

Fotonaponski sustav za punionicu električnih vozila

Nikolić, Mihael

Master's thesis / Diplomski 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:190:806124>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad

**FOTONAPONSKI SUSTAV ZA PUNIONICU ELEKTRIČNIH
VOZILA**

Rijeka, rujan 2023.

Mihael Nikolić

0069081885

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad

**FOTONAPONSKI SUSTAV ZA PUNIONICU ELEKTRIČNIH
VOZILA**

Mentor : Prof. dr. sc. Dubravko Franković

Rijeka, rujan 2023.

Mihael Nikolić

0069081885

Rijeka, 14. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**
Predmet: **Elektrane**
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Mihael Nikolić (0069081885)**
Studij: **Sveučilišni diplomski studij elektrotehnike**
Modul: **Elektroenergetika**

Zadatak: **Fotonaponski sustav za punionicu električnih vozila / Photovoltaic system for EV charging station**

Opis zadatka:

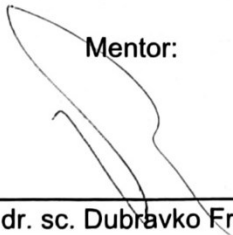
Zastupljenost električnih vozila na cestama svakim danom je sve veća, stoga treba promišljati različite opcije za osiguravanje energije za njihovo punjenje. Kao jedna od mogućih opcija, na raspolaganju je fotonaponska tehnologija. U radu je potrebno analizirati mogućnost izvedbe autonomne punionice za električna vozila napajane iz fotonaponskog sustava. Analizu provesti za više lokacija u RH uz iste ostale uvjete (veličina fotonaponskog sustava, kapacitet sustava za pohranu energije, zauzetost punionice i sl.).

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.



Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:



Prof. dr. sc. Dubravko Franković

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



Prof. dr. sc. Dubravko Franković

IZJAVA

Sukladno članku 7. Pravilnika o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku diplomskih sveučilišnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad „Fotonaponski sustav za punionicu električnih vozila“ uz pomoć navedene literature i mentorstvo prof. dr. sc. Dubravka Frankovića.

Rijeka, rujan 2023.

Mihael Nikolić

0069081885

ZAHVALA

Želio bih se zahvaliti svojoj obitelji, kolegama i prijateljima; posebice ocu i majci koji su mi bili najveća podrška u trenucima studiranja i bez kojih ovo ne bi bilo moguće ostvariti.

Zahvaljujem se i svim profesorima i asistentima Tehničkog fakulteta u Rijeci koji su svojim trudom i radom prenosili znanje, te prof. dr. sc. Dubravku Frankoviću na mentorstvu i pomoći pri pisanju ovog diplomskog rada.

Hvala Vam!

Mihael Nikolić

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ELEKTRIČNA VOZILA	2
2.1. Prednosti i nedostaci električnih vozila	3
2.2. Tipovi električnih vozila	4
2.2.1. Baterijska električna vozila (BEV)	4
2.2.2. Hibridna električna vozila (HEV)	5
2.2.3. Plug-in hibridna električna vozila (PHEV)	6
2.2.4. Električna vozila s gorivim ćelijama (FCEV)	7
2.3. Komponente električnih vozila	8
2.3.1. Elektromotor	9
2.3.2. Kontroler	11
2.3.3. Baterija	11
2.4. Punionice električnih vozila	13
3. FOTONAPONSKI SUSTAVI	16
3.1. Fotonaponski sustavi priključeni na mrežu	17
3.2. Autonomni (samostalni) fotonaponski sustavi	18
4. IZRADA RJEŠENJA FOTONAPONSKOG SUSTAVA ZA PUNIONICU ELEKTRIČNIH VOZILA	20
4.1. Izračun osnovnih podataka	21
4.2. Odabir solarne baterije	24
4.3. Odabir fotonaponskog modula	28
4.4. PVGIS	30
4.4.1. PVGIS – lokacija Rijeka	31
4.4.2. PVGIS – lokacija Vrbovsko	36
4.4.3. PVGIS – lokacija Dubrovnik	38
4.4.4. PVGIS – lokacija Zagreb	41
4.4.5. PVGIS – lokacija Osijek	43
4.5. Odabir izmjenjivača	46
4.6. Usporedba fotonaponskih punionica pri različitim lokacijama	50
5. ZAKLJUČAK	54
LITERATURA	55
SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI	56
ABSTRACT AND KEY WORDS	57

1. UVOD

Trenutno živimo u razdoblju velikog onečišćenja našega planeta, koje nanosi štetu ljudskom zdravlju i ekosustavima. Upravo je sektor prometa odgovoran za otprilike četvrtinu ukupnih emisija CO₂ u Europskoj uniji, stoga je nužno učiniti određene promjene i pronaći alternativna rješenja kako smanjiti ili potpuno ukloniti daljnje onečišćenje. Jedna od najvažnijih odluka za smanjenje onečišćenja je Europski propis o klimi, donesen od strane Europskog parlamenta, s ciljem da se emisije ugljika do 2030. godine smanje za čak 55%. Kako bi se taj cilj ostvario jedna od odluka je da svi novi automobili na tržištu Europske unije do 2035. godine trebaju imati nultu emisiju CO₂. Stoga je već danas potrebno promišljati o razvitku tehnologije i performansi električnih vozila, kao i potrebne infrastrukture. Kako bi se povećala zastupljenost električnih vozila na prometnicama, mnoge vlade započele su s inicijativama poput sufinanciranja pri kupnji novih vozila, jer upravo je cijena električnih vozila glavna zapreka novim vozačima. Također potrebno vrijeme punjenja, kao i ograničen domet uz nedovoljan broj punionica razlozi su trenutne slabije potražnje električnih vozila, no to bi se u skorijoj budućnosti trebalo izmijeniti.

Kako bi se ostvario navedeni cilj od 55% manje ugljika do 2030. godine, također se predlaže i povećanje dobivanja energije iz obnovljivih izvora na najmanje 40% do iste te godine. Obnovljivi izvori energije zamjena su za fosilna goriva čija su tržišta nepouzdana i nestabilna. Dobivanje električne energije iz energije vjetra, sunca, vode, biomase,... potpuno je besplatno i bez utjecaja na okoliš, te time privlači sve veći broj korisnika.

Unutar ovoga rada izveden je proračun izgradnje fotonaponskog sustava punionice za električna vozila; time električna vozila električnu energiju potrebnu za njihov rad dobivaju upravo iz jednog od obnovljivih izvora energije. Primjerice ako električno vozilo napajamo energijom iz mreže, ta energija je u većini slučajeva dobivena iz velikih elektrana koje za svoj rad koriste fosilna goriva, te se u tom procesu emitira ugljikov dioksid. No to u primjeru unutar ovoga rada nije slučaj, budući da se električna energija potrebna za pogon električnih vozila dobiva iz autonomnog fotonaponskog sustava te je time cijeli proces „zelen“, s 0% emitiranog ugljičnog dioksida.

2. ELEKTRIČNA VOZILA

Električno vozilo je vozilo koje se pokreće elektromotorom, koristeći električnu energiju pohranjenu u baterijama. U usporedbi s klasičnim vozilima na fosilna goriva, koja u velikoj mjeri doprinose onečišćenju zraka i okoliša, kod električnog vozila to nije slučaj. Elektromobilnost predstavlja jedan od najučinkovitijih i ekološki najprihvatljivijih prijevoznih oblika, posebice ako se električna energija potrebna za pogon električnih vozila dobiva iz obnovljivih izvora energije. To je izuzetno važna činjenica jer upravo je sektor prometa odgovoran za otprilike četvrtinu ukupnih emisija ugljikova dioksida u Europskoj uniji, od toga (prema statistikama iz 2019. godine) upravo cestovni promet čini 71,7%. Kako bi se to izmijenilo, potrebna je alternativa koju čine upravo električna vozila [1,2].

Zanimljivo je da iako se danas, najviše no ikad razgovara o električnim automobilima i njihovoj budućnosti, oni se pojavljuju već sredinom 19. stoljeća, kada je električna energija bila među perifernim metodama za pogon motornih vozila. Konstrukcija prvog pravog električnog automobila može se pripisati Robertu Andersonu 1830.-tih godina. Najveća prednost tadašnjih električnih vozila bila je jednostavnost korištenja, odnosno nepotrebnost mijenjanja brzina te činjenica da nije bilo potrebno fizičko okretanje ručice za pokretanjem motora; primjer punjenja jednog takvog vozila prikazan je slikom 2.1. [1,3].



Slika 2.1. Prikaz punjenja električnog vozila 1919. godine [1]

Energetska kriza 2000. godine iznova je pobudila interes za električne automobile [1].

2.1. Prednosti i nedostaci električnih vozila

Usporedbom svih prednosti i nedostataka, dolazi se do zaključka za koju primjenu i u kojim uvjetima je najbolje koristiti električno vozilo. Iako su prednosti električnih vozila brojne, ne smiju se zanemariti njihovi nedostaci, odnosno problemi koji se javljaju pri korištenju električnih vozila. No bitno je za napomenuti i kako se tehnologija električnih vozila svakim danom sve više razvija, te će se određeni nedostaci poput njihovog dometa vožnje i vremena punjenja, kao i same cijene automobila s godinama razvijati na bolje. U nastavku su navedene i objašnjene osnovne prednosti i nedostaci električnih automobila [1,3,4].

Prednosti:

- Štetni plinovi – električna vozila imaju značajno sniženu ili nultu emisiju štetnih stakleničkih plinova, ovisno o metodi koja se koristi za dobivanje potrebne električne energije za njihovo napajanje. Dok vozila s unutarnjim izgaranjem ispuštaju štetne plinove iz ispušnih cijevi (CO₂, N₂, ...). Smanjenje ugljikova dioksida iz električnih vozila u odnosu na ona s unutarnjim izgaranjem je od 11% do 100% (ako je električna energija dobivena iz obnovljivih izvora).
- Troškovi vožnje – odnosno troškovi napajanja električnom energijom su značajno manji za razliku od cijena nafte i benzina koje imaju značajan rast.
- Udobnost – putovanje električnim vozilima udobnije je zbog odsutnosti vibracije i buke motora, a ubrzanje je trenutno. Električni motor daje vozilu trenutni okretni moment već od 0 okretaja u minuti, stvarajući snažno i glatko ubrzanje.
- Poticaji – u Republici Hrvatskoj Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost svake godine daje poticaje za kupnju električnih vozila. 2022. godine maksimalni iznos poticaja iznosio je nešto više od 9000 eura. Također poticanje elektromobilnosti vrši se i besplatnim javnim parkingom ili prijevozom na određenim dionicama koje inače nisu besplatne.
- Jednostavnost – električna vozila imaju puno manje pokretnih dijelova od konvencionalnih automobila, samim time smanjen je i broj kvarova.
- Pouzdanost – manji broj komponenata i jednostavnost dovode do znatno jeftinijeg održavanja. Razvojem tehnologije električna vozila postaju sve bolja i pouzdanija.
- Učinkovitost – motor s unutarnjim izgaranjem ima 25% - 30% učinkovitosti, dok električni motor prenosi preko 90% energije u učinkovitu energiju.

- Pristupačnost – električna vozila jedina su vozila koja imaju pristup prometovati u određenim urbanim područjima; koja su zabranila svim ostalim vozilima s izgaranjem ulazak u određene zone, a pretpostavka je da će u budućnosti sve više gradova činiti isto.
- Neovisnost o fosilnim gorivima – iznimno bitna činjenica, obzirom da nafta i naftni derivati imaju promjenjivu cijenu i poremećaje opskrbe.

Nedostaci:

- Cijena – visoka cijena električnih vozila u usporedbi s konvencionalnim vozilima, primjerice Opel Mokka s 1.2 litarskim benzinskim motorom starta s cijenom od 26 335 eura, dok Opel Mokka Electric s ugrađenim električnim motorom od 100 kW i kapacitetom baterije od 50 kWh s cijenom od 37 311 eura.
- Troškovi punjenja – energetska kriza 2022. prouzročila je rast cijena električne energije.
- Vrijeme punjenja – može potrajati u rasponu od čak 4 – 8 sati, čak i brzo punjenje do 80% kapaciteta baterije može trajati do 30 minuta.
- Zimski uvjeti – prilikom nižih temperatura, odnosno zimskih uvjeta smanjuju se performanse baterije, ujedno time i doseg vozila.
- Domet vožnje – jedan od najvećih nedostataka električnih vozila pri vožnjama na duljim relacijama.
- Infrastruktura – komplicirana i nedovoljna infrastruktura, pogotovo za korisnike koji žive u stanovima zbog nemogućnosti korištenja kućne utičnice. Potreban je transportni sustav sposoban za integriranje i poticanje ove nove tehnologije.

2.2. Tipovi električnih vozila

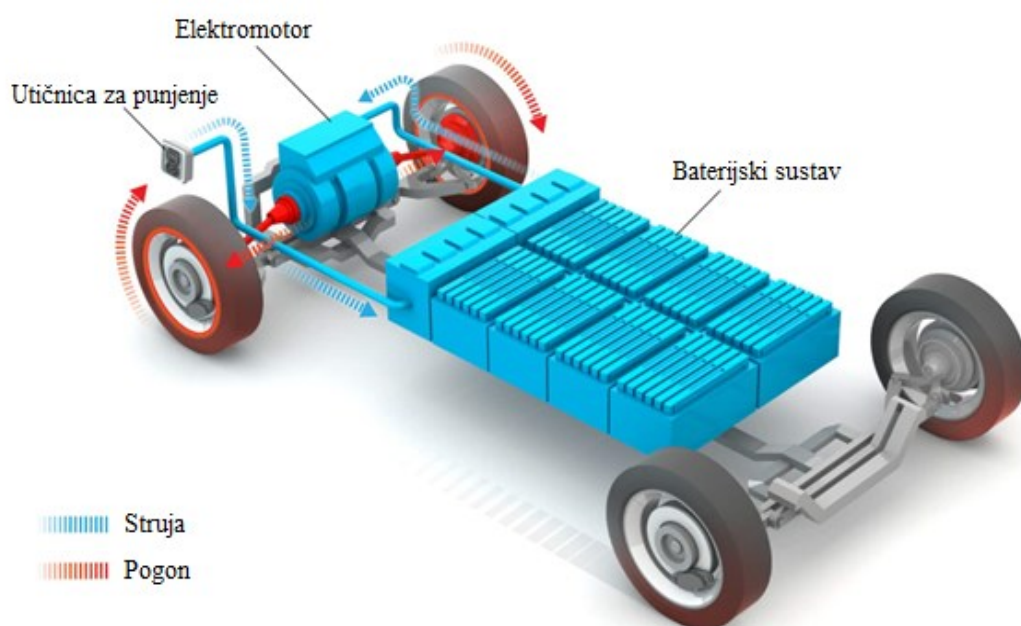
Električnom vozilu ugrađena baterija nije nužno jedini i primarni izvor napajanja, takva vozila mogu dobivati energiju i iz drugih izvora. Zbog navedenog se vrši podjela električnih vozila na baterijska električna vozila, hibridna električna vozila, te električna vozila s gorivim ćelijama. U nastavku je svaka od podjela detaljnije objašnjena [1].

2.2.1. Baterijska električna vozila (BEV)

Za razliku od konvencionalnih automobila, BEV (battery electric vehicle) električni automobili su umjesto motora s unutarnjim izgaranjem i spremnikom za gorivo opremljeni elektromotorom i baterijskim sustavom, za koje sadrže i priključak za punjenje (prikazano slikom 2.2).

U usporedbi s motorima s unutarnjim izgaranjem ICE (internal combustion engine) imaju bolje performanse, pogotovo prilikom kretanja koje je linearno. Iskoristivost elektromotora je izuzetno velika, a kočioni sustav električnih vozila konstruiran je tako da se prilikom usporavanja oslobođena energija deceleracije pohranjuje natrag u baterije; to se naziva regenerativno kočenje. Izuzetno su pogodni za gradsku vožnju [1,5].

Iako se kao najveći problem električnih vozila navodi zabrinutost vozača o dometu. Današnji električni automobili mogu prijeći i preko 450 kilometara jednim punjenjem, dok je prosječna udaljenost koju hrvatski vozači prelaze u jednom danu tek nešto više od 30 kilometara [1,5].

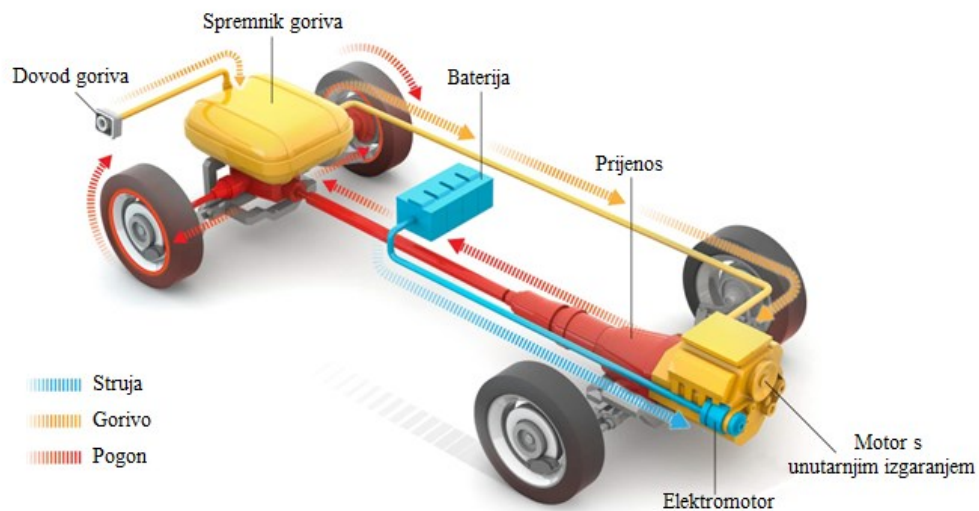


Slika 2.2. Sastavni dijelovi baterijskog električnog vozila (BEV) [5]

Primjeri BEV automobila: Volkswagen e-Golf, BMW i3, Rimac Nevera, Tesla Model 3, Nissan LEAF, ...

2.2.2. Hibridna električna vozila (HEV)

Hibridni automobili (HEV – hybrid electric vehicle) su električna vozila koja sadrže i elektromotor i motor s unutarnjim izgaranjem iz kojeg dobivaju većinu snage. Punjenje preko vanjskog izvora električne energije ovakvom automobilu nije potrebno, već se energija za rad elektromotora generira pri vožnji te se skladišti u baterije. Elektromotor je u tom sustavu ujedno i generator, koji stvara električnu energiju dobivenu regenerativnim kočenjem. Na slici 2.3. prikazani su sastavni dijelovi hibridnog električnog vozila (HEV) [1,5].

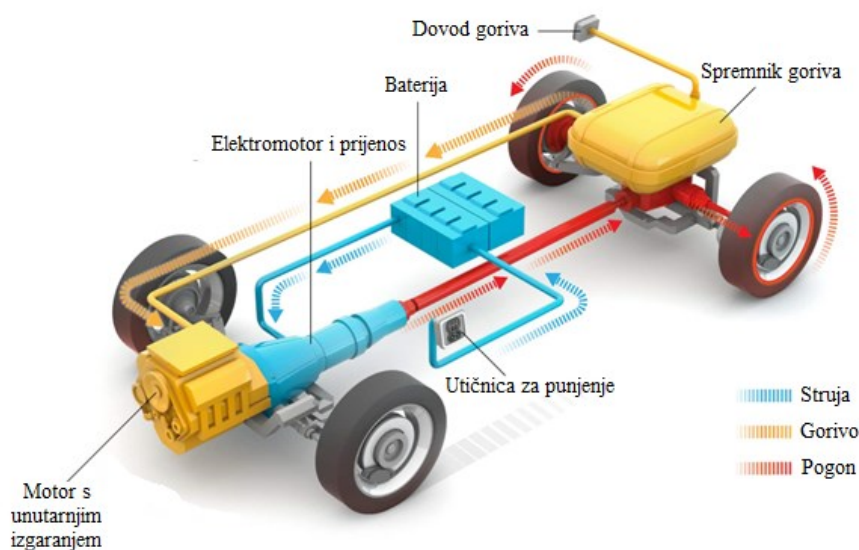


Slika 2.3. Sastavni dijelovi hibridnog električnog vozila (HEV) [5]

Primjeri HEV automobila: Toyota Prius Hybrid, Toyota Corolla Hybrid, Dacia Jogger Hybrid, Honda Civic Hybrid, Lexus NX Hybrid, ...

2.2.3. Plug-in hibridna električna vozila (PHEV)

Plug-in hibridi (PHEV – plug-in hybrid electric vehicle) rade na sličan način kao i hibridna vozila (HEV), no imaju mogućnost punjenja baterije i iz vanjskog izvora napajanja (slika 2.4.). Stoga je potrebna snažnija baterija i elektromotor. Ovakva vozila koristeći električnu energiju mogu prijeći 10 do 60 kilometara prije nego li se ukaže potreba za pokretanjem motora s unutarnjim izgaranjem. Kada se baterija isprazni do kraja, plug-in hibrid ponašat će se poput standardnog hibrida [1,5]



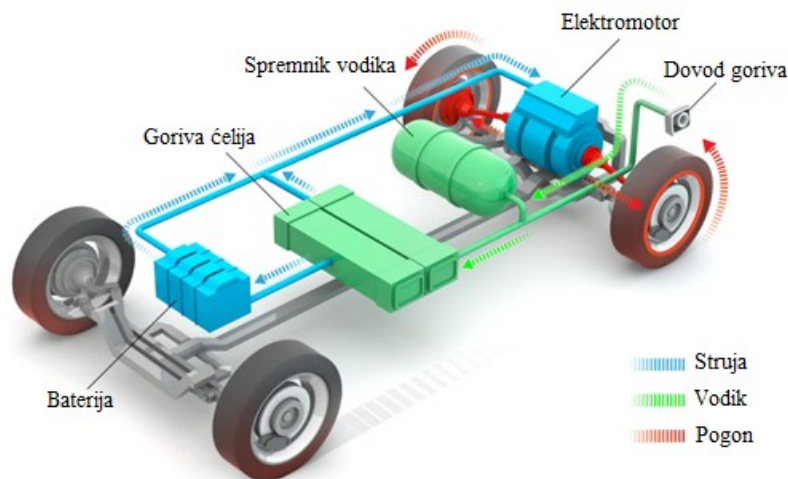
Slika 2.4. Sastavni dijelovi plug-in hibridnog električnog vozila (PHEV) [5]

Ovakav tip vozila idealan je za različite tipove vožnje. Pogodan je za kratke relacije, kada koristeći samo električnu energiju može prelaziti svakodnevna putovanja na posao, ali i iskoristiti fleksibilnost benzinskog motora kada je domet odnosno putovanje duže [1,5].

Primjeri PHEV automobila: BMW 530e PHEV, Toyota RAV4 PHEV, Citroën C5 X PHEV, Kia Sportage PHEV, Range Rover Velar PHEV, ...

2.2.4. Električna vozila s gorivim ćelijama (FCEV)

Automobili na vodik također se smatraju električnim vozilima jer se kisik i vodik unutar njih (točnije u gorivim ćelijama) pretvaraju u električnu energiju, koja zatim napaja elektromotor. Proces pretvorbe odvija se uzimanjem komprimiranog vodika iz spremnika montiranog na vozilu i miješanjem s atmosferskim zrakom te se taj proces naziva obratna elektroliza. Kao produkt te reakcije osim električne energije nastaju toplina i voda koja se ispušta kroz ispuh u obliku vodene pare. Također i ova vozila mogu koristiti energiju pri regenerativnom kočenju te ju skladištiti. Sastavni dijelovi FCEV električnog vozila prikazani su slikom 2.5. [5,7].



Slika 2.5. Sastavni dijelovi električnog vozila s gorivim ćelijama (FCEV) [5]

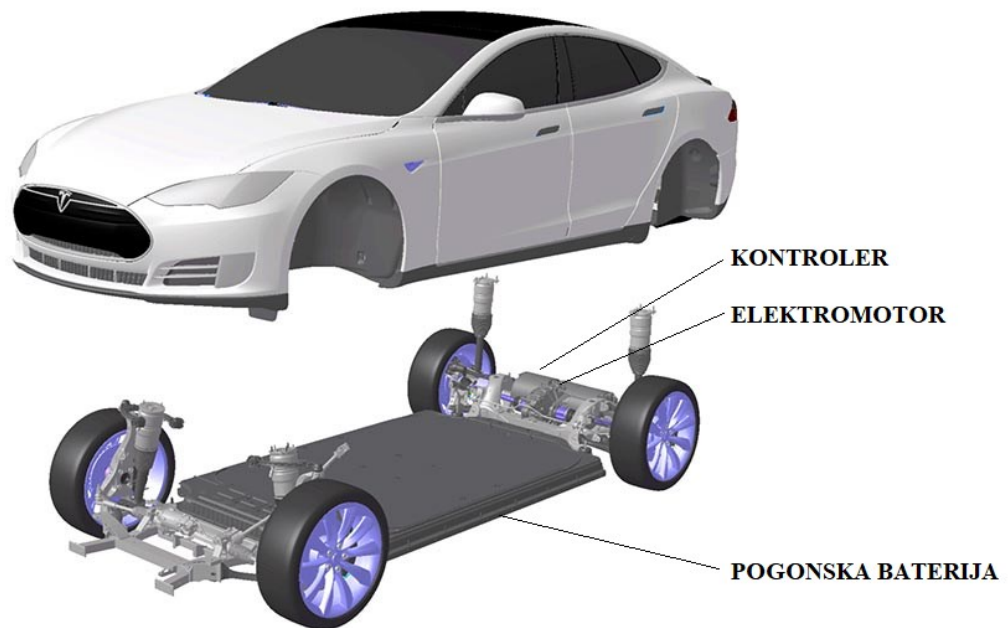
Značajna prednost FCEV-a je kratko vrijeme punjenja spremnika vodikom, baš poput automobila s benzinom ili dizelom. Međutim komercijalno nisu dostupni zbog velikog nedostatka potrebne vodikove infrastrukture [7].

Primjeri FCEV automobila: BMW iX5 FCEV, Honda CR-V FCEV, Kia Carnival FCEV, Hyundai Nexo FCEV, Toyota Mirai FCEV, ...

2.3. Komponente električnih vozila

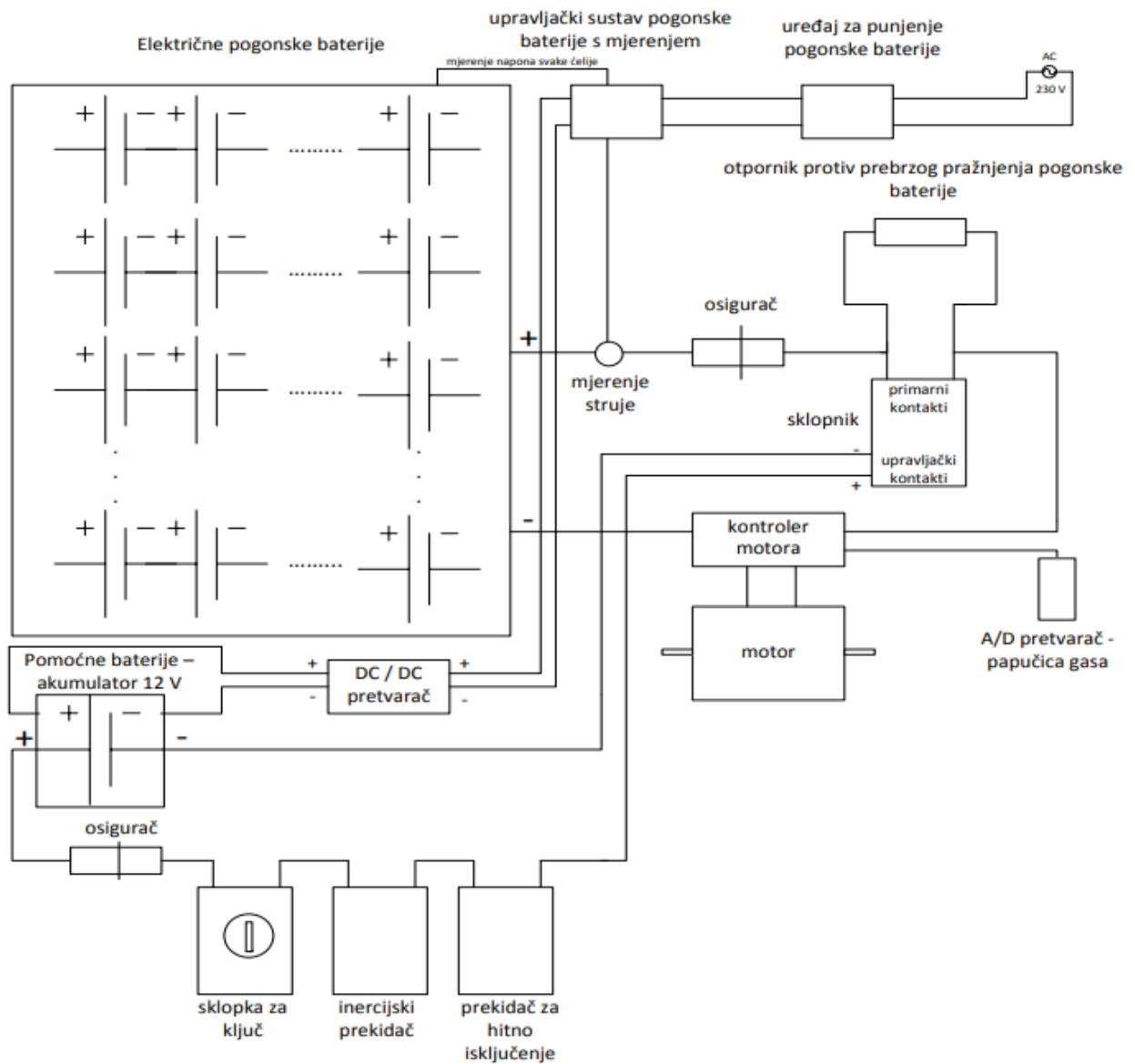
Električno vozilo sastoji se od nekoliko osnovnih pogonskih komponenti, a to su: elektromotor, pogonska baterija te kontrolna jedinica (kontroler).

Osnovni dijelovi (komponente) električnog automobila prikazani su slikom 2.6. te objašnjeni zasebno u nastavku [1].



Slika 2.6. Osnovne komponente električnog vozila

Ostali dijelovi prikazani su na slici 2.7., a to su: analogno-digitalni pretvarač signala papučice gasa, osigurač/prekidač, sklopnik, DC pretvarač napona za pogon trošila od 12 V, mjerni instrumenti za upravljanje vozila, punjač baterija, ... [3]

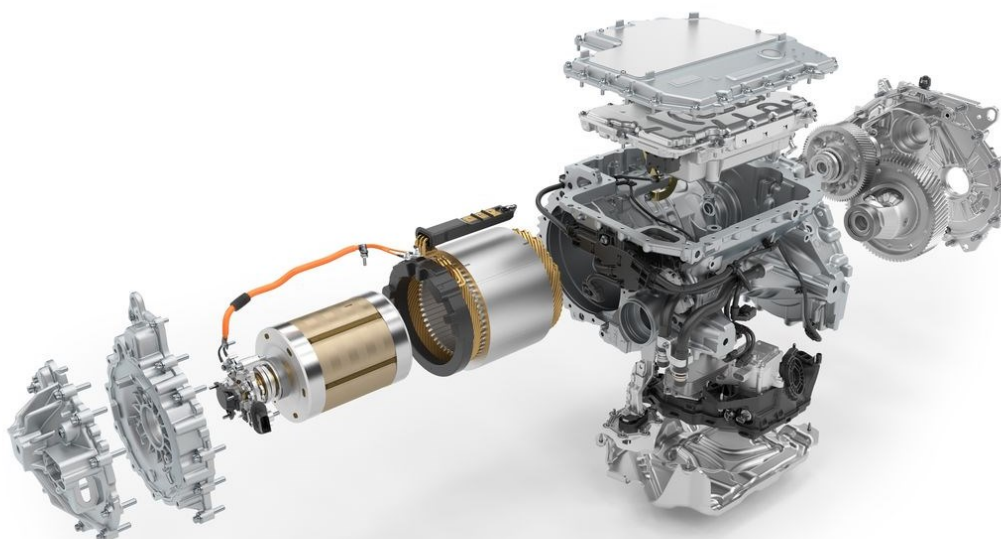


Slika 2.7. Blok shema elemenata vozila na električni pogon

2.3.1. Elektromotor

Elektromotori pretvaraju električnu energiju u mehaničku energiju. Osnovna podjela motora u električnim vozilima je na motore koji koriste istosmjernu struju, te se nazivaju istosmjernim elektromotorima (DC) i na motore koji koriste izmjeničnu struju, te se nazivaju izmjeničnim elektromotorima (AC). Neke vrste mogu koristiti i izmjeničnu i istosmjernu struju, stoga se nazivaju univerzalni elektromotori. Svaka od ovih grupa dalje se dijeli na svoje podvrste s obzirom na konstrukciju, svi oni razlikuju se po naponu potrebnom za rad, krivulji momenta, te kod izmjeničnih i po frekvenciji [8].

Sve vrste elektromotora električnih vozila dijele se na dva osnovna (glavna) dijela. Stator je nepomični dio elektromotora, čije je kućište montirano najčešće na šasiju bloka motora. Rotor je jedini rotirajući element elektromotora, te on prenosi okretni moment kroz prijenos i na diferencijal. Primjer elektromotora s njegovim osnovnim dijelovima prikazan je na slici 2.8. u nastavku [9].



Slika 2.8. Prikaz osnovnih dijelova elektromotora [9]

Obje vrste elektromotora imaju svoje prednosti i nedostatke koje su navedene u tablici 2.1.

Tablica 2.1. usporedba istosmjernih i izmjeničnih elektromotora [8]

USPOREDBA ELEKTROMOTORA

AC MOTORI	DC MOTORI
Jednobrzinski prijenos	Prijenos s više brzina
Mala težina	Velika težina (za istu snagu)
Niska cijena elektromotora	Visoka cijena elektromotora
Učinkovitost 95% pri punom opterećenju	Učinkovitost 85-95% pri punom opterećenju
Visoka cijena kontrolera	Jednostavan i jeftin kontroler
Visoka cijena pretvarača	Niska cijena pretvarača

2.3.2. Kontroler

Kontroler je upravljački uređaj unutar električnog vozila koji se nalazi između baterije i elektromotora. Služi za kontrolu brzine odnosno regulaciju broja okretaja elektromotora, kao i njegovo ubrzanje. Kontroleri nude razne mogućnosti podešavanja i režima rada elektromotora, a po cijeni su često i skuplji od njih. Na slici 2.9. prikazan je izgled kontrolera koji se nalazi unutar električnog vozila [1,8].



2.9. Kontroler

U slučaju pritiska vozača na papučicu gasa ili kočnice, kontroler će osigurati elektromotoru potrebnu struju. Kontroleri na većini električnih vozila imaju sustav za regenerativno kočenje. Na taj način elektromotor će se koristiti kao generator za punjenje baterije kada vozilo usporava. Tijekom regenerativnog kočenja, dio kinetičke energije koju kočnice inače apsorbiraju i pretvore u toplinu, kontroler pretvara u električnu energiju korisnu za punjenje baterija. Time ne samo da se povećava domet električnog vozila za 5% - 10% već se smanjuje trošenje kočnica kao i troškovi održavanja [8].

2.3.3. Baterija

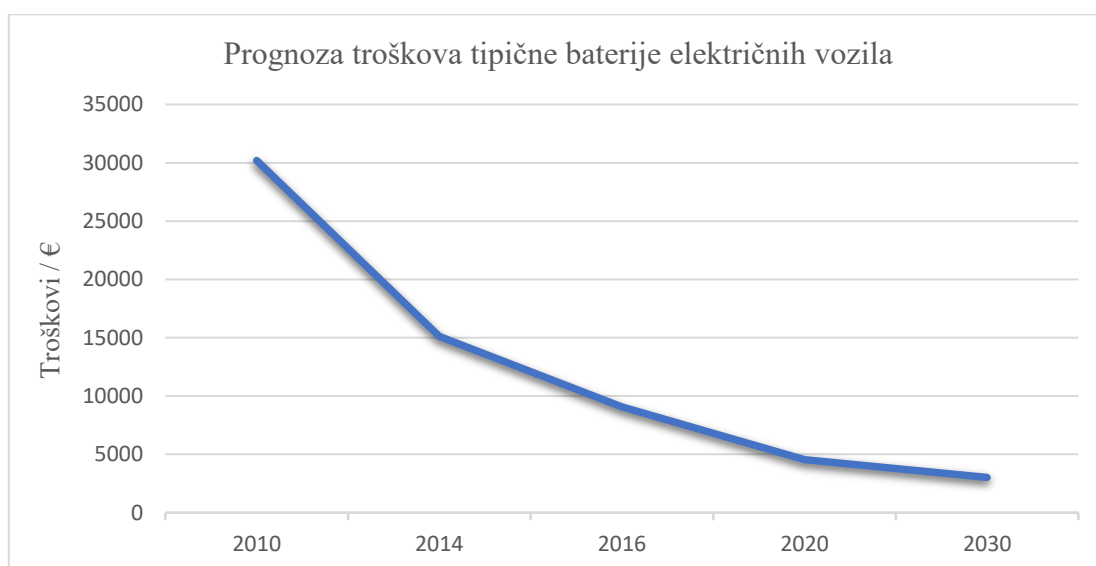
Baterija je glavni i najskuplji dio električnog vozila, općenito smješten ispod samog vozila ili u njegovu stražnjem dijelu. Napon i kapacitet baterije u električnim vozilima definiraju sve ostale komponente, a izbor baterije uvelike će definirati cijenu vozila. Iako je glavni razlog sporog razvoja električnih vozila upravo problem skladištenja električne energije, već danas su kapaciteti baterija u električnim vozilima dovoljno veliki za pokrivanje dnevnih potreba korisnika [1,10]. Svjetski proizvođači baterija dakako intenzivno rade na poboljšanju njihovih performansi; poput povećanja kapaciteta, životnog vijeka trajanja, što manje težine i dimenzija same baterije [10].

Prije samo nekoliko godina dosezi električnih vozila kretali su se oko 200 kilometara, dok današnji doseg primjerice električnog automobila Tesla Model S ide i preko 600 kilometara pri jednom punjenju. Na slici 2.10. prikazana je baterija električnog vozila Tesla Model S. [1,10]



Slika 2.10. Baterija električnog vozila Tesla Model S

Pretpostavlja se da će se narednih godina, kako bude padala cijena baterija, snižavati i cijena samih električnih vozila, i to ispod cijene klasičnih vozila na dizel i benzin, koja se uskoro više neće niti proizvoditi (EU odredba o zabrani prodaje novih automobila na benzin i dizel od 2035. godine) [8]. Prognoza troškova baterije električnih vozila do 2030. prikazana je slikom 2.11. [1].



Slika 2.11. Prognoza troškova tipične baterije električnih vozila [1]

Vrste baterija koje se koriste kod električnih vozila su: olovne, litij-željezo-fosfat, litij-polimer. Od navedenih na tržištu trenutno dominiraju litij-željezo-fosfat (LiFePO₄) i litij-polimer (LiPo) baterije, koje dolaze u različitim oblicima i veličinama, a njihova osnovna svojstva navedena su i uspoređena s ostalim vrstama baterija u tablici 2.2. [1].

Tablica 2.2. Usporedba osnovnih svojstava baterija za električna vozila [1]

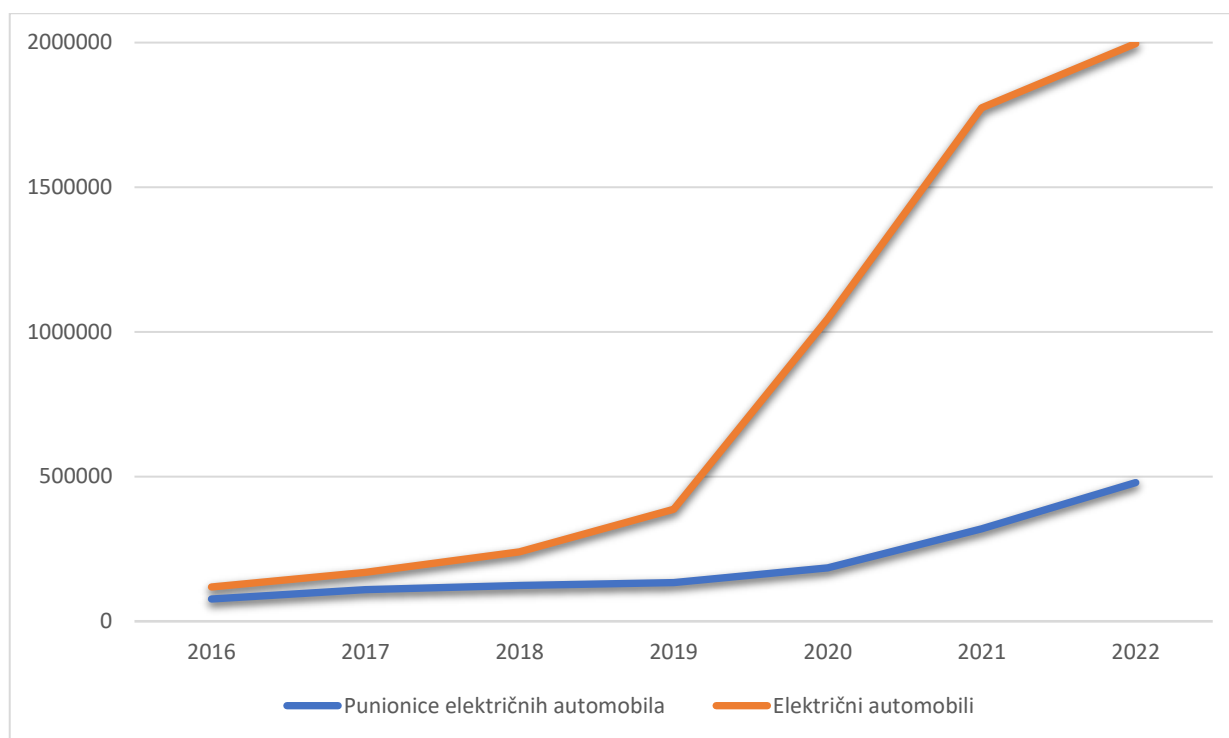
VRSTA BATERIJE	Olovne baterije	LiFePo₄	LiPo
<i>Kapacitet [kWh]</i>	25	10	10
<i>Masa [kg]</i>	480	100	60
<i>Doseg [km]</i>	40 – 60	50 – 120	60-140
<i>Km [ukupno]</i>	20000	360000	350000
<i>Cijena [€]</i>	2600	4000	6000

Životni vijek baterija u pravilu je zajamčen za razdoblje od najmanje 8 do 10 godina [1].

2.4. Punionice električnih vozila

Prema podacima Europskog udruženja proizvođača automobila ACEA, u Europskoj uniji se u razdoblju od 2016. – 2022. godine prodaja električnih vozila povećala tri puta brže no postavljanje punionica potrebnih za korištenje istih. Primjera radi u 2016. godini u Europskoj uniji bilo je približno 120 000 električnih vozila te 77 000 punionica, dok je prema podacima od prošle godine (2022.) broj električnih vozila gotovo premašio brojku od 2 000 000, a broj električnih punionica porastao tek na oko 480 000 (prikazano slikom 2.12. te tablicom 2.3. u nastavku). Tako će se prema najnovijem dogovoru između Europskog parlamenta i zemalja članica Europske unije do 2026. godine postaviti punionice električnih vozila na najkraćoj udaljenosti od 60 kilometara na svim važnijim prometnicama Europe [11].

Hrvatska je prema podacima iz 2022. godine imala 1285 punionica, što je veoma mala brojka u usporedbi sa susjednom nam Slovenijom koja je u istom razdoblju brojila 1893 punionice [11].



Slika 2.12. Rast broja električnih automobila i punionica (2016. - 2022.) [11]

Tablica 2.3. Usporedba broja električnih automobila i punionica od 2016. do 2022. godine [11]


EU ukupno	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Punionice električnih automobila	77 038	109 896	123 727	133 947	184 392	319 978	479 396
Električni automobili	118 542	168 901	240 347	387 325	1 045 893	1 774 520	1 996 738









Iz slike 2.12. kao i tablice 2.3. vidljivo je da se broj punionica za električna vozila od 2016. do 2022. godine uvećao za 522.3 %, a broj električnih vozila za čak 1584.4%. Zbog tako naglog porasta električnih vozila u posljednjih nekoliko godina, postalo je nužno razviti infrastrukturu za punjenje te ju i standardizirati. Tako je 2001. godine Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo (IEC) objavilo standard načina punjenja IEC 61851 kojim definira način punjenja električnih vozila prema snazi i brzini. Ovakvi standardi su neophodni kako bi se korisnicima olakšalo korištenje sustava punjenja, smanjio broj opreme kao i samih troškova prilikom korištenja sustava. No važno je napomenuti da kod električnih vozila možemo pronaći različite standarde koji su uglavnom određeni regijom u kojoj se koriste ili primjenjuju [1,2,11].

Nova publikacija norme IEC 61851 jest IEC 62196-2 koja se većinom koristi za punjenje električnih vozila u Europi i Kini te dijeli načine punjenja na [1,2] :

- Sporo punjenje - koristi standardne kućne utičnice, s maksimalnim intenzitetom od 16 A - 3,7 kW jednofazno / 16 A - 11 kW trofazno, bez uzemljenja.
- Polu-brzo punjenje - koristi se kod kuće ili u javnim prostorima sa standardnom utičnicom, s maksimalnim intenzitetom od 32 A - 7,4 kW jednofazno / 32 A – 22 kW trofazno, s uzemljenjem te zaštitom od previsokih struja i temperatura.
- Brzo punjenje – Potrebna specifična utičnica. Koristi se u javnim punionicama gdje je potrebno punjenje u kratkom roku. Maksimalno 63 A – 14,5 kW jednofazno / 63 A – 43,5 kW trofazno.
- Ultra-brzo punjenje – Istosmjerna struja izravno se isporučuje iz stanice za punjenje u bateriju električnog vozila. Koristi se za komercijalne svrhe (visoka cijena instalacije). Maksimalno 400 A – 240 kW, te 400A – 400 kW za IEC 62196-3. Maksimalni napon od 1000 V.

Uz različite načine punjenja dolaze i različite vrste priključaka potrebnih za punjenje električnih vozila. Trenutno postoji širok izbor priključaka, no to ne znači da svaki proizvođač ima svoj tip priključka, već da se koriste nekim od već postojećih tipova. Na slici 2.13. prikazani su osnovni tipovi priključaka podijeljeni prema struji i regiji u kojoj se koriste [1,2].



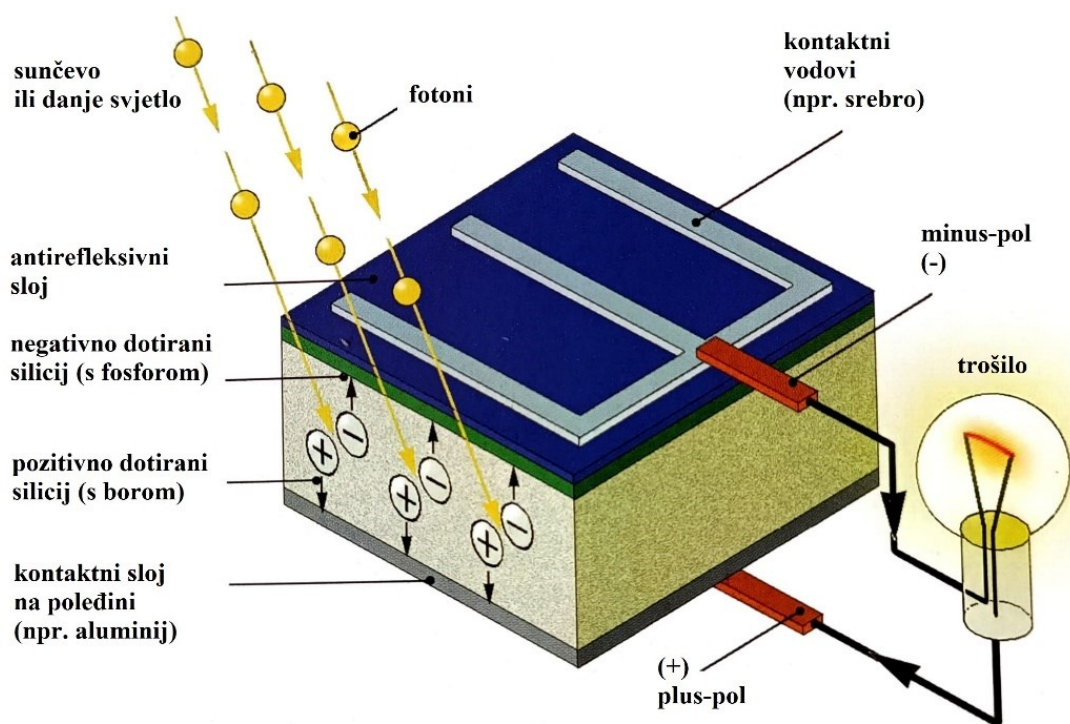
	REGIJA			
	JAPAN	KINA	AMERIKA	EUROPA
AC				
Naziv priključka	Type 1 - J1772	GB/T	Type 1 - J1772	Type 2
DC				
Naziv priključka	CHAdeMO	GB/T	CCS - Type 1	CCS - Type 2

Slika 2.13. Različiti tipovi priključaka za punjenje električnih vozila [2]

3. FOTONAPONSKI SUSTAVI

Fotonaponski sustavi proizvode električnu energiju bez ikakvih pokretnih dijelova i buke. Proizvodnja električne energije događa se prilikom izlaganja svjetlosti na prikladno oblikovani poluvodički element. To se ostvaruje ako postoji pn-spoj, odnosno granični sloj između p-područja i n-područja poluvodičkog elementa [12,15].

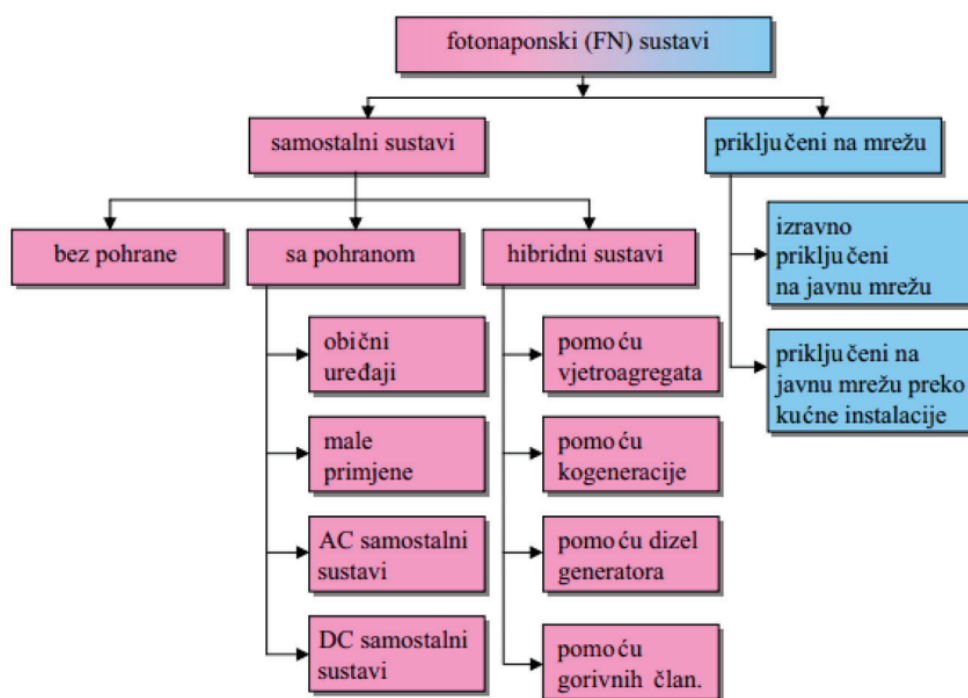
Pločica solarne ćelije napravljene od silicija ima dva različito nabijena sloja. Gornji sloj je dopiran fosforom (n-sloj), te sadrži višak elektrona i negativni naboj. Donji sloj je dopiran borom (p-sloj) i ima pozitivan naboj, odnosno sadrži manjak elektrona. Aluminijska obloga na poleđini čini plus-pol solarne ćelije. U sredini se nalazi pn-sloj, koji se sastoji od čistog silicija i električki je neutralan. Bakrene žice odvođe električnu energiju do potrošača kroz zatvoreni strujni krug u kojemu elektroni teku od minus-pola ka plus-polu. Kad fotoni prodru u silicij, elektroni otkinuti sa silicijevih atoma putuju prema minus polu, a pozitivno nabijeni silicij s rupama u vanjskoj atomskoj ljusci popunjava se tim elektronima. Na taj način događa se fotonapon odnosno razlika potencijala na vanjskim plohama solarne ćelije. To traje sve dok ima dovoljno fotona koji mogu izbiti elektrone iz vanjske ljuske silicijskog atoma, stoga učinak fotonaponske ćelije postupno opada slabljenjem danjeg svjetla, a noću se u njoj uspostavlja ravnoteža i mirovanje. Shema djelovanja navedene silicijeve FN ćelije i FN efekta prikazana je slikom 3.1. u nastavku [15].



Slika 3.1. Shema djelovanja silicijeve FN ćelije [15]

Fotonaponski sustavi mogu se podijeliti u dvije osnovne skupine (prikazano slikom 3.2.) [12,13]:

- Sustavi priključeni na mrežu
- Autonomni (samostalni) sustavi



Slika 3.2. Osnovna podjela fotonaponskih sustava [13]

3.1. Fotonaponski sustavi priključeni na mrežu

Fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu mogu biti priključeni izravno na javnu mrežu ili priključeni preko kućne instalacije što je specifično za sustave manjih snaga. Ovakvi sustavi su pogodni jer se prilikom proizvodnje viška električne energije ona jednostavno može isporučiti u javnu mrežu; dok se prilikom nedostatne proizvodnje električne energije iz solarnog sustava za pokrivanje vlastitih potreba, ona uzima iz javne mreže. Tako u sustavu ne postoji potreba za spremnikom energije, koji je u autonomnim (samostalnim) sustavima jedan od najvažnijih elemenata, što je i objašnjeno u nastavku (cjelina 3.2.) [12,13].

Nažalost danas je u Republici Hrvatskoj priključenje na javnu mrežu povezano s mnogim problemima, više birokratske negoli tehničke prirode, pa je i masovna primjena ovakvih fotonaponskih sustava i dalje niža od svojih potencijala. Priključenje na javnu mrežu brojnih malih proizvođača uzrokuje probleme s jalovom snagom, oscilacijama frekvencije i gubicima u prijenosu. Stoga iako u današnjici prevladavaju upravo ovakvi sustavi, u budućnosti se ipak očekuje znatno povećanje autonomnih (samostalnih) sustava [15].

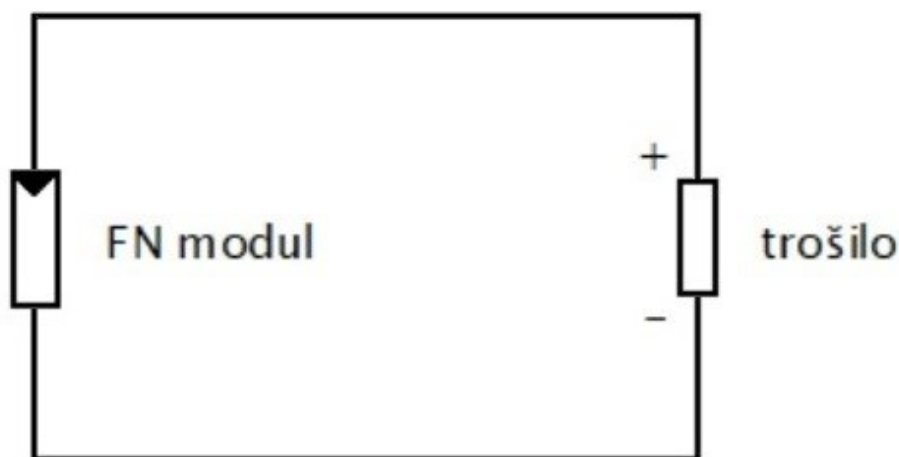
3.2. Autonomni (samostalni) fotonaponski sustavi

Autonomni fotonaponski (samostalni) sustavi, nazivaju se još i otočnim sustavima te su sustavi koji nisu priključeni na mrežu. Osnovna podjela im je na one sa ili bez pohrane energije, te hibridne kada rade zajedno s gorivnim člancima, vjetroturbinama, dizelskim generatorima i sl. [12,13].

Najveće prednosti ovakvih sustava uz autonomnost su i to da mogu koristiti vlastiti izvor električne energije u područjima gdje pristup javnoj elektroenergetskoj mreži uopće nije niti moguć; te osiguranje besprekidnog napajanja u umreženim sustavima u slučaju ispada s nepouzdanе ili preopterećene mreže [15].

➤ Direktni otočni sustav:

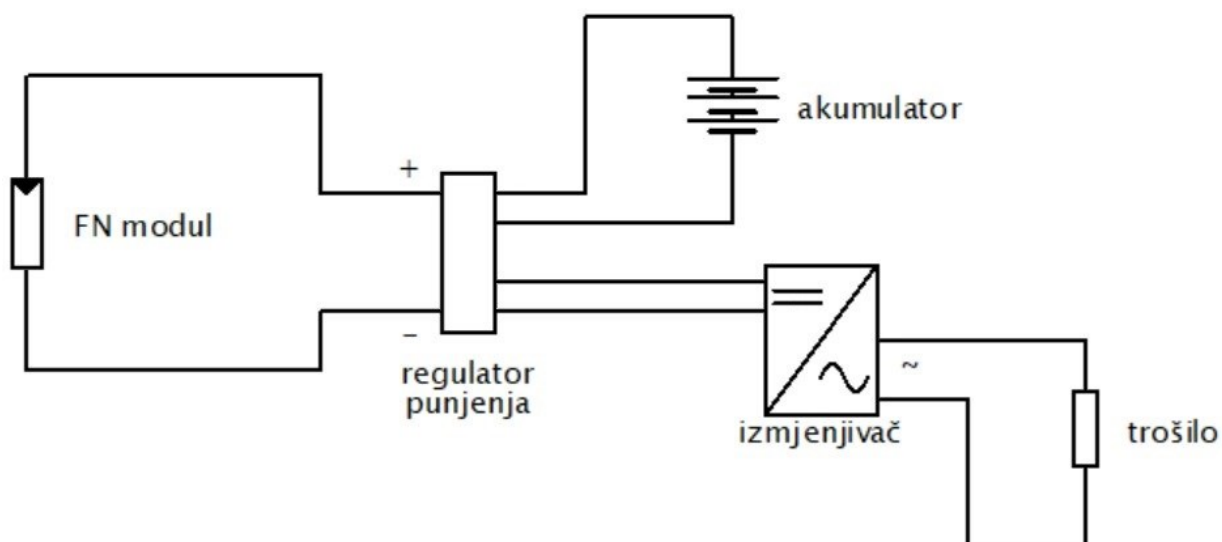
Kod direktnog otočnog sustava fotonaponski modul je izravno spojen s trošilom te nema pohrane energije (slika 3.3.). Glavna prednost mu je laka i jednostavna montaža, a primjenjuje se tamo gdje oscilacije te prestanak osunčanja fotonaponskih modula nema štetnih posljedica na istosmjernom trošilu. Primjeri takvih sustava nalaze se na malim pumpama, malim motorima, pomoćnim ventilatorima, ... [15]



Slika 3.3. Shema autonomnog FN sustava bez spremnika energije [ProfiCAD, 12]

➤ Otočni sustav sa spremnikom energije:

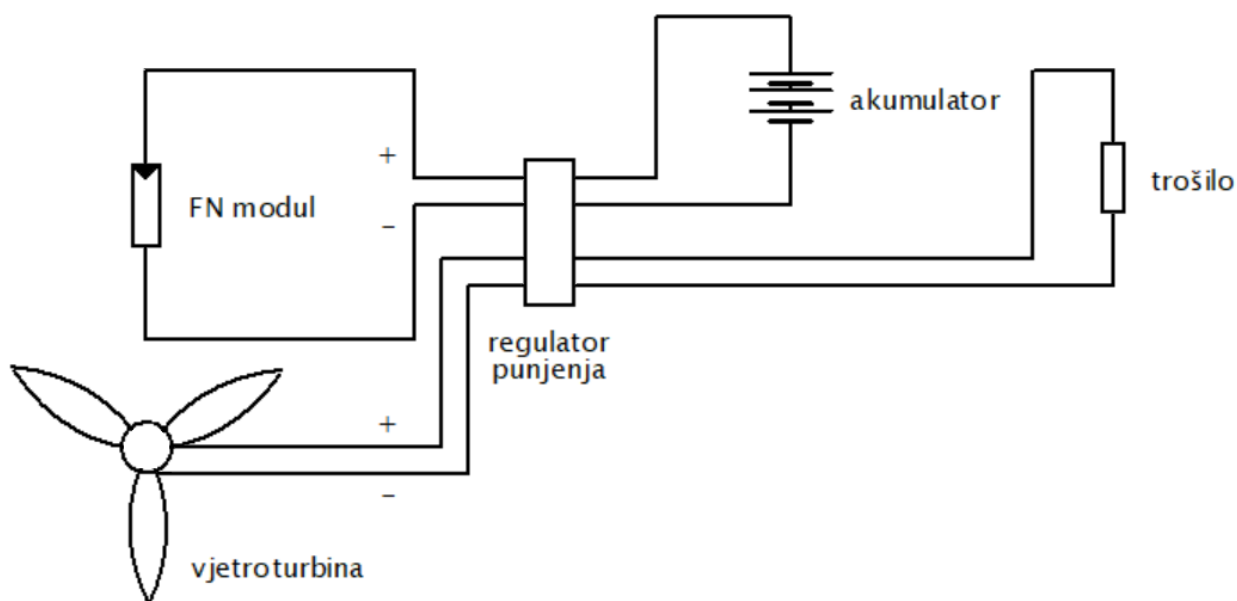
Otočni sustav sa spremnikom energije (pohranom, odnosno baterijskim sustavom) unaprijed je prilagođen varijacijama između prevelike ili premale proizvodnje energije u modulima i neujednačenom potrošnjom električnih trošila tijekom dana. Može biti u izvedbi s izmjenjivačem i bez njega u ovisnosti tipu trošila. Najčešći primjer takvih sustava su obiteljske kuće gdje je trošilima potrebna i izmjenična struja pa je potreban i izmjenjivač. Prikaz sheme otočnog sustava sa spremnikom energije (i izmjenjivačem) prikazan je na slici 3.4. [12,15].



Slika 3.4. Shema autonomnog FN sustava sa spremnikom energije [ProfiCAD, 12]

➤ Hibridni otočni sustav:

Za razliku od ranije opisanih sustava, u hibridnom sustavu fotonaponski modul nije jedini izvor energije. Samostalni sustavi povezuju se dakle s nekim drugim alternativnim (pričuvnim) izvorima poput vjetroturbina, gorivnim člancima i sl. kao što je prethodno već i navedeno. Dakle hibridni otočni sustavi nude najviši stupanj sigurnosti i iskoristivosti. Pojednostavljena shema izvedbe takvog sustava prikazana je slikom 3.5. u nastavku [15].



Slika 3.5. Shema autonomnog FN sustava sa spremnikom energije i pomoćnim izvorom [ProfiCAD, 12]

4. IZRADA RJEŠENJA FOTONAPONSKOG SUSTAVA ZA PUNIONICU ELEKTRIČNIH VOZILA

Unutar ovoga poglavlja izveden je proračun fotonaponskog sustava za punjenje električnih vozila. Navedeni fotonaponski sustav zamišljen je kao autonomna punionica električnih vozila, čiji će se fotonaponski paneli nalaziti na nadstrešnici iznad parkirnih mjesta. Prije samog proračuna i dizajniranja punionice potrebno je odabrati koja vozila, i koliko njih će punionica moći opskrbiti tijekom dana. Za navedeni proračun odabrana su dva vozila Volkswagen e-Golf te BMW i3, a s obzirom na to da je punionica dizajnirana kroz dva odvojena sustava (te dva različita priključka punjenja), ovi će se automobili i uspoređivati kroz proračun neovisno jedan o drugome. Vozila Volkswagen e-Golf i BMW i3 prikazana su na slici 4.1. u nastavku.



Slika 4.1. Vozila marke Volkswagen e-Golf i BMW i3

Nadalje zbog potrebe da se vozila u ovakvoj izvedbi punionice mogu puniti i noću te u slučajevima lošeg vremena, potrebno je ugraditi baterijski sustav. Tako konstruirana punionica omogućit će autonomiju te osigurati neprekidno punjenje vozila, a vozila će se konstantno moći puniti energijom uskladištenom unutar baterijskih sustava.

4.1. Izračun osnovnih podataka

Kao što je prethodno navedeno proračun proveden u nastavku bit će izveden za punjenje dva vozila, marke Volkswagen e-Golf i BMW i3. Za početak je potrebno pronaći njihove specifikacije koje će biti potrebne u proračunu, a za to je korištena internetska stranica „ev-database.org“ koja sadrži specifikacije svih dostupnih električnih vozila na tržištu.

Na slici 4.2. prikazani su osnovni tehnički podaci (karakteristike) Volkswagenova e-Golfa, dok slika 4.3 prikazuje tehničke podatke (karakteristike) BMW-ovog modela i3.

Volkswagen e-Golf		May 2017 - March 2021	
 32.0 kWh* Useable Battery	 190 km Real Range	 168 Wh/km Efficiency	
Real Range		between 135 - 280 km	
City - Cold Weather	185 km	City - Mild Weather	280 km
Highway - Cold Weather	135 km	Highway - Mild Weather	170 km
Combined - Cold Weather	160 km	Combined - Mild Weather	215 km
Performance			
Acceleration 0 - 100 km/h	9,6 sec	Total Power	100 kW (136 PS)
Top Speed	150 km/h	Total Torque	290 Nm
Electric Range	190 km	Drive	Front
Battery			
Nominal Capacity	35.8 kWh	Useable Capacity*	32.0 kWh
Battery Type	Lithium-ion	Cathode Material	NCM333
Number of Cells	264	Pack Configuration	88s3p
Architecture	400 V	Nominal Voltage	325 V
Energy Consumption			
EVDB Real Range			
Range	190 km	CO2 Emissions	0 g/km
Vehicle Consumption	168 Wh/km	Vehicle Fuel Equivalent	1.9 l/100km
NEDC Ratings			
Range	300 km	CO2 Emissions	0 g/km
Rated Consumption	129 Wh/km	Rated Fuel Equivalent	1.4 l/100km
Vehicle Consumption	107 Wh/km	Vehicle Fuel Equivalent	1.2 l/100km
WLTP Ratings			
Range	232 km	CO2 Emissions	0 g/km
Rated Consumption	153 Wh/km	Rated Fuel Equivalent	1.7 l/100km
Vehicle Consumption	138 Wh/km	Vehicle Fuel Equivalent	1.5 l/100km

Slika 4.2. Osnovni tehnički podaci Volkswagen e-Golf [14]



Real Range

between 165 - 360 km

City - Cold Weather	235 km	City - Mild Weather	360 km
Highway - Cold Weather	165 km	Highway - Mild Weather	215 km
Combined - Cold Weather	200 km	Combined - Mild Weather	275 km

Performance

Acceleration 0 - 100 km/h	7.3 sec	Total Power	125 kW (170 PS)
Top Speed	150 km/h	Total Torque	250 Nm
Electric Range	235 km	Drive	Rear

Battery

Nominal Capacity	42.2 kWh	Useable Capacity	37.9 kWh
Battery Type	Lithium-ion	Cathode Material	NCM622
Number of Cells	96	Pack Configuration	96s1p
Architecture	400 V	Nominal Voltage	350 V

Energy Consumption

EVDB Real Range			
Range	235 km	CO2 Emissions	0 g/km
Vehicle Consumption	161 Wh/km	Vehicle Fuel Equivalent	1.8 l/100km
NEDC Ratings			
Range	359 km	CO2 Emissions	0 g/km
Rated Consumption	131 Wh/km	Rated Fuel Equivalent	1.5 l/100km
Vehicle Consumption	106 Wh/km	Vehicle Fuel Equivalent	1.2 l/100km

Slika 4.3. Osnovni tehnički podaci BMW i3 [14]

Iz slika 4.2. te 4.3. moguće je iščitati podatke o ukupnom kapacitetu baterije automobila, te dometu automobila, odnosno udaljenosti koju može prijeći s punom baterijom.

Pomoću ta dva podatka moguće je izračunati potrošnju automobila po jednome kilometru sljedećom formulom:

$$\frac{\text{kapacitet baterije automobila}}{\text{domet automobila}} = \text{potrošnja po prijeđenom kilometru}$$


Za Volkswagen e-Golf kapacitet baterije iznosi 32 kWh, a ukupna prosječna udaljenost koju taj automobil može prijeći s punom baterijom iznosi 190 km, te je potrošnja po prijeđenom kilometru:

$$\frac{32 \text{ kWh}}{190 \text{ km}} = 168,42 \text{ Wh/km} = 0,16842 \text{ kWh/km}$$

Isti proračun za BMW i3 čiji kapacitet baterije iznosi 37,9 kWh, a ukupna prosječna udaljenost koju može prijeći s punom baterijom iznosi 235 km, daje rezultat:

$$\frac{37,9 \text{ kWh}}{235 \text{ km}} = 161,28 \text{ Wh/km} = 0,16128 \text{ kWh/km}$$

Za proračun potrebnog vremena punjenja automobila i zauzetosti punionice, najprije je potrebno odrediti snagu punjača, koja će u našem slučaju iznositi za oba sustava 3,7 kW AC / 16A. (vidljivo iz slike 4.4. prikazane u nastavku). To ujedno znači da se automobil puni snagom od 3,7 kW po 1 satu.

Type 2 (Mennekes - IEC 62196)		
		
Charging Point	Max. Power	Power
Wall Plug (2.3 kW)	230V / 1x10A	2.3 kW
1-phase 16A (3.7 kW)	230V / 1x16A	3.7 kW
1-phase 32A (7.4 kW)	230V / 1x32A	7.4 kW
3-phase 16A (11 kW)	400V / 3x16A	11 kW
3-phase 32A (22 kW)	400V / 3x16A	11 kW

Slika 4.4. Usporedba različitih snaga punjača Type 2 (Mennekes – IEC 62196) [14]

Također, potrebno je poznavati i gubitke punjenja. Odnosno električnu energiju koja prilikom punjenja ne dolazi do same baterije automobila. Taj gubitak ovisan je o automobilu kojega želimo napuniti, vrsti punionice koju koristimo, izmjenjivaču, no i o brojnim drugim faktorima poput samog kabela za punjenje, čijim ćemo odabirom utjecati na gubitke. Prosječna vrijednost gubitaka korištena u proračunu je 8% te je iz tog podatka dobivena korisnost punjenja $\eta = 0,92$ [16].

Kako bi se odredilo ukupno vrijeme punjenja koristimo sljedeću formulu:

$$\frac{\text{prosječna dnevna potrošnja jednoga automobila}}{\text{snaga punjača} \cdot \text{korisnost punjenja}} = \text{vrijeme punjenja}$$

Vrijeme punjenja za Volkswagen e-Golf iznosi:

$$\frac{32 \text{ kWh}}{3,7 \text{ kW} \cdot 0,92} = 9,4 \text{ h} = 9 \text{ h } 24 \text{ min}$$

Dok za BMW i3 iznosi:

$$\frac{37,9 \text{ kWh}}{3,7 \text{ kW} \cdot 0,92} = 11,13 \text{ h} = 11 \text{ h } 8 \text{ min}$$

Devet sati i 24 minute vrijeme je punjenja e-Golfa, te će toliko iznositi i dnevna zauzetost punionice s njegove strane, dok će model i3 svoju punionicu koristiti jedanaest sati i 8 minuta. S obzirom na to da su priključci za punjenje u ovom proračunu zamišljeni kao odvojeni, te je cijeli sustav za svaki automobil zaseban, vrijeme zauzetosti jedne punionice ne utječe na drugu, a nadstrešnica fotonaponskih panela jedino je što ove punionice zajednički dijele.

4.2. Odabir solarne baterije

Solarne baterije izvori su energije koja će se koristiti u slučaju kada navedeni solarni sustav ne proizvodi električnu energiju, zbog loših vremenskih uvjeta ili noći, odnosno one su spremišta viška proizvedene energije. Unutar ovoga primjera koristit će se baterije tehnologije VRLA (Valve Regulated Lead Acid) odnosno olovne baterije regulirane ventilom. Takve baterije su nepropusne i hermetički zatvorene, no zbog plina koji se razvija unutar njih prilikom punjenja, te koji je eksplozivan, preporučljivo je da se baterije nalaze u provjetrenim prostorima. Uobičajena su dva tipa VRLA baterije, to su AMG (Absorbent Glass Mat) i GEL baterije.

Oba tipa imaju svoje prednosti i mane, no usporedbom svih karakteristika, dolazi se do zaključka koji tip je pogodnije koristiti za autonomnu fotonaponsku punionicu električnih vozila. AMG baterija ima sposobnost većeg kratkotrajnog davanja visokih struja, no potrebno je održavati, mjeriti i nadopunjavati elektrolit u odnosu na GEL. GEL baterije imaju veći životni vijek i veći broj ciklusa punjenja/praznjenja što je i prikazano tablicom 4.1. u nastavku [15].

Tablica 4.1. Usporedba AMG i GEL broja ciklusa pražnjenja baterija u odnosu na dubinu pražnjenja [15]

Broj ciklusa za tip baterije		
Dubina pražnjenja	AMG VRLA	GEL VRLA
30%	1500	1800
50%	600	750
80%	400	500

Također na životni vijek baterije utječe i radna temperatura. Tablicom 4.2. prikazanom u nastavku vidljivo je da GEL tip baterija ima veći životni vijek na višim temperaturama u odnosu na AMG baterije, što je još jedna prednost GEL baterija. Zbog navedenih karakteristika, upravo će se takav tip baterije i koristiti unutar ovog primjera u daljnjem proračunu [15].

Tablica 4.2. Životni vijek AMG i GEL baterija u odnosu na radnu temperaturu [15]

Trajanje u godinama za tip baterije		
Radna temperatura	AMG VRLA	GEL VRLA
20 °C	7-10	12
30 °C	4	6
40 °C	2	3

Neki od osnovnih podataka odabrane baterije (prikazane slikom 4.5.) potrebni u daljnjem proračunu su: napon od 12 V, kapacitet od 220 Ah C20, korisnost 0.9, maksimalna dubina pražnjenja 30%.



Slika 4.5. VRLA GEL tip baterije

S obzirom na to da je odabran VRLA GEL tip baterije, zbog svoje jednostavnosti te nepotrebnosti održavanja zbog hermetički zatvorenog kućišta, potrebno je uzeti u obzir i činjenicu kako tu bateriju spojiti u sustav. Praktično je da trošilo iznad 1.2 kW, pa do maksimalno 5 kW snage koristi napon od 24 V. Zbog činjenice da napon odabrane baterije iznosi 12 V, potrebno je nekoliko takvih baterija spojiti u tzv. baterijske banke kako bi se dobio potreban iznos napona i povećao kapacitet. Naravno, što je veći napon baterije to su manje struje u sustavu, uz manje struje potreban je i manji presjek kabela [15].

Banka baterija mora biti dimenzionirana tako da može napuniti iznos punog kapaciteta baterije automobila, odnosno 32 kWh (e-Golf), te druga banka baterija 37,9 kWh (i3). Kako bi se dobila potrebna privedena električna energija, iznose tih kapaciteta baterija potrebno je podijeliti s korisnošću solarne baterije; odnosno:

$$\frac{\text{kapacitet baterije automobila}}{\text{korisnost solarne baterije}} = \text{potrebna privedena električna energija}$$

Za Volkswagen e-Golf ona će iznositi:

$$\frac{32 \text{ kWh}}{0,9} = 35,55 \text{ kWh}$$

Zbog potreba daljnjih izračuna privedena električna energija će se iz Wh pretvoriti u Ah:

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{24 \text{ V}} = 1481 \text{ Ah}$$

Kako bi solarna baterija imala kapacitet punjenja 32 kWh (ukupni kapacitet baterije automobila) u svim uvjetima, potrebno je uzeti u obzir i činjenicu da prema tehničkim podacima ne smije biti ispražnjena ispod 30% ($t_z = 0.3$). Stoga moramo izračunati i realni kapacitet baterije uvažavajući tu činjenicu.

$$1481 \text{ Ah} + (1481 \text{ Ah} \cdot 0,3) = 1925 \text{ Ah}$$

Minimalni realni kapacitet solarne baterije, koji zadovoljava kriterije punjenja baterije vozila Volkswagen e-Golf iznosi 1925 Ah. Ostaje još pitanje koliko je točno potrebnih solarnih baterija

po slogu od 24 V. Kako bi se dobio rezultat veći od 1925 Ah potrebno je 9 komada navedenih baterija u slogu.

$$9 \cdot 220 \text{ Ah} = 1980 \text{ Ah}$$

Dakle ukupno 1980 Ah sačinjenih od baterija 220 Ah spojenih u paralelu. Odnosno 24 V, 1980 Ah ↔ 18kom x 12 V, 220 Ah; kako bi se ostvario željeni napon i kapacitet.

$$1980 \text{ Ah} > 1925 \text{ Ah} \checkmark$$

Zatim je cijeli proračun ponovljen za BMW i3, te njegova potrebna električna energija iznosi:

$$\frac{37,9 \text{ kWh}}{0,9} = 42,11 \text{ kWh}$$

$$\frac{42,11 \text{ kWh}}{24 \text{ V}} = 1755 \text{ Ah}$$

S obzirom na to da se i za punjenje ovoga automobila koristi baterija s istim tehničkim podacima i ovoga puta nužno je u obzir uzeti činjenicu da se baterija ne smije isprazniti ispod 30% ($t_z = 0.3$).

$$1755 \text{ Ah} + (1755 \text{ Ah} \cdot 0,3) = 2282 \text{ Ah}$$

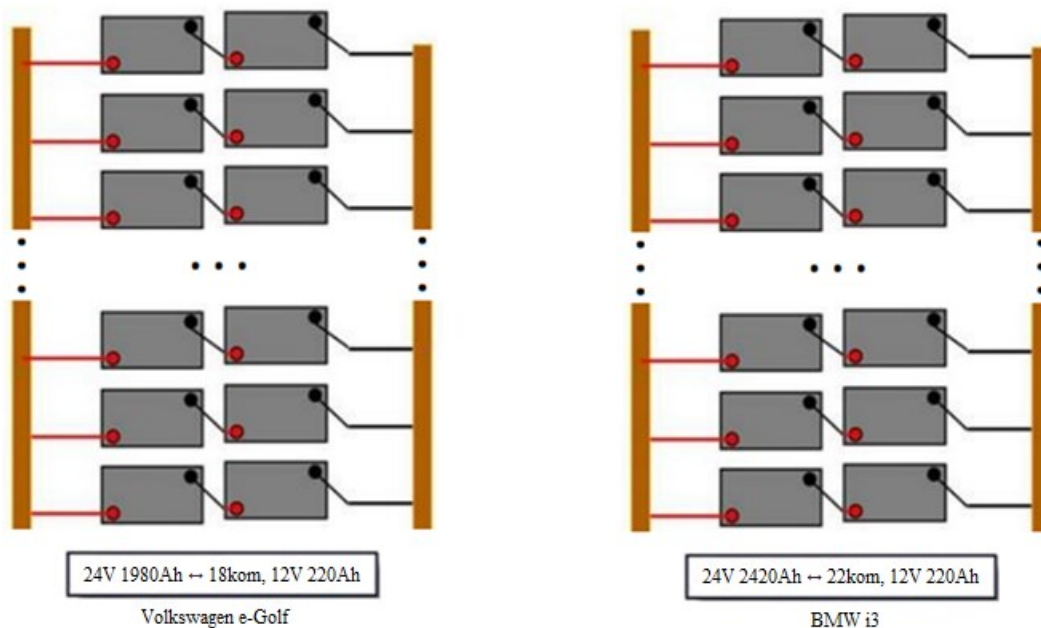
Minimalni realni kapacitet solarne baterije, koji zadovoljava kriterije punjenja baterije vozila BMW i3 iznosi 2282 Ah. Ostaje još pitanje koliko je to točno potrebnih solarnih baterija po slogu od 24 V. Kako bi se dobio rezultat veći od 2282 Ah potrebno je 11 komada navedenih baterija u slogu.

$$11 \cdot 220 \text{ Ah} = 2420 \text{ Ah}$$

Dakle ukupno 2420 Ah, od baterija 220 Ah u paralelu. Odnosno 24 V, 2420 Ah ↔ 22kom x 12 V, 220 Ah; kako bi se ostvario željeni napon i kapacitet.

$$2420 \text{ Ah} > 2282 \text{ Ah} \checkmark$$

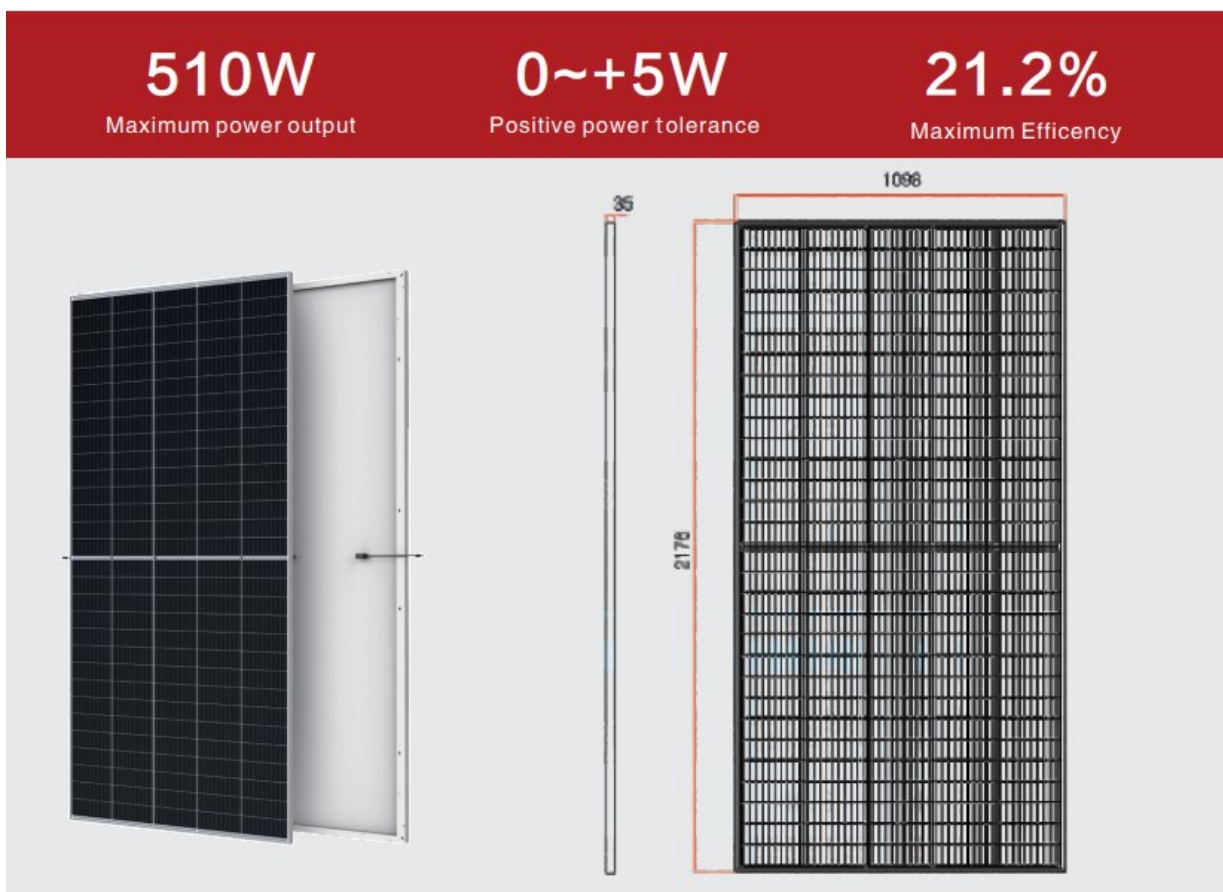
Naravno za punjenje ovoga sustava potrebne su dvije različite banke baterija, iz dobivenih rezultata proračuna mogu se usporediti rezultati i zaključiti da će se banka baterija za punjenje Volkswagen e-Golfa sastojati od ukupno 18 komada odabranih baterija (2 serijski spojene · 9 paralelno spojenih), dok su za punjenje BMW i3 potrebne 4 baterije više, odnosno ukupno 22 komada (2 serijski spojene · 11 paralelno spojenih). Shema spajanja tih banki baterija prikazana je slikom 4.6. u nastavku.



Slika 4.6. Spoj baterija u banku baterija, za e-Golf (lijevo) i BMW i3 (desno) [15]

4.3. Odabir fotonaponskog modula

Prilikom odabira fotonaponskog modula, bitno je poznavati njegove osnovne karakteristike poput: vršne snage, efikasnosti, površine,... koje je moguće pronaći na stranicama proizvođača. Odabir fotonaponskog modula unutar ovoga proračuna je monokristalni modul JS210MC150 proizvođača JS Solar, čije su osnovne karakteristike prikazane na slici 4.7. danoj u nastavku [17].



Slika 4.7. Fotonaponski modul proizvođača JS Solar [17]

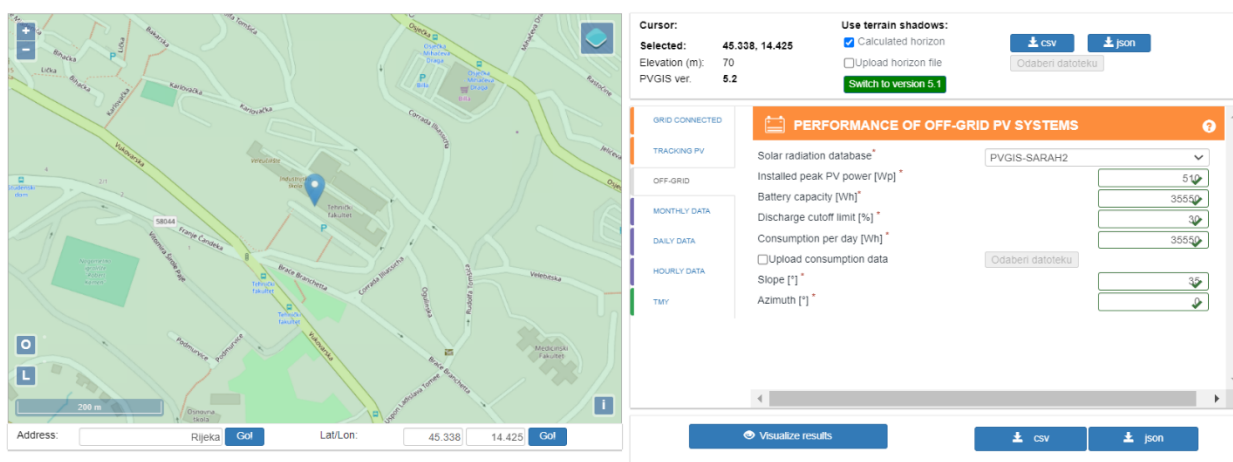
Proizvođač za modul vršne snage 510 Wp navodi maksimalni radni napon 43.2 V, napon praznog hoda 52.1 V, maksimalnu radnu struju 11.81 A, struju kratkog spoja 12.42 A, efikasnost od 21.2%, dimenzije modula 2187x1102x35 mm,...

Navedeni podaci dani su pri STC uvjetima odnosno: 1000W/m, 25°C okoline, AM=1,5 [17].

Nakon odabira svih osnovnih elemenata fotonaponske punionice, nužno je još odrediti i lokaciju na kojoj će biti postavljena. Unutar ovog proračuna punionica će biti postavljena na 5 različitih lokacija, kako bi se mogao usporediti broj potrebnih fotonaponskih modula u ovisnosti o lokaciji. Tih 5 lokacija bit će u 5 različitih regija Republike Hrvatske, a vrijednosti prosječne sunčane ozračenosti u tim gradovima moguće je dobiti iz online dostupnog alata PVGIS (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/). Lokacije korištene za ovu autonomnu fotonaponsku punionicu su: Rijeka (sjeverna Hrvatska obala), Vrbovsko (planinska Hrvatska), Dubrovnik (južna Hrvatska obala), Zagreb (centralna Hrvatska), Osijek (istočna Hrvatska).

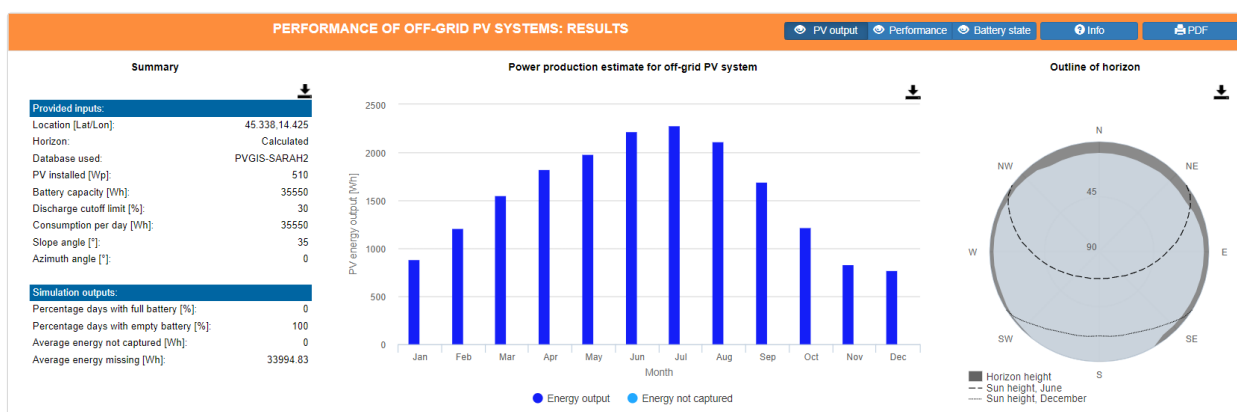
4.4. PVGIS

Kako bi se dobio broj ukupno potrebnih fotonaponskih modula koje je potrebno ugraditi na nadstrešnicu navedene fotonaponske punionice električnih vozila, koristit će se kao što je već navedeno online servis PVGIS. Pomoću tog online alata, unošenjem lokacije (prikazano na slici 4.8. za lokaciju Rijeka) dobiju se vrijednosti sunčevog zračenja na fotonaponske module na toj lokaciji. Važno je za upamtiti da se računa autonomni, odnosno sustav koji nije spojen na mrežu; te su tada ulazni podaci koje je potrebno unesti: instalirana vršna snaga modula, kapacitet baterije, donja granica pražnjenja baterije, dnevna potrošnja energije, nagib modula.



Slika 4.8. Unos podataka u PVGIS

Zatim program prikazuje rezultate (slika 4.9.) iz kojih je moguće iščitati prosječnu, no i ustvrditi najgoru dnevnu ozračenost na određenoj lokaciji koje su potrebne za daljnje proračune.



Slika 4.9. Rezultati iz programa PVGIS

4.4.1. PVGIS – lokacija Rijeka

Unosom koordinata (45.338, 14.425), uz zadržavanje svih ostalih početnih uvjeta dobiveni su podaci prikazani tablicom 4.3. o prosječnoj dnevnoj proizvodnji električne energije na zadanoj lokaciji unutar jedne godine.

Tablica 4.3. Prosječna dnevna proizvodnja električne energije na lokaciji Rijeka

mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ed (Wh)	884,5	1206,3	1554,8	1825,2	1979,2	2218,7	2283,2	2114,8	1689,9	1219,1	834,3	771,4

($\sum E_d = 18581,4 \text{ Wh}$)

Kako bi se izračunao podatak koliko energije po satu daje ovaj sustav koriste se prosječni uvjeti, te je potrebno prosječnu dnevnu proizvodnju električne energije podijeliti s trajanjem prosječnog dana u godini, tj. 12 sati.

$$\frac{\frac{\sum_{i=1}^{12} \text{dnevna proizvodnja električne energije}}{\text{broj mjeseci u godini}}}{\text{trajanje prosječnog dana u godini}} = \text{el. energija po satu}$$

$$\frac{\frac{18581,4 \text{ Wh}}{12 \text{ mj}}}{12 \text{ h}} = 129 \text{ W} = 0,129 \text{ kW}$$

Također prethodni proračun ponavlja se i s najgorim mogućim uvjetima, radi usporedbe uvijek nužnog minimuma i prosjeka sustava. Kako bi punionica zadovoljavala potrebe punjenja i pri najslabijoj osunčanosti u bilo kojem trenutku; za proračun proizvodnje električne energije iz instalirane snage 1 kWp fotonaponskog sustava, nužan je podatak dnevne proizvodnje električne energije u mjesecu najmanje osunčanosti. Iz tablice 4.3. vidljivo je da se radi o mjesecu prosincu, kada je $E_d = 771,4 \text{ Wh} = 0,7714 \text{ kWh}$.

Potreban je još i podatak trajanja najkraćeg dana u godini. Riječ je o zimskom solsticiju unutar kojega dan traje približno 8 sati i 39 minuta, odnosno 8,67 h.

$$\frac{\text{najmanja dnevna proizvodnja električne energije}}{\text{trajanje najkraćeg dana u godini}} = \text{el. energija po satu}_{(\text{najgori uvjeti})}$$

$$\frac{771,4 \text{ Wh}}{8,67 \text{ h}} = 90 \text{ W} = 0,09 \text{ kW}$$

Nadalje omjerom potrebne električne energije unutar solarnih baterija i trajanjem prosječnog dana u godini, dobiva se potrebna električna energija FN sustava po satu, odnosno:

Za Volkswagen e-Golf:

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{12 \text{ h}} = 2,96 \text{ kWh/h}$$

Za BMW i3:

$$\frac{42,11 \text{ kWh}}{12 \text{ h}} = 3,51 \text{ kWh/h}$$

Pri najgorim uvjetima potrebna električna energija sustava po satu, dobiva se omjerom potrebne električne energije unutar solarnih baterija i trajanjem najkraćeg dana u godini:

Za Volkswagen e-Golf (najgori uvjeti):

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{8,67 \text{ h}} = 4,1 \text{ kWh/h}$$

Za BMW i3 (najgori uvjeti):

$$\frac{42,11 \text{ kWh}}{8,67 \text{ h}} = 4,86 \text{ kWh/h}$$

Dakle izlazna snaga fotonaponskog modula mora iznositi 2,96 kWh/h kako bi se napunila banka solarnih baterija (uvažavajući uvjet minimalnog pražnjenja baterije) veličine baterijskog spremnika energije za Volkswagen e-Golf; odnosno 3,51 kWh/h za punjenje BMW i3 pri prosječnim uvjetima. Pri izračunu s najgorim uvjetima, potrebna izlazna snaga fotonaponskog modula je značajno veća za oba automobila; odnosno 4,1 kWh/h za Volkswagen e-Golf, te 4,86 kWh/h za BMW i3.

Za dobivanje potrebnog broja fotonaponskih modula na lokaciji Rijeka, nužno je poznavati još i iznos instalirane snage, a kako bi se on odredio potrebno je izlaznu dnevnu snagu fotonaponskog modula podijeliti s prosječnom dnevnom proizvodnjom električne energije:

Volkswagen e-Golf:

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{\frac{18,5814 \text{ kWh/kWp}}{12 \text{ mj}}} = 22,96 \text{ kWp}$$

BMW i3:

$$\frac{42,11 \text{ kWh}}{\frac{18,5814 \text{ kWh/kWp}}{12 \text{ mj}}} = 27,19 \text{ kWp}$$

Odnosno za najgore uvjete, to je omjer izlazne dnevne snage fotonaponskog modula i najmanje prosječne dnevne proizvodnje električne energije:

Volkswagen e-Golf (najgori uvjeti):

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{0,7714 \text{ kWh/kWp}} = 46,09 \text{ kWp}$$

BMW i3 (najgori uvjeti):

$$\frac{42,11 \text{ kWh}}{0,7714 \text{ kWh/kWp}} = 54,59 \text{ kWp}$$

Naposljetku, broj potrebnih fotonaponskih modula dobiven je omjerom potrebne instalirane snage s vršnom snagom fotonaponskog modula:

Volkswagen e-Golf:

$$\frac{22,96 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 45 = 45 \text{ kom FN modula}$$

Volkswagen e-Golf (najgori uvjeti):

$$\frac{46,09 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 90,37 = 91 \text{ kom FN modula}$$

U konačnici se dolazi do rješenja da će za lokaciju Rijeka (45.338, 14.425), biti potrebno instalirati 45 FN modula JS210MC150 proizvođača JS Solar za punjenje automobila Volkswagen e-Golf, odnosno 91 FN modul ako se koriste podaci pri najgorim uvjetima.

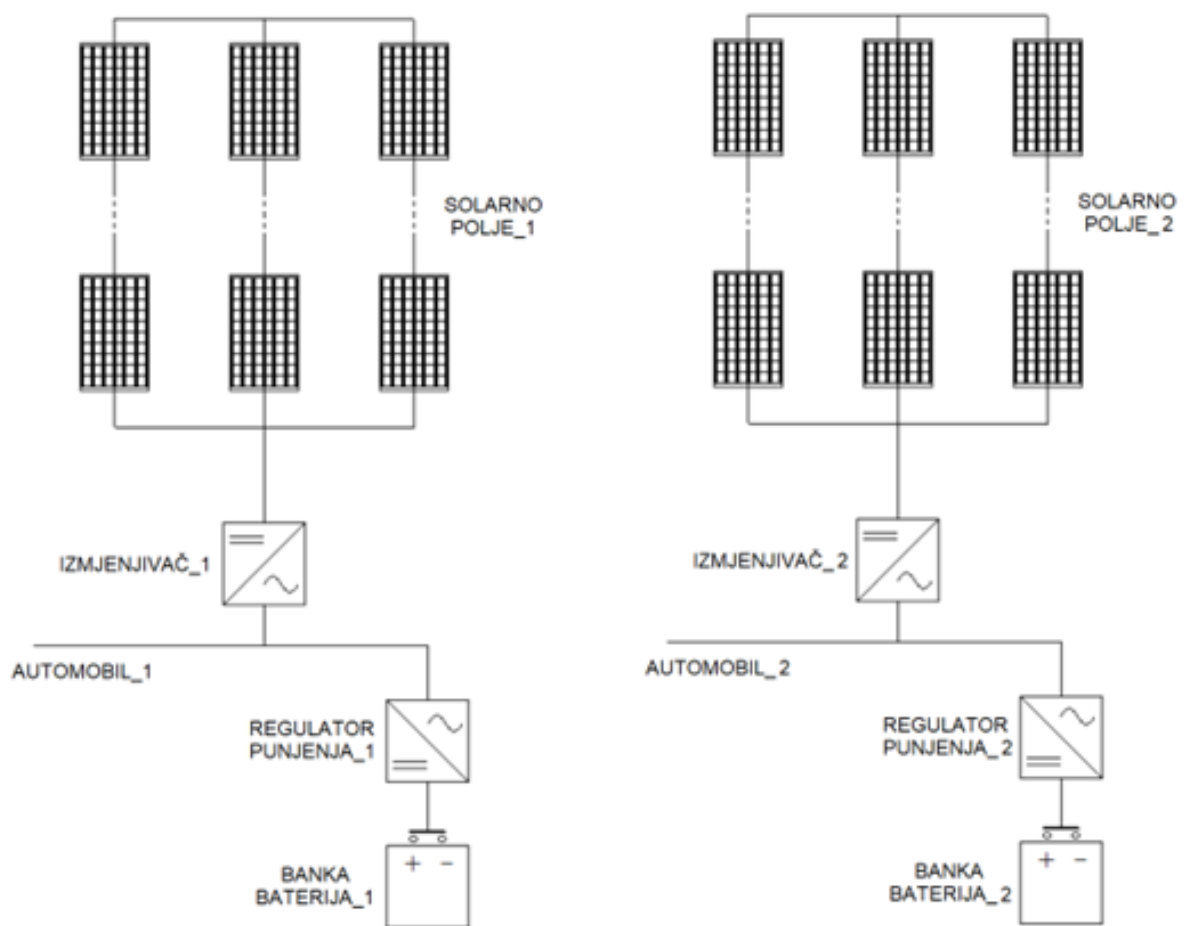
BMW i3:

$$\frac{27,19 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 53,31 = 54 \text{ kom FN modula}$$

BMW i3 (najgori uvjeti):

$$\frac{54,59 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 107 = 107 \text{ kom FN modula}$$

U konačnici se dolazi do rješenja da će za lokaciju Rijeka (45.338, 14.425), biti potrebno instalirati 54 FN modula JS210MC150 proizvođača JS Solar za punjenje automobila BMW i3, odnosno 107 FN modula ako se koriste podaci pri najgorim uvjetima.



*Slika 4.10. Shema spajanja osnovnih elemenata fotonaponske punionice električnih vozila
[obrada autora, ProfiCAD]*

Slikom 4.10. prikazana je shema osnovnog spajanja elemenata autonomne fotonaponske punionice električnih vozila iz prethodnog proračuna, kako bi se odredila ukupna površina nadstrešnice na koju je potrebno instalirati navedene module, pomnožit će se površina jednog modula s njihovim ukupnim brojem potrebnim za oba vozila. Primjer izgleda takve punionice prikazan je slikom 4.11.

$$(45 + 54) \cdot 2,41 = 238,59 \text{ m}^2$$

Za najgore uvjete površina će iznositi:

$$(91 + 107) \cdot 2,41 = 477,18 \text{ m}^2$$



Slika 4.11. Prikaz rješenja fotonaponskog sustava za punjenje električnih vozila

4.4.2. PVGIS – lokacija Vrbovsko

Unosom koordinata (45.373, 15.077), uz zadržavanje svih ostalih početnih uvjeta dobiveni su podaci prikazani tablicom 4.4. o prosječnoj dnevnoj proizvodnji električne energije na zadanoj lokaciji unutar jedne godine.

Tablica 4.4. Prosječna dnevna proizvodnja električne energije na lokaciji Vrbovsko

mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ed (Wh)	686,5	902	1313,5	1612,9	1686,4	1955,5	2013,5	1819,3	1384,4	990,3	610,7	645,4

($\sum E_d = 15619,9 \text{ Wh}$)

Za dobivanje potrebnog broja fotonaponskih modula na lokaciji Vrbovsko, nužno je poznavati iznos instalirane snage, a kako bi se on odredio potrebno je izlaznu dnevnu snagu fotonaponskog modula podijeliti s prosječnom dnevnom proizvodnjom električne energije:

Volkswagen e-Golf:

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{\frac{15619,9 \text{ kWh/kWp}}{12 \text{ mj}}} = 27,31 \text{ kWp}$$

BMW i3:

$$\frac{\frac{42,11 \text{ kWh}}{15,6199 \text{ kWh/kWp}}}{12 \text{ mj}} = 32,35 \text{ kWp}$$

Odnosno kako bi punionica zadovoljavala potrebe punjenja i pri najslabijoj osunčanosti u bilo kojem trenutku, nužan je podatak dnevne proizvodnje električne energije u mjesecu najmanje osunčanosti. Iz tablice 4.4. vidljivo je da se radi o mjesecu studenome, kada je $E_d = 610,7 \text{ Wh} = 0,6107 \text{ kWh}$.

Nadalje je izlaznu dnevnu snagu fotonaponskog modula potrebno podijeliti s najmanjom prosječnom dnevnom proizvodnjom električne energije:

Volkswagen e-Golf (najgori uvjeti):

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{0,6107 \text{ kWh/kWp}} = 58,21 \text{ kWp}$$

BMW i3 (najgori uvjeti):

$$\frac{42,11 \text{ kWh}}{0,6107 \text{ kWh/kWp}} = 68,95 \text{ kWp}$$

Naposljetku, broj potrebnih fotonaponskih modula dobiven je omjerom potrebne instalirane snage s vršnom snagom fotonaponskog modula:

Volkswagen e-Golf:

$$\frac{27,31 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 53,55 = 54 \text{ kom FN modula}$$

Volkswagen e-Golf (najgori uvjeti):

$$\frac{58,21 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 114,14 = 115 \text{ kom FN modula}$$

U konačnici se dolazi do rješenja da će za lokaciju Vrbovsko (45.373, 15.077), biti potrebno instalirati 54 FN modula JS210MC150 proizvođača JS Solar za punjenje automobila Volkswagen e-Golf, odnosno 115 FN modula ako se koriste podaci pri najgorim uvjetima.

BMW i3:

$$\frac{32,35 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 63,43 = 64 \text{ kom FN modula}$$

BMW i3 (najgori uvjeti):

$$\frac{68,98 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 135,2 = 136 \text{ kom FN modula}$$

U konačnici se dolazi do rješenja da će za lokaciju Vrbovsko (45.373, 15.077), biti potrebno instalirati 64 FN modula JS210MC150 proizvođača JS Solar za punjenje automobila BMW i3, odnosno 136 FN modula ako se koriste podaci pri najgorim uvjetima.

Kako bi se odredila ukupna površina nadstrešnice na koju je potrebno instalirati navedene module, pomnožit će se površina jednog modula s njihovim ukupnim brojem potrebnim za oba vozila.

$$(54 + 64) \cdot 2,41 = 284,38 \text{ m}^2$$

Za najgore uvjete površina će iznositi:

$$(115 + 136) \cdot 2,41 = 604,91 \text{ m}^2$$

4.4.3. PVGIS – lokacija Dubrovnik

Unosom koordinata (42.644, 18.100), uz zadržavanje svih ostalih početnih uvjeta dobiveni su podaci prikazani tablicom 4.5. o prosječnoj dnevnoj proizvodnji električne energije na zadanoj lokaciji unutar jedne godine.

Tablica 4.5. Prosječna dnevna proizvodnja električne energije na lokaciji Dubrovnik

mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ed (Wh)	1042,2	1315,8	1671,6	2013,2	2196	2395,5	2491,3	2395,8	1965,2	1529,1	1043,5	1034

($\sum E_d = 21093,4 \text{ Wh}$)

Za dobivanje potrebnog broja fotonaponskih modula na lokaciji Dubrovnik, nužno je poznavati iznos instalirane snage, a kako bi se on odredio potrebno je izlaznu dnevnu snagu fotonaponskog modula podijeliti s prosječnom dnevnom proizvodnjom električne energije:

Volkswagen e-Golf:

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{\frac{21,0934 \text{ kWh/kWp}}{12 \text{ mj}}} = 20,22 \text{ kWp}$$

BMW i3:

$$\frac{42,11 \text{ kWh}}{\frac{21,0934 \text{ kWh/kWp}}{12 \text{ mj}}} = 23,96 \text{ kWp}$$

Odnosno kako bi punionica zadovoljavala potrebe punjenja i pri najslabijoj osunčanosti u bilo kojem trenutku, nužan je podatak dnevne proizvodnje električne energije u mjesecu najmanje osunčanosti. Iz tablice 4.5. vidljivo je da se radi o mjesecu prosincu, kada je $E_d = 1034 \text{ Wh} = 1,034 \text{ kWh}$.

Nadalje je izlaznu dnevnu snagu fotonaponskog modula potrebno podijeliti s najmanjom prosječnom dnevnom proizvodnjom električne energije:

Volkswagen e-Golf (najgori uvjeti):

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{1,034 \text{ kWh/kWp}} = 34,38 \text{ kWp}$$

BMW i3 (najgori uvjeti):

$$\frac{42,11 \text{ kWh}}{1,034 \text{ kWh/kWp}} = 40,725 \text{ kWp}$$

Naposljetku, broj potrebnih fotonaponskih modula dobiven je omjerom potrebne instalirane snage s vršnom snagom fotonaponskog modula:

Volkswagen e-Golf:

$$\frac{20,22 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 39,65 = 40 \text{ kom FN modula}$$

Volkswagen e-Golf (najgori uvjeti):

$$\frac{34,38 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 67,41 = 68 \text{ kom FN modula}$$

U konačnici se dolazi do rješenja da će za lokaciju Dubrovnik (42.644, 18.100), biti potrebno instalirati 40 FN modula JS210MC150 proizvođača JS Solar za punjenje automobila Volkswagen e-Golf, odnosno 68 FN modula ako se koriste podaci pri najgorim uvjetima.

BMW i3:

$$\frac{23,96 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 46,98 = 47 \text{ kom FN modula}$$

BMW i3 (najgori uvjeti):

$$\frac{40,725 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 79,85 = 80 \text{ kom FN modula}$$

U konačnici se dolazi do rješenja da će za lokaciju Dubrovnik (42.644, 18.100), biti potrebno instalirati 47 FN modula JS210MC150 proizvođača JS Solar za punjenje automobila BMW i3, odnosno 80 FN modula ako se koriste podaci pri najgorim uvjetima.

Kako bi se odredila ukupna površina nadstrešnice na koju je potrebno instalirati navedene module, pomnožit će se površina jednog modula s njihovim ukupnim brojem potrebnim za oba vozila.

$$(40 + 47) \cdot 2,41 = 209,67 \text{ m}^2$$

Za najgore uvjete površina će iznositi:

$$(68 + 80) \cdot 2,41 = 356,68 \text{ m}^2$$

4.4.4. PVGIS – lokacija Zagreb

Unosom koordinata (45.782, 15.938), uz zadržavanje svih ostalih početnih uvjeta dobiveni su podaci prikazani tablicom 4.6. o prosječnoj dnevnoj proizvodnji električne energije na zadanoj lokaciji unutar jedne godine.

Tablica 4.6. Prosječna dnevna proizvodnja električne energije na lokaciji Zagreb

mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ed (Wh)	739,4	1010,4	1525,3	1891,2	1974,9	2164,2	2168,6	2010,4	1614,2	1170,6	685,6	626,5

$$(\sum E_d = 17581,3 \text{ Wh})$$

Za dobivanje potrebnog broja fotonaponskih modula na lokaciji Zagreb, nužno je poznavati iznos instalirane snage, a kako bi se on odredio potrebno je izlaznu dnevnu snagu fotonaponskog modula podijeliti s prosječnom dnevnom proizvodnjom električne energije:

Volkswagen e-Golf:

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{\frac{17,5813 \text{ kWh/kWp}}{12 \text{ mj}}} = 24,26 \text{ kWp}$$

BMW i3:

$$\frac{42,11 \text{ kWh}}{\frac{17,5813 \text{ kWh/kWp}}{12 \text{ mj}}} = 28,74 \text{ kWp}$$

Odnosno kako bi punionica zadovoljavala potrebe punjenja i pri najslabijoj osunčanosti u bilo kojem trenutku, nužan je podatak dnevne proizvodnje električne energije u mjesecu najmanje osunčanosti. Iz tablice 4.6. vidljivo je da se radi o mjesecu prosincu, kada je $E_d = 626,5 \text{ Wh} = 0,6265 \text{ kWh}$.

Nadalje je izlaznu dnevnu snagu fotonaponskog modula potrebno podijeliti s najmanjom prosječnom dnevnom proizvodnjom električne energije:

Volkswagen e-Golf (najgori uvjeti):

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{0,6265 \text{ kWh/kWp}} = 56,74 \text{ kWp}$$

BMW i3 (najgori uvjeti):

$$\frac{42,11 \text{ kWh}}{0,6265 \text{ kWh/kWp}} = 67,21 \text{ kWp}$$

Naposljetku, broj potrebnih fotonaponskih modula dobiven je omjerom potrebne instalirane snage s vršnom snagom fotonaponskog modula:

Volkswagen e-Golf :

$$\frac{24,26 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 47,57 = 48 \text{ kom FN modula}$$

Volkswagen e-Golf (najgori uvjeti):

$$\frac{56,74 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 111,25 = 112 \text{ kom FN modula}$$

U konačnici se dolazi do rješenja da će za lokaciju Zagreb (45.782, 15.938), biti potrebno instalirati 48 FN modula JS210MC150 proizvođača JS Solar za punjenje automobila Volkswagen e-Golf, odnosno 112 FN modula ako se koriste podaci pri najgorim uvjetima.

BMW i3:

$$\frac{28,74 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 56,35 = 57 \text{ kom FN modula}$$

BMW i3 (najgori uvjeti):

$$\frac{67,21 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 131,78 = 132 \text{ kom FN modula}$$

U konačnici se dolazi do rješenja da će za lokaciju Zagreb (45.782, 15.938), biti potrebno instalirati 57 FN modula JS210MC150 proizvođača JS Solar za punjenje automobila BMW i3, odnosno 132 FN modula ako se koriste podaci pri najgorim uvjetima.

Kako bi se odredila ukupna površina nadstrešnice na koju je potrebno instalirati navedene module, pomnožit će se površina jednog modula s njihovim ukupnim brojem potrebnim za oba vozila.

$$(48 + 57) \cdot 2,41 = 253,05 \text{ m}^2$$

Za najgore uvjete površina će iznositi:

$$(112 + 132) \cdot 2,41 = 588 \text{ m}^2$$

4.4.5. PVGIS – lokacija Osijek

Unosom koordinata (45.554, 18.690), uz zadržavanje svih ostalih početnih uvjeta dobiveni su podaci prikazani tablicom 4.7. o prosječnoj dnevnoj proizvodnji električne energije na zadanoj lokaciji unutar jedne godine.

Tablica 4.7. Prosječna dnevna proizvodnja električne energije na lokaciji Osijek

mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ed (Wh)	714,6	979,4	1541	1928,8	1996,8	2180,1	2231,9	2125,5	1705,2	1331,2	835,3	611,9

($\sum E_d = 18181,7 \text{ Wh}$)

Za dobivanje potrebnog broja fotonaponskih modula na lokaciji Osijek, nužno je poznavati iznos instalirane snage, a kako bi se on odredio potrebno je izlaznu dnevnu snagu fotonaponskog modula podijeliti s prosječnom dnevnom proizvodnjom električne energije:

Volkswagen e-Golf:

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{\frac{18,1817 \text{ kWh/kWp}}{12 \text{ mj}}} = 23,46 \text{ kWp}$$

BMW i3:

$$\frac{42,11 \text{ kWh}}{\frac{18,1817 \text{ kWh/kWp}}{12 \text{ mj}}} = 27,79 \text{ kWp}$$

Odnosno kako bi punionica zadovoljavala potrebe punjenja i pri najslabijoj osunčanosti u bilo kojem trenutku, nužan je podatak dnevne proizvodnje električne energije u mjesecu najmanje osunčanosti. Iz tablice 4.4. vidljivo je da se radi o mjesecu prosincu, kada je $E_d = 611,9 \text{ Wh} = 0,6119 \text{ kWh}$.

Nadalje je izlaznu dnevnu snagu fotonaponskog modula potrebno podijeliti s najmanjom prosječnom dnevnom proizvodnjom električne energije:

Volkswagen e-Golf (najgori uvjeti):

$$\frac{35,55 \text{ kWh}}{0,6119 \text{ kWh/kWp}} = 58,09 \text{ kWp}$$

BMW i3 (najgori uvjeti):

$$\frac{42,11 \text{ kWh}}{0,6119 \text{ kWh/kWp}} = 68,82 \text{ kWp}$$

Naposljetku, broj potrebnih fotonaponskih modula dobiven je omjerom ukupne potrebne instalirane snage s vršnom snagom fotonaponskog modula:

Volkswagen e-Golf:

$$\frac{23,46 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 46 = 46 \text{ kom FN modula}$$

Volkswagen e-Golf (najgori uvjeti):

$$\frac{58,09 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 113,9 = 114 \text{ kom FN modula}$$

U konačnici se dolazi do rješenja da će za lokaciju Osijek (45.554, 18.690), biti potrebno instalirati 46 FN modula JS210MC150 proizvođača JS Solar za punjenje automobila Volkswagen e-Golf, odnosno 114 FN modula ako se koriste podaci pri najgorim uvjetima.

BMW i3:

$$\frac{27,79 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 54,49 = 55 \text{ kom FN modula}$$

BMW i3 (najgori uvjeti):

$$\frac{68,86 \text{ kWp}}{510 \text{ Wp}} = 135 = 135 \text{ kom FN modula}$$

U konačnici se dolazi do rješenja da će za lokaciju Osijek (45.554, 18.690), biti potrebno instalirati 55 FN modula JS210MC150 proizvođača JS Solar za punjenje automobila BMW i3, odnosno 135 FN modula ako se koriste podaci pri najgorim uvjetima.

Kako bi se odredila ukupna površina nadstrešnice na koju je potrebno instalirati navedene module, pomnožit će se površina jednog modula s njihovim ukupnim brojem potrebnim za oba vozila.

$$(46 + 55) \cdot 2,41 = 243,41 \text{ m}^2$$

Za najgore uvjete površina će iznositi:

$$(114 + 135) \cdot 2,41 = 600 \text{ m}^2$$

4.5. Odabir izmjenjivača

Solarni izmjenjivači dijelovi su solarnog sustava koji pretvaraju istosmjernu struju (DC), iz fotonaponskih panela, u izmjeničnu struju (AC), koju koriste trošila. Pri tome izmjenjivači mogu proizvesti izlazni napon i frekvenciju točno određenog iznosa.

Kako bi se odredilo koji solarni izmjenjivač koristiti, potrebno je poznavati što se dešava pri međusobnom spajanju fotonaponskih modula u tzv. „stringove“ (nizove). Također nije dobro pretjerivati sa snagom izmjenjivača u odnosu na snagu fotonaponskog polja, jer će veće snage izmjenjivača u tom slučaju smanjiti stupanj korisnosti sustava. Ako fotonaponske module spajamo u serijski spoj, zbrajaju se naponi modula u napon niza; uz zadržavanje iste struje koja protječe kroz sve module. Ako fotonaponske module spajamo u paralelni spoj, zbrajaju se struje nizova; uz zadržavanje istog napona niza.

Za odabir potrebnog modela izmjenjivača potrebno je najprije izračunati maksimalnu struju i napon koju može proizvesti jedno solarno polje. Važno je napomenuti kako će se izmjenjivači razlikovati u ovisnosti o lokaciji računate fotonaponske punionice zbog samog broja fotonaponskih panela (odnosno snage sustava), no mogu se razlikovati i o automobilu koji se puni (odnosno veličini trošila, kojih je u ovom primjeru dva) [15,18].

Računat će se s podacima dobivenima za lokaciju Rijeka (45.338, 14.425), gdje je bilo potrebno 45 FN modula za punjenje Volkswagen e-Golfa, te 54 FN modula za punjenje vozila BMW i3.

45 FN modula spojiti će se tako da se unutar jednog niza nalazi 15 modula, dakle ukupni broj nizova bit će 3. Ukupni napon jednog niza jednak je ukupnom naponu cijelog solarnog polja, a dobiva ga se tako da se broj serijski spojenih modula u nizu pomnoži s naponom praznog hoda FN modula kojega se može iščitati iz podataka danih od proizvođača, odnosno [15,17]:

$$52,1 V \cdot 15kom = 781,5 V$$

781,5 V ujedno je i maksimalni napon koji se smije pojaviti na ulaznim stezaljkama izmjenjivača, te je pri odabiru izmjenjivača potrebno pripaziti kako ta vrijednost ne bi bila veća od vrijednosti ulaznog napona samog izmjenjivača. Ako se na stezaljkama izmjenjivača pojavi napon veći od maksimalno dozvoljenog, može doći do oštećenja, obzirom na to da izmjenjivač nema zaštitu od previsoke razine ulaznog napona [15,17].

Za izračun ukupne struje solarnog polja potrebno je pomnožiti struju kratkog spoja FN modula s ukupnim brojem nizova, odnosno [15,17]:

$$12,42 \text{ A} \cdot 3 = 37,26 \text{ A}$$

37,26 A vrijednost je struje u svakome nizu, te je to vrijednost struje koja nikako ne smije biti veća od maksimalno dozvoljene struje na ulazu izmjenjivača.

Također potrebno je još izračunati i ukupnu snagu solarnog polja, koja se dobije umnoškom snage FN modula i količine FN modula:

$$510 \text{ Wp} \cdot 45 \text{ kom} = 22,950 \text{ kW}$$

Dakle pomoću prethodno izračunatih podataka i navedenih kriterija potrebno je pronaći izmjenjivač koji će odgovarati ovom sustavu autonomne punionice električnih vozila. SKYWORTH SP 30KTL-D3 (prikazan slikom 4.12.) izmjenjivač je koji zadovoljava te kriterije, a neki od osnovnih podataka koje proizvođač navodi za njega su: maksimalna snaga 30000 W, maksimalni ulazni napon 1000 V, maksimalna ulazna struja 81 A, korisnost 98,6% [19].



Slika 4.12. Solarni izmjenjivač SKYWORTH SP 30KTL-D3 [19]

Navedeni izmjenjivač dakle odgovara i ispunjava kriterije prilikom punjenja Volkswagen e-Golfa, no u nastavku je potrebno provjeriti može li se koristiti i u sustavu za punjenje BMW i3 vozila, ili je pak potrebno pronaći izmjenjivač drugih specifikacija. 54 fotonaponskih modula na lokaciji Rijeka (45.338, 14.425) također će biti spojeni unutar 3 niza. Dakle jedan niz će sadržavati 18 FN modula.

Izračun ukupnog napona solarnog polja (punjenje BMW i3 vozila):

$$52,1 V \cdot 18 \text{ kom} = 937,8 V$$

$$833,6 V < 1000 V \checkmark$$

Izračun ukupne struje solarnog polja (punjenje BMW i3 vozila):

$$12,42 A \cdot 3 = 37,26 A$$

$$37,26 A < 81 A \checkmark$$

Izračun ukupne snage solarnog polja (punjenje BMW i3 vozila):

$$510 Wp \cdot 54 \text{ kom} = 27,540 kW$$

$$27,54 kW < 30 kW \checkmark$$

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da će izmjenjivač SKYWORTH SP 30KTL-D3 ispunjavati kriterije i biti pogodan za punjenje oba automobila na lokaciji Rijeka.

Isti proračun ponavlja se s najgorim uvjetima, isključivo radi usporedbe. Pri najgorim uvjetima na lokaciji Rijeka (45.338, 14.425), potreban je 91 FN modul za punjenje Volkswagen e-Golfa, te 107 FN modula za punjenje vozila BMW i3. Broj nizova u oba sustava bit će 7; odnosno 13 FN modula nalazit će se unutar jednog niza u sustavu punjenja Volkswagen e-Golfa, dok će za punjenje vozila BMW i3, 2 niza sadržavati 16 FN modula, te preostala 4 niza 15 FN modula.

Za Volkswagen e-Golf (najgori uvjeti):

$$52,1 V \cdot 13 \text{ kom} = 677,3 V$$

$$12,42 A \cdot 7 = 86,94 A$$

$$510 Wp \cdot 91 \text{ kom} = 46,410 kW$$

Za BMW i3 (najgori uvjeti):

$$52,1 V \cdot 16 \text{ kom} = 833,6 V$$

$$12,42 A \cdot 7 = 86,94 A$$

$$510 Wp \cdot 107 \text{ kom} = 54,570 kW$$

Iz dobivenih rezultata, i prethodno navedenih kriterija pronalazimo izmjenjivač koji će odgovarati u oba sustava za najgore uvjete izračuna. LTC50000 (prikazan slikom 4.13.) izmjenjivač je koji zadovoljava kriterije u oba sustava, a neki od osnovnih podataka koje proizvođač navodi za njega su: maksimalna snaga 55000 W, maksimalni ulazni napon 850 V, maksimalna ulazna struja 150 A, korisnost 98,6% [20].



Slika 4.13. Solarni izmjenjivač LTC50000 [20]

Tablicom 4.8. u nastavku prikazane su vrijednosti za preostale lokacije i uvjete izračuna koje je potrebno uspoređivati s vrijednostima izmjenjivača prilikom njegova odabira. Podaci su izračunati s pretpostavkom da je broj nizova pri prosječnim uvjetima jednak 3, dok pri najgorim jednak 7.

Tablica 4.8. Podaci za odabir izmjenjivača pri različitim lokacijama i uvjetima izračuna

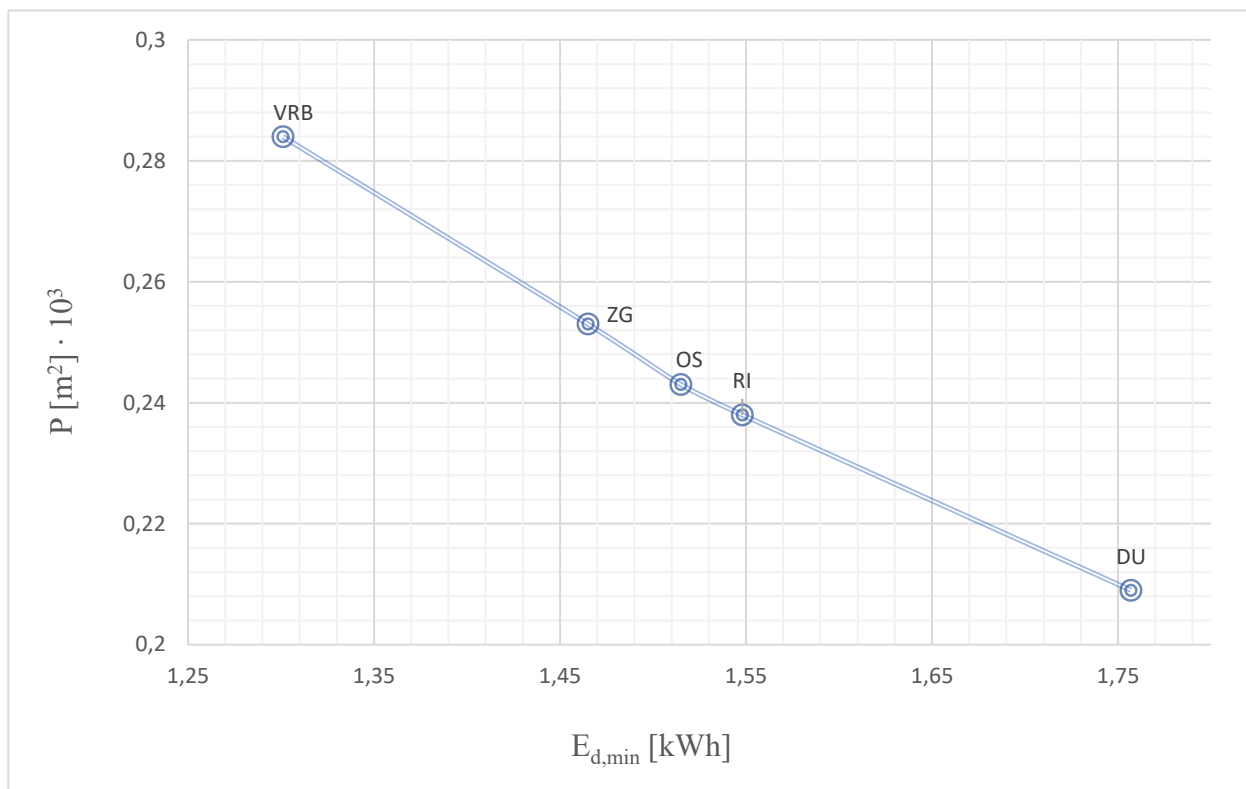
Lokacija	Volkswagen e-Golf		BMW i3		
		Prosječni uvjeti	Najgori uvjeti	Prosječni uvjeti	Najgori uvjeti
Vrbovsko	U	937,8 V	885,7 V	1146,2 V	1042 V
	I	37,26 A	86,94 A	37,26 A	86,94 A
	P	27540 W	58650 W	32640 W	69360 W
Dubrovnik	U	729,4 V	521 V	833,6 V	625,2 V
	I	37,26 A	86,94 A	37,26 A	86,94 A
	P	20400 W	34680 W	23970 W	40800 W
Zagreb	U	833,6 V	833,6 V	989,9 V	989,9 V
	I	37,26 A	86,94 A	37,26 A	86,94 A
	P	24480 W	57120 W	29070 W	67320 W
Osijek	U	833,6 V	885,7 V	989,9 V	1042 V
	I	37,26 A	86,94 A	37,26 A	86,94 A
	P	23460 W	58140 W	28050 W	68850 W

4.6. Usporedba fotonaponskih punionica pri različitim lokacijama

Nakon svih provedenih izračuna, na različitim lokacijama, i različitim uvjetima izračuna, za oba tipa vozila, iz rezultata je vidljivo da će se punionicu koja se nalazi na lokaciji s najvećim sunčevim zračenjem, odnosno najvećom godišnjom proizvodnjom energije moći dimenzionirati tako da sadrži manje fotonaponskih modula za dobitak jednake izlazne snage. Odnos ovisnosti dnevnog zračenja (prosječnog) i veličine (površine) fotonaponskih modula vidljiv je na slici 4.14. kao i uspoređen u tablici 4.9. danoj u nastavku.

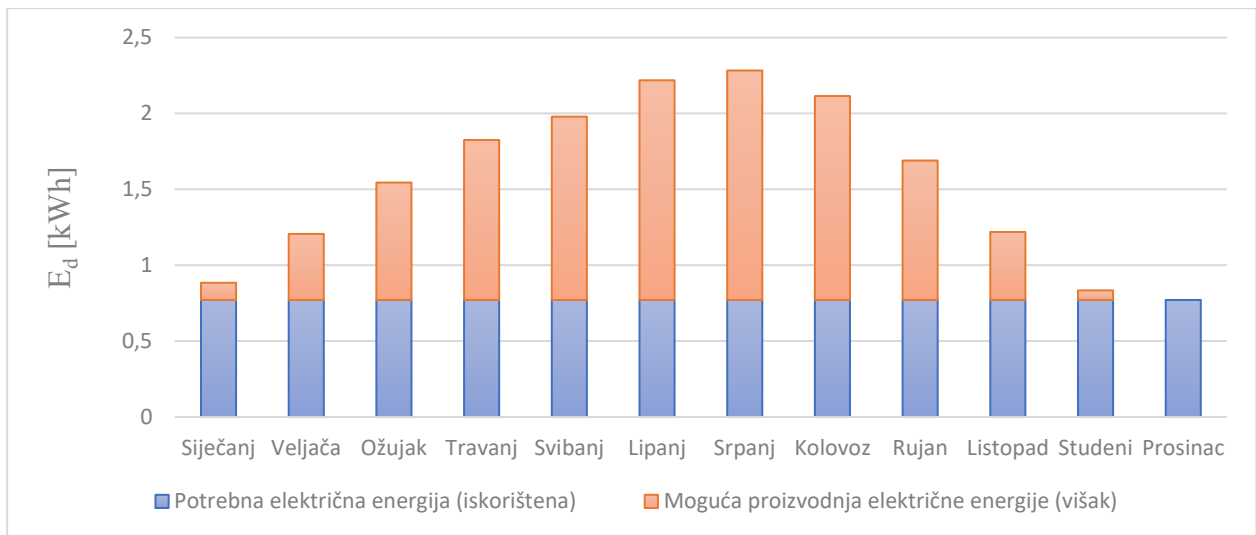
Tablica 4.9. Odnos ovisnosti dnevne snage zračenja s površinom fotonaponske punionice na različitim lokacijama

Lokacija	$E_{d,min}$ [Wh]	P [m ²]
Dubrovnik (DU)	1757,78	209,67
Rijeka (RI)	1548,45	238,59
Osijek (OS)	1515,14	243,41
Zagreb (ZG)	1465,11	253,05
Vrbovsko (VRB)	1301,66	284,38



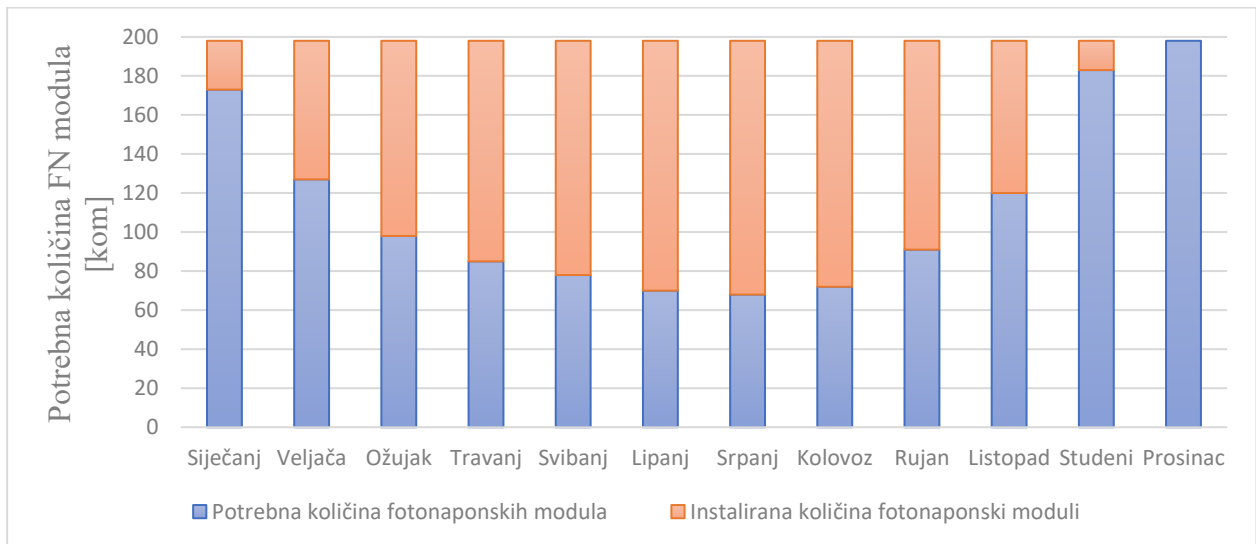
Slika 4.14. Usporedba ovisnosti dnevne snage zračenja s površinom fotonaponske punionice na različitim lokacijama

Iz slike 4.14. vidljivo je da je omjer površine i snage zračenja gotovo linearan. No također iz dobivenih rezultata vidljivo je i kako bi za punjenje potrebnom snagom bila potrebna enormno velika površina i broj fotonaponskih modula. Također ako se koriste podaci dobiveni iz najgorih uvjeta; površina sustava još je veća, a događalo bi se i rasipanje dobivene električne energije u svim mjesecima unutar godine osim onoga mjeseca s najslabijom osunčanosti. Slike 4.15. i 4.16. u nastavku upravo to grafički i prikazuju (izračun pri najgorim uvjetima za lokaciju Rijeka).



Slika 4.15. Prikaz potrebne (iskorištene) i moguće (neiskorištene) električne energije računatog sustava pri najgorim uvjetima rada (lokacija Rijeka)

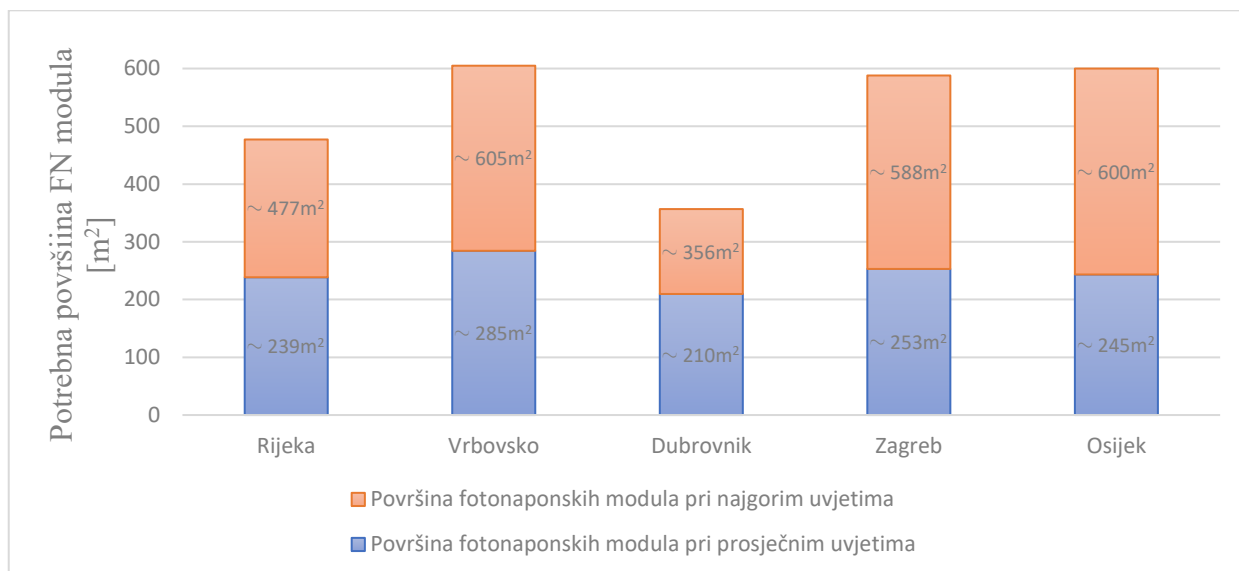
Slika 4.15. prikazuje kako bi sustav pri najgorim uvjetima rada bio 100% iskoristiv samo u mjesecu prosincu, dok bi u svim ostalim mjesecima proizvodio višak električne energije, koja bi nažalost bila neiskorištena odnosno rasipana. Kako bi se to izbjeglo, moguće je ugraditi dodatna trošila unutar autonomnog sustava, koja bi koristila višak električne energije u mjesecima unutar kojih se ona proizvodi. Primjeri tih trošila su rasvjeta punionice ili sustav hlađenja, s obzirom na to da je ono najviše potrebno baš u mjesecima kada je višak proizvedene električne energije najveći.



Slika 4.16. Prikaz potrebnog i instaliranog broja FN modula pri najgorim uvjetima rada (lokacija Rijeka)

Slikom 4.16. također je prikazano kako je izračunati sustav pri najgorim uvjetima predimenzioniran upravo u ljetnim mjesecima, kada je sunčevo zračenje najveće.

Slikom 4.17. u nastavku prikazan je omjer instalirane površine FN modula, u slučaju kada koristimo prosječne i najgore uvjete. Vidljivo je da je pri izračunu s prosječnim uvjetima potrebna mnogo manja površina FN modula za svaku od računatih lokacija, no tako bismo u određenim mjesecima imali manjak potrebne energije.



Slika 4.17. Prikaz površine FN modula pri najgorim i prosječnim uvjetima

S obzirom na to da su podaci izračuna korišteni s prosječnim uvjetima osunčanosti, u razdobljima kada uvjeti rada budu lošiji od prosjeka doći do nedostatka električne energije. Nedostatak energije u autonomnom sustavu nikako nije pogodan, te zaključujemo kako ovakav sustav nije pogodan za punjenje električnih vozila. Iako je električna energija dobivena fotonaponskim zračenjem potpuno besplatna, ovakav sustav ipak nije isplativ zbog svojih dimenzija i potrebnog broja elemenata čiji bi troškovi bili ekstremno veliki.

5. ZAKLJUČAK

Sektor prometa odgovoran je za otprilike četvrtinu ukupnih emisija CO₂ u Europskoj uniji, te je jedini sektor u kojemu su se u posljednja tri desetljeća emisije stakleničkih plinova uvećale, i to za čak 33.5%. Upravo zato u procesu dekarbonizacije pokušava se konvencionalna vozila, za čiji su rad potrebna fosilna goriva zamijeniti vozilima na električnu energiju. Dakako u obzir se moraju uzeti ne samo emisije CO₂ nastale tijekom vožnje, već i emisije uzrokovane njegovom proizvodnjom i odlaganjem. Stoga je najveći interes upravo na vozilima koja za punjenje koriste potpuno čistu i zelenu energiju. Odnosno električnu energiju dobivenu iz obnovljivih izvora energije.

Jedan takav sustav punjenja analiziran je u ovome radu, a električna energija dobivena je sunčevim zračenjem odnosno fotonaponom u autonomnom sustavu rada. S obzirom na to da bi takav sustav u svakome trenutku trebao osiguravati dovoljno energije za punjenje određenog vozila, lako je za izračunati da će u zimskim mjesecima odnosno razdoblju sa slabijim i kraćim sunčevim zračenjem to biti teže ostvarivo. Odnosno cijela punionica trebat će veću površinu za potrebe fotonaponskih modula, dok će ta ista punionica u ljetnim mjesecima biti predimenzionirana. Također ako izračun vršimo pri prosječnim uvjetima osunčanosti, u određenim mjesecima bit će manjka električne energije, što nije prihvatljivo. Stoga zaključujemo kako ovakav sustav punionice, iako izvediv, još uvijek nije dovoljno isplativ. Jer iako je električna energija dobivena sunčevim zračenjem potpuno besplatna i bez štetnog utjecaja na okoliš, sustav fotonapona zajedno sa svim ostalim potrebnim komponentama prevelikih je dimenzija i previsoke cijene da bi bio isplativ. No naravno za očekivati je da će se u skoroj budućnosti tehnologija razviti i poboljšati upravo ovakve sustave koji će znatno pridonijeti dekarbonizaciji. Time bi se dimenzije elemenata kao i njihova cijena trebale smanjiti i postati isplativije za korištenje.

LITERATURA

- [1] Ćurković, T. i dr.: „Učenje o elektromobilnosti u okviru projekta Learning E-Mobility“, Škola za cestovni promet Zagreb, Zagreb, 2017.
- [2] Sanguesa A. J. i dr.: „A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges“, MDPI, Basel, 2021.
- [3] Stojkov M. i dr.: „Električni automobil - povijest razvoja i sastavni dijelovi“, Osijek, 2014.
- [4] S Interneta, <https://n1info.hr/vijesti/zelite-prijeci-na-struju-ovo-su-glavne-prednosti-i-nedostaci-elektricnih-vozila/> (pristupljeno 19.07.2023.)
- [5] S Interneta, <https://www.bmw.com/en/innovation/Plug-in-hybrid-and-other-kinds-of-electric-cars.html> (pristupljeno 05.05.2023.)
- [6] <https://circuitdigest.com/article/different-types-of-motors-used-in-electric-vehicles-ev> (pristupljeno 21.07.2023.)
- [7] Wind J.: „Hydrogen-fueled road automobiles – Passenger cars and buses“, 2016.
- [8] <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/fsev/power.pdf> (pristupljeno 24.07.2023.)
- [9] <https://www.caranddriver.com/features/a39493798/ev-motors-explained/> (pristupljeno 25.07.2023.)
- [10] <https://pcchip.hr/elektricna-vozila/baterije-za-elektricne-automobile/> (pristupljeno 28.07.2023.)
- [11] <https://hr.bloombergadria.com/tehnologija/inovacije/26364/broj-e-vozila-u-eu-raste-tri-puta-brze-od-punionica/news> (08.08.2023.)
- [12] Labudović B.: „Osnovne primjene fotonaponskih sustava“, Energetika marketing, Zagreb, 2011.
- [13] Majdandžić LJ.: „Solarni sustavi“, Graphis, Zagreb, 2010.
- [14] <https://ev-database.org> (pristupljeno 20.06.2023.)
- [15] Zdenković, J. i dr.: „Fotonaponski otočni sustavi“, Schrack Technik Zagreb, 2022.
- [16] <https://n1info.hr/magazin/auto/koliko-energije-pri-punjenju-gube-elektricni-automobili/> (pristupljeno 1.07.2023.)
- [17] <https://www.jssolar.com/public/upload/20221206/ebf8dee8fa5c2f2f14643f92467e4db5.pdf> (pristupljeno 07.05.2023.)
- [18] <http://hr.solar-led-lights.com/info/tips-to-connect-solar-panels-together-31258631.html> (pristupljeno 07.07.2023.)
- [19] <http://hr.skyworth-pv.com/solar-inverter/30kw-3-phase-hybrid-inverter.html> (pristupljeno 17.07.2023.)
- [20] <https://www.inverter.com/solar-inverter> (pristupljeno 08.07.2023.)

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Unutar ovoga rada izveden je proračun izgradnje autonomne fotonaponske punionice za električna vozila pri različitim lokacijama uz iste početne uvjete. Punionice su projektirane kroz dva odvojena sustava za punjenje automobila različite specifikacije zbog usporedbe pri svakom koraku proračuna. Zbog ovisnosti fotonaponskog sustava o vremenskim prilikama vidljiva je nejednolika proizvodnja električne energije tijekom godine, stoga je proračun izveden koristeći prosječne i koristeći najgore moguće uvjete, a rezultati ukazuju na potrebe velikih dimenzija ovakvog tipa punionica.

Također unutar rada opisan je i princip rada električnih vozila, njihova podjela, kao i osnovni dijelovi takvog pogona. Električna vozila uspoređena su s konvencionalnim vozilima, te su navedene sve prednosti i nedostaci korištenja takvog tipa vozila.

Ključne riječi: električna vozila, baterija, elektromotor, izmjenjivač, PVGIS, punionice, fotonapon, autonomni sustavi

ABSTRACT AND KEY WORDS

In this thesis a calculation for a construction of a photovoltaic (PV-powered) electric vehicle charging station has been made for the charging stations located at different places under the same starting conditions. The charging stations have been developed by way of two separate vehicle charging systems displaying different specifications to enable comparison between them at every step of the calculation. Since photovoltaic systems are dependable upon weather conditions, the inconsistent electric power production has been observed throughout the year; therefore, the calculation has been made on the basis of the average and worst possible conditions resulting in values which point to the necessity to construct such charging stations in vast dimensions.

The operating principle of electric vehicles has been explained in the thesis, the classification of such vehicles has been made and the basic parts of the propulsion system described. Electric vehicles have been compared to conventional ones putting forward all advantages and disadvantages of this type of vehicles.

Key words: electric vehicles, battery, electromotor, inverter, PVGIS, charging stations, photovoltaics, autonomous systems