz metra kvadratnog kolektora te prosječne snage po metru kvadratnom [80], lako se dobije ukupna toplina dobivena kolektorima, tablica 18. Prema [81] u Danskoj solarni kolektor proizvede oko 165 kWh_{th}/god, a prema [82] u Madridu oko 340 kWh_{th}/god, što je otprilike dvostruko više, kao što im se odnose i direktna sunčeva ozračenja [83] pa kako Rijeka ima otprilike 20 % intenzivnije sunčevo ozračenje, uzrt će se iznos proizvedene godišnje toplinske energije 20 % veći nego u Danskoj, dakle 200 kWh_{th}. Ukupna proizvedena toplinska energija godišnje računa se:

$$Q_{solkol,y} = \frac{\eta_{solkol,y} * n_{st}}{0.7} * 200,$$

gdje su:

$Q_{solkol,y}$ =toplina proizvedena iz solarnih kolektora u određenoj godini [kWh_{th}]

$\eta_{solkol,y}$ =instalirana snaga solarnih kolektora po stanovniku u određenoj godini [kWh_{th}]

n_{st} =broj stanovnika (265.419)

0.7=prosječna specifična snaga kolektora [kW_{th}/m²]

200=prosječna toplinska energija koju godišnje proizvede solarni kolektor [kWh_{th}/m²]

U tablici 19. vidi se postepen prelazak centralnog sustava grijanja s loživog ulja i prirodnog plina na biomasu po godinama i scenarijima.

Usko vezano uz krovne solarne panele je i skladištenje energije u baterijama. Logično je pretpostaviti da će kroz budućnosti broj kućnih baterija za takvu namjenu rasti. Odokativno će se procijeniti porast ukupne snage takvih baterija, odnosno energije koju skladište na osnovu današnjeg prosjeka tih veličina (5.4 kW snage i 25 kWh kapaciteta za skladištenje energije), tablica 20. [84] Dodat će se i jednaki iznosi snaga i energija pohranjenih u baterijama spojenim na mrežu.

Procjenjivat će se prema broju kućanstava koja imaju instalirane solarne panele, tablica 17., uz poznat broj kućanstava (110.000) [69].

Tablica 16. Postotak grijanja pokriven električnom energijom.

Postotak toplinskog opterećenja pokrivenog električnom energijom [%]	2030.	2040.	2050.
S0	6,4	10,7	15,0
S1	19,3	32,1	45,0
S2	10,7	17,9	25,0

Tablica 17. Udio površine krovova pokrivenih solarnim panelima u PGŽ.

udio površine krovova pokrivenih solarnim panelima	2030.	2050.
S0	0,01	0,1
S1	0,04	0,4
S2	0,025	0,25

Za 1 kW instalirane snage, potrebno je 6,75 m² krova ^[85], a površina pokrivena solarnim panelima iznosi:

$$A_{sol} = A_{grad} * 0,5 * 0,7 * 0,85,$$

gdje su:

A_{sol} = površina pokrivena solarnim panelima [m²]

A_{grad} = podna površina objekata sa solarnim panelima [m²]

0,5 je faktor jer se uzima da prosječna građevina ima 2 etaže, 0,7 je faktor sigurnosti radi građevina s više etaža, a 0,85 faktor sigurnosti radi dimnjaka, prozora i slično koji mogu uzimati dio površine.

Površina građevinskih objekata skalirat će se u odnosu na površinu svih objekata u primorskoj Hrvatskoj kako im se odnose i stanovništva ^{[86][69]}.

Tablica 18. Instalirana snaga solarnih panela po stanovniku.

Instalirana snaga solarnih kolektora po stanovniku [kW _{th}]	2030.	2040.	2050.
S0	0,1	0,5	1,0
S1	0,5	2,0	4,0
S2	0,3	1,0	2,0

Tablica 19. Udio goriva u daljinskom grijanju.

Udio goriva u daljinskom centralnom grijanju		2030.	2040.	2050.
S0	loživo ulje	0,50	0,35	0,25
	prirodni plin	0,50	0,50	0,40
	biomasa	0,00	0,15	0,35
S1	loživo ulje	0,35	0,10	0,00
	prirodni plin	0,50	0,30	0,00

	biomasa	0,15	0,60	1,00
S2	loživo ulje	0,43	0,25	0,10
	prirodni plin	0,50	0,40	0,20
	biomasa	0,07	0,35	0,70

Tablica 20. Udio kućanstava s baterijom za skladištenje energije.

Udio kućanstava s baterijom za skladištenje energije proizvedene solarnim panelima	2030.	2040.	2050.
S0	0	0,02	0,05
S1	0,01	0,1	0,25
S2	0	0,04	0,12

Porast potrošnje električne energije nevezan uz vozila i dizalice topline bit će određen kao linearan godišnji rast iz postojećih podataka, odnosno 39 GWh godišnje ^[68].

Energija u industriji koja se dosad dobivala iz fosilnih goriva, zamijenit će se energijom iz vodika. U tablici 21. prikazani su postoci energije u industriji koja dolazi iz vodika po scenarijima i godinama. Postoci u 2030. i 2040. definirani su proizvoljno u odnosu na zadane projekcije u 2050 ^[87]. Ostatak fosilnih goriva zamijenit će se električnom energijom ili biomasom, tablica 22. Biomasa već sada predstavlja izvor oko 11 % energije utrošene u industriji. Budući da PGŽ obiluje drvetom, pretpostavit će se da nije nerealno očekivati značajnije uključunje biomase u industriju čak ni u scenariju S0.

Tablica 21. Vodik u industriji kroz godine i scenarije.

Postotak energije u industriji iz vodika [%]	2030.	2040.	2050.
S0	0	0,5	2
S1	2	8	24
S2	1	5	15

Tablica 22. Biomasa i električna energija u industriji kroz godine i scenarije.

Postotak energije u industriji iz vodika [%]		2030.	2040.	2050.
S0	biomasa	13	15	20
	el. energija	2	8	18
S1	biomasa	15	22	30
	el. energija	6	20	46
S2	biomasa	14	18	25
	el. energija	4	15	35

5.2.4. Tehno-ekonomska analiza izgradnje punionica za električna vozila

Provest će se ekonomska analiza isplativosti izgradnje brzih punionica u PGŽ. Rashodi navedeni u tablici 4. (cijena i instalacija) prikazat će se kao investicija u 2022. za punionice potrebne u 2030., zatim investicija u 2030. za punionice potrebne u 2040. i na kraju investicija u 2040. za punionice potrebne u 2050. Bitno za naglasiti je da se naknada za spajanje neće uzimati u obzir za lokacije na kojima punjači već postoje. Način prihodovanja je razlika u cijeni kilovat-sata električne energije pri kupnji iz mreže i prodaji potrošačima. Razlika u cijeni će se odrediti analizom osjetljivosti, odnosno pronaći će se najniža razlika u cijeni koja je ekonomski isplativa. Pod prodanu energiju uzimat će se onaj dio energije koji troše turistička vozila. Diskontna

stopa je pretpostavljena na 12 %. Amortizacijski vijek trajanja pretpostavljen je na 8 godina^[88], a stopa poreza na dobit 10 % za prihode u iznosima do 995.421.06 €, a iznad toga 18 %.^[89]

Pretpostavit će se 25 % privanog ulaganja, a ostalo će biti posuđeno od banke uz kamatnu stopu od 5 %. Kao i investicija, i amortizacija i kredit će se razdvojiti na 3 dijela, dakle novac od banke će se posuđivati 3 puta, a isplaćivat će se točno onoliko godina do početka otplate novog kredita. Kao rezultat će biti prikazani financijski i ekonomski tijekovi novca za svaki scenarij, gdje financijski tok uzima u obzir privatni kapital i kredit podignut za ostatak investicije, a ekonomski se računa kao da kredita nema, odnosno on ne uzima u obzir podrijetlo novca.

Jedan od kriterija isplativosti projekta je neto sadašnja vrijednost (NPV – *net present value*) predstavlja zbroj svih sadašnjih vrijednosti (PV – *present value*, vrijednost novca iz budućnosti kao da ga imamo sada) umanjenu za iznos početne investicije te se koristi kao kriterij za upuštanje u projekt, ako je veća od 0, projekt se prihvaća.

Unutranja stopa povrata (IRR – *internal rate of return*) predstavlja najmanju diskontnu stopu koju vodstvo koristi kako bi identificiralo koja će kapitalna ulaganja ili budući projekti donijeti prihvatljiv povrat te posljedično u koji projekt treba uložiti sredstva. Drugim riječima, to je stopa po kojoj je neto sadašnja vrijednost troškova ulaganja jednaka neto sadašnjoj vrijednosti očekivanih budućih prihoda investicije.

6. MODELIRANJE ENERGETSKOG SUSTAVA I OPTIMALNOG RASPOREDA PUNIONICA ZA ELEKTRIČNA VOZILA

Rezultati će se projicirati za 2030., 2040. i 2050. godinu u 3 različita scenarija, S0, S1 i S2. Za početnu će se godinu uzeti 2022. Cilj je izbaciti što više fosilnih goriva, a prilikom dodavanja izvora električne energije, dodavat će se isključivo solarne elektrane (i krovni paneli) i vjetroelektrane.

6.1. Trenutno stanje potrošnje i proizvodnje energije u Primorsko-goranskoj županiji

Ukupna potrošnja električne energije u PGŽ iznosi 1181.43284375 GWh.

U tablici 23. navedene su ukupna potrošnja toplinske energije te potrošnja ugljena, tekućih goriva, plina te drveta i biomase u svrhe različite od industrije i prometa, ali i učinkovitosti za pojedinu vrstu bojlera, odnosno mrežni gubici za toplinsku energiju. Prema ^[86] potrebna godišnja toplina za grijanje po metru kvadratnom objekta u primorskoj Hrvatskoj iznosi 38.75 kWh, a prosječna kvadratura 214.97 m², dakle godišnje je potrebno otprilike 8330 kWh po objektu.

Tablica 23. Potrošnja različitih oblika energije u svrhe grijanja.

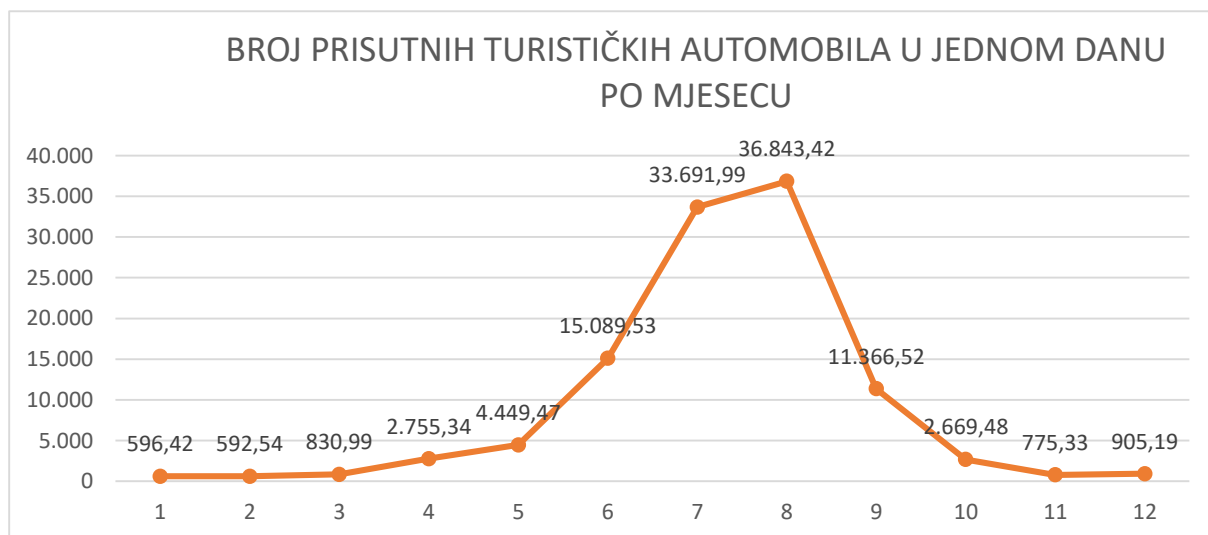
oblik energije	toplinska energija	ugljen	tekuća goriva	plin	drvo i biomasa
ukupna potrošnja goriva [GWh]	46,3133	1,71378	353,80063	549,74296	813,474858
mrežni gubici/učinkovitost	0,227	0,8	0,8	0,9	0,7

Tablica 24. prikazuje potrošnju istih goriva u svrhe industrije.

Tablica 24. Potrošnja različitih oblika energije u industrijske svrhe.

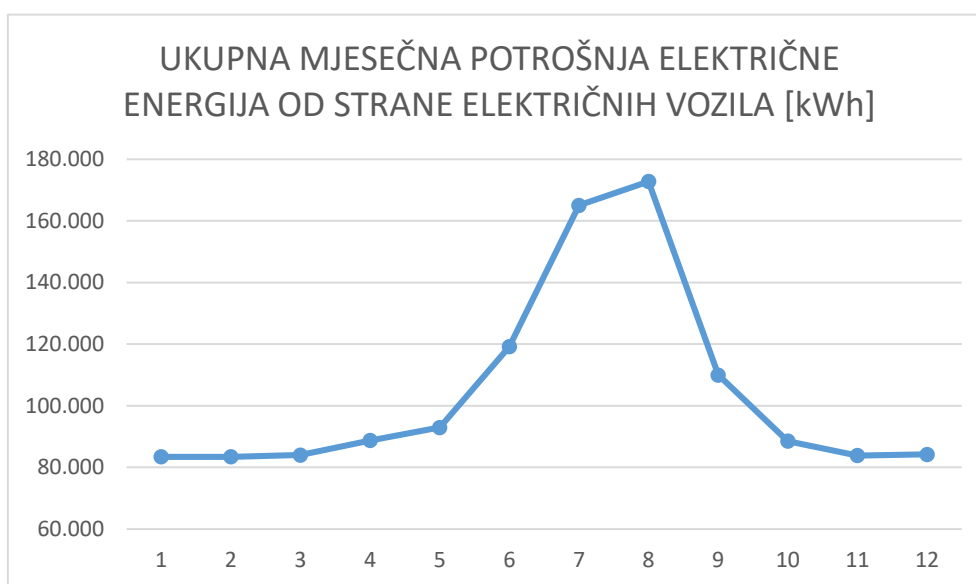
oblik energije	toplinska energija	ugljen	tekuća goriva	plin	drvo i biomasa
ukupna potrošnja [GWh]	4,5209	145,48099	37,322348	161,47628	42,65411

Za sektor prometa prvo je izračunat broj automobila koji su prisutni u prosječnom danu u svakom mjesecu kako bi se dobilo vršno opterećenje na energetska infrastrukturu PGŽ, a na slici 17. vidi se broj turističkih automobila u prosječnom danu u svakom mjesecu. U kolovozu, vrhuncu sezone, taj broj iznosi 36.818. Dakle u svakom danu u kolovozu, bit će prisutno 36.818 dodatnih automobila u PGŽ što je izuzetno značajna brojka jer je broj domaće registriranih vozila nešto iznad 150.000.

**Slika 17. Broj turističkih automobila prisutnih u jednom danu po mjesecu u PGŽ.**

Potrošnja ukapljenog naftnog plina, prirodnog plina i kerozina pretpostavit će se kao konstantne tijekom godine i iznositi će 53,401229 GWh, 2,399285 GWh, odnosno 7,951916 GWh na razini godine.

Slika 18. prikazuju mjesečnu potrošnju električne energije u prometu 2022. uključujući sve vrste vozila te turističke automobile. Godišnja potrošnja benzina iznosi 786,897653074 GWh, a dizela 1.304,694406567 GWh. Vidljivo je da električna vozila u kolovozu zahtjevaju otprilike dvostruko više električne energije nego u siječnju što je, dakako, nezanemariv skok, no u sadašnjosti je i iznos u kolovozu zanemariv u odnosu na ukupnu potrošnju električne energije što će se u budućnosti, naravno, promijeniti. Potrošnje dizela i benzina znatno su veće i godišnja osciliranja su manja, pogotovo kod dizela jer su automobili na dizel zastupljeniji u Hrvatskoj, ali i zbog kombija, kamiona i busova koji svi koriste dizel.



Slika 18. Potrošnja električne energije za promet po mjesecu u 2022. u PGŽ.

Bez kogeneracije, u PGŽ se u toplanama proizvede 65,737157 GWh toplinske energije koja se predaje u gotovo 10.000 kućanstava i oko 50 poslovnih objekata. Od goriva se koriste prirodni plin i loživo ulje te će biti balansirani u omjeru 1:1.

Postrojenja u županiji koja proizvode isključivo električnu energiju prikazana su u tablici 25. TE Rijeka pogonjena je loživim uljem, a učinkovitost joj je 0,37^[90].

Učinkovitost akumulacijskih elektrana je 0,9^[91].

U PGŽ nema postrojenja koja dobivaju korisnu energiju iz otpada.

Tablica 25. Postrojenja koja proizvode električnu energiju u PGŽ.

naziv	vrsta	kapacitet [MW]	proizvodnja u godini dana [GWh]
RHE Lepenica	reverzibilna hidroelektrana	1,14	0,267
HE Zeleni Vir	protočna hidroelektrana	1,7	7,7
HE Rijeka	protočna hidroelektrana	39,8	890
HE Vinodol	akumulacijska hidroelektrana	94,5	139
CHE Fužine	reverzibilna hidroelektrana	4,6	2,89
TE Rijeka	termoelektrana	320	695
SE Cres	sunčana elektrana	6.5	8.5

Na strani proizvodnje u EnergyPLAN-u još se može definirati specifični CO₂ sadržaj za pojedine vrste goriva. U tablici 26. prikazane su emisije koje će se koristiti.

Za loživo ulje, dizel, benzin i kerozin unosi se jedna vrijednost pa je unesen prosjek. Vrijednosti su blizu jedna drugoj ^{[92][63]}.

Tablica 26. Emisije CO₂ po vrsti goriva.

gorivo	ugljen	loživo ulje/dizel/benzin/kerozin	prirodni plin	ukapljeni naftni plin
sadržaj CO ₂ [kg/GJ]	101,39	76,32	55,82	61

Cijene investicija ^[93] unesene su za krovne solarne panele, solarne elektrane i vjetroelektrane jer se očekuje isključivo njihova izgradnja u budućnosti, a u tablici 27. još su radi usporedbe prikazane i cijene postrojenja na ugljen i plin. Ostale su cijene i troškovi održavanja ostavljeni kao u projektu *RESFLEX*. Tečaj američkog dolara u euro je po datumu 15.2.2023 ^[94].

Tablica 27. Specifični investicijski troškovi postrojenja.

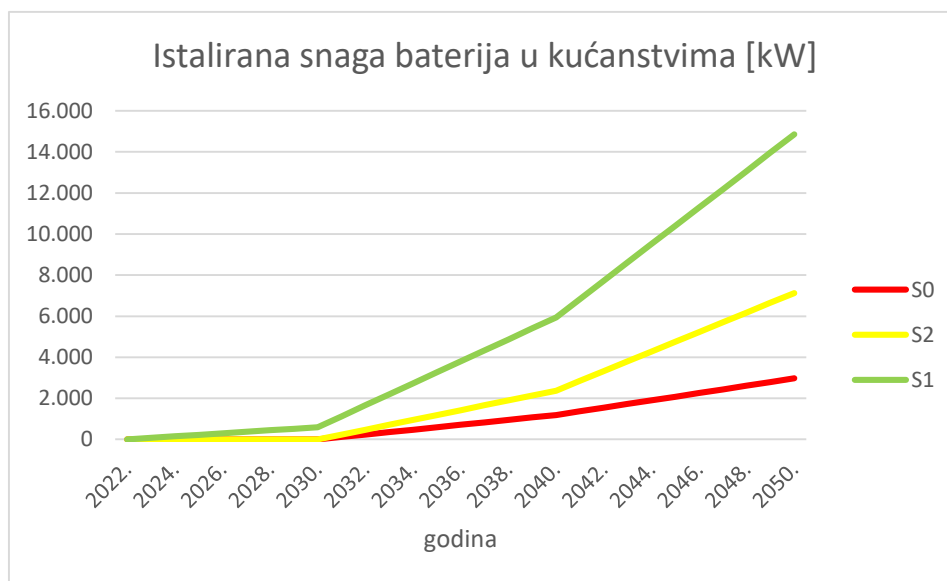
vrsta postrojenja	krovni solar	solarna elektrana	vjetroelektrana	plinsko postrojenje	kombinirano plinsko	postrojenje na ugljen
cijena [€/kW]	2.483,95	816,32	1.107,22	757,68	932,53	4.227,98

Potrebno je unijeti i cijene goriva, u konkretnom slučaju nafte, prirodnog plina, UNP-a, dizela i benzina (jednaka cijena kerozinu), tablica 28. Sve cijene unesene su onakve kakve su bile 15.2.2023. i ako su podaci nađeni u drugoj valuti, prebačene su u euro po tečaju od istog datuma ^{[94][63][95][96][97][98]}.

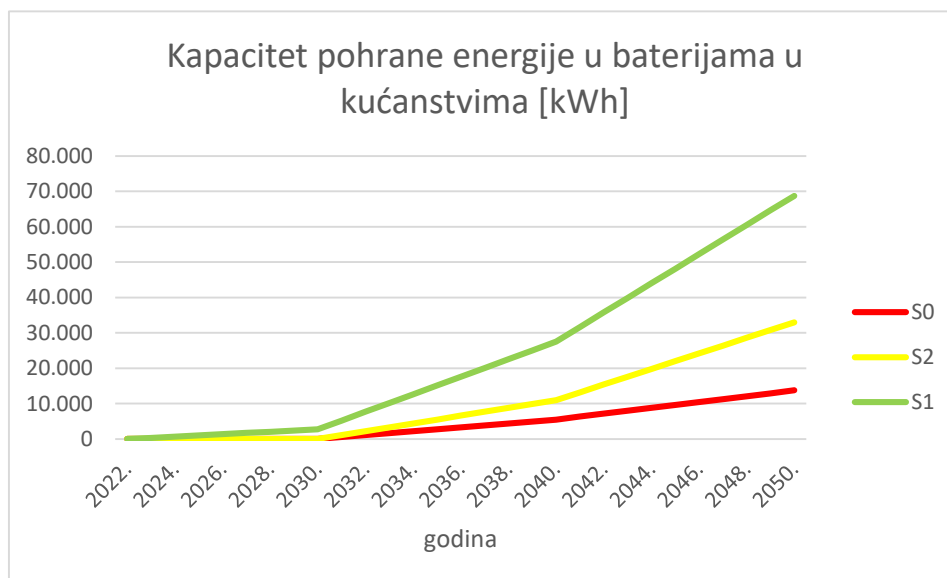
Tablica 28. Specifične cijene goriva.

gorivo	nafta	prirodni plin	benzin	dizel	UNP	biomasa
cijena [€/GJ]	12,49	2,22	45,31	43,06	45	6,79

Slike 19. i 20. prikazuju instaliranu snagu, odnosno kapacitet pohrane energije tijekom godina i scenarija u kućanstvima s baterijama za skladištenje energije.



Slika 19. Istalirana snaga baterija u kućanstvima.

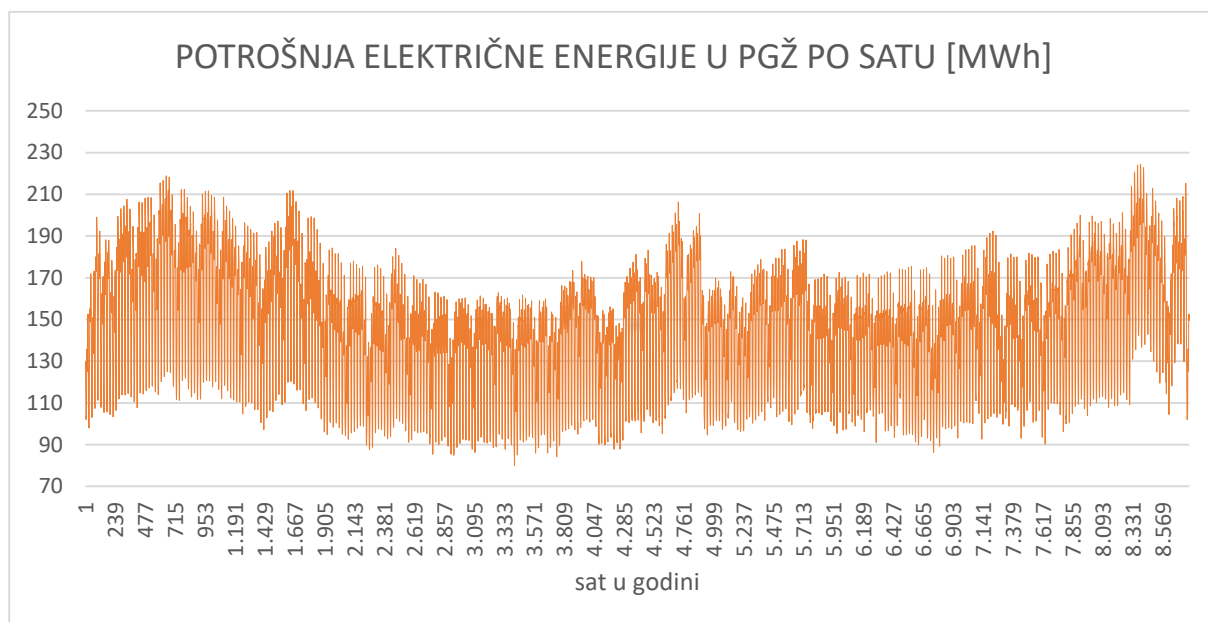


Slika 20. Kapacitet pohrane energije u baterijama u kućanstvima

6.1.1. Izrada satnih distribucija potrošnje

Satna krivulja potrošnje električne energije raspoređena je u vremenu kao i potrošnja u čitavoj Hrvatskoj, no, radi kvantitativnog prikaza, smanjena je na ukupni iznos potrošnje PGŽ, slika 21 [62].

Minimalna vrijednost iznosi 80 MWh, srednja 145 MWh, a maksimalna 224 MWh. Vidljivo je kako su najmanje potrebe za električnom energijom u razdobljima između zime i turističke sezone, dakle u proljeće i jesen. Očekuje se kako će masivnom elektrifikacijom prometa, dolazak turista izravnati krivulju u proljeće, barem u svibnju, lipnju i rujnu te da će srpanj i kolovoz postati vrhunci godine po pitanju potrošnje električne energije.



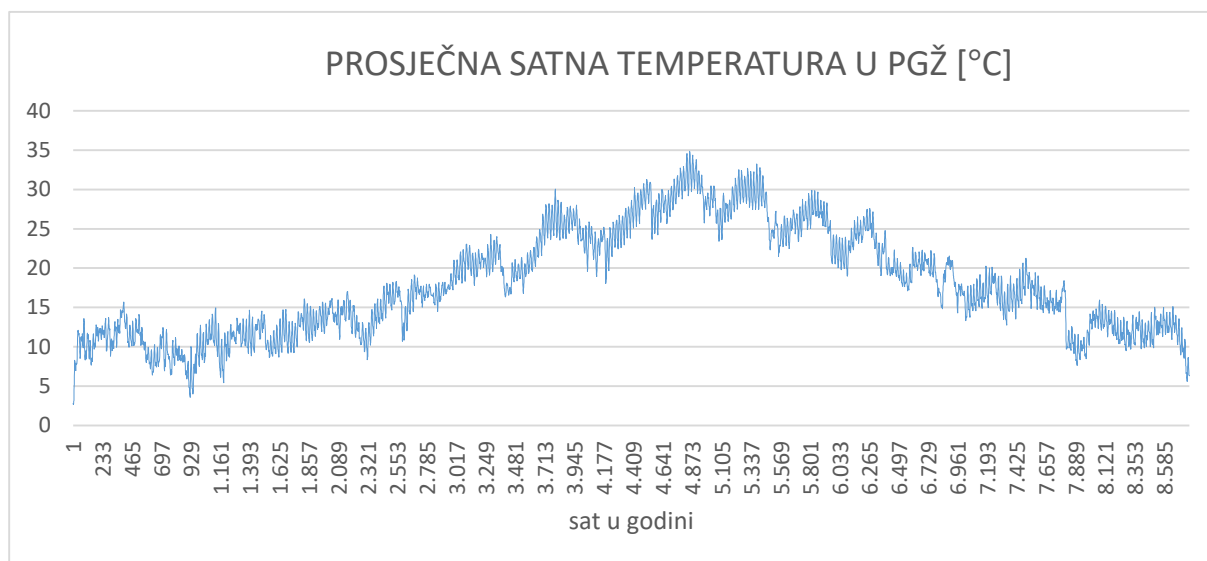
Slika 21. Potrošnja električne energije po satu.

Na slici 22. vide se prosječne temperature u svakom satu u PGŽ. Maksimalna je vrijednost 34,9 °C, prosječna 18,1°C, a minimalna 2,7 °C. [99]

Broj stupanj sati za pojedinu vrstu grijanja iznosi (indeks „ind“ odnosi se na individualni način grijanja, a „cent“ na daljinski centralni način):

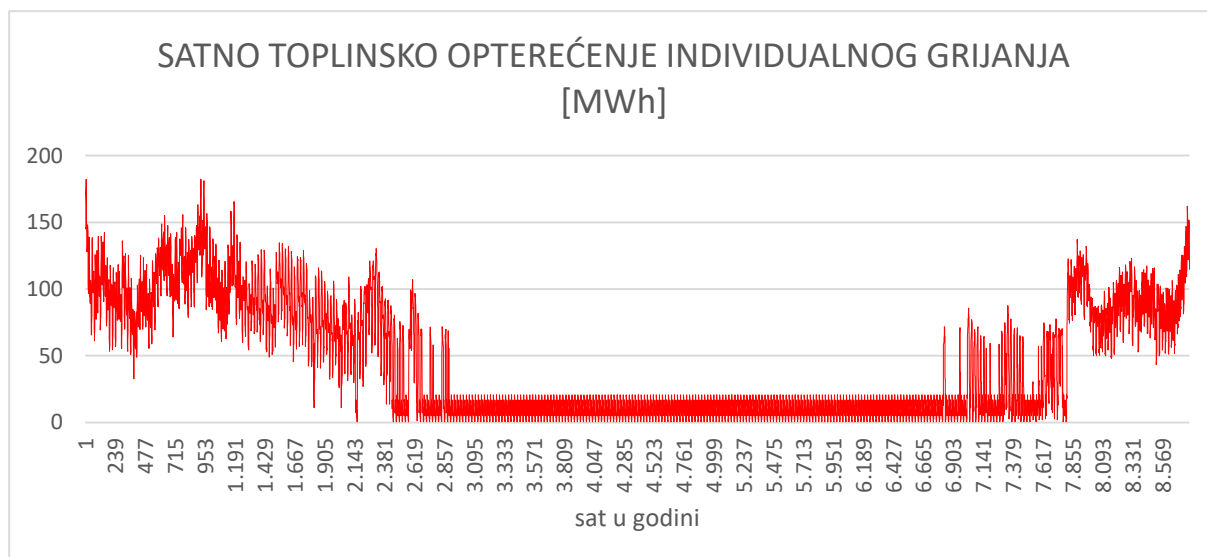
$$DD_{ind} = 32.771,27 \text{ °Ch}$$

$$DD_{cent} = 28,574.83 \text{ °Ch.}$$

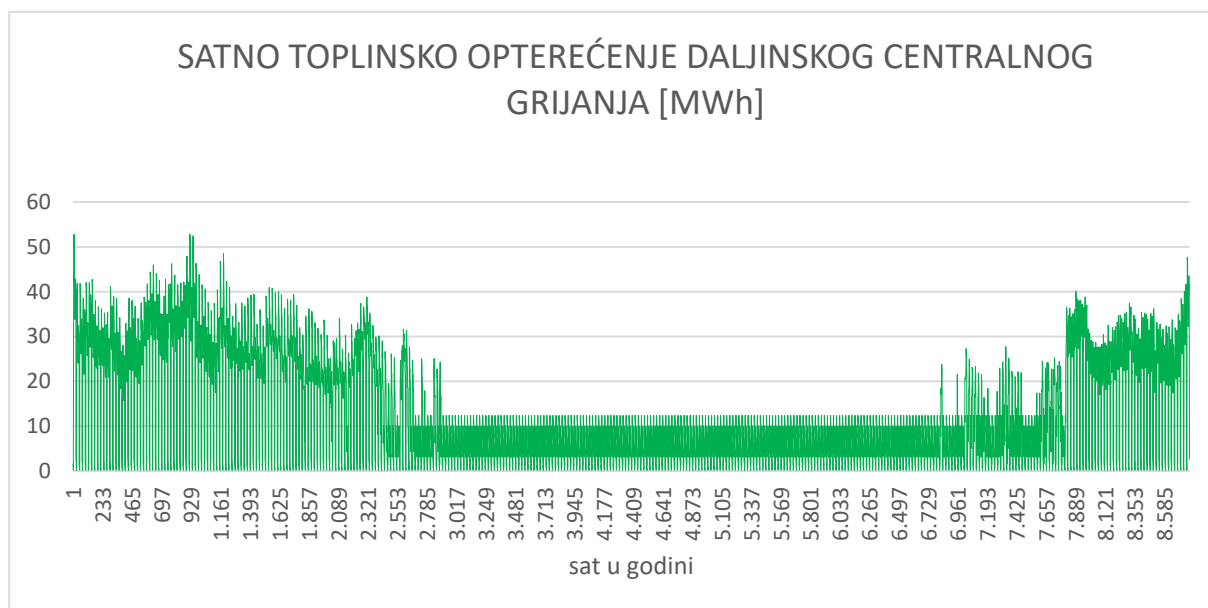


Slika 22. Prosječna temperatura u PGŽ.

Slike 23. i 24. prikazuju stupanj toplinskog opterećenja za PGŽ za slučajeve individualnog i daljinskog grijanja.

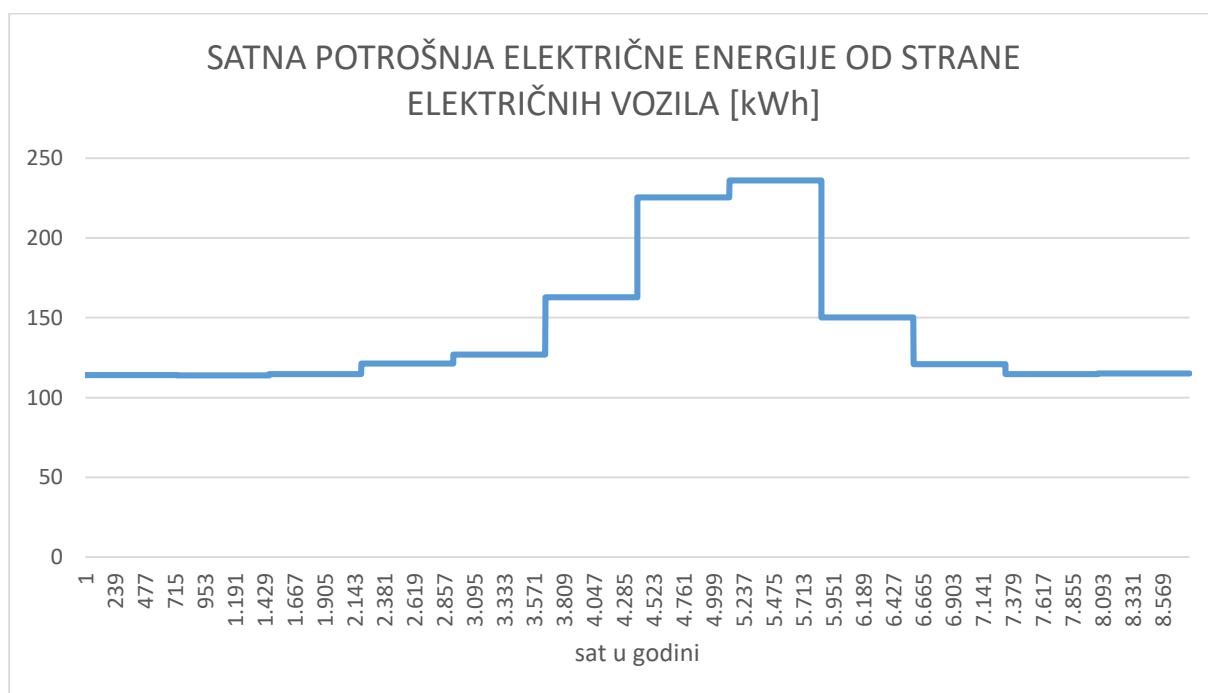


Slika 23. Satno toplinsko opterećenje individualnog grijanja.

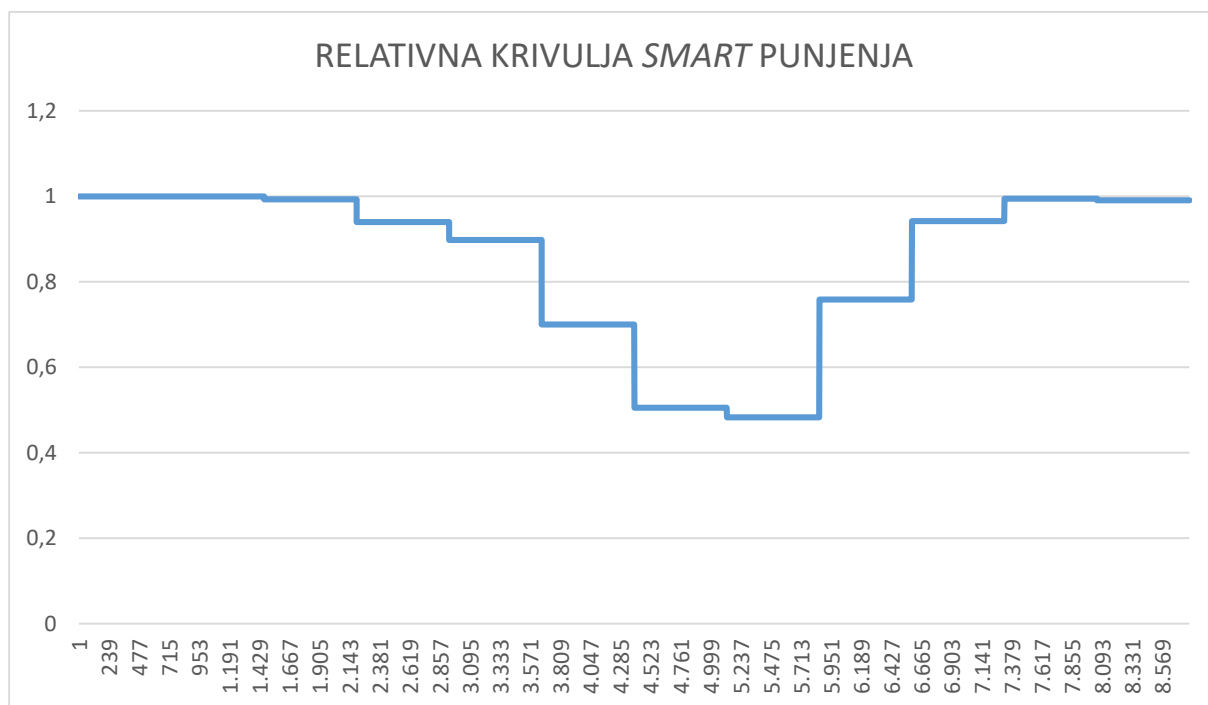


Slika 24. Satno toplinsko opterećenje daljinskog centralnog grijanja.

Kao distribucija potrošnje električne energije od strane električnih vozila, koristit će se krivulja sa slike 18., ali modificirana na 8.784 sata umjesto 12 mjeseci tako da vrijednosti u svakom mjesecu budu konstantne, vidljivo na slici 25. Za *smart* punjenje, koristit će se krivulja koja je inverzna krivulji za *dump* punjenje, a koja se na slici 26. vidi u kvalitativnom obliku.



Slika 25. Satna potrošnja električne energije od strane električnih vozila u PGŽ u 2022.



Slika 26. Kvalitativna krivulja smart punjenja.

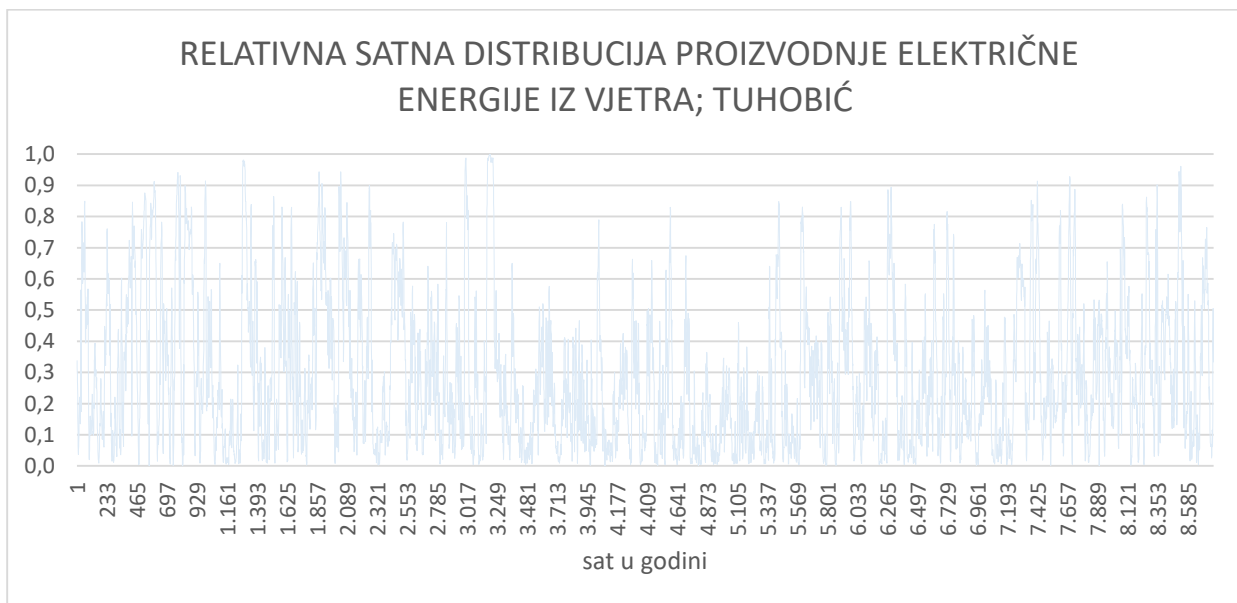
6.1.2. Izrada satnih distribucija proizvodnje

Prva satna krivulja koja se unosi je za proizvodnju energije iz vjetra. Vjetroelektrana u PGŽ još uvijek nema, no kroz scenarije koji će se kasnije razraditi, velika je mogućnost da će kao prijedlog pri povišenju potražnje za električnom energijom biti upravo vjetroparkovi. Za izradu je korišten online alat *renewablesinja* [74].

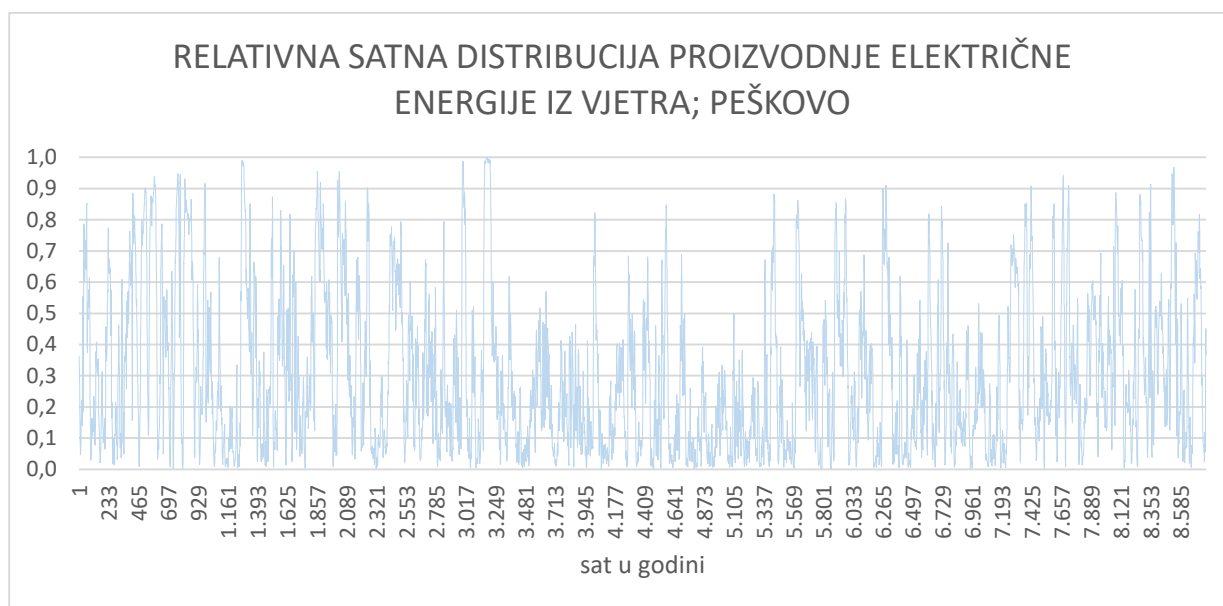
Budući da EnergyPLAN dopušta unos samo 7 izvora iz OIE, a 3 mjesta već su zauzeta za točnu hidroelektranu, postojeću fotonaponsku solarnu elektranu i krovne panele, izdrađene su satne krivulje za 4 od 5 ponuđenih lokacija za vjetroelektrane i samo 1 za solarne elektrane (čija će se instalirana snaga samo dodavati već postojećoj na Cresu) zbog pretpostavke da se vjetar više razlikuje od lokacije do lokacije nego što se razlikuje osunčanost. Potencijalne vjetroelektrane Tuhobić i Pliš promatrat će se kao jedna i s istom satnom distribucijom jer su im lokacije udaljene samo 6 km i na lsičnim su nadmorskim visinama. Budući da je vjetropotencijal procenjen na 342 MW, svaki će vjetropark imati petinu instalirane snage, dakle 68,4 MW što je znatno iznad dosadašnje prosjeka u Hrvatskoj, a kako je naglašeno da se ne preporučaju veće solarne elektrane od 10 MW, jedna izgrađena hipotetska elektrana će imati do 60 MW (u inkrmentima po 10 MW, ovisno o godini i scenariju). Prednost u izgradnji dat će se solarnim

elektranama jer je u spomenutim dokumentima naglašeno kako ih je većina već u kasnim fazama planiranja.

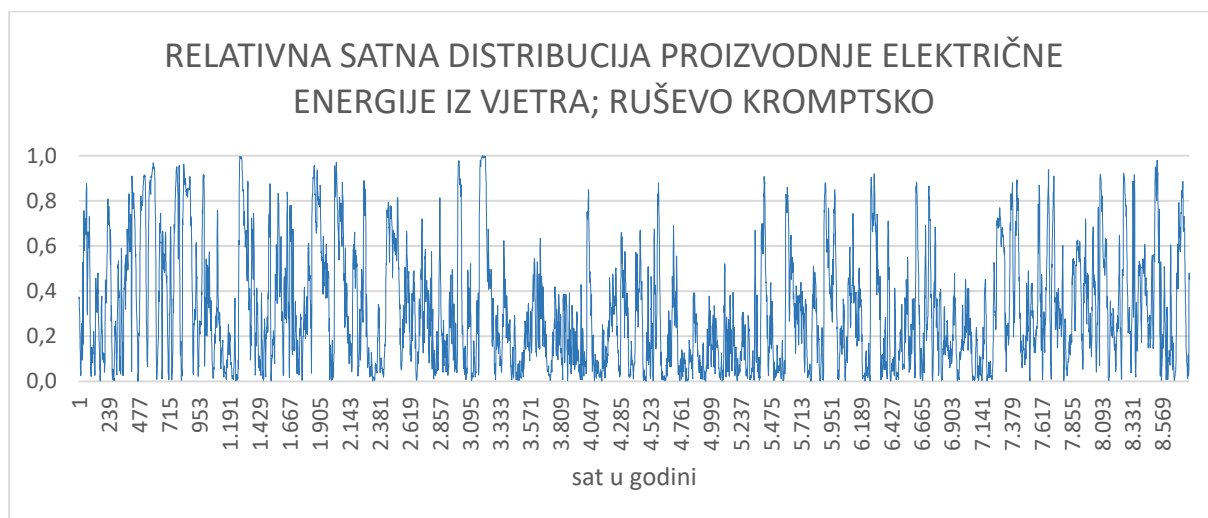
Visine osi vrtnje postavljene su na 90 m što je odokativni prosjek dosadašnjih vjetroelektrana u Hrvatskoj ili malo više od njega budući da su novije vjetroelektrane u pravilu sve više ^[100]. Dostupna godina je bila 2019. Krivulja je modificirana na način da se proizvodnja u svakom satu podjelila proizvodnjom u najproduktivnijem satu, dakle vrijednosti su između 0 i 1, slike 27.-30.



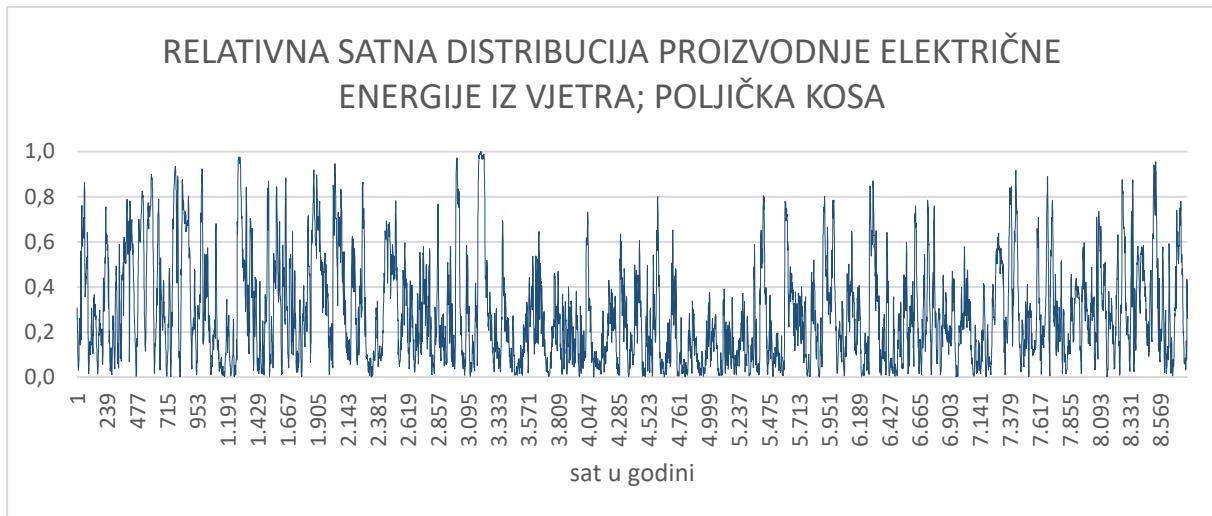
Slika 27. Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz vjetra; Tuhoći.



Slika 28. Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz vjetra; Peškovo.

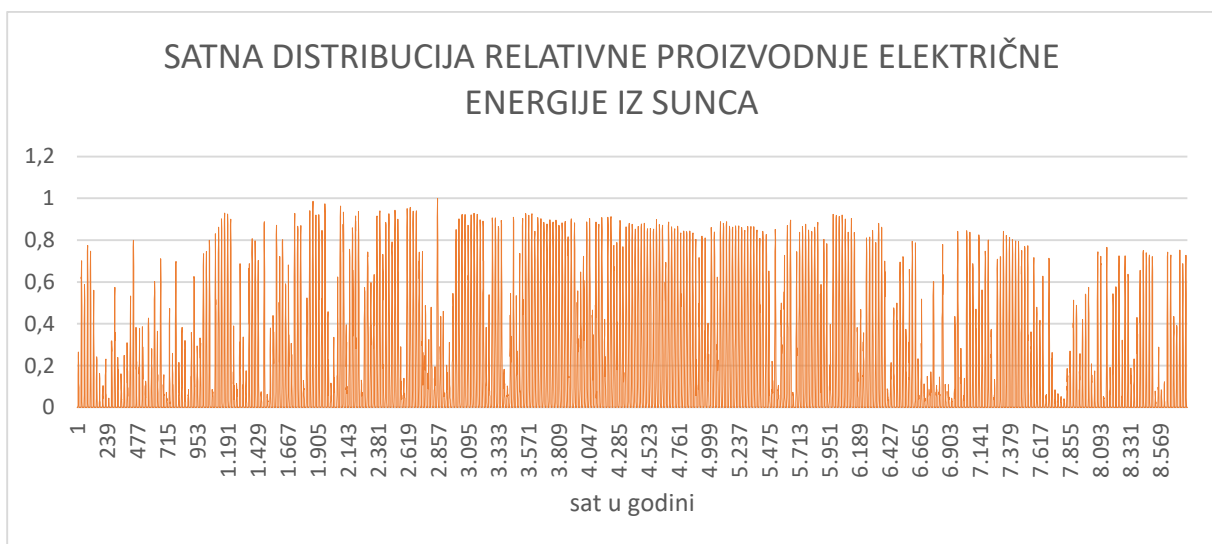


Slika 29. Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz vjetra; Ruševo Krompsko.

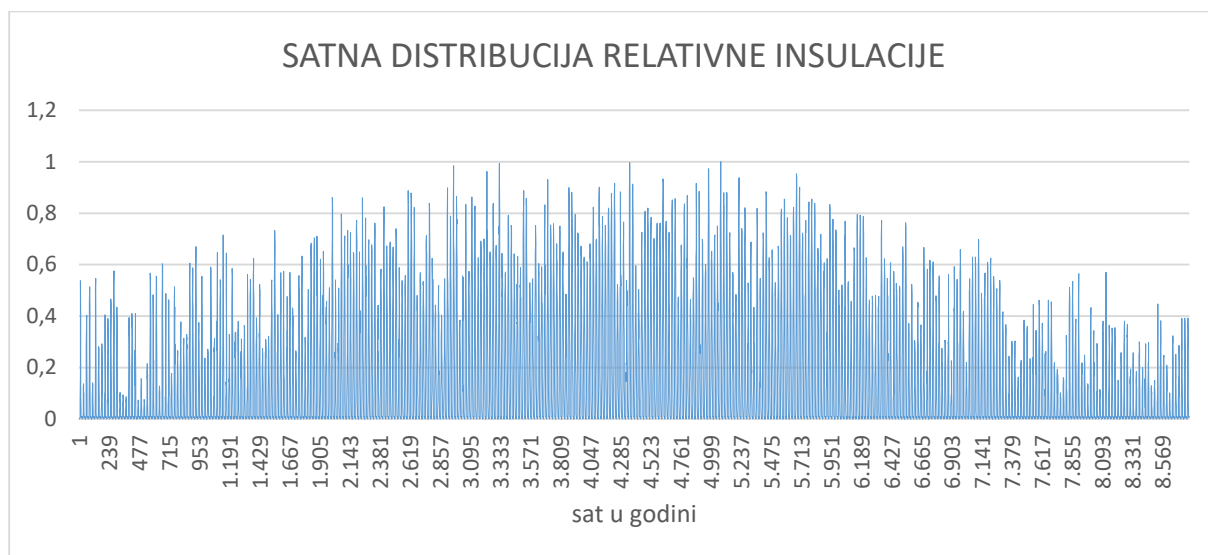


Slika 30. Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz vjetra; Poljička Kosa.

Za položaj sunčane elektrane, izabran je Novi Vinodolski kao jedina predložena kopnena lokacija. Distribucija je napravljena kao i kod vjetra, relativno u odnosu na sat s najvećom produkcijom, ovaj puta s podacima za 2015. godinu, slika 31. Računalo se s nepokretnim panelima. Za solarne panele postavljene na krov, distribucija izolacije preuzeta je s projekta RESFLEX^[62], slika 32.

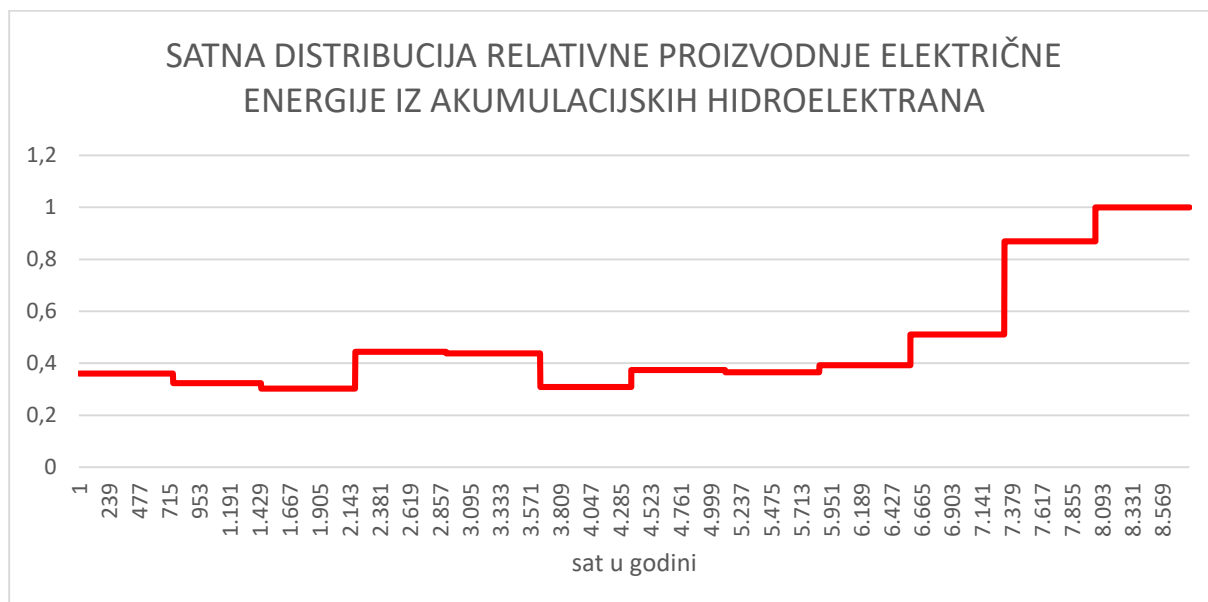


Slika 31. Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz sunca.

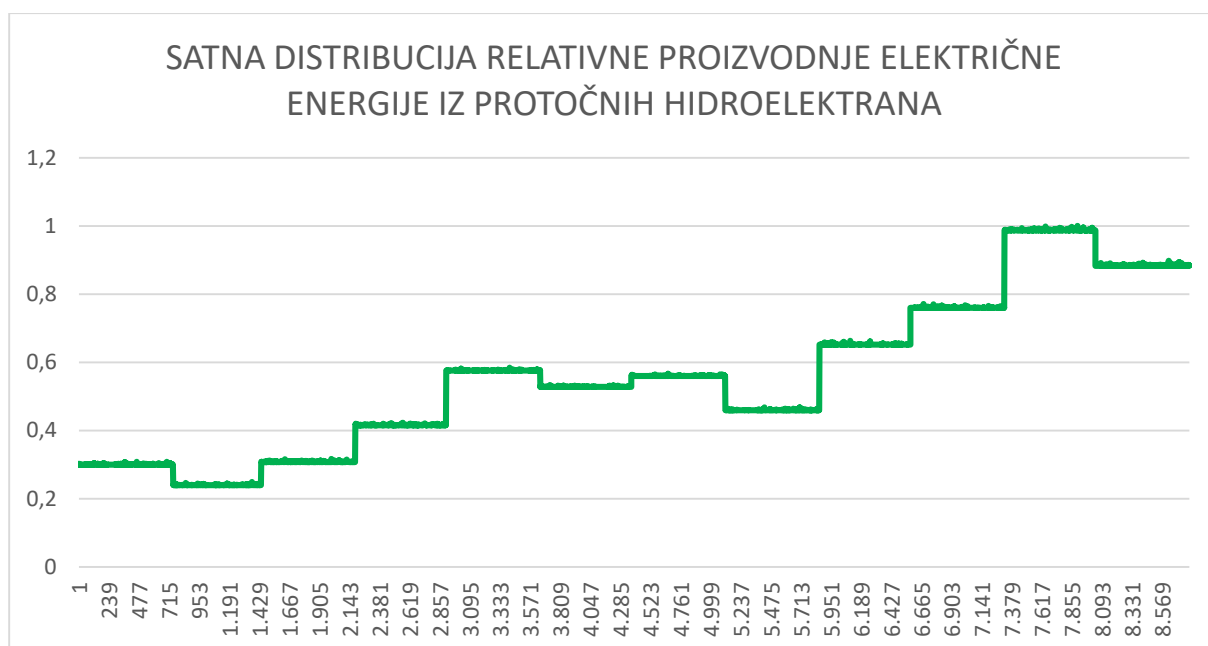


Slika 32. Kvalitativna krivulja satne insulacije.

Satne distribucije za akumulacijske i protočnu hidroelektranu prezeute su s RESFLEX projekta za Hrvatsku ^[62] i vide se na slikama 33. i 34.



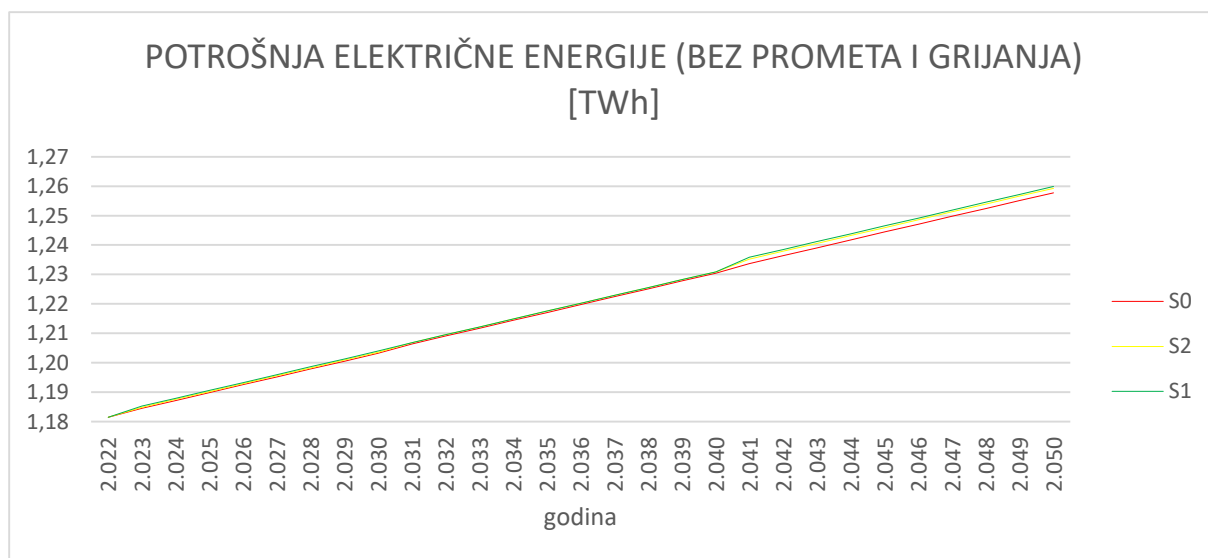
Slika 33. Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz akumulacijskih hidroelektrana.



Slika 34. Kvalitativna krivulja satne proizvodnje el. energije iz protočnih hidroelektrana.

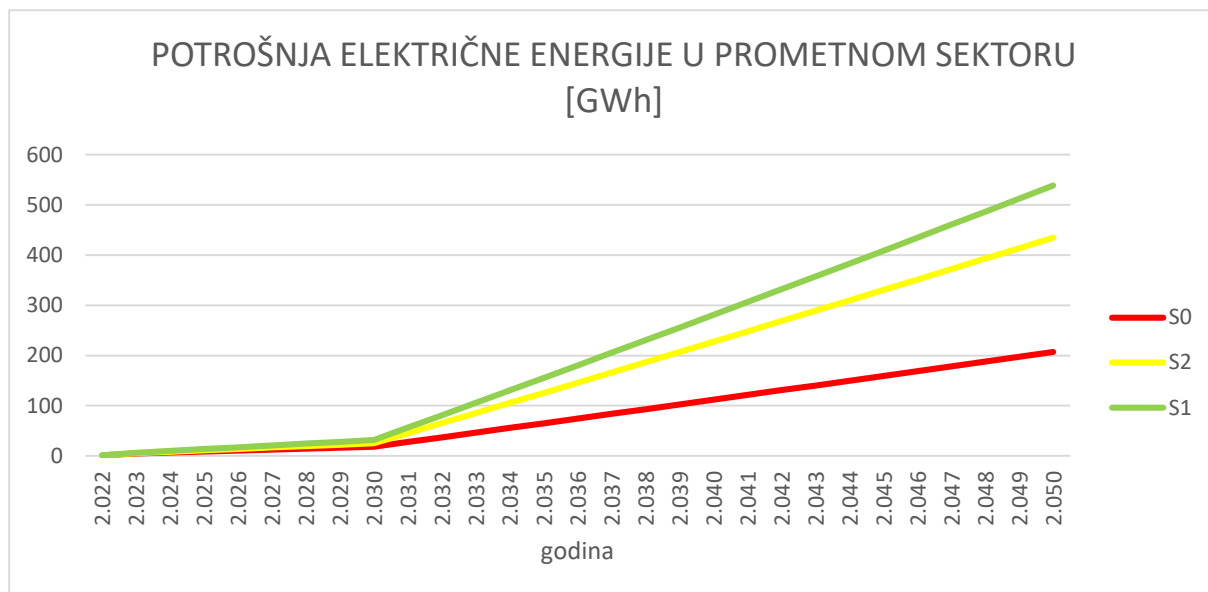
6.2. Analiza scenarija elektrifikacije

Potrošnja električne energije izvan svrha prometa i grijanja narast će za samo oko 1,84 % (S0), odnosno 1,90 % (S1) do 2030. godine, a do 2050. za otprilike 6,46 % (S0), odnosno 6,64 % (S1). Taj je rast prikazan na slici 35. te se zaključuje kako potrošnja električne energije u industriji neće znatno utjecati na ukupnu potrošnju električne energije.



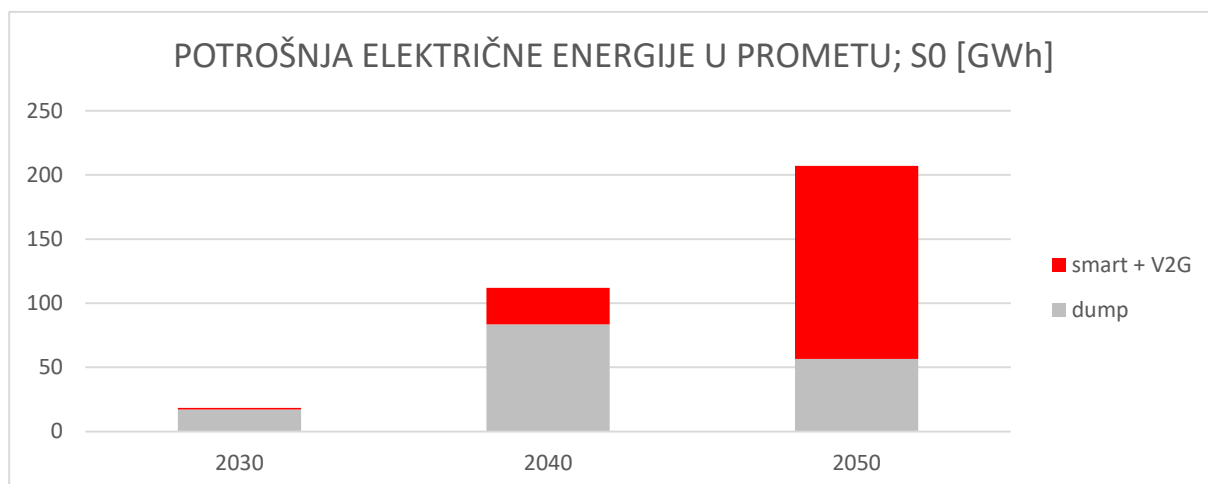
Slika 35. Potrošnja električne energije izvan svrha prometa i grijanja.

Na slici 36. vidi se promjena potrošnje električne energije u svrhe prometa u PGŽ tijekom godina u S0, S1 i S2. Elektrifikacijom pada i ukupna potrošnja energije jer električna vozila zahtijevaju manje energije za jednak broj prijeđenih kilometara. U scenariju S1 trošit će se oko 160 % više električne energije nego u scenariju S0 te oko 24 % više nego u S2. Ta se razlika, kao što je ranije i pokazano, očituje u broju potrebnih punionica.

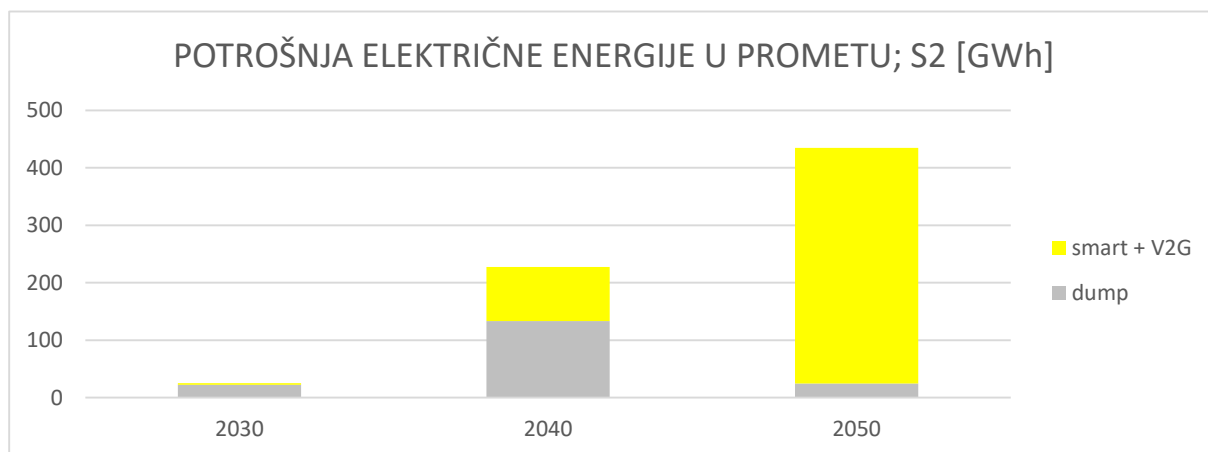


Slika 36. Potrošnja električne energije u svrhe prometa.

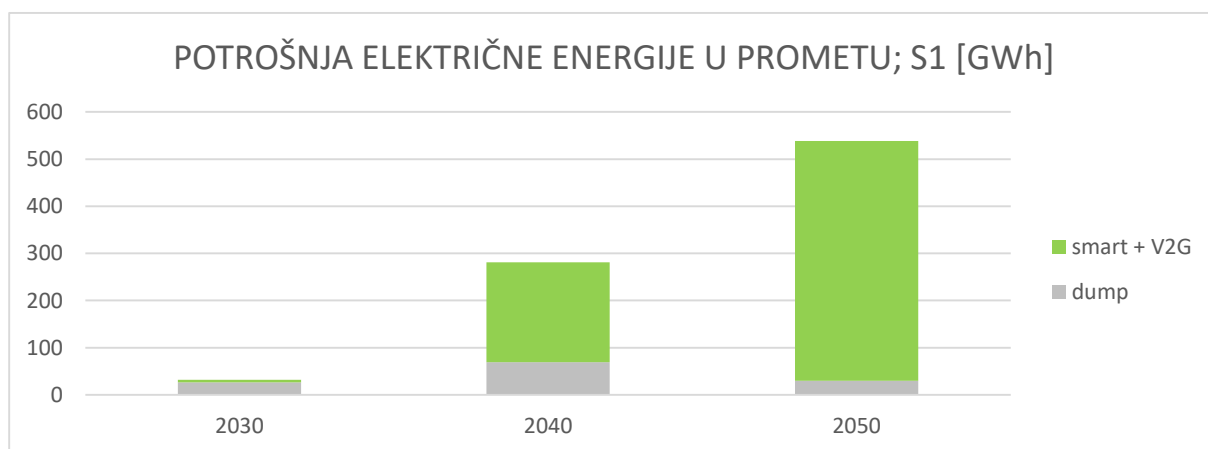
Slike 37., 38. i 39. prikazuju prelazak s dump načina punjenja na *smart* i V2G načine kroz godine po scenarijima.



Slika 37. Potrošnja električne energije u prometu; S0.

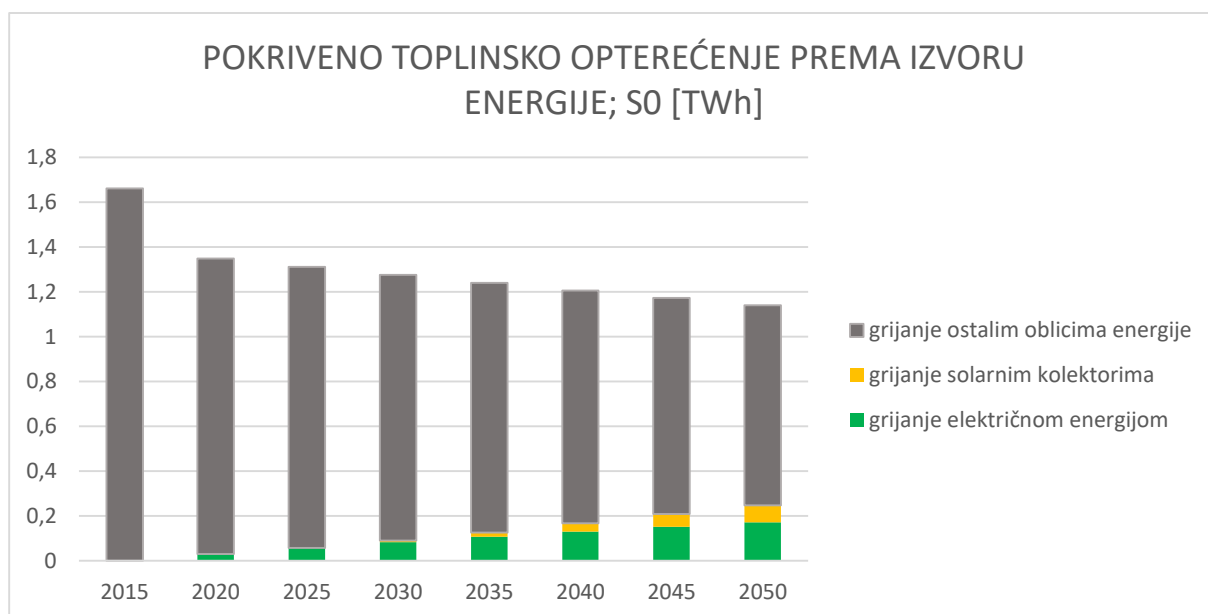


Slika 38. Potrošnja električne energije u prometu; S2.

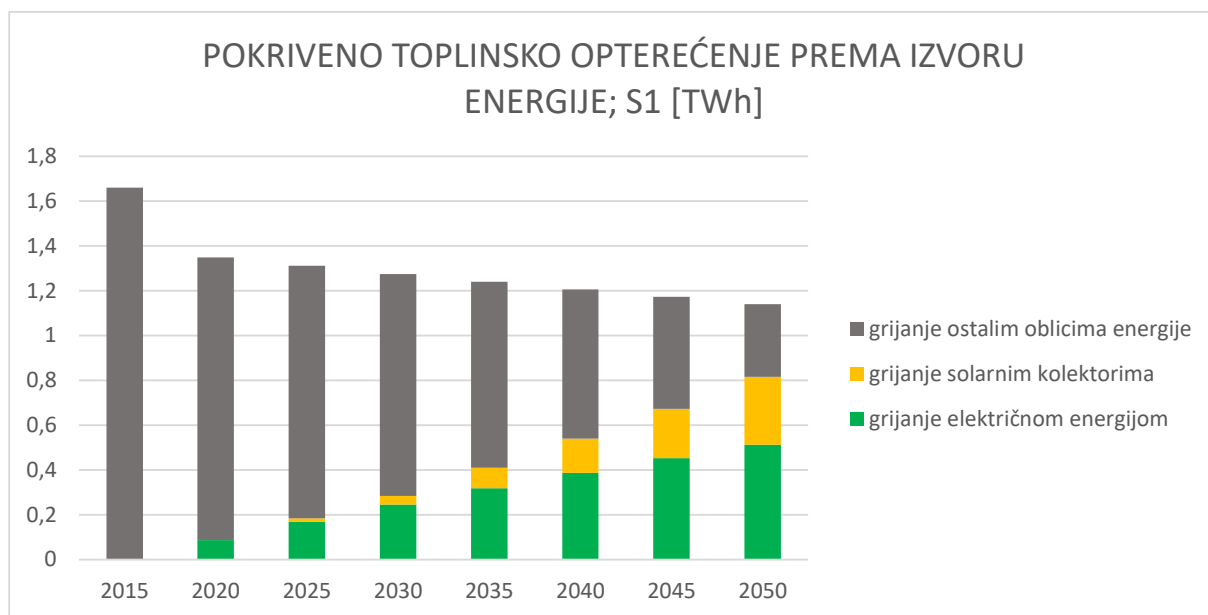


Slika 39. Potrošnja električne energije u prometu; S1.

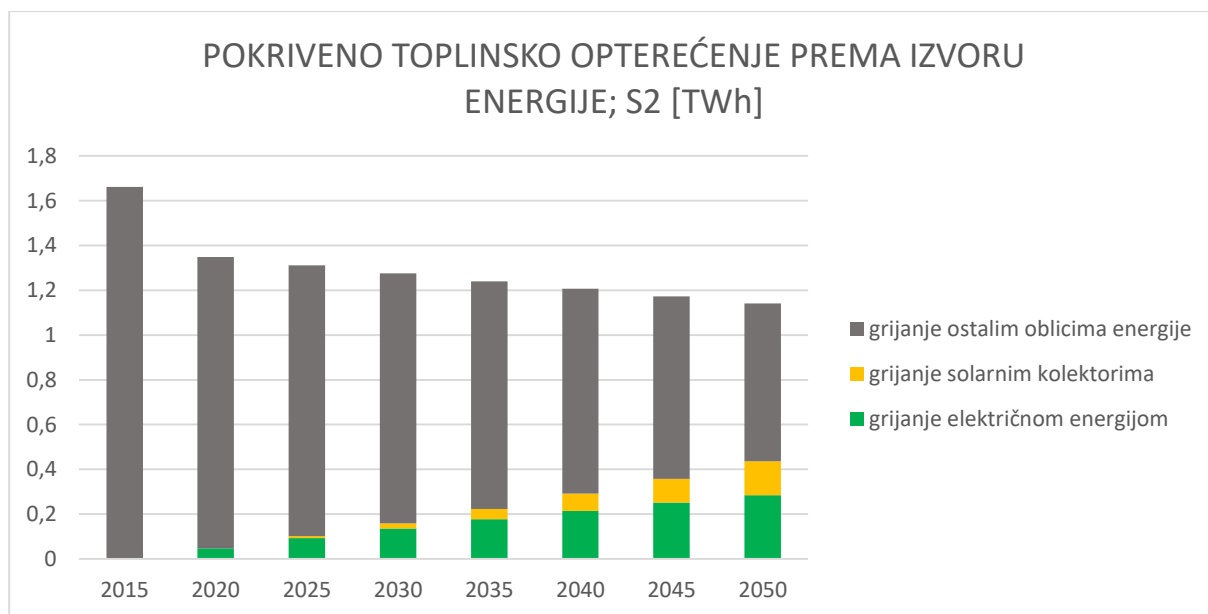
Elektrifikacija će se provoditi i u pogledu grijanja, a na slikama 40., 41. i 42. vidi se toplinsko opterećenje kućanstava i komercijalnih objekata po godinama i izvoru energije kojim se pokriva u sva 3 scenarija. Bitno je naglasiti da se na prikazanim grafovima grijanje električnom energijom odnosi na toplinsko opterećenje pokriveno metodama grijanja (dizalice topline) koje koriste električnu energiju, dakle ne prikazuje potrošnju električne energije (ona je 3 puta manja). U scenariju S1 električna bi energija 2050. trebala pokrivati oko 45 % potreba za grijanjem, a zamjenjivala bi prvenstveno individualno grijanje fosilnim gorivima (jer je centralno grijanje efikasnije i ima manje emisija zbog boljih sustava pročišćavanja). U scenariju S0 grijanje električnom energijom moglo bi zamijeniti svo grijanje ugljenom, oko polovice grijanja loživim uljem, četvrtinu grijanja na plin te oko 15 % grijanja na biomasu, dok bi u S1 električna energija bila dostatna za potpunu zamjenu grijanja ugljenom i loživim uljem, gotovo 60 % grijanja prirodnim plinom te čak četvrtine grijanja na biomasu. Solarni kolektori bi 2050. pokrivali svega 6,6 % potreba za grijanjem u S0, a čak 26,6 % u S1.



Slika 40. Toplinsko opterećenje kućanstava i komercijalnih objekata; S0.



Slika 41. Toplinsko opterećenje kućanstava i komercijalnih objekata; S1.



Slika 42. Toplinsko opterećenje kućanstava i komercijalnih objekata; S2.

U AaCTA alat će se unositi broj turističkih električnih vozila koji predstavlja najveći očekivani broj takvih vozila u jednom danu u godini, što će biti u kolovozu. Unijet će se podaci za sva 3 definirana scenarija za 2030., 2040. i 2050. godinu te za sve 3 mikroregije. U tablici 29. prikazani su ti brojevi.

Tablica 29. Broj turističkih električnih automobila u 1 danu u kolovozu.

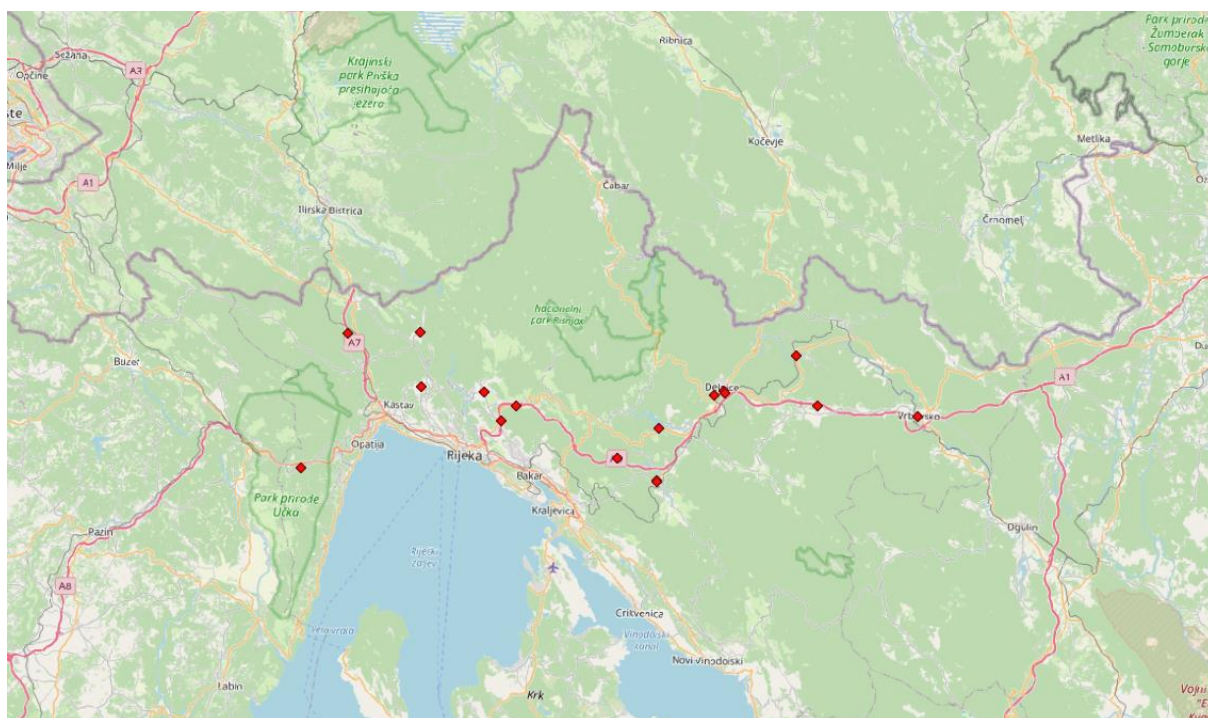
najveći broj automobila u jednom danu		2030.	2040.	2050.
S0	Rijeka	680	2.365	4.051
	Istra	680	2.365	4.051
	Primorje	680	2.365	4.051
	Krk	453	1.577	2.700
	Cres	453	1.577	2.700
	Rab	227	788	1.350
	Lošinj	227	788	1.350
	G. kotar	680	2.365	4.051
S1	Rijeka	905	3.475	6.045
	Istra	905	3.475	6.045
	Primorje	905	3.475	6.045
	Krk	603	2.317	4.030
	Cres	603	2.317	4.030
	Rab	301	1.158	2.015
	Lošinj	301	1.158	2.015
	G. kotar	905	3.475	6.045
S2	Rijeka	792	2.44	5.096
	Istra	792	2.944	5.096
	Primorje	792	2.944	5.096
	Krk	528	1.963	3.397
	Cres	528	1.963	3.397
	Rab	264	981	1.699
	Lošinj	264	981	1.699
	G. kotar	793	2.944	5.096

U 2030. u bilo kojem scenariju, Gorski kotar ima dovoljno punionica. Za 2040. pronađene potencijalne lokacije dovoljne su tek u slučaju povećanja potencijalne snage koja se na njima može instalirati pa tako alat za S0 preporuča izgradnju punionica na još 10 lokacija, slika 43. Prema tome će za S2 i S1 biti pretpostavljeni brojevi od 12 i 14 novih lokacija, a za 2050. dodatnih 18, 20 i 22 lokacije u S0, S2 i S1.

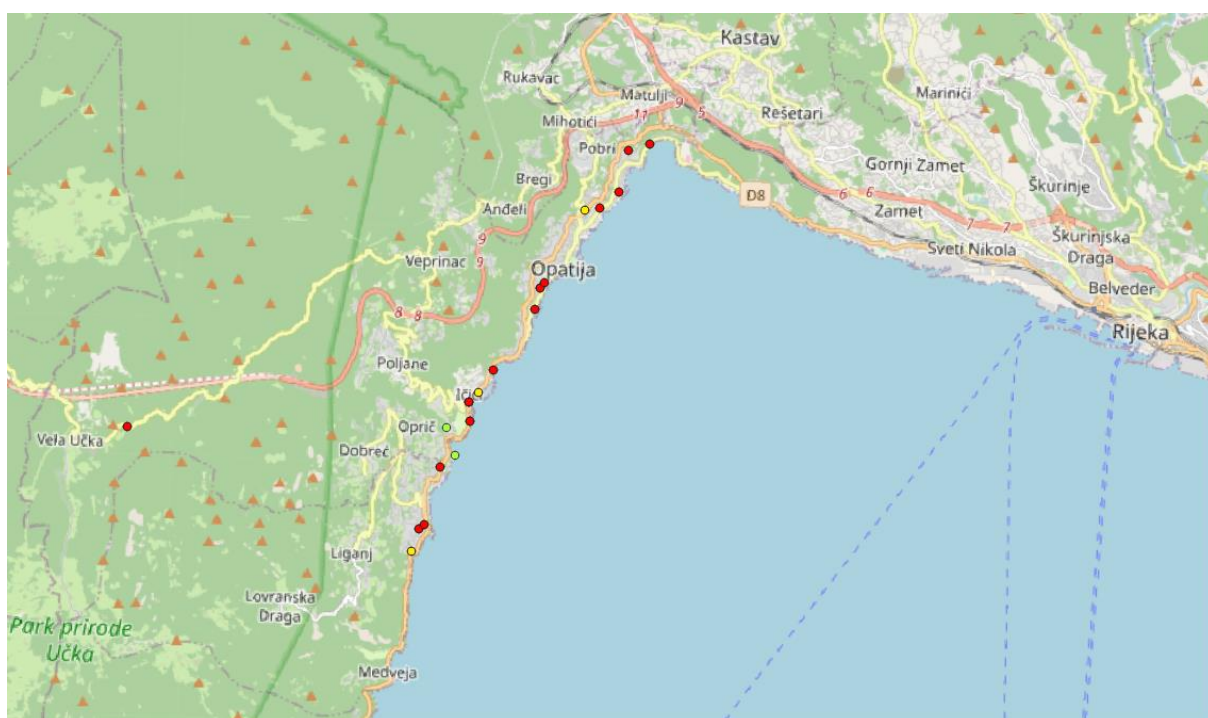
Za dio PGŽ na istarskom poluotoku u 2030. za S0 preporuča se izgradnja 4 nove lokacije, za S2 7 novih lokacija, a za S1 11 novih lokacija. Na slici 44. crvenom su točkom označene lokacije punionica koje su prisutne u sva 3 scenarija (uključujući i već postojeće), žutom one prisutne u S2 i S1, a zelenom one u samo S1. Za 2050. pretpostavit će se brojevi od 30, 35 i 40 novih lokacija u S0, S2 i S1.

Za Rijeku i okolice predložene su 2 nove lokacije u 2030. za S0 te 3 nove lokacije za S2 i S1. U 2040. preporuča se 14 novih lokacija za S0, 24 nove lokacije za S2 te 34 nove lokacije za S1. U 2050. preporuča se 46 novih lokacija za S0. Za scenarije S2 i S1 pretpostavit će se da je potrebno instalirati punjače na još 55, odnosno 65 lokacija. Na slici 45. crvenim su krugom označene lokacije koje su predložene za svaki scenarij (uz već postojeće), zatim se u 2030. za S2 dodaju lokacije označene žutim krugom, u 2030. za S1 one označene zelenim krugom, u 2040. za S0 crvenim kvadratom, za S2 žutim kvadratom, a za S1 zelenim kvadratom. Na posljetku, one lokacije koje su preporučene za S0 u 2050., označene su crvenim trokutom.

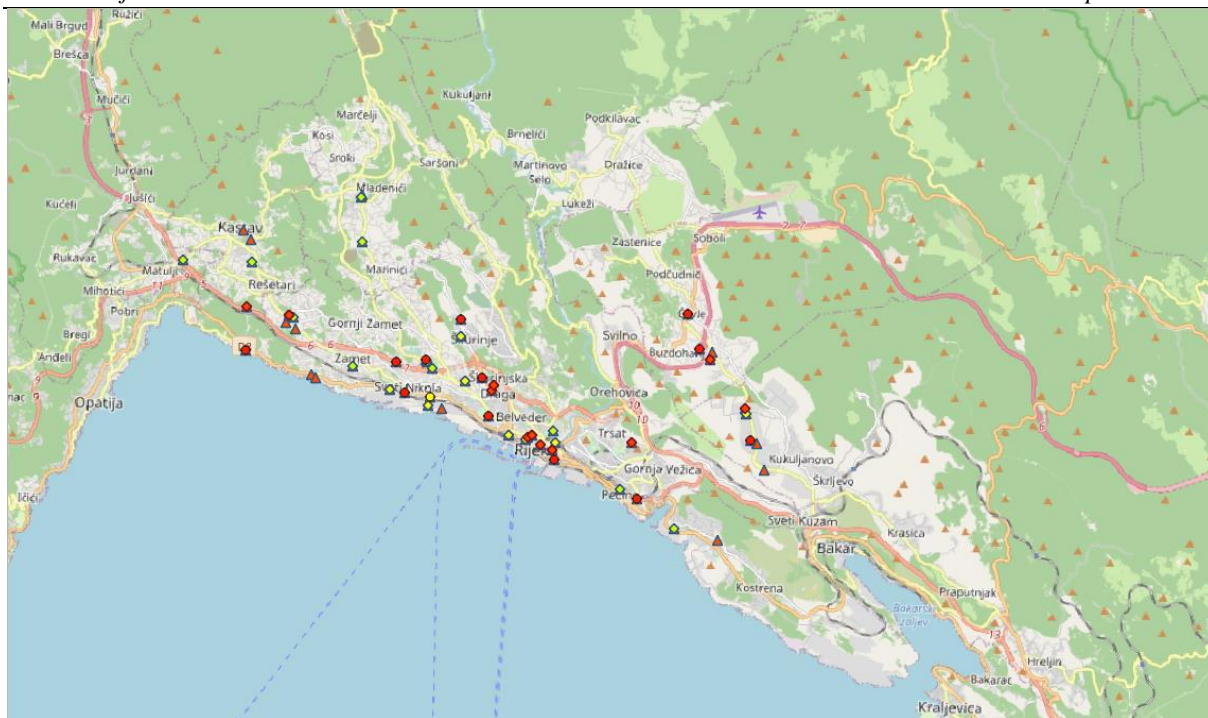
Za Hrvatsko primorje u 2030. za S0 i S2 predlaže se 5 lokacija, a za S1 6 lokacija, slika 46. Za 2050. pretpostavit će se jednak broj lokacija kao i za Rijeku.



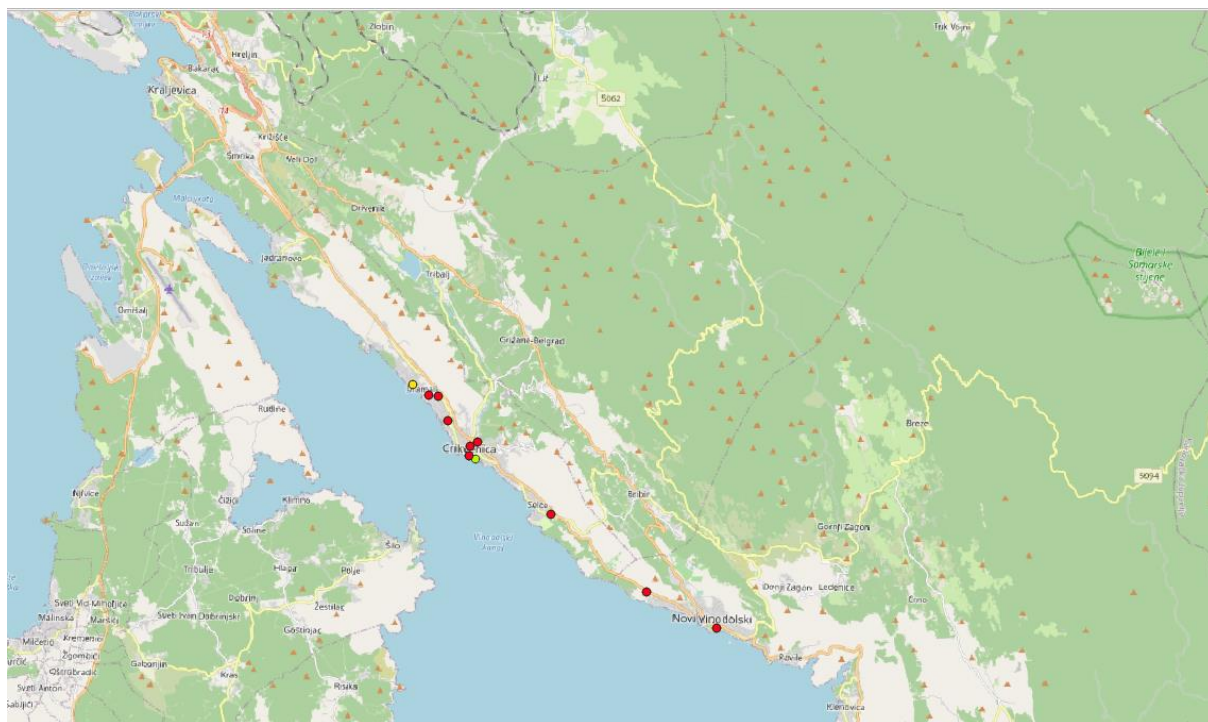
Slika 43. Postojeće i preporučene lokacije punionica u Gorskom kotaru u 2040. (S0).



Slika 44. Postojeće i preporučene lokacije punionica u istarskom dijelu PGŽ u 2030.



Slika 45. Postojeće i preporučene lokacije punionica u Rijeci i okolici.



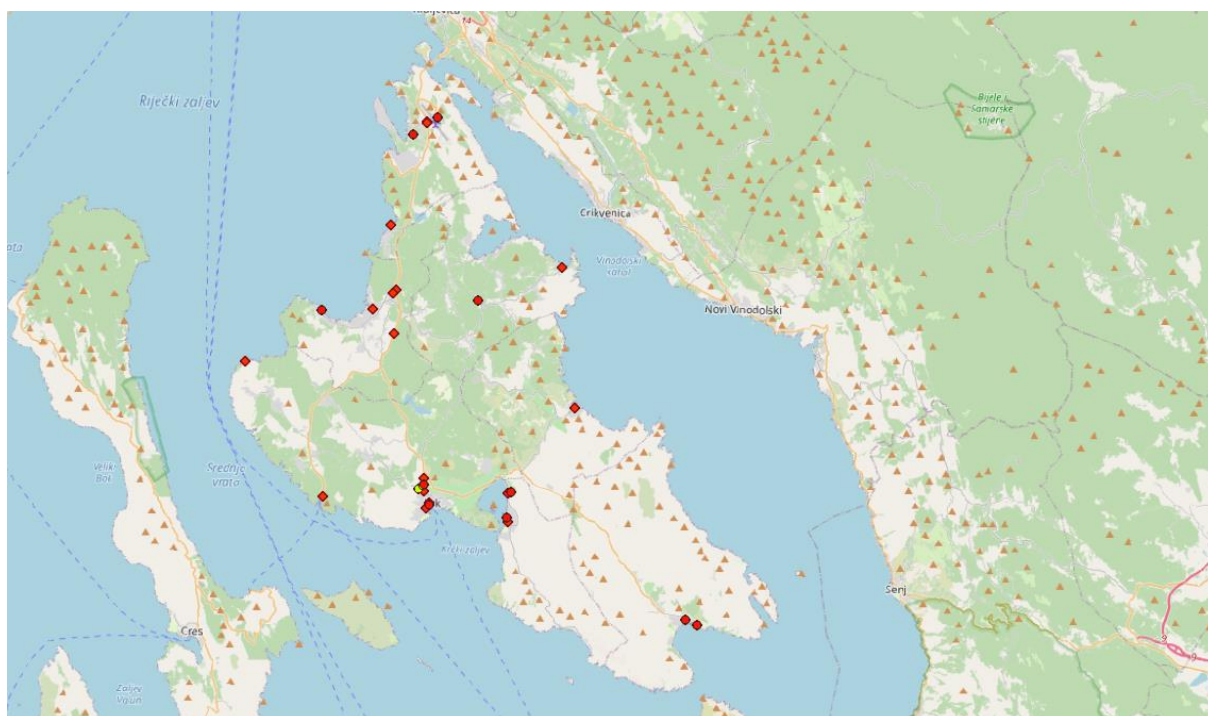
Slika 46. Postojeće i preporučene lokacije punionica u Hrvatskom primorju u 2030.

Za otok Krk predložene su 2 nove lokacije u 2030. za S0, 3 nove lokacije za S2 te 4 za S1. U 2040. preporuča se 21 nova lokacija za S0. Lokacije su prikazane na slici 47. Za S2 i S1 u 2040. pretpostavit će se da će biti potrebno još 30, odnosno 40 lokacija, a u 2050. za S0, S2 i S1, 42, 50 i 60 novih lokacija, tim redoslijedom.

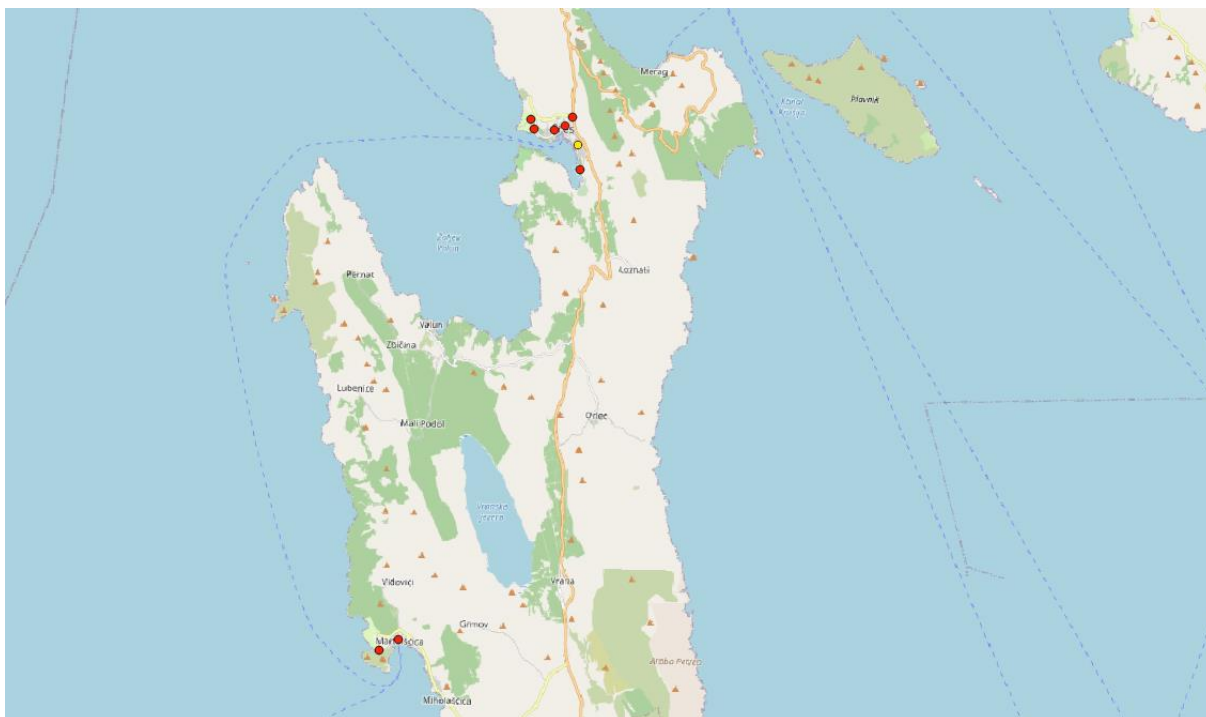
Za otok Cres predloženo je 6 novih lokacija u 2030. za S0 te 7 za S2, slika 48. Za S1 dodat će se 1 više, kao i u slučaju Krka, dakle 8. U 2050. za S0, S2 i S1 pretpostavit će se da će biti potrebne još 42, 50, odnosno 60 novih lokacija.

Za otok Lošinj predložene su 2 nove lokacije u 2030. za S0 i S2, a 3 za S1. U 2040. preporuča se 12 novih lokacija za S0. Lokacije su prikazane na slici 49. Za S2 i S1 u 2040. pretpostavit će se da će biti potrebno još 18, odnosno 26 lokacija, a u 2050. za S0, S2 i S1, 30, 37 i 46 novih lokacija, tim redoslijedom.

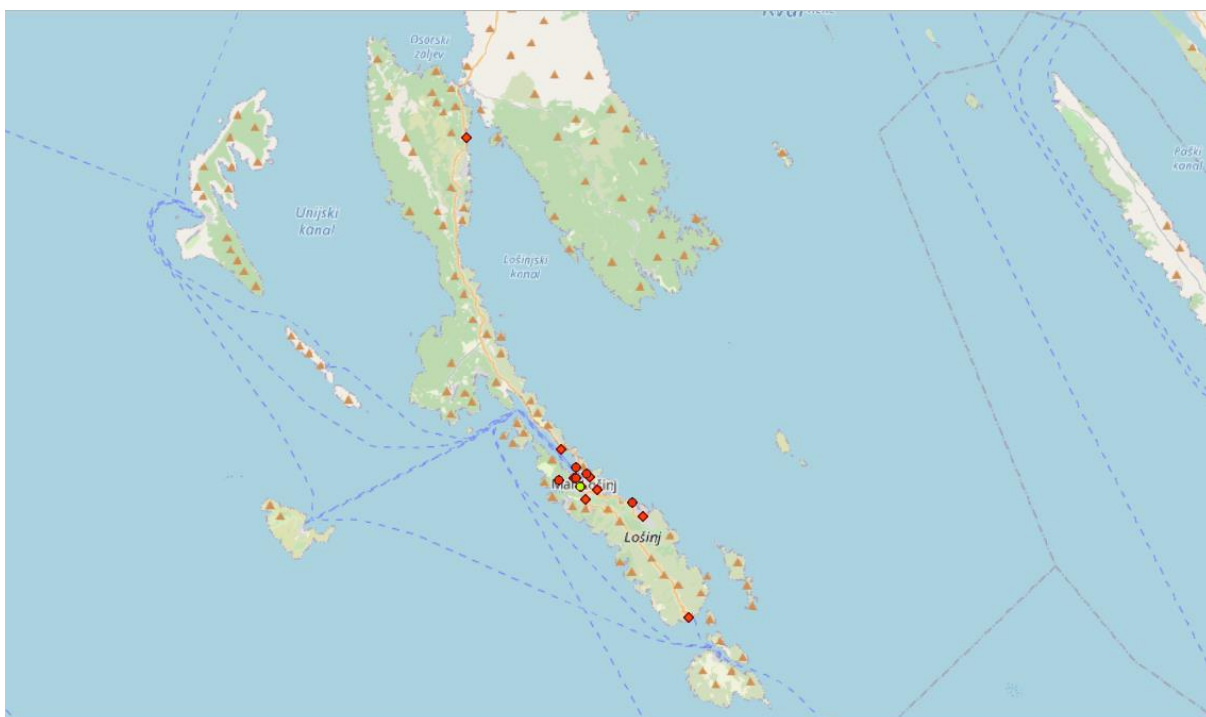
Za otok Rab predložene su 3 nove lokacije u 2030. za S0 i S2 te 4 za S1, kao što je i prikazano na slici 50. Za iduće godine i scenarije broj pretpostavljeni broj lokacija s punionicama bit će kao i na Lošinju.



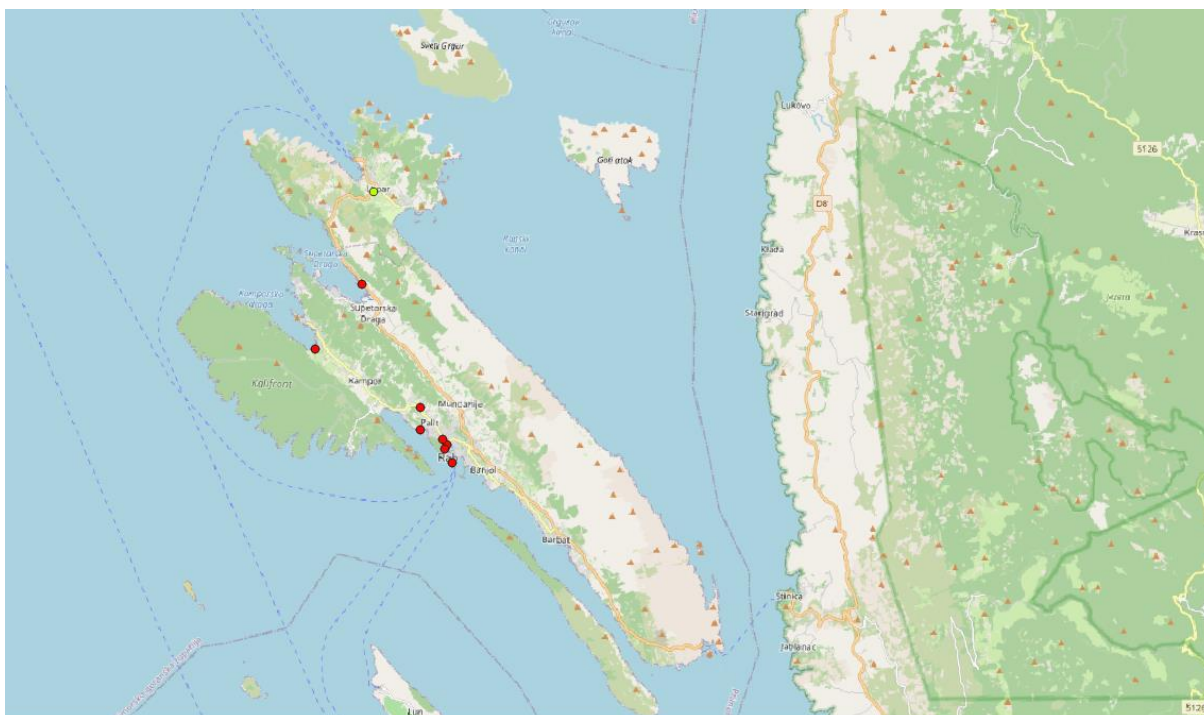
Slika 47. Postojeće i preporučene lokacije punionica na Krku u 2030. i u 2040. (S0).



Slika 48. Postojeće i preporučene lokacije punionica na Cresu u 2030. za S0 i S2.

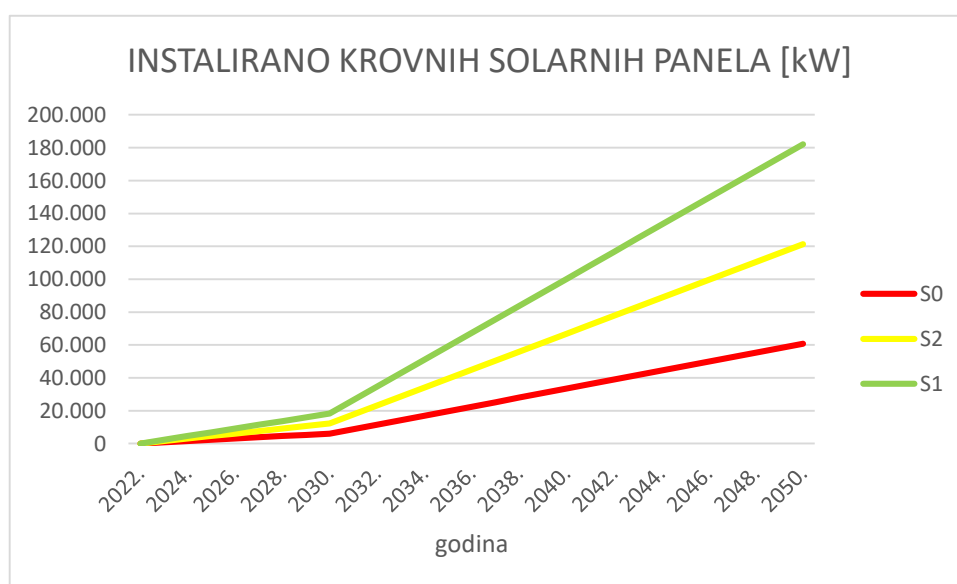


Slika 49. Postojeće i preporučene lokacije punionica na Lošinju u 2030. i u 2040. (S0).



Slika 50. Postojeće i preporučene lokacije punionica na Lošinj u 2030. (S0).

Na slici 51. vidi se instalirana snaga krovnih solarnih panela u različitim scenarijima tijekom godina do 2050. godine. U S0 ta je snaga oko 60 MW, u S2 otprilike 2 puta više, 120 MW, a u S1 čak 3 puta više, 180 MW.

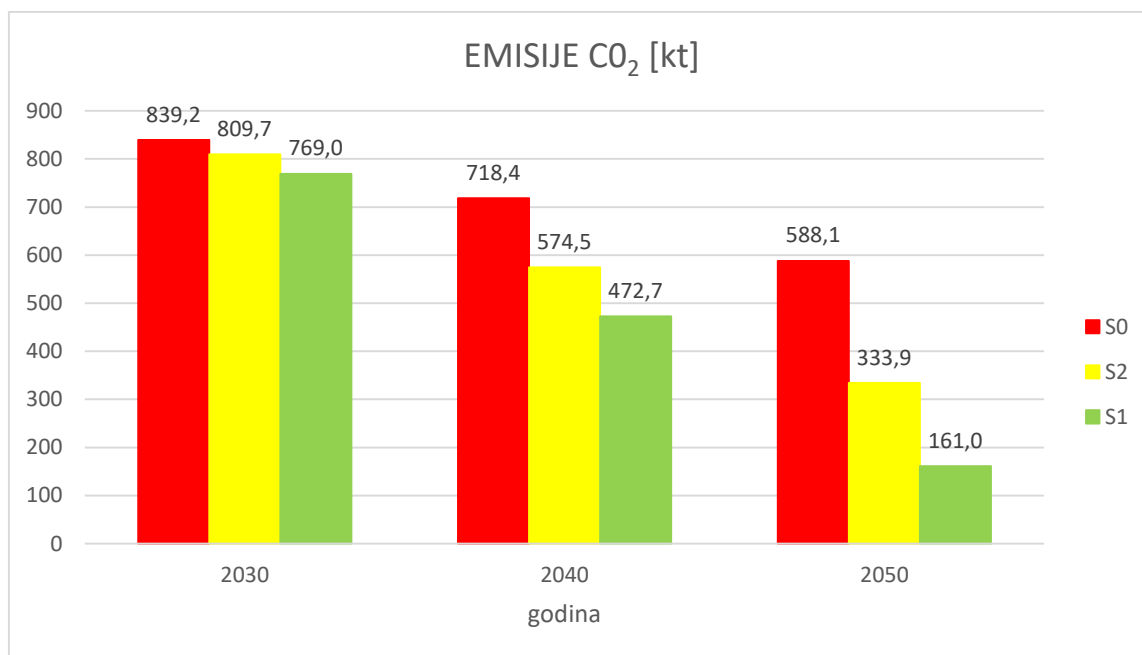


Slika 51. Instalirana snaga krovnih solarnih panela

Nakon dobevnih dosad navedenih kvantitativnih i kvalitativnih vrijednosti, slijedi uspoređivanje scenarija prema modelima koje izračunava EnergyPLAN. Uspoređivat će se 3 scenarija u godinama 2030., 2040. i 2050.

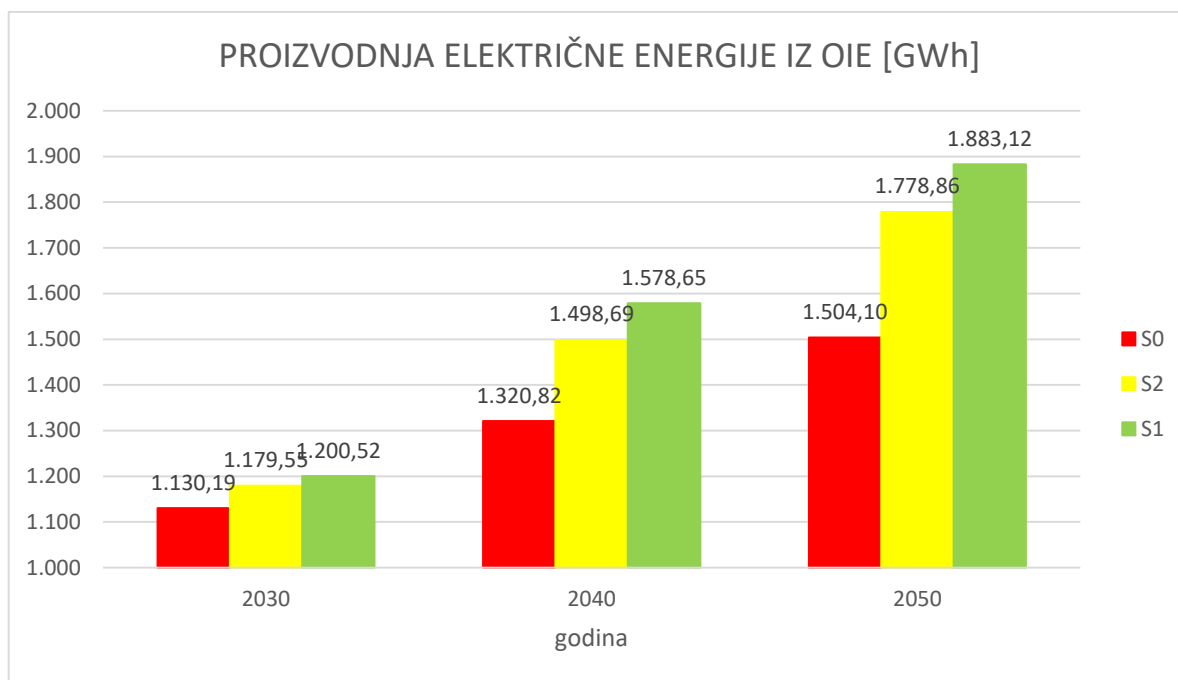
Energetski se sustav PGŽ promatrao kao zatvoreni sustav, dakle bez uvoza i izvoza električne energije, a OIE su se dodavali do maksimalnog viška proizvodnje energije (CEEP-critical excess electricity production) od 5 %.

Iz programa EnergyPLAN mogu se iščitati mnogi podaci pa je tako zanimljivo pokazati smanjenje emisija CO₂ kroz godine i scenarije, slika 52. Vrijednost emisija u 2022. godini je 1.043,1 kt, a jasno se vidi razlika između scenarija već i prije 2040. godine. Do 2050. u S0 emisije padaju na 56 % današnje vrijednosti, a u S1 na samo 15 %.



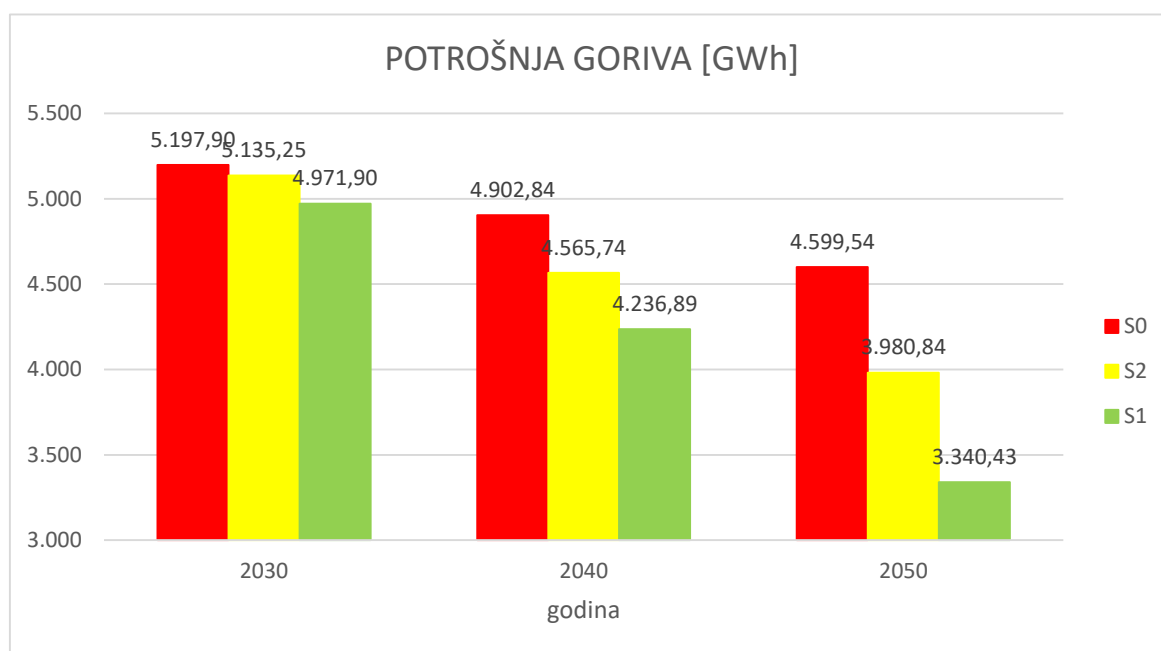
Slika 52. Emisije CO₂ kroz godine po scenarijima.

U svim je godinama i scenarijima instalirano svih 60 MW predloženih solarnih elektrana. U 2030. je u S0 nije instalirana nijedna vjetroelektrana, dok je u S2 instalirano 15 MW, a u S1 19 MW. U 2040. snaga vjetra iznosi 61,5 MW u S0, 106,4 MW u S2 i 114,4 MW u S1, dok su ti itnosi u 2050. 118,4 MW u S0, 179,8 MW u S2 i 185,8 MW u S1. Na slici 53. vidi se godišnja proizvodnja električne energije iz OIE. u 2050. se u S0 proizvodi 44% više energije iz OIE, a u S1 čak 81 %.



Slika 53. Proizvodnja električne energije iz OIE.

Na slici 54. vidi se smanjenje potrošnje goriva u ukupnosti, a to se dakako može pripisati smanjenju ili čak potpunoj eliminaciji ugljena i nafte/loživog ulja u svim sektorima te dizela i benzina u prometu.



Slika 54. Ukupna potrošnja goriva.

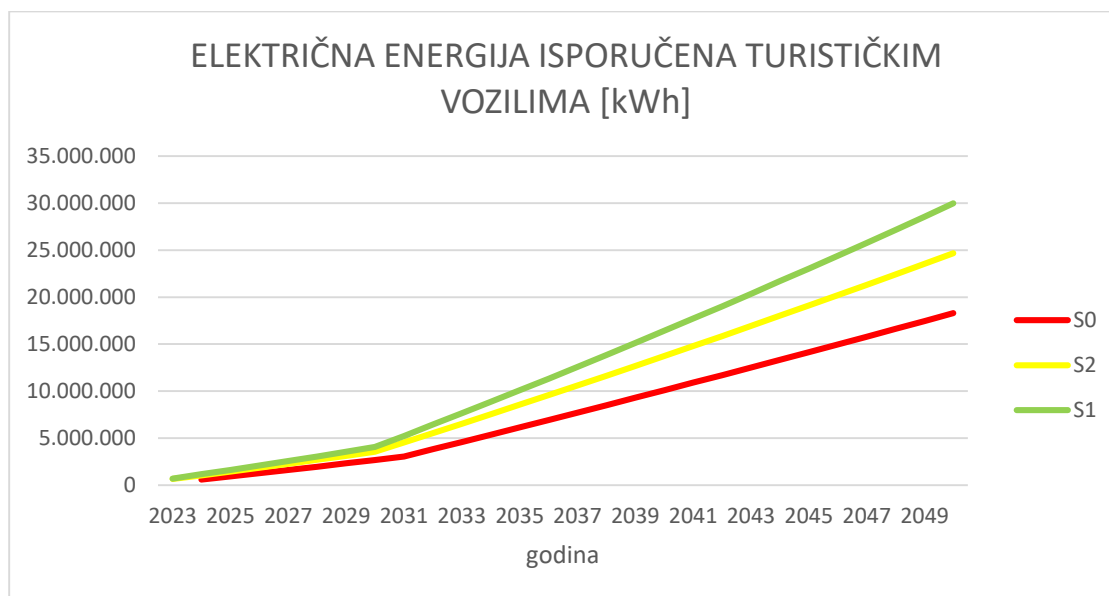
7. EKONOMSKA ANALIZA IZGRADNJE PUNIONICA

Kao što je već i ranije naglašeno, investicija je zamišljena u 3 navrata, 2022. godine za punjače koji će biti potrebni u 2030., zatim 2030. godine za punjače koji će biti potrebni 2040. te naposljetku 2040. godine za punjače potrebne do 2050. Ukupne investicije po scenarijima prikazane su u tablici 30.

Tablica 30. Iznosi investicija po godinama i scenarijima.

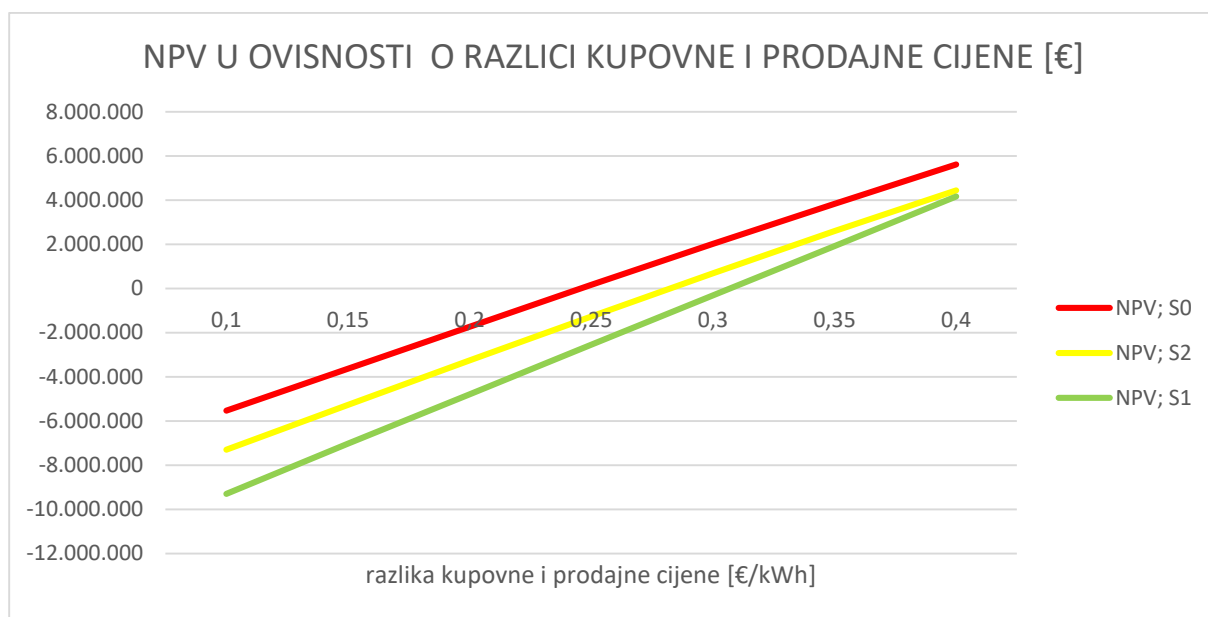
Investicija [€]	2022.	2030.	2040.
S0	2.415.766	9.270.038	24.818.215
S1	2.866.820	11.419.730	30.514.049
S2	3.492.734	14.229.626	37.883.291

Na slici 55. vidi se električna energija koju potroše turistički automobili, odnosno ona koja se smatra prodanom.



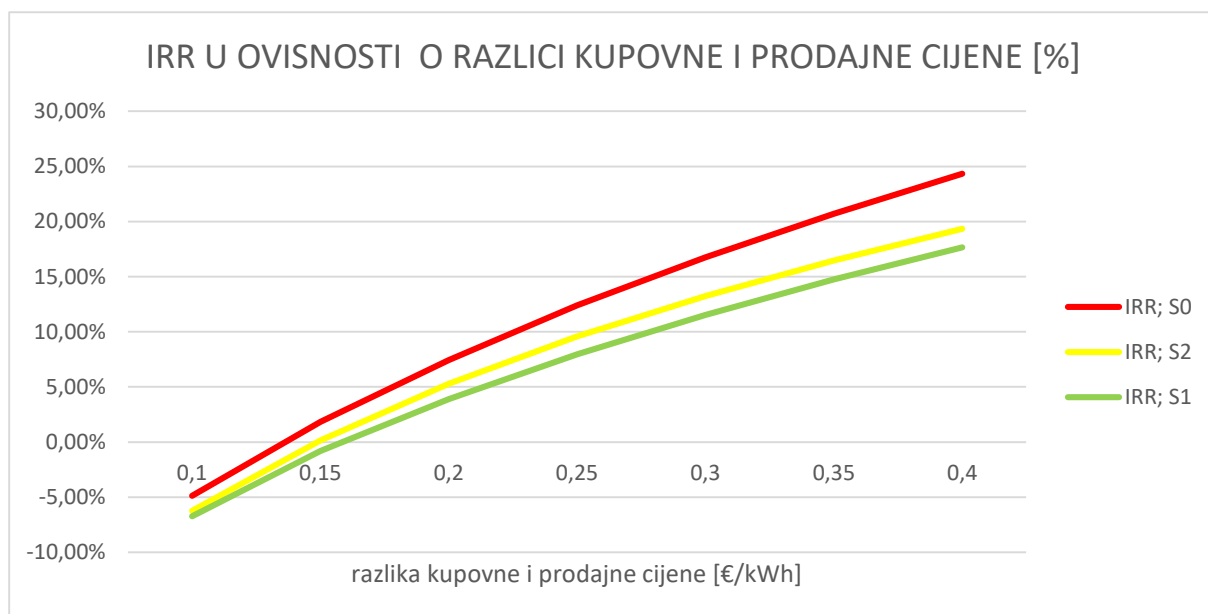
Slika 55. Električna energija isporučena turističkim vozilima.

Analizom osjetljivosti ovisnosti NPV-a o razlici kupovne i prodajne cijene električne energije vidi se da će S0 biti isplativ na razlici od 0,25 €/kWh, S2 na razlici od 0,29 €/kWh, a S1 na 0,31 €/kWh. NPV za sva 3 scenarija koji bi, kako je ranije rečeno, trebao biti pozitivan kako bi projekt bio isplativ, prikazan je na slici 56. S obzirom da je scenarij s više prodane energije sporije isplativ, da se zaključiti kako cijena punionica znatno više utječe na financijsku sliku ovakvog projekta od prodajne cijene električne energije.



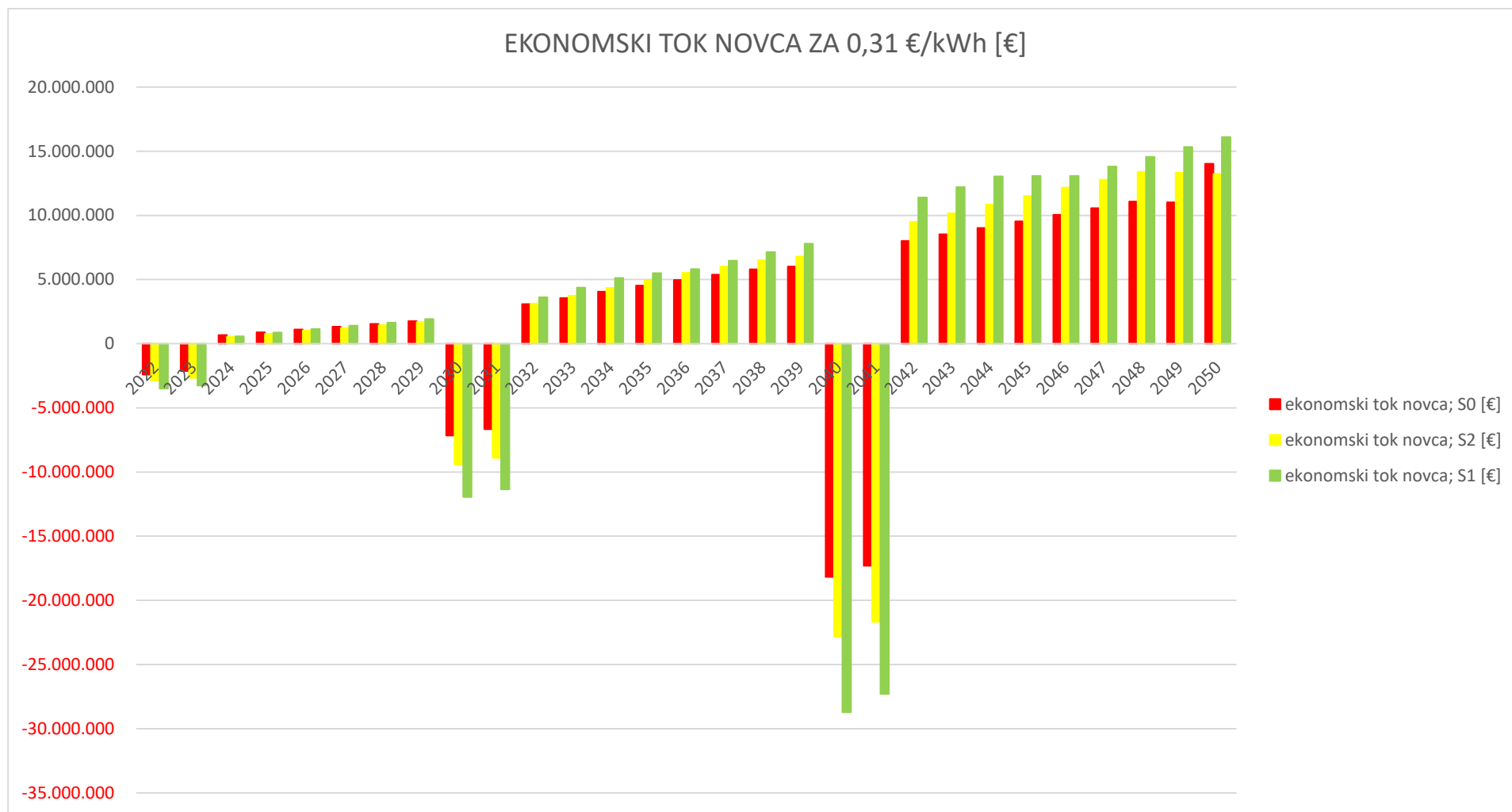
Slika 56. NPV u ovisnosti o razlici cijena kupovne i prodajne električne energije.

Na slici 57. se vidi IRR u ovisnosti o toj razlici cijena, a koji bi trebao biti viši od zadane diskontne stope od 12 % kako bi projekt bio isplativ.

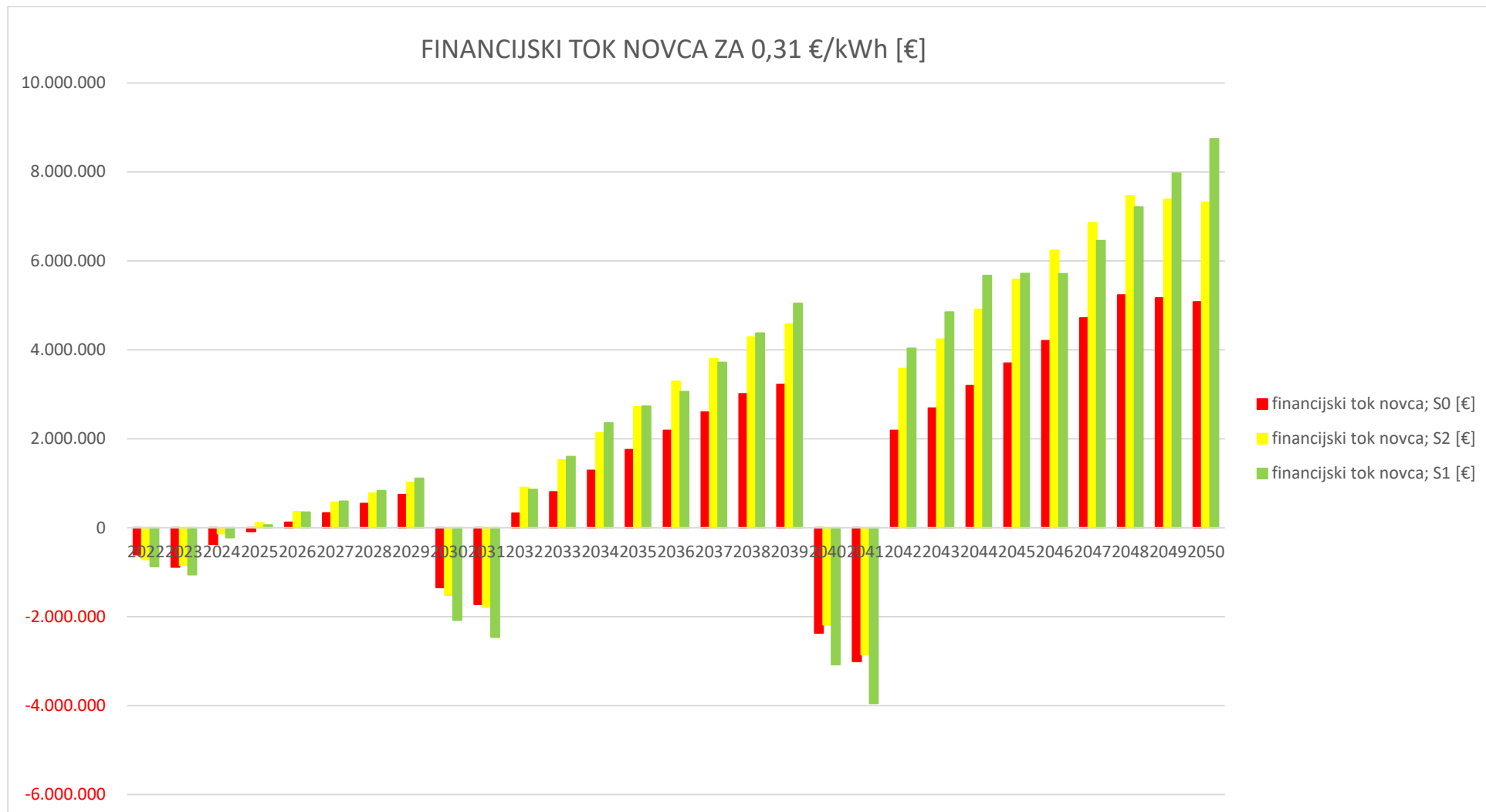


Slika 57. IRR u ovisnosti o razlici cijena kupovne i prodajne električne energije.

Slike 58. i 59. prikazuju financijski, odnosno ekonomski tok novca za razliku cijena 0,31 €/kWh budući da je to cijena na kojoj je svaki scenarij isplativ.



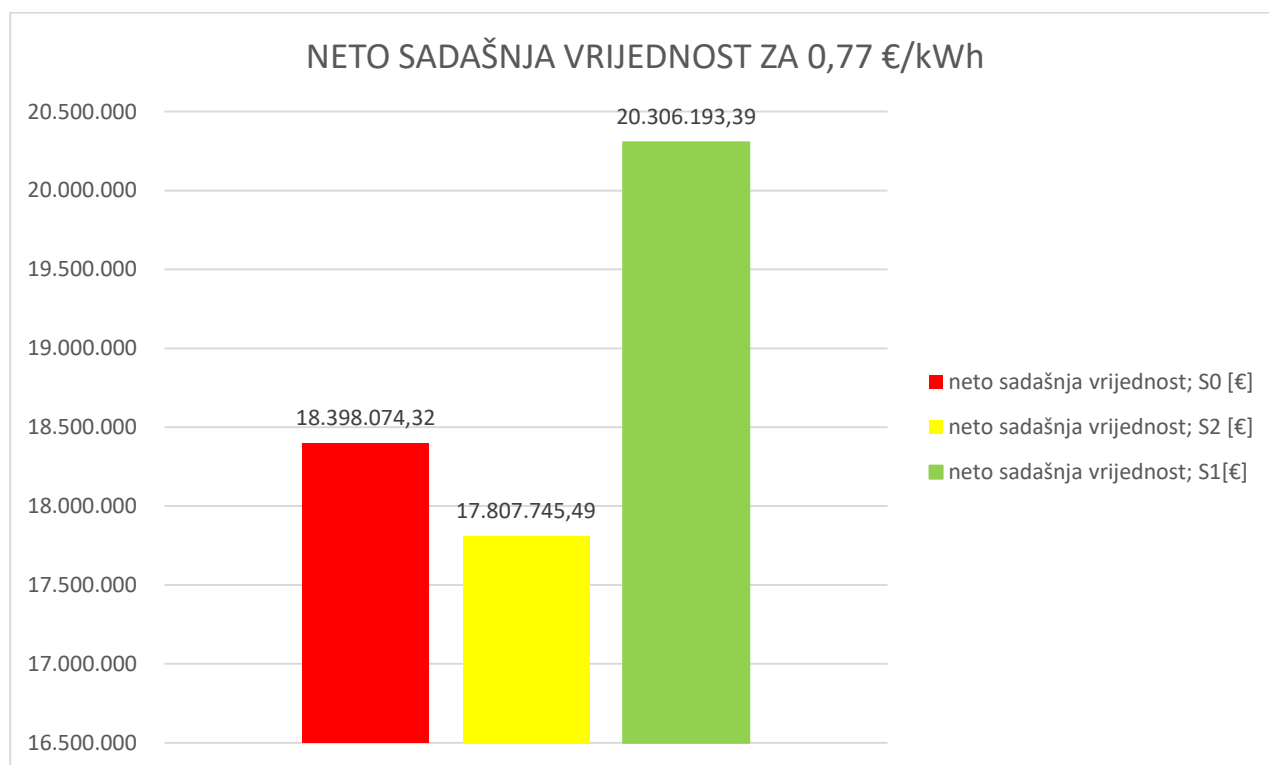
Slika 58. Ekonomski tok novca za razliku kupovne i prodajne cijene 0,31 €/kWh.



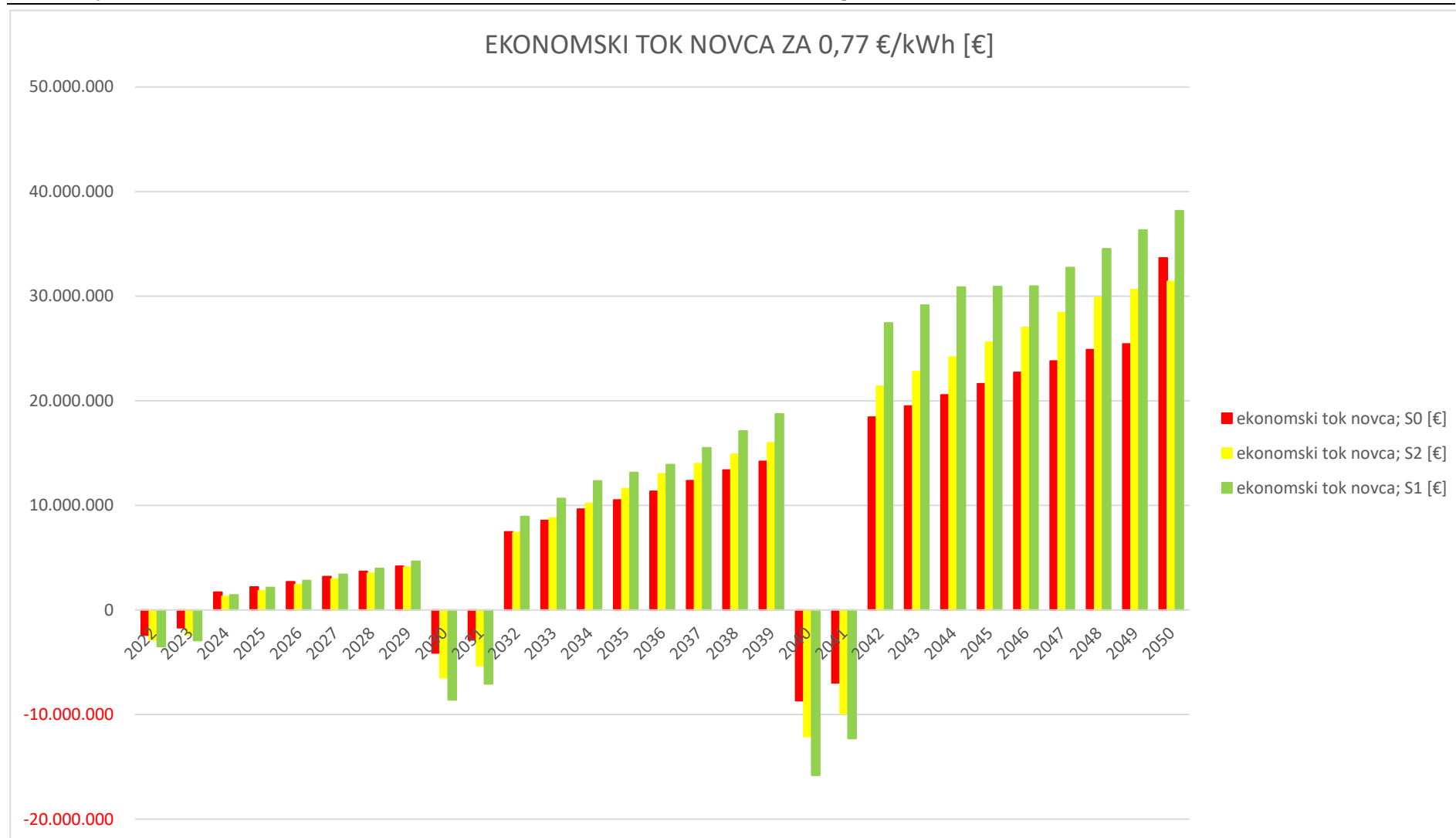
Slika 59. Financijski tok novca za razliku kupovne i prodajne cijene 0,31 €/kWh.

Na slikama se jasno vidi da su investicije još uvijek relativno velike i da ako se ubudućnosti cijena komercijalnih punionica snizi, a što je ralno za očekivati, ovakvi bi projekti bili ekonomski isplativi u znatno kraćem roku.

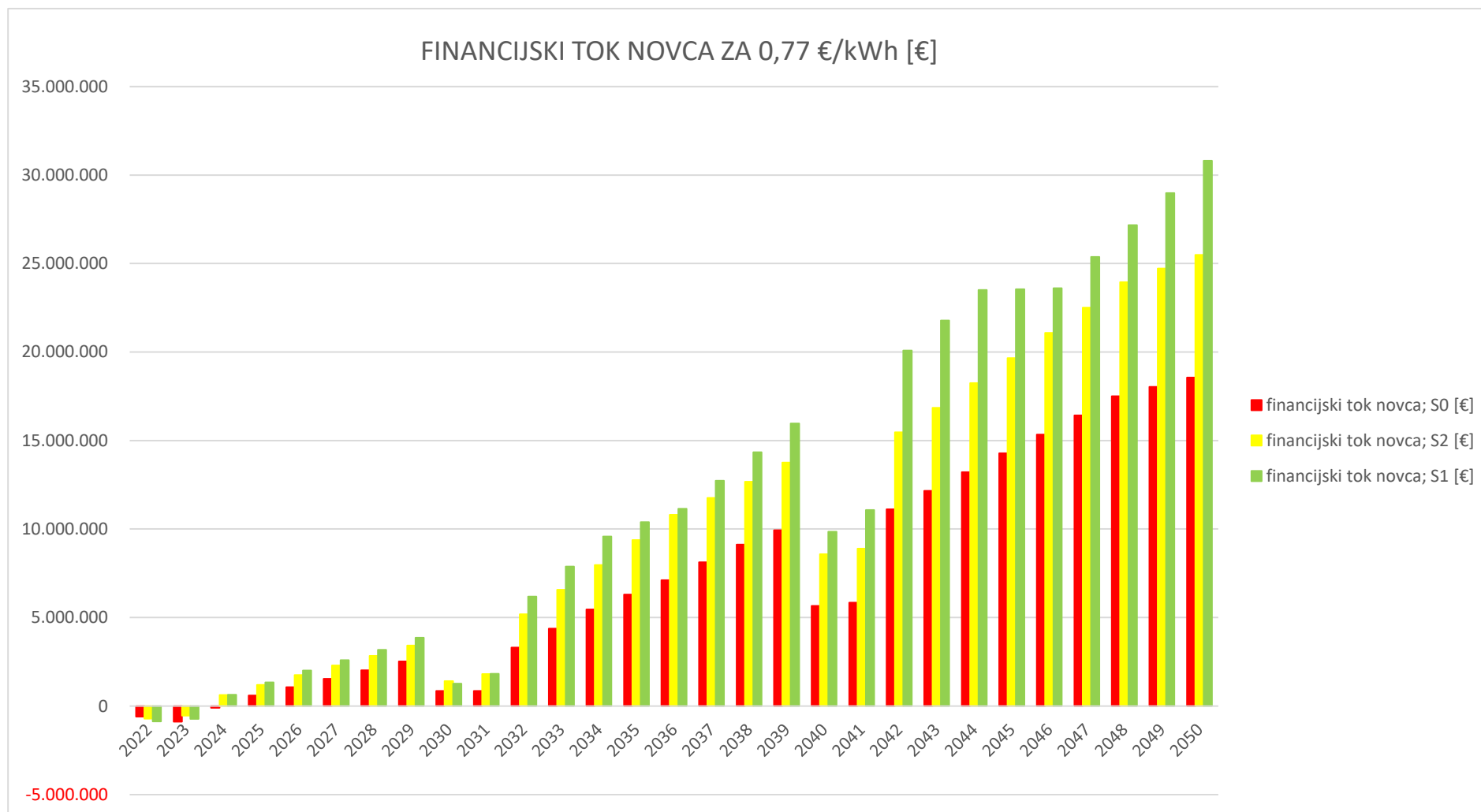
Ako se u obzir uzmu ranije spomenuta donja ogrijevna vrijednost benzina od 8,88 kWh/l i cijena benzina od 1,47 €/l, dobije se iznos od 0,17 €/kWh benzina. Uzevši u obzir da automobili na benzin troše 0,9 kWh/km, a električni 0,2 kWh/km, može se reći da cijena električne energije smije biti 4,5 puta viša od cijene benzina po kilovatsatu, dakle 0,77 €/kWh bi bila ekvivalentna cijena, a pokazano je da čak i najmanje isplativ scenarij postaje profitabilan pri cijeni više od dvostruko nižoj. Na slici 60. vide se NPV-i za ovakvu razliku cijena te se može primjetiti kako u ovom slučaju S1 postaje najisplativiji scenarij. Slike 61. i 62. prikazuju financijski, odnosno ekonomski tok novca za razliku cijena 0,77 €/kWh koja predstavlja ekvivalentnu cijenu benzinu za prijeđeni kilometar. Vidi se da u financijskom pogledu, dobit postoji čak i u godinama investicije.



Slika 60. Neto sadašnja vrijednost za razliku cijena 0,77 €/kWh



Slika 61. Ekonomski tok novca za razliku kupovne i prodajne cijene 0,77 €/kWh.



Slika 62. Financijski tok novca za razliku kupovne i prodajne cijene 0,77 €/kWh.

8. ZAKLJUČAK

Proces prelaska s tradicionalnih, fosilnih goriva na električnu energiju neizbježan je u svim sektorima gospodarstva, zgradarstvu, industriji, prometu i ostalima. Transport će u tom procesu neizbježno igrati veliku ulogu. Budućnost vozila pogonjenih motorima s unutarnjim izgaranjem nesigurna je, a u nekim državama je njihovo kretanje već i uvjetovano. Međutim, povećanje broja električnih vozila zahtjeva nužnu infrastrukturu, od čega su najbitnije punionice. Lokacija za punionice ne nedostaje, mogu biti na parkinzima, benzinskim postajama, ispred trgovina, hotela i slično. Rapored punionica najlakše je odrediti na lokalnoj razini pa su tako u ovom radu navedene potencijalne lokacije u Primorsko-goranskoj županiji kojih ima više nego dovoljno za narednih 15 do 20 godina u bilo kojem scenariju elektrifikacije, dok se za najzelenije scenarije u daljoj budućnosti očekuje kako će ipak biti potrebna inicijativa i od strane sitnijeg privatnog sektora, npr. hoteli, restorani, kafići i sl. (takve lokacije nisu uzimane u obzir u ovom radu).

Primorsko-goranska županija ima zadovoljavajuće iskorišten vodni potencijal, no ima samo jednu fotonaponsku elektranu i nijednu vjetroelektranu. Potencijala za proizvodnju energije iz OIE ima dovoljno i to ne samo u izoliranom slučaju povećanja broja električnih automobila nego i prilikom elektrifikacije ostalih sektora, čak i u najoptimističnijim scenarijima. Osunčanost otoka izrazito je pogodna za bilo kakvu vrstu energije iz sunca, no posebice se tu ističe vjetar s procijenjena 342 MW potencijala. Ključnu ulogu pri balansiranju mreže u slučaju implementacije OIE igrale bi tehnologije *smart* i V2G punjenja vozila domaćeg stanovništva. Pokazano je da će 2050. čak i u nekom srednje dobrom scenariju, koji je možda najrealniji, emisije CO₂ pasti na otprilike trećinu današnjih vrijednosti, dok bi u scenariju intenzivnog udaljavanja od konvencionalnih oblika energije te emisije pale na čak jednu sedminu današnjih vrijednosti.

Ekonomskom analizom pokazano je da se i uz cijenu punjenja koja je po prijednom kilometru više od dvostruko niža od cijene benzina, isplati ulagati u izgradnju punionica električnih automobila. Trenutno je najveća prepreka cijena samih punionica te se vidi da će scenarij u kojem je potreba za električnom energijom veća, a samim time izgrađen i veći broj punionica, biti manje profitabilan od onog u kojem je ta potreba manja, no razvojem tehnologije može se očekivati pad cijene punionica.

Kako bi se osigurao uspjeh električnih vozila, a time i čišća budućnost za sve nas, potrebno je konstantno ulaganje, i državno i privatno, u tehnologije punjenja i baterija, ali i obnovljivih izvora energije općenito.

LITERATURA

- [1] Visual Capitalist: „A Global Breakdown of Greenhouse Gas Emissions by Sector“; <https://www.visualcapitalist.com/cp/a-global-breakdown-of-greenhouse-gas-emissions-by-sector/> (zadnji posjet: 13.3.2023.)
- [2] European Environment Agency; „New registrations of electric vehicles in Europe“; <https://www.eea.europa.eu/ims/new-registrations-of-electric-vehicles> (zadnji posjet: 13.3.2023.)
- [3] Knobloch F., Hanssen S. V., Lam A., Pollitt H., Salas P., Chewpreecha U., Huijbregts M. A. J., Mercure J. F.: „Net emission reductions from electric cars and heat pumps in 59 world regions over time“; https://www.nature.com/articles/s41893-020-0488-7.epdf?sharing_token=1hJCycQ7Z_23t3zJU0ycB9RgN0jAjWeI9jnR3ZoTv0OM-BHrNGD6k2npei17x4aWWLctO-floyfalbH9WNy5EPZJy9w30IYeodKn1h_MDWDHVsFp0mmyULysHIj9L3dHmXqwchSvZ42GIPpNYkjIyI-jbqfPasm5iotJlatJ78r_8OScCOWTjB828-INI7meE-DUR1Yv5KRBwZwd8I3S08P8A%3D%3D&tracking_referrer=www.cnbc.com
- [4] Wikipedija: „Županije u Hrvatskoj“; https://bs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDupa-nije_u_Hrvatskoj (zadnji posjet: 13.3.2023.)
- [5] “UREDBA (EU) 2018/1999 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 11. prosinca 2018. o upravljanju energetsom unijom i djelovanjem u području klime”; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN>
- [6] “THE LONG-TERM STRATEGY OF THE UNITED STATES - Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050”; <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/10/US-Long-Term-Strategy.pdf>
- [7] “Germany’s Energy Efficiency Strategy 2050”; https://www.energypartner-ship.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/Documents/200407_BMWi_Dossier_Energy_Efficiency_Strategy_2050.pdf
- [8] “Net Zero Strategy: Build Back Greener”; https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1033990/net-zero-strategy-beis.pdf
- [9] “Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu”; https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_03_25_602.html

- [10] Prebeg, Pero ; Gašparović, Goran ; Krajačić, Goran ; Duić, Neven: Long-term energy planning of Croatian power system using multi-objective optimization with focus on renewable energy and integration of electric vehicles; <https://www.bib.irb.hr/823025?&rad=823025>
- [11] Šare, Anamarija ; Krajačić, Goran ; Pukšec, Tomislav ; Duić, Neven: The integration of renewable energy sources and electric vehicles into the power system of the Dubrovnik region; <https://www.bib.irb.hr/787139?&rad=787139>
- [12] Pfeifer, Antun ; Bošković, Fran ; Dobravec, Viktorija ; Matak, Nikola ; Krajačić, Goran ; Duić, Neven ; Pukšec, Tomislav: Building smart energy systems on Croatian Islands by increasing integration of renewable energy sources and electric vehicles; <https://www.bib.irb.hr/889263?&rad=889263>
- [13] United Nations: „Paris Agreement“, 2015.; https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- [14] "DIREKTIVA (EU) 2018/2001 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 11. prosinca 2018. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora"; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
- [15] Europska komisija: „Plan REPowerEU“; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/DOC/?uri=CELEX:52022DC0230&from=EN>
- [16] Transport & Environment: „RechargeEU“; <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/01%202020%20Draft%20TE%20Infrastructure%20Report%20Final.pdf>
- [17] ACEA: „Vehicles in use 2022.“; <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2022/> (zadnji posjet: 15.3.2023.)
- [18] BloombergNEF; <https://about.bnef.com/blog/net-zero-road-transport-by-2050-still-possible-as-electric-vehicles-set-to-quintuple-by-2025/>
- [19] Regionalna razvojna agencija Primorsko-goranske županije: „Analiza stanja plana razvoja Primorsko-goranske županije 2021. godine“; <https://prigoda.hr/wp-content/uploads/2021/12/PRILOG-1.-Analiza-stanja-2.pdf>
- [20] Regionalna razvojna agencija Primorsko-goranske županije: „Plan razvoja Primorsko-goranske županije za razdoblje 2022.-2027. godine“; <https://www2.pgz.hr/doc/dokumenti/savjetovanje-s-javnoscju/2021/razvoj%20PGZ/Nacrt%20prijedloga%20Plana%20razvoja%20PG%20C5%20BD%202022.-2027.pdf>
- [21] Energo d.o.o.; <https://energo.hr/toplinska-energija/proizvodnja-toplinske-energije/>

- [22] Centar za vozila Hrvatske: Tehnički pregled; <https://www.cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/>
- [23] Kranzl L., Hartner M., Mueller A., Resch G., Fritz S., Fleiter T., Herbst A., Rehfeldt M., Manz P., Zubaryeva A., Gomez Vilchez J.: „Heating & Cooling Outlook until 2050, EU-28“
- [24] „Razvojna strategija Primorsko-goranske županije 2016.-2020.“; https://www2.pgz.hr/pozivi_skupstina/13-17/skupstina22/TOCKA1-PRIOLOG2.pdf
- [25] https://energy.ec.europa.eu/system/files/2017-09/croatia_report_eed_art_141update_hr_0.pdf
- [26] ACEA: Share of alternatively-powered vehicles in the EU fleet, per segment; <https://www.acea.auto/figure/share-of-alternatively-powered-vehicles-in-the-eu-fleet-per-segment/>
- [27] Nickel Institute: Total Cost of Ownership (TCO) for Electric Vehicles (EV) vs Internal Combustion Engine Vehicles (ICE); <https://nickelinstitute.org/en/about-nickel-and-its-applications/nickel-in-batteries/total-cost-of-ownership-tco-for-electric-vehicles-ev-vs-internal-combustion-engine-vehicles-ice/>
- [28] ACEA: „ACEA position and recommendations for the standardization of the charging of electrically chargeable vehicles“: https://www.acea.auto/files/charging_20110511.pdf
- [29] Daze Technology: „Charging Modes for Electric Vehicles“; <https://www.dazetechnology.com/charging-modes-for-ev/>
- [30] EVESCO; <https://www.power-sonic.com/blog/levels-of-ev-charging/#:~:text=There%20are%20three%20EV%20charging,the%20fa-ster%20it%20can%20charge.>
- [31] Lovrić M.: „Planiranje budućih energetske potrebe prometnog sektora u turističkim destinacijama“
- [32] Apostolaki-Iosifidou E., Codani P., Kempton W.: „Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging“; https://www.researchgate.net/figure/Three-options-of-EV-charging-charging-rates-8Amps-at-120-V-10Amps-and-70Amps-at-240-V_tbl4_314301528
- [33] e.on: „Electric car battery capacity and lifespan“; <https://www.eonenergy.com/electric-vehicle-charging/costs-and-benefits/battery-capacity-and-lifespan.html#:~:text=Electric%20car%20battery%20capacity,-Lithium%20Dion%20battery&text=The%20average%20capacity%20is%20around,direct%20impact%20on%20its%20range.> (zadnji posjet: 15.3.2023.)

- [34] Statista: Estimated average battery capacity in electric vehicles worldwide from 2017 to 2025, by type of vehicle; <https://www.statista.com/statistics/309584/battery-capacity-estimates-for-electric-vehicles-worldwide/> (zadnji posjet: 15.3.2023.)
- [35] Odysee-Mure: Sectoral Profile Transport; <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/transport/distance-travelled-by-car.html#:~:text=Large%20discrepancy%20of%20the%20average,km%2Fyear%20for%20the%20EU> (zadnji posjet: 15.3.2023.)
- [36] Centar za vozila Hrvatske: Prosječno godišnje prijeđeni put; https://www.cvh.hr/media/4383/s10_prosjecno_godisnje_prijeđeni_put_povv_za_2021.pdf (zadnji posjet: 15.3.2023.)
- [37] HAK Kategorije; <https://www.hak.hr/vozila/homologacija/kategorije/>
- [38] VIRTIA: EV Charging-How much electricity does an electric car use?; <https://www.virta.global/blog/ev-charging-101-how-much-electricity-does-an-electric-car-use#:~:text=An%20average%20electric%20car%20consumes,clo-ser%20to%200%2C2%20kilowatthours.> (zadnji posjet: 15.3.2023.)
- [39] Volvo; <https://www.volvogroup.com/en/news-and-media/news/2022/jan/news-4153093.html#:~:text=Energy%20consumption%3A%201%2C1%20kWh,power%3A%20490%20kW%20continuous%20power> (zadnji posjet: 15.3.2023.)
- [40] Sustainable Bus; <https://www.sustainable-bus.com/news/electric-bus-range-electricity-consumption/> (zadnji posjet: 15.3.2023.)
- [41] ICCT: REAL-WORLD USAGE OF PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES: FUEL CONSUMPTION, ELECTRIC DRIVING, AND CO2 EMISSIONS; <https://the-icct.org/publication/real-world-usage-of-plug-in-hybrid-electric-vehicles-fuel-consumption-electric-driving-and-co2-emissions/>
- [42] European Environment Agency: New registrations of electric vehicles in Europe; <https://www.eea.europa.eu/ims/new-registrations-of-electric-vehicles>
- [43] Inspire Clean Energy: How Much Power Does A Wind Turbine Produce?; <https://www.inspirecleanenergy.com/blog/clean-energy-101/how-much-energy-does-wind-turbine-produce>

- [44] INTERNACIONALNI UNIVERZITET TRAVNIK U TRAVNIKU, FAKULTET POLITEHNIČKIH NAUKA TRAVNIK U TRAVNIKU, Avdić S.: „KARAKTERISTIKE I IZBOR OPREME ZA DISTRIBUTIVNE TRAFOSTANICE“; <https://iu-travnik.com/wp-content/uploads/2020/01/Senaid-Avdi%C4%87-%E2%80%93-ZAVR%C5%A0NI-RAD-KARAKTERISTIKE-I-IZBOR-OPREME-ZA-DISTRIBUTIVNE-TRAFOSTANICE.pdf>
- [45] QGIS; <https://www.qgis.org/en/site/>
- [46] ELEN; <https://myhep.etrel.com/#/portal/locations>
- [47] Hrvatski Telekom; <https://hr.rechargespots.eu/#/portal/locations>
- [48] Petrol; <https://onecharge.eu/#/portal/locations>
- [49] Tesla; https://www.tesla.com/hr_hr/fin-dus?v=2&bounds=47.680601122999015%2C20.2594618925936%2C41.517269024623246%2C4.4391493925936&zoom=7&filters=store%2Cservice%2Csupercharger%2Cdestination%20charger%2Cbodyshop%2Cparty
- [50] Plugshare; <https://www.plugshare.com/>
- [51] Primorsko-goranska županija: Ceste i cestovni promet; <https://www.pgj.hr/ustroj/upravna-tijela/upravni-odjel-za-pomorsko-dobro-promet-i-veze/promet/ceste-i-cestovni-promet/>
- [52] ACEA: Electric cars: 6 EU countries have less than 1 charger per 100km of road; 1 charger in 7 is fast; <https://www.acea.auto/press-release/electric-cars-6-eu-countries-have-less-than-1-charger-per-100km-of-road-1-charger-in-7-is-fast/>
- [53] Centar za vozila Hrvatske: broj vozila po županijama, vrsti vozila i vrsti goriva; https://www.cvh.hr/media/4403/s11_broj_vozila_2021_zupanije_vrstevozila_vrstegoriva.pdf
- [54] Ministarstvo turizma Republike Hrvatske: TURIZAM U BROJKAMA 2019; https://www.htz.hr/sites/default/files/2020-07/HTZ%20TUB%20HR_%202019%20%281%29.pdf
- [55] Ministarstvo turizma Republike Hrvatske: TURISTIČKI PROMET U KOLOVOZU 2019. GODINE; https://mint.gov.hr/UserDocsImages/AA_2018_c-dokumenti/191018_Tur-prometVII.pdf
- [56] INSIDEEVs: European Countries Listed By Plug-In Electric Car Market Share In Q1-Q4 2020; <https://insideevs.com/news/489169/european-countries-plugin-market-share-q1q4-2020/>

- [57] Centar za vozila Hrvatske: Vozila kategorije M1 s ELEKTRIČNIM i HIBRIDNIM pogonom; https://www.cvh.hr/media/4922/s15_broj_vozila_s_elektricnim_i_hibridnim_pogonom_2007do2022.pdf
- [58] Državni zavod za statistiku: REGISTRIRANA CESTOVNA VOZILA I CESTOVNE PROMETNE NESREĆE U 2021.; <https://podaci.dzs.hr/2022/hr/29136>
- [59] Kammuang-lue N., Pattana S., Wiratkasem K.: Draft of the MEPS and HEPS for two-wheel electric motorcycles in Thailand; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235248472031547X>
- [60] euronews: Cars in Europe: diesel's not dead yet; <https://www.euronews.com/2018/01/10/cars-in-europe-diesel-s-not-dead-yet>
- [61] Ke Zhang et al 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 295 042065: „Method for evaluating user-side flexible device access to power grid“; https://www.researchgate.net/figure/The-comparison-of-energy-consumption-of-per-kilometer-in-fuel-vehicle-and-EV-From-figure_fig1_334693982
- [62] Hrvatska energetska tranzicija: RESFLEX - Analiza utjecaja tehnologija odgovora potrošnje na integraciju OIE; <https://het.hr/repozitorij/izvjestaj-o-utjecajima-razlicitih-tehnologija-na-integraciju-obnovljivih-izvora-u-energetski-sustav-kroz-scenarijski-pristup/energyplan-hrvatska-analiza-utjecaja-tehnologija-odgovora-potrosnje-na-integraciju-oie/>
- [63] Engineering ToolBox; https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html
- [64] icct: FUEL EFFICIENCY TECHNOLOGY IN EUROPEAN HEAVY-DUTY VEHICLES: BASELINE AND POTENTIAL FOR THE 2020–2030 TIMEFRAME; <https://the-icct.org/publication/fuel-efficiency-technology-in-european-heavy-duty-vehicles-baseline-and-potential-for-the-2020-2030-timeframe/>
- [65] Mustafa M. Y.: Utilizing fuel cell technology for Dubai Roads and Transport Authority (RTA); https://www.researchgate.net/figure/Diesel-consumption-for-RTA-buses_fig2_325918532
- [66] The Federation of European Motorcyclists' Associations: Yes, Motorcycles Use Less Fuel Than Cars, Here's The Proof; <http://www.fema-online.eu/website/index.php/2016/05/02/yes-motorcycles-use-less-fuel-than-cars-heres-the-proof/>
- [67] EnergyPLAN; <https://www.energyplan.eu/>

- [68] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja: „Energija u Hrvatskoj 2019.“; https://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2020/12/1_Energija_u_Hrvatskoj_2019-compressed-1.pdf
- [69] Državni zavod za statistiku: Objavljeni konačni rezultati Popisa 2021.; <https://dzs.gov.hr/vijesti/objavljeni-konacni-rezultati-popisa-2021/1270>
- [70] Ministarstvo gospodarstva: „Program korištenja potencijala za učinkovitost u grijanju i hlađenju za razdoblje 2016. – 2030“; https://energy.ec.europa.eu/system/files/2017-09/croatia_report_eed_art_141update_hr_0.pdf
- [71] EnerPEDIA; http://enerpedia.net/index.php/Glavna_stranica
- [72] HEP PROIZVODNJA: Termoelektrane; <https://www.hep.hr/proizvodnja/termoelektrane-1560/1560>
- [73] HEP: SUNČANA ELEKTRANA CRES; https://www.hep.hr/UserDocsImages/vijesti/2020/2020_06/Prezentacija%20SE%20Cres.pdf
- [74] Renewables.ninja; <https://www.renewables.ninja/>
- [75] emajstor by daibau; https://www.emajstor.hr/cijene/toplotne_crpke_pumpe (zadnji posjet: 15.3.2023.)
- [76] TERBAM.HR; <https://www.trebam.hr/cijene/dizalica-topline/cijena-dizalice-topline> (zadnji posjet: 15.3.2023.)
- [77] energysage; <https://news.energysage.com/how-many-watts-does-an-air-source-heat-pump-use/#:~:text=On%20average%2C%20an%20air%20source,amps%20and%20about%20230%20volts.> (zadnji posjet: 15.3.2023.)
- [78] ECOENERGYGEEK: How Much Electricity Does A Heat Pump Use?; <https://www.ecoenergygeek.com/heat-pump-electricity-usage/> (zadnji posjet: 15.3.2023.)
- [79] ESTIF: A Solar Thermal Roadmap for Europe; https://solariseheat.eu/wp-content/uploads/2022/04/Pol-21.2.1-Solar_Thermal_Roadmap-1.pdf
- [80] https://www.iea-shc.org/data/sites/1/documents/statistics/technical_note-new_solar_thermal_statistics_Conversion.pdf
- [81] SolarPACES: Study Finds Solar Thermal Yields 3-times kWh/m² of PV; <https://www.solarpaces.org/study-finds-solar-thermal-yields-3-times-kwhm2-pv/>
- [82] Mirosław Zukowski, Marta Kosior-Kazberuk, Tomasz Blaszczyński: „Energy and Environmental Performance of Solar Thermal Collectors and PV Panel System in Renovated Historical Building“
- [83] GLOBAL SOLAR ATLAS; <https://globalsolaratlas.info/map?c=55.533294,10.975342,8&s=55.683779,12.568359&m=site>

- [84] ZDNET: „The best home battery and backup systems (plus how they work)“; <https://www.zdnet.com/home-and-office/energy/best-home-battery/>
- [85] Interreg Mediterranean PRISMI: „Promoting RES Integration for Smart Mediterranean Islands“; https://prismi.interreg-med.eu/fileadmin/user_upload/Sites/Renewable_Energy/Projects/PRISMI/Library/RES_feasibility_study_and_comparative_analysis.pdf
- [86] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja: „Nacrt Dugoročne strategije za poticanje ulaganja u obnovu nacionalnog fonda zgrada Republike Hrvatske“
- [87] Nuñez-Jimenez A., De Blasio N.: „The Future of Renewable Hydrogen in the European Union“; https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/Report_EU%20Hydrogen_FINAL.pdf
- [88] VALDEZ: AMORTIZACIJA IMOVINE, AMORTIZACIJSKE STOPE I RASHODOVANJE; <https://www.virtualni-ured.net/racunovodstvo/item/321-stope-amortizacije-otpisa-dugotrajne-imovine.html>
- [89] Ministarstvo financija-prezna uprava: POREZ NA DOBIT; https://www.porezna-uprava.hr/HR_porezni_sustav/Stranice/porez_na_dobit.aspx
- [90] International Energy Agency: „Energy Efficiency Indicators for Public Electricity Production from Fossil Fuels“; <https://iea.blob.core.windows.net/assets/acaecb98-4430-4395-a4fa-d1a4d5ccb3d3/EnergyEfficiencyIndicatorsforPublicElectricityProduction-fromFossilFuels.pdf>
- [91] US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Power Resources Office: „Hydroelectric Power“; <https://www.usbr.gov/power/edu/pamphlet.pdf>
- [92] US Energy Information Administration: „Carbon Dioxide Emissions Coefficients“; https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php
- [93] LAZARD: „LAZARD’S LEVELIZED COST OF ENERGY ANALYSIS — VERSION 15.0“; <https://www.lazard.com/media/451881/lazards-levelized-cost-of-energy-version-150-vf.pdf>
- [94] <https://www.xe.com/currencyconverter/convert/?Amount=38&From=USD&To=EUR>
(zadnji posjet: 15.2.2023.)
- [95] fuelo; <https://hr.fuelo.net/fuel/type/lpg/month?lang=en>
- [96] TRADING ECONOMICS; <https://tradingeconomics.com/commodity/natural-gas>
- [97] GlobalPetrolPrices.com; <https://www.globalpetrolprices.com/>
- [98] OILPRICE.com; <https://oilprice.com/>

- [99] Hrvatska energetska tranzicija: RESFLEX- Klimatološki podaci na satnoj razini na NUTS 3 razini; <https://het.hr/repozitorij/prikupljanje-i-mapiranje-podataka/klimatologija-makroekonomija-i-demografija-te-energetika-u-referentnom-scenariju/baza-podataka/klimatoloski-podaci-na-satnoj-razini-na-nuts-3-razini/>
- [100] Wikipedija: „Vjetroelektrane u Hrvatskoj“; https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrane_u_Hrvatskoj (zadnji posjet: 15.3.2023.)