

Idejno rješenje solarne autonomne punionice električnih vozila

Vezilj, Mihovil

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:252017>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



Sveučilište u Rijeci
TEHNIČKI FAKULTET
Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**IDEJNO RJEŠENJE SOLARNE AUTONOMNE PUNIONICE
ELEKTRIČNIH VOZILA**

Rijeka, srpanj 2023.

Mihovil Vezilj
0069085286

Sveučilište u Rijeci
TEHNIČKI FAKULTET
Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**IDEJNO RJEŠENJE SOLARNE AUTONOMNE PUNIONICE
ELEKTRIČNIH VOZILA**

Mentor : Doc. dr. sc. Dunja Legović

Rijeka, srpanj 2023.

Mihovil Vezilj
0069085286

IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad pod imenom „Idejno rješenje solarne autonomne punionice električnih vozila“ samostalno izradio u skladu s dodijeljenim zadatkom pod vodstvom doc. Dr. sc. Dunje Legović. U radu sam primijenio znanja stečena tijekom naobrazbe te metodologiju istraživačkog rada kojemu mi je koristila literatura navedena na kraju završnog rada.

Mihovil Vezilj

ZAHVALA

Veliku zahvalu dugujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Dunji Legović na uloženom trudu, strpljenju i pomoći pri izradi ovoga rada kao i znanju koje mi je prenijela putem drugih kolegija.

Također bih se zahvalio svojim prijateljima i kolegama koji su mi pružili pomoć i bili potpora.

Posebna zahvala ide mojoj obitelji i roditeljima koji su mi omogućili obrazovanje i bili podrška tokom studija.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. RAZVOJ ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA	2
2.1. Povijest električnih automobila.....	3
2.2. Osnovni dijelovi električnih automobila	9
2.2.1 Elektromotor	10
2.2.2 Baterija.....	12
2.2.3 Punjač baterije električnog automobila	15
2.3. Prednosti i nedostaci električnih automobila.....	16
3. Punionice električnih automobila	18
3.1. Vrste punjača električnih automobila	19
3.1.1. Kućna utičnica	19
3.1.2. Kućni punjači.....	20
3.1.3. Punjači na rasvjetnim stupovima.....	21
3.1.4. AC punjači.....	21
3.1.5. DC punjači.....	22
3.1.6. Tesla punjači	22
3.2. Standardi za punjenje električnih automobila.....	23
3.2.1. Nomenklatura	23
3.2.2. Konektori	24
3.2.2.1. SAE J1772 Standard	24
3.2.2.2. IEC 61851	24
4. SOLARNE PUNIONICE ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA.....	27
4.1. Autonomna punionica „Sunčica“	28
5. Proračun i određivanje lokacije postavljanja solarne punionice.....	29
5.1. Odabir električnog automobila	30

5.2.	Odabir lokacije.....	32
5.3.	Odabir fotonaponskih panela	34
5.4.	Proračun kapaciteta baterije za skladištenje energije.....	37
5.5.	Odabir izmjenjivača	41
5.6.	Regulator punjenja baterije (Bidirekcijski pretvarač).....	43
5.7.	Troškovi projekta i skica.....	46
6.	Zaključak.....	48
7.	Literatura.....	49
8.	Popis Slika	51
9.	Popis tablica.....	52
10.	POPIS KRATICA.....	54

1. UVOD

Električni automobili su zasigurno zauzeli svoje mjesto na tržištu automobila. Kombinacija različitih faktora, kao što je sve veća ponuda na tržištu, državne subvencije i poskupljenja goriva iskazala se u višestrukome porastu kupnje ove vrste vozila. Koliki je porast, najbolje nam govori podatak analitičke kompanije Canalys, koji nam govori da je zabilježeno povećanje od 63 % u odnosu na prethodnu godinu. [1] S vremenom su performanse električnih automobila napredovale, pogotovo u pogledu baterija čiji se kapacitet znatno povećao. Upravo je baterija razlog pisanja ovoga rada, odnosno način njezina punjenja čijem smo napretku svjedočili posljednjih godina. Napredak baterija kao i potencijalnih rješenja njezina punjenja, otvara put u daljnji razvoj i usvajanje ove vrste tehnologije. Današnja rješenja nažalost još uvijek nisu potpuno „zelena“ i struja kojom se automobili pune najčešće ne dolazi iz obnovljivih izvora energije što znači da su punionice spojene na mrežu. Zbog ovih nedostataka, autonomne solarne punionice postale su sve značajnije u kontekstu punjenja električnih vozila.

Postavlja se pitanje je li autonomna solarna punionica realno rješenje, isplatili se njezino postavljanje te najznačajnija stavka, je li ekološki prihvatljivija od postojećih rješenja.

U ovom radu obraditi ćemo upravo ovakav tip punionice te ukazati na njezine prednosti i nedostatke te ćemo ponuditi idejno rješenje uz pripadajuću cijenu.

2. RAZVOJ ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA

Električni automobili su vozila pokretana jednim ili više elektromotora koji koriste energiju pohranjenu u baterijama. Električna vozila su postala sve popularnija zbog svoje ekološke prihvatljivosti i niske cijene energije koju troše u odnosu na tradicionalna vozila s unutarnjim izgaranjem. Brojne su zemlje diljem svijeta uspostavile poticaje za subvencioniranje električnih automobila kao i porezne olakšice.

Električne automobile možemo podijeliti na nekoliko vrsta kao što su vozila na električni pogon (EV), sva vozila na električni pogon u koja ubrajamo i vozila na gorive ćelije vodika (BEV), plug-in hibridna vozila (PHEV) koja koriste kombinaciju električne energije i fosilnih goriva, takva vozila uglavnom imaju doomet oko 50km na struju, te na samom kraju vozila koja koriste motor s unutarnjim izgaranjem u kombinaciji s blagim hibridnim sustavom, odnosno električnim generatorom (MHEV). [2]



Slika 2.1. Električni automobil Tesla

2.1. Povijest električnih automobila

Električni automobili postoje gotovo jednako dugo pa čak i duže nego što postoje automobili koji koriste fosilna goriva. Za izum prvog električnog automobila zasluge možemo pripisati Robertu Andersonu koji je prvu električnu kočiju izradio negdje u razdoblju između 1832. i 1839. godine. Neko vrijeme koristile su se ne punjive baterije sve do 1859. godine kada je francuski fizičar Gaston Plante izumio olovno-kiselinsku bateriju odnosno prvu punjivu električnu bateriju. Takva baterija ideju o električnim automobilima učinila je održivijom. 30-ak godina kasnije, inženjer Henry G. Morris i kemičar Pedro G. Salom predstavili su električni automobil pod nazivom Electobat. Od 19. Kolovoza 1897. Godine Electric Cab kompanija u Londonu uvodi ponudu od 12 taksija s električnim pogonom te s tim postaju prvi samohodni taksiji u svijetu. Taksij je razvijao maksimalnu brzinu od 9 do 12 milja na sat odnosno 14-20 km/h. [3] Vozila su bila opremljena 40-ćelijskim olovnim baterijama i električnim motorom od 3 konjske snage. Automobil je imao domet od 50 milja (80 km). Vozila su bila crno-žute boje a postali su poznatu pod nazivom „kolibri“ zbog buke koju je stvarao motor. Taxi je mogao primiti dva putnika i bio je opremljen električnom rasvjetom unutar i van vozila. Flota taksija je na svom vrhuncu dostigla brojku od 75 vozila, a cijene su bile iste kao oni koji su koristili konjske zaprege. Na slici 2.2 prikazan je Electobat. Automobil je imao 1.5KS dok mu je domet dostizao 40km, a razvijao je maksimalnu brzinu od 32km/h. [4] Nije trebalo dugo da Electobat postane vozilo taksij službi u New Yorku kao i u pojedinim američkim gradovima. Takva vrsta taksija 1900. godine osim u New Yorku, prometovala je u Berlinu, Philadelphiji, St. Luisu, Detroitu, Bostonu, Mexico Cityu i Londonu.



Slika 2. 2 Electobat [2]

Poznati češko-njemački inženjer Ferdinand Porsche 1899. godine konstruirao je svoj prvi automobil, a malo je znano da je taj automobil bio pogonjen elektromotorom. 1899. Lohner-Porsche konstruirao je i prvi hibridni automobil. Ferdinand je kao tinejdžer bio fasciniran strujom te je već sa 18 godina u obiteljskom domu postavio sustav električne rasvjete. Iste godine se pridružuje Vereinigte Elektrizitäts-AG Béla Egger u Beču. Ferdinand je uz posao istovremeno studirao na Tehničkom sveučilištu u Beču, no službeno nikada nije stekao formalno zvanje inženjera. 1897. godine pridružio se tvornici Jakob Lohner & Company, koja je proizvodila autobuse za austrijskog cara Franju Josipa I. Godinu dana kasnije dizajnirao je vozilo zvano Egger-Lohner, poznatije kao C.2 Phaeton. Vozilo je prikazano na slici 2.3. Egger-Lohner bio je automobil sličan kočiji koji su pokretala dva elektromotora, a napajale su ga baterije. Također je postojala i proširena verzija ovog vozila, a konstrukcija je imala još dva dodatna elektromotora postavljena na stražnjim kotačima. Taj automobil naručio je Englez Ew Hart 1900., a iste godine u prosincu predstavljen je na izložbi u Parizu. Iako je bio naručen isključivo za utrke i obaranje rekorda, imao je ogroman nedostatak, a to je bila baterija od 1800kg. Automobil je pokazao izvrsnu brzinu težina baterija ipak je predstavljala problem prilikom uspinjanja pod nagibom. [5]



Slika 2.3. C.2 Phaeton [5]

Ferdinand Porsche također je zaslužan za dizajn prvog funkcionalnog hibridnog automobila na svijetu pod nazivom „Semper Vivus“ (latinski naziv za „uvijek živ“). Na ovom vozilu dva generatora uparena su sa benzinskim motorima i formirala su zasebnu jedinicu za punjenje, istovremeno opskrbljujući električnom energijom motore, glavčine kotača i baterije. (Slika 2.4.)

Kod ovog modela automobila, originalni akumulator od 74 ćelije zamijenjen je sa onim od samo 44, ugrađena su dva vodeno hlađena motora DeDion Bouton od 3,5 KS koji pokreću dva generatora za proizvodnju električne energije. [6]

Oba motora su radila neovisno, svaki je davao 20 ampera uz napon od 90 volti. Električna energija koju su generirali motori isprva je tekla u motore glavčina kotača, a višak se slao u baterije. Stalni problem koji se pojavljivao bilo je prljanje akumulatora te izbacivanje prljavštine. Model, iako je zainteresirao potencijalne kupce, oni smatrali da ovaj prototip još uvijek nije najbolja kupnja pošto je imao još puno mjesta za razvoj i unapređenje.

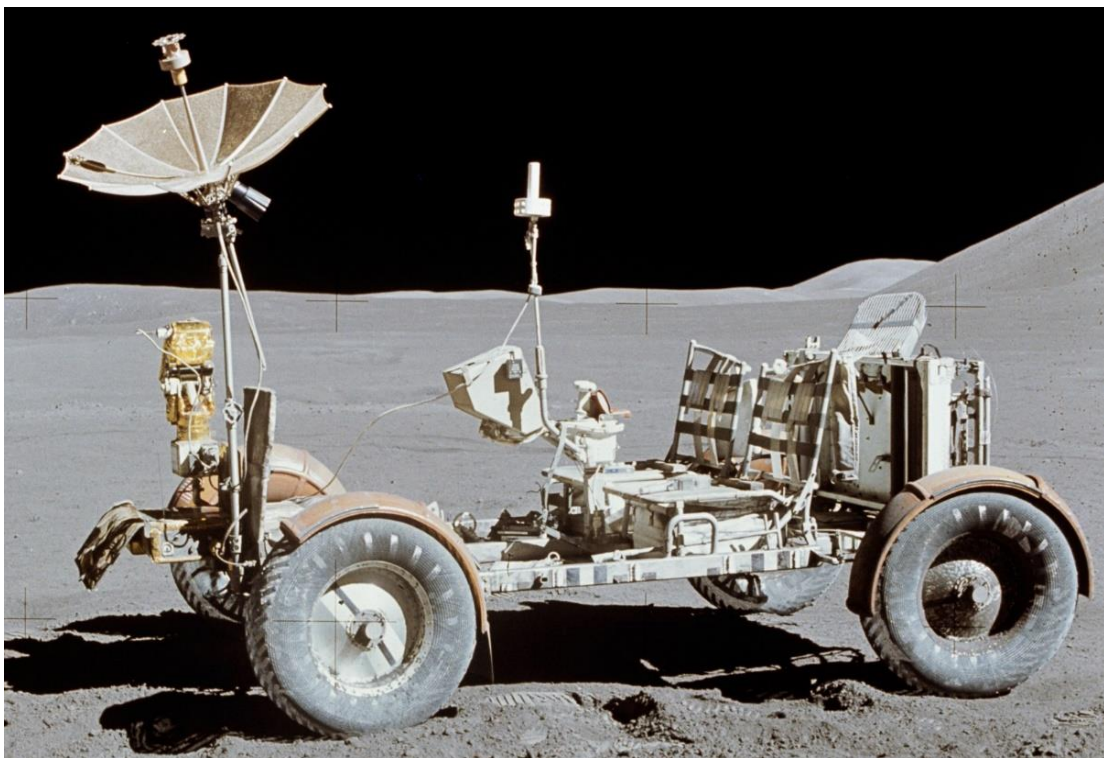


Slika 2.4. Sempre Vivus [6]

Na početku 20. stoljeća u Sjedinjenim Američkim Državama 40% automobila pokretala je para, 38% električna energija, a tek 22% benzin. [4] Nakon značajnog uspjeha koji je doživio, električni automobil ipak počinje gubiti svoju poziciju na tržištu. Poboljšanjem cestovne infrastrukture 1920-ih godina razvila se potreba za automobilima boljeg doseg od onoga što nude električni automobili koji su ostali ograničeni na urbanu uporabu. Svjetska otkrića velikih rezervi nafte dovela su do pristupačnosti benzina zbog čega automobili na benzinski pogon postaju jeftiniji i pogodniji za vožnje na većim udaljenostima.

Nakon dugog izbivanja sa pozornice, energetske krize 1970-ih i 1980-ih donijele su ponovni interes za upotrebom električnih automobila.

31. srpnja 1971. godine električni automobil Lunar Roving Vehicle postaje prvo vozilo koje je čovjek vozio na Mjesecu. LVR poznatiji i kao „Moon buggy“ sudjelovao je u tri misije američkog programa Apollo. Izgradio ga je Boeing, imao je masu od 210 kilograma a nosivost mu je bila 440kg što je uključivalo dva astronauta, opremu i teret. Maksimalna brzina koju je mogao razviti bila je 9,7km/h no u svojoj zadnjoj misiji postiže čak 18km/h. Svaki je prešao oko 30 kilometara, a sva tri LVR-a ostala su na Mjesecu. [7] Lunar Roving Vehicle prikazan je na slici 2.5.



Slika 2.5. Lunar Roving Vehicle [7]

Početakom 90-ih godina 20. stoljeća Kalifornijski odbor za zračne resurse započine kampanju za vozila s nižom emisijom štetnih plinova, a krajnji su cilj vozila s nultom emisijom štetnih plinova. Proizvođači automobila razvili su neke modele kao što su: Chrysler TEVan, Ford Ranger EV pickup, GM EV1 i S10 EV pickup, Honda EV Plus hatchback, Nissan miniwagon Altra EV s litij-baterijom i Toyota RAV4 EV. [8]

2004. godine trenutno najpoznatiji proizvođač električnih automobila, Tesla, započeo je razvijati Tesla Roadster, prvi potpuno legalan električni automobil za autoceste kao i prvi električni automobil koji ima domet od preko 320 kilometara. Isporučka kupcima započela je 2008. godine. [14]



Slika 2.6. Tesla Roadster

2011. godine Mitsubishi I-miev postaje prvi električni automobil prodan u više od 10 000 primjeraka.

Prema podacima Međunarodne agencije za energiju (IEA), u 2010. godini, bilo je manje od 20 tisuća registriranih električnih vozila u svijetu dok se do 2021. godine taj broj popeo na 11 milijuna. Najprodavaniji primjerak je Nissan Leaf.

Najveći broj registriranih vozila nalazi se u Kini, a zauzima oko 50% odnosno 5,8 milijuna svih registracija u svijetu. Drugi udio sa 1,8 milijuna vozila zauzimaju Sjedinjene Američke države a slijedi ih Europa sa 1,6 milijuna registracija. Prema procjenama IEA-e, očekuje se da će do 2030. godine u svijetu biti preko 145 milijuna registrirani električnih vozila. [9]

U Hrvatskoj su krajem 2022. godine registrirano ukupno 4929 električnih automobila. [10]

Na tržištu električnih automobila Hrvatsku predstavlja svjetski poznata tvrtka Mate Rimca „Rimac Automobili“ prepoznatljiva po visoko performansnim električnim automobilima a ponajviše po modelu C_Two (Slika 7.) , najbržem električnom automobilu na svijetu. [11]

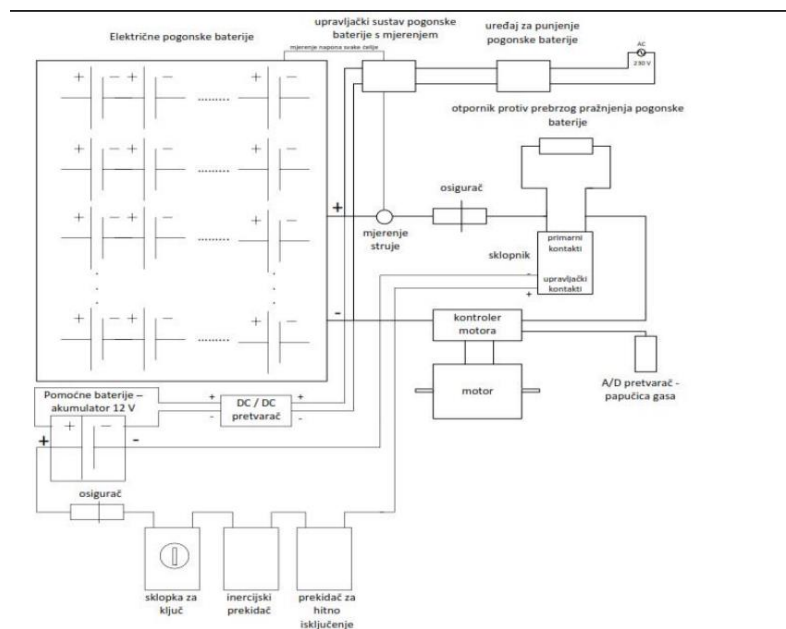


Slika 2.7. Rimac Concept Two [11]

2.2. Osnovni dijelovi električnih automobil

Osnovni dijelovi električnih automobila koji mu omogućuju funkcionalnost su baterija koja je ujedno i „srce“ električnog automobila, a uloga joj je skladištenje energije, zatim elektromotor koji električnu energiju iz baterije pretvara u mehaničku, kontroler poznatiji kao upravljački modul a uloga mu je regulacija i upravljanje elektromotorom, punjač, regenerativni kočioni sustav koji koristi energiju koja se inače gubi tijekom kočenja kako bi se napunila baterija, električna kontrolna jedinica, prikaz sustava i upravljačka ploča. Osim ovih dijelova kod električnih automobila postoje i neke druge komponente kao što su elektronički senzori, kablovi za napajanje, električni sustav za grijanje i hlađenje automobila i rashladni sustav za bateriju.

Također važno je napomenuti i još neke sporedne dijelove električnih vozila kao što su DC-DC pretvarač koji pretvara visoki napon iz baterije u niži napon koji je potreban za napajanje rasvjete, inverter, koji služi za pretvorbu istosmjerne struje baterije u izmjeničnu, reduktor odnosno mjenjač koji prenosi snagu s elektromotora na pogonske kotače, kondenzator, senzori, električna kočiona pumpa, električno servo upravljanje, električni grijač te mnogi drugi. Bitno je napomenuti da se pojedini dijelovi i njihove uloge razlikuju ovisno o modelu i proizvođaču automobila. [12]



Slika 2.8. Blok – Shema elemenata na električni pogon [12]

2.2.1 Elektromotor

Elektromotor možemo nazvati ključnom komponentom električnih automobila kao i ostalih električnih uređaja. Elektromotor i njegove komponente nalaze se na slici 2.9. To je stroj koji pretvara električnu energiju u mehanički rad, a sastoji se od statora i rotora. Statorski dio sadrži namotaje od feromagnetnog materijala i oni su fiksni dok rotor sadrži magnetske ili električne komponente koje se mogu okretati. Elektromotor radi na principu magnetske indukcije. Kada struja dođe do statorskih namotaja generira se magnetsko polje unutar elektromagneta te se integrira s magnetskim poljem rotora, a upravo ta interakcija stvara okretni moment koji pokreće rotaciju rotorskog dijela motora.

Razlikujemo dvije glavne vrste električnih motora. Bitna napomena je da se princip rada pojedinog elektromotora razlikuje ovisno o vrsti ali način rada elektromagnetske indukcije ostaje zajednički element koji služi za pretvorbu električne energije u mehaničku. Prva vrsta elektromotora pripada skupini AC (izmjenična struja) elektromotora. AC elektromotori napajaju se iz mreže izmjeničnog trofaznog ili jednofaznog napona a najčešće se koriste u industrijskim postrojenjima. Ovu vrstu elektromotora možemo podijeliti na sinkrone i asinkrone. Druga vrsta DC (istosmjerna struja) elektromotora su motori koji električnu struju pretvara u kružno gibanje.

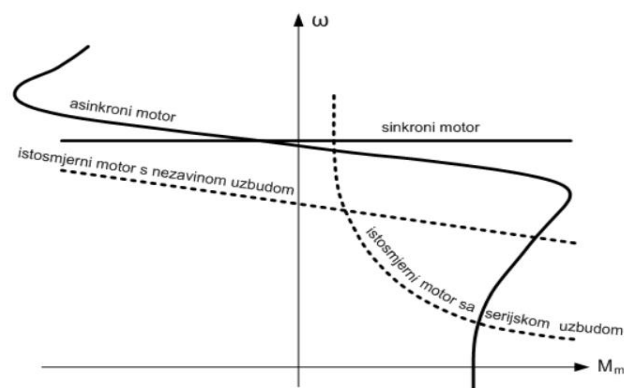


Slika 2.9. Elektromotor

Razlike DC i AC elektromotora:

- Glavni izvor AC motora je struja koja dolazi iz trofazne ili jednofazne mreže napajanja. Izvori DC motora su baterije i ćelije
- AC elektromotor radi na konceptu izmjenične struje, dok DC radi na principu istosmjernje.
- U AC motoru proces komunikacije je odsutan, nema uporabe ugljičnih četkica, dok se u DC motoru odvija proces komutacije i stoga se koriste ugljene četkice
- U AC motoru postoje tri ulazna terminala poznata kao RYB (crvena, žuta i plava). U DC motoru postoje samo dva poznatiji kao Pozitivni i Negativni
- Motori izmjenične struje nisu samostalni i stoga zahtijevaju vanjsku opremu za pokretanje motora. Motor s istosmjernom strujom su automatski pokretački motori
- Armatura je stacionarna, a magnetsko polje se rotira u AC motor, u DC motoru se armatura okreće dok magnetsko polje miruje
- AC je pogodan za velike i industrijske primjene dok se DC koriste za kućanske
- Troškovi održavanja AC motora su veći

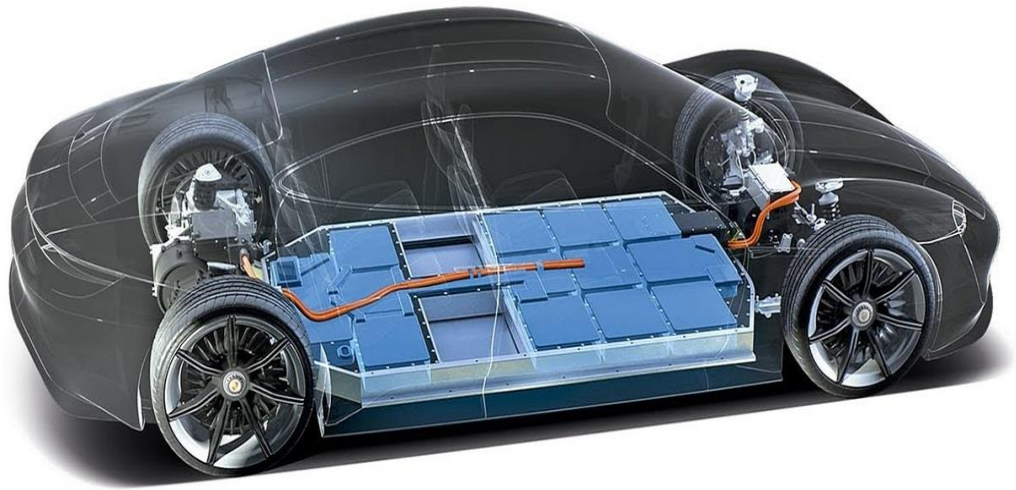
Još neke od prednosti AC motora u odnosu na istosmjerne DC su: manja masa, manje dimenzije, manji moment inercije, manja cijena, veća brzina vrtnje, veći stupanj korisnog djelovanja (0,95-0,97 u odnosu na 0,85-0,89) te jednostavno i jeftino održavanje.



Slika 2.10. Vanjske karakteristike različitih tipova elektromotora [12]

2.2.2 Baterija

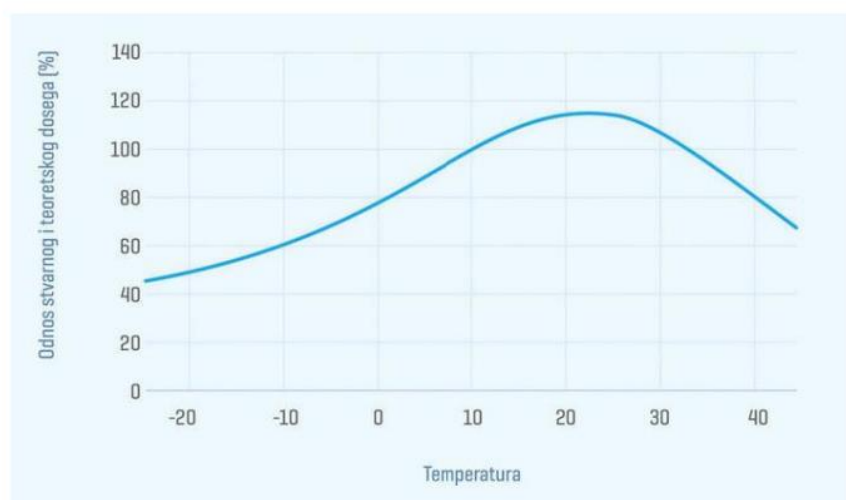
Za bateriju možemo reći da je ključni i najskuplji element električnih automobila. Služe za skladištenje električne energije koja je potrebna za pokretanje vozila. Uspješno poslovanje električnih vozila na tržištu izuzetno je ovisno o dostupnosti i razvijenosti tehnologija baterija koje će omogućiti pouzdanu pohranu energije potrebnu za pogon vozila. Do danas su se kapaciteti baterija dovoljno razvili i omogućili automobilima prevaliti određene udaljenosti, a svjetski proizvođači najavljuju u skorijoj budućnosti intenzivno povećanje kapaciteta. Životni vijek baterija okvirno je određen razdobljem 8 do 10 godina. Većina automobila koristi se litij-ionskim baterijama zbog njihove visoke energetske gustoće, kapaciteta te dugotrajnosti, a također omogućuju veće domete i brže punjenje u odnosu na ostale tipove baterija. Litij-ionske baterije dosta su lakše i manje od olovnih, a neki tipovi imaju mogućnost brzog punjenja te se mogu napuniti za dvadeset minuta. Imaju velik potencijal za daljnji razvoj punjivih baterija jer koriste litij koji se smatra jednim od najlakših metala, a to je bitna karakteristika kod razvoja ovakvog tipa automobila. Upravo je problem sa skladištenjem energije glavni razlog sporog razvoja električnih automobila. Donedavno su se za skladištenje većih količina energije koristile olovne baterije a njihov glavni nedostatak je masa te štetan učinak na okoliš. 60 kilograma olovnih baterija potrebno je ako bismo željeli skladištiti 1 kWh električne energije, a pretvarajući to u domet značilo je da je za jedan prijeđeni kilometar potrebno oko 7kg baterija, a za 100km 700kg baterija. To je naravno zauzimalo veliki volumen prostora i postao glavni uzrok problema nekom većem razvoju električnih automobila. Olovne baterije imale su još jedan problem a to značajan pad kapaciteta pri niskim temperaturama (već pri temp. od +10 °C). Pad kapaciteta uzrokovao je i pad dometa kod zimskih uvjeta. Punjenje olovnih baterija trajalo je 6 do 12 sati, a ne podržavaju niti brzo punjenje. Vijek trajanja im iznosi 500 do 1000 punjenja što je ekvivalentno 5 godina. [2]



Slika 2.11. Baterija u automobilu Tesla

Dolet električnog vozila možemo okarakterizirati kao udaljenost koju prijeđe s jednim punjenjem baterije. Dolet ovisi o modelu i kapacitetu baterije. Dužina punjenja baterije trebala bi biti što manja, a prevelika pražnjenja bi se trebala izbjegavati. Najvišem im odgovara temperatura oko 20 Celzijevih stupnjeva. Električni automobili iako nemaju problema s podmazivanjem hladnoća im stvara probleme jer loše utječe na rad baterije.

Kod temperature od -25 C baterije nisu u mogućnosti funkcionirati jer im se elektroliti zamrznu. Iz razloga što najoptimalnije radi na 20 C, pri povišenim i sniženim temperaturama potrebno ju je grijati odnosno hladiti, a kako elektromotori imaju visok stupanj iskoristivosti i nemaju velik višak topline, operacije grijanja i hlađenja mora izvoditi baterija što oduzima energiju za pogon vozila. Domet električnih automobila je pri temperaturi od -5C već za 10 posto manji. Povišene temperature također negativno utječu na doseg automobila ali manje nego što je situacija kod niskih temperatura pa primjerice pri 35C doseg automobila je 5 posto manji, a uključena klima taj doseg može smanjiti i do 40%. [13]



Slika 2.12. Utjecaj vanjske temperature na odnos stvarnog i teoretskog dosega

Izvor: <https://www.zemobility.hr/5927/Utjecaj-vanjske-temperature-na-rad-baterije>

Tablica 2.1. Doseg električnih automobila ovisno o vanjskoj temperaturi

Doseg (km) električnih automobila ovisno o vanjskoj temperaturi te grijanju i hlađenju putničkog prostora					
Model	-5 °C		+25 °C	+35 °C	
	bez grijanja	s grijanjem	optimalna temp	bez klime	s klimom
BMW i3S [33,8 kWh]	162	101	203	195	160
Nissan Leaf [40 kWh]	200	154	224	219	197
Tesla S 75D [75 kWh]	339	237	382	357	322
Volkswagen e-Golf [35,8 kWh]	184	126	198	192	162

Izvor: <https://www.zemobility.hr/5927/Utjecajvanjske-temperature-na-radbaterije>

2.2.3 Punjač baterije električnog automobila

Dodatni dio koji može, a i ne mora doći uz automobil, ovisno o politici proizvođača, je punjač baterije električnog automobila. Služi kako bi pretvorio izmjenični napon iz mreže u istosmjerni napon baterije. električni automobili mogu se puniti na gradskoj punionici, kućnoj instalaciji ili preko nekog drugog izvora električne energije. Ovisno o jačini punjača, trajanje punjenja varira. Razlikujemo punjače po njihovoj snazi. Punjači koji se koriste za punjenje automobila kod kuće su nešto sporiji te im je potrebno negdje od 8-10 sati. Super brzi punjači mogu pojedine automobile napuniti u roku od 25 minuta.

Najbrže punionice proizvodi već spomenuta tvrtka Tesla pod nazivom Tesla Supercharger. Tesla Supercharger je tehnologija punjenja 480 V. Punionica ima konektore za napajanje električnom energijom od 72 kW, 150 kW te 250 kW. Na originalnom Teslinom modelu S potrebno je oko 30 minuta da se baterija napuni 80 %. [14]



Slika 2.13. Punjač baterije električnog automobila

2.3. Prednosti i nedostaci električnih automobila

Električni automobili napravili su razdor među automobilskim entuzijastima te ih podijelili na dvije struje. S jedne strane nalaze se oni koji podržavaju električne automobile i ne žele prihvatiti njihove nedostatke dok se s druge strane nalaze oni koji ih u najmanju ruku mrze. Realnost se, kao i obično nalazi negdje u sredini, a ovdje su opisane neke prednosti i nedostaci električnih automobila. [2]

Prednosti električnih automobila:

- Ekološki su prihvatljivi, ne proizvode ispušne plinove tijekom vožnje i samim time smanjuju emisije stakleničkih plinova
- Miran i tihi rad – znatno su tiši u odnosu na vozila s unutarnjim izgaranjem, što nekad djeluje opuštajuće a također smanjuje razinu buke u urbanim područjima
- Kabina se brzo zagrijava – dok se kod dizelskih i benzinskih automobila kabina zagrijava i do 10-ak minuta, električni se automobil zagrije instantno
- Snaga – razvijanje snage i maksimalnog okretnog momenta je trenutno te su među ubrzanja dosta moćnija i ugodnija
- Energetski učinak – imaju viši energetski učinak jer pretvaraju veći postotak energije iz baterija u pokretanje vozila
- Povlašteni parking – mjesta za punjenje i parkiranje električnih automobila često su blizu ulaza u trgovačke centre ili podzemne garaže, a često se mogu i besplatno puniti
- Jeftinije i rjeđe održavanje – ne treba im ulje, rjeđa zamjena kočnica te imaju puno manje pokretnih dijelova
- Poticaji prilikom kupovine

Nedostaci električnih automobila:

- Cijena - Električni automobili koštaju više od vozila s benzinskim ili dizelskim pogonom
- Troškovi električne energije su skočili 2022. godine
- Doseg - zabrinutost zbog dometa, kao što je poznato, bila je glavni čimbenik koji je mnoge spriječio da se odluče za vožnju na električni pogon
- Zimski uvjeti ograničavaju performanse baterije- kod hladnih zima, performanse baterije se smanjuju, a njome i doseg.
- Infrastruktura za punjenje – komplicirana i nedovoljna, ako se živi u stanu tada smo bez mogućnosti korištenja kućne utičnice, samo korištenje punionica kompliciranije je od odlaska na benzinsku postaju
- Vrijeme punjenja – punjenje električnog automobila još uvijek nije toliko brzo kao punjenje benzinskog, dizelskog ili automobila na plin
- Težina – Električni automobili najčešće imaju vrlo nisko težište i odlično „leže na cesti“, no ipak su vrlo teški, a to se osjeti pri kočenju na velikim brzinama

3. Punionice električnih automobila

Stanice za punjenje poznate kao točka za punjenje ili opskrbu električnih vozila (EVSE), sustav je koji opskrbljuje električnom energijom vozila poput električnih automobila, električni kamiona i primjerice plug – in hibrida.

Razlikujemo dvije glavne vrste solarnih punionica za električne automobile a to su AC i DC punionice. Baterije se mogu puniti samo istosmjernom (DC) električnom energijom, dok se većina električne energije isporučuje iz električne mreže kao izmjenična (AC) struja. Razlog zašto postoji izmjenična struja (AC) je taj što je izmjeničnu struju puno lakše transportirati. Zbog toga velika većina električnih automobila ima ugrađen AC-DC pretvarač poznatiji kao ispravljač. Na punionici električnih automobila izmjeničnom strujom, izmjenična struja se dovodi do ispravljača koji proizvodi istosmjernu struju potrebnu za punjenje baterije. DC punjač ima pretvarač unutar samog punjača što znači da može napajati izravno bateriju automobila i ne treba ispravljač za pretvorbu. DC punjači su veći, brži i predstavljaju veći napredak kada je u pitanju punjenje električnih automobila. Problem s električnim vozilima je da baterije treba puniti istosmjernom strujom i zato imamo pretvarače iz izmjenične u istosmjernu struju. Stoga svako električno vozilo ima u sebi jedan takav pretvarač, a od vozila do vozila ovisi koliko je jak taj pretvarač. Starija vozila su imala pretvarače od samo 3,6 kW, a danas je ta brojka povećana na 7,2 kW dok kod nekih vozila iznosi i do 22 kW. Da bi se baterija napunila brže od 22 kW na sat, pretvarač je izbačen iz vozila i postavljen u punjače koji su zbog toga postali istosmjerni (DC). Velik dio električnih modela može prihvatiti za punjenje i AC i DC napajanje. [15]



Slika 3.1. Punionica električnih vozila spojena na mrežu

3.1. Vrste punjača električnih automobila

3.1.1. Kućna utičnica

Kućnu utičnicu smatramo najraširenijim punjačem. Gotovo svaka utičnica može se koristiti za punjenje električnih vozila te je najjednostavniji i najjeftiniji način punjenja ali je također i najsporiji. (Slika 3.2)

Iako služi u svrsi punjenja električnih vozila ipak ju je preporučljivo koristiti samo u nužnim situacijama pogotovo u kućanstvima gdje su starije instalacije koje na kraju mogu dovesti do zapaljenja. Zbog toga se preporučuje korištenje AC punionica ili tzv. kućnih punjača. Količina struje koju može automobil dobiti tokom punjenja preko noći dovoljna je prevaliti udaljenost od 100-150 km.

Maksimalna snaga koja se može dobiti iz utičnice je 3,6 kW no kod nekih automobila se može smanjiti na 2,2 kW, a cijena punjenja putem kućne utičnice je oko 1 do 1.2 eura za 100 km. [16]



Slika 3.2. Kućna utičnica

3.1.2. Kućni punjači

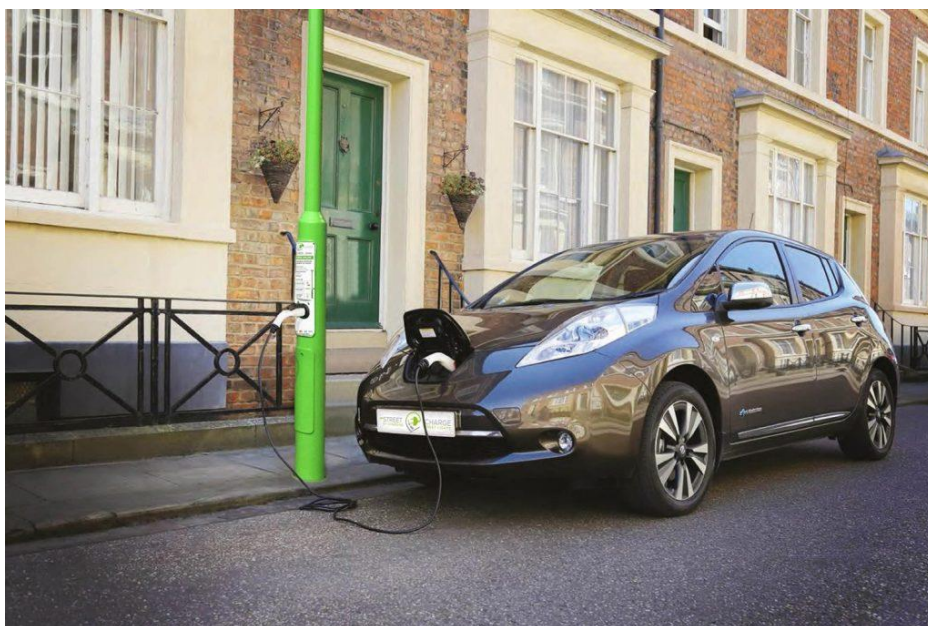
Kućni punjači pružaju više mogućnosti a također i sigurnije korištenje od kućne utičnice. Najčešće pune snagom od 22 kW. Ako punjač vuče snagu od 11kW, prosječno električno vozilo će se napuniti od 0 do 100% za 4 sata i 30 minuta. [16]



Slika 3.3. Kućni punjač

3.1.3. Punjači na rasvjetnim stupovima

Punjači kao što im i samo ime govori se postavljaju u stupove koji se nalaze uz parkirališta. Snaga ovakve vrste punjača iznosi od 2 do 7,2 kW. Ideja je da kad bude na parkiralištu samo električnih automobila, postavljaju punjači između postojećih stupova kako bi svako parkirališno mjesto bilo pokriveno vlastitim punjačem. U Hrvatskoj je ovo tek pilot projekt s kojim će se u šest gradova postaviti oko 2000 punjača. [16]



Slika 3.4. Punjač na rasvjetnom stupu

3.1.4. AC punjači

AC punjači imaju ulogu dopunjavanju vozila dok smo primjerice u kupovini. Podržavaju punjenje do 22 kW. Punjenje na ovoj vrsti električne punionice pokreće se putem aplikacije, a plaćanje se vrši kreditnom ili debitnom karticom. Cijene se kreću u rasponu od 0,24 eura do 0,5 eura po kWh. Za punjenje na je potrebno imati vlastiti kabel u automobilu. [16]

3.1.5. DC punjači

DC punjači poznati su i kao brzi punjači a namijenjeni su duljim putovanjima i često se nalaze na autocestama. Snage su uglavnom 50 kW i njih ima najviše no postoje i „ultra brzi“ s još većom snagom čak od 350 kW. Pošto sva vozila ne mogu iskoristiti tako veliku snagu, velik dio njih će puniti brzinom od 80 do 150 kW s čime se može prevaliti udaljenost od 250-500 km autoputa u 30 – 45 minuta punjenja. Budući da DC punionice isporučuju najveću snagu i omogućuju najbrže punjenje, i to uglavnom za 30-45 minuta 10-80%, one su najčešće i najskuplje. Tako se cijena punjenja na DC punionicama kreće između 0,34 EUR/kWh pa sve do 0,75 EUR/kWh na ultra-brzim punionicama. [16]

3.1.6. Tesla punjači

Automobili Tesla, osim što mogu koristiti sve druge punjače, mogu koristiti i svoju mrežu super punjača. Primjerice na području Hrvatske, super punjači postavljeni su strateški da pokrivaju rutu od Zagreba prema Dubrovniku te od Italije prema Dubrovniku. Teslini punjači snage su 120 kW pa do 150 kW, a u svijetu ide nadogradnja na čak 250 kW što znači da se automobil može nadopuniti od 20-60 minuta ovisno o kapacitetu baterije. [14]



Slika 3.5. Tesla punjači

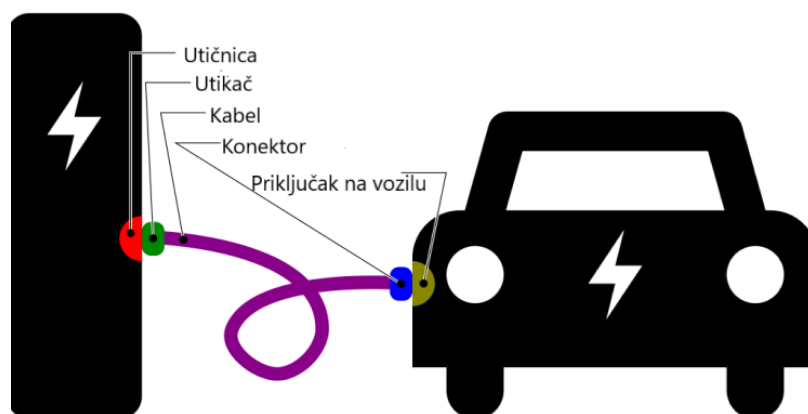
3.2. Standardi za punjenje električnih automobila

Postoji više standarda za punjenje električnih automobila kako bi se omogućila interoperabilnost odnosno međusobno dopunjavanje među dobavljačima. Prema tome postoje standardi za nomenklaturu, snagu i konektore. Tesla je međutim izgradio vlastitu tehnologiju u tom području i mrežu za punjenje.

3.2.1. Nomenklatura

2011. godine, Europska udruga proizvođača automobila (ACEA) definirala je različite pojmove. [17] Terminologija stanica za punjenje električnih vozila je sljedeća:

- Utičnica – služi kao priključak za napajanje električnih vozila
- Utikač – nalazi se na kraju savitljivog kabela, a povezuje se sa utičnicom
- Kabel – savitljivi snop vodiča koji povezuje utičnicu sa električnim vozilom
- Konektor – nalazi se na kraju savitljivog kabela, a povezan je sa ulazom u vozilo
- Priključak na vozilu –služi za primanje snage za punjenje



Slika 3.6. Terminologija stanice za punjenje električni vozila [17]

3.2.2. Konektori

Obično konektori uključuju nekoliko tipova kao što su: tip 1 (Yazaki), tip 2 (Mennekes), tip 3 (Scame), CCS Combo 1 i 2, CHAdeMO i Tesla. Mnoge standardne vrste definirane su IEC-u odnosno informacijskom sustavu energetske certifikata za Europu pod šiframa 62196-2 (za napajanje izmjeničnom strujom) i 62196-3 (za napajanje istosmjernom strujom). Također uz Europski standard za punjenje električnih automobila imamo i američki, SAE (Society of Automotive Engineers) J1772. [18]

3.2.2.1. SAE J1772 Standard

Ovaj konektor poznat je još i kao J utikač ili konektor tipa 1, sjevernoamerički je standard za električne konektore za električna vozila.

Dostupne su dvije vrste punjača: punjači razine 1 i punjači razine 2.

Punjači razine 1 mogu se uključiti u standardnu zidnu utičnicu i dolaze sa SAE J1772 utikačem na jednom kraju i uzemljenim utikačem na drugom kraju. Za 20 sati punjenja ovakav punjač može proizvesti električne energije za 380 km. Ovo je najsporija varijanta punjenja. [18]

Punjači razine 2 prodaju se odvojeno od električnog vozila no dobra su investicija jer imaju mogućnost punjenja 3 do 7 puta bržu od punjača razine 1. [18]

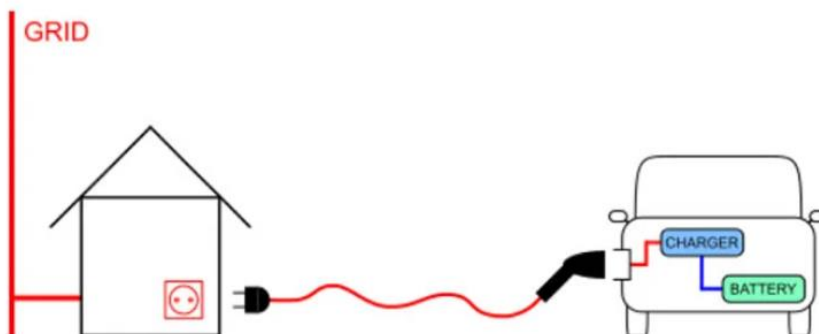
Konektor J1772 može izdržati i do 10 000 ciklusa spajanja što bi značilo ako ga punimo jednom dnevno mogli bismo procijeniti njegov životni vijek na 27 godina. Punjači razine 2 nalaze se uglavnom na stanicama za punjenje, parkiralištima i sličnim mjestima.

3.2.2.2. IEC 61851

IEC 61851 međunarodna je norma za vodljive sustave punjenja električnih automobila čiji su dijelovi još u razvoju. Međunarodni standardi se razvijaju kako bi odgovorili na potrebe tržišta električnih vozila. Razlikujemo 4 različita načina punjenja.

MOD 1

U ovom načinu rada , električno vozilo spojeno je direktno na kućnu utičnicu. Maksimalna struja ovog načina rada je 16 A, a njen napon ne smije prelaziti 250 V. Ovo je najjednostavniji način punjenja no u nekim zemljama je strogo zabranjen ili ograničen. (Slika 3.7.)



Slika 3.7. Mod punjenja 1

MOD 2

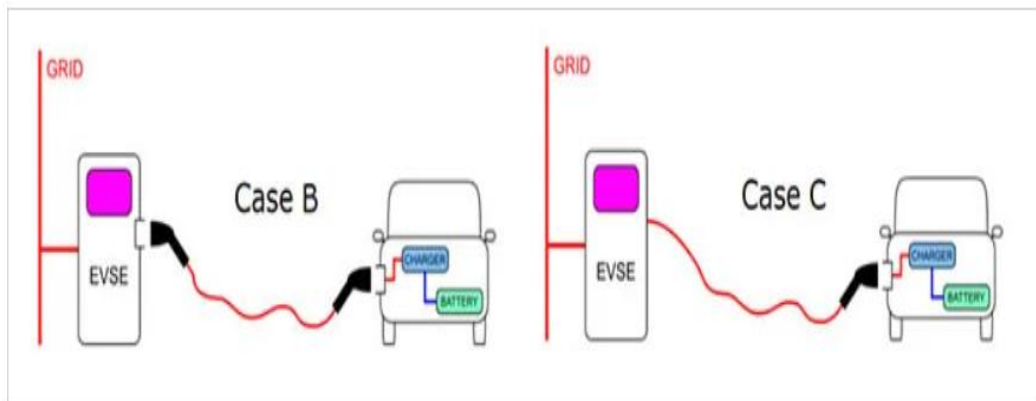
Utičnice u kućanstvu ne daju uvijek električnu energiju prema stvarnim standardima. Zbog toga spajanje električnih vozila na utičnicu može povećati rizik od strujnog udara. Kako bi se riješio ovaj problem, stručnjaci su dizajnirali drugi mod punjenja koji koristi posebnu vrstu kabla. Maksimalna struja kod ovakvog načina je 32 A, napon ne smije prelaziti 250 V. (Slika 3.8.)



Slika 3.8. Mod punjenja 2

MOD 3

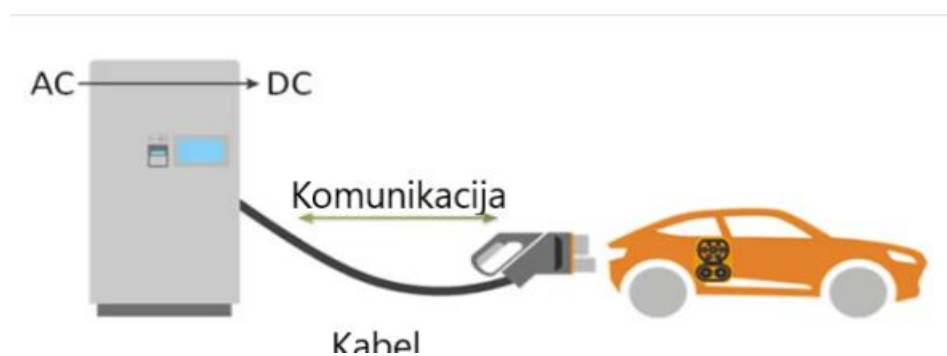
Ovaj način rada bazira se na principu da se AC struja iz stanice za punjenje primjenjuje na ugrađeni strujni krug. Ovdje se vozilo ne spaja direktno na mrežu već se spaja na stanicu za punjenje. Kako bi sigurnost bila zajamčena koristi se nekoliko kontrolnih i zaštitnih funkcija. Maksimalna struja ovog načina punjenja je 250 A s 250 V. (Slika 3.9.)



Slika 3.9. Mod punjenja 3

MOD 4

Ovo je jedini način punjenja koji uključuje vanjski punjač s istosmjernim izlazom. Istosmjerna struja dovodi se direktno u bateriju. Ovaj način rada osigurava 600 V DC s maksimalnom strujom od 400 A. Visoka razina snage uključena u ovaj način rada zahtjeva višu razinu komunikacije i strože sigurnosne značajke. (Slika 3.10.)



Slika 3.10. Mod punjenja 4

4. SOLARNE PUNIONICE ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA

Punionice električnih automobila u kombinaciji sa solarnim panelima ključno su sredstvo za smanjenje naše ovisnosti o fosilnim gorivima. Električna energija dolazi iz različitih izvora, a najpoželjnije rješenje za pokretanje električnih vozila je pomoću obnovljivih izvora energije. Najbolji način za to je izgradnja izvanmrežnih punionica električnih automobila. Ovakav tip punionice nazivamo još i autonomna punionica što bi značilo da upravlja sama sa sobom odnosno sama proizvodi energiju potrebnu za punjenje električnih automobila. Solarne punionice poznatije su još i pod nazivom „Car ports“, a osmišljene su kako bi korisnicima električnih vozila omogućile jeftino i brzo punjenje čistom energijom. Jedna takva nalazi se na slici 4.1.

Solarne punionice električnih automobila funkcioniraju tako da iskorištavaju energiju Sunca i pri tom ju pretvaraju u energiju potrebnu za punjenje električnih automobila. Krov nadstrešnica solarne punionice napravljen je od solarnih panela pomoću kojih se proizvodi energija. Solarni paneli predstavljaju integrirani skup fotonaponskih modula projektiranih na način da primaju Sunčevu energiju pretvarajući ju u električnu.



Slika 4.1. Solarna punionica automobila

4.1. Autonomna punionica „Sunčica“

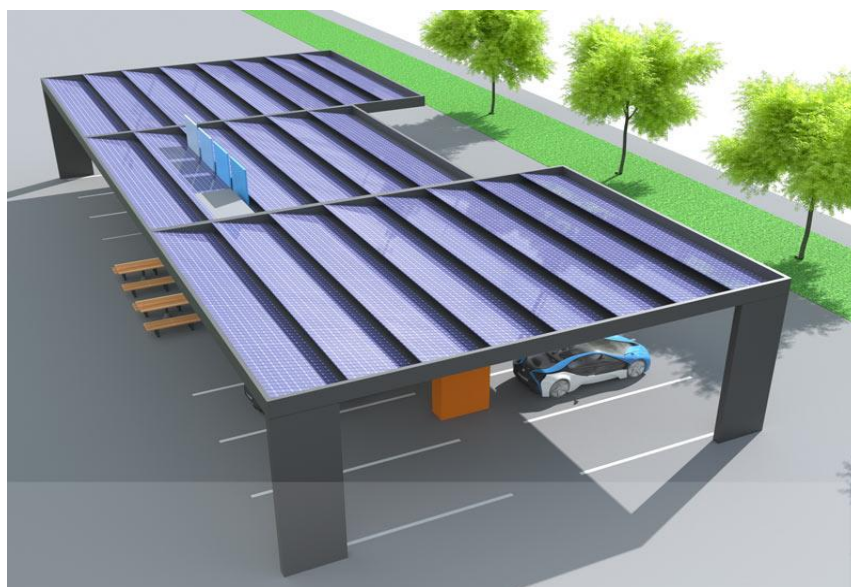
Jedan od ljepših primjera autonomne punionice koji možemo uzeti za primjer je solarna punionica „Sunčica“. „Sunčica“ je Solarna autonomna punionica električnih automobila sa baterijskim skladištem, napaja se Sunčevom energijom, a svojim korisnicima omogućuje jednostavno punjenje vozila. (Slika 25.)

Ova punionica sastoji se od solarnih panela snage 50 kW, koji dobivenu energiju pohranjuju u baterijsko skladište snage 500 kW. To je otprilike dovoljno za punjenje 10 automobila istovremeno, a u Hrvatskoj trenutno za to nema potrebe. „Sunčica“ je dobro konfigurirana te se u bilo kojem trenutku u nju može dodati još baterija u skladište, a također i solarnih panela kao i punjača za vozila.

Trenutni standard za brzo punjenje je 50 kW ali u skorijoj budućnosti ta brojka će se udvostručiti.

Investicija za ovakav tip stanice iznosi približno 300 000 EUR sa svim troškovima izgradnje i papirologijom.

Za 20 stanica kojima bi se pokrile ključne točke na području Republike Hrvatske, potrebno je oko 7 milijuna eura. [19]



Slika 4.2. Autonomna punionica „Sunčica“ [19]

5. Proračun i određivanje lokacije postavljanja solarne punionice

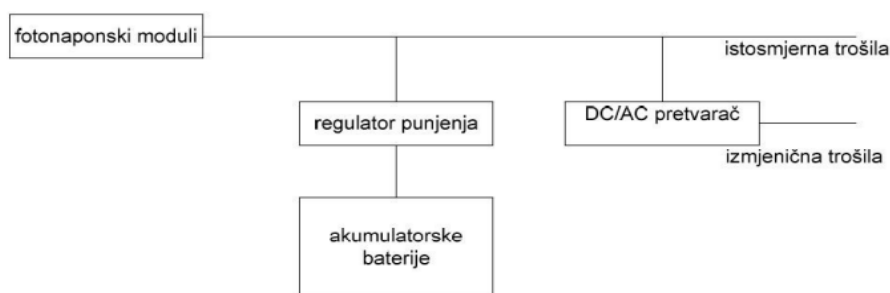
U ovom poglavlju obrađena je potencijalna lokacija na kojoj bi se mogla instalirati autonomna punionica električnih automobila kao i izračun troškova potrebnih za izradu iste. U nastavku će biti izveden proračun punionice sa četiri mjesta za punjenje, pošto je odabrana lokacija na kojoj se procjenjuje slabije prometovanje električnih automobila.

S obzirom na način rada razlikujemo sljedeće fotonaponske sustave:

- Samostalni
- Mrežni, spojen na električnu mrežu
- Hibridni

Ovdje se koristi proračun za samostalni odnosno autonomni način rada solarnog sustava. Kao što je ranije spomenuto, za ovaj sustav nema potrebe spajanja na javnu električnu mrežu. Kako kod ovakvog sustava nemamo osiguranu kontinuiranu dopremu električne energije, pogotovo noću i onih dana kada manjka Sunčeve svjetlosti, potrebno je pronaći alternativu

U tu svrhu koriste se baterije koje skladište električnu energiju. Pošto koristimo baterije potrebno je u sustav ugraditi i regulator punjenja akumulatora koji je ključni uređaj solarnog sustava, a brine se o stanju baterije kako ne bi došlo do njezina prepunjavanja kao i dubokog pražnjenja. Regulator punjenja također služi i kao zaštita od kratkog spoja. Na sljedećoj slici prikazana je jednostavna shema samostalnog sustava.



Slika 5.1. Shematski prikaz solarnog sustava

5.1. Odabir električnog automobila

Izračun za punjenje četiri električna vozila napravljen je za automobile marke Nissan. Nissan Leaf vrlo je popularan automobil u Hrvatskoj te je također jedan od najprodavanijih po podacima iz 2021. godine. Krasi ga jednostavnost izvedbe, visoka učinkovitost, praktičnost i pouzdanost, a uz to je i solidnog dometa. Kako odabrana lokacija nije urbana sredina već predio Republike Hrvatske gdje je vjerojatno teže doći do punjača, odabran je automobil koji može poslužiti za obje varijante vožnje.[20]



Slika 5.2. Nissan Leaf

Neke od tehničkih karakteristika ovoga modela prikazane su u sljedećoj tablici.

Tablica 5.1. Tehničke karakteristike električnog automobila Nissan Leaf

Tehničke specifikacije Nissan Leaf	
Snaga elektromotora	110 kW
Akceleracija (0-100 km/h)	8,5 sekundi
Kapacitet baterije	40 kWh
Domet	241 km
DC brzo punjenje	50 kWh
Cijena	30 000 EUR

Iz tablice se može iščitati da je kapacitet baterije Nissan Leaf-a 40 kWh. Pošto ćemo za ovaj proračun koristiti solarnu punionicu sa četiri moguća mjesta punjenja, ukupni kapacitet iznositi će četiri puta više. (Tablica 4.2.)

Kapacitet baterije automobila x 4 komada = Ukupni kapacitet

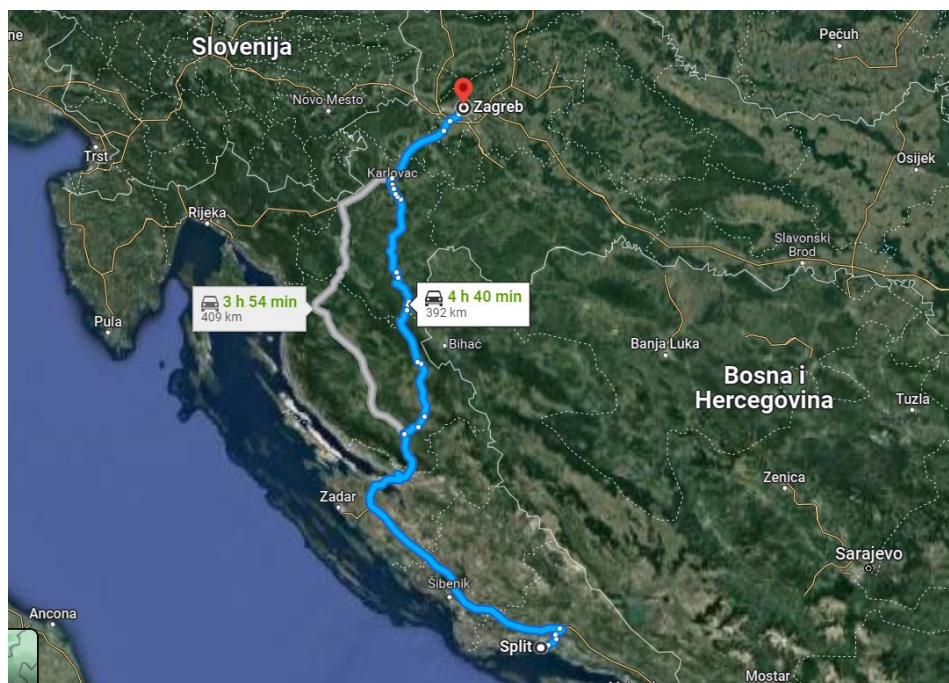
$$40 \text{ kWh} \times 4 = 160 \text{ kWh}$$

Tablica 5.2. Vrijeme punjenja pojedinog automobila ovisno o punjaču

Struja	Jedna faza	Jedna faza	Jedna faza	Tri faze	Tri faze	DC	DC	DC
Tip mreže	2,4 kw	3,7 kw	7,7 kw	11 kw	22 kw	50 kw	100 kw	120 kw
Nivo kapaciteta	0-100 %	0-100 %	0-100 %	0-100 %	0-100 %	10-80 %	10-80 %	10-80 %
BMW i3, 42,2 kWh	19 h 30 min	12 h 15 min	6 h 15 min	4 h 15 min		40 min		
Hyundai Ioniq EV, 28 kWh	14 h 30 min	9 h 0 min	5 h 0 min			30 min	20 min	
Hyundai Kona EV, 64 kWh	32 h 45 min	20 h 30 min	10 h 30 min			60 min	45 min	
Jaguar I-Pace, 90 kWh	43 h 30 min	27 h 0 min	13 h 30 min			1 h 30 min	45 min	
Nissan Leaf, 40 kWh	19 h 30 min	12 h 15 min	7 h 0 min			40 min		
Renault Zoe, 41 kWh	21 h 0 min	13 h 15 min	6 h 45 min	4 h 30 min	2 h 15 min			
Renault Kangoo, 33 kWh	16 h 0 min	10 h 0 min	5 h 0 min					
Tesla Model S, 100 kWh	48 h 45 min	30 h 15 min	15 h 15 min	10 h 15 min	7 h 0 min			40 min
Tesla Model X, 100 kWh	48 h 45 min	30 h 15 min	15 h 15 min	10 h 15 min	7 h 0 min			40 min

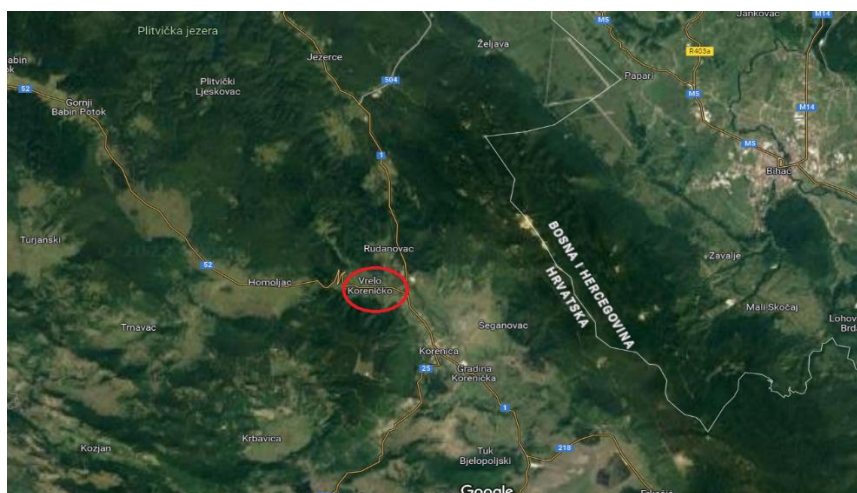
5.2. Odabir lokacije

Kao potencijalnu lokaciju za autonomnu punionicu električnih automobila sam odabrao okolicu naselja Korenice. Korenica se nalazi otprilike nešto iznad srednje udaljenosti na relaciji Split – Zagreb. Slika 5.1. prikazuje spomenutu relaciju.

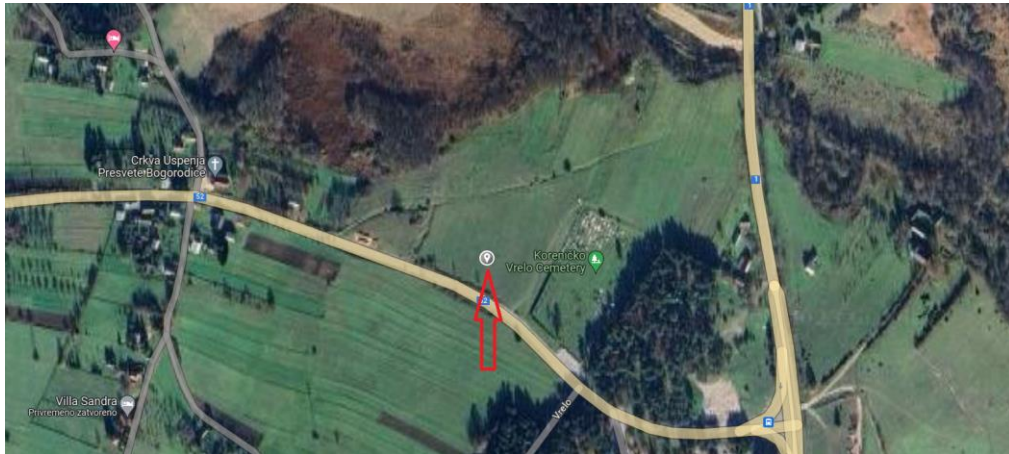


Slika 5.3. Relacija Split - Zagreb

Lokacija je odabrana iz razloga što, ako se električnim automobilom zaputimo starom cestom, postoji mogućnost da ćemo ostati bez struje. Punionica je označena crvenom kružnicom. (Slika 5.2.)

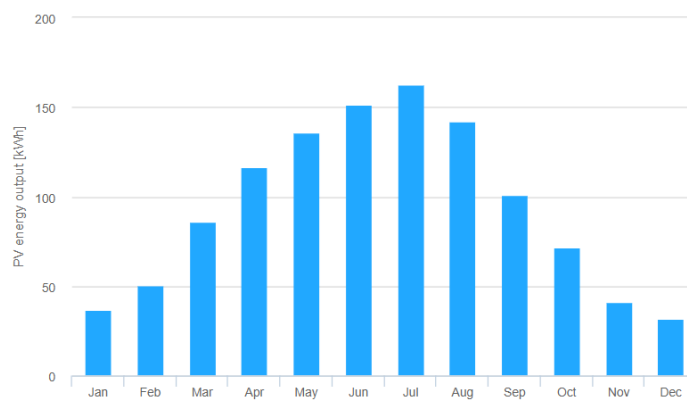


Slika 5.4. Lokacija Korenice



Slika 5.5. Točna lokacija autonomne punionice

Korenica je naselje u Republici Hrvatskoj koje se nalazi u Ličko – Senjskoj županiji. Ovo područje Hrvatske ima slabu insolaciju i iz tog razloga je i odabrano. Na slici 5.3. crvenom strelicom označena je točna lokacija solarne punionice. Korenicu možemo pozicionirati u nešto zabačeniji predio države gdje također imamo slabiju i nedostupniju povezanost na mrežu. Dozračena Sunčeva energija ovisi o nekoliko faktora kao što su lokacija, doba godine, orijentacija, vrijeme zračenja te veličina površine koja prima Sunčevu energiju. Pošto nemaju sva područja na Zemlji isto ozračenje, potrebno ga je odrediti. Podatke o solarnom zračenju dobio sam preko online alata PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), aplikacije financirane od strane Europske unije. Donji dijagram prikazuje mjesečnu izlaznu energiju iz fotonaponskog sustava s fiksnim kutom od 35 stupnjeva. [21]



Slika 5.6. Stupčasti dijagram dozračene energije u kWh

Izvor: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

5.3. Odabir fotonaponskih panela

Iz prethodnog grafa zaključujemo da je godišnja proizvodnja fotonaponskog sustava u mjestu Korenica iznosi oko 1200 kWh, što u prosjeku za pojedini mjesec iznosi 100 kWh, odnosno 3,3 kWh na dnevnoj bazi. (Graf 5.1.)

Insolacija za Korenicu iznosi oko 4,5 sati dnevno u prosjeku.

Proizvođač solarnih ploča koje bi se koristile je BlueSun, a njihova snaga iznosi 550 W. (Slika 31.)



Slika 5.7. Solarni panel BlueSun

Tablica 5. 3 Tehničke karakteristike solarnog panela BlueSun

Tablica tehničkih karakteristika	
Maksimalna snaga	550 W
Napon pri maksimalnoj snazi	31,5 V
Struja pri maksimalnoj snazi	17,46 A
Napon otvorenog kruga	37,9 V
Struja kratkog spoja	18,49 A
Učinkovitost ploče	21,48 %
Tolerancija snage	1%

Izvor: <https://solarno.hr/katalog/proizvod/SUNERGY550/sunergy-550w-half-cell-bifacial-mono>

Uz podatak za snagu solarne ploče i insolaciju možemo izračunati snagu koju proizvodi ploča po kvadratnom metru površine u jednom danu. [22]

Snaga fotonaponske ploče (kW) x dnevna svjetlost (h) = električna energija po ploči

$$0,550 \text{ kW} \times 4,5 \text{ h} = 2,5 \text{ kWh}$$

Kroz izračun sam dobio da fotonaponska ploča BlueSun u jednom danu proizvede 2,5 kWh električne energije. Vidljivo iz tablice ... da ovakva ploča zauzima površinu od 2,5 m².

Ako podijelimo dobivenu električnu energiju po ploči sa njezinom površinom dobit ćemo podatak o dobivenoj električnoj energiji po kvadratnom metru.

Električna energija po ploči / površina ploče = Električna energija po m²

$$2,5 \text{ kWh} / 2,5 \text{ m}^2 = 1 \text{ kWh}$$

Podatak iz prethodne formule govori nam da fotonaponska ploča u danu po jednom kvadratnom metru proizvede energiju od 1 kWh.

Ova autonomna punionica zamišljena je da puni u prosjeku 5 automobila dnevno te da ima mogućnost punjenja 3 automobila istovremeno. Također treba uzeti u obzir da energiju solarne punionice treba i skladištiti kako bi se omogućilo punjenje vozila noću te danima kada imamo manjak sunčeve svjetlosti.

Iz ranijeg poglavlja vidljivo je da smo odabrali Nissan Leaf kao prosječni automobil koji će posjetiti punionicu. Njegov kapacitet baterije je 40 kWh, a podržava brzo punjenje DC punjačem od 50 kW.

Za brzo punjenje takvom automobilu je potrebno oko sat vremena da bi se napunio od 10 – 80% što je dovoljno za nastaviti svoj put. Ovaj podatak govori da na za 3 automobila koja bi se punila istovremeno brzim punjačem u periodu od sat vremena treba energija od 96 kWh.

Broj automobila x postotak baterije (80%) x snaga baterije x vrijeme = ukupna energija

$$3 \text{ automobila} \times 0,8 \times 40 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 96 \text{ kWh}$$

Iz rezultata dobivenih prethodnim izračunom mogu definirati koliko je potrebno solarnih panela da bi se to i ostvarilo. Paneli koje koristim u prijedlogu u periodu od jednog sata daju izlaznu snagu od 550 W na 2.5 m², pomoću čega se može izračunati koliko daju po 1 m².

$$550 \text{ W} / 1000 = 0,55 \text{ kW}$$

$$\text{Snaga ploče (kW)} / \text{površina ploče (m}^2\text{)} = \text{snaga ploče po 1 m}^2$$

$$0,55 \text{ W} / 2,5 \text{ m}^2 = 0,22 \text{ kW}$$

Sada kada raspolazem i ovom brojkom mogu odrediti koliko solarnih panela treba, a to se može izračunati na sljedeći način:

$$\text{Ukupna snaga za 4 automobila} / \text{Snagom ploče po 1 m}^2$$

$$96 \text{ W} / 0,22 = 436 \text{ m}^2$$

$$436 \text{ m}^2 / 2,5 \text{ m}^2 = 175 \text{ ploča}$$

Za 436 m² potrebne su nam 175 fotonaponskih panela.

Mi ćemo u našoj solarnoj punionici koristiti 180 fotonaponskih ploča što će nam dnevno uprihoditi 450 kWh dnevno.

Uz ova tri automobila namjera je bila da se mogu napuniti u prosjeku još dva automobila od 40 kW dnevno što nam ostavlja prostor od 274 kW za skladištenje energije.

5.4. Proračun kapaciteta baterije za skladištenje energije

Kao što sam ranije spomenuo cilj ove punionice, osim proizvodnje električne energije, je mogućnost pohrane energije kada neće biti prisustva sunčeve svjetlosti, prvenstveno zbog njene lokacije ali i mogućnost punjenja automobila noću.

Za potrebe ove punionice odabrao sam bateriju naziva „Siga Phateon AMG 260 Ah“. (Slika 5.5.)



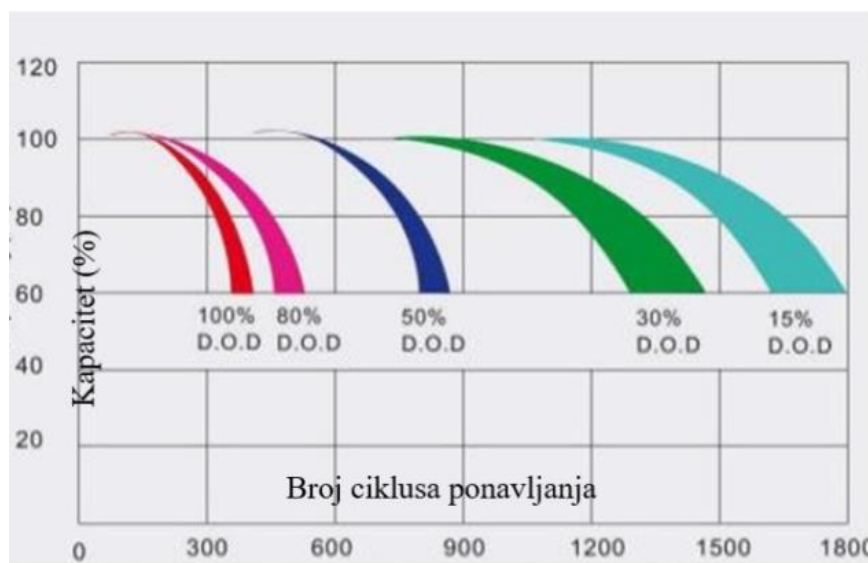
Slika 5.8. Baterija „Siga Phateon AMG 260Ah“

Tablica 5.4. Tehničke karakteristike solarnog panela BlueSun

Tablica tehničkih karakteristika	
Kapacitet	260 Ah
Napon	12 V
Težina	74 kg
Prag samopražnjenja	2%
Broj ciklusa	1300
Životni vijek	10 godina
Faktor pražnjenja	20%
Korisnost baterije	95%

Ovu bateriju karakteriziraju vrlo dubok ciklus i trajnost za fotonaponske i pogonske sustave. Dizajnirane su za vrlo teške i cikličke sustave. Na njemačkom tržištu smatra se baterijom najviše ocjene, a krasi ju visoka kvaliteta i dugi vijek trajanja. Korištenjem visoke čistoće materijala postiže se da GEL i AGM baterije imaju izrazito nizak prag samopražnjenja, tek oko 2% mjesečno. [23]

Siga Phateon ima do 1300 ciklusa sa 20% pražnjenja što znači da životni vijek akumulatora iznosi oko 10 godina. (Graf 5.2.)



Slika 5.9. Broj ciklusa baterije „Siga Phateon“

Odabrana baterija ima kapacitet od 260Ah, te napon od 12 Volti. Svako parkirno mjesto u punionici kojih ima 3 trebalo bi imati svoju tzv. banku baterija. Banka baterija predstavlja sustav od 2 ili više baterija spojenih u jednu kako bi se povećao kapacitet, napon i struja.

Napon svake banke baterija zamišljen je da iznosi 48V. Iz tehničkih informacija o bateriji doznajemo da svaka baterija ima određeni postotak pražnjenja. Kod baterije Siga Phateon taj faktor pražnjenja iznosi 0,2 odnosno 20%. Ovaj podatak nam govori da se baterija ne smije isprazniti ispod 20% što će rezultirati duljim vijekom trajanja. Uz ovaj podatak vrlo bitna stavka je i efikasnost baterije. Konkretno za ovu on iznosi 95%, u proračunu ćemo koristiti 0,95.

Kapacitet baterije automobila / Korisnost baterije = Potrebna električna energija

$$40 \text{ kWh} / 0,95 = 42 \text{ kWh}$$

$$42 \text{ kWh} \times 1000 = 42\,000 \text{ kWh}$$

Nakon što je izračunata potrebna električnu energija, moramo pretvoriti kilovat sate u amper sate. To ćemo učiniti na sljedeći način

$$42\,000 \text{ kWh} / 48 \text{ V} = 875 \text{ Ah}$$

Kao što je ranije napomenuto, postotak pražnjenja baterije iznosi 20% što znači da je dobivene amper sate potrebno uvećati za 20 %.

$$875 \text{ Ah} + 20 \% = 1050 \text{ Ah}$$

Kapacitet naše banke akumulatora mora iznositi 1050 Ah, kako bi mogao napuniti bateriju automobila od 40 kW, noću odnosno u danima kada nedostaje sunčeve svjetlosti.

Ako ovu brojku podijelimo s kapacitetom pojedine baterije dobijemo 4, što nam predstavlja broj baterija koje moramo spojiti kako bismo dobili željeni kapacitet.

Pošto moramo povećati i kapacitet i napon baterija moramo ih spojiti serijski i paralelno. Najprije spajamo 4 baterije u seriju kako bismo im povećali napon 4 puta i dobili 48V. Nakon toga 4 baterije spajamo u paralelu da bismo dobili kapacitet od 1050 Ah. Za ovakvu banku baterija potrebno je 8 baterija.

$$3 \text{ banka baterija} \times 8 \text{ baterija} = \text{ukupan broj baterija}$$

$$3 \times 8 = 24 \text{ baterije}$$

Pošto bismo u prosjeku željeli puniti 5 automobila dnevno, ali i stvoriti što veći kapacitet banke baterija, u svaku banku spojiti ćemo još dodatnih 8 baterija paralelno. Svaka puna banka baterija sada je dostatna za punjenje dodatna 2 automobila.

$$3 \text{ banki baterija} \times 16 \text{ kom} = 48 \text{ baterija}$$

Svaka od banki baterija ima kapacitet 2100 Ah.

Kako smo proračunom dobili ukupni broj solarnih panela kao i ukupni broj baterija potrebnih za skladištenje, možemo skicirati shemu spajanja elemenata koji tvore fotonaponski sustav.

Shema prikazuje 3 mjesta za punjenje električnog automobila. Spajanjem fotonaponskih modula dobivamo takozvani "string.

Pošto bismo željeli odabrati odgovarajući mrežni inverter, potrebno je izračunati maksimalnu struju i maksimalan napon.

Napon praznog hoda možemo iščitati iz tablice o tehničkim podacima za odabrani solarni panel, a on iznosi 37,9 .

$$\text{Napon praznog hoda } \times \text{ broj FN modula} = \text{Ukupni napon stringa}$$

$$37,9 \text{ V} \times 20 \text{ kom} = 758 \text{ V}$$

Sada kada imamo napon jednog stringa solarnog polja potrebno je izračunati i struju solarnog polja. Struja jednog stringa također se nalazi u tablici sa tehničkim podacima solarnog panela. Ukupnu struju ćemo dobiti pomoću sljedeće formule:

$$\text{Struja pojedinačnog stringa } \times \text{ ukupan broj stringova} = \text{Ukupna struja}$$

$$18,28 \text{ A} \times 3 = 54,84 \text{ A.}$$

5.5. Odabir izmjenjivača

Nakon što smo izračunali potreban broj fotonaponskih ploča i baterija potrebno je odabrati i koji izmjenjivač ćemo koristiti.

Kako bismo odabrali odgovarajući izmjenjivač potrebno je najprije odrediti ukupnu snagu solarnog polja. Snagu solarnog polja dobijemo na sljedeći način.

$$\text{Snaga FN modula } x \text{ komada} = \text{Ukupna snaga solarnog polja}$$

$$550 \text{ Wp} \times 60 = 32\,450 \text{ W}$$

Sada kada je poznata snaga izmjenjivača potrebno ga je i odabrati, a za odabir je najbolje uzeti neki približne snage. Uzmemo li puno veći izmjenjivač, postoji mogućnost gubitka na korisnosti fotonaponskog sustava.

Iz razloga što je ukupna snaga solarnog polja dosta velika u paralelu ćemo spojiti 2 izmjenjivača nazivne snage 17 500 W. Pošto smo ih povezali u paralelu, udvostručen im je kapacitet i sada dobivena vrijednost odgovara izmjenjivaču snage 35 000W.

Za mrežni inverter odabran je “Fronius Symo 17.5 kW“. [23]



Slika 5.10. Mrežni inverter „Fronius Symo“

Sljedeća tablica prikazuje njegove tehničke karakteristike.

Tablica 5.5. *Tehničke karakteristike mrežnog invertera „Fronius Symo“*

Tehničke karakteristike	
Neto duljina	725,00 mm
Neto širina	510,00 mm
Neto visina	225,00 mm
Neto masa	43,40 kg
Nazivna snaga	17500 W
Područje napona	370-800 V
Maks. ulazni napon	1000 V
Maks. ulazna struja	33 A
DC prekidač	Integriran
MPP-tracker	2
Korisnost	98 %
Izvedba izmjenjivača	Bez transformatora
IP stupanj zaštite	IP66

5.6. Regulator punjenja baterije (Bidirekcijski pretvarač)

Bidirekcijski pretvarač poznatiji kao „DC to DC converter“, elektronički je sklop koji pretvara izvor istosmjerne struje iz jedne razine napona u drugu. Možemo ga opisati i kao vrstu pretvarača električne energije. DC-to-DC pretvarači služe za maksimizaciju energije fotonaponskog sustava, također imaju ulogu u prevenciji baterija od pregrijavanja, prevelikog punjenja te dubokog pražnjenja. [24]

Bitno je napomenuti kako ovakva vrsta pretvarača mora propustiti cjelokupnu snagu fotonaponskog polja u periodima kada se automobil ne puni.

Kako bismo najlakše zadovoljili potreban kapacitet, kao najoptimalnija opcija nudi se DC-to-DC konverter „Fuji Hybrid 48 V“. Ovaj pretvarač ima 22 kVA a dozvoljava 50 kW. (Slika 5.7.)



Slika 5.11. Bidirekcijski izmjenjivač

Tablica 5.6. Tehničke karakteristike regulatora punjenja baterije

Tehničke karakteristike Bidirekcijskog pretvarača Quattro 8kVA	
Režim rada INVERTER	
Ulazni napon	19-33 VDC
Izlazni napon	230 VAC
Kontinuirana izlazna snaga(25 °C)	8000 kVA
Kontinuirana izlazna snaga(40 °C)	6300 W
Efikasnost	94 - 96 %
Maksimalna snaga	16 000 W
Režim rada PUNJAČ	
Napon punjenja	28.8 V
Struja punjenja	110 - 200 A
Senzor temperature baterije	Da
Dimenzije i težina	
Dimenzije	470 x 350 x 280 mm
Težina	45 kg

Kada na bateriju priključimo prejak bidirekcijski pretvarač on će kao što je ranije spomenuto ubrzano trošiti bateriju, ali ako spojimo i preslabi pretvarač nastat će problem prilikom punjenja automobila u željenom vremenu. Preslabi pretvarač stvara probleme kada nedostaje sunčeve svjetlosti odnosno kada se električna energija ne proizvodi u solarnom polju.

Sa sljedećim proračunom može se provjeriti hoće li bidirekcijski pretvarač ubrzano trošiti bateriju ili slabo puniti. Shodno rezultatu biti će potrebno regulirati izmjenjivač. Iz tablice 6. vidljivo je da kontinuirana izlazna snaga iznosi 22 000 KV.

Insolacija x Kontinuirana izlazna snaga / Napon baterije = Ukupna struja

$$2100 \text{ Ah} > 4,5 \text{ h} \times 22\,000 \text{ VA} / 48 \text{ V} = 2060 \text{ Ah}$$

$$2100 \text{ Ah} > 2060 \text{ Ah}$$

Uvjet je zadovoljen!

Odabrani bidirekcijski izmjenjivač odgovara proračunu, stoga mu nije potrebno ograničavati snagu.

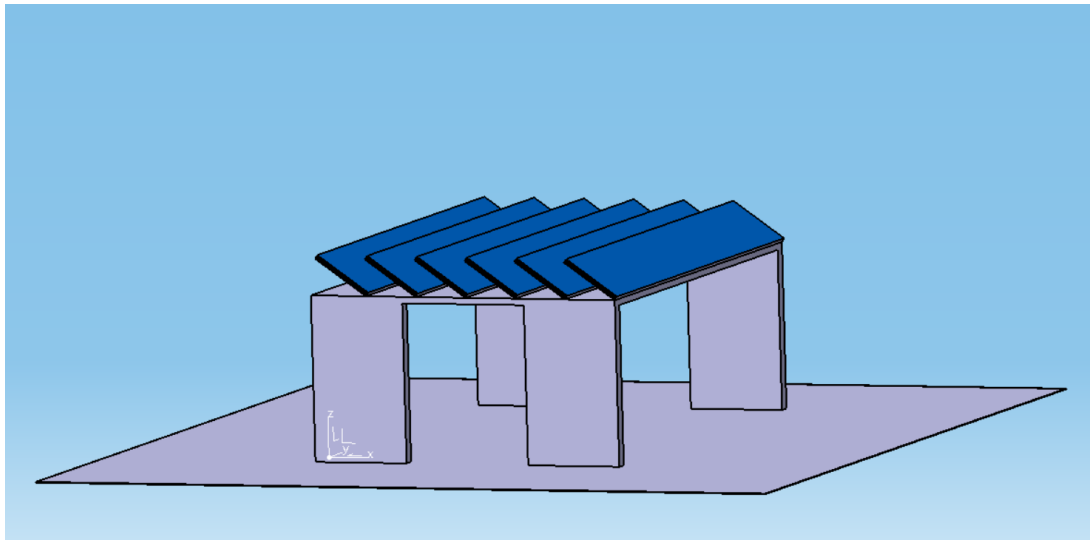
5.7. Troškovi projekta i skica

Glavni elementi autonomne solarne punionice su: solarni paneli, baterijski sustav, izmjenjivač (mrežni inverter), bidirekcijski pretvarač i montažna konstrukcija. Komponente koje su korištene u prethodnim poglavljima preuzete su sa web trgovina „SolarShop“ i „SolarProjekt“. Krenimo od solarnog panela BlueSun kojemu je trenutna cijena u „SolarShop-u“ uz popust 180 EUR/kom dok cijena baterije u istoimenom dućanu košta 460 EUR/kom. Cijena mrežnog invertera u trgovini „SolarProjekt“ iznosi 1100 EUR/kom. Bidirekcijski pretvarač „Fuji Hybrid 48 V“ također je dostupan u trgovini „SolarShop“ po cijeni od 5500 EUR/kom. Pri izradi ovakve solarne punionice korištena bi aluminijska konstrukcija čija cijena iznosi 37 EUR/kom. Izvor: https://www.emajstor.hr/cijene/celicne_konstrukcije

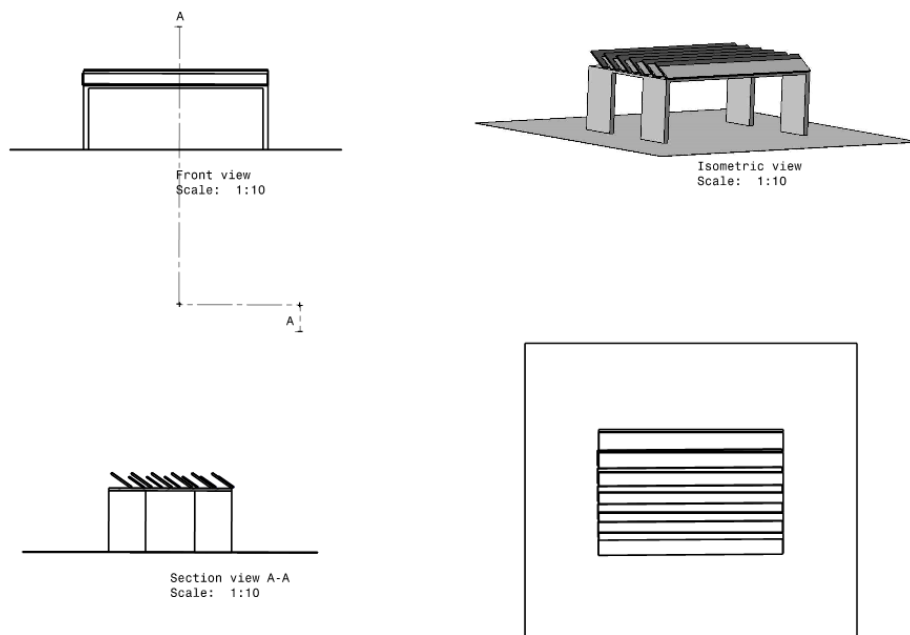
Na sljedećoj tablici prikazana je ukupna cijena troška.

Tablica 5.7. Cjenik ukupnih troškova

Rb.	Naziv	Količina	Cijena (EUR)
1.	BlueSun Solarni panel	180	32 000
2.	Siga Phaeton AMG 260 Ah	48	21 600
3.	Fronius Symo, inverter	6	6 600
4.	Fuji Hybrid 48 V	3	33 000
5.	Montažna konstrukcija	1	17 000
Ukupno			100 000



Slika 5.12. 3D model solarne punionice



Slika 5.13. Nacrt, tlocrt bokocrt

6. Zaključak

Svakim danom u svijetu raste broj vozila pogonjenih električnom energijom. Električni automobili predstavljaju budućnost transporta zbog svojih mnogobrojnih prednosti na čelu kojih stoji očuvanje okoliša smanjenjem ispušnih plinova. Nažalost industrija električnih automobila kao i načini punjenja još uvijek u potpunosti nisu „zeleni“, no prednost je što postoji velika mogućnost napretka. Punionice električnih vozila trenutno su u velikom postotku ovisne o konvencionalnim vrstama energije. Pošto sunce pripada u obnovljive izvore energije šteta je ne iskoristiti ga na ispravan način. Kao optimalno rješenje nude se autonomne solarne punionice električnih automobila. Ovakve vrste punionica upotrebljavaju energiju iz obnovljivih izvora, što korisnike sustava svrstava među „čišće“. U vremenu kada solarna punionica prikupi više energije od potrebnoga, postoji mogućnost skladištenja i samim time omogućava punjenje vozila noći ili danima kada se susrećemo s manjkom sunčeve svjetlosti. Također ove vrste punionica dovoljno su se razvile da bi omogućile korisnicima mogućnost brzog punjenja, a posebno na lokacijama gdje primjerice nema mogućnosti povezivanja na mrežu. Upravo na ovakvim mjestima solarne punionice su dobro došle. Nedostatak je taj što su ovakve investicije poprilično skupe pošto tehnologije solarnih panela a pogotovo baterija nisu dovedene na razinu kako bi projekt učinili jeftinijim. Drugi nedostatak je da zauzimaju velike površine što rezultira uništavanjem krajolika, a istovremeno pune tek nekoliko automobila. Takvi problemi će se u skorijoj budućnosti vjerojatno rješavati jer će tehnologije napredovati. Cijene struje u Republici Hrvatskoj kao i u ostatku Europe u stalnom su rastu pa bi ulaganjem u ovakav tip investicije postajali neovisniji o promjeni cijena.

7. Literatura

- [1] Low, J.; Canalys, <https://www.canalys.com/newsroom/global-ev-sales-h1-2022> ; 11.08.2022.
- [2] Denton, P.; Electric and Hybrid Vechiles, Routledge, 2nd edition,
<https://www.perlego.com/book/2194086/electric-and-hybrid-vehicles-pdf>; 10. Lipnja 2020.
- [3] Burton, N.; History of Electric Cars, Crowood,
<https://www.lemo-project.eu/wp-content/uploads/2015/01/History-of-electric-cars.pdf>; 30.
Lipnja 2013.
- [4] Wilson, K.; Car and Driver, <https://www.caranddriver.com/features/g43480930/history-of-electric-cars/>; 31.3.2023.
- [5] Porsche, „Game changers“
<https://www.porsche.com/stories/innovation/gamechanger-how-ferdinand-porsche-designed-first-hybrid-car>
- [6] Porsche, The tehnology of the Semper Vivus,
<https://presskit.porsche.de/museum/en/2019/topic/exhibitions/cars/the-technology-of-the-semper-vivus.html>
- [7] Boeing, Historical Snapshot <https://www.boeing.com/history/products/lunar-roving-vehicle.page>
- [8] CARB, Zero – Emission Vechile program
<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/zero-emission-vehicle-program>
- [9] IEA, International energy agency <https://www.iea.org/>
- [10]Jelušić, A.; N1, „Koliko je električnih automobila u Hrvatskoj?“
<https://n1info.hr/magazin/auto/koliko-je-elektricnih-automobila-u-hrvatskoj-donosimo-i-20-najcesjih-modela/>
- [11] Hrvatska tehnička enciklopedija, <https://tehnika.lzmk.hr/rimac-automobili/>
- [12] Stojkov, M., Gašparović, D., Pelin, D., Glavaš, H., Hornung, K., Mikulandra, N., (2014).
https://bib.irb.hr/datoteka/717355.140925_Elektricna_Vozila_ms.pdf

- [13] Jović, M.; ZE mobility, „Utjecaj vanjske temperature na rad baterije“
<https://www.zemobility.hr/5927/Utjecaj-vanjske-temperature-na-rad-baterije>; 23.05.2023.
- [14] Tesla, https://www.tesla.com/en_eu/supercharger
- [15] Charging stations wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Charging_station
- [16] Cvetković, I.; Autonet.hr „Punionice električnih automobila“
<https://www.autonet.hr/aktualno/objavljujemo-pregled-cijena-punionica-elektricnih-automobila-u-hrvatskoj/>; 23.01.2022.
- [17] ACEA, <https://www.acea.auto/nav/?search=Terminology&orderby=relevance>
- [18] Enel Way, <https://www.company.enelxway.com/en/media/faq/what-types-of-charging-sockets-are-there>
- [19] Nikola Tesla EV rally Croatia, „Projekt Sunčica“
<https://www.nikolateslaevrally.com.hr/projekt-suncica/>
- [20] Cesar, N.; „Najprodavaniji električni automobili“jutarnji.hr/autoklub/aktualno/ovo-je-deset-najprodavanijih-elektricnih-automobila-na-svijetu-za-sedam-niste-nikad-culi-15257276
- [21] PVGIS, „Photovoltaic Geographical Information System“ https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en
- [22] Photonic Universe, <https://www.photonicuniverse.com/en/resources/articles/full/7.html>
- [23] AMP Solar, https://www.amp-solar.com/phaeton_agm_260ah/hr
- [24] Victron Energy; „Blue Power“ <https://www.victronenergy.com/dc-dc-converters>

8. Popis Slika

Slika 2.1. Električni automobil Tesla	2
Slika 2. 2 Electobat	3
Slika 2.3. C.2 Phaeton	4
Slika 2.4. Sempre Vivus	5
Slika 2.5. Lunar Roving Vehicle	6
Slika 2. 6. Tesla Roadster	7
Slika 2. 7. Rimac Concept Two	8
Slika 2. 8. Blok – Shema elemenata na električni pogon	9
Slika 2. 9. Elektromotor	10
Slika 2.10. Vanjske karakteristike različitih tipova elektromotora	11
Slika 2.11. Baterija u automobilu Tesla.....	13
Slika 2.12. Utjecaj vanjske temperature na odnos stvarnog i teoretskog dosega.....	14
Slika 2.13. Punjač baterije električnog automobila.....	15
Slika 3.1. Punionica električnih vozila spojena na mrežu.....	18
Slika 3. 2 Kućna utičnica.....	19
Slika 3.3. Kućni punjač	20
Slika 3. 4. Punjač na rasvjetnom stupu.....	21
Slika 3. 5. Tesla punjači.....	22
Slika 3.6. Terminologija stanice za punjenje električni vozila	23
Slika 3. 7. Mod punjenja 1	25
Slika 3. 8. Mod punjenja 2	25
Slika 3.9. Mod punjenja 3	26
Slika 3. 10. Mod punjenja 4	26
Slika 4.1. Solarna punionica automobila.....	27
Slika 4.2. Autonomna punionica „Sunčica“	28

9. Popis tablica

Tablica 2. 1 Doseg električnih automobila ovisno o vanjskoj temperaturi	14
Tablica 5.1. Tehničke karakteristike električnog automobila Nissan Leaf.....	31
Tablica 5. 2 Vrijeme punjenja pojedinog automobila ovisno o punjaču	31
Tablica 5. 3 Tehničke karakteristike solarnog panela BlueSun.....	34
Tablica 5.4. Tehničke karakteristike solarnog panela BlueSun.....	37
Tablica 5.5. Tehničke karakteristike mrežnog invertera „Fronius Symo“	42
Tablica 5.6. Tehničke karakteristike regulatora punjenja baterije	44
Tablica 5. 7 Cjenik	46

SAŽETAK

Svakim danom je u Svijetu sve više i više električnih automobila čiji razvoj napreduje velikim brzinama. Električni automobili su relativno nove tehnologije stoga postoji još uvijek dosta mjesta za napredak. Razvoj električnih vozila također prati i razvoj njihovih punionica.

Upravo su punionice razlog ovog završnog rada. U njemu je analizirana povijest električnih automobila kao i njihov sastav. Nakon toga predložen je princip rada nekih vrsta punionica električnih vozila, a na samom kraju je predstavljeno i idejno rješenje autonomne solarne punionice na temelju čega je donesen zaključak o isplativosti kao i o ekološkoj prihvatljivosti.

KLJUČNE RIJEČI: električni automobili, struja, solarni paneli, izmjenična struja, istosmjerna struja, baterija, solarna punionica, punjači

ABSTRACT

Every day there are more and more electric cars in the world, the development of which is progressing at high speed. Electric cars are relatively new technology, so there is still plenty of room for improvement. The development of electric vehicles also follows the development of their charging stations.

The bottling plants are the reason for this final work. It analyzes the history of electric cars as well as their composition. After that, the principle of operation of some types of charging stations for electric vehicles was presented, and at the very end, the conceptual solution of an autonomous solar charging station was presented, on the basis of which a conclusion was made about profitability as well as environmental acceptability.

KEY WORDS: electric cars, electricity, solar panels, alternating, current, direct current, battery, solar charger, chargers

10. POPIS KRATICA

EV – Vozila na električni pogon

BEV – Vozila na gorive ćelije

PHEV – plug in hibridna vozila

MHEV – kombinacija unutarnjeg izgaranja s električnim generatorom

IEA – internacionalna agencija za energiju

EVSE – stanice za punjenje električnih vozila

PVGIS – Photovoltaic Geographical Information system

ACEA – Europska udruga proizvođača automobila

AC – izmjenična struja

DC – istosmjerna struja

C – celzijus

V – Volt

W - watt

kW – kilowatt

kWh – kilowatt sat

km - kilometar

A – amper

Ah – amper sat

m² – metar kvadratni

kg – kilogram

KV – kontinuirana izlazna snaga