

# Određivanje broja punionica za električna vozila na parkiralištu prekrivenom fotonaponskim panelima

---

**Beljan, Ilija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:476697>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-26**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni diplomski studij**

**Određivanje broja punionica za električna vozila na  
parkiralištu prekrivenom fotonaponskim panelima**

**Diplomski rad**

**Ilija Beljan**

**Osijek, 2023.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PREGLED LITERATURE .....</b>	<b>2</b>
<b>3. PUNIONICE ZA ELEKTRIČNA VOZILA .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1. Standardi koji propisuju zahtjeve za punjenje EV-a.....</b>	<b>3</b>
<b>3.2. Vrste priključaka.....</b>	<b>5</b>
3.2.1. Tip 1 - jednofazni priključak .....	5
3.2.2. Tip 2 - jednofazni i trofazni priključak.....	6
3.2.3. CCS - Combined Charging System .....	7
3.2.4. CHAdeMO.....	8
<b>3.3. Punionice u Republici Hrvatskoj .....</b>	<b>9</b>
<b>3.4. Utjecaj punionica na elektroenergetski sustav .....</b>	<b>10</b>
<b>3.5. Solarne punionice za električna vozila .....</b>	<b>11</b>
<b>4. PROIZVODNJA I PRODAJA ELEKTRIČNE ENERGIJE.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1. Kupci kategorije poduzetništvo.....</b>	<b>14</b>
4.1.1. Tarifni modeli.....	14
4.1.2. Tarifne stavke (cijene) .....	16
4.1.3. Poticanje proizvodnje iz obnovljivih izvora .....	17
<b>4.2. Preuzimanje električne energije iz mreže.....</b>	<b>18</b>
<b>4.3. Prodaja električne energije u mrežu .....</b>	<b>19</b>
<b>5. ODREĐIVANJE BROJA PUNIONICA NA PARKIRALIŠTU PREKRIVENOM FOTONAPONSKIM PANELIMA .....</b>	<b>20</b>
<b>5.1. Metodologija rada.....</b>	<b>20</b>
5.1.1. Izbor parkira lišta .....	20
5.1.2. Izbor modula.....	22
5.1.3. Izračun broja modula i instalirane snage .....	23
5.1.4. Sunčevo zračenje .....	25
5.1.5. Izbor punionice.....	26
5.1.6. Potrošnja i prodaja proizvedene električne energije .....	27
<b>5.2. Odabir broja punionica za trgovački centar .....</b>	<b>29</b>
5.2.1. 1 punionica.....	30

5.2.2. 4 punionice.....	31
5.2.3. 8 punionica.....	32
5.2.4. 10 punionica .....	33
5.2.5. Zaključak analize .....	34
<b>5.3. Odabir broja punionica za ustanovu ili tvrtku.....</b>	<b>35</b>
5.3.1. 1 punionica.....	36
5.3.2. 4 punionice.....	38
5.3.3. 8 punionica.....	39
5.3.4. 10 punionica .....	39
5.3.5. Zaključak analize .....	40
<b>5.4. Usporedba rezultata.....</b>	<b>42</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>44</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>46</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>48</b>

## 1. UVOD

Električna vozila (engl. *Electric Vehicles* - EV) postala su sve zastupljenija tema vezana uz održivi razvoj mobilnosti kao zamjena za vozila s motorima s unutrašnjim izgaranjem. Glavna prednost EV-a je što nema izravne emisije štetnih i stakleničkih plinova. Unaprjeđenjem tehničkih karakteristika EV (domet, kapacitet baterije, brzina punjenja itd.) povećala se i zainteresiranost šire populacije za kupnjom istih. Eksponencijalni rast vozila na električni i hibridni pogon s vanjskim punjenjem zahtjeva odgovarajuću infrastrukturu punionica koja će podupirati daljnji razvoj.

Punionice za EV-a predstavljaju posebna mjesta za punjenje električnih vozila električnom energijom. Punionice za EV se najčešće napajaju iz elektroenergetske mreže. Kako bi se nastavio trend porasta broja EV, punionice se moraju razvijati i kontinuirano implementirati u prometni sustav kako bi se omogućilo veće zadovoljstvo korisnika te bolje planiranje putovanja. Prema dostupnim podacima Međunarodne agencije za energiju (engl. *International Energy Agency*), broj električnih vozila i punionica za EV iznosio je preko 25 milijuna EV-a i 2,7 milijuna javnih punionica u cijelom svijetu na kraju 2022. godine. Udio EV u ukupnom broju vozila na svijetu u 2022. godini iznosio je 12%, a procjenjuje da će taj udio do kraja 2023. godine biti 18%. Daljnje povećanje udjela EV sigurno će zahtijevati dostupniju i financijski pristupačniju infrastrukturu punionica, kroz javno dostupne ili privatne punionice na poslu ili kod kuće.

Preklapanje potrošnje već postojećih potrošača s povećanim zahtjevima električne energije za punjenje električnog vozila, može doći do preopterećenja sustava. Integracija punionica za električna vozila u elektroenergetski sustav može imati negativan utjecaj i uzrokovati probleme zbog povećanja zahtjeva za električnom energijom. Jedan od načina rješavanja ovakvog problema, što je ujedno i tema ovog diplomskog rada, je integracija fotonaponskih sustava zajedno s punionicama za električna vozila kako bi se omogućila bolja integracija punionica za EV u EES.

Tema rada je odrediti koliko se punionica za EV-a može postaviti na parkiralištu prekrivenom fotonaponskim panelima. U teorijskom dijelu će se dati pregled osnovnih značajki vezanih za punionice za EV-a, tipove punionica te uvid u trenutno stanje s punionicama u Republici Hrvatskoj. U praktičnom dijelu rada analizirat će se slučajevi parkirališta namijenjenog kupcima nekog trgovačkog centra i parkirališta namijenjenog zaposlenicima neke ustanove ili tvrtke. Na osnovu snage i godišnje proizvodnje iz FN elektrane odrediti će se broj punionica za EV. U obzir će se uzeti mogućnost isporuke viška električne energije u mrežu i preuzimanja električne energije iz mreže kada nema dovoljno proizvodnje iz fotonaponske elektrane.

## 2. PREGLED LITERATURE

U posljednjem desetljeću, EV- su postala sveprisutna širom svijeta, što je rezultiralo povećanom potrebom za infrastrukturom za punjenje ovih vozila. Istovremeno, istraživanja i razvoj u području električnih vozila potaknuli su razvoj standarda i tehnologija koje se primjenjuju u punjenju ovih vozila.

Detaljan pregled punionica za električna vozila i režima punjenja nalazi se u radu "EV charging stations and Modes: International standards" objavljenom na Međunarodnom simpoziju o energetskej elektronici, električnim pogonima, automatizaciji i kretanju 2014. godine. Ovaj rad detaljno istražuje međunarodne standarde i specifikacije koje se primjenjuju u procesu punjenja električnih vozila. [1]

Općeniti pregled različitih načina punjenja i priključaka za električne automobile u radu iz 2019. godine ima ključnu važnost za razumijevanje različitih modela punjenja i načina na koje se različiti priključci koriste za tu svrhu. [2]

Pored tradicionalnih punionica, sve veća pažnja se posvećuje integraciji fotonaponskih panela u infrastrukturu za punjenje električnih vozila. U radu "Evaluation of solar photovoltaic carport canopy with electric vehicle charging potential" iz 2023. godine istražuje se potencijal fotonaponskih panela na nadstrešnicama za punjenje električnih vozila. [3]

Tehnologija "Vehicle to Grid" (V2G) objašnjena je u radu iz 2015. godine. V2G tehnologija omogućava električnim vozilima da budu integrirana u elektroenergetsku mrežu i doprinose skladištenju i upravljanju električnom energijom. [4]

Kako bi se procijenila ekonomska isplativost fotonaponskih panela na nadstrešnicama za punjenje električnih vozila, istraživanje iz 2021. godine, "PV Sizing of a Stand Alone Solar Carport System Linked to Charging Stations and its Economic Analysis", pruža analizu i ekonomske aspekte ove tehnologije [5].

Zaključno, infrastruktura za punjenje električnih vozila je dinamično područje koje se brzo razvija, uključujući nove standarde, tehnologije i inovacije. Pregled literature, kako je prikazano u ovom radu, ključan je za razumijevanje trenutnog stanja ovog područja i za identificiranje budućih smjerova za istraživanje i razvoj.

### 3. PUNIONICE ZA ELEKTRIČNA VOZILA

Pojavom sve većeg broja EV-a, nužno je razviti mrežu punionica za EV ako bi se omogućila sigurna opskrba električnom energijom za EV-a. Punionica za EV je dio prometne infrastrukture, javne ustanove ili privatne građevine koje služi za punjenje ili nadopunjavanje vozila električnom energijom. Time se omogućava punjenje na parkiralištu nekog trgovačkog centra za vrijeme obavljanja kupovine, tijekom radnog vremena, u vlastitoj garaži ili se povećava domet vozila nadopunjavanjem baterija na brzim punionicama na autocestama.

#### 3.1. Standardi koji propisuju zahtjeve za punjenje EV-a

Dvije glavne organizacije za standardizaciju punionica na električna vozila su:

- IEC - *International Electrotechnical Commission*
- SAE International - *Society of Automotive Engineering*

Međunarodna elektrotehnička komisija (engl. *International Electrotechnical Commission* - IEC) je organizacija koja objavljuje standarde za elektrotehničku i tehničku opremu. Osnovana je 1906. godine i ima sjedište u Ženevi. Razvija međunarodne standarde koji se odnose na razne aspekte električnih i elektroničkih sustava, uključujući sigurnost, performanse, interoperabilnost, učinkovitost i zaštitu okoliša. Standardi pomažu osigurati da električni uređaji i sustavi budu sigurni, pouzdani i usklađeni s međunarodnim normama. [1]

U Europi vrijede IEC standardi kojima se definiraju zahtjevi za električna vozila i njihovo punjenje:

- IEC 61851-1
- IEC 62196
- IEC 61980-1

Standard IEC 61851-1 specificira zahtjeve za sustave punjenja električnih vozila. Obuhvaća različite aspekte punjenja električnih vozila, uključujući komunikaciju vozila i punionice, načine punjenja, električnu sigurnost i interoperabilnost različitih sustava punjenja. Također pruža smjernice za dizajn, izgradnju i ispitivanje punionica kako bi se osigurala njihova kompatibilnost s električnim vozilima za siguran rad. [1]

Standard definira 4 različita moda punjenja:

- Mod 1: sporo punjenje iz obične utičnice bez posebne zaštite
- Mod 2: sporo punjenje iz obične utičnice, ali s ugrađenom zaštitom
- Mod 3: sporo ili brzo punjenje preko posebne utičnice s kontrolnim i zaštitnim funkcijama
- Mod 4: brzo punjenje pomoću posebnih izvedbi punjača

Standard IEC 62196 je skup standarda vezanih za utikače, utičnice, komunikacijske protokole i kablove za električna vozila i punionice. Konkretno, IEC 62196-1 standard specificira zahtjeve za AC utikače i utičnice za punjenje električnih vozila, dok IEC 62196-2 standard specificira zahtjeve za DC utikače, utičnice, kablove i komunikacijske protokole za DC punjenje električnih vozila. Navedeni standardi pružaju smjernice za dizajn, izvedbu i funkcionalnost priključnih sustava za punjenje EV čime se osigurava sigurnost, pouzdanost te komunikacija između vozila i punionica. [2]

Standard IEC 61980-1 specificira komunikacijske protokole i formate razmjene podataka za električna vozila i opremu za punjenje električnih vozila. Definira zahtjeve za komunikaciju između opreme i vozila, uključujući razmjenu informacija vezanih za status punjenja, električna mjerenja i kontrolne signale. Također, pruža smjernice za dizajn i implementaciju komunikacijskih sučelja, formata podataka i protokola radi olakšavanja operacija punjenja. Obuhvaća žičane i bežične metode te se bavi i autentifikacijom korisnika, privatnošću podataka i obradom pogrešaka. [1]

SAE International (engl. *Society of Automotive Engineering* – SAE) ili Društvo automobilskih inženjera je globalna organizacija koja razvija i usklađuje standarde na području inženjeringa u automobilskoj industriji. Osnovano je s ciljem unaprjeđenja inženjerskih znanja i promoviranja tehničkih standarda u automobilskom sektoru. Razvija standarde koji se odnose na performanse vozila, sigurnost, emisije, elektromobilnost, autonomnu vožnju i druge inovacije u industriji. [1]

Standard SAE J1772 koristi se u američkoj automobilskoj industriji koji definira tri razine punjenja za izmjenično i istosmjerno punjenje: razina 1, razina 2 i razina 3. Veća razina označava veću snagu kojom se odvija punjenje baterije. Standard sadrži potrebne podatke vezane za performanse punionica za Sjevernu Ameriku. [1]



## 3.2. Vrste priključaka

Priključke dijelimo na priključke za punjenje izmjeničnom strujom i priključke za punjenje istosmjernom strujom. Neki priključci podržavaju obje prethodno spomenute vrste punjenja. Međunarodna elektrotehnička komisija izdala je standard kojim su opisane vrste priključaka i načini punjenja pod nazivom IEC 62196. Prema tom standardu, priključci su podijeljeni na: [2]

- Tip 1 - jednofazni priključak
- Tip 2 - jednofazni i trofazni priključak
- CCS - Combined Charging System
- CHAdeMO

### 3.2.1. Tip 1 - jednofazni priključak

Tip 1 sa slike 3.1. je vrsta priključka za punjenje električnog vozila preko jednofazne izmjenične mreže. Trenutno korišteni konektor SAE J1772 je razvila tvrtka Yazaki te je najzastupljeniji u Americi.

Priključak sadrži 2 signalna, 2 energetska pina i uzemljenje. Detektiranje priključenosti električnog vozila na punionicu te osnovnu komunikaciju vozila sa punionicom omogućuju signalni pinovi.



Slika 3.1. Priključak tip 1 (SAE J1772) [6]

U tablici 3.1. su prikazane dvije razine punjenja:

Tablica 3.1. Razine punjenja priključka Tipa 1

	Napon [V]	Struja [A]	Snaga [kW]
Razina 1	120 (AC)	16	1-2
Razina 2	208 ili 240 (AC)	80	7-19

### 3.2.2. Tip 2 - jednofazni i trofazni priključak

Priključak sa slike 3.2. se popularno naziva Mennekes po njemačkom proizvođaču koji ga je razvio, a formalno se vodi kao VDE-AR-E 2623-2-2 priključak. Ova vrsta priključka se najčešće koristi u Europi te služi za jednofazno ili trofazno te istosmjerno ili izmjenično punjenje.

Njegova prednost nad priključkom tipa 1 je što podržava trofazno punjenje bitno za europske standarde. Maksimalni korišteni napon je do 500 V, a struja punjenja do 300 A. [2]



Slika 3.2. Priključak tip 2 (Mennekes) [6]

### 3.2.3. CCS - Combined Charging System

*Combined Charging System*, COMBO1 (CCS1) i COMBO2 (CCS2), su standardizirani priključci novog kombiniranog sustava punjenja. Primjenu su pronašli i u Europi i Sjedinjenim Američkim Državama te su prikazani na slici 3.3.



Slika 3.3. Priključci CCS1 (lijevo) i CCS2 (desno) [6]

Nastali su iz priključaka tipa 1 (CCS1) i tipa 2 (CCS2). Omogućuju jednofazno i trofazno izmjenično, istosmjerno i brzo istosmjerno punjenje koristeći jedan priključak. Već postojećim priključcima J1772 i Mennekes, dodali su još dva energetska pina kako bi podržavali brzo istosmjerno punjenje.

CCS1 je dizajniran za američko tržište te ima maksimalnu snagu punjenja do 80 kW, napon do 500 V, a struja punjenja iznosi do 200 A.

CCS2 je dizajniran za europsko tržište te njegova snaga punjenja doseže maksimalno 350 kW, napon do 1 kV, a struja punjenja postiže vrijednosti do 500 A.

### 3.2.4. CHAdeMO

Kako su CCS1 i CCS2 unaprjeđene inačice priključaka tipa 1 i tipa 2, priključak CHAdeMO možemo nazvati tipom 4. Tvrtnka TEPCO (engl. *The Tokyo Electric Power Company*) iz Japana razvila je ovakav tip priključka koji je dizajniran isključivo za brze punionice istosmjerne struje. Kao i prethodni tipovi, sadrži podatkovne pinove za razmjenu podataka s punionicom.

CHAdeMO priključak sa slike 3.4. ima maksimalnu snagu punjenja preko 500 kW, naponom do 1500 V, a struja punjenja iznosi do 600 A. Takve snage punjenja se odnose na priključak CHAdeMO 3.0 te su ostvarene projektom ChaoJi suradnjom sa međunarodnim partnerima. [7]



Slika 3.4. Priključak CHAdeMO [6]

### 3.3. Punionice u Republici Hrvatskoj

Broj registriranih električnih vozila u Republici Hrvatskoj iznosio je 4,799 za 2022. godinu prema statistici Centra za vozila Hrvatske što je i dalje mala brojka kako bi se jasno uvidio problem nedostatka infrastrukture punionica. [8] U Republici Hrvatskoj postoji nekoliko operatera koji pružaju usluge punjenja električnih vozila na javnim punionicama.

ELEN je naziv za mrežu javno dostupnih punionica za električna vozila koju vodi Hrvatska elektroprivreda (HEP). U svojoj mreži imaju 235 punionica koje koriste tri vrste priključaka: Tip 2 (Mennekes), Tip 4 (CHAdeMO) i CCS. Punionice isključivo na izmjeničnu struju imaju po dva standardizirana priključka Mod 3 Tip 2 od 22 kW. AC/DC punionice sadrže tri standardizirana priključka (Mod 3 Tip 2 za izmjenično punjenje, CHAdeMO i CCS za istosmjerno punjenje). Brzi punjači na istosmjernu struju dolaze s dva standardizirana priključka (CHAdeMO i CCS). Za svaku vrstu punionice, vlasnik vozila mora imati odgovarajući kabel za punjenje vozila. [9]

Mol Plugee je naziv električnih punionica mađarske MOL grupe. Na svojih 11 lokacija nude tri standarda za punjenje električnih vozila: Tip 2, CHAdeMO i CCS. Na taj način podržavaju izmjenično, istosmjerno te brzo istosmjerno punjenje na različitim lokacijama. [10]

OneCharge je aplikacija slovenskog Petrola koji su razvili veliku mrežu diljem Hrvatske. Svojim mnogobrojnim punionicama pokrivaju izmjenično punjenje snage do 22 kW, istosmjerno punjenje do 50 kW i istosmjerno brzo punjenje snagom iznad 50 kW. [11]

Ionity je mreža superbrzih punjača koji se u Hrvatskoj nalaze na 4 lokacije te omogućavaju istosmjerno punjenje snagom do 350 kW. Za punjenje se koristi CCS standard te po punionici sadržavaju 4 ili 6 punjača. [12]

Hrvatski Telekom je sa 330 mjesta za punjenje svih vrsta električnih vozila u više od 90 gradova zasigurno predvodnik na području e-mobilnosti u Hrvatskoj. Također koriste Tip 2, CHAdeMO i CCS vrste priključaka na svojim lokacijama. HT, kao član EIT Urban Mobility RIS Hub Hrvatska kojeg odobrava Europski institut za inovacije i tehnologiju, podržava inicijativu ubrzavanja pozitivnih promjena u mobilnosti. [13]

Tesla Supercharger na 8 lokacija u Hrvatskoj pruža mogućnost punjenja do 150 kW. Ovisno o lokaciji, imaju 4, 6 ili 8 punjača koji pomoću CCS priključka ostvaraju brzo istosmjerno punjenje, ali samo vozilima proizvođača Tesla. [14]

### 3.4. Utjecaj punionica na elektroenergetski sustav

Razvitak, porast broja i pristupačnosti električnih vozila, zahtjeva i odgovarajuću infrastrukturu punionica za električna vozila koja će podupirati i doprinijeti daljnjem razvoju. Takvo povećavanje broja punionica za električna vozila predstavlja potrebu zakupa veće priključne snage elektroenergetskog sustava, a samim time povećava se i opterećenje sustava.

Povećanje opterećenja može izazvati promjene napona i gubitke u mreži, posebno za vrijeme već povišenih opterećenja mreže. Tijekom vršnih opterećenja sustava, punionice za električna vozila mogu predstavljati rizik za preopterećenje sustava. Većina vlasnika EV će puniti svoja vozila nakon povratka s posla što je ujedno i vrijeme povećavanja opterećenja sustava. Na taj način, lako se dosegne i prekorači predviđena potrebna električna energija po dnevnom dijagramu opterećenja koji se predviđa za svaki dan unaprijed. Sporo punjenje kućnim punjačima neće jednako opteretiti mrežu kao punjenje super brzim istosmjernim punjačima koji značajno povećavaju opterećenje u kratkom vremenu. Kako bi elektroenergetski sustav podnosio veća opterećenja, potrebno ga je prilagoditi što zahtjeva velike investicijske troškove. Zbog potrebnih velikih ulaganja, traže se alternativna rješenja.

Jedno od rješenja za smanjenje vršnih opterećenja vezano je uz primjenu tarifnog modela kojim bi se poticalo punjenje električnih vozila kada je ukupno opterećenje sustava najmanje. Niža cijena električne energije i punjenja za vrijeme smanjenog opterećenja sustava, motivirat će vlasnike električnih vozila da pune svoje automobile za vrijeme manjeg opterećenja sustava.

V2G koncept (engl. *Vehicle-to-grid*) je tehnologija koja omogućuje povezanost električnog vozila sa mrežom. Osnovni cilj ovakvog sustava je da se električna vozila pune iz mreže kada postoji višak proizvedene energije ili kada je opterećenje malo, a kada je opterećenje sustava veliko, energija uskladištena u baterijama električnih vozila šalje se nazad u mrežu kako bi se ostvarilo rasterećenje. Priključenjem većeg broja vozila na mrežu preko V2G tehnologije, omogućava se skladištenje energije za potrebe vršnih opterećenja. [4]

Kao jedno od mogućih rješenja, što će biti i glavna tema ovog diplomskog rada, je uporaba fotonaponskih sustava zajedno sa punionicama kako bi se smanjio rizik pojave preopterećenja sustava.

### 3.5. Solarne punionice za električna vozila

Fotonaponski sustav (FN) omogućava proizvodnju električne energije potrebnu za punionice za EV kako bi se smanjilo ukupno opterećenje na mrežu. Osnovni element fotonaponskog sustava naziva se fotonaponska ćelija. Serijsko povezivanje fotonaponskih ćelija čini fotonaponski modul koji daje veći izlazni napon, a povezivanjem više fotonaponskih modula, serijski ili paralelno, dobije se fotonaponski niz većih vrijednosti napona, struje i izlazne snage. Fotonaponska elektrana može biti povezana na mrežu ili odvojena od mreže u tzv. otočni sustav. Mrežni fotonaponski sustavi proizvode električnu energiju za vlastite potrebe, a višak proizvedene energije mogu predati u elektroenergetski sustav. Neki od glavnih komponenti takvog sustava su: fotonaponski moduli, izmjenjivač i dvosmjerno brojilo. Kod otočnog sustava, proizvedena električna energija bi u svakom trenutku trebala biti jednaka potrošnji što ovakav tip fotonaponske elektrane čini pogodnim za mjesta gdje su otežane okolnosti spajanja na elektroenergetsku mrežu. Uz prethodno navedene komponente mrežnog sustava, otočni može sadržavati spremnik energije kako bi skladištio višak proizvedene energije tokom dana, a iskoristavao spremljenu energiju kada je proizvodnja niža od potrošnje. Također, postoji izvedba koja se naziva hibridni sustav unutar kojeg se nalazi jedan pomoćni izvor električne energije uz fotonaponske module kako bi bili sigurni da će potrebna potrošnja biti zadovoljena.

Mogućnosti za instalaciju velikih fotonaponskih sustava su ograničene zbog površine koje zahtijevaju. Gradnjom elektrane na površini zemlje, gubi se značajna količina obradivog prostora. Zbog toga, najčešće se izvode na krovovima zgrada ili kuća gdje nema utjecaja na druge djelatnosti.

Osim toga, velike površine parkirališta trgovačkih centara ili javnih ustanova mogu biti iskoristena za izgradnju fotonaponskih elektrana ukoliko nema zasjenjenja. Postavljanjem nadstrešnica iznad dijela parkirališne zone, izrađena je konstrukcija koja može poslužiti za postavljanje panela. Na taj način, očuvala su se mjesta za vozila, osigurala zaštita sunčevog zagrijavanja samog vozila, zaštita vozila od prirodnih nepogoda, ali i omogućila proizvodnja električne energije. [3]

Proizvedena električna energija iz fotonaponskog sustava može se iskoristiti za punjenje EV na punionicama. Punionice predstavljaju dodatno opterećenje za mrežu te bi se na ovaj način smanjio utjecaj dodatnog opterećenja. Ako bi solarna elektrana bila vezana za mrežu, višak proizvedene energije bi mogla predati u mrežu što bi također rasteretilo elektroenergetski sustav.

Dimenzioniranje fotonaponskog sustava ovisit će o dostupnoj površini za postavljanje konstrukcije nadstrešnice na koju će onda biti postavljeni moduli. Omjer dostupne površine parkinga i površine jednog modula će dati ukupan broj panela koji se mogu postaviti.

$$N_{PV} = \frac{A_{PARK}}{A_{SP}}, \quad (3 - 1)$$

gdje je:

- $N_{PV}$  ukupni broj solarnih panela,
- $A_{PARK}$  [m<sup>2</sup>] površina parkinga i
- $A_{SP}$  [m<sup>2</sup>] površina jednog solarnog panela.

Za izračun predviđene proizvodnje, također će biti potrebni podaci o pretpostavljenom sunčevom zračenju kroz mjesec u godini. Što je više sunčevog zračenja  $G$  [kW/m<sup>2</sup>], to će biti veća proizvodnja iz solarne elektrane. [5]



## 4. PROIZVODNJA I PRODAJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

HEP Elektra pruža mogućnost javne usluge zajamčenog otkupa električne energije kao zajamčeni opskrbljivač električnom energijom. Otkupljuje viškove proizvedene energije bez posebnog zahtjeva. Na taj način omogućeno je trošiti proizvedenu električnu energiju za vlastite potrebe, a u trenucima kada je potrošnja preniska ili proizvodnja previsoka, predavati višak električne energije u mrežu.

Kupac s vlastitom proizvodnjom je postojeći ili novi član energetske mreže koji ima priključenu elektranu na vlastite instalacije te ju koristi za potrebe pokrivanja vlastite potrošnje, a proizvedeni višak predaju u elektroenergetski sustav. [15]

Proces preuzimanja električne energije od korisnika s vlastitom proizvodnjom reguliran je putem odgovarajućeg ugovora o otkupu električne energije. U skladu sa Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 138/21), opskrbljivači električne energije su obvezni preuzeti viškove električne energije od korisnika s vlastitom proizvodnjom pod uvjetima (članak 51.): [16]

1. Imaju status povlaštenog proizvođača električne energije,
2. Ostvarili su pravo na trajno priključenje na elektroenergetsku mrežu,
3. Ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja na jednom obračunskom mjernom mjestu ne prelazi 500 kW,
4. Priključna snaga u smjeru isporuke električne energije u mrežu ne prelazi priključnu snagu kao kupca,
5. Isporučuje električnu energiju preko istog obračunskog mjernog mjesta preko kojeg i kupuje,
6. Vodi podatke o proizvedenoj i isporučenoj električnoj energiji.

Prema Pravilniku o općim uvjetima korištenja mreže i opskrbe električnom energijom (NN 100/2022), zajamčeni opskrbljivač otkupljuje višak proizvedene električne energije od korisnika mreže, bez posebnih zahtjeva. Ovaj način je primjenjiv ako korisnik nema već ugovoren otkup električne energije s drugim sudionicima na tržištu. [16]

## 4.1. Kupci kategorije poduzetništvo

Kupci u kategoriji poduzetništvo koji doprinose mreži električnom energijom koju zajamčeni opskrbljivač, HEP Elektra, otkupljuje unutar okvira zajamčenog otkupa, primaju obračunsku fakturu svakog mjeseca. Ova faktura se temelji na količini proizvedene električne energije, a relevantni podaci su dostupni putem online portala mjernih podataka HEP - Operatora distribucijskog sustava d.o.o.. Fakture mogu biti dostavljene elektroničkim putem kao e-računi ili u tiskanom obliku. [16]

### 4.1.1. Tarifni modeli

Korisnicima mreže u kategoriji poduzetništvo na raspolaganju su različiti tarifni modeli koji ovise o naponskoj razini njihovog priključka i tipu brojila koje im je instalirano. [17]

Za korisnike iz kategorije poduzetništvo priključene na mrežu srednjeg, visokog i vrlo visokog napona, primjenjuje se tarifni model Bijeli.

Ovaj model obuhvaća sljedeće tarifne elemente:

- Radna energija po višoj dnevnoj tarifi (izražena u €/kWh).
- Radna energija po nižoj dnevnoj tarifi (izražena u €/kWh).
- Obračunska vršna radna snaga (izražena u €/kW).
- Prekomjerna jalova energija (izražena u €/kvarh).
- Naknada za obračunsko mjerno mjesto (izražena u €/mj.).

Za korisnike poduzetništva priključene na mrežu niskog napona, na raspolaganju su četiri tarifna modela: Plavi, Bijeli, Crveni i Žuti.

Tarifni model Plavi uključuje sljedeće tarifne elemente:

- Radna energija po jedinstvenoj dnevnoj tarifi (izražena u €/kWh).
- Prekomjerna jalova energija (izražena u €/kvarh).
- Naknada za obračunsko mjerno mjesto (izražena u €/mj.).

Tarifni model Bijeli uključuje sljedeće tarifne elemente:

- Radna energija po višoj dnevnoj tarifi (izražena u €/kWh).
- Radna energija po nižoj dnevnoj tarifi (izražena u €/kWh).
- Prekomjerna jalova energija (izražena u €/kvarh).
- Naknada za obračunsko mjerno mjesto (izražena u €/mj.).

Tarifni model Crveni primjenjuje se na korisnike s priključnom snagom većom od 20 kW i sadrži sljedeće tarifne elemente:

- Radna energija po višoj dnevnoj tarifi (izražena u €/kWh).
- Radna energija po nižoj dnevnoj tarifi (izražena u €/kWh).
- Obračunska vršna radna snaga (izražena u €/kW).
- Prekomjerna jalova energija (izražena u €/kvarh).
- Naknada za obračunsko mjerno mjesto (izražena u €/mj.).

Tarifni model Žuti, namijenjen javnoj rasvjeti, uključuje sljedeće tarifne elemente:

- Radna energija po jedinstvenoj dnevnoj tarifi (izražena u €/kWh).
- Naknada za obračunsko mjerno mjesto (izražena u €/mj.).

#### 4.1.2. Tarifne stavke (cijene)

Kupcima kategorije poduzetništvo, korisnicima javne usluge u okviru zajamčene opskrbe, primjenjuju se tarifne stavke koje su definirane sukladno Metodologiji za utvrđivanje iznosa tarifnih stavki za zajamčenu opskrbu električnom energijom i Odluci o iznosima tarifnih stavki za zajamčenu opskrbu električnom energijom.

U skladu s člankom 10. Metodologije za određivanje iznosa tarifnih stavki za zajamčenu opskrbu električnom energijom, u slučaju da Hrvatska energetska regulatorna agencija (HERA) ne donese odluku o iznosima tarifnih stavki za buduće tromjesečje, važeće tarifne stavke ostaju nepromijenjene do donošenja novih odluka. [18]

Tablica 4.1. Tarifne stavke za kupce kategorije poduzetništvo [18]

Kategorija/naponska razina		Tarifni model	Tarifni element			
			Radna energija [kWh]			
			JT	VT	NT	
			Tarifne stavke			
			EUR	EUR	EUR	
Poduzetništvo	Visoki napon	Bijeli	-	0,26822	0,157768	
	Srednji napon	Bijeli	-	0,251802	0,148119	
	Niski napon		Plavi	0,245298	-	-
			Bijeli	-	0,282434	0,166142
			Crveni	-	0,246055	0,144734
			Žuti	0,19197	-	-

Tablica 4.2. Tarifne stavke prijenos EE poduzetništvo [19]

Kategorija/naponska razina		Tarifni model	Tarifni element			
			Radna energija [kWh]			
			JT	VT	NT	
			Tarifne stavke			
			EUR/kWh	EUR/kWh	EUR/kWh	
Poduzetništvo	Visoki napon	Bijeli	-	0,005309	0,002654	
	Srednji napon	Bijeli	-	0,005309	0,002654	
	Niski napon		Plavi	0,011945	-	-
			Bijeli	-	0,017254	0,006636
			Crveni	-	0,006636	0,002654
			Žuti	0,007963	-	-

Tablica 4.3. Tarifne stavke distribucija EE poduzetništvo [19]

Kategorija/naponska razina		Tarifni model	Tarifni element		
			Radna energija [kWh]		
			JT	VT	NT
			Tarifne stavke		
			EUR/kWh	EUR/kWh	EUR/kWh
Poduzetništvo	Visoki napon	Bijeli	-	-	-
	Srednji napon	Bijeli	-	0,013272	0,006636
	Niski napon	Plavi	0,029199	-	-
		Bijeli	-	0,034508	0,015927
		Crveni	-	0,022563	0,010618
		Žuti	0,02389	-	-

#### 4.1.3. Poticanje proizvodnje iz obnovljivih izvora

Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije (OIE) i visokoučinkovite kogeneracije predstavlja ključan strateški cilj unutar energetske politike Europske unije, kao što je navedeno u Direktivi o promicanju uporabe električne energije dobivene iz obnovljivih izvora. Ova Direktiva zahtijeva od država članica EU da uspostave sustav za poticanje proizvodnje električne energije iz OIE i visokoučinkovite kogeneracije. Svaka zemlja članica EU postavlja vlastiti nacionalni cilj za proizvodnju električne energije iz OIE i visokoučinkovite kogeneracije, a Hrvatska, kao zemlja kandidat, to je učinila sredinom 2007. godine donošenjem Uredbe o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče. U svrhu poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovite kogeneracije, uvedena je naknada koja se naplaćuje od svih kupaca električne energije u Republici Hrvatskoj od 2007. godine.

Trenutačni iznos naknade za potporu obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji utvrđen je na temelju Odluke Vlade Republike Hrvatske koja propisuje naknadu za podršku obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji. Prema ovom propisu, svi krajnji kupci plaćaju naknadu za podršku obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji u iznosu od 0,013936 €/kWh (0,105 kn/kWh) uvećanom za PDV.

Ovu naknadu prikupljaju svi dobavljači električne energije koji djeluju na teritoriju Republike Hrvatske. Prikupljeni iznos naknade svaki dobavljač električne energije proslijeđuje Hrvatskom operatoru tržišta energije (HROTE), koji, sukladno ugovornim obvezama, isplaćuje naknadu povlaštenim proizvođačima električne energije koji je isporučuju u elektroenergetsku mrežu iz različitih postrojenja, kao što su solarni sustavi, vjetroelektrane, bioplinske postrojenja te drugi sustavi s obnovljivim izvorima energije. [20]

## 4.2. Preuzimanje električne energije iz mreže

Cijene električne energije se mijenjaju relativno brzo pa će podaci varirati ovisno o vremenu kada se radi izračun. Podaci za potrebe izračuna nalaze se u tablicama 4.1., 4.2., 4.3 te u prethodnom poglavlju iznos naknade za obnovljive izvore energije.

Tarifni model Crveni primjenjuje se na korisnike s priključnom snagom većom od 20 kW što će uključivati slučaj instalirane FN elektrane na parkiralištu priključene na mrežu niskog napona.

Ukupna cijena za višu tarifu (VT) i nižu tarifu (NT) uključuje: cijenu električne energije za kupce iz kategorije poduzetništvo, tarifne stavke za prijenos električne energije iz kategorije poduzetništvo, tarifne stavke za distribuciju električne energije iz kategorije poduzetništvo te naknadu za obnovljive izvore energije.

$$\text{Ukupna cijena} = \text{cijena električne energije} + \text{prijenos} + \text{distribucija} + \text{naknada OIE}$$

Za višu tarifu (VT) prema tarifnom modelu Crveni priključenu na mrežu niskog napona:

$$C_{VT} = 0.246055 + 0.006636 + 0.022563 + 0.013936 = 0.289220 \text{ €/kWh}$$

Za nižu tarifu (NT) prema tarifnom modelu Crveni priključenu na mrežu niskog napona:

$$C_{NT} = 0.144734 + 0.002654 + 0.010618 + 0.013936 = 0.171642 \text{ €/kWh}$$

### 4.3. Prodaja električne energije u mrežu

U situacijama kada postoji veća proizvodnja električne energije od potrošnje, višak se može predati u mrežu. Za predaju električne energije u mrežu postoji zajamčeni otkup električne energije u kategoriji poduzetništvo.

Ako kupac s vlastitom proizvodnjom zadovoljava uvjete po točkama navedenim na početku ovog poglavlja, opskrbljivači električne energije su dužni preuzimati viškove električne energije.

$$C_i = 0.5 \cdot 0.245298 = 0.122649 \text{ €/kWh,}$$

gdje je:

- $C_i$  [€/kWh] otkupna cijena po kojoj kupac s vlastitom proizvodnjom prodaje proizvedene viškove opskrbljivaču električne energije.

Ova cijena se određuje temeljem specifičnog obrasca kako bi se odredila vrijednost za proizvodnju električne energije. Počinje s iznosom tarifne stavke za radnu energiju prema jedinstvenoj dnevnoj tarifi koja se koristi za univerzalnu opskrbu električnom energijom, posebno za kućanstva. Koristi se tarifni model Plavi koji ima vlastite karakteristike te se pomnoži s koeficijentom od 0.5, koji je zaokružen na šest decimalnih mjesta prema matematičkim pravilima.

U osnovi, ovakav pristup cijeni osigurava da se na temelju raznih faktora i parametara dobije konačna cijena koja odražava troškove, tarifne strukture i druge relevantne čimbenike u vezi s proizvodnjom električne energije.

## 5. ODREĐIVANJE BROJA PUNIONICA NA PARKIRALIŠTU PREKRIVENOM FOTONAPONSKIM PANELIMA

U praktičnom dijelu potrebno je izabrati površinu na koju će se postaviti fotonaponska elektrana te napraviti proračun broja punionica za električna vozila uzimajući u obzir dostupne proizvedene električne energije iz fotonaponskog sustava.

### 5.1. Metodologija rada

#### 5.1.1. Izbor parkirališta

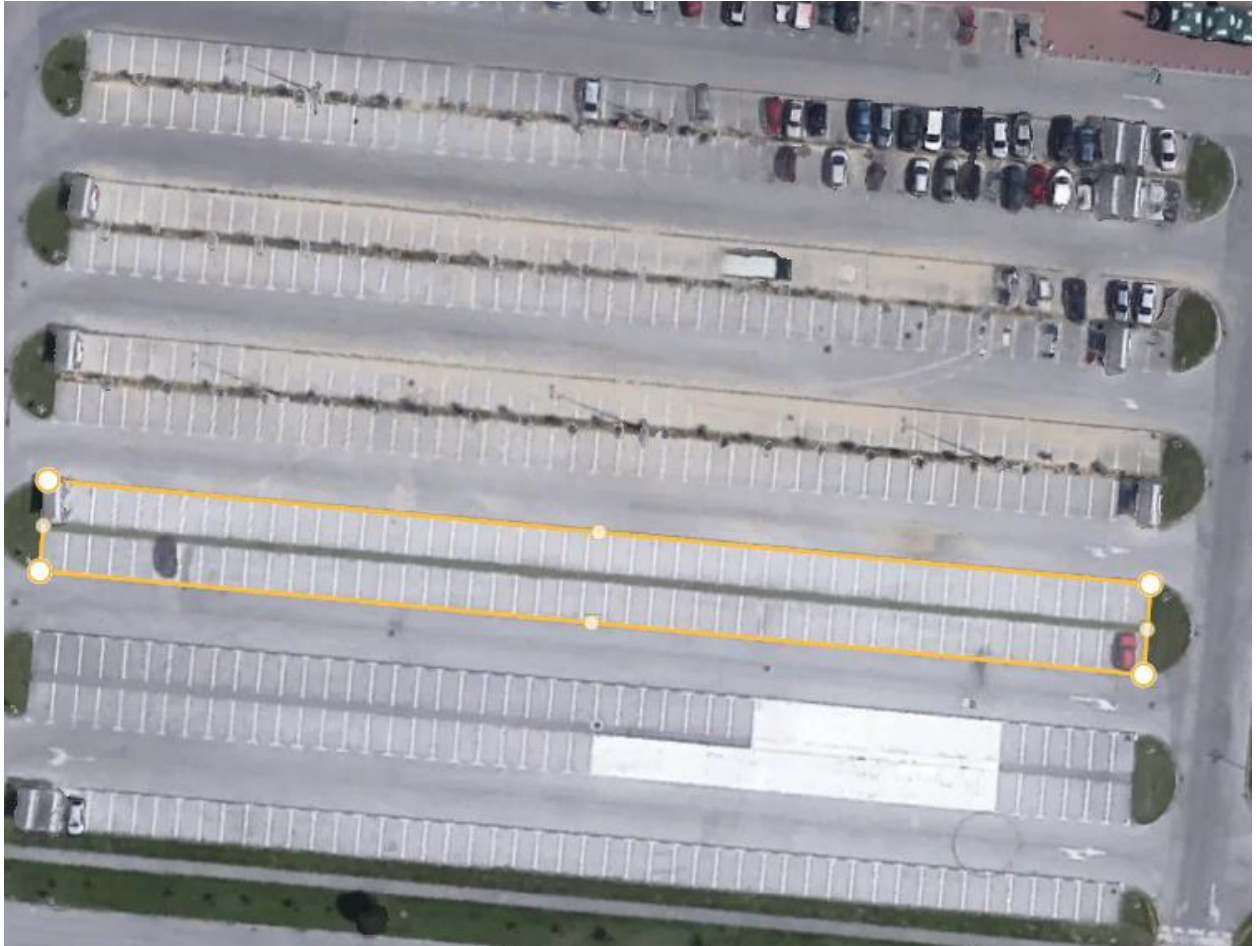
Parkiralište za koje će se izvoditi analiza proizvodnje fotonaponskog sustava i odrediti broj punionica za električna vozila temeljem dobivene proizvedene električne energije se nalazi na slici 5.1. preuzete sa Google Maps-a. [21] Jedno parkirališno mjesto standardnih je dimenzija, odnosno 5 m dužine i 2,5 m širine.



Slika 5.1. Izabrano parkiralište trgovačkog centra [21]



Nadstrešnica sa središnjom konstrukcijom koja bi prekrivala parkirna mjesta obostrano, obuhvaća površinu od 117,7 m x 9,6 m, odnosno 1129,92 m<sup>2</sup> za postavljanje fotonaponskih modula. Prekriveno bi bilo 98 mjesta ukupno, odnosno 49 mjesta sa svake strane prikazano na slici 5.2



Slika 5.2. Označena površina za fotonaponske panele

### 5.1.2. Izbor modula

Prema dobivenoj površini, može se izabrati odgovarajući modul kako bi dobili što veću proizvodnju za napajanje punionica.

Modul koji će se koristiti je BSM500PM5-72SB prikazan na slici 5.3. tehnologije kristalnog silicija. Svojim dimenzijama 2056x1140x35 mm (duljina·širina·debljina) odgovara površini koju je moguće ostvariti konstrukcijom nadstrešnice.



Slika 5.3. Modul BSM500PM5-72SB

Tehničke karakteristike modula BSM500PM5-72SB pri STC\* prikaze su u tablici 5.1.

Tablica 5.1. Tehničke karakteristike modula BSM500PM5-72SB pri STC\*:

Model	BSM500PM5-72SB
Vršna snaga ( $P_{mpp}$ ) [W]	500
Napon praznog hoda ( $U_{ph}$ ) [V]	46,8
Struja kratkog spoja ( $I_{ks}$ ) [A]	13,4
Nazivni napon ( $U_{mpp}$ ) [V]	39
Nazivna struja ( $I_{mpp}$ ) [A]	12,82
Učinkovitost [%]	21,3
Tolerancija snage	0-5 W

\*STC ili standardni testni uvjeti označavaju da se radi o podacima dobivenim pri sunčevom zračenju 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura ćelije 25 °C i masa zraka 1.5.

Tehničke karakteristike modula BSM500PM5-72SB pri NOCT\* prikazane su u tablici 5.2.

Tablica 5.2. Tehničke karakteristike modula BSM500PM5-72SB pri NOCT\*:

Model	BSM500PM5-72SB
Vršna snaga ( $P_{mpp}$ ) [W]	376
Napon praznog hoda ( $U_{ph}$ ) [V]	44,6
Struja kratkog spoja ( $I_{ks}$ ) [A]	10,81
Nazivni napon ( $U_{mpp}$ ) [V]	37,2
Nazivna struja ( $I_{mpp}$ ) [A]	10,13
Učinkovitost [%]	21,3
Tolerancija snage	0-5 W

\*NOCT ili normalni testni uvjeti označavaju da se radi o podacima dobivenim pri sunčevom zračenju  $800 \text{ W/m}^2$ , temperature okoline  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  i brzine vjetra  $1 \text{ m/s}$ .

### 5.1.3. Izračun broja modula i instalirane snage

Izborom modula BSM500PM5-72SB i označene površine, dobijemo da na površinu parkirališne nadstrešnice stane ukupno 412 ( $103 \times 4$ ) modula ako su fotonaponski paneli postavljeni verikalno, a ako su postavljeni horizontalno stane 456 ( $57 \times 8$ ) modula.

Proračun s vertikalnim postavljanjem:

$$n = \frac{117.7}{1.14} = 103.25 \text{ odnosno } 103 \text{ modula}$$

$$n = \frac{9.6}{2.056} = 4.67 \text{ odnosno } 4 \text{ modula}$$

Proračun s horizontalnim postavljanjem:

$$n = \frac{117.7}{2.056} = 57.25 \text{ odnosno } 57 \text{ modula}$$

$$n = \frac{9.6}{1.14} = 8.42 \text{ odnosno } 8 \text{ modula}$$

Veći broj modula je moguće ostvariti horizontalnim postavljanjem te je na taj način omogućena veća proizvodnja električne energije.

Ukupna površina prekrivena fotonaponskim modulima iznosi:

$$A_{\text{FN,UK}} = n_{\text{modula}} \cdot A_{\text{modula}} = 456 \cdot (2.056 \cdot 1.14) = 456 \cdot 2.344 = 1068.79 \text{ m}^2,$$

gdje je:

- $A_{\text{FN,UK}}$  [m<sup>2</sup>] ukupna površina prekrivena modulima,
- $n_{\text{modula}}$  ukupni broj modula i
- $A_{\text{modula}}$  [m<sup>2</sup>] površina jednog modula.

Ukupna instalirana snaga onda iznosi:

$$P_{\text{DC,rated}} = n_{\text{modula}} \cdot P_{\text{mpp}} = 456 \cdot 500 = 228 \text{ kW},$$

gdje je:

- $P_{\text{DC,rated}}$  [W] ukupna instalirana snaga fotonaponskog sustava i
- $P_{\text{mpp}}$  [W] vršna snaga jednog modula.

Ukupna godišnja proizvodnja fotonaponske elektrane, dobiva se pomoću izraza:

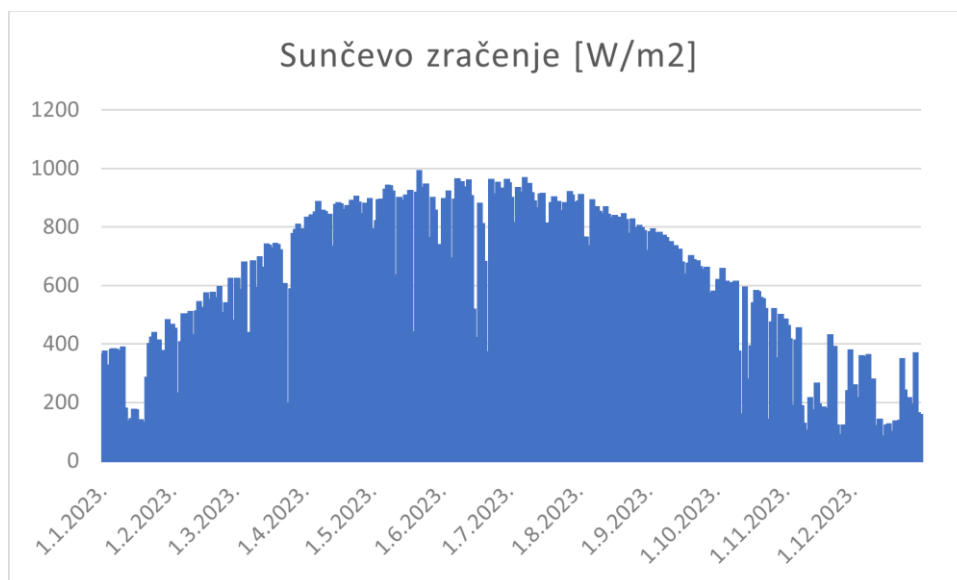
$$W_i = G_i \cdot A_{\text{modula}} \cdot n_{\text{modula}} \cdot \eta_{\text{modula}} \cdot t \quad (5 - 1)$$

gdje je:

- $W_i$  [Wh] proizvodnja električne energije,
- $G_i$  [W/m<sup>2</sup>] sunčevo zračenje,
- $\eta_{\text{modula}}$  faktor učinkovitosti modula,
- $t$  [h] trajanje godine u satima.

#### 5.1.4. Sunčevo zračenje

Sunčevo zračenje na mjesečnoj bazi za odabranu lokaciju prema procjeni internetskog softvera PVGIS se nalazi na slici 5.4. Najveći iznos sunčevog zračenja se pojavi u svibnju te doseže vrijednost od 985.01 W/m<sup>2</sup>. [22]



Slika 5.4. Sunčevo zračenje PVGIS [22]

Preuzimanjem podataka sa internetskog softvera PVGIS o satnom sunčevom zračenju kroz godinu, može se odrediti proizvodnja u svakom satu u godini. Nakon toga se zbrajanjem satne proizvodnje dobije ukupna godišnja proizvodnja fotonaponskog sustava.

### 5.1.5. Izbor punionice

Proizvedena električna energija napajat će punionicu Pulsar Plus Electric Vehicle charger Type 2 (slika 5.5.) specifikacija priloženih u tablici 5.3.

Tablica 5.3. Specifikacije punionice Wallbox Pulsar Plus Electric Vehicle charger

Model	Wallbox Pulsar Plus Electric Vehicle charger
Izlazna snaga [kW]	22.5
Izlazna struja [A]	32 (3f)
Ulazni napon	400 VAC (+/- 10%); 3f; 50 Hz
Tip priključka	Tip 2 (Mennekes)



Slika 5.5. Wallbox Pulsar Plus Electric Vehicle punjač

Potrebno je izraditi proračun za jednu i više punionica kako bi utvrdili koliki je broj punionica moguće postaviti s obzirom na proizvedenu električnu energiju iz fotonaponskog sustava i preuzetu energiju iz mreže za potrebe punionica. Cilj je da bude iskorišteno što više energije proizvedena fotonaponskom elektranom, a što manje energije preuzete iz elektroenergetskog sustava.

Ukupna godišnja proizvodnja elektrane postavljene na horizontalnu nadstrešnicu preko izračuna u Excel-u iznosi 320.715,11 kWh, tj. 320,715 MWh. Izračun se dobije po formuli (5-1) za svaki sat sunčevog zračenja u godini.

Pretpostavka je da trgovački centar neće raditi nedjeljom i blagdanom. Na taj način određeno je da će 300 dana u godini proizvedena energija se koristiti za napajanje punionica, dok će ostale dane proizvedena energija biti predana u mrežu u cijelosti.

Također, pretpostavka je da cijelo radno vrijeme trgovačkog centra, tj. 12 sati, punionice rade maksimalnom snagom.

### 5.1.6. Potrošnja i prodaja proizvedene električne energije

Cilj fotonaponske elektrane je da u svakom trenutku pokriva potrošnju koju zahtijevaju punionice za električna vozila. Kada to nije moguće, koristit će se energija iz mreže.

Ako je proizvodnja električne energija manja od energije potrebne za punjenje, onda je energija iz mreže pozitivna, tj. energija se kupuje iz mreže.

Ako je proizvodnja električne energije veća od energije potrebne za punjenje, onda je energija iz mreže negativna, tj. energija se prodaje u mrežu.

Jednadžba energije u svakom satu:

$$E_{\text{charging}} = E_{\text{PV}} + E_{\text{grid}} \quad (6 - 1)$$

gdje je

- $E_{\text{charging}}$  [kWh] energija potrebna za punjenje električnih vozila,
- $E_{\text{PV}}$  [kWh] energija proizvedena fotonaponskom elektranom i
- $E_{\text{grid}}$  [kWh] energija preuzeta iz elektroenergetskog sustava.

Prema preuzetoj i prodanoj električnoj energiji iz mreže i u mrežu, odredi se trošak kupljene energije odnosno zarada od prodane energije.

Izračun godišnjih troškova je dobiven iz satnih troškova u razdoblju od jedne godine po formuli:

$$Trošak = (E_{\text{grid,VT}} \cdot C_{\text{VT}}) + (E_{\text{grid,NT}} \cdot C_{\text{NT}}), \quad (6 - 2)$$

gdje je

- $E_{\text{grid,VT}}$  [kWh] energija preuzeta iz mreže za vrijeme više tarife,
- $C_{\text{VT}}$  [€/kWh] cijena više tarife za kupce iz kategorije poduzetništvo,
- $E_{\text{grid,NT}}$  [kWh] energija preuzeta iz mreže za vrijeme niže tarife i
- $C_{\text{NT}}$  [€/kWh] cijena niže tarife za kupce iz kategorije poduzetništvo.

Izračun godišnje zarade je dobiven iz predane energije u razdoblju od jedne godine po formuli:

$$Zarada = E_{\text{grid}} \cdot C_i, \quad (6 - 3)$$

gdje je

- $E_{\text{grid}}$  [kWh] električna energija predana u mrežu i
- $C_i$  [€/kWh] otkupna cijena električne energije predane u mrežu prema Plavom tarifnom modelu.
- Mjesečni računi se dodatno množe sa 1.13 što predstavlja PDV u iznosu od 13%.



## 5.2. Odabir broja punionica za trgovački centar

Analiza se temelji na rezultatima dobivenim za 12 scenarija, svaki označen posebnim "Slučajem" (brojem punjača za električne automobile), koji su prikazani u tablici 5.4.

Tablica 5.4. Izbor optimalnog broja punionica EV

Slučaj	Proizvodnja [kWh]	Potrošnja [kWh]	Prodano [kWh]	Kupljeno [kWh]	Neto trošak [EUR]	Iskorištenost [%]
1	320,715.11	81,000.00	266,241.21	26,526.10	-24,982.34	16.99
2	320,715.11	162,000.00	224,249.25	65,534.14	-8,550.16	30.08
3	320,715.11	243,000.00	189,697.70	111,982.59	9,121.37	40.85
4	320,715.11	324,000.00	161,034.69	164,319.58	27,773.77	49.79
5	320,715.11	405,000.00	137,610.16	221,895.05	47,298.74	57.09
6	320,715.11	486,000.00	119,226.51	284,511.40	67,663.38	62.82
7	320,715.11	567,000.00	105,478.97	351,763.86	88,800.25	67.11
8	320,715.11	648,000.00	97,033.64	424,318.53	110,820.33	69.74
9	320,715.11	729,000.00	93,549.02	501,833.91	133,666.71	70.83
10	320,715.11	810,000.00	93,111.44	582,396.33	157,020.64	70.97
11	320,715.11	891,000.00	93,111.44	663,396.33	180,447.46	70.97
12	320,715.11	972,000.00	93,111.44	744,396.33	203,874.28	70.97

Stupac „Slučaj“ predstavlja broj punionica za električna vozila korištenih za analizu rezultata.

Stupac "Proizvodnja [kWh]" predstavlja električnu energiju proizvedenu u kWh iz postavljene fotonaponske elektrane na nadstrešnici parkirališta.

Stupac "Potrošnja [kWh]" pokazuje potrošnju električne energije u kWh za potrebe punionica za električna vozila

Stupac „Prodano [kWh]“ predstavlja električnu energiju proizvedenu od strane fotonaponske elektrane predanu u elektroenergetsku mrežu.

Stupac „Kupljeno [kWh] predstavlja preuzetu električnu energiju iz mreže.

Stupac „NETO [EUR]“ predstavlja razliku između Troška i Zarade u eurima.

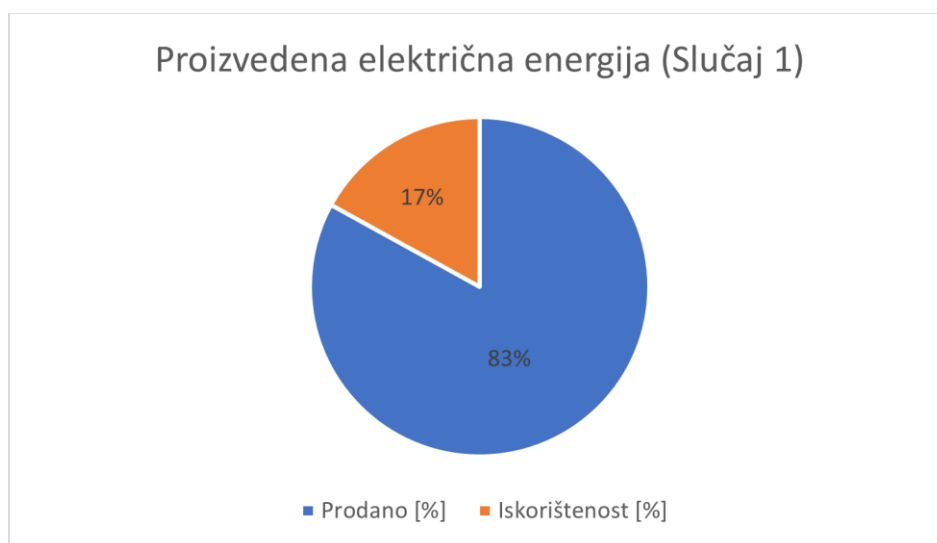
Stupac "Iskorištenost [%]" kvantificira postotak iskorištenosti proizvedene električne energije.

Osnovni cilj ove analize je utvrditi broj punjača za električne automobile koji maksimizira iskorištenost proizvedene električne energije, istodobno minimizirajući ovisnost o električnoj energiji preuzetoj iz mreže. Za svaki od slučajeva proizvedena električna energija iz fotonaponske elektrane ostaje jednaka te iznosi 320.715,11 kWh godišnje. Analizirat će se slučajevi s implementiranom jednom, četiri, osam i deset punionica za električna vozila.

### 5.2.1. 1 punionica

Potrošnja električne energije kada se postavi jedna punionica za električna vozila od 22.5 kW na godišnjoj razini iznosi 81.000 kWh. U ovom slučaju, prodano je 266,241.21 kWh (83.01%) proizvedene električne energije, generirajući prihod od 32,654.22 EUR. Prodaja se odvijala u danima kada trgovački centar nije radio te je sva proizvedena električna energija bila predana u mrežu, ali i kada je postojao višak proizvedene električne energije za vrijeme rada električne punionice. Međutim, kako bi se omogućilo punjenje električnih vozila i zadovoljile potrebe potrošača, bilo je potrebno kupiti 26,526.10 kWh električne energije iz mreže, što je rezultiralo troškom od 7,671.88 EUR. Kupnja se događala u satima kada je proizvodnja električne energije bila jednaka nuli ili kada je proizvodnja iz fotonaponske elektrane bila manja od potrebne energije za električnu punionicu. Kada sumiramo sve prihode i troškove za ovaj scenarij, dolazimo do neto dobiti od 24,982.34 EUR.

S druge strane, iskorištenost vlastite proizvedene električne energije iznosi 16.99%, što ukazuje na potrebu za dodatnim naporima u efikasnijem korištenju proizvedene električne energije u ovom scenariju sa jednom punionicom za električna vozila.

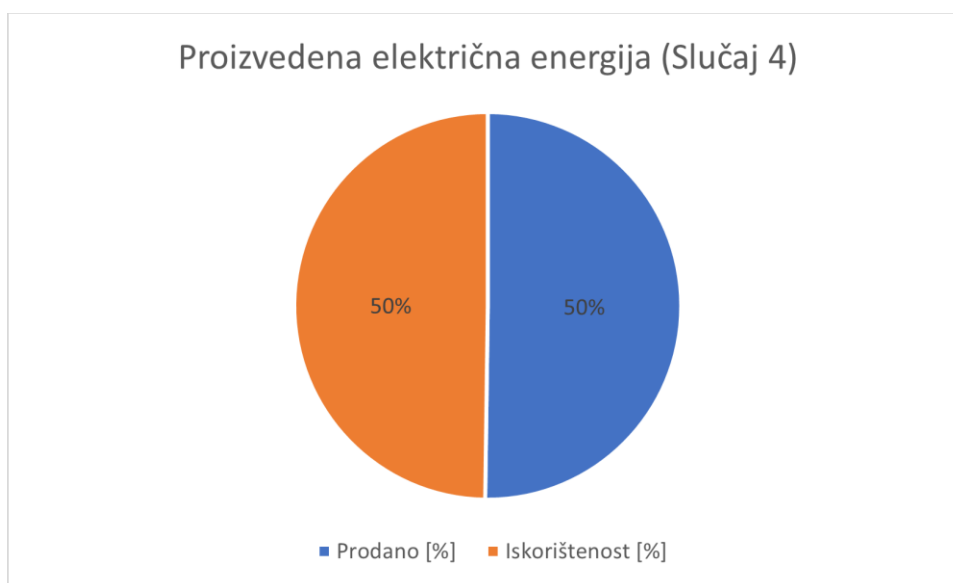


Slika 5.6. Omjer prodane i iskorištene energije iz FNE

Cilj je dobiti da se proizvedena električna energija iskoristi za potrebe električnih punionica, a da se pri tome što manji udio koristi energija iz mreže.

#### 5.2.2. 4 punionice

Scenarij s četiri električna punjača, što predstavlja povećanje kapaciteta punjenja u usporedbi s prethodnim scenarijem koji je uključivao samo jednu punionicu. Dolazi do povećane potrošnje električne energije koja je iznosila 324,000.00 kWh zbog prisutnosti četiri punjača te se izjednačila potrošnja sa proizvodnjom. Od ukupne proizvedene električne energije, 161,034.69 kWh (50.21%) je prodano kao višak ili u razdobljima kada punionice nisu bile aktivne, generirajući prihod od 19,750.74 EUR. Da bi se omogućilo punjenje električnih vozila i zadovoljile potrebe potrošača u vremenima smanjene ili nepostojeće proizvodnje FNE, bilo je potrebno kupiti 164,319.58 kWh električne energije iz mreže, stvarajući trošak od 47,524.51 EUR. Sumiranjem prihoda i troškova dobije se neto trošak od 27,773.77 EUR što označava povećanje troškova u odnosu na prihode. Također, povećava se iskorištenost vlastite proizvedene električne energije te ono iznosi 49.79%.

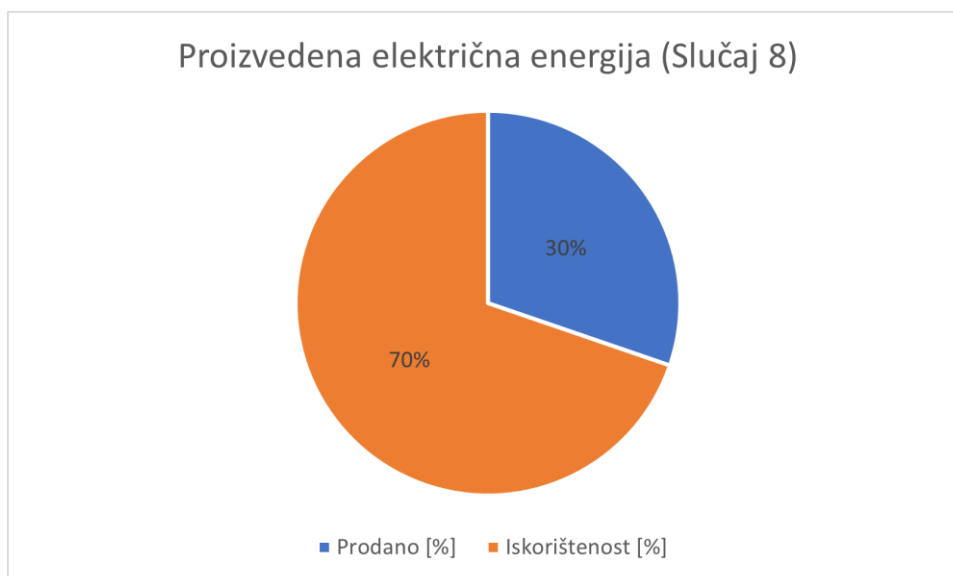


Slika 5.7. Omjer prodane i iskorištene energije iz FNE

Na temelju ovih rezultata, "Slučaj 4" ostvaruje izjednačavanje postotka prodane električne energije i iskorištene električne energije iz fotonaponske elektrane te bi predstavljao odabrani broj punionica kada bi promatrali kupca s vlastitom proizvodnjom.

### 5.2.3. 8 punionica

Zbog potrebe za što većom iskorištenosti proizvedene električne energije iz fotonaponske elektrane, scenarij sa 8 punionica predstavlja početak zasićenja mogućnosti iskorištenja proizvedene električne energije. Potrošnja električne energije implementacijom 8 punjača za EV iznosi 648.000 kWh. Višak proizvedene električne energije, koji iznosi 97.033,64 kWh (30.26%), prodan je kada je proizvodnja FNE bila veća od potrošnje ili kada punionice nisu bile pod opterećenjem te se na taj način ostvaruje prihod od 11.901,08 EUR. Omogućavanjem punjenja električnih vozila i zadovoljavanje potreba potrošača u vremenima smanjene ili nepostojeće proizvodnje FNE, potrebno je kupiti 424.318,53 kWh električne energije iz mreže, stvarajući trošak od 122.721,40 EUR. Sumiranjem prihoda i troškova dobije se neto trošak od 110.820,33 EUR što označava daljnje povećanje troškova u odnosu na prihode. Analogno tome, povećava se iskorištenost vlastito proizvedene električne energije koja iznosi 69,74 %.



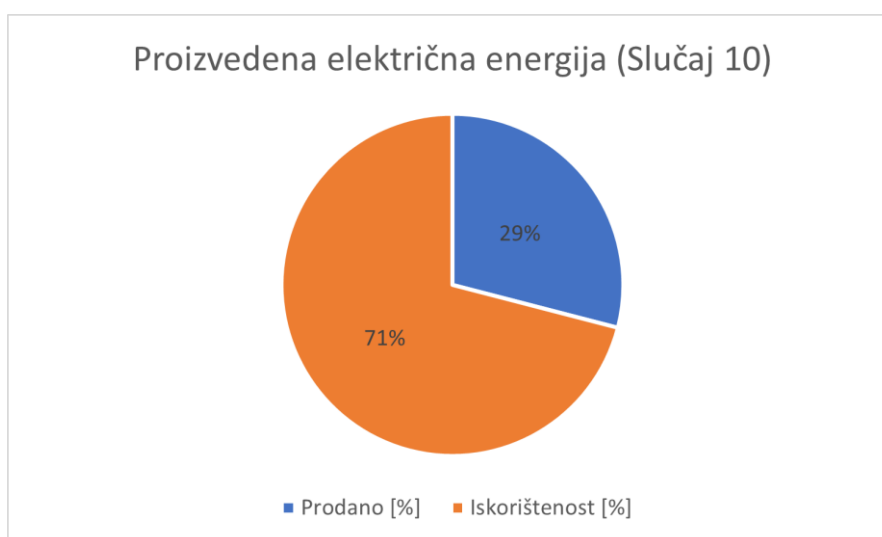
Slika 5.8. Omjer prodane i iskorištene energije iz FNE

„Slučaj 8“ predstavlja putanju ka ostvarivanju ciljeva što većeg iskorištavanja proizvedene električne energije iz fotonaponske elektrane te smanjivanje prodane električne energije iz udjela ukupne proizvodnje FNE.

#### 5.2.4. 10 punionica

U ovom slučaju doseže se maksimalna moguća iskorištenost proizvedene električne energije iz fotonaponske elektrane prema navedenom profilu punjenja za vrijeme rada trgovačkog centra te dodavanjem dodatnog broja punjača ne postiže se bolje iskorištavanje proizvedene energije. Postavljanjem 10 punionica, potrošnja iznosi 810.000,00 kWh, odnosno taj iznos se dobije kao umnožak 300 dana rada trgovačkog centra, 12 sati rada punionica tokom radnog dana trgovačkog centra, jedinična snaga punionice u iznosu od 22,5 kW i 10 punionica koje su postavljene za analizu ovog slučaja. Višak proizvedene električne energije i dalje postoji, ali samo onaj koji se prodaje tokom neradnog dana trgovačkog centra jer satna proizvodnja električne energije iz FNE nikada ne iznosi 225 kWh što je potrebna električna energija za pokrivanje potrošnje punjača u bilo kojem trenutku. Prodana električna energija iznosi 93.111,44 kWh (29.03%) te se na taj način ostvaruje prihod od 11.420,03 EUR. Zbog određenog profila punjenja, potrebno je omogućiti punjenje električnih vozila i zadovoljavanje potreba potrošača u vremenima smanjene ili nepostojeće proizvodnje FNE. Potrebno je kupiti 582.396,33 kWh električne energije iz mreže, stvarajući trošak od 168.440,67 EUR. Sumiranjem prihoda i troškova dobije se neto trošak od 157.020,64 EUR što označava daljnje povećanje troškova u odnosu na prihode.

Sukladno tome, povećava se iskorištenost vlastito proizvedene električne energije koja iznosi 70,97% te se dolazi do maksimuma iskorištenosti proizvedene električne energije prema odabranom profilu korištenja punionica.

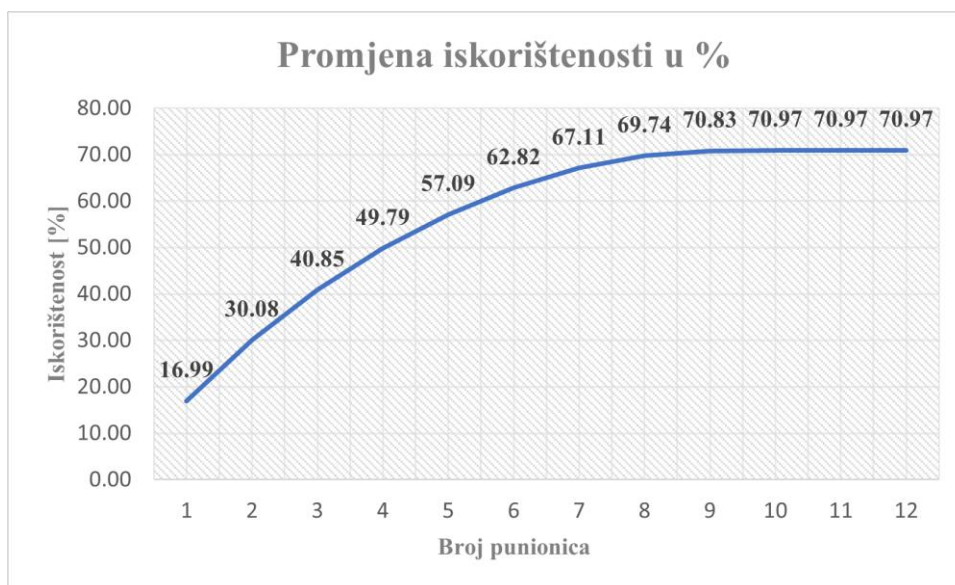


Slika 5.9. Omjer prodane i iskorištene energije iz FNE

Postavljanjem 10 punionica za električna vozila postiže se najveći postotak iskorištene električne energije iz FNE i najmanji postotak prodane električne energije iz FNE što je bio cilj ove analize.

### 5.2.5. Zaključak analize

Postavljen je profil punjenja električnih vozila za vrijeme rada trgovačkog centra, odnosno trgovački centar neće raditi nedjeljom i blagdanom te mu je radno vrijeme 12h dnevno. Pretpostavka je da će punionice za vrijeme rada trgovačkog centra raditi maksimalnom snagom. Dodavanjem punionica za električna vozila, povećava se iskorištenost proizvedene električne energije iz fotonaponske elektrane postavljene na nadstrešnicu parkirališta trgovačkog centra što predstavlja cilj ove analize.



Slika 5.10. Iskorištenost vlastite proizvodnje u ovisnosti o broju punionica za EV

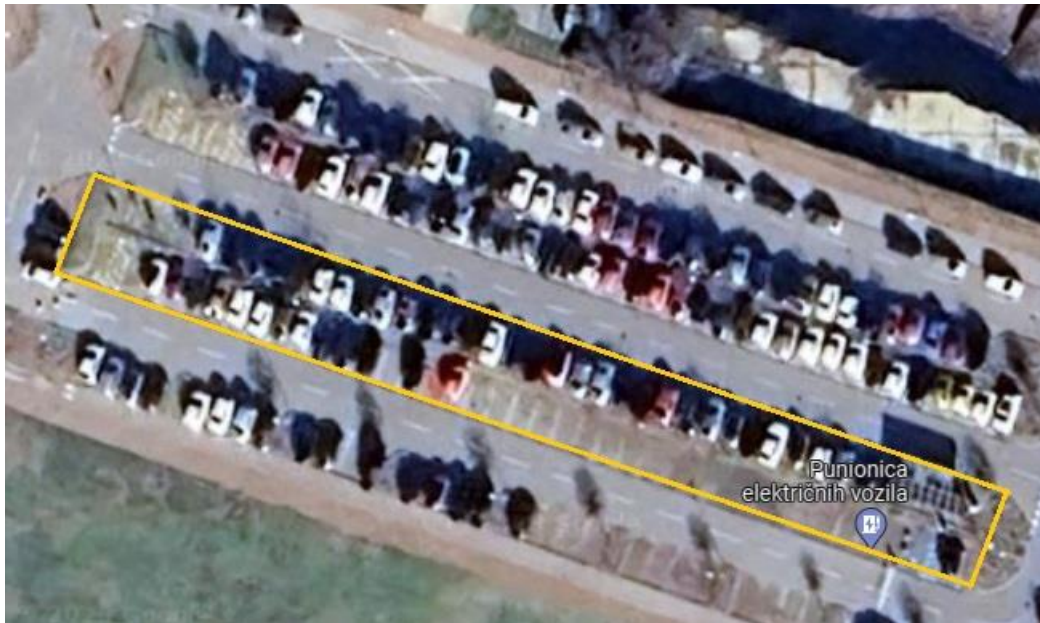
Prema slici 5.10. vidi se kako iskorištenost raste dodavanjem punionica za električna vozila, ali implementacijom 10 punionica iskorištenost ulazi u zasićenje preko koje iskorištenost ne može više rasti zbog odabranog profila punjenja prema radu trgovačkog centra. Dolazi se do maksimalnog postotka iskorištenosti proizvedene energije, ali promjena od 1,23% povećanja iskorištenosti u odnosu na slučaj sa 8 punionica uz povećanje NETO troška za 46.200,31 EUR ne čini se kao optimalan izbor.

Zbog toga dolazimo do zaključka, za potrebe ove analize gdje se želi maksimizirati postotak iskorištenosti proizvedene električne energije iz FNE, da će slučaj sa 8 postavljenih punionica predstavljati mogući izbor broja punionica nekog trgovačkog centra za maksimizaciju iskorištavanja vlastite proizvodnje.

### 5.3. Odabir broja punionica za ustanovu ili tvrtku

U drugom dijelu praktičnog dijela, potrebno je napraviti usporedbu prethodne analize za trgovački centar sa analizom za neku tvrtku/ustanovu sa drugačijim profilom korištenja punionica za vrijeme rada tvrtke/ustanove u odnosu na trgovački centar.

Izabran je parking koji ima mogućnost postavljanja jednakog broja panela kao u slučaju trgovačkog centra te je izabran parking na slici 5.11. preuzeta sa Google Maps-a. [21]



Slika 5.11. Označena površina za fotonaponske panele [21]

Na označenoj površini koristit će se isti fotonaponski moduli jednakih mehaničkih i tehničkih karakteristika kao u prethodnoj analizi radi lakše usporedbe različitih profila punjenja. Također, vrsta i snaga punionice će biti ista naziva Wallbox Pulsar Plus Electric Vehicle charger kako bi lakše usporedili navedena dva slučaja.

Instalirana snaga će biti jednaka kao fotonaponska elektrana postavljena na parkiralištu trgovačkog centra te iznosi 228 kW. Ukupna godišnja proizvodnja fotonaponske elektrane, dobiva se pomoću izraza (5-1). Kako su obje lokacije u Osijeku, koristit će se isti podaci o sunčevom zračenju kao i za slučaj FNE i punionica instaliranim na parkiralištu trgovačkog centra.

Jednadžba energije u svakom satu računa se prema izrazu (6-1), izračun godišnjih troškova je dobiven iz satnih troškova u razdoblju od jedne godine po formuli (6-2), a izračun godišnje zarade je dobiven iz predane energije u razdoblju od jedne godine po formuli (6-3).



Metodologija se temelji na jednakim načelima kao i u prethodnoj analizi za trgovački centar. Razlika je u profilu korištenja punionica za električna vozila jer ustanova/tvrtka neće raditi subotom, nedjeljom i blagdanom za razliku od trgovačkog centra koji radi subotom. Također, radno vrijeme ustanove/tvrtke iznosi 8 sati za razliku od 12 sati rada trgovačkog centra. Izabrano je radno vrijeme ustanove/tvrtke od 8:00 h do 16:00 h.

Početna pretpostavka je da će se postotak iskorištenosti proizvedene električne energije iz FNE smanjiti zbog manje dana i sati rada ustanove/tvrtke godišnje.

Rezultati analize nalaze se u tablici 5.5. te će se analizirati slučajevi sa instaliranom jednom, četiri, osam i deset punionica za električna vozila.

Tablica 5.5. Izbor optimalnog broja punionica EV

Slučaj	Proizvodnja [kWh]	Potrošnja [kWh]	Prodano [kWh]	Kupljeno [kWh]	Neto trošak [EUR]	Iskorištenost [%]
1	320,715.11	45,000.00	279,350.80	3,635.68	-33,210.58	12.90
2	320,715.11	90,000.00	245,890.07	15,174.96	-25,769.27	23.33
3	320,715.11	135,000.00	217,382.36	31,667.26	-17,502.93	32.22
4	320,715.11	180,000.00	193,176.39	52,461.28	-8,520.04	39.77
5	320,715.11	225,000.00	173,533.17	77,818.06	1,222.87	45.89
6	320,715.11	270,000.00	158,219.16	107,504.05	11,686.90	50.67
7	320,715.11	315,000.00	146,845.89	141,130.78	22,807.34	54.21
8	320,715.11	360,000.00	139,854.62	179,139.51	34,657.70	56.39
9	320,715.11	405,000.00	137,021.82	221,306.71	47,200.74	57.28
10	320,715.11	450,000.00	136,677.87	265,962.76	60,158.35	57.38
11	320,715.11	495,000.00	136,677.87	310,962.76	73,173.25	57.38
12	320,715.11	540,000.00	136,677.87	355,962.76	86,188.15	57.38

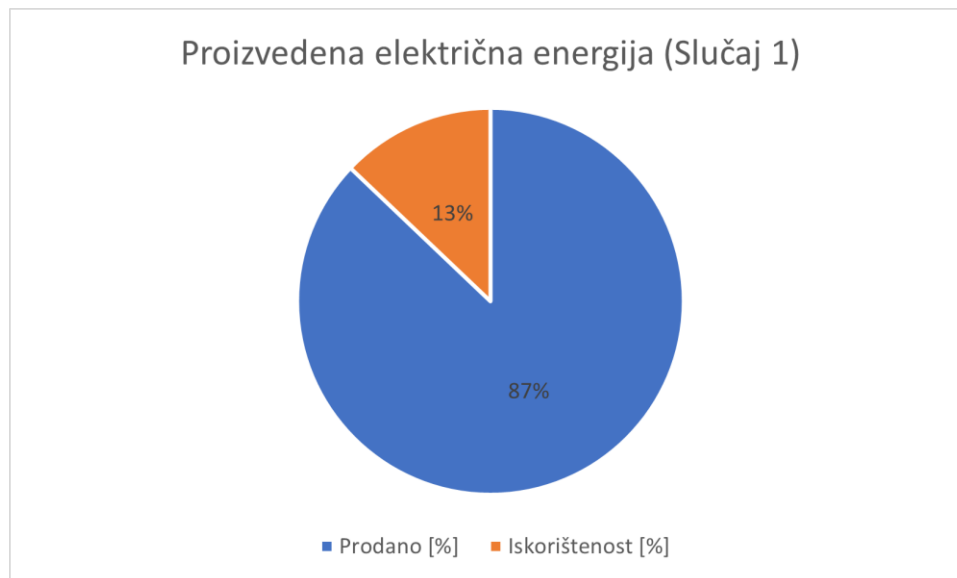
### 5.3.1. 1 punionica

Potrošnja električne energije kada se postavi jedna punionica za električna vozila od 22.5 kW na godišnjoj razini iznosi 45.000 kWh. Značajan dio proizvedene električne energije, točnije 279.350,80 kWh (87,10%), prodan je, generirajući prihod od 34.262,09 EUR. Prodaja se odvijala u danima kada ustanova/tvrtka nije radila te je sva proizvedena električna energija bila predana u mrežu, ali i kada je postojao višak proizvedene električne energije za vrijeme rada električne punionice. Kako bi se omogućilo punjenje električnih vozila i zadovoljile potrebe potrošača, bilo je potrebno kupiti 3.635,68 kWh električne energije iz mreže, što je rezultiralo troškom od 1.051,51 EUR. U satima kada je proizvodnja električne energije bila jednaka nuli ili kada je proizvodnja iz fotonaponske elektrane bila manja od potrebne energije za električnu punionicu,



događalo se preuzimanje električne energije iz mreže. Sumiranjem prihoda i troškova, dolazimo do neto dobiti od 33.210,58 EUR.

S druge strane, iskorištenost vlastite proizvedene električne energije iznosi 12,90%, što ukazuje na potrebu za dodatnom implementacijom punionica za EV-a.



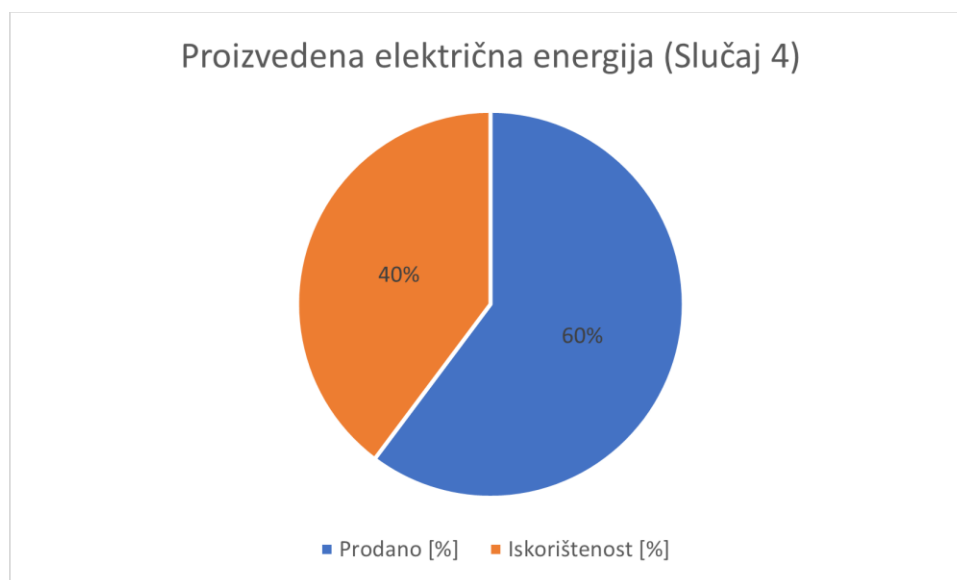
Slika 5.12. Omjer prodane i iskoristene energije iz FNE

Cilj je i dalje jednak, tj. proizvedena električna energija se želi iskoristiti za potrebe električnih punionica, a da se pri tome što manji udio koristi energija iz mreže. Sa slike 5.12. vidimo da je potrebno dodati još punjača kako bi se poboljšala iskorištenost.

### 5.3.2. 4 punionice

U scenariju s četiri električna punjača, kapacitet punjenja se povećava u usporedbi s prethodnim scenarijem koji je uključivao samo jedan punjač. Dolazi do povećane potrošnje električne energije u iznosu od 180.000,00 kWh zbog prisutnosti četiri punjača. U prethodnoj analizi za trgovački centar, implementiranje 4 punionice, izjednačile su se proizvodnja i potrošnja. Ovdje to nije slučaj zbog smanjenog broja sati rada punionica u godini. Od ukupno proizvedene električne energije prodano je 193.176,39 kWh (60,23%) kao višak ili u vremenima kada punionice nisu bile aktivne, generirajući prihod od 23.692,89 EUR. Kako bi se omogućilo punjenje električnih vozila i zadovoljile potrebe potrošača u vremenima smanjene ili nepostojeće proizvodnje iz FNE, bilo je potrebno kupiti 52.461,28 kWh električne energije iz mreže, što je rezultiralo troškom od 15.172,85 EUR. Kombinirajući prihode i troškove, dobivamo neto dobit od 8.520,04 EUR, što znači da je i dalje zarada veća od troškova. Kod punionica trgovačkog centra, troškovi su postali veći od zarade već pri implementaciji treće punionice dok je ovdje implementacijom četiri i dalje zarada veća. To se dogodilo zbog smanjene potrošnje električne energije punionica te se više proizvedene energije prodaje.

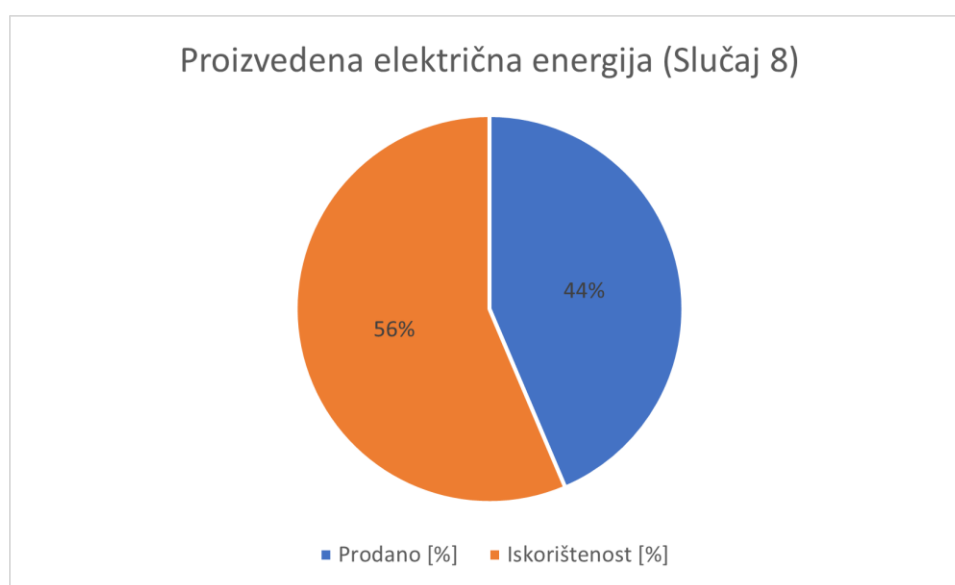
Postotak prodane električne energije u odnosu na ukupno proizvedenu iznosi 60,23%, a iskorištenost vlastito proizvedene električne energije se povećava te sada iznosi 39,77% što se može vidjeti na slici 5.13.



Slika 5.13. Omjer prodane i iskorištene energije iz FNE

### 5.3.3. 8 punionica

S obzirom na potrebu za maksimalnim iskorištavanjem proizvedene električne energije iz fotonaponske elektrane, scenarij s 8 punionica predstavlja početak zasićenja kapaciteta za iskorištavanje proizvedene električne energije. Potrošnja električne energije s implementacijom 8 punionica za električna vozila iznosi 360.000,00 kWh. Višak proizvedene električne energije, koji iznosi 139.854,62 kWh (43,61%), prodan je tijekom razdoblja s viškom proizvodnje iz fotonaponske elektrane ili kada punionice nisu bile opterećene, što je rezultiralo prihodom od 17.153,03 EUR. Da bi se omogućilo punjenje električnih vozila i zadovoljile potrebe potrošača u vremenima smanjene ili nepostojeće proizvodnje iz FNE, bilo je potrebno kupiti 179.139,51 kWh električne energije iz mreže, stvarajući trošak od 51.810,73 EUR. Sumiranjem prihoda i troškova dobiva se neto trošak od 34.657,70 EUR, što predstavlja povećanje troškova u odnosu na prihode. Također, povećava se iskorištavanje vlastito proizvedene električne energije koja iznosi 56,39%.



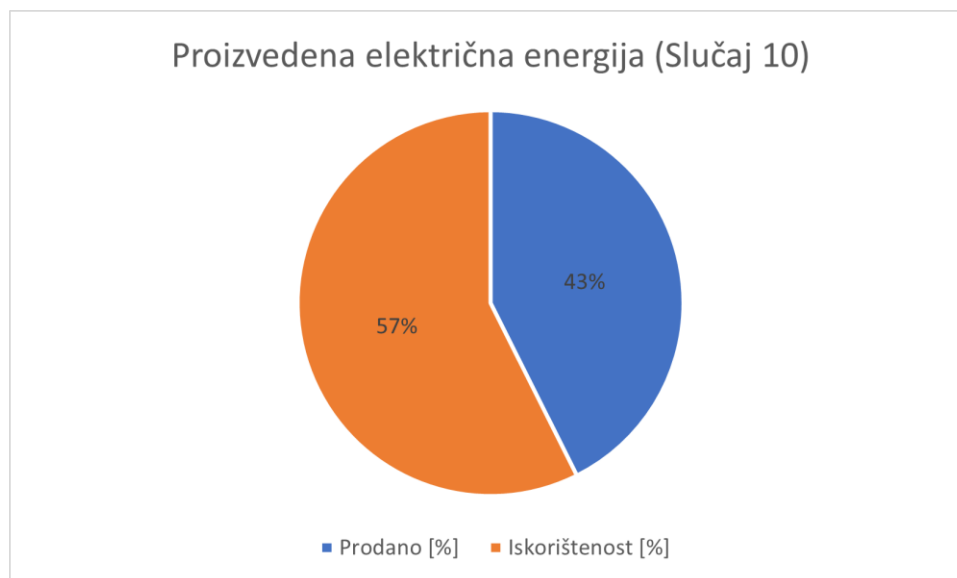
Slika 5.14. Omjer prodane i iskorištene energije iz FNE

### 5.3.4. 10 punionica

U ovom scenariju postiže se maksimalna moguća iskorištenost proizvedene električne energije iz fotonaponske elektrane prema navedenom profilu punjenja za vrijeme rada ustanove/tvrtke. Dodavanjem punjača ne postiže se bolje iskorištavanje proizvedene energije. Postavljanjem 10 punionica, potrošnja iznosi 450.000 kWh, što se dobiva kao rezultat umnožavanja 250 dana rada trgovačkog centra, 8 sati rada punionica tijekom radnog dana trgovačkog centra, jedinična snaga punionice u iznosu od 22,5 kW i 10 punionica postavljenih za analizu ovog slučaja.

I dalje postoji višak proizvedene električne energije, ali samo onaj koji se prodaje tijekom neradnih dana trgovačkog centra jer satna proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije nikada ne doseže 225 kWh, što je potrebna električna energija za pokrivanje potrošnje punjača u bilo kojem trenutku. Prodaja električne energije iznosi 136.677,87 kWh (42,62%), ostvarujući prihod od 16.763,40 EUR. S obzirom na određeni profil punjenja, potrebno je omogućiti punjenje električnih vozila i zadovoljiti potrebe potrošača u vremenima smanjene ili nepostojeće proizvodnje iz FNE. Za to je potrebno kupiti 265.962,76 kWh električne energije iz mreže, stvarajući trošak od 76.921,75 EUR. Sumiranjem prihoda i troškova dobiva se neto trošak od 60.158,35 EUR, što označava daljnje povećanje troškova u odnosu na prihode.

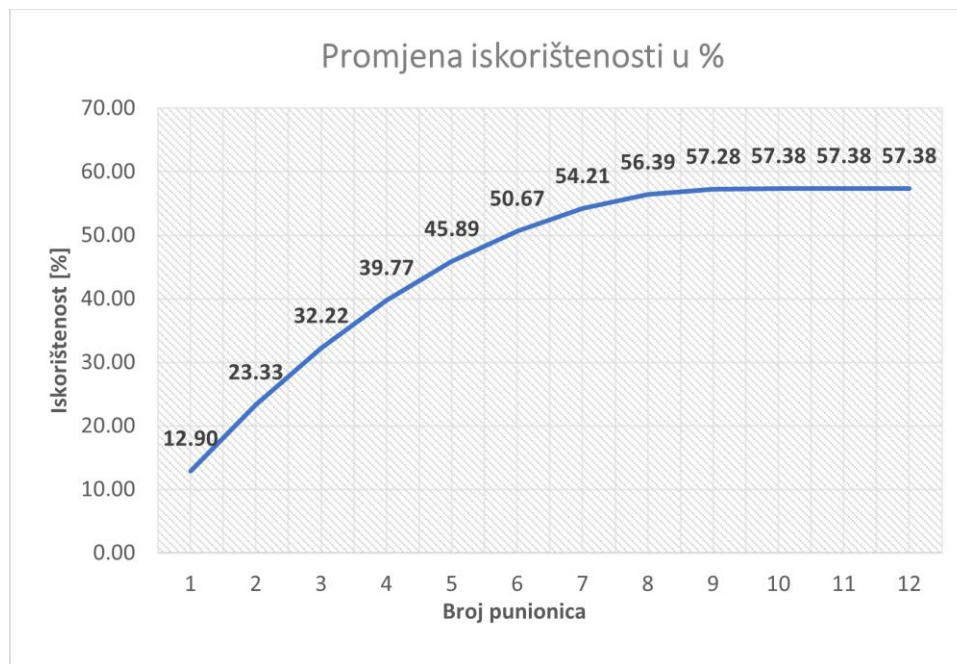
Sukladno tome, povećava se iskorištenost vlastito proizvedene električne energije, koja iznosi 57,38%, što predstavlja maksimum iskorištenosti proizvedene električne energije prema odabranom profilu korištenja punionica.



Slika 5.15. Omjer prodane i iskorištene energije iz FNE

### 5.3.5. Zaključak analize

Postavljen je profil punjenja električnih vozila za vrijeme rada ustanove/tvrtke, pri čemu se rad ustanove/tvrtke ne odvija subotom, nedjeljom i blagdanom, a radno vrijeme iznosi 8 sati dnevno. Pretpostavka je da će punionice za električna vozila raditi s maksimalnom snagom tijekom radnog vremena ustanove/tvrtke. Cilj ove analize je povećati iskorištenost proizvedene električne energije iz fotonaponske elektrane postavljene na nadstrešnicu parkirališta ustanove/tvrtke.



Slika 5.16. Promjena iskorištenosti povećanjem broja punionica

Iz slike 5.16. vidljivo je da se iskorištenost povećava dodavanjem punionica za električna vozila. Međutim, implementacijom 10 punionica, iskorištenost doseže zasićenje, što znači da daljnje povećanje broja punionica ne bi rezultiralo značajnim povećanjem iskorištenosti, s obzirom na odabrani profil punjenja u skladu s radom ustanove/tvrtke.

Iako se postiže maksimalni postotak iskorištenosti proizvedene energije, povećanje od 0,99% u odnosu na slučaj s 8 punionica nije opravdano povećanjem NETO troška za 25.500,65 EUR. S obzirom na to, zaključak je da će slučaj s 8 postavljenih punionica predstavljati optimalan izbor za ustanovu/tvrtku ako želi maksimizirati iskorištenost vlastite proizvodnje električne energije iz fotonaponske elektrane.

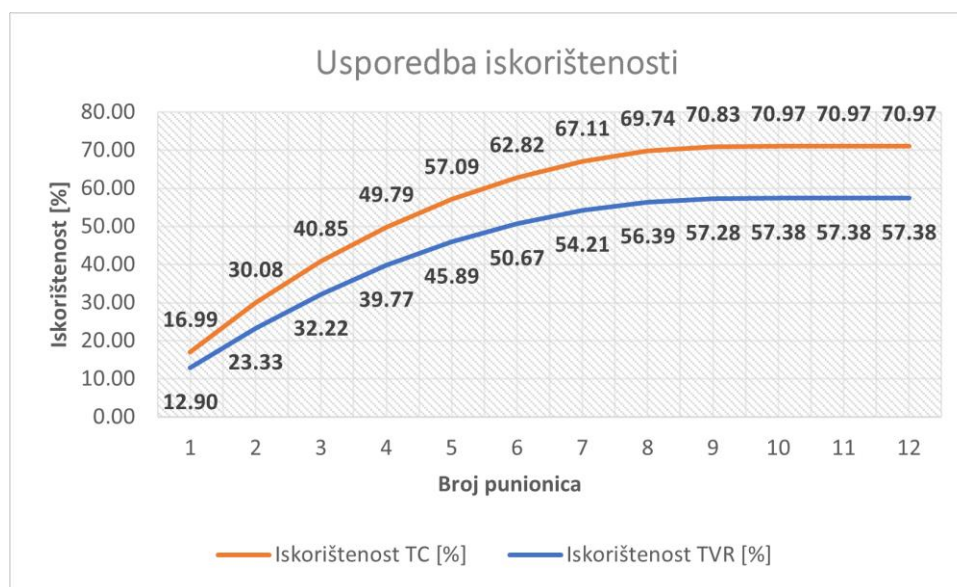
Ovaj izbor omogućava zadovoljenje cilja maksimizacije iskorištavanja proizvedene električne energije uz razumne troškove i optimalan rezultat za ustanovu/tvrtku.

## 5.4. Usporedba rezultata

Različitim profilima potrošnje punionica za EV-a trgovačkog centra i ustanove/tvrtke dobiju se različiti rezultati.

Punionice trgovačkog centra ne rade nedjeljom i blagdanom te za vrijeme rada trgovačkog centra, tj. 12 sati, rade instaliranom snagom. Više sati rada, označava veću potrošnju te na taj način i veći postotak maksimalne iskorištenosti proizvedene električne energije iz fotonaponske elektrane. Zasićenje se pojavljuje na postotku od 70,97%, ali to je maksimalna moguća iskorištenost jer se energija proizvedena prije otvorenja trgovačkog centra te za vrijeme neradnih dana predaje u mrežu i na taj način ograničava da se postigne 100% iskorištenosti proizvedene električne energije.

Punionice ustanove/tvrtke ne rade subotom, nedjeljom i blagdanom te za vrijeme rada ustanove/tvrtke, tj. 8 sati, rade instaliranom snagom. Manji broj sati rada od trgovačkog centra, označava kako će iskorištenost proizvedene električne energije iz fotonaponske elektrane automatski biti manja jer je smanjena ukupna godišnja potrošnja punionica. Zasićenje se u ovom slučaju pojavljuje na postotku od 57,38% te je to za ovaj profil potrošnje maksimalno postignuto iskorištenje proizvedene energije jer se dio električne energije uvijek predaje u mrežu prije ili poslije radnog vremena ustanove/tvrtke ili za vrijeme neradnih dana ustanove/tvrtke.



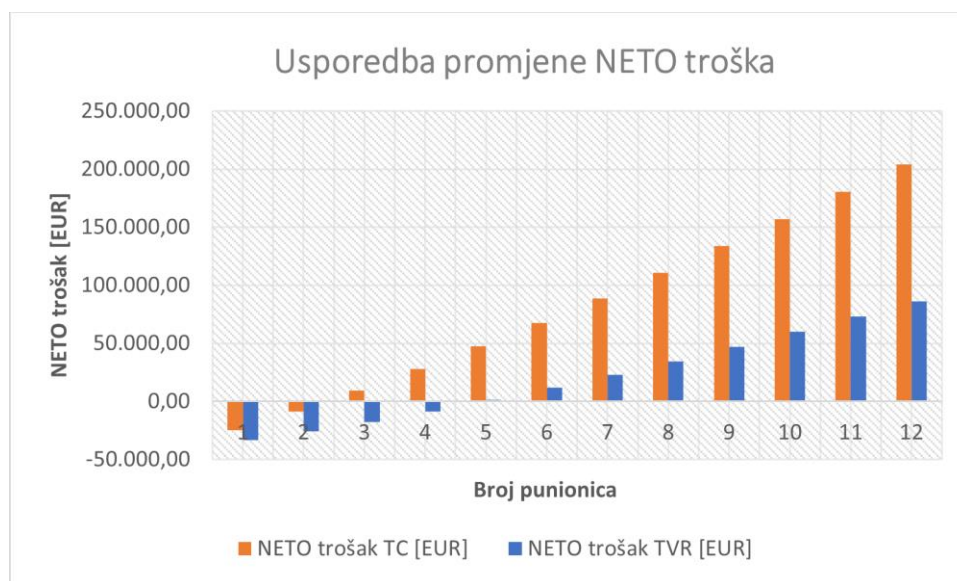
Slika 5.17. Usporedba iskorištenosti proizvedene električne energije

Na slici 5.17. vidljivo je kako u oba slučaja raste iskorištenost povećavanjem broja instaliranih punionica te implementacijom 10 punionica ulazi se u zasićenje. Zasićenje kod oba slučaja se pojavljuje pri desetoj punionici jer kako se kod rada ustanove/tvrtke automatski smanjila moguća

iskorištenost proizvedene električne energije, tako je zbog smanjene godišnje potrošnje punionica bilo potrebno implementirati više punionica kako bi se postiglo što veće iskorištenje proizvedene električne energije.

Analizom rezultata trgovačkog centra, NETO trošak je bio negativan samo u prvih 2 slučajeva, tj. instaliranjem dvije punionice za električna vozila trošak kupovine je bio manji od zarade prodane električne energije, dok je u svim ostalim slučajevima dolazilo do pozitivnog NETO troška. To znači da se sve više povećavao udio kupljene električne energije iz mreže, a smanjivao se udio prodane električne energije u mrežu.

Usporedba NETO troška je prikazana na slici 5.18. Kod ustanove/tvrtke, NETO trošak je bio negativan u prvih 4 slučajeva, tj. instaliranjem četiri punionice za električna vozila trošak kupovine je i dalje bio manji od zarade prodane električne energije. Nakon toga, dolazi do pozitivnog NETO troška, odnosno povećava se udio kupljene električne energije iz mreže, a smanjuje se udio prodane električne energije u mrežu jer se potrošnja povećava, a proizvodnja iz fotonaponske elektrane ostaje ista.



Slika 5.18. Usporedba NETO troška

## 6. ZAKLJUČAK

Proizvodnja električne energije iz FN sustava ima ključnu ulogu za punionice električnih vozila, s ciljem smanjenja opterećenja elektroenergetske mreže. Fotonaponska tehnologija koristi sunčevu energiju za proizvodnju električne energije putem fotonaponskih ćelija, koje se mogu povezivati u module i nizove radi dobivanja većih vrijednosti napona, struje i snage.

Infrastruktura punionica za električna vozila nužna je za daljnji razvitak industrije EV-a te svakodnevno povećanje udjela električnih vozila ukupnom broju prijevoznih sredstava u svijetu. Punionice se mogu nalaziti na različitim mjestima, uključujući parkirališta trgovačkih centara, javne ustanove, privatne građevine i autoceste. Ovim se omogućuje praktično punjenje tijekom svakodnevnih aktivnosti te se produljuje domet vozila nadopunjavanjem baterija na punionicama.

Porast broja punionica i električnih vozila zahtijeva veće potrebe za električnom energijom i time se povećava opterećenje elektroenergetskog sustava. To može uzrokovati promjene napona i gubitke u mreži, posebno tijekom vršnih opterećenja. Jedno od rješenja za smanjenje opterećenja sustava je primjena tarifnog modela koji potiče punjenje vozila tijekom razdoblja smanjenog opterećenja sustava, nudeći niže cijene električne energije u tim trenucima. Također, koncept V2G omogućuje električnim vozilima povezivanje s mrežom, što omogućuje skladištenje energije u vozilima i njezino vraćanje u mrežu tijekom vršnih opterećenja. Osim toga, uporaba fotonaponskih sustava u kombinaciji s punionicama može pomoći u smanjenju rizika od preopterećenja sustava.

U praktičnom dijelu rada napravljena je analiza određivanja mogućeg broja punionica za električna vozila trgovačkog centra i ustanove/tvrtke. Cilj je osigurati što veću iskorištenost proizvedene električne energije iz fotonaponske elektrane s obzirom na odabrani profil korištenja punionica.

Povećavanjem broja punionica, u oba slučaja se povećao postotak iskorištenosti proizvedene električne energije, a smanjivao se postotak prodane energije. To se događa zato što je godišnja proizvodnja bila jednaka neovisno o broju instaliranih punjača. Profil korištenja punionica razlog je različitih rezultata analize. Većim brojem radnih sati trgovačkog centra, omogućuje se veća iskorištenost proizvedene energije jer se manje energije automatski predaje u mrežu. Manjim brojem radnih sati ustanove/tvrtke u odnosu na trgovački centar, automatski je smanjena maksimalna moguća iskorištenost jer će se za vrijeme neradnih dana sva proizvedena energija predavati u mrežu. Manji broj radnih sati, također označava manju godišnju potrošnju punionica te se na taj način više proizvedene energije predaje u mrežu. Kod ustanove/tvrtke ostvaruje se NETO dobit instalacijom do četiri punionice jer je u tim slučajevima zarada od prodaje veća od



troška kupljene električne energije iz mreže. Kod trgovačkog centra, zbog veće potrošnje punionica, NETO dobit se ostvaruje instalacijom do 2 punionice te instalacijom dodatnih punionica trošak kupljene je veći od zarade prodane električne energije.

Povećanje iskorištenja proizvedene električne energije može se ostvariti optimizacijom radnog vremena punionica, tj. da punionice rade uvijek kada ima proizvodnje iz fotonaponskog sustava dostatnog za pokrivanje potrošnje punionica. Također, moguće je stvoriti sustav s baterijskim spremnicima u koje će se skladištiti električna energija za vrijeme neradnih dana ili kada je proizvedena energija veća od potrošnje potrebne za rad punionica za električna vozila.

## 7. LITERATURA

- [1] M. C. Falvo, D. Sbordone, I. S. Bayram i M. Devetsikiotis, EV charging stations and modes: International standards, International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2014. [01.06.2023.]
- [2] R. Raff, V. Golub, D. Pelin i D. Topić, Overview of charging modes and connectors for the electric vehicles, Osijek, 2019. [01.06.2023.]
- [3] H. Fakour, M. Imani , S.-L. Lo, M.-H. Yuan, C.-K. Chen, S. Mobasser i I. Muangthai, Evaluation of solar photovoltaic carport canopy with electric vehicle charging potential, 2023. [10.06.2023.]
- [4] Y. Zhou i X. LI, Vehicle to Grid Technology: A Review, Hangzhou, China, 2015. [20.06.2023.]
- [5] F.-E. Riakhi i A. Khaldoun, PV Sizing of a Stand Alone Solar Carport System Linked to Charging Stations and its Economic Analysis (A Case Study), Ifrane, 2021. [20.08.2023.]
- [6] EV charging levels modes types explained, dostupno na: <https://www.emobilitysimplified.com/2019/10/ev-charging-levels-modes-types-explained.html>. [15.06.2023.]
- [7] CHAdeMO - High power, dostupno na: <https://www.chademo.com/technology/high-power>. [15.06.2023.]
- [8] Centar za vozila Hrvatske, 2022.. dostupno na: <https://www.cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/>. [01.07.2023.]
- [9] ELEN, dostupno na: <https://elen.hep.hr/>. [15.06.2023.]
- [10] MOL PLUGEE, dostupno na: <https://molplugee.hr/hr/punionice>. [15.06.2023.]
- [11] PETROL, dostupno na: <https://www.petrol.hr/na-putu/e-mobilnost/cjenik-punjenja>. [15.06.2023.]
- [12] IONITY, dostupno na: <https://ionity.eu/en/network/network-status>. [15.06.2023.]
- [13] Hrvatski Telekom E-mobilnost, dostupno na: <https://www.hrvatskitelekom.hr/poslovni/ict/e-mobilnost>. [15.06.2023.]
- [14] TESLA Supercharger, dostupno na: [https://www.tesla.com/hr\\_hr/supercharger](https://www.tesla.com/hr_hr/supercharger). [15.06.2023.]
- [15] HEP ODS - Kupac s vlastitom proizvodnjom, dostupno na: <https://www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29>. [10.07.2023.]
- [16] HEP ODS - Zajamčeni otkup električne energije - kategorija poduzetništvo, dostupno na: <https://www.hep.hr/elektra/poduzetnistvo/zajamceni-otkup-elektricne-energije-kategorija-poduzetnistvo/1647>. [10.07.2023.]
- [17] HEP ODS - tarifni modeli, dostupno na: <https://www.hep.hr/elektra/poduzetnistvo/tarifni-modeli-1548/1548>. [10.07.2023.]
- [18] HEP ODS - tarifne stavke (cijene) kategorija poduzetništvo, dostupno na: <https://www.hep.hr/elektra/poduzetnistvo/tarifne-stavke-cijene-1578/1578>. [10.07.2023.]

- [19] HEP ODS - tarifne stavke (cijene), dostupno na: <https://www.hep.hr/ods/kupci/poduzetnistvo/tarifne-stavke-cijene-161/161>. [10.07.2023.]
- [20] HEP ODS - Što je naknada za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora?, dostupno na: <https://www.hep.hr/elektra/kupci/cesta-pitanja/sto-je-naknada-za-poticanje-proizvodnje-elektricne-energije-iz-obnovljivih-izvora/1541>. [10.07.2023.]
- [21] Google Maps, dostupno na: <https://www.google.com/maps>. [05.09.2023.]
- [22] PVGIS, dostupno na: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/). [05.09.2023.]

## SAŽETAK

U radu su opisane osnovne značajke vezane za punionice za električna vozila, standardi koji propisuju zahtjeve za punjenje električnih vozila, tipovi punionica, vrste priključaka, stanje s punionicama u Republici Hrvatskoj te utjecaj punionica na elektroenergetski sustav. Opisana je regulativa u RH za kupce u kategoriji poduzetništvo. Opisano je funkcioniranje fotonaponskih sustava sa punionicama za električna vozila. U praktičnom dijelu rada, određen je broj punionica za električna vozila koji se može postaviti na parkiralištu prekrivenom fotonaponskim panelima. Analizirani su slučajevi parkirališta namijenjenog kupcima trgovačkog centra i parkirališta namijenjenog zaposlenicima neke ustanove ili tvrtke. Na osnovu snage i godišnje proizvodnje FN elektrane određen je broj punionica uz mogućnost isporuke viška električne energije u mrežu i preuzimanja električne energije iz mreže kada nema dovoljno proizvodnje iz fotonaponske elektrane.

Ključne riječi: punionica, fotonaponska elektrana, električno vozilo, parkiralište, poduzetništvo

**TITLE:** Determining the number of electric vehicle charging stations in a parking lot covered with photovoltaic panels

## ABSTRACT

The paper describes the basic features related to electric vehicle charging stations, standards prescribing requirements for charging electric vehicles, types of charging stations, types of connectors, the status of charging stations in the Republic of Croatia, and the impact of charging stations on the electrical power system. The regulation in Croatia for customers in the entrepreneurship category is outlined. The operation of photovoltaic systems with electric vehicle charging stations is also described. In the practical part of the paper, the number of electric vehicle charging stations that can be installed in a parking area covered with photovoltaic panels is determined. The cases of a shopping center customer parking lot and an institution or company employee parking lot are analyzed. Based on the power and annual production of the photovoltaic plant, the number of charging stations is determined, with the possibility of delivering surplus electrical energy to the grid and taking electrical energy from the grid when there is insufficient production from the photovoltaic plant.

Key words: charging station, photovoltaic power plant, electric vehicle, parking lot, entrepreneurship