

# Proračun FN sustava za punjenje električnih vozila

---

**Domladovac, Dario**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:812383>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-30**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

DARIO DOMLADOVAC

**PRORAČUN FN SUSTAVA ZA PUNJENJE  
ELEKTRIČNIH VOZILA**

**ZAVRŠNI RAD**

KARLOVAC, 2015.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

DARIO DOMLADOVAC

**PRORAČUN FN SUSTAVA ZA PUNJENJE  
ELEKTRIČNIH VOZILA**

**ZAVRŠNI RAD**

Mentor: Prof. dr. sc. Ljubomir Majdandžić

KARLOVAC, 2015.



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU STROJARSKI ODJEL

Specijalistički diplomski stručni studij

Usmjerenje: Strojarske konstrukcije

Karlovac, 07.01.2015.

### ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Dario Domladovac

Matični broj: **0111412020**

Naslov: **PRORAČUN FN SUSTAVA ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA**

Opis zadatka:

Rad mora obuhvatiti proračun fotonaponskog sustava za punjenje tri električna vozila s nadstržnice tih vozila. Također je potrebno opisati i dati vrste punionica i konektora za električna vozila.

Radom je potrebno opisati i dati usporedbu električnih motora i motora s unutarnjim izgaranjem (benzinskih i dizel motora). Potrebno je usporediti glavne djelove električnih motora s benzinskim i dizel motorima.

Osobito je potrebno analizirati potrošnju energije za različite modele vozila kao i cijenu i troškove održavanja.

Na kraju treba dati opći utjecaj i doprinos električnih vozila zaštiti okoliša i smanjenju emisije ugljikova dioksida.

Zadatak izraditi i opremiti sukladno Pravilniku o završnom ispitu VUK-a.

Zadatak zadan:  
07.01.2015.

Rok predaje rada:  
20.04.2015.

Predviđeni datum obrane:  
29.04.2015.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog  
povjerenstva:

Prof. dr.sc. Ljubomir Majdandžić

Marijan Brozović, dipl.ing.

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno, koristeći se prvenstveno vlastitim znanjem stečenim na Veleučilištu u Karlovcu, navedenom stručnom literaturom, internetom, te uz stručno vodstvo i pomoć mentora Prof. dr. sc. Ljubomira Majdandžića.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem svom mentoru, Prof. dr. sc. Ljubomiru Majdandžiću na predloženoj temi za ovaj završni rad, te na razumijevanju i pomoći pri samoj izradi rada. Također se zahvaljujem svojoj obitelji na strpljenju i pomoći kad je bilo najteže.

Karlovac, 2015.

Dario Domladovac

---

## **SAŽETAK**

U ovom završnom radu dana je usporedba električnih i konvencionalnih automobila (benzin/dizel), usporedba njihovih motora te ostalih glavnih dijelova. Analizirana je potrošnja energije za različite modele električnih vozila kao i cijena i troškovi održavanja istih. Opisan je opći utjecaj i doprinos električnih automobila zaštiti okoliša i smanjenju emisije ugljikova dioksida. U ovom radu opisane su vrste električnih punionica za električne automobile te je dan popis vrsta konektora za punjenje. Glavni dio ovog završnog rada obuhvaća proračun fotonaponskog sustava za punjenje tri električna automobila s nadstrešnice tih vozila.

## **SUMMARY**

In this final work is given a comparison of electric and conventional cars (petrol / diesel), a comparison of their engines and other major components. We analyzed the energy consumption of different models of electric vehicles as well as the price and maintenance costs. Described the overall impact and contribution of electric cars to environmental protection and reducing carbon dioxide emissions. This final work describes the types of electric filling station for electric cars and the types of connector for charging. The main part of this final work includes calculation of PV systems for charging electric cars with three canopies of these vehicles.

## POPIS SLIKA

Slika 1. Električni automobil	8
Slika 2. Koncept hibridnog automobila	8
Slika 3. Jedan od prvih električnih automobila	9
Slika 4. Električni automobili priključeni na punionice	10
Slika 5. Raspored električnih punionica u Estoniji	10
Slika 6. Obnovljivi izvori energije	11
Slika 7. Informacije o punionici u Lovranu ( <a href="http://www.plugshare.com">www.plugshare.com</a> )	11
Slika 8. Konduktivno punjenje	12
Slika 9. Induktivno punjenje	12
Slika 10. Shema primjera induktivnog punjenja električnog automobila	13
Slika 11. Transportni sistem punjenja OLEV	13
Slika 12. Usporedba električnog i konvencionalnog automobila	13
Slika 13. Siemens-ov elektromotor za automobile (AC–sinkroni)	14
Slika 14. Protean In-wheel motor	15
Slika 15. Primjer motora s unutarnjim izgaranjem	15
Slika 16. Kontroler za elektromotor	17
Slika 17. Olovna baterija za elektroauto	18
Slika 18. Nikl-kadmij baterija za elektroauto	18
Slika 19. Litijaska baterija za Chevrolet Spark EV električni automobil	19
Slika 20. Grijač putničkog prostora kod električnog automobila	20
Slika 21. Primjer gradskog električnog automobila: Citroen C-Zero	21
Slika 22. Tesla Roadster Sport 2.5	21
Slika 23. Izračun potrošnje goriva i utjecaja na okoliš	24
Slika 24. Održavanje automobila	25
Slika 25. Emisije CO <sub>2</sub>	25
Slika 26. Emisije stakleničkih plinova s obzirom na vrstu automobila	27
Slika 27. Primjer stanice za punjenje elektroauta pomoću solarnih ćelija	27
Slika 28. Primjer parkinga sa solarnim ćelijama za punjenje elektroauta	27
Slika 29. Primjer punjenja kod kuće uz pomoć solarne energije	27
Slika 30. MOD 1 način punjenja	30
Slika 31. Punjenje električnog automobila kod kuće	31
Slika 32. MOD 2 način punjenja	31
Slika 33. MOD 3 način punjenja	32
Slika 34. MOD 4 način punjenja	33
Slika 35. J1772-2009 konektor s utičnicom	34
Slika 36. VDE konektor s utičnicom	35
Slika 37. EV Plug Alliance konektor	36
Slika 38. CHAdeMO konektor	36
Slika 39. CHAdeMO (lijevo) i J1772 (desno) utičnica na Leafu	37
Slika 40. Combo 1 (desno) i Combo 2 (lijevo) konektor	37
Slika 41. Sigurnosni i ostali elementi u brzim punjačima	38
Slika 42. Identifikacija i naplata uz pomoć smart kartice	40
Slika 43. Mogućnosti izvođenja punionice električnih vozila fotonaponskim sustavima	41
Slika 44. Solar Carport	41
Slika 45. Samostalni autonomni FN sustav	42
Slika 46. Mitsubishi i-MiEV	43
Slika 47. Solarna baterija GEL VRLA 12V, 220 Ah C20	45
Slika 48. Trajenje baterije	45

Slika 49. Broj ciklusa baterije	46
Slika 50. Spoj baterija u Banku baterija	48
Slika 51. Strujno naponska karakteristika i karakteristika snage	49
Slika 52. Fotonaponski modul SOLVIS SV 60-255	49
Slika 53. Online servis PVGIS sa podešenim podacima sustava	51
Slika 54. Izračun online servisa PVGIS	52
Slika 55. Shema spajanja osnovnih elemenata FN sustava	54
Slika 56. Izmjenjivač Fronius Symo 17.5-3-M, 17.5kW	57
Slika 57. Bidirekcijski prevarač kao punjač baterije	59
Slika 58. Bidirekcijski pretvarač Quattro 8kVA	59

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Karakteristike Protean In-wheel motora	15
Tablica 2. Usporedba električnog i konvencionalnog motora	17
Tablica 3. Potrošnja nekih električnih automobila	23
Tablica 4. Prosječna emisija CO <sub>2</sub> /km električnih automobila	26
Tablica 5. Klasifikacija stanica za punjenje električnih vozila	29
Tablica 6. Funkcije sigurnosnih i ostalih elemenata u brzim punjačima	39
Tablica 7. Tehničke karakteristike vozila Mitsubishi i-MiEV	44
Tablica 8. Tehničke karakteristike FN modula SOLVIS SV60-255	50
Tablica 9. Radni uvjeti FN modula SOLVIS SV60-255	50
Tablica 10. Mehanički podaci FN modula SOLVIS SV60-255	50
Tablica 11. Tehničke karakteristike izmjenjivača Fronius Symo 17.5-3-M, 17.5kW	57
Tablica 12. Tehničke karakteristike Bidirekcijskog pretvarača Quattro 8kVA	60

## POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1. Učinkovitost električnog automobila nasuprot konvencionalnom (bio)dizelu	22
Dijagram 2. Ukupna potrošnja energije u prometu – ELEKTROAUTOMOBIL	22
Dijagram 3. Ukupna potrošnja energije u prometu – DIZEL AUTOMOBIL	23



# SADRŽAJ

1. Uvod	8
1.1. Električni automobili	8
1.2. Električne punionice	10
2. Električni VS konvencionalni automobili	13
2.1. Motor	14
2.1.1. Elektromotor	14
2.1.2. Motor s unutarnjim izgaranjem	15
2.1.3. Elektromotor VS konvencionalni motor	17
2.2. Kontroler	17
2.3. Baterija	18
2.4. Putnički prostor	20
3. Domet električnih automobila	20
4. Potrošnja električnih automobila	22
5. Cijena i troškovi održavanja električnih automobila	24
5.1. Cijena	24
5.2. Troškovi održavanja	25
6. Emisije CO <sub>2</sub>	25
7. Standardi punjenja električnih automobila	28
7.1. SAE J1772 Standard	28
7.2. IEC 61851 Standard	30
7.2.1. MOD 1	30
7.2.2. MOD 2	31
7.2.3. MOD 3	32
7.2.4. MOD 4	33
8. Vrste konektora	33
8.1. TIP 1 - SEA J1772-2009	34
8.2. TIP 2 - VDE-AR-E 2623-2-2	35
8.3. TIP 3 - EV Plug Alliance	35
8.4. CHAdeMO	36
8.5. SAE CCS	37
9. Sigurnosni sustav kod električnih punionica	38
10. Sustav identifikacije korisnika i naplate energije	39
11. Izvedivost punionica napajanih obnovljivim izvorom energije	40
12. Proračun fotonaponskog sustava za punjenje tri električna automobila	41
12.1. Model električnog automobila	43
12.2. Solarna baterija	45
12.2.1. Proračun solarne baterije	46
12.3. Fotonaponski modul	48
12.3.1. Proračun fotonaponskih modula	51
12.4. Shema spajanja osnovnih elemenata FN sustava	54
12.5. Izmjenjivač	56
12.5.1. Odabir izmjenjivača	56
12.6. Bidirekcijski izmjenjivač (regulator punjenja baterije)	58
12.6.1. Odabir bidirekcijskog pretvarača (regulatora punjenja)	58
12.7. Konačni rezultati proračuna FN sustava za punjenje tri automobila	61
13. Zaključak	63
14. Literatura	64

## 1. Uvod

### 1.1. Električni automobili

U današnje vrijeme dominantan udio u cestovnom prometu pripada vozilima pokretanim motorima s unutarnjim izgaranjem zasnovanim na fosilnim gorivima. No, zahtjevi za smanjenjem onečišćenja kao i napredak na području električnog pogona i skladištenja električne energije u zadnje vrijeme povećavaju udio hibridnih i električnih vozila u cestovnom prometu.

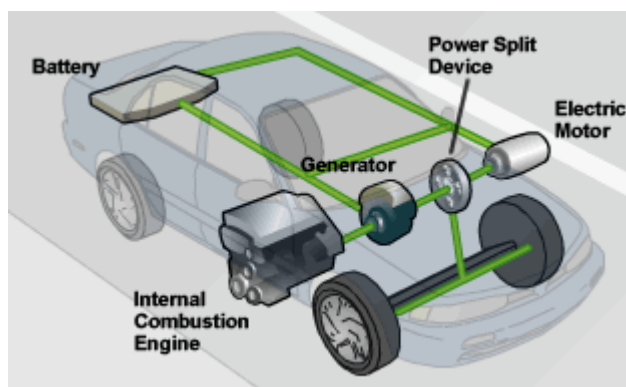
Električni automobil je automobil koji se pokreće elektromotorom, koristeći električnu energiju pohranjenu u akumulatoru, ili drugim uređajima za pohranu električne energije.



Slika 1. Električni automobil

Kod vozila pokretanih elektromotorom moguća je primjena električnih vozila:

- napajanih vodikovim gorivnim člancima,
- napajanim iz baterija
- te hibridnih vozila.



Slika 2. Koncept hibridnog automobila

Svim tim vozilima zajedničko je korištenje pogonskog električnog motora sa svim prednostima upravljanja po momentu, raspodjele momenta među pogonskim kotačima i poboljšanje voznih karakteristika temeljem naprednih metoda raspodjele momenta.

Razlika među spomenutih vozilima je primarni izvor energije. Kod hibridnih vozila primarni izvor energije su fosilna goriva, vozila napajana vodikovim gorivnim člancima su još uvijek u postupku razvoja dok klasični električni automobili napajani iz baterija su dostigli zadovoljavajući stupanj razvoja tehnologije za primjenu u cestovnom prometu.

Električni automobili su bili popularni krajem 19. i početkom 20. stoljeća. U to vrijeme su električni automobili davali više komfornosti i jednostavnosti prilikom korištenja nego automobili pokretani fosilnim gorivima. Unapređenjem motora s unutarnjim izgaranjem i masovna proizvodnja jeftinijeg vozila na benzin dovela je do smanjenja korištenja vozila na električni pogon. Energetske krize 1970-ih i 80-ih dovele su do kratkotrajnog zanimanja za električne automobile, te se sredinom 2000. obnovio interes u proizvodnji električnih automobila, uglavnom zbog zabrinutosti oko ubrzanog povećanja cijene nafte i potrebe za smanjenjem emisije stakleničkih plinova.



Slika 3. Jedan od prvih električnih automobila

Za razliku od električnih automobila koji se pokreću elektromotorom, konvencionalni automobili na fosilna goriva koriste motore sa unutarnjim izgaranjem za svoje pokretanje.

Jedna od najvažnijih podjela konvencionalnih automobila jest prema gorivu koje se koristi za pokretanje: benzin i dizel. Također postoje automobili koji koriste zemni plin za svoj rad, ali uz spremnik za plin ugrađen je i dalje spremnik za dizel odnosno benzin koji se koristi pri samom pokretanju auta iz mirujućeg stanja, te se nakon toga automatski prebacuje na korištenje odnosno trošenje plina.

Što se tiče povijesti konvencionalnih automobila, ona je preopširna da bi se mogli njome pozabaviti u ovome radu. Valjalo bi samo naglasiti da je prvi automobil sa motorom s unutarnjim izgaranjem na benzin ugledao svjetlo dana 1885. godine. Konstruirali su ga Daimler i Maybach prema Otto-vom načelu. Naime Nikolaus August Otto je prvi osmislio i

patentirao načelo rada četverotaktnog motora, međutim patent mu je poništen 1877. godine.

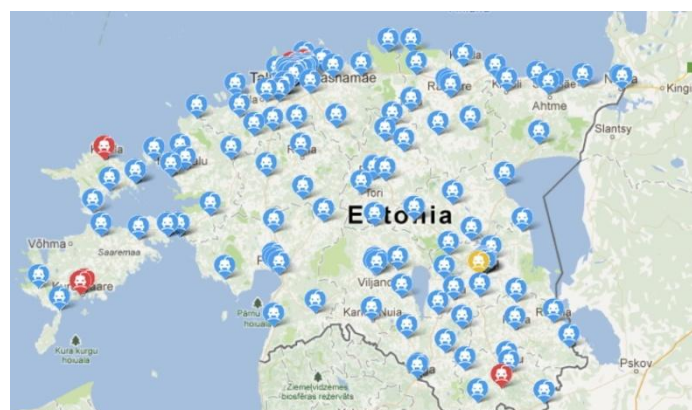
## 1.2. Električne punionice

Nužan uvjet za značajno povećanje udjela električnih vozila u cestovnom prometu je izgradnja mreže punionica. Uzimajući u obzir prosječan doseg električnih vozila, proizlazi da razmak punionica ne bi trebao biti veći od 40 do 50km. S druge strane, kod izgradnje punionica električnih vozila potrebno je osim o dobrom smještaju i rasporedu voditi računa i o njihovom napajanju energijom. Postoji više kategorija punionica s obzirom na tip, način djelovanja te snagu i vrijeme punjenja, pa je prema tome potrebno osigurati i različite izvore napajanja.



Slika 4. Električni automobili priključeni na punionice

Država Estonija je jedna od najboljih primjera što se tiče gustoće električnih punionica za automobile u svijetu. Estonija ima 165 "fast-charging" punionica raspoređenih diljem njezinog teritorija, svaki grad koji ima više od 5 000 stanovnika posjeduje svoju punionica. Razmak između pojedinih punionica nije veći od 40-60km.



Slika 5. Raspored električnih punionica u Estoniji

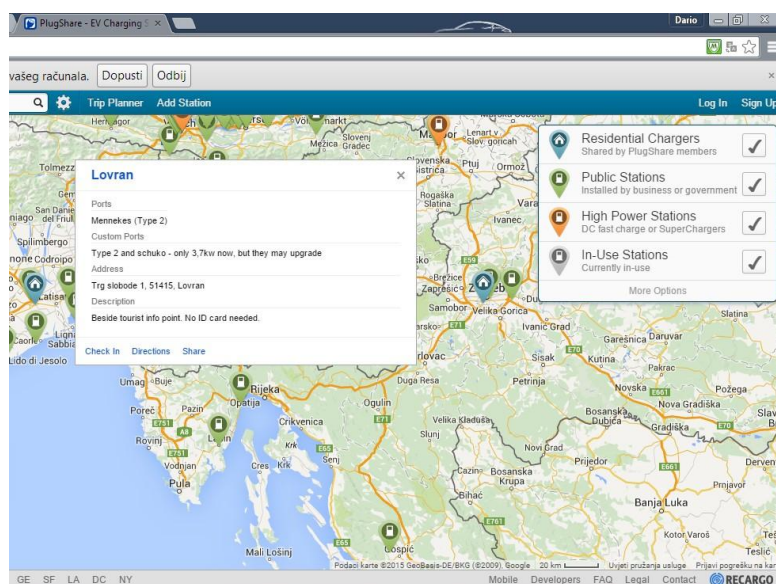
Budući da električna vozila pripadaju kategoriji vozila s nultom stopom emisije ispušnih plinova idealno bi bilo osigurati za njihovo punjenje energiju iz obnovljivih izvora energije čime bi se u potpunosti izbjeglo zagađenje. Štoviše primjena obnovljivih izvora na mjestu punionica električnih vozila osigurala bi da punionice budu autonomne te bi se izbjegla potreba priključenja na konvencionalnu elektro energetska mrežu.



Slika 6. Obnovljivi izvori energije

Svrha električnih punionica je osigurati brzo punjenje uz potrebne sigurnosne mjere kako bi se izbjegle eventualne nezgode.

Postoje mnogi portali i aplikacije na internetu koje na kartama gradova, država ili čak kontinenta prikazuju dostupnost i lokacije takvih javnih punionica (npr. Plugshare, ChargeMap). Uz lokaciju punionica, dostupne su i informacije o načinu punjenja, vrsti konektora, broju parkirnih mjesta i slično. Većinu takvih punionica vode davatelji usluga i nositelji infrastrukture punionica koji su organizirani kao mrežni sustav punionica (eng. charging system network). Da bi se koristile usluge punjenja potrebno je imati poseban korisnički račun od pojedine mreže. Neke od takvih organiziranih mreža su ChargePoint, Park&Charge, SemaConnect, itd.



Slika 7. Informacije o punionici u Lovranu (www.plugshare.com)

Stanice za punjenje mogu se podijeliti:

- s obzirom na to postoji li fizički kontakt između punionice i automobila, punionice mogu biti s konduktivnim ili s induktivnim punjenjem
- ovisno o brzini punjenja, punionice mogu biti spore i brze; spore punionice najčešće podrazumijevaju samo priključak izmjeničnog napona na automobil sa svojim vlastitim punjačem, dok brze obično podrazumijevaju punionice s relativno visokim istosmjernim naponom i strujom za punjenje kod kojih se punjač nalazi u samoj stanici
- ovisno o snazi punjenja postoji više nivoa punjenja (eng. charging levels)
- ovisno o sigurnosnom komunikacijskom protokolu između vozila i stanice za punjenje postoji više modova punjenja (eng. charging modes)

Konduktivno punjenje je najčešći oblik punjenja koji podrazumijeva spajanje automobila sa stanicom za punjenje preko kabela i odgovarajućih utikača i utičnica.

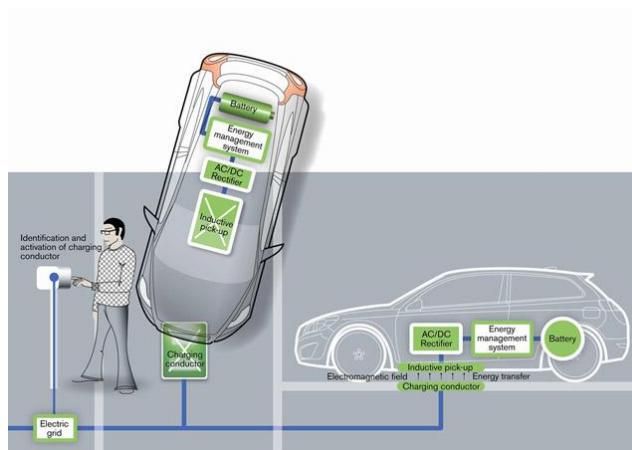
Kod induktivnog punjenja se za prijenos energije koristi promjenjivo elektromagnetsko polje između odašiljača na stanici za punjenje i prijammnika na automobilu. Pošto nema metalnih kontakata, ovakav način punjenja je siguran zbog nemogućnosti doticanja dijelova pod naponom kao i za upotrebu u vlažnoj atmosferi. Mana su veći gubici kod punjenja u odnosu na konduktivno punjenje što automatski znači sporije punjenje. Sustav se sastoji od dvije zavojnice od kojih se primarna zavojnica nalazi na podu u posebnom kućištu, dok se sekundarna zavojnica nalazi s donje strane automobila te je za potrebe punjenja potrebno samo parkirati automobil iznad primarne zavojnice.



Slika 8. Konduktivno punjenje

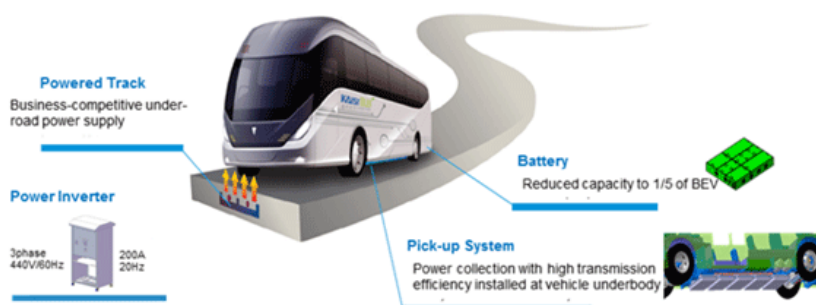


Slika 9. Induktivno punjenje



Slika 10. Shema primjera induktivnog punjenja električnog automobila

Godine 2006. znanstvenici iz Južne Koreje razvili su električni transportni sistem punjenja, tzv. OLEV (eng. Online Electric Vehicle) kod kojeg se vozilo puni u pokretu krećući se iznad električnih traka koji se nalaze u cesti. Zračni prostor između podnožja autobusa i asfalta bi bio oko 17cm, a snaga koja bi se trebala prenositi uz djelotvornost od 85% iznosi 100kW na frekvenciji napona od 20kHz.



Slika 11. Transportni sistem punjenja OLEV

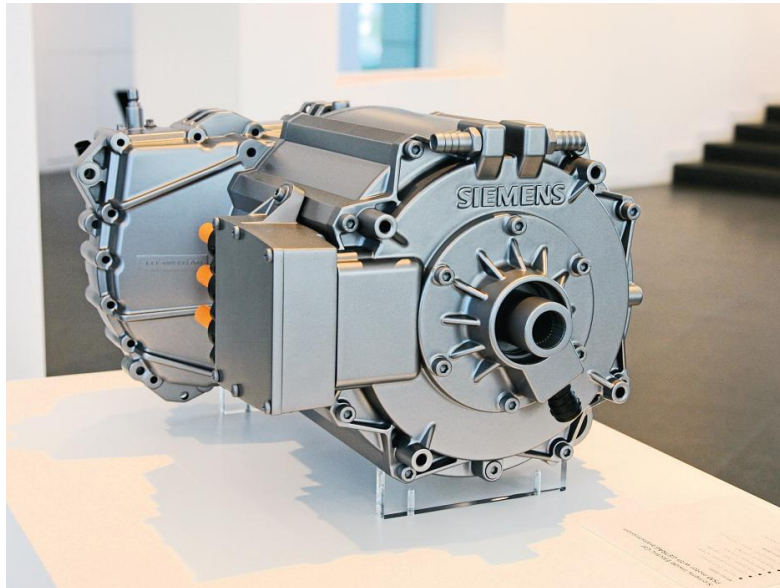
## 2. Električni VS konvencionalni automobili



Slika 12. Usporedba električnog i konvencionalnog automobila

## 2.1. Motor

### 2.1.1. Elektromotor



Slika 13. Siemens-ov elektromotor za automobile (AC–sinkroni)

Električni automobili za svoj pogon koriste elektromotore. Elektromotor je prilično općenit pojam.

Postoji više vrsta elektromotora koji se znatno razlikuju po konstrukciji i principu rada:

- 1) Istosmjerni motori (DC) – za svoj rad zahtjevaju istosmjernu struju
- 2) Izmjenični motori (AC) – za svoj rad zahtjevaju izmjeničnu struju
- 3) Univerzalni motori – koriste i izmjeničnu i istosmjernu struju za svoj rad

Svaka od ovih grupa i dalje se dijeli na svoje podvrste s obzirom na konstrukciju:

- 1) Istosmjerni motori – motori s trajnim magnetom, motori sa serijskom, paralelnom ili kombiniranom uzbudom
- 2) Izmjenični motori – sinkroni i asinkroni motori

Svi ti motori razlikuju se i po naponu potrebnom za rad, a kod izmjeničnih je još važna i frekvencija struje. Svaki od njih razlikuje se po karakteristikama, npr. krivulji momenta, stupnju iskoristivosti itd.

Kod pogona vozila susrećemo sve ove tipove elektromotora. Do nedavno su istosmjerni (DC) motori suvereno vladali kao pokretači električnih vozila, no sve više ih istiskuju izmjenični motori (AC) koji su po svojoj konstrukciji jednostavniji, ali je upravljanje kompliciranije. Elektromotori se upravljaju kontolerom.



Tehnološka tvrtka Protean Electric razvila je jedinstveni sustav takozvani „In-wheel electric drive system“ za hibrid i električna vozila. Glavna značajka tog sustava je da se elektromotor sa svim pratećim dijelovima; invertorom, kontrolnom elektronikom, softwareom ugrađuje u svaki od ukupno četiri kotača električnog automobila.

„In-wheel“ elektromotori tvrtke Protean mogu razviti snagu od 75 kW (100 ks) i 1000 Nm uz težinu od samo 34 kg.

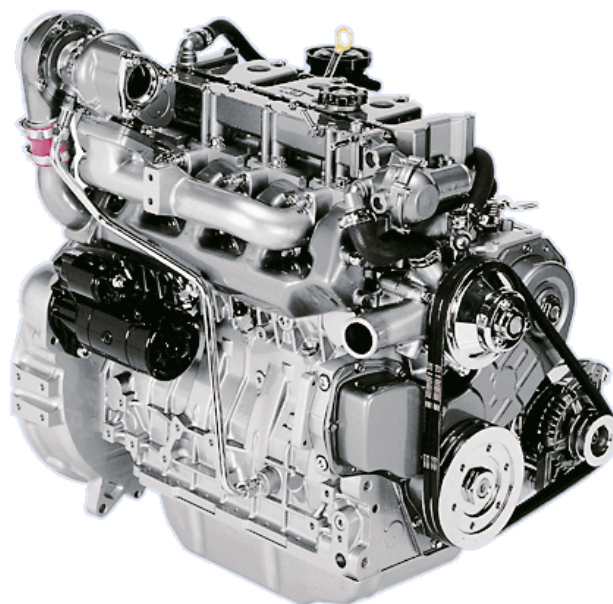


Slika 14. Protean In-wheel motor

Protean In-wheel motor	
<b>Vršna izlazna snaga</b>	75 kW
<b>Konstantna izlazna snaga</b>	54 kW
<b>Vršni izlazni moment</b>	1000 Nm
<b>Konstantni izlazni moment</b>	650 Nm
<b>Ulazni napon</b>	200-400 Vdc
<b>Širina</b>	115 mm
<b>Promjer</b>	420 mm
<b>Težina</b>	34 kg

Tablica 1. Karakteristike Protean In-wheel motora

### 2.1.2. Motor s unutarnjim izgaranjem



Slika 15. Primjer motora s unutarnjim izgaranjem

Dok električni automobili za svoj pogon koriste elektromotore, konvencionalni automobili koriste motore s unutarnjim izgaranjem.

To su motori kod kojih gorivo izgara u radnom prostoru koji služi i za pretvaranje kemijske energije goriva u toplinsku energiju, a potom iz toplinske energije u mehanički rad.

Podjela motora s unutarnjim izgaranjem:

Podjela po temeljnoj konstrukciji

- 1) Klipne (stapne) motore
- 2) Plinske turbine

Podjela po srednjoj stapnoj brzini ili hodnosti (za stapne motore)

- 1) Sporohodne
- 2) Srednjohodne
- 3) Brzohodne

Prema vrsti goriva i procesu koji se odvija u stapnim motorima

- 1) Benzinski (Otto–motor)
- 2) Dizel motor

Prema taktosti stapnih motora

- 1) Dvotaktni motori
- 2) Četverotaktni motori

Prema konstrukciji stapnih motora

- 1) Redni motori
- 2) V – motori
- 3) VR – motori
- 4) Bokser motori
- 5) Wankelovi motori

### 2.1.3. Elektromotor VS konvencionalni motor

Elektromotor	Konvencionalni motor
<b>Kod elektroauta na motor otpada prilično mali dio cijene</b>	Kod benzinskog/dizel automobila motor sudjeluje u ukupnoj cijeni sa značajnim postotkom
<b>Znatno je jednostavnije konstrukcije</b>	Kompliciranije je konstrukcije
<b>Cijena znatno niža</b>	Znatno viša cijena
<b>Pouzdaniji i trajniji (mali broj pokretnih dijelova)</b>	Skloniji kvarenju (veći broj pokretnih dijelova)
<b>Zahtjevaju gotovo nikakvo održavanje (gotovo da nemaju dijelova koji se troše)</b>	Zahtjevaju redovito održavanje
<b>Manjih su dimezija</b>	Većih su dimezija
<b>Mala težina</b>	Višestruko su teži
<b>Tihi u radu</b>	Veoma bučni
<b>Ne ispuštaju CO<sub>2</sub></b>	Ispuštaju CO <sub>2</sub>

Tablica 2. Usporedba električnog i konvencionalnog motora

## 2.2. Kontroler



Slika 16. Kontroler za elektromotor

Kontroler je uređaj koji upravlja radom elektromotora. Po funkciji ga možemo usporediti s rasplinjačem kod starijih tipova benzinskih motora ili Bosch-pumpom kod dizel motora odnosno ECU (računala) kod novijih motora. Naravno konstrukcija im je bitno različita.

U zavisnosti od pritiska na papučicu gasa ili kočnice kontroler će osigurati motoru potrebnu struju. Kontroler je vrlo složen i nezaobilazan uređaj te ga možemo promatrati kao funkcionalnu cijelinu s elektromotorom. Cijena kontrolera u pravilu je 100-200% cijene motora.

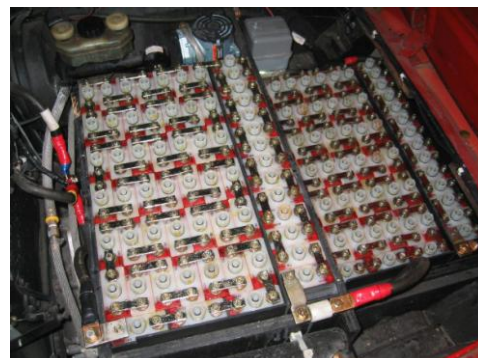
### 2.3. Baterija

Kako automobili s unutarnjim izgaranjem za pokretanje koriste smjesu naftnih derivata (benzin ili dizel) i zraka, tako električni automobili za pokretanje koriste električnu energiju. Dok se dizel ili benzin pohranjuju u rezervoarima, električna energija se pohranjuje u baterije unutar automobila.

Glavni razlog sporog razvoja električnih automobila je problem skladištenja električne energije. Do prije desetak godina za skladištenje većih količina el. energije koristile su se u pravilu olovne akumulatorske baterije. Postojale su i druge vrste, najčešće Nikl-Kadmij (NiCd), no bile su znatno skuplje, a nisu nudile baš puno više. Znamo da su olovne baterije velike i teške, a u električnom automobilu ih treba podosta.



Slika 17. Olovna baterija za elektroauto



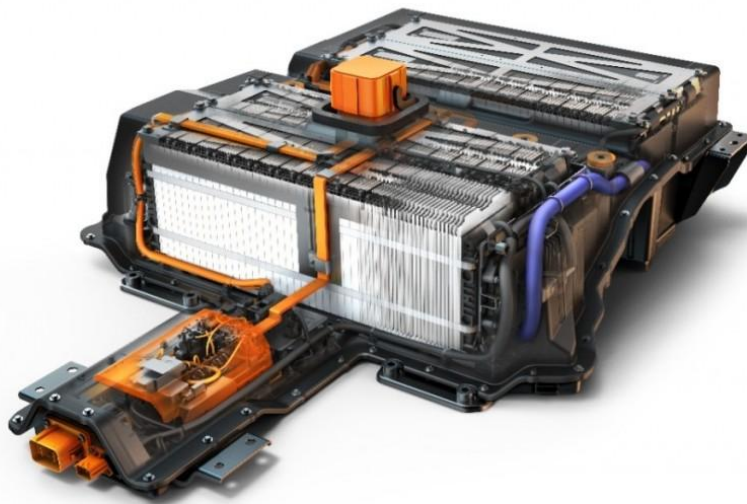
Slika 18. Nikl-kadmij baterija za elektroauto

U pravilu za skladištenje jednog kWh električne energije potrebno je oko 60 kg baterija. Ako to prevedemo u domet za neki prosječni gradski auto, potrebno je oko 7 kg baterija za jedan prijeđeni kilometar, dakle za 100 kilometara dometa trebalo bi oko 700 kg baterija, što bi zauzimalo 300 litara prostora. Previše za mali auto. Uz to olovne baterije imaju dosta značajni nedostatak-na niskim temperaturama (već od +10 stupnjeva celzijusa) kapacitet im znatno pada što rezultira drastičnim padom dometa u zimskim uvjetima.

Punjenje u pravilu traje od 6-12 sati ovisno o snazi punjača. Olovne baterije ne podnose brza punjenja (manje od dva sata).

Vijek trajanja akumulatorskih baterija izražava se u broju ciklusa (punjenje-pražnjenje). Olovne baterije namijenjene za pogon elektro vozila u pravilu izdrže 500-1000 ciklusa odnosno pet kalendarskih godina.

U novije vrijeme na tržištu su se pojavile akumulatorske baterije zasnovane na litiju (Litij je jedan od najlakših metala). Nije dovoljno reći litijska baterija jer postoji više tipova baterija koje se međusobno bitno razlikuju kako po konstrukciji, materijalima i kemijskim procesima tako i po električnim karakteristikama.



Slika 19. Litijska baterija za Chevrolet Spark EV električni automobil

Tako razlikujemo  $\text{LiMnCo}$ ,  $\text{LiFePO}_4$ ,  $\text{LiPo}$ ,  $\text{LiYFePO}_4$ , a svakim danom se pojavljuje neke nove. U pravilu litijske baterije tri puta su lakše i manje od olovnih baterija za isti kapacitet. Neki tipovi podnose brza punjenja i uz upotrebu dovoljno snažnog punjača mogu se napuniti za dvadesetak minuta. Trajnost ovisi o vrsti litijske tehnologije, od tisuću ciklusa za  $\text{LiPo}$  baterije do pet tisuća ciklusa za  $\text{LiYFePO}_4$  ili deset kalendarskih godina.

Iako im je cijena znatno veća od olovnih baterija (3-15 puta) svojom trajnošću i karakteristikama znatno su isplativiji izbor.

## 2.4. Putnički prostor

Nema prevelikih razlika između putničkog prostora električnog i konvencionalnog automobila. Jedna od najvećih razlika je ta što kod električnih automobila je potreban grijač putničkog prostora.



Slika 20. Grijač putničkog prostora kod električnog automobila

Dizel odnosno benzinski motori imaju korisnost do 30% što znači da se samo 30% energije pretvara u mehanički rad, a ostalih 70% odlazi na toplinu. Od tih 70% topline samo mali dio koristi se za grijanje putničkog prostora kod benzinskih odnosno dizel automobila.

Korisnost kod električnog automobila trostruko je veća od korisnosti kod dizelskog/benzinskog automobila, stoga 90% energije pretvara se u mehanički rad tj. gibanje, a 10% odlazi na toplinu što je nedovoljno za grijanje putničkog prostora. Zato se za izvor topline uzimaju električni grijači ili dizalice topline (klima uređaji).

Grijač koji grije putnički prostor troši električnu energiju iz baterije koja služi i za pokretanje automobila, te stoga ujedno se i smanjuje domet. Možemo računati da oko 1 sat grijanja smanjuje domet auta za oko 5-10 km.

Prednost električnog grijanja je da počne grijati čim ga uključite, ne morate čekati da se motor zagrije kao što je slučaj kod benzinskih automobila.

## 3. Domet električnih automobila

Može se smatrati da automobili s unutarnjim izgaranjem imaju neograničeni domet, jer oni mogu biti napunjeni gorivom vrlo brzo i gotovo bilo gdje. Električni automobili često imaju manji maksimalni domet po punjenju od automobila koja pokreću fosilna goriva, a punjenje može potrajati znatno dulje.

Stoga su mnogi proizvođači označili električni automobil na tržištu kao "Dnevno vozilo", pogodno za gradske izlete i druga kratka putovanja. Ipak, ljudi bi mogli biti zabrinuti da će ostati bez energije prije dolaska na odredište. Domet električnog automobila definiran je njegovom baterijom za razliku od konvencionalnog automobila kod kojeg je domet definiran količinom goriva. Nestankom energenta za pokretanje konvencionalan automobil se

jednostavno napuni novom količinom goriva što je relativno brzo, no kod električnog automobila to punjenje traje znatno duže. Stoga je električni automobil isplativiji u vožnje po gradu s puno stani-kreni vožnje.



Slika 21. Primjer gradskog električnog automobila: Citroen C-Zero

Mnoga vozila imaju mogućnost brzog punjenja koje je moguće s DC Fast Charging. Ovakvo punjenje električnog automobila može napuniti i 80% baterije za 30 min.

Jedno od mogućih rješenja za mali kapacitet baterije je zamjena baterije. Ideja je da se po prvi put kupi puna baterija te se nakon pražnjenja ne puni već se zamjenjuje s punom baterijom na lokalnoj benziskoj crpki. Pogodnost ovoga modela je fleksibilnost i povećanje dometa. Zamjenom baterije korisnik bi plaćao samo razliku.

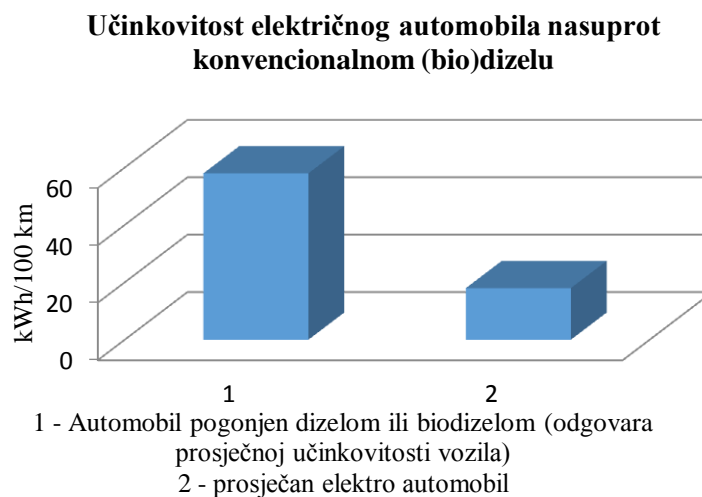
Valja naglasiti da domet električnog automobila uvelike ovisi o brzini vožnje. Na primjer, Tesla Roadster pri brzini od 90km/h može prijeći 450 i više kilometara, pri 150 km/h oko 250km dok pri maksimalnoj brzini od 250km/h domet pada ispod 100km.



Slika 22. Tesla Roadster Sport 2.5

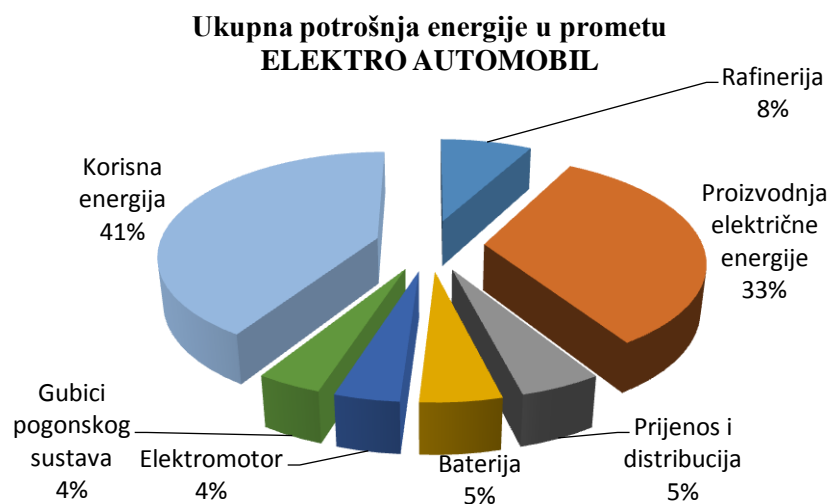
## 4. Potrošnja električnih automobila

Električni automobili troše znatno manje energije nego automobili na fosilna goriva. Ukupna potrošnja energije električnog automobila od spremnika do kotača (engl. „Tank - to - Wheel“), tkz. finalna energija, iznosi tri puta manje nego kod vozila na fosilna goriva (benzinska, dizelska) iste težine i performansi.



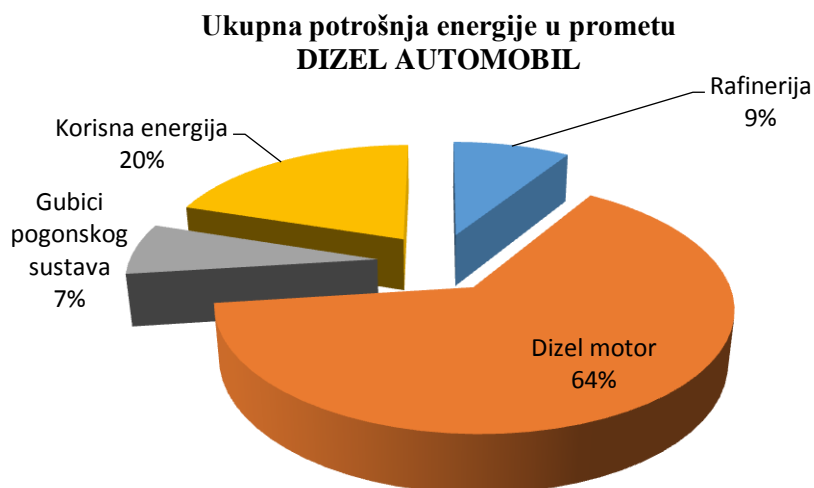
Dijagram 1. Učinkovitost električnog automobila nasuprot konvencionalnom (bio)dizelu

Dodatna energija potrebna je za proizvodnju fosilnih goriva i električne energije te za njihovu distribuciju. Ukoliko se utrošku energije u samom vozilu doda i energije potrebna za proizvodnju i distribuciju finalnih oblika energije (benzina, dizela, električne energije, itd), što odgovara tzv. primarnoj potrošnji energije (eng. Well - to - Wheel analiza), dolazi do povećane primarne potrošnje energije za 20-80% kod konvencionalnih vozila pogonjenih fosilnih gorivima u odnosu na električna vozila, uspoređujući pri tomu vozila jednakih težina i performansi (20% = dizel-olovo usporedba, 80% = benzin-litij usporedba).



Dijagram 2. Ukupna potrošnja energije u prometu – ELEKTROAUTOMOBIL





Dijagram 3. Ukupna potrošnja energije u prometu – DIZEL AUTOMOBIL

U nastavku su prikazani primjeri potrošnje nekih električnih automobila na osnovi „Tank - to - Wheel“ i „Weel - to - Wheel“ metodologije uvažavajući pri tomu prosječni europski miks primarnih energenata u proizvodnji električne energije.

Model vozila	Finalna energija (Tank-to-Wheel) kWh/100km	Primarna energija (Well-to-Wheel) kWh/100km	CO <sub>2</sub> Emisije (Well-to-Wheel) gCO <sub>2</sub> /km
<b>Toyota Prius</b>	44	55	122
<b>REVAi</b>	11	30	50
<b>QUICC!</b>	14	39	63
<b>TESLA Roadster</b>	13	34	56
<b>Nissan LEAF</b>	15	41	67
<b>Misubishi i MiEV</b>	10	27	45
<b>Think</b>	16	43	71
<b>Smart Fortwo EV</b>	12	33	53
<b>Citroen C-Zero</b>	13	35	58

Tablica 3. Potrošnja nekih električnih automobila

## 5. Cijena i troškovi održavanja električnih automobila

### 5.1. Cijena

Električni automobili su općenito skuplji od benzinskih automobila. Glavni razlog tome je visoka cijena automobilskih baterija u kojima se skladišti električna energija. Čini se da kupci automobila ne žele platiti više za električni automobil. To sprječava masovni prijelaz s benzinskih/dizel automobila na električne automobile.

Inicijalna cijena električnog automobila značajno je veća od cijene konvencionalnog automobila čak i nakon uzimanja u obzir subvencije države zbog korištenja električnog automobila koje su dostupne u nekoliko zemalja.

Međutim kupnja električnog automobila isplati se kroz neko vrijeme s obzirom na sadašnju cijenu struje u Hrvatskoj. Na primjer, ako auto punimo preko noći te uzimanjem u obzir trenutnu cijenu struje noćne tarife u Hrvatskoj, 100 prijeđenih kilometara nas košta otprilike 7 kn.



Slika 23. Izračun potrošnje goriva i utjecaja na okoliš

U 2013. godini istraživanje Američke agencije za energetska efikasnost pokazalo je da se cijene baterija smanjuju. Cijena baterije u 2007. godini bila je 1300 dolara po kWh, no već 2012. godine cijena je pala na svega 300 dolara. Američka agencija za energetiku najavljuje smanjenje cijena baterija na 125 dolara do 2022. godine. Smanjivanje cijene baterija može se postići napretkom u tehnologiju koja se koristi za izradu baterija što će uzrokovati veću kompetentnost električnih i hibridnih vozila.

## 5.2. Troškovi održavanja



Slika 24. Održavanje automobila

Električni automobili su znatno jednostavniji od konvencionalnih automobila pa samim time i troškovi održavanja su minimalni. Nema ulja ni filtera koje treba mijenjati. Kočioni elementi su manje opterećeni i duže traju. Mora se s vremena na vrijeme doliti tekućine za pranje stakla, pekontrolirati i zamijeniti gume te elemente ovjesa jednako kao i na svakom drugom automobilu.

Većina tekućih troškova električnog vozila može se pripisati održavanju i zamjeni akumulatora zbog toga što električno vozilo ima samo oko 5 pokretnih dijelova u svom motoru, u usporedbi s benzinskim automobilom koji ima stotine dijelova u motoru s unutarnjim izgaranjem. Električni automobili imaju skupe akumulatora koji se moraju mijenjati, inače imaju vrlo niske troškove održavanja, posebno u slučaju trenutnog modela utemeljenog na litiju.

## 6. Emisije CO<sub>2</sub>



Slika 25. Emisije CO<sub>2</sub>

Električna vozila generiraju znatno niže emisije CO<sub>2</sub> i drugih stakleničkih plinova i štetnih polutanata nego što je to u slučaju konvencionalnih vozila.

Na osnovi „Tank - To - Wheel“ potrošnje, električna vozila ne proizvode štetne i stakleničke plinove te samim time značajno smanjuju zagađenja u odnosu na konvencionalna vozila.

Ukoliko se razmotri ukupna proizvodnja emisija CO<sub>2</sub> na osnovi „Well - To - Wheel“ potrošnje goriva, dakle od proizvodnje primarne energije pa do konačne prenesene na kotače vozila, električna vozila u prosjeku proizvode tek polovicu emisija CO<sub>2</sub> u usporedbi s konvencionalnim vozilima. Pri tomu je u usporedbi za proizvodnju električne energije uzet u obzir tipični miks primarnih oblika energije, raspoloživih na europskom tržištu.

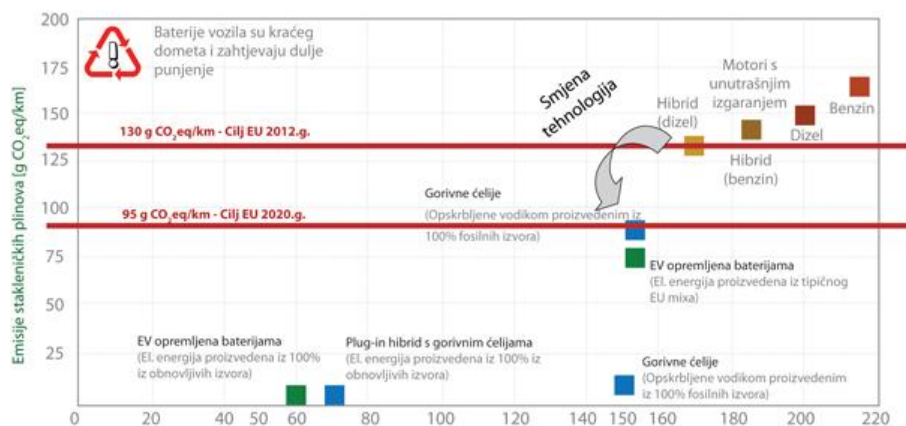
Prosječna emisija stakleničkih plinova po kWh proizvedene električne energije u 2006. godini u EU iznosila je 443gCO<sub>2</sub>/kWh, dok je u Hrvatskoj u 2008. godini ta ista emisija iznosila 550gCO<sub>2</sub>/kWh proizvedene električne energije.

Uzimajući u obzir prosječnu potrošnju finalne energije električnih vozila u iznosu od 12,5kWh/100km te prosječne emisije CO<sub>2</sub> po kWh proizvedene električne energije u nekim zemljama članicama EU-a dobivene su specifične emisije CO<sub>2</sub> po prijeđenom kilometru.

Godina	Zemlja	gCO <sub>2</sub> /kWh	Prosječna emisija CO <sub>2</sub> /km električnih automobila „Well-to-Wheel“ metodologija
2006	Švedska	40	5
2006	Francuska	90	11
2006	Belgija	290	35
2006	EU15	443	54
2008	Hrvatska	550	61
2006	Njemačka	600	73
2006	Nizozemska i Velika Britanija	640	78
2006	Danska	840	102
2006	Luksenburg	1080	131

Tablica 4. Prosječna emisija CO<sub>2</sub>/km električnih automobila

Europska unija provodi jasnu politiku održivog prometnog sustava upravo kroz uvođenje vrlo egzaktnih ciljeva vezanih uz ograničenje emisija stakleničkih plinova, a poglavito ugljičnog dioksida, s vremenskim horizontom do 2020. godine.



Slika 26. Emisije stakleničkih plinova s obzirom na vrstu automobila

Kako bi emisije CO<sub>2</sub> korištenjem električnih automobila smanjili na gotovo nulu, potrebno je koristiti obnovljive izvore energije za njihovo punjenje.

Sunce odnosno solarna energija je najperspektivniji izvor obnovljive energije koji se koristi za punjenje baterija električnih automobila. Na sljedećim slikama ćemo prikazati tri primjera korištenja solarnih ćelija sa popratnom elektronikom za punjenje električnih auta.



Slika 27. Primjer stanice za punjenje elektroauta pomoću solarnih ćelija



Slika 28. Primjer parkinga sa solarnim ćelijama za punjenje elektroauta



Slika 29. Primjer punjenja kod kuće uz pomoć solarne energije

## 7. Standardi punjenja električnih automobila

Prihvatljivo vrijeme punjenja električnih vozila, glavni je faktor koji određuje tip i snagu punionice prikladnu za pojedino mjesto. Prihvatljivo vrijeme ovisi o vremenu ne korištenja vozila na pojedinom mjestu. Tako postoje punionice prihvatljive za kućnu upotrebu i garaže, za radne organizacije, trgovačke centre, odnosno za magistralne i autoceste. Boravak vozila u garaži vlasnika je u prosjeku 12 do 20h dnevno, pa se i vrijeme punjenja takvih punionica prilagođava tom vremenu kako bi bila potrebna manja snaga punjenja. U radnim organizacijama zadržavanje automobila zaposlenika određeno je radnim vremenom te je u prosjeku 8 do 10h. Kod trgovačkih centara vrijeme zadržavanja je dva do tri sata, dok je na autocestama poželjno što kraće zadržavanje. Na tim mjestima potrebno je osigurati punionice koje omogućuju punjenje baterija električnih vozila za 20 do 30min ili kraće, da se izbjegne gubitak vremena.

Dva su glavna standarda koji opisuju načine punjenja električnih automobila. To su SAE (Society of Automotive Engineers) J1772 za američku automobilsku industriju i IEC 61851 za Europu. Oni definiraju razine napona i struja kod punjenja, te protokole punjenja. Standardi također određuju način spajanja električnog vozila sa stanicom za punjenje, te način komunikacije vozila sa stanicom.

### 7.1. SAE J1772 Standard

Stanice se prema vrsti napona na konektoru za punjenje vozila dijele na izmjenične (AC) i istosmjerne (DC).

SAE J1772 definira 3 nivoa punjenja (eng. charging level); nivo 1, nivo 2 i nivo 3 za AC i DC punjenje. Nivo punjenja označava razinu električne snage koja se prenosi u vozilo prilikom punjenja. Podjela stanica prema nivou punjenja prikazana je u Tablici 5. u kojoj su još navedeni i podaci kao što su napon i struja punjenja, snaga i očekivano vrijeme punjenja.

Nivo	Karakteristike	AC	DC
<b>Nivo 1</b>	Izlazni napon	120 V / 240 V	200 do 450 V
	Maksimalna snaga	3,5 kW	36 kW
	Maksimalna struja	16 A	80 A
	Prosječno vrijeme punjenja	17 h	1,2 h
<b>Nivo 2</b>	Izlazni napon	240 V	200 do 450 V
	Maksimalna snaga	3,3 kW do 20 kW	90 kW
	Maksimalna struja	16 A do 80 A	200 A
	Prosječno vrijeme punjenja	7 h do 1,2 h	20 min
<b>Nivo 3</b>	Izlazni napon	240 V	200 do 600 V
	Maksimalna snaga	20 kW	240 kW
	Maksimalna struja	80 A	400A
	Prosječno vrijeme punjenja	< 1,2 h	10 min

Tablica 5. Klasifikacija stanica za punjenje električnih vozila

AC i DC stanice za punjenje električnih vozila se osim po tipu izlaznog napona i snazi razlikuju po smještaju pretvarača za punjenje. AC stanice daju standardni izmjenični napon dok se pretvarač za punjenje nalazi u vozilu. U stanici se nalaze samo sigurnosni sklopovi za zaštitu same stanice. Za razliku od nje kod DC stanice pretvarač za punjenje se nalazi u stanici te stanica upravlja strujom punjenja temeljem zahtjeva koje isporučuje vozilo tijekom punjenja.

AC stanice tipa 1 namijenjene su kućnoj upotrebi te snagom odgovaraju raspoloživoj snazi kućnog priključka. Vrijeme punjenja kod takvih stanica je prikladno za punjenje tijekom noći ili tijekom više dana u garažnim prostorima kuća, primjerice za punjenje automobila kao što je Nissan Leaf potrebno je čak 15 sati. AC stanice tipa 1 uglavnom nemaju mogućnosti naplate energije i kontrola pristupa korisnika ako je potrebna mora se riješiti na način nezvan za punionicu. Glavna prednost ovakvog načina punjenja je jednostavnost. Za spajanje vozila s utičnicom koristi se kabel koji na jednoj strani ima tipični američki/europski mrežni utikač s uzemljenjem dok na drugoj strani ima spomenuti standardizirani J1772 konektor.

Kod AC stanica tipa 2 i 3 raspoloživa je veća snaga punjenja pa osim energetskog priključka konektor sadrži i upravljačke signale. Komunikacija tih AC stanica s vozilom je jednostavna i osigurava samo osnovne uvjete koji omogućuju sigurnost rukovanja uređajem kod priključivanja vozila kao i definiranje raspoložive i potrebne snage. AC stanice tipa 2 pogodne su za trgovačke centre i radne organizacije u kojima su vozila parkirana tijekom kupovine ili radnog vremena.

Stanice DC tipa u sebi sadrže pretvarač za punjenje baterija vozila pa se stoga u priključnom konektoru osim energetskih priključaka nalaze i signalni priključci koji određuju način punjenja. Snaga stanice određena je nivoom stanice, dok vrijeme punjenja osim o nivou

DC stanice ovisi o kapacitetu baterije vozila kao i maksimalnoj struji punjenja koju vozilo dopušta. Prosječno vrijeme punjenja na DC stanicama i potrebna snaga određuju i mjesto primjene takvih stanica. Takve stanice pogodne su za primjenu uz ceste i autoceste gdje je poželjna veća brzina punjenja vozila.

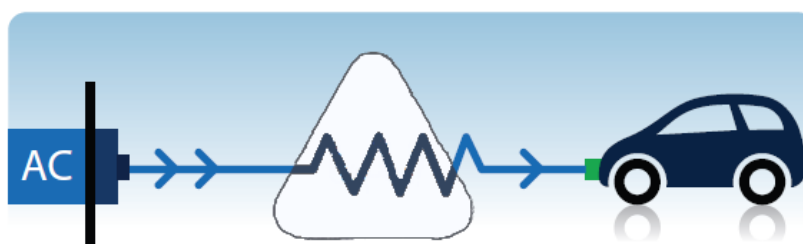
## 7.2. IEC 61851 Standard

IEC 61851 je standard koji se osim u Europi koristi i u Kini. Izveden je iz J1772 standarda i prilagođen europskoj i azijskoj izmjeničnoj mreži. Kod J1772 standarda se govori o nivoima punjenja, dok se kod IEC standarda priča o modovima punjenja. Mod punjenja opisuje i sigurnosni komunikacijski protokol između vozila i stanice za punjenje. Prema standardu IEC 61851-1 definiraju se 4 različita moda punjenja:

- mod 1: sporo punjenje vozila iz obične utičnice bez posebne zaštite
- mod 2: sporo punjenje vozila iz obične utičnice, ali s ugrađenim zaštitnim elementom
- mod 3: sporo ili brzo punjenje vozila preko posebne utičnice s kontrolnim i zaštitnim funkcijama
- mod 4: brzo punjenje koristeći specijalne izvedbe punjača

### 7.2.1. MOD 1

Ovaj način podrazumijeva spajanje električnog vozila s ugrađenim punjačem na običnu kućnu utičnicu bez posebnih zaštitnih elemenata, ali električne instalacije moraju zadovoljavati određene uvjete, tj. mora postojati sustav uzemljenja, osigurač za zaštitu od preopterećenja i takozvana "earth leakage" zaštita. Također je poželjno da na utičnicama postoji zaštita od dodirnog napona. Prema IEC 61851-1 standardu, konektori koji se koriste kod ovog načina punjenja ne zahtijevaju nikakve kontrolne pinove. Ne postoji nikakav zaštitni element između utičnice i vozila.



Slika 30. MOD 1 način punjenja

Prednost ovakvog načina punjenja vozila je jednostavnost zbog velike dostupnosti običnih utičnica. No, postoje i ograničenja, prije svega ograničenje struje u kućnim



instalacijama što automatski ograničava snagu punjenja. Snaga punjenja današnjih vozila je između 3 do 24 kW što odgovara strujama punjenja od 16A kod jednofaznih punjača do 32A kod trofaznih punjača.

Pošto je punjenje automobila ovakvim načinom punjenja višesatno, a kućne su utičnice predviđene za rad pri maksimalnoj snazi samo određeno kratko vrijeme (tipično oko 1 sat što odgovara korištenju tipičnih kućanskih električnih uređaja), može doći do zagrijavanja utičnice i priključnog kabela. Da bi se izbjegli spomenuti rizici, kompromisno je određeno da maksimalna struja punjenja može biti 10A. No, potpuno punjenje automobila pri tolikoj struji može potrajati i do 12 sati što je jedan od glavnih nedostataka ovog načina punjenja. Ovi se problemi mogu riješiti i izvođenjem posebne instalacije namijenjene samo punjenju automobila.



Slika 31. Punjenje električnog automobila kod kuće

### 7.2.2. MOD 2

Kao i kod moda 1, vozilo s ugrađenim punjačem se priključuje na jednofaznu ili trofaznu mrežu (do 250V za jednofaznu i do 480V za trofaznu mrežu uz struje do 32A) preko običnih kućnih utičnica s uzemljenjem. Dodatak ovom načinu punjenja je zaštitni element koji se ugrađuje u kabel za punjenje do 0,3 metra od priključka s mrežnom utičnicom.



Slika 32. MOD 2 način punjenja

Kod ovog je načina punjenja omogućena komunikacija vozila sa zaštitnim elementom. Zaštitni element ima i upravljačku funkciju jer može kontrolirati i upravljati iznosom struje punjenja. Komunikacija se obavlja preko kontrolnog pina kojeg prema standardu IEC 61851-1 mora sadržavati utičnica na vozilu. Zaštitni element također sadrži i RCD sklopku koja štiti od električnog udara. Također postoje i ugrađeni osigurači od strujnog i temperaturnog preopterećenja.

Ovim se načinom punjenja prvenstveno štiti dio kabla od zaštitnog elementa do vozila kao i samo vozilo, ali se ne štiti sam utikač u mrežnoj utičnici koji i dalje ostaje izložen riziku od pretjeranog zagrijavanja. Međutim, postoje kabeli koji sadrže i temperaturne senzore u samom utikaču spojenom na mrežu i time je zaštitnom elementu omogućeno dodatno upravljanje snagom punjenja kako bi se izbjeglo zagrijavanje mrežne utičnice.

### 7.2.3. MOD 3

U ovom slučaju, vozilo s ugrađenim punjačem se ne spaja direktno na mrežu kao kod prethodnih modova već se spaja na posebnu stanicu za punjenje koja se može instalirati kako za javne tako i za kućne potrebe. Takva stanica ima već unaprijed ugrađene zaštitne i upravljačke elemente poput regulatora snage punjenja, osigurača za prenaponsku i nadstrujnu zaštitu i RCD sklopke, te je stalno priključena na izmjeničnu mrežu. Dodatno, kod ovog načina punjenja naglasak je na komunikaciji vozila sa stanicom za punjenje koja je omogućena preko dodatnih kontrolnih pinova koji se prema standardu IEC 61851-1 moraju nalaziti i na stanici za punjenje i na samom vozilu. Zbog te je specifičnosti ovaj mod pogodan za spajanje na buduće napredne mreže (eng. smart grid) jer je omogućeno upravljanje električnom energijom. U stanici za punjenje je također moguće i mjerenje potrošene električne energije. Sigurnosni protokol je jednak kao i kod mod 2 načina. Utičnica na stanici za punjenje nije pod naponom ukoliko nije priključeno vozilo i uspostavljen strujni krug između kontrolnog i uzemljenog pina.



Slika 33. MOD 3 način punjenja

Prije nego što proces punjenja započne, ostvaruje se PWM komunikacija između stanice za punjenje (ili zaštitnog elementa kod mod 2 načina) i vozila. U prvom koraku stanica za punjenje provjerava povezanost s vozilom i šalje vozilu podatak o raspoloživoj vrijednosti struje punjenja. Zatim vozilo prema primljenim podacima podešava svoj punjač, zaključava konektor i šalje zahtjev za početak punjenja. Stanica za punjenje također zaključava konektor, i ako su zadovoljeni ostali sigurnosni uvjeti, započinje proces punjenja. Za vrijeme procesa punjenja, vozilo može komunicirati sa stanicom i zatražiti smanjenje struje punjenja ako je potrebno. Pri završetku punjenja, vozilo šalje stanici zahtjev preko

komunikacijskih pinova za prekid napajanja te stanica prestaje s isporukom električne energije.

#### 7.2.4. MOD 4

Kao i kod moda 3, vozilo se spaja na posebnu stanicu za punjenje koja za razliku od prethodnog moda sadržava i punjač (ispravljač) pa se vozilo direktno puni DC strujom i nije potreban ugrađeni punjač u automobilu. Ovaj se mod koristi za brzo punjenje jer su struje punjenja prilično velike i iznose i do 400A prema IEC 61851-1 standardu. Stanice koje koriste ovaj način rada u pravilu su javne punionice za brzo punjenje koje mogu napuniti bateriju automobila za manje od 20 minuta. Zaštitne i upravljačke funkcije ugrađene su, kao i kod moda 3, u stanicu za punjenje i također je omogućena komunikacija vozila sa stanicom.



Slika 34. MOD 4 način punjenja

Glavna prednost ovog načina punjenja je brzina punjenja. Uz to, omogućena je i komunikacija između vozila i stanice za punjenje. No, ovakve punionice predstavljaju veliko opterećenje za mrežu zbog velikih vrijednosti napona i struja koje se koriste kod punjenja i nisu pogodna za instalaciju kod kuće. Također, cijena ovakvih punionica je mnogo veća od punionica koje ne koriste DC punjenje.

## 8. Vrste konektora

Jedna od podjela konektora je na konektore za AC punjenje i konektore za DC punjenje. U zadnje vrijeme razvijeni su konektori koji podržavaju i AC i DC punjenje. Prema standardu IEC 62196-2 koji je dio međunarodnog standarda IEC 62196 koji opisuje konektore i načine punjenja za električne automobile i koji je podržan od strane Međunarodne elektrotehničke komisije (eng. International Electrotechnical Commission-IEC), konektori za AC punjenje su podijeljeni na 3 tipa konektora:

- tip 1 → jednofazni priključak prema SAE J1772-2009 standardu
- tip 2 → jednofazni i trofazni priključak prema VDE-AR-E 2623-2-2 standardu
- tip 3 → jednofazni i trofazni priključak sa zaštitnim poklopcem prema EV Plug Alliance standardu.

## 8.1. TIP 1 - SEA J1772-2009

Godine 2001. američka organizacija za standardizaciju SAE International donijela je prijedlog standarda koji opisuje konektor za konduktivno punjenje. Bio je to SAE J1772-2001 konektor kojeg je razvila američka tvrtka Avcon Corporation. Konektor J1772-2001 zamijenjen je novim okruglim konektorom pod standardom SAE J1772-2009 zbog svojih nedostataka kao što su; glomaznost, komplicirano rukovanje, nespretan kut priključenja utikača u utičnicu i nedovoljna maksimalna struja punjenja od 32A.

Novi J1772-2009 konektor razvila je tvrtka Yazaki. Specifikacije tog konektora uključene su u standard IEC 62196-2 kao konektor tipa 1 za punjenje električnog vozila preko jednofazne izmjenične mreže.



Slika 35. J1772-2009 konektor s utičnicom

Konektor ima 5 pinova, dva energetska, uzemljenje i dva signalna pina, takozvani "proximity" i "control pilot" pinovi. Signalni pinovi služe za osnovnu komunikaciju vozila s opremom za punjenje te omogućuju detekciju je li automobil spojen na stanicu za punjenje. Ovim je standardom uključeno i nekoliko razina zaštite od električnog udara, te je omogućeno korištenje i u vlažnim uvjetima.

Kada je konektor spojen s utičnicom, pinovi su fizički zaštićeni i izolirani tako da ne postoji mogućnost od neposrednog kontakta s dijelovima konektora koji su pod naponom. Kada je konektor odvojen od utičnice, sigurnosni protokol isključuje napajanje na pinovima te ne postoji opasnost od električnog udara. Dodatno, kontrolni pinovi su realizirani na način da se kod odvajanja konektora od utičnice oni prvi odvoje od odgovarajućih kontakata i na taj način signaliziraju stanici da isključi napajanje energetskih pinova prije nego se pak oni odvoje od utičnice.

## 8.2. TIP 2 - VDE-AR-E 2623-2-2

Za europski standard uzet je konektor pod službenim nazivom VDE-AR-E 2623-2-2 ili popularno zvan Mennekes. Ovaj je konektor razvio njemački proizvođač konektora za industrijsku primjenu, MENNEKES Elektrotechnik GmbH & Co. KG. U početku, Mennekes je proizvodio liniju industrijskih konektora koji su se bazirali na standardu IEC 60309. Tim su konektorima ugradili dodatne signalne pinove i tako je nastao CEEplus konektor koji je zamijenio prijašnje Marechal konektore koji su se dotad koristili za punjenje električnih vozila.



Slika 36. VDE konektor s utičnicom

CEEplus konektor se mogao koristiti za širok opseg struja punjenja, ali su mu se povećavale dimenzije s porastom struje. Zbog glomaznosti ovog konektora, Mennekes je 2009. godine, prema zahtjevima koje su dale tvrtke RWE i Daimler, napravio novi konektor koji je imao promjer 55mm s ravnim dijelom na jednoj strani kao mehanička zaštita protiv slučajne zamjene polariteta. Novi Mennekes konektor je standardiziran u studenom 2009. godine pod službenim nazivom VDE-AR-E 2623-2-2 i uključen je u standard IEC 62196-2 kao konektor tipa 2. U Europi je stekao prednost pred konektorom tipa 1 zbog mogućnosti spajanja na trofazni sustav napajanja koji se u Europi često koristi. Uz energetske, konektor također sadrži i proximity i control pilot pinove kako bi zadovoljio sigurnosne zahtjeve i omogućio komunikaciju između vozila i stanice za punjenje.

## 8.3. TIP 3 - EV Plug Alliance

Udruženje EV Plug Alliance sklopljeno je 2010. godine između francuskih tvrtki Schneider Electric i Legrand te talijanske tvrtke Scame. Držeći se okvira IEC 62196 standarda, EV Plug Alliance je razvio dvije varijante konektora, konektor tipa 3A i konektor tipa 3B. Prvi je dobiven iz Scame konektora kojemu su dodani signalni pinovi i predviđen je za jednofazno punjenje, te je najčešće korišten za punjenje laganih električnih vozila poput električnih motocikala ili skutera. U drugoj varijanti tipa 3B su dodana još dva pina kako bi se podržalo punjenje preko trofazne mreže uz struje do 32A.

Glavna značajka takvog konektora je zaštitni poklopac koji štiti od direktnog kontakta s dijelovima pod naponom. No, i Mennekes je s vremenom razvio konektor tipa 2 s

ugrađenim poklopcem. U siječnju 2013. godine je dogovoreno da će na području Europske Unije standardni konektor biti Mennekesov konektor. Jedino je Francuska odlučila zadržati ovaj EV Plug Alliance standard.



Slika 37. EV Plug Alliance konektor

#### 8.4. CHAdeMO

Prvi standard koji je propisao konektore i sam način brzog DC punjenja snagama do 62kW je japanski CHAdeMO. Naziv CHAdeMO je izvedenica od "CHArge DE MOve" što bi u prijevodu značilo "punjenje u pokretu" i upućuje na to da su stanice koje koriste takav standard u mogućnosti napuniti vozilo za manje od pola sata. Konektor za ovaj način punjenja je razvila tvrtka The Tokyo Electric Power Company - TEPCO pod imenom JARI DC fast charge konektor, a standardiziran je japanskim standardom za električna vozila JEVS G105-1993. Uz energetske pinove, konektor ima i podatkovne pinove koji omogućuju komunikaciju prema takozvanom CAN bus protokolu. Time su osigurane dodatne sigurnosne funkcije poput sigurnog prikapčanja čime se izbjegava da energetske pinove dođu pod napon prije nego je konektor priključen u utičnicu (slično kao i kod SAE J1772), kao i mogućnost da vozilo šalje stanici za punjenje informacije o parametrima baterije kao što su potrebna razina napona punjenja, ukupni kapacitet baterije, signal za zavšetak punjenja te upute o reguliranju struje tijekom samog procesa punjenja.



Slika 38. CHAdeMO konektor

CHAdeMO standard su preuzeli japanski proizvođači automobila poput Nissana i Mitsubishija. Pošto je CHAdeMO ograničen samo na DC punjenje, automobili poput Leafa i

i-MiEVA imaju ugrađenu i dodatnu utičnicu tipa 1 prema SAE standardu kako bi bili kompatibilni i sa sporijim AC načinom punjenja.



Slika 39. CHAdeMO (lijevo) i J1772 (desno) utičnica na Leafu

## 8.5. SAE CCS

Osam proizvođača automobila (Audi, BMW, Chrysler, Daimler, Ford, General Motors, Porsche i Volkswagen) složili su se oko standardizacije novog kombiniranog sustava punjenja (eng. Combined Charging System) za konektore koji se koriste u Americi i Europi. Kombinirani sustav bio bi pogodan za jednofazno AC punjenje, za brzo trofazno AC punjenje, za DC punjenje kod kuće i za brzo DC punjenje na javnim stanicama za punjenje, sve to koristeći jedan te isti konektor.

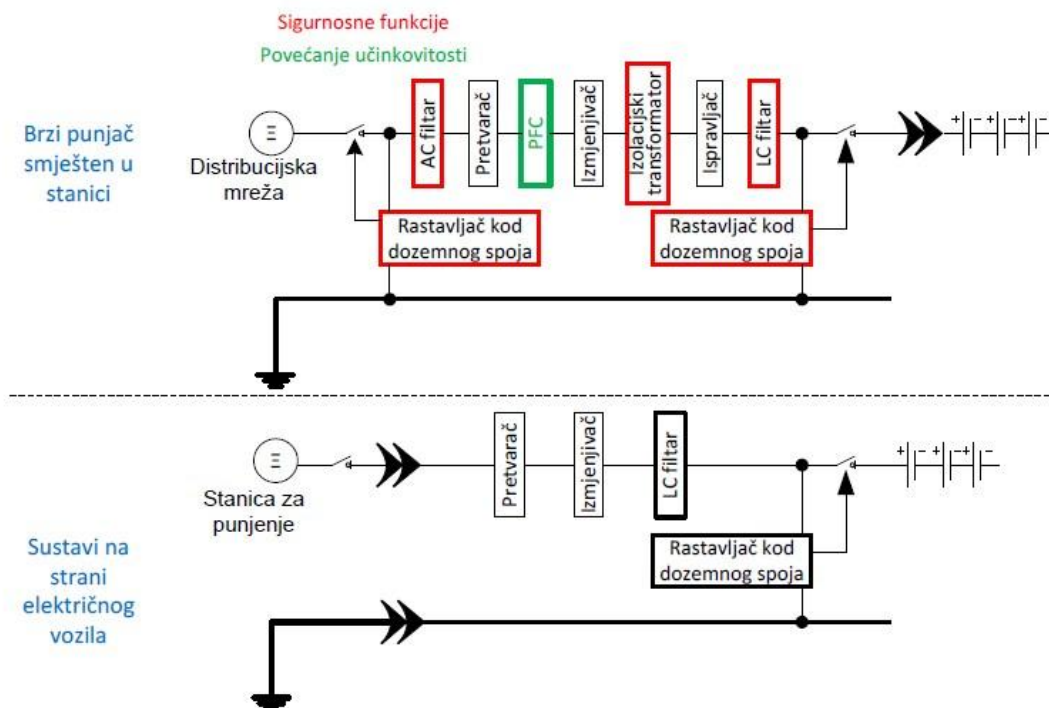
Sredinom 2012. godine SAE je predstavio novi Combo konektor koji podržava i AC i DC punjenje. Zapravo, to je nadogradnja na postojeći J1772 konektor kojemu su dodana još dva energetska pina za DC brzo punjenje. Pošto se u Europi koristi Mennekes konektor za AC punjenje, razvijena je i druga inačica Combo konektora koja je zapravo nadogradnja na Mennekes konektor kojemu su također dodana dva energetska pina za DC brzo punjenje. Treba još naglasiti da postoji i treći standard za DC brzo punjenje kojeg je razvio Tesla Motors, no taj je standard trenutno ograničen samo na njihove modele električnih automobila.



Slika 40. Combo 1 (desno) i Combo 2 (lijevo) konektor

## 9. Sigurnosni sustav kod električnih punionica

Prilikom punjenja vozila, da bi se postigla potrebna sigurnost, sustav punjenja mora obaviti nekoliko sigurnosnih funkcija i uspostaviti potrebnu komunikaciju s vozilom tijekom spajanja i punjenja. Javne punionice su opskrbljene dodatnim strujnim senzorima i/ili mehanizmima koji registriraju da li je došlo do uspostavljanja kontakta koji istodobno služe za odspajanje kada se električno vozilo više ne napaja strujom. Bez ovih senzora naglo odspajanje priključenog vozila od stanice za punjenje može biti opasno.



Slika 41. Sigurnosni i ostali elementi u brzim punjačima

Dva su osnovna tipa sigurnosnih senzora:

- strujni sensor koji održava spoj ako je mjerena struja unutar dozvoljenih granica
- signal povratne veze kojem pripada jedan pin unutar posebnog višepinskog konektora specificiranog standardom SAE J1772 I IEC 62196

Strujni senzori koriste standardne konektore i omogućavaju opciju monitoringa ili naplate isporučene električne energije. Upotrebom signala povratne veze moguće su veće brzine monitoringa i kontrole pri punjenju.



SIGURNOSNI ELEMENTI U BRZIM PUNJAČIMA STANICA ZA PUNJENE ELEKTRIČNIH VOZILA	
ELEMENT	SVRHA
AC filter	Štiti distribucijsku mrežu od izobličenja višim harmonicima
Korektor omjera snage (PFC)	Povećava učinkovitost pretvorbe energije
Izolacijski transformator	Galvanski odvaja krug baterije od distribucijske mreže u svrhu zaštite ljudi kod rukovanja stanicom
LC filter	Smanjuje valovitost izlazne struje stanice u svrhu zaštite sustava baterije
Rastavljač napona u slučaju dozemnog spoja	Brzo odspajanje sustava s naponskog izvora u slučaju detekcije struje u vodu uzemljenja u svrhu zaštite rukovaoca stanicom od električnog udara

Tablica 6. Funkcije sigurnosnih i ostalih elemenata u brzim punjačima

## 10. Sustav identifikacije korisnika i naplate energije

Sustav identifikacije korisnika i naplate energije potreban je samo kod javnih stanica za punjenje. Kod kućnih priključaka, odnosno kod priključaka s ograničenim pristupom (radne organizacije) identifikacija korisnika i naplata energije se najčešće ne provodi ili je izvedeno nezavisno od stanice za punjenje. Kod javnih stanica za punjenje cjelokupni postupak punjenja odvija se u četiri faze:

- Identifikacija korisnika i dozvola punjenja
- Punjenje prema protokolu određenim priključkom i stanicom
- Plaćanje usluge
- Odspajanje stanice od vozila i oslobađanje vozila

Identifikacija korisnika može se provesti primjenom RFID, magnetskih, bar kod ili smart kartica, kreditnih kartica, odnosno NFC ili Bluetooth protokola. Nakon identifikacije korisnika provodi se validacija metode plaćanja te autorizacija pristupa korisnika stanici za punjenje. Slijedi otključavanje mehanizma konektora i omogućenje priključka vozila. Po priključku kabela na vozilo konektor se zaključava i pokreće se postupak punjenja prema ugrađenom protokolu.



Slika 42. Identifikacija i naplata uz pomoć smart kartice

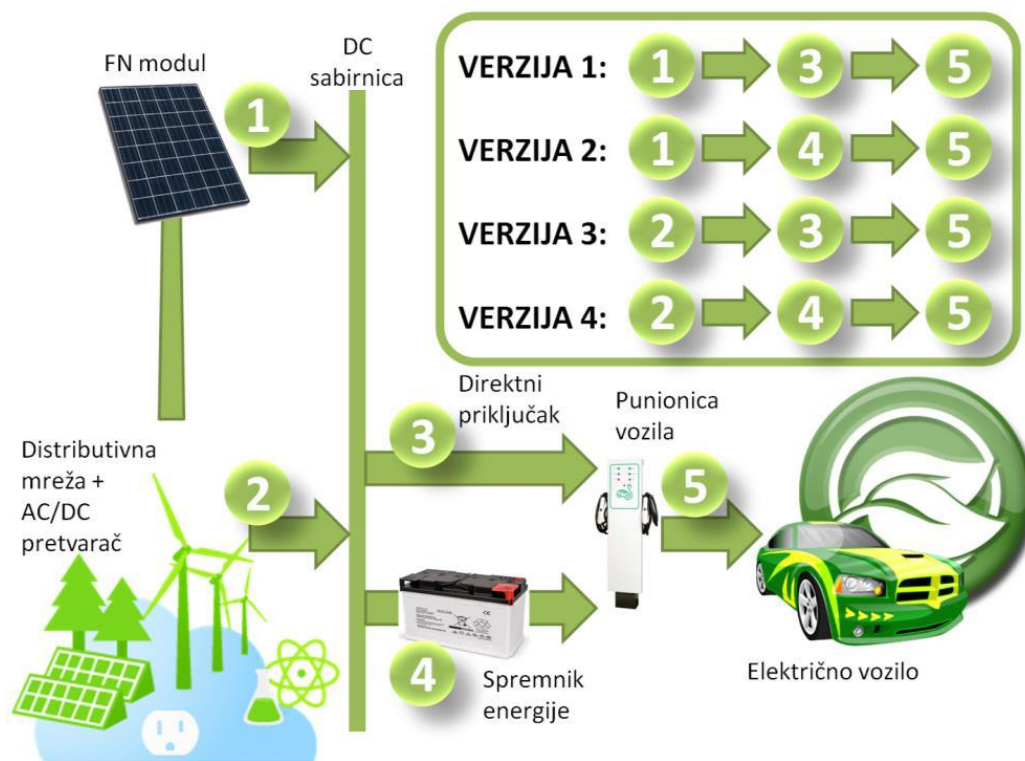
Po završetku punjenja bilježi se utrošena energija, podaci o korisniku i utrošenoj energiji šalju se nadzornom sustavu koji formira račun te se račun naplaćuje od korisnika. Nakon prihvata podataka o plaćenom računu od nadzornog sustava i usporedbe s identifikacijskim podacima korisnika, otključava se mehanizam konektora omogućava se njegovo vraćanje na stanicu i zaključavanje na samoj stanici. Time je vozilo oslobođeno i postupak punjenja završen.

## 11. Izvedivost punionica napajanih obnovljivim izvorom energije

Stanice za punjenje električnih vozila moraju na raspolaganju imati električnu energiju. Potrebna ulazna snaga stanice po priključnom mjestu kreće se prema Tablici 5, od 3,5kW do 240kW. Idealno bi bilo osigurati potrebnu energiju iz obnovljivih izvora energije. Time bi se dobila autonomnost punionica kao i smanjenje troškova eksploatacije.

Razmotriti se moraju stanice u autonomnom radu, stanice priključene na energetska mrežu i na obnovljive izvore te stanice samo priključene na energetska mrežu. Budući da obnovljivi izvori zasnovani na fotonaponskim člancima i vjetru imaju stohastičku prirodu i raspoloživost, u slučaju stanice bez priključka na energetska mrežu potrebno je razmotriti i sustave skladištenja energije. Na raspolaganju za skladištenje stoje baterije i vodik. Baterija ima vrlo visoku korisnost, dok kod pohrane u vodiku pretvaranjem iz električne energije u energiju vodika i natrag 75% početne energije završi u toplini. U tom slučaju prikladni su kogeneracijski sustavi radi povećanja korisnosti.

U slučaju korištenja fotonaponske tehnologije za punionice električnih vozila neophodno je provesti analizu mogućnosti instalacije sustava na zadanoj lokaciji. Moguće je izvesti autonomnu fotonaponsku punionicu, ili je izvesti hibridno u kombinaciji sa distributivnom električnom mrežom, te uz korištenje ili bez baterijskih spremnika energije, kao što je prikazano na Slici 43. Fotonaponska energija bi svakako trebala biti iskorištena u cijelosti, a samo u slučaju hibridnih stanica električnu energiju iz distributivne mreže koristiti isključivo kao dopunu potrebnih kapaciteta punionice. Analiza mogućnosti ovakve upotrebe fotonaponske tehnologije svodi se na dva osnovna kriterija. Prvo i najveće ograničenje je dostupna površina za ugradnju fotonaponskih modula u slučaju modela za jedno parkirališno mjesto. Drugo ograničenje je potreba za brzinom punjenja unutar vremena zadanog standardom, odnosno određivanjem potrebne instalirane fotonaponske snage za zadovoljavanje ovog zahtjeva.



Slika 43. Mogućnosti izvođenja punionice električnih vozila fotonaponskim sustavima

## 12. Proračun fotonaponskog sustava za punjenje tri električna automobila

U ovom poglavlju izveden je proračun fotonaponskog sustava na nadstrešnici koja pokriva tri parkirna mjesta. U ovom slučaju električna energija dobivena iz fotonaponskog sustava se koristi za punjenje tri električna automobila koja su parkirana na parkirnim mjestima ispod nadstrešnice. Ovakav sustav poznat je pod imenom "SOLAR CARPORT".

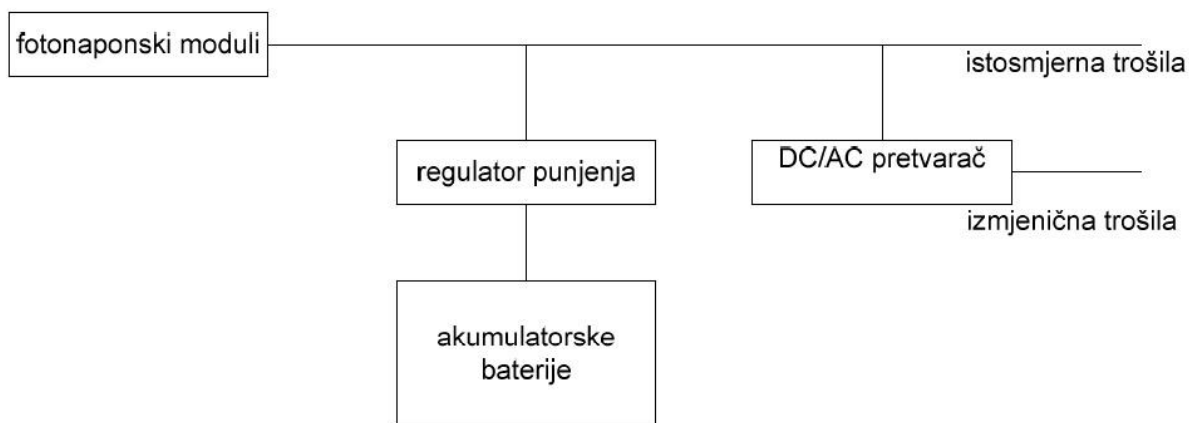


Slika 44. Solar Carport

Ovisno o načinu rada fotonaponske sustave djelimo na:

1. Samostalni (autonomni), za čiji rad mreža nije potrebna
2. Mrežni, spojeni na električnu mrežu:
  - pasivni, kod kojih mreža služi (samo) kao pričuvni izvor
  - aktivni, kod kojih mreža može pokrivati manjkove, ali i preuzimati viškove električne energije iz FN modula
3. Hibridni, koji su zapravo samostalni povezani s drugim (obnovljivim) izvorima.

U ovom proračunskom modelu korišten je samostalni (autonomni) način rada FN sustava. Samostalni (autonomni) sustavi za svoj rad nemaju potrebu spajanja na električnu mrežu. Kod njihove primjene, kad električnu energiju treba isporučivati tijekom noći ili u razdobljima s malim intenzitetom Sunčevog zračenja nužan je akumulator (baterija) koji služi kao spremnik električne energije. Tom se sustavu pored akumulatora mora dodati regulator za kontrolirano punjenje i pražnjenje baterije.



Slika 45. Samostalni autonomni FN sustav

Osnovni dijelovi našeg proračunskog fotonaponskog sustava su:

1. Fotonaponski moduli
2. Izmjenjivač
3. Solarna baterija
4. Bidirekcijski izmjenjivač (regulator punjenja)
5. Trošila (automobili Mitsubishi i-MiEV)

Osnovna ideja ovog FN sustava kao što smo na početku ovog poglavlja naglasili je punjenje tri električna automobila marke Mitsubishi i-MiEV. Solarni moduli su montirani na nadstrešnicu iznad automobila te ukupan broj modula je ovisan o iznosu potrebne snage te

brzini punjenja automobila. Kako bi sustav mogao puniti automobile noću i u slučaju lošeg vremena ugrađene su solarne baterije koje u tom periodu preuzet punjenje automobila. Cilj nam je postić čim veću autonomiju sustava te osigurati mogućnost neprekidnog punjenja automobila.

U daljnjem tekstu dati ćemo detaljan opis svih glavnih dijelova FN sustava i vrijednosti njihovih parametara te će biti prikazan proračun FN sustava.

### 12.1. Model električnog automobila

Proračun je izveden za punjenje tri električna automobila marke Mitsubishi i-MiEV. Taj model električnog automobila prije svega je namijenjen kupcima iz urbanih sredina koji dnevno prelaze manje od 150km, a žele vozilo koji iziskuje minimalne troškove (električna energija je i do 9 puta jeftinija naspram naftnih derivata). Zbog toga što ne emitira štetne plinove i CO<sub>2</sub> te bitno doprinosi smanjenju zagađenja atmosfere u velikim gradovima, kupci i-MiEV-a u razvijenim zemljama koje drže do zaštite okoliša imaju i na raspolaganju državne poticaje.



Slika 46. Mitsubishi i-MiEV

Cijena ovog električnog automobila na Hrvatskom tržištu na dan 26.3.2015.god. iznosi 190 000,00kn sa PDV-om. No međutim cijena može u konačnici biti niža ukoliko se iskoriste poticaji za kupnju električnog automobila od strane Fonda za zaštitu okoliša, koji mogu iznositi u nekim slučajevima i do 70 000,00kn.

Na slijedećoj stranici u Tablici 7. dane su osnovne tehničke karakteristike korištenog modela električnog automobila.

Svakako za naš proračun najvažniji podatak je kapacitet baterije dotičnog električnog automobila. Vrijednost kapaciteta baterije automobila i kapaciteta solarne baterija FN sustava su podaci prema kojima se odabire broj i karakteristike ostalih osnovnih dijelova sustava.

Tehničke karakteristike:	
<b>Tip motora:</b>	AC električni
<b>Najveća snaga (kW/KS)</b>	49/67
<b>Najveći okretni moment (Nm pri okr/min)</b>	180/0-2000
<b>Najveća brzina (km/h)</b>	130
<b>Ubrzanje (0-100 km/h)</b>	15,9
<b>Dužina (mm)</b>	3475
<b>Širina (mm)</b>	1475
<b>Visina (mm)</b>	1610
<b>Masa vozila (kg)</b>	1085
<b>Kapacitet baterije (kWh)</b>	16
<b>Potrošnja tijekom vožnje (Wh/km)</b>	125

Tablica 7. Tehničke karakteristike vozila Mitshubishi i-MiEV

Kao što možemo vidjeti iz Tablice 7. kapacitet baterije električnog automobila korištenog u ovom proračunu iznosi 16 kWh. Pošto se proračun FN sustava bazira na punjenju tri istovjetna električna automobila, ukupni kapacitet iznosi tri puta više to jest 48 kWh.

$$\begin{aligned} \text{Kapacitet baterije auta} \times 3 \text{ kom} &= \text{Ukupni kapacitet} \\ 16 \text{ kWh} \times 3 &= 48 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Zadano vrijeme punjenja nam je 8 sati. Znači FN sustav treba projektirati tako da uspije napuniti tri automobila u vremenskom periodu od 8 sati. Kako bi zadovoljili ovaj uvjet FN sustav mora dati 6kW po jednom satu.

$$\frac{\text{Ukupni kapacite}}{\text{Vrijeme punjenja}} = \text{Energije po jednom satu}$$

$$\frac{48 \text{ kWh}}{8 \text{ h}} = 6 \text{ kW po 1h}$$

## 12.2. Solarna baterija

Solarne baterije su izvori energije tijekom perioda kada solarni moduli, vjetro ili hidroagregati ne proizvode električnu energiju, odnosno spremišta viška proizvedene energije.

Za ovaj proračun korištena je baterija Nizozemske tvrtke Victron energy, model GEL VRLA 12V, 220Ah C20.



Slika 47. Solarna baterija GEL VRLA 12V, 220 Ah C20

Baterija prikazana na Slici 47. je izvedena u VRLA (engl. Valve Regulated Lead Acid) tehnologiji. To znači da se radi o olovnim baterijama koje su nepropusne i hermetički zatvorene. Tek u slučaju dugotrajnog i nekontroliranog prepunjenja ili kvara u samoj bateriji, plin koji se u njoj razvija će biti ispušten kroz sigurnosni ventil. U ovoj tehnologiji se uobičajeno proizvodi dva tipa baterija: AGM (engl. Absorbent Glass Mat) i Gel baterije. GEL tip baterija ima veći životni vijek i veći broj ciklusa pražnjenja u odnosu prema AGM tipu.

Zbog tehnološke izvedbe i korištenja vrlo čistih materijala GEL VRLA baterija može biti skladištena u nespojenom stanju i do godine dana bez potrebe za nadopunjavanjem. Brzina samopražnjenja je 2% kapaciteta na mjesec pri 20°C.

Visoka temperatura baterije utječe izuzetno nepovoljno na životni vijek baterije u radu. Slika 48. prikazuje usporedbu životnog vijeka AGM i GEL VRLA baterija pri određenoj temperaturi.

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

Slika 48. Trajanje baterije

Za baterije u otočnim sustavima je izuzetno važna dubina pražnjenja i broj ciklusa pražnjenja. Dubina pražnjenja i broj ciklusa pražnjenja mjera su energije koja može biti iskorištena iz baterije u njenom životnom vijeku. Solarne baterije su projektirane tako da mogu izdržati duboka pražnjenja, no takva duboka pražnjenja drastično skraćuju životni vijek baterije. Na Slici 49. prikazan je broj ciklusa pražnjenja u ovisnosti o dubini pražnjenja za dva tipa VRLA baterija.

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

Slika 49. Broj ciklusa baterije

Kapacitet naše solarne baterije koja će se koristiti u proračunskom modelu iznosi 220Ah, uz tu oznaku piše i vrijednost C20. C20 znači da će se 220Ah isprazniti za 20h, odnosno da se baterija prazni sa 11 A kroz 20 h (kako je 11A ujedno 5% brojčane vrijednosti kapaciteta baterije 220Ah, kaže se da se baterija prazni s 0,05C).

Struja punjenja baterije ne smije prerasti 0,2C (konkretno za 220Ah bateriju ne bi smjela biti veća od 20% kapaciteta, dakle ne bi smjela biti veća od 44A). Uobičajeno se projektiraju otočni sustavi tako da struja punjenja bude oko 15% kapaciteta baterije. Uz veće struje punjenja dolazi do pojačanog zagrijavanja baterije pa uređaji za punjenje moraju imati temperaturnu kompenzaciju struje punjenja kako ne bi u procesu punjenja nepovratno oštetili bateriju.

### 12.2.1. Proračun solarne baterije

Pošto smo odabrali solarnu bateriju koja ima napon 12 Volti te kapacitet 220Ah C20, morat ćemo povezati nekoliko takvih baterija u tkz. Banke akumulatora kako bi dobili potrebni iznos napona i kapaciteta. Zamišljeno je tako da svako mjesto za punjenje od ukupno tri ima svoju banku akumulatora.

Napon jedne banke akumulatora iznositi će 24V, zbog pravila da se iznad 1.2kW izmjenične snage trošila pa do maksimalno 5kW uzme napon akumulatora od 24 Volte.

Akumulatori se ne smiju prazniti ispod određene razine jer promjene na njima postaju nepovratne i može doći do uništenja. Ovo je podatak koji se mora uzeti iz tehničkih podataka akumulatora. Broj  $t_z$  u iznosu naprimjer 0.3 značio bi da se akumulator smije prazniti do 30% svog kapaciteta. U našem slučaju  $t_z$  ćemo uzeti 0.2, što znači da ćemo akumulatore prazniti do 20% njegovog kapaciteta što bi moralo osigurati trajanje akumulatora od najmanje 5 godina.



U procesu punjenja akumulatora neće se moći uskladištiti sva privedena energija na njegovim stezaljkama, stoga je potrebno definirati stupanj korisnog djelovanja punjenja akumulatora. Na primjer broj u iznosu 0.90 znači da će se svega 90% privedene energije uistinu u akumulatoru i uskladištiti. I ovaj podatak je potrebno preuzeti od proizvođača akumulatora. U našem slučaju stupanj korisnosti iznosi 0.95.

Pošto smo napon banke baterija već izabrali i on iznosi 24 Volte, slijedi izračun kapaciteta.

Banka baterija mora biti dimenzionirana tako da može puniti noću automobil Mitsubishi i-MiEV koji ima kapacitet baterije 16kWh. Korisnost naše solarne baterije iznosi 0.95 stoga privedena električna energija potrebna za punjenje baterije iznosi 16.850kWh.

$$\frac{\text{Kapacitet baterije automobila}}{\text{Korisnost solarne baterije}} = \text{Potrebna privedena električna energija}$$

$$\frac{16 \text{ kWh}}{0.95} = 16.850 \text{ kWh}$$

Radi daljnjeg računanja potrebno je kilovat sate pretvoriti u amper sate tako da kilovat sate podijelimo sa naponom solarnog akumulatora kojeg smo prethodno izabrali da će iznositi 24V.

$$\frac{16.850 \text{ kWh}}{24 \text{ V}} = 702 \text{ Ah}$$

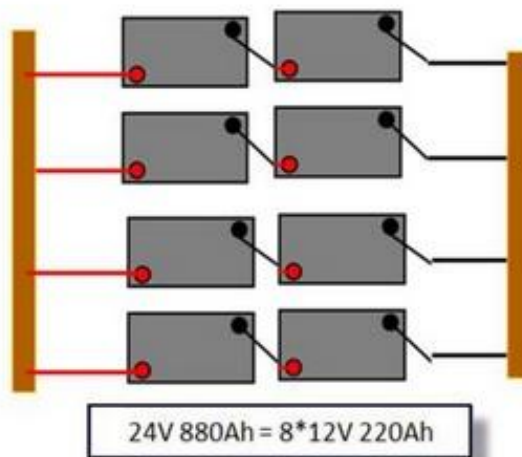
Naša solarna baterija prema svojim tehničkim podacima nesmiye se praznit ispod 20 posto svojega ukupnog kapaciteta. Tako da će realni kapacitet naše solarne baterije biti veći za 20 posto, kako bi mogla napuniti automobil čija baterija ima kapacitet 16kWh.

$$702 \text{ Ah} + (702 \text{ Ah} \times 0.20) = 842 \text{ Ah}$$

Realni kapacitet naše solarne baterije mora minimalno iznositi 842Ah kako bi zadovoljio zadane kriterije te mogao napuniti bateriju zadanog automobila.

To će u konkretnom slučaju značiti 4 baterijska sloga po 24V, 220Ah u paralelu, dakle ukupno 24V, 880Ah. Na sljedećoj stranici na Slici 50. prikazan je spoj pojedinih akumulatora u realnoj baterijskoj banci.

Znači, banka akumulatora koja je prikazana na Slici 50. konačnog iznosa 24V, 880Ah prema proračunu zadovoljava zadanim uvjetima za punjenje jednog električnog automobila. Za punjenje tri automobila kao što je u našem slučaju potrebne su nam takve tri banke akumulatora.



Slika 50. Spoj baterija u Banku baterija

### 12.3. Fotonaponski modul

Fotonaponski moduli su uređaji koji se sastoje od više fotonaponskih ćelija, koje pomoću poluprovodničkog materijala pretvaraju fotone svjetlosti u električnu energiju. Za izradu se najčešće koristi kristalni silicij. Količina energije koju moduli proizvode zavisi o intenzitetu svjetlosti koju primaju fotonaponske ćelije.

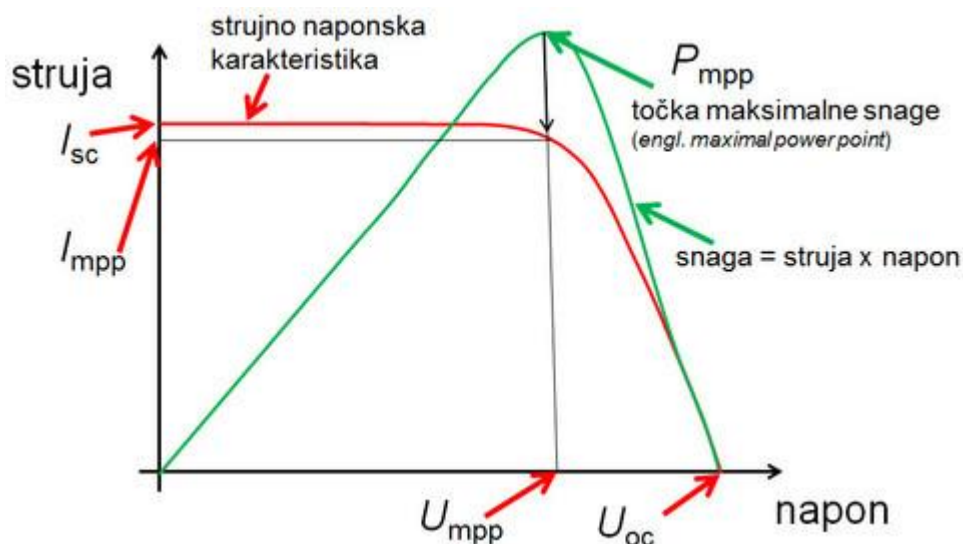
Postoje tri vrste fotonaponskih modula:

1. Monokristalni,
2. Polikristalni,
3. Amorfni.

Svaki fotonaponski modul karakteriziran je određenim parametrima koji su nam važni u primjeni. Strujno naponska karakteristika je uvijek dana za određeno osunčanje. Tako će proizvođači navoditi podatke mjerene pri STC (engl. standard test conditions) i NOCT (engl. normal operating cell temperature):

- NOCT uvjeti: 800W/m, 20°C temp. okoline, brzina vjetra 1 m/s = 3,6km/h, AM = 1,5
- STC uvjeti: 1000W/m, 25°C temperatura okoline, AM = 1,5

I u STC i u NOCT uvjetima nalazi se bezdimenzionalni podatak AM=1,5. Ovaj parametar je vezan za sastav spektra zračenja koje pada na modul, a sve kako bi se simuliralo sunčevo zračenje.



Slika 51. Strujno naponska karakteristika i karakteristika snage

Iz strujno naponske karakteristike se može dobiti i karakteristika snage jednostavnim množenjem vrijednosti napona i struje. Na karakteristici snage, Slika 51. se može uočiti točka maksimalne snage, i baš za tu točku par vrijednosti napona i struje  $U_{mpp}$  i  $I_{mpp}$ . Maksimalna snaga fotonaponskog modula pri STC je ujedno i definicija nazivne snage modula i označava se u  $W_p$  (engl. watt-peak).

Najinteresantniji parametar fotoćelije, a time i fotonaponskog modula sastavljenog iz fotoćelija, bez obzira na tehnologiju je stupanj korisnog djelovanja. On nam kaže koliko će se zračenja pri STC uvjetima pretvoriti u električnu snagu, odnosno energiju. Tako na primjer polikristalni modul dimenzije  $1,7 \times 1\text{ m}$ , površine  $1,7\text{ m}^2$ , koji ima stupanj korisnog djelovanja  $14,7\%$  će iz  $1000\text{ W/m}^2$  (pri STC uvjetima!) dati  $250W_p$  snage.

Za modeliranje našeg FN sustava korišten je fotonaponski modul SOLVIS SV 60-255 prikazan na Slici 52. Modul se sastoji od 60 polikristalinih silicijevih ćelija te je proizvod hrvatske tvrtke SOLVIS čije se središte nalazi u Varaždinu. Važno je naglasiti da vršna snaga modula iznosi  $255W_p$  te površina  $1.66\text{ m}^2$ . Ostale karakteristike dane su u tablicama 8,9 i 10.



Slika 52. Fotonaponski modul SOLVIS SV 60-255

Tehničke karakteristike pri standardnim testnim uvjetima (STC)*	
Vršna snaga $P_M$ (W)	255
Dozvoljeno odstupanje (W)	-0/+0,49
Struja kratkog spoja $I_{KS}$ (A)	8,88
Napon praznog hoda $U_{OK}$ (V)	37,7
Nazivna struja $I_N$ (A)	8,34
Nazivni napon $U_N$ (V)	30,7
Dozvoljena odstupanja napona i struje (%)	$\pm 3$
Efikasnost modula (%)	15,58

Tablica 8. Tehničke karakteristike FN modula SOLVIS SV60-255 (STC - 1000 W/m<sup>2</sup> ozračenje, 25 °C temperatura ćelije)

Radni uvjeti	
Temperaturno područje (°C)	-40 do +85
Maksimalni napon sustava (V)	1000
Najveća dopuštena reverzna struja (A)	13
Maksimalno opterećenje	Ispitano do 5400 Pa
Otpornost na udar	Tuča promjera 25 mm pri brzini 23 m/s

Tablica 9. Radni uvjeti FN modula SOLVIS SV60-255

Mehanički podaci	
Dimenzije (VxŠxD) (mm)	1650x992x40
Masa (kg)	18,7
Broj i vrsta ćelija	60 ćelija, polikristalični Si
Staklo	3,2 mm, kaljeno sunčano staklo
Okvir	Okvir od anodiziranog aluminija s dvostrukom stijenkom

Tablica 10. Mehanički podaci FN modula SOLVIS SV60-255

### 12.3.1. Proračun fotonaponskih modula

Kako bi dobili ukupan broj potrebnih fotonaponskih modula koje treba ugraditi na nadstrešnicu za punjenje tri automobila te tri banke akumulatora koristit ćemo online servis PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>). Pomoću tog servisa došli smo do podataka koliko kWh u pojedinom mjesecu na ciljnoj lokaciji grad Karlovac uz zadanu orijentaciju i nagib modula može proizvesti  $1\text{kW}_p$  fotonaponskih modula.

The screenshot shows the PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) interface. On the left, there is a map of Karlovac, Croatia, with a red pin indicating the location. The map includes street names like 'Domobranska ul.' and 'Rakovac ul.'. On the right, the 'Performance of Grid-connected PV' configuration panel is visible. It includes the following settings:

- Performance of Grid-connected PV**
- Radiation database: Climate-SAF PVGIS
- PV technology: Crystalline silicon
- Installed peak PV power: 1 kWp
- Estimated system losses [0;100]: 14 %
- Fixed mounting options:**
  - Mounting position: Free-standing
  - Slope [0;90]: 36 °
  - Azimuth [-180;180]: 0 °
- Tracking options:**
  - Vertical axis: Slope [0;90]: 0 °
  - Inclined axis: Slope [0;90]: 0 °
  - 2-axis tracking:
- Horizon file: Odaberi datoteku (Nije odabrana niti jedna datoteka.)
- Output options:**
  - Show graphs:
  - Show horizon:
  - Web page:
  - Text file:
  - PDF:

A 'Calculate' button is located at the bottom of the configuration panel.

Slika 53. Online servis PVGIS sa podešenim podacima sustava

Podaci uz koje je rađen proračun (podatke pod 1. i 2. unosite Vi, ostalo predlaže aplikacija!):

1. Mikrolokacija objekta: grad Karlovac.
2. Orijentacija objekta: azimut  $0^\circ$ , nagib modula  $36^\circ$
3. Baza korištena za proračun dobivene električne energije: Climate-SAF PVGIS.
4. Nazivna snaga fotonaponskog postrojenja:  $1\text{kW}_p$ .
5. Očekivani, pretpostavljeni, gubitci rezultirani utjecajem temperature okoline: 10%.
6. Očekivani, pretpostavljeni, gubitci zbog refleksije površina: 2.7%.
7. Ostali, pretpostavljeni gubitci (kabeli, spojnice, izmjenjivač): 14.0%.
8. Pretpostavljeni zbirno očekivani gubitci na kompletnom fotonaponskom sustavu: 24.7%.

Na Slici 54. vidjivi su podaci koje je izračunao online servis PVGIS prema zadanim parametrima.

Fixed system: inclination=36°, orientation=0°				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	1.40	43.3	1.70	52.7
Feb	2.32	65.1	2.85	79.8
Mar	3.34	104	4.27	132
Apr	3.97	119	5.20	156
May	4.25	132	5.73	178
Jun	4.40	132	6.00	180
Jul	4.59	142	6.30	195
Aug	4.38	136	6.02	187
Sep	3.52	106	4.68	140
Oct	2.61	80.9	3.37	104
Nov	1.51	45.4	1.87	56.0
Dec	1.15	35.5	1.38	42.8
<b>Yearly average</b>	<b>3.12</b>	<b>95.0</b>	<b>4.12</b>	<b>125</b>
<b>Total for year</b>		<b>1140</b>		<b>1500</b>

Slika 54. Izračun online servisa PVGIS

( $E_d$  - Prosječna dnevna proizvodnja električne energije iz zadanog sustava (kWh),  $E_m$  - Prosječna mjesečna proizvodnja električne energije iz zadanog sustava (kWh),  $H_d$  - Prosječna dnevna suma globalnog ozračenja po četvornom metru primljen modulom danog sustava (kWh / m<sup>2</sup>),  $H_m$  - Prosječan iznos od globalnog ozračenja po četvornom metru primljen modulom danog sustava (kWh / m<sup>2</sup>))

Daljni proračun temeljit ćemo na podatku  $E_d$  tj. na prosječnoj dnevnoj proizvodnji električne energije iz zadanog sustava. Uzet ćemo godišnji prosjek, tako da nam je  $E_d$  jednak 3.12kWh. Znači pošto prosječni dan u godini traje 12 sati to bi značilo da Fotonaponski sustav od 1kW<sub>p</sub> instalirane snage na području grada Karlovca može proizvesti 0.26 kW električne energije po satu.

$$\frac{\text{Prosječna dnevna proizvodnja el. en.}}{\text{Trajanje prosječnog dana u god.}} = \text{El. en. po satu}$$

$$\frac{3.12 \text{ kWh}}{12 \text{ h}} = 0.26 \text{ kW}$$

Slijedeći korak do konačnog broja fotonaponskih modula je iznos potrebne dnevne električne energije da bi sustav mogao istovremeno punit električni automobil i solarnu banku akumulator koja će u noćnim satima preuzet punjenje automobila. Također ponovno napominjem da se slijedeći proračun odnosi na jedan automobil i jedan banka akumulator.

Znači kapacitet baterije el. automobila iznosi 16kWh, kapacitet banke akumulatora iznosi 16.85kWh ukupna izlazna dnevna snaga fotonaponskog sustava mora iznositi minimalno 32.85kWh.

Jedan od zadanih uvjeta na FN sustav je bio da napuni električni automobil za 8 sati punjenja. Kako bi taj uvjet bio ispunjen potrebno je ukupnu potrebu za električnom energijom podijeliti sa 8 sati.

$$\frac{32.85 \text{ kWh}}{8 \text{ h}} = 4.11 \text{ kW po satu}$$

Znači kako bi zadovoljili uvjet da se električni automobil napuni za 8 sati potrebna je izlazna snaga FN sustav od 4.11kW po satu. To jest ukupna dnevna potrebna električna energija iznosila bi 49.32kWh pošto prosječan dan traje 12h.

*Izlazna snaga sustava po satu × Broj sati dana = Ukupna potrebna dnevna el. en.*

$$4.11 \text{ kW} \times 12 \text{ h} = 49.32 \text{ kWh}$$

Sada možemo izračunati kolika bi nam bila potrebna instalirana snaga FN sustava da bi mogla proizvesti ukupnu potrebnu dnevnu el.en.(49.32kWh). Znamo da da nam 1kW<sub>p</sub> instalirane snage može proizvesti za naš slučaj dnevno 3.12 kWh. Znači ako podijelimo ukupnu potrebnu dnevnu el. energiju. sa el. energijom koju je proizveo FN sustav od 1kW<sub>p</sub> instalirane snage dobit ćemo iznos potrebne instalirane snage da bi zadovoljili sve naše prethodne uvjete.

$$\frac{49.32 \text{ kWh}}{3.12 \text{ kWh}} = 15.81 \text{ kWp}$$

I konačno možemo izračunati broj FN modula koje je potrebno montirati na nadstrešnicu. Pošto znamo da naš FN modul prizvodi 255W<sub>p</sub> izlazne snage, moramo ukupnu potrebnu instaliranu snagu podijeliti sa 255W<sub>p</sub>.

$$\frac{15.81 \text{ kWh}}{255 \text{ Wp}} = 62 \text{ kom FN modula}$$

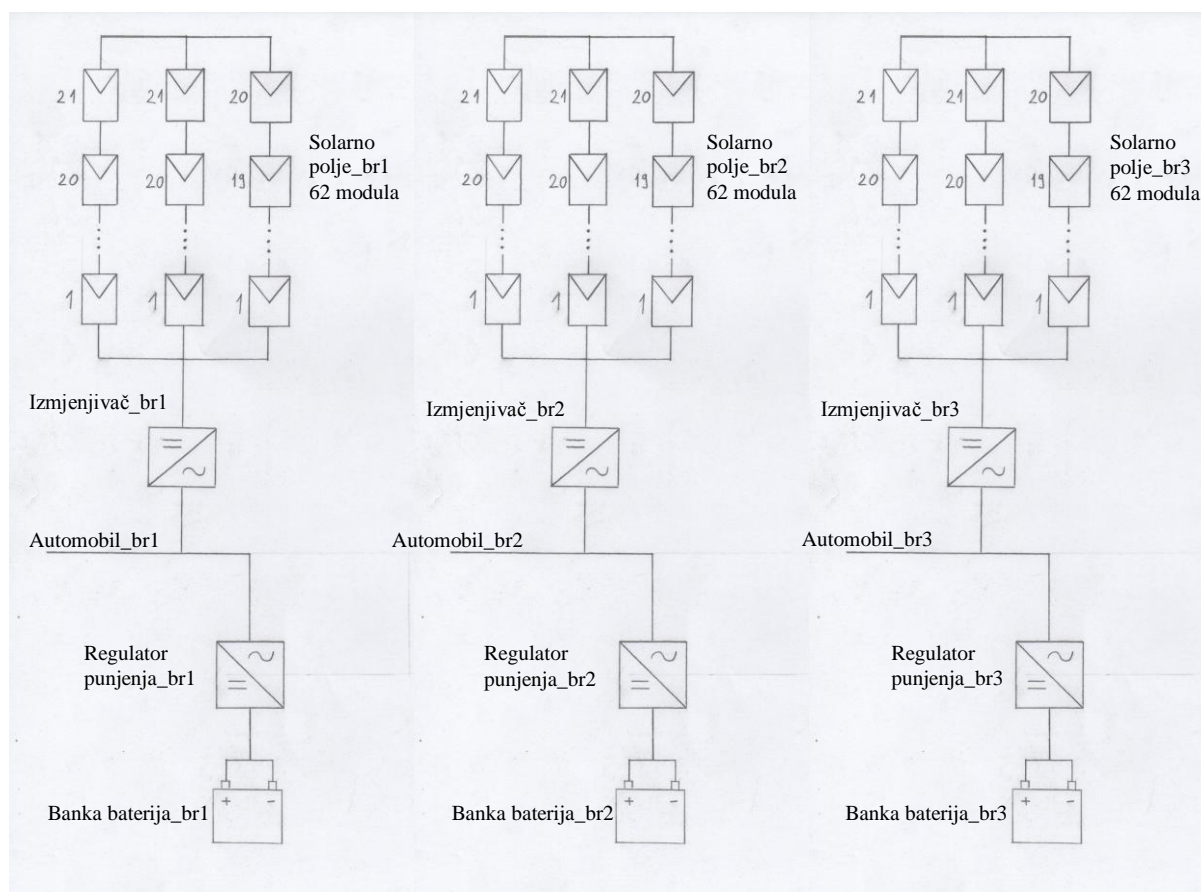
Pošto smo do sada proračun temeljili na punjeje jednog el. automobila i jednu banka bateriju potrebno je rezultat pomnožiti sa tri kako bi dobili ukupan broj FN modula. To je moguće iz tog razloga pošto su svi parametri i pretpostavke iste za sva tri automobila i za sve tri banka baterije.

$$62 \text{ kom} \times 3 = 186 \text{ kom}$$

Ukupno je potrebno instalirati 186 kom FN modula kako bi zadovoljili sve postavljene uvjete. Površina jednog FN modula iznosi približno  $1.7 \text{ m}^2$  stoga bi ukupna površina potrebna za ugradnju svih tih FN modula iznosila  $316 \text{ m}^2$ .

$$\begin{aligned} \text{Broj FN modula} \times \text{Površina jednog FN modula} &= \text{Ukupna površina} \\ 186 \text{ kom} \times 1.7 \text{ m}^2 &= 316 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

#### 12.4. Shema spajanja osnovnih elemenata FN sustava



Slika 55. Shema spajanja osnovnih elemenata FN sustava

U ovom poglavlju dana je shema FN sustava za punjenje tri električna automobila marke Mitsubishi.

Spajanjem fotonaponskih modula kao na Slici 55. u seriju dobiva se niz modula, odnosno „string“. Spajanjem u seriju fotonaponskih modula zbrajaju se naponi modula u napon niza, uz zadržavanje iste struje koja protječe kroz sve module. Koliko se modula može spojiti u niz bit će određeno maksimalnim dozvoljenim ulaznim naponom uređaja na koji se priključuju. Spajanjem nizova u paralelu zadžava se napon niza, a zbraja se struja nizova. Koliko se smije nizova spojiti u paralelu bit će određeno maksimalnom ulaznom stujom uređaja na koji se moduli priključuju. Nekoliko nizova spojenih paralelno tvori fotonaponsko (solarno) polje.



Kako bi u sljedećem poglavlju mogli odabrati model izmjenjivača izračunat ćemo maksimalnu struju i maksimalni napon koji može proizvesti jedno solarno polje. Maksimalni napon i struja jednog solarnog polja nesmije prijeći maksimalne ulazne vrijednosti struje i napona izmjenjivača.

21 FN modula je spojeno serijski u jednom stringu, pošto se spajanjem u seriju naponi FN modula zbrajaju dolazimo do sljedećeg iznosa:

$$\text{Napon praznog hoda FN modula} \times 21 \text{ kom} = \text{Ukupni napon stringa}$$

$$37.3 \text{ V} \times 21 \text{ kom} = 791.7 \text{ V}$$

Ukupni napon jednog stringa jednak je ukupnom naponu cijelog jednog solarnog polja. Ovo je iznos maksimalnog napona koji se može pojaviti na ulaznim stezaljkama izmjenjivača.

Struje u svakom od tri stringa jednog solarnog polja su jednake kroz sve fotonaponske module. Ukupna struja polja se dobije tako da se zbroje sve tri struje stringova u jednom solarnom polju. Struja kratkog spoja FN modula iznosi 8.88A, znači to je ujedno i struja jednog stringa, pa slijedi da je ukupna struja jednog solarnog polja jednaka:

$$\text{Struja jednog stringa} \times \text{ukupan broj stringa} = \text{Ukupna struja solarnog polja}$$

$$8.88 \text{ A} \times 3 = 26.64 \text{ A}$$

Vrlo bitan podatak za izbor izmjenjivača je također ukupna snaga solarnog polja. Nju dobijemo tako da zbrojimo pojedinačne instalirane snage FN modula koji se nalaze u tom solarnom polju.

$$\text{Snaga FN modula} \times \text{kom} = \text{Ukupna snaga solarnog polja}$$

$$255 \text{ Wp} \times 62 \text{ kom} = 15\,810 \text{ W}$$

## 12.5. Izmjenjivač

Izmjenjivač je uređaj energetske elektronike koji povezuje istosmjerni i izmjenični električki sustav. U fotonaponskim modulima nastaje istosmjerna struja koju za svakodnevnu primjenu treba pretvoriti u izmjeničnu. Pritom se energija iz istosmjernog dijela sustava prenosi prema izmjeničnom, a izmjenjivač može proizvesti potrebni napon odgovarajuće frekvencije.

Postoje dvije vrste izmjenjivača s obzirom na način rada fotonaponskog sustava. Autonomni i mrežom vođeni. Autonomni izmjenjivač stvara u otočnom FN sustavu vlastitu autonomnu izmjeničnu mrežu napona 230V i frekvencije 50Hz. Stoga se naziva i autonomni izmjenjivač. No, izmjenjivač može biti spojen i na postojeću javnu mrežu, ali tada mora imati sklopove za sinkronizaciju s tom mrežom i sklopove za automatsko odvajanje u slučaju kvara na javnoj mreži. Takav izmjenjivač više nije autonoman, već postaje mrežom vođeni izmjenjivač.

### 12.5.1. Odabir izmjenjivača

Potrebno je izabrati mrežni izmjenjivač na koji će se priključiti fotonaponski moduli. Snaga modula jednog solarnog polja iznosi 15 810Wp dakle optimalan je mrežni izmjenjivač 16 000 do 17 500VA. Nije dobro pretjerivati sa snagom izmjenjivača u odnosu na snagu fotonaponskog polja jer se za značajno veće snage izmjenjivača u odnosu na fotonaponsko polje smanjuje stupanj korisnog djelovanja sustava.

No ono na što je izuzetno važno obratiti pažnju je da napon niza mora biti manji od ulaznog napona izmjenjivača. Dobro je maksimalan napon solarnog polja približiti maksimumu dozvoljenog ulaznog napona mrežnog izmjenjivača, ali se ona ne smije nipošto prijeći jer izmjenjivač nema zaštitu od previsoke razine napona na ulazu i posljedično može doći do oštećenja ulaznog dijela izmjenjivača.

Također maksimalna struja solarnog polja nesmije prijeću maksimalnu ulaznu struju izmjenjivača.

Prema ovim kriterijima odabran je izmjenjivač Austrijske tvrtke Fronius i to model Fronius Symo 17.5-3-M, 17.5kW. Nazivna snaga dotičnog izmjenjivača iznosi 17.5kW, maksimalna ulazna struja 33A te maksimalni ulazni napon 1000V. S obzirom da je izlazna snaga našeg solarnog polja 15.810kW, maksimalna izlazna struja 26.64A te izlazni napon 791.7V, odabrani izmjenjivač zadovoljava sva tri kriterija.

Na sljedećoj stranici na Slici 56. prikazan je dotični izmjenjivač te u Tablici 11. dane su njegove glavne tehničke karakteristike.



Slika 56. Izmjenjivač Fronius Symo 17.5-3-M, 17.5kW

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

Tablica 11. Tehničke karakteristike izmjenjivača Fronius Symo 17.5-3-M, 17.5kW

Nakon izbora izmjenjivača u sljedećem poglavlju ćemo pristupiti još samo odabiru bidirekcijskog izmjenjivača (regulatora punjenja baterije).

## 12.6. Bidirekcijski izmjenjivač (regulator punjenja baterije)

Bidirekcijski usmjerivač je elektronički uređaj koji u sebi sadržava ispravljač, regulator punjenja baterija i izmjenjivač. Glavna uloga bidirekcijskog usmjerivača uz punjenje solarne baterije je i formiranje i upravljanje izmjeničnom (AC) mrežom kada solarno polje ne proizvodi dovoljno ili uopće električnu energiju. Najčešće se koristi u sustavima gdje elektroenergetska mreža nije dostupna, kod otočnih sustava ili sustava s neprekidnim napajanjem.

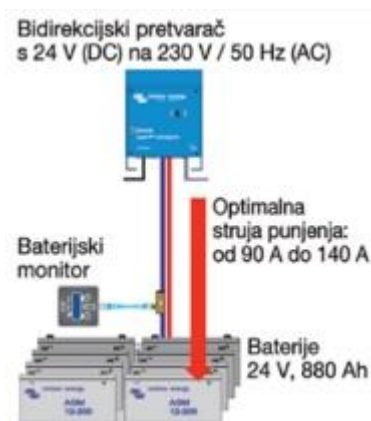
Akumulatorske baterije su jedan od skupljih i osjetljivijih dijelova fotonaponskog otočnog sustava te o njima treba voditi posebnu brigu. Radni vijek kvalitetnih i dobro održanih baterija je od 10 do 15 godina nakon čega ih treba zamijeniti novima. Ukoliko se o baterijama ne vodi dovoljno računa njihov radni vijek može se drastično smanjiti, na svega nekoliko godina. Bidirekcijski usmjerivač ima ugrađeni regulator punjenja baterija koji štiti baterije od pregrijavanja, predubokog pražnjenja i prevelikog punjenja. Regulator punjenja prati temperaturu, napon i struju punjenja baterija te izračunava trenutni kapacitet baterije.

Bidirekcijski usmjerivač uvijek radi u jednom od tri režima:

1. Fotonaponsko polje proizvodi više energije nego što trošila troše te se višak energije sprema u baterije.
2. Fotonaponsko polje proizvodi manje energije nego što trošila troše te se potrebna energija nadoknađuje iz baterija.
3. Fotonaponsko polje proizvodi jednaku količinu energije kao što trošila troše.

### 12.6.1. Odabir bidirekcijskog pretvarača (regulatora punjenja)

Slijedi izbor bidirekcijskog pretvarača. Bidirekcijski pretvarač mora biti izabran prema istosmjernom naponu akumulatorske banke, dakle u našem primjeru za  $24 V_{DC}$ . U sebi objedinjuje i punjač baterija i izmjenjivač. Punjač bidirekcijskog pretvarača mora osigurati potrebnu istosmjernu struju punjenja akumulatora, a to je negdje od 10 do 15% njegovog kapaciteta (vidi Sliku 57). U konkretnom primjeru znači da bidirekcijski pretvarač mora osigurati istosmjernu struju punjenja od 90 do 140A.



Slika 57. Bidirekcijski prevarač kao punjač baterije

Bidirekcijski pretvarač mora kroz sebe moći propustiti cjelokupnu snagu FN polja kada se ne puni električni automobil, a solarna baterija je prazna. Ako bi fotonaponsko polje bilo veće snage od snage koja može proći kroz punjač, tada bi dolazilo do prorade zaštite punjača. Prorada zaštite punjača kada je najveće osunčanje znači nemogućnost punjenja baterija kada sunca ima najviše i to sigurno ne bi bilo optimalno rješenje.

Pošto instalirana snaga jednog solarnog polja FN sustava iznosi 15.81kWp idealna maksimalna snaga bidirekcijskog pretvarača bi bila 16kW. Da bi zadovoljili ovaj uvjet izabrali smo bidirekcijski pretvarač Nizozemske tvrtke Victron energy i to model Quattro 8kVA koji dozvoljava vršnu snagu od 16kW.



Slika 58. Bidirekcijski pretvarač Quattro 8kVA

Tehničke karakteristike Bidirekcijskog pretvarača Quattro 8kVA	
<b>Režim rada INVERTER</b>	
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
<b>Režim rada PUNJAČ</b>	
Napon punjenja	28.8 V
Struja punjenja	110 - 200 A
Senzor temperature baterije	Da
<b>Dimenzije i težina</b>	
Dimenzije	470 x 350 x 280 mm
Težina	45 kg

Tablica 12. Tehničke karakteristike Bidirekcijskog pretvarača Quattro 8kVA

Sada slijedi provjera usklađenosti akumulatora i bidirekcijskog pretvarača i to u radu izmjenjivača u bidirekcijskom pretvaraču. Akumulator određenog kapaciteta ima definiranu maksimalnu snagu izmjenjivača (dio bidirekcijskog pretvarača), a koja još neće djelovati štetno na životni vijek akumulatora. Ponovimo, ako na akumulator priključimo „prejak“ izmjenjivač, on će ubrzano trošiti i stariti bateriju. Ako na bateriju priključimo „preslabi“ izmjenjivač onda možda nećemo u zadanom vremenu moći napuniti električni automobil tj. kada solarno polje ne proizvodi električnu energiju.

Tako vrijedi općenito pravilo: Kapacitet baterije (Ah) > 5h x P<sub>izmj</sub> / U<sub>bat</sub>

U našem konkretnom slučaju imamo izmjenjivač u bidirekcijskom pretvaraču koji može trajno davati 8000 VA za punjenje električnog automobila i akumulator na koji je spojen bi morao imati najmanji kapacitet od:

$$5 h \times \frac{8000 VA}{24 V} = 1666.66 Ah$$

U našem konkretnom slučaju imamo 880 Ah akumulator, pa bi izmjenjivač koji bi trajno punio električni automobil iz naše solarne banke akumulatora s 8000 VA dovodio do

ubranog starenja baterija. Izlaz iz ove situacije je da se ograniči potrošnja iz baterije, a time i snaga punjenja električnog automobila.

Kako bi ispunili uvjet "Kapacitet baterije (Ah) > 5h x P<sub>izmj</sub> / U<sub>bat</sub>" snagu punjenja električnog automobila iz naše solarne banke akumulatora treba ograničiti na 4000VA.

$$880 \text{ Ah} > 5 \text{ h} \times \frac{4000 \text{ VA}}{24 \text{ V}} = 833 \text{ Ah}$$

$$880 \text{ Ah} > 833 \text{ Ah}$$

Uvjet zadovoljen!

Kapacitet baterije električnog automobila Mitsubishi i-MiEV iznosi 16 kWh, znači da bi se taj automobil napunio za 4 sata iz banke baterija tijekom noći dok nema proizvodnje električne energije od strane FN polja. Naravno uz uvjet da se banka baterija napunila tijekom dana do svojeg maksimalnog kapaciteta.

## 12.7. Konačni rezultati proračuna FN sustava za punjenje tri automobila

Zadatak FN sustava:

Fotonaponski sustav montiran na nadstrešnicu mora puniti istovremeno tri električna automobila marke Mitsubishi i-MiEV kapaciteta baterije 16kWh. Punjenje se odvija kako danju tako i noću. Kako bi mogao nastaviti punjenje el. automobila noću ugrađene su tri banke akumulatora koje tada preuzimaju punjenje. Također jedan od uvjeta je da FN sustav napuni el. automobil u vremenskom periodu od 8 sati. Za proračun je korišten online servis PVGIS za lokaciju grad Karlovac te se svi proračuni temelje na proizvodnji el. energije FN sustava prosječnog dana u godini (koji traje 12h).

Rezultati proračuna:

### 1. Solarna banka akumulatora

- Kako bi se punjenje automobila moglo nastaviti i u noćnim satima potrebna nam je banka akumulatora u iznosu od 880Ah, 24 V.
- Banku akumulatora ćemo dobiti spajanjem 8 komada solarnih baterija GEL VRLA 12V, 220 Ah.
- Trebamo takvih tri banke akumulatora za punjenje sva tri el. automobila noću istovremeno.

## 2. Fotonaponski modul

- Da bi tokom dana osigurali istovremeno punjenje tri el. automobila i tri banke akumulatora moramo instalirati FN module ukupne snage  $47.5 \text{ kW}_p$ .
- Korišteni FN moduli: SOLVIS SV 60-255 ( $255 \text{ W}_p$ ,  $1.7\text{m}^2$ ).
- Broj potrebnih FN modula marke Solvis iznosi 186, koje bi trebalo montirati na nadstrešnicu na površinu od  $316\text{m}^2$ .
- Ukupno fotonaponsko polje se sastoji od tri manja fotonaponska polja po 62 modula.
- Svako od tri fotonaponska polja ima svoj izmjenjivač, banka akumulator i bidirekcijski pretvarač.

## 3. Izmjenjivač

- Prema maksimalnoj izlaznoj struji, naponu i snazi jednog solarnog polja (62 FN modula) izabran je izmjenjivač.
- Korišteni izmjenjivač: Fronius Symo 17.5-3-M,  $17.5\text{kW}$ .
- Kako se naš FN sustav sastoji od tri manja FN polja potrebna su i tri izmjenjivača

## 4. Bidirekcijski pretvarač

- Bidirekcijski pretvarač je izabran prema iznosu struje punjenja banke akumulatora te prema maksimalnoj snazi.
- Korišten Bidirekcijski pretvarač: Quattro  $8\text{kVA}$ .
- Također su potrebna tri komada.

Ovaj fotonaponski sustav daje ukupnu izlaznu snagu:  $12.33\text{kW}$  po satu, odnosno dnevno  $147.96\text{kWh}$  (prosječan dan,  $12\text{h}$ ). S ovom navedenom snagom, FN sustav je u stanju napuniti istovremeno tri el. automobila Mitsubishi i-MiEV pojedinačnog kapaciteta  $16\text{kWh}$  te tri banke akumulatora pojedinačnog kapaciteta  $880\text{Ah}$  u vremenskom periodu od 8 sati. Noću je moguće napuniti istovremeno dotična tri el. automobila za 4 sata.



### 13. Zaključak

U današnje vrijeme jedan od najvećih zagađivača zraka su konvencionalna vozila na benzin odnosno dizel. Taj problem se pogotovo primjećuje u velikim gradovima gdje automobili, autobusi i kamioni ispuštaju u zrak dim koji sadržava velik broj štetnih plinova između ostalog ugljični dioksid, CO<sub>2</sub>. Taj plin uzrokuje tkz. efekt staklenika usljed kojeg dolazi do globalnog zatopljenja. Kako bi spriječili te negativne procese moramo smanjit ispuštanje ugljičnog dioksida u atmosferu.

Jedan od koraka je zasigurno uvođenje električnih automobila na naše prometnice. Električni automobili ne proizvode ugljični dioksid u vožnji, ipak valja naglasiti da postrojenja koja proizvode električnu energiju tijekom svog radnog procesa ispuštaju ugljični dioksid kao nusprodukt. Međutim kada se sve to zbroji električni automobili u konačnici proizvode u pola manje uljičnog dioksida.

Glavni razlozi zašto danas još uvijek ne susrećemo velik broj električnih automobila na prometnicama su visoka početna cijena vozila te ograničen domet. Početna cijena električnih automobila se može smanjiti ako se iskoriste poticaji od države međutim domet ostaje najveći problem. Nedostatak punionica za električne automobile je veliki problem trenutno u Hrvatskoj pa i u Europi.

Veći broj punionica zasnovanih na obnovljive izvore energije riješio bi odmah dva problema. Prvo, većom gustoćom punionica olakšalo se bi vlasnicima punjenje svojih električnih automobila ako se upute na duže relacije a drugo korištenjem obnovljivih izvora energije za punjenje električnih automobila, emisije CO<sub>2</sub> bi se smanjile gotova na nulu.

U ovom završnom radu između ostalog se nalazi proračun jednog takvog koncepta punjenja električnih automobila. Konkretno, napravljen je proračun fotonaponskog sustava na nadstrešnici za punjenje tri električna automobila. Znači u ovom slučaju energija Sunčeva zračenja se koristi za proizvodnju električne energije kojom se pune el. auomobili parkirani ispod nadstrešnice.

Da bi se dobila potrebna izlazna snaga fotonaponskog sustava koja bi mogla napuniti automobile u zadanom vremenu potreban je veliki broj fotonaponskih modula (186kom) te velika površina na koju se bi montirali fotonaponski moduli (318m<sup>2</sup>). Također i troškovi izgradnje takvog jednog postrojenja bili bi poprilično veliki.

Mišljenja sam da ako bi htjeli da takvo postrojenje bude rentabilno, odnosno da ne bude velikih dimenzija i ne budu veliki troškovi izgradnje morali bi razmisliti o kombinaciji fotonaponskog sustava podpomognutim s javnom mrežom. U tom slučaju bi mogli smanjiti broj modula i ostalih osnovnih dijelova FN sustava.

I na kraju, uvjeren sam da u vrlo bliskoj budućnosti razvojem fotonaponske tehnologije ovakvo postrojenje za kojeg je u ovom završnom radu napravljen proračun će se moći izvesti na puno manjom površinom te s manjim brojem FN modula i u konačnici manjim troškovima izgradnje.

## 14. Literatura

1. Majdandžić Ljubomir: Fotonaponski sustavi, priručnik
2. Stručni časopis "EGE" , broj 5/2014
3. <http://www.schrack.hr/fotonapon/photovoltaik/projektiranje-otocnog-sustava/>
4. <http://www.autonastruju.com>
5. [http://hr.wikipedia.org/wiki/električni\\_automobil/](http://hr.wikipedia.org/wiki/električni_automobil/)
6. <http://www.e-mobilnost.hr>
7. <http://elen.hep.hr>
8. <http://www.zeelena.com.hr/električni-automobili-prošlost-sadašnjost-i-budućnost/>
9. <http://www.autonet.hr/electa-sol-nevo/>
10. <http://www.energetika-net.com>
11. <http://www.electastol.hr>
12. <http://www.proteanelectric.com>
13. <http://www.solvis.hr/hr/product/polikristalinicni-moduli/>
14. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>
15. <http://carstations.com/8143>
16. <http://www.ho-cired.hr/>