

# Razmjena podataka punionice električnih vozila s okolinom

---

Žukina, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

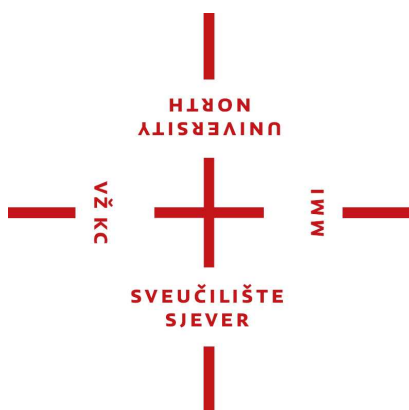
2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:423500>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Završni rad br. 468/EL/2020**

# **Razmjena podataka punionice električnih vozila s okolinom**

**Ivan Žukina, 1464/336**

Varaždin, rujan 2020. godine





**Odjel za elektrotehniku**

**Završni rad br. 468/EL/2020**

# **Razmjena podatka punionice električnih vozila s okolinom**

---

**Student**

Ivan Žukina, 1464/336

**Mentor**

mr.sc. Ivan Šumiga dipl.ing.el., viši predavač

Varaždin, rujan 2020. godine



## Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za elektrotehniku

STUDIJ preddiplomski stručni studij Elektrotehnika

PRISTUPNIK Ivan Žukina

MATIČNI BROJ 1464/336

DATUM 03.09.2020

KOLEGIJ Uređaji energetske elektronike

NASLOV RADA Razmjena podataka punionice električnih vozila s okolinom

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Data exchange of electric vehicle charging station with the environment

MENTOR mr.sc. Ivan Šumiga dipl.ing.el.

ZVANJE viši predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. Dunja Srpak dipl.ing.el.
2. Miroslav Horvatić dipl.ing.el., predavač
3. mr.sc. Ivan Šumiga dipl.ing.el., viši predavač
4. Josip Srpak dipl.ing.el., predavač, rezervni član
- 5.

## Zadatak završnog rada

BROJ 468/EL/2020

OPIS

Glavni zadatak punionice jest da vozilu na električni pogon brzo i pouzdano isporuči potrebnu električnu energiju. Punionice i vozila su proizvodi različitih firmi pa nisu nužno kompatibilni. Zato je potrebno standardizirati informacije i protokole komunikacije između punionice i vozila te punionice i javnih internetskih portala kako bi svi zainteresirani sudionici (vlasnici električnih vozila, vlasnici punionica, proizvođači i serviseri punionica, isporučitelji električne energije) pravovremeno imali dostup do potrebnih podataka.

U radu je potrebno:

- opisati sustav punionice električnih vozila s naglaskom na razmjenu podataka
- opisati interoperabilnost između punionice i električnog vozila
- definirati podatke i opisati standarde koje koristi procesno računalo u svrhu razmjene podataka kako bi se proces punjenja baterije električnog vozila uspješno realizirao
- definirati podatke i protokole za uspješnu komunikaciju prema svim zainteresiranim stranama jedne punionice.

ZADATAK URUČEN



## **Predgovor**

Veliko hvala mentoru mr.sc. Ivanu Šumigi dipl.ing.el. na pomoći, strpljenju, uloženom vremenu i stručnom vođenju prilikom pisanja ovog rada. Također, zahvaljujem se svima koji su mi pripomogli pri izradi ovog rada.

## Sažetak

U ovom radu opisana je razmjena podataka između punionice i ostalih sudionika u punjenju električnog vozila. Električna vozila zahtijevaju veću količinu energije od kućanstva (do 100kWh) te sadašnja naponska mreža može imati poteškoća s punjenjem velike količine električnih vozila istovremeno. Zato je potrebna komunikacija između sudionika u sustavu punjenja kako bi se postigla najveća učinkovitost sustava. Veliku ulogu u svemu ima V2X koncept koji treba upravljati tokom energije unutar sustava. Razmjenjivanje poruka se regulira standardima i protokolima (CAN, OCPP, ISO/IEC 15118) između pojedinih dijelova sustava (punionice, električnog vozila, naponske mreže, brojila, servisa).

Ključne riječi: punionica, električno vozilo, V2X, standardi, protokoli, komunikacija.

This paper describes the data exchange between the charging station and other participants in charging the electric vehicle. Electric vehicles require a larger amount of energy than households (up to 100kWh) and the current power grid may have difficulty charging a large amount of electric vehicles at the same time. Therefore, communication between participants in the charging system is required to achieve maximum system efficiency. The V2X concept plays an important role in all of this because it needs to operate the energy flow within the system. The exchange of messages is regulated by standards and protocols (CAN, OCPP, ISO/IEC 15118) between individual parts of the system (charging station, electric vehicle, power supply network, meters, service).

Keywords: charging station, electric vehicle, V2X, standards, protocols, communication.

## Popis korištenih kratica

|             |                                                                                                     |            |                                                                                   |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>EV</b>   | Electric Vehicle<br>Električno Vozilo                                                               | <b>ZCS</b> | Zero Current Switching<br>Preklapanje kod nulte struje                            |
| <b>BEV</b>  | Battery Electric Vehicle<br>Električno vozilo sa baterijom kao izvorom energije                     | <b>ZVS</b> | Zero Voltage Switching<br>Preklapanje kod nultog napona                           |
| <b>HEV</b>  | Hybrid Electric Vehicle<br>Hibridno Električno Vozilo                                               | <b>SAE</b> | Society of Automotive Engineers<br>Društvo automobilskih inženjera                |
| <b>PHEV</b> | Plug-in Hybrid Electric Vehicle<br>Hibridno Električno Vozilo sa punjenjem baterije preko punionice | <b>IEC</b> | International Electrotechnical Commission<br>Međunarodna elektrotehnička komisija |
| <b>FCEV</b> | Fuel Cell Electric Vehicle<br>Električno vozilo sa gorivim ćelijama                                 | <b>RCD</b> | Residual Current Device<br>Zaštitni uređaj diferencijalne struje                  |
| <b>BMS</b>  | Battery Managment System<br>Sustav za upravljanje baterijom                                         | <b>MCB</b> | Miniature Circuit Breaker<br>Minijaturni zaštitni prekidač                        |
| <b>NN</b>   | Niskonaponska                                                                                       | <b>V2X</b> | Vehicle to Everything<br>Vozilo prema svemu                                       |
| <b>VN</b>   | Visokonaponska                                                                                      | <b>V2G</b> | Vehicle to Grid<br>Vozilo prema mreži                                             |
| <b>ABS</b>  | Anti-lock Breaking System<br>Sustav za sprječavanje blokiranja kotača prilikom kočenja              | <b>V2H</b> | Vehicle to House<br>Vozilo prema kući                                             |
| <b>AC</b>   | Alternating Current<br>Izmjenična struja                                                            | <b>V2V</b> | Vehicle to Vehicle<br>Vozilo prema kući                                           |
| <b>DC</b>   | Direct Current<br>Istosmjerna struja                                                                | <b>V2B</b> | Vehicle to Building<br>Vozilo prema zgradi                                        |
| <b>BC</b>   | Boost Converter<br>Uzlazni pretvarač                                                                | <b>V2N</b> | Vehicle to Network<br>Vozilo prema internetu                                      |

|             |                                                                                                            |              |                                                                                                 |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CSS</b>  | Combined Charging System<br>Kombinirani sustav punjenja                                                    |              | Japansko udruženje radio industrije<br>i poslova                                                |
| <b>PCS</b>  | Power Conversion System<br>Sustav za pretvorbu energije                                                    | <b>ITS</b>   | Intelligent Transport System<br>Inteligentni transportni sustav                                 |
| <b>EPS</b>  | Evolved Packet Switching<br>Napredno komutiranje paketa                                                    | <b>C-ITS</b> | Cooperative Intelligent Transport<br>System<br>Koooperativni inteligentni<br>transportni sustav |
| <b>RSU</b>  | Remote Switching Unit<br>Jedinica za daljinsko preklapanje                                                 | <b>MAC</b>   | Medium Access Control                                                                           |
| <b>D2D</b>  | Device to Device<br>Uređaj prema uređaju                                                                   | <b>BSS</b>   | Basic Service Set<br>Skup osnovnih usluga                                                       |
| <b>LTE</b>  | Long Time Evolution<br>Bežična telekomunikacijska<br>tehnologija četvrte generacije                        | <b>DENM</b>  | Distributed Environmental<br>Notification Message<br>Poruka obavijesti o okruženju              |
| <b>BMS</b>  | Billing Managment Server<br>Server za upravljanje naplatom                                                 | <b>CAM</b>   | Co-operative Awareness Message<br>Poruka o suradnji                                             |
| <b>GMS</b>  | Grid Managment Server<br>Server za upravljanje naponskom<br>mrežom                                         | <b>CMS</b>   | Charge Managment Server<br>Server za upravljanje punjenjem                                      |
| <b>MBMS</b> | Multimedia Broadcast or Multicast<br>Service                                                               | <b>VMS</b>   | Veichle Managment Server<br>Server za upravljanje vozilom                                       |
| <b>IEEE</b> | Institute of Electrical and<br>Electronics Engineers<br>Institut inženjera elektronike i<br>elektrotehnike | <b>GMS</b>   | Grid Managment Server<br>Server za upravljanje naponskom<br>mrežom                              |
| <b>TTA</b>  | Telecommunications Tehnology<br>Associations<br>Udruga telekomunikacijske<br>tehnologije                   | <b>SPI</b>   | Serial Peripheral Interface<br>Serijsko periferno sučelje                                       |
| <b>ARIB</b> | Japanese Association of Radio<br>Industries and Business                                                   | <b>DSRC</b>  | Dedicated Short Range<br>Communication<br>Namjenska komunikacija kratkog<br>dometa              |

**RFID** Radio-frequency identification

Identifikacija pomoću  
elektromagnetskog polja

# Sadržaj

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 1. Uvod                                               | 1  |
| 2. Tehnologija električnog vozila                     | 3  |
| 3. Punionice                                          | 7  |
| 3.1. Značajke popularnih EV i klasifikacija punjača   | 7  |
| 3.2. Vrte konektora                                   | 8  |
| 3.3. AC Punjenje                                      | 11 |
| 3.4. DC Punjenje                                      | 12 |
| 3.5. Bežično (indukcijsko) punjenje                   | 14 |
| 3.6. Pretvarači                                       | 15 |
| 3.6.1. Vrste DC/DC pretvarača za EV                   | 15 |
| 4. V2X koncept                                        | 17 |
| 4.1. V2G                                              | 17 |
| 4.2. V2H                                              | 18 |
| 4.3. V2V i V2B                                        | 19 |
| 4.4. V2N                                              | 20 |
| 4.5. Arhitektura mreže                                | 21 |
| 4.6. Standardi                                        | 21 |
| 5. Komunikacija punionice prema EV                    | 23 |
| 5.1. IEC 61852-1                                      | 23 |
| 5.2. ISO/IEC 15118                                    | 25 |
| 5.3. CAN (SAE J 1939)                                 | 32 |
| 5.3.1. Parametri podataka                             | 32 |
| 5.3.2. Hardver                                        | 36 |
| 5.4. Proces punjenja                                  | 38 |
| 5.4.1. Dinamičko AC punjenje                          | 38 |
| 5.4.2. Dinamičko DC punjenje                          | 39 |
| 5.4.2.1. Dinamičko punjenje preko chademo konektora   | 39 |
| 5.4.2.2. Dinamičko punjenje preko CSS/COMBO konektora | 40 |
| 6. Komunikacija punionice sa ostalim sudionicima      | 41 |
| 6.1. OCPP                                             | 41 |
| 6.2. Sudionici u komunikaciji                         | 46 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 6.2.1. Razmjena podataka | 47 |
| 6.3. Sigurnost           | 48 |
| 7. Zaključak             | 49 |
| Literatura               | 51 |

# 1. Uvod

Na početku rada ukratko je objašnjena i prikazana struktura električnog vozila (Electric Vehicle, EV), navedene su vrste EV i prikazana je struktura glavnih sustava. Navedene su osnovne činjenice o baterijama u EV, dometu s jednim punjenjem i potrebama za energijom i snagom kod različitih vrsta EV te su ukratko opisane i litijeve baterije.

Za punjenje EV se koriste različite vrste punionica, a razlikuju se po dostupnoj snazi, vrsti struje (AC ili DC), načinu povezivanja. Postoji više načina punjenja od koji su neki još u razvitku. O načinu punjenja ovisi koliko će trajati punjenje i koja tehnologija će se upotrebljavati. Punjenje baterije se želi ubrzati i pojednostaviti kako bi bilo ravnopravno sa punjenjem spremnika goriva koje je brzo, jednostavno i standardizirano, što kod punjenja baterija nije slučaj. Postoji nekoliko različitih standarda za punjenje električnih automobila i koriste se različiti konektori. DC/DC pretvarači su dio svake punionice i EV, no samo neke vrste su pogodne za upotrebu u EV i punionici.

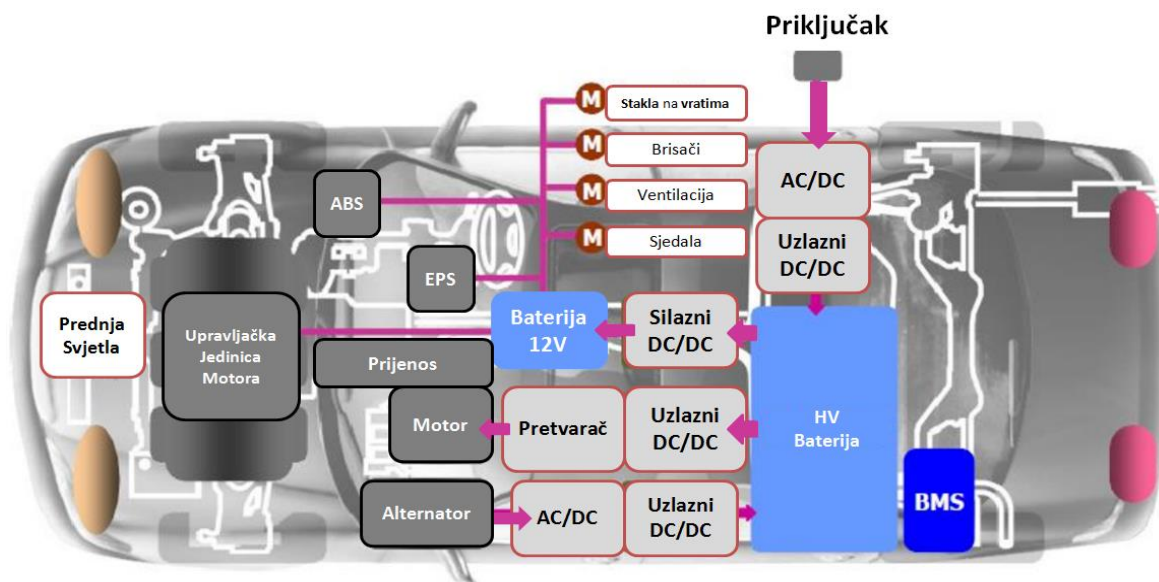
Punjenje vozila, posebno ukoliko je u pitanju brzo punjenje i ako se puni veći broj EV, može izazvati velika opterećenja na mrežu. Potrebna je komunikacija između vozila i raspodjela energije između vozila i sustava kako bi se umanjilo opterećenje. Za takvu komunikaciju zadužen je V2X koncept. Za svaki dio razmjene energije postoji zasebni dio V2X koncepta (V2V, V2G, V2N, V2B), koji su prikazani i objašnjeni u ovom radu. Prikazana je arhitektura ove mreže i standardi koji se koriste.

Komunikacija između pojedinih komponenta sustava se odvija pomoću protokola. Važno je da se takva komunikacija odvija brzo, bez grešaka i da bude jednostavna za korisnika i sve ostale zainteresirane strane. Objašnjeni su protokoli i standardi (OCPP, CAN, ISO/IEC 15118) koji su zaslužni za pravilno odvijanje komunikacije i koji se trenutno koriste. Prikazane su poruke koje se šalju kod komunikacije EV sa punionicom i punionice sa ostalim sudionicima. Unutar EV također postoji komunikacija koja se brine o pravilnom radu cijelog sustava EV (CAN). Navedeni su i glavni sudionici sustava punjenja i razmjena podataka među njima. Ukratko je objašnjena sigurnost i njeni sigurnosni čimbenici potrebni za sigurnu i pouzdanu komunikaciju.

U današnje vrijeme EV postižu sve veću popularnost i pristupačnost. Razlog tome je što ne zagađuju okoliš, tiha vožnja, niski troškovi održavanja, samo nekoliko pokretnih dijelova, mogućnost čestog zaustavljanja i pokretanja, veliko ubrzanje, veliki okretni moment kod malih brzina, regenerativno kočenje, itd.

## 2. Tehnologija električnog vozila

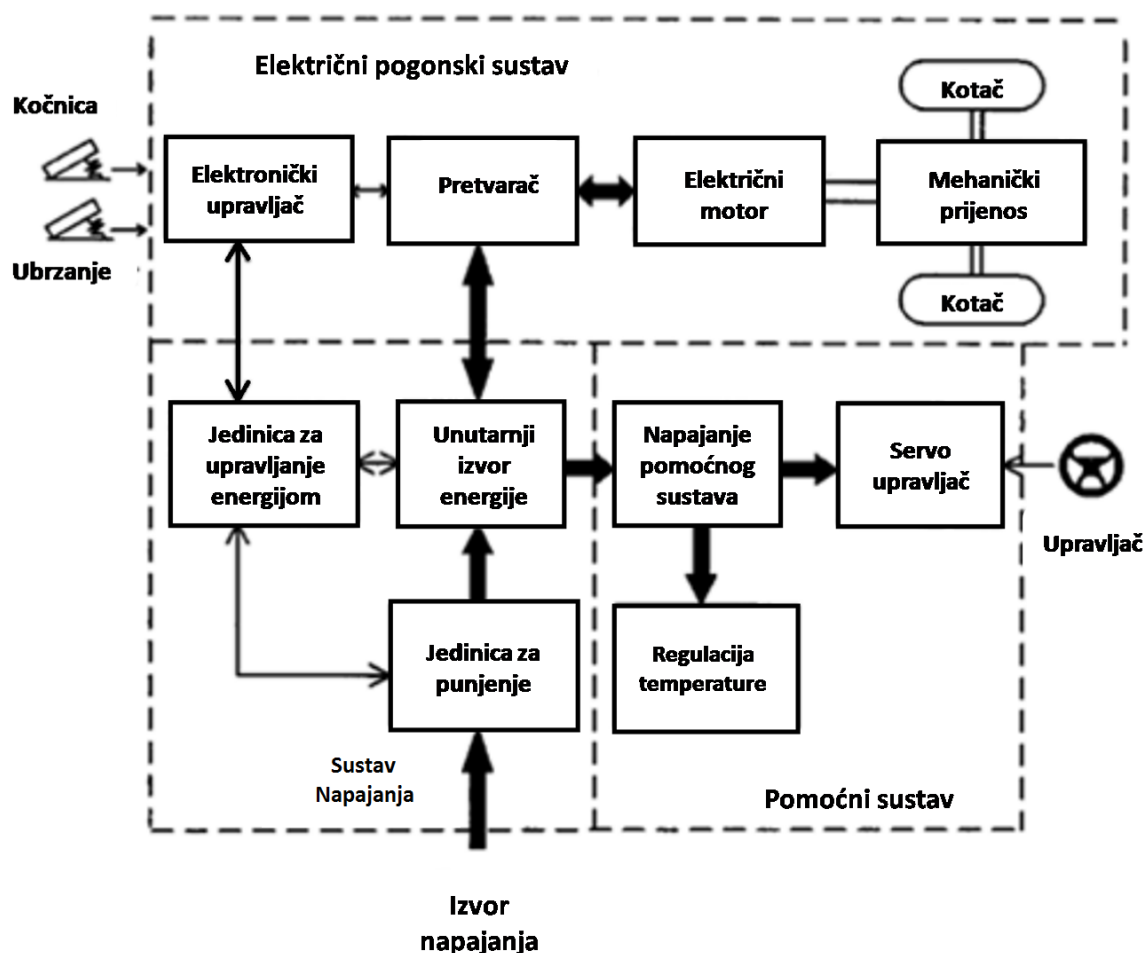
Električno vozilo je vozilo pokretano električnim motorom koji uzima energiju pohranjenu u bateriji. S obzirom na izvor energije ova vrsta EV se zove BEV ("Battery Electric Vehicle"). Postoje još i HEV ("Hybrid Electric Vehicle"), PHEV ("Plug in Hybrid Electric Vehicle") i FCEV ("Fuel Cell Electric Vehicle"). Baterija se napaja iz punjača koji se, ovisno o izvedbi, nalazi u vozilu ili punionici. Motorom upravlja upravljačka jedinica koja motoru šalje iznos struje ovisan o položaju papučice za ubrzanje. Punjenjem i pražnjenjem baterije upravlja "sustav upravljanja baterijom" (eng. BMS). U EV nalazi se niskonaponska (NN) baterija koja se koristi za napajanje drugih elektroničkih sustava (senzore, svjetla, sustava kočenja (ABS), upravljačke jedinice motora i ostalu elektroniku unutar kabine vozila). Visokonaponska (VN) baterija služi za napajanje elektromotora i za punjenje niskonaponske baterije. U većini električnih vozila nalazi se punjač čiji je sastavni dio pretvarač. Osim što pretvarač pretvara ulaznu snagu sa punionice kako bi omogućio punjenje baterije (koristi se AC/DC pretvarač), također pretvarači se nalaze na još nekoliko mjesta unutar EV. Između VN i NN baterije nalazi se silazni DC/DC pretvarač koji omogućuje punjenje NN baterije. Između VN baterije i električnog motora se nalazi uzlazni DC/DC pretvarač i izmjenjivač (DC/AC), a između alternatora i VN baterije nalazi se AC/DC i uzlazni DC/DC pretvarač. Na slici 2.1 prikazana je struktura automobila u kojoj su prikazane komponente koje se nalaze u EV. Prikazane su baterije, pretvarači, upravljačke komponente i komponente pomoćnog sustava. Linijama je prikazan tok energije unutar EV.



Slika 2.1. Struktura EV [2]

Ovakvu strukturu moguće je podijeliti na 3 glavne skupine:

1. Električni pogonski sustav
2. Sustav napajanja
3. Pomoćni sustav



Slika 2.2. Struktura glavnih sustava [1]

Unutar električnog pogonskog sustava nalaze se upravljanje, pretvarač, elektromotor i mehanički prijenos. Na ove komponente sustava vozač ima jako mali utjecaj, te one rade na način koji je odredio proizvođač.

U sustavu napajanja nalaze se baterija i sustavi za punjenje i pražnjenje baterije: sustav upravljanja baterijom i punjač. Kao i kod električnog pogonskog sustava vozač nema direktni utjecaj na komponente sustava i većina komponenti se nalazi unutar vozila. Jednini utjecaj vozača na komponente sustava napajanja je prilikom priključivanja EV s punionicom.

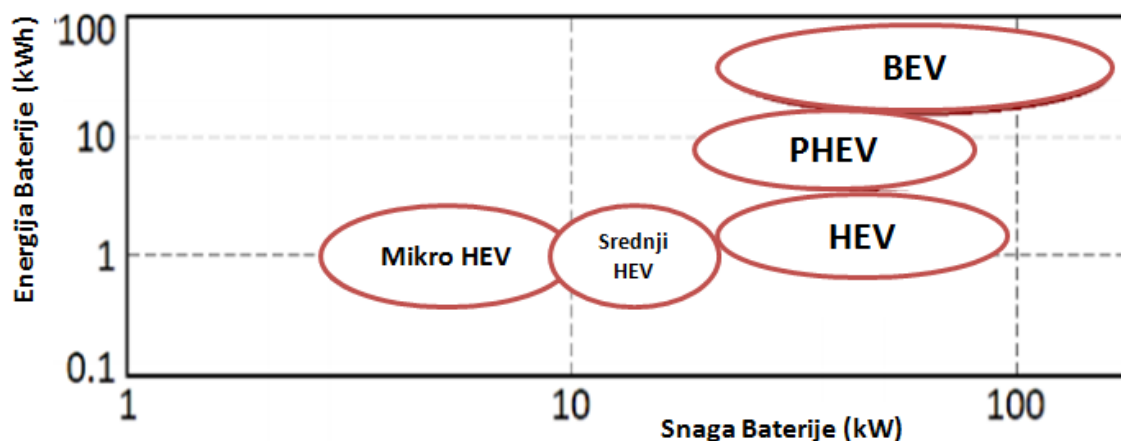
U pomoćni sustav spadaju sve ostale komponente sustava, kao što je vozačko sučelje. Vozač prilikom svakog punjenja ili vožnje upravlja ovim sustavom. [1]

Punjač osigurava svu potrebnu energiju za EV tako što omogućuje punjenje baterije iz mreže. Parametri punjača se određuju prema bateriji koju puni. Punjenjem u potpunosti upravlja sustav upravljanja baterijom (BMS). Sam punjač je tehnički gledano AC/DC pretvarač. Izmjenični napon iz mreže se pretvara u istosmjerni napon potreban bateriji.

Punjači se mogu nalaziti u EV ili izvan EV. Unutar vozila najčešće se nalaze jednofazni punjači zbog cijene i veličine, te služe za sporo AC punjenje kod kuće. Trofazni punjači se rjeđe nalaze unutar EV. Najčešće su izvan vozila unutar punionica, a koriste se za brzo AC i DC punjenje. U slučaju kada se ne nalaze unutar EV ne utječu na cijenu samog EV. [1]

Svako EV kao izvor energije koristi bateriju. O vrsti i karakteristikama baterije ovisi koliki domet će imati BEV s jednim punjenjem, koliko će biti potrebno vremena za jedno punjenje, koliki je životni vijek baterije, kolika je gustoća energije. Ovi čimbenici glavni su kod odabira baterije za EV.

Kod BEV-a prosječni domet s jednim punjenjem je od 200 do 300 km, kod nekih domet dolazi čak do 500 km. Kod ostalih vrsta EV kao što su HEV i PHEV koristi se punjenje baterije pomoću motora s unutarnjim izgaranjem. Ovisno o izvedbi postoje i rješenja u kojima motor s unutarnjim izgaranjem pokreće automobil samostalno kad se baterija isprazni. S obzirom na takva rješenja HEV i PHEV postižu veće domete od BEV, ali isto tako i veću razinu onečišćenja. FCEV pokreću motor pomoću vodikovih gorućih ćelija, zbog  $H_2 - O_2$  reakcija imaju znatno manje onečišćenje od HEV i punjenje traje isto kao i kod vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem. Na slici 2.3. prikazane su prosječne vrijednosti energije i snage baterije kod različite vrste EV. S obzirom na to da baterije moraju osigurati veliku snagu i veliku energiju s ograničenim volumenom i masom, iz tog razloga kod BEV su potrebne najveće baterije. Snaga iznosi do stotinu kW, a energija do nekoliko desetaka kWh, vrijednosti se mijenjaju ovisno o vrsti EV



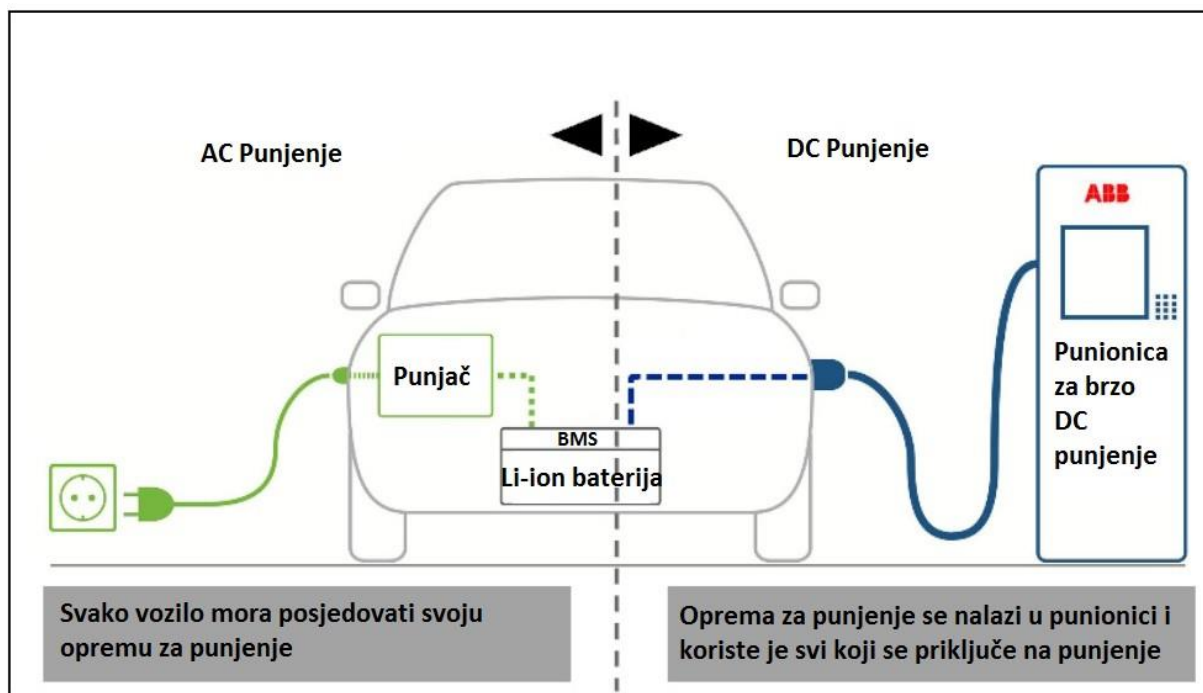
Slika 2.3. Zahtjevi za snagom i energijom baterije kod različitih vrsta EV [3].

Litij-ionske baterije danas su najkorištenije kod EV zbog svoje visoke specifične energije i visoke specifične snage. Litij je najlakši od svih metala i posjeduje najveći elektrokemijski potencijal od -3,05V. Litijeve baterije mogu se podijeliti u dvije skupine: Litijeve i litij-ionske baterije. Litijeve su primarne baterije (nepunjive) dok su litij-ionske akumulator (punjive). Postoji široka upotreba ove vrste baterije, sve od igračaka, pa do električnih automobila i vojne industrije.

Glavni dijelovi litij-ionske baterije su pozitivna (katoda) i negativna (anoda) elektroda, vodeni elektrolit i separator. Za izradu katode koriste se litijev metalni oksid ili fosfati, dok se za anodu najčešće koristi grafit. Elektrolit je mješavina litijevih soli i organskih otapala i njegova zadaća je prijenos pozitivnih litijevih iona između katode i anode, prilikom punjenja i pražnjenja baterije. Separator služi kako bi fizički razdvojio elektrode i spriječio nastajanje kratkog spoja između katode i anode u slučaju nestanke elektrolita, oštećenja ili nekog drugog događaja.

### 3. Punionice

Punionice povezuju EV sa mrežom iz koje uzima energiju. Ovisno o izvedbi postoje AC i DC punionice. Kod AC punjenja punjač se nalazi unutar EV, dok kod DC punjenja se punjač nalazi u punionici. Na Slici. 3.1. nalazi se AC i DC punjenje.



Slika 3.1. AC i DC punjenje [1].

#### 3.1. Značajke popularnih EV i klasifikacija punjača

U tablici 3.1. prikazane su značajke nekih EV, kao što su: snaga motora, kapacitet baterije i domet. Domet i vrijeme punjenja još su uvijek glavni nedostaci EV. Vrijeme punjenja ovisi o načinu punjenja, dok domet ovisi o kapacitetu baterije i snazi motora. U usporedbi s vozilima sa motorom s unutarnjim izgaranjem kojima je domet preko 600km, a vrijeme punjenja spremnika svega nekoliko minuta.

| Model EV            | Snaga motora (kW) | Kapacitet baterije (kWh) | Domet (km) |
|---------------------|-------------------|--------------------------|------------|
| Smart FortoWO ED    | 55                | 17,6                     | 93         |
| Hyundai Ioniq Elec. | 88                | 28                       | 200        |
| Mahindra Reva       | 35                | 16                       | 120        |
| Kia Soul EV         | 81                | 30                       | 177        |
| Renault Zoe         | 80                | 41                       | 402        |
| Tesla Model 3       | 192               | 75                       | 354        |

|                     |      |      |       |
|---------------------|------|------|-------|
| Tesla Model S 70D   | 100  | 100  | 386   |
| Chevy Bolt          | 150  | 60   | 383   |
| Ford Focus Electric | 107  | 33,5 | 185   |
| Nissan LEAF BEV     | 110  | 40   | 243   |
| BMW i3 BEV          | 125  | 33   | 183,5 |
| VW e-Golf           | 100  | 35,8 | 201   |
| Chery eQ            | 41   | 23,6 | 252,5 |
| NIO EP9             | 1000 | 90   | 426,5 |
| Tesla Model X       | 193  | 100  | 523   |

Tablica 3.1. Značajke EV [19].

Tablica 3.2. prikazuje razine punjenja, iznose napona, snage i vrijeme koje je potrebno za punjenje baterije za svaku razinu punjenja.

| Razina punjenja | Snaga (kW) | Napon (V)  | Vršna struja (A) | Vrijeme punjenja | Brzina  |
|-----------------|------------|------------|------------------|------------------|---------|
| 2, 3            | 2,3        | 230 AC     | 10 A             | 10,4 h           | Sporo   |
| 2, 3            | 3          | 230 AC     | 13 A             | 8,3 h            | Sporo   |
| 2, 3            | 3,7        | 230 AC     | 16 A             | 6,5 h            | Sporo   |
| 3               | 7,4        | 230/400 AC | 32 A             | 3,2 h            | Brzo AC |
| 3               | 14,5       | 400 AC     | 63 A             | 1,6 h            | Brzo AC |
| 3               | 23         | 400 AC     | 100 A            | 1,04 h           | Brzo AC |
| 4               | 50         | 400-500 DC | 100 - 400 A      | 29 min           | Brzo DC |
| 4               | 100        | 400-500 DC | 100 - 400 A      | 15 min           | Brzo DC |

Tablica 3.2. Karakteristike razina punjenja [7].

### 3.2. Vrte konektora

Razvojem i sve većom upotrebom EV došlo je do potrebe standardizacije konektora za punjenje. Do takve potrebe došlo je zbog toga što svaki proizvođač EV koristi drukčiji konektor, što onemogućuje punjenje ukoliko konektor na EV nije kompatibilan s konektorom punionice [9]. SAE ("Society of Automotive Engineers") zadužena je za razvoj standarda konektora u Sjevernoj Americi, u Europi je za standarde konektora zadužena IEC ("International Electrotechnical Commission") i u Japanu je zadužena CHAdeMO.

Tip 1 je jedan od najstarijih standarda za konektore definiran u IEC 62196-2 i u SAE-J1772. Moguće je 1-fazno sporo AC punjenje do snage od 7,2kW.

Tip 2 je definiran IEC 62196-2 standardom kao 3-fazna inačica Tipa 1 konektora. Zbog korištenja 3-fazne AC snaga punjenja se penje do 43 kW.

Tip 3 je standard koji obuhvaća 1-fazno i 3-fazno punjenje uz malo drukčije parametre konektora. Snaga je ograničena do 22kW.

CHAdeMO je definiran u IEC 62196-1 standardom i korišten je najčešće u EV azijskih proizvođača. Koristi se za DC punjenje napona 500V i struje 120A uz snagu do 60kW.

Combo je europska inačica DC konektora. Također kao i konektori tipa 1-3 sa IEC 62196-3 standardom. Radi na 500V naponu i struji do 200A.

Combo2 je definiran novijim IEC 62196-3 standardom i trenutno je najbolje rješenje jer ima mogućnost punjenja na tri različita napona od 120V AC, 240V AC i 500V DC. Odgovara tipu 2 AC konektoru.

Tesla US konektor je razvijen u Tesli za korištenje u SAD-u. Moguće je punjenje 1-faznom AC i DC strujom uz najvišu snagu od 17,2kW.

Tesla DC konektor se koristi za AC i DC punjenje, moguće je koristiti reduktor pomoću kojeg se može povezati sa punionicom koja koristi CHAdeMO konektor. Snaga punjenja iznosi najviše 120kW.

China GB/T konektor kineski konektor koji je baziran na 20234,3-2015 standardu. Konektor komunicira pomoću CAN ("Controller Access Network") protokola s upravljačkim sustavom za punjenje u EV. Ovaj konektor može puniti dvije baterije u EV, niskonaponsku bateriju i glavnu visokonaponsku bateriju. Nazivni napon iznosi 750V do 1kV uz struju do 250A.

U Tablici 3.3. prikazane su karakteristike navedenih konektora i njihov izgled. Podaci su preuzeti iz izvora [1] i [7].

| Konektor | Prikaz                                                                              | Standard                      | Najviši napon                                | Najveća struja                       |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|
| Tip 1    |  | SAE J1772-2009<br>IEC 62196-2 | 250V AC<br>1-fazni                           | 32A                                  |
| Tip 2    |  | IEC 62196-2                   | 500V AC<br>3-fazni<br><br>250V AC<br>1-fazni | 63A<br>3-fazni<br><br>70A<br>1-fazni |

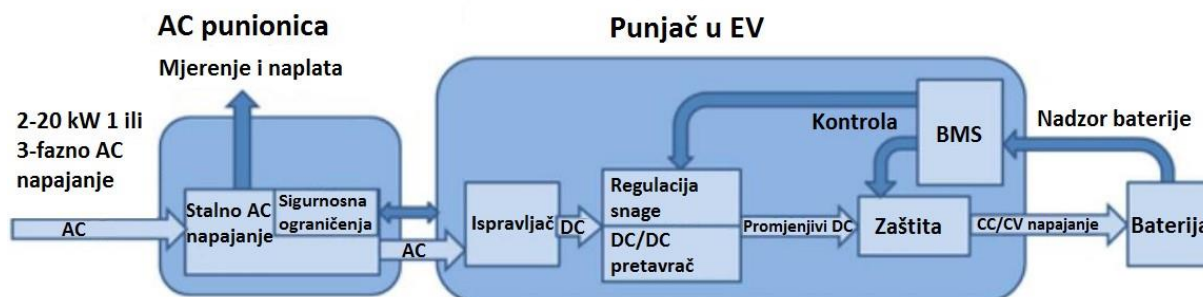
|          |                                                                                     |             |                                 |                               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Tip 3    |    | IEC 62196-2 | 500V AC 3-fazni<br>250V 1-fazni | 16/32 A 1-fazni<br>32 3-fazni |
| CHAdemo  |    | IEC 62196-1 | 500V DC                         | 120A DC                       |
| Combo    |   | IEC 62196-2 | 500V DC                         | 200A DC                       |
| Combo2   |  | IEC 62196-3 | 500V DC<br>120V AC<br>240V AC   | 200A DC<br>16A AC<br>80A AC   |
| Tesla US |                                                                                     |             | 240V AC                         | 72A AC                        |
| Tesla DC |  |             | 480V DC                         | 250A                          |

|               |                                                                                   |                  |                 |         |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|---------|
| China<br>GB/T |  | 20234,3-<br>2015 | 0,75-<br>1kV DC | 250A DC |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|---------|

Tablica 3.3. Prikaz navedenih konektora [1], [7].

### 3.3. AC Punjenje

Kod AC punjenja EV uzima energiju iz niskonaponske mreže prema AC/DC pretvaraču koji se nalazi u EV. Punjenje se odvija unutar prva dva tipa punjenja. Uz EV dolazi oprema za punjenja, te se vozilo priključuje na mrežu preko utičnice u kući. Tip 1 i 2 imaju ograničene sigurnosne i komunikacijske mogućnosti, potrebno je ovakvo punjenje obavljati kod kuće. Na slici 3.2. prikazane su glavne komponente AC punionice i punjača u EV.



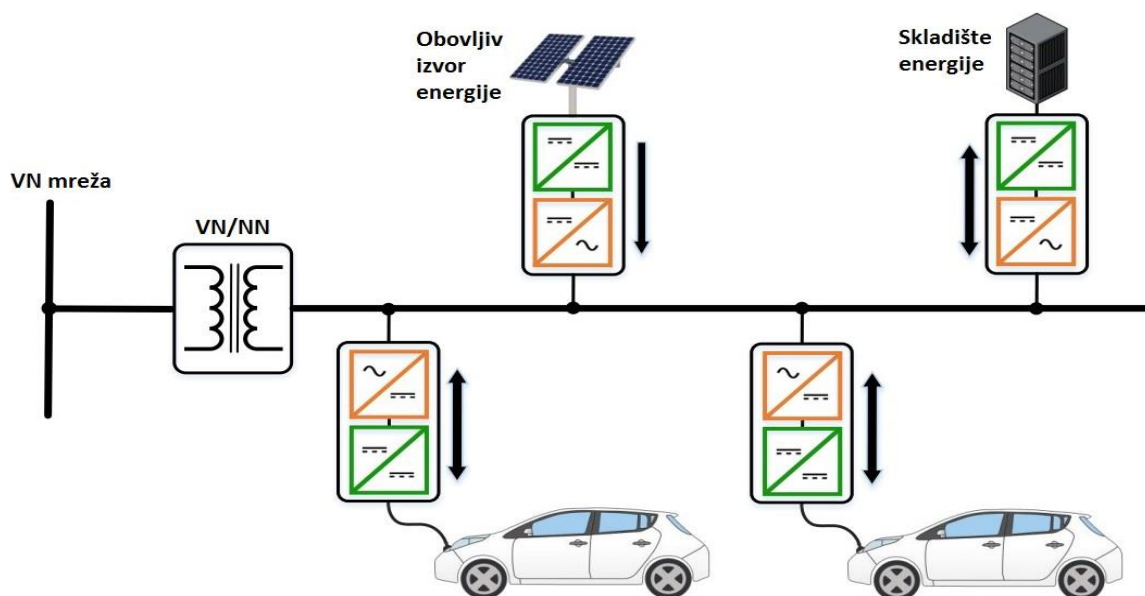
Slika 3.2. Komponente AC punionice i punjača u EV [1].

Svaka punionica koja radi na trećem tipu punjenja mora sadržavati slijedeće komponente (čak i privatne punionice):

- Zaštitnu opremu kao što su RCD ("Residual Current Device") i MCB ("Miniature Circuit Breaker")
- Sprječavanje pokretanje punjenja ukoliko nije uspostavljena komunikacija između EV i punionice.
- Regulator punionice koji omogućuje regulaciju prema IEC 61851 standardu. On od EV saznaje informacije o vrsti kabla, konektora i zaključava utikač. Osigurava sigurnost prilikom procesa punjenja.
- Pokretač koji služi za spajanja na punionicu.

Prije početka punjenja punionica mora uspostaviti komunikaciju s EV, kako bi se odredili parametri punjenja: sigurnosni parametri i najveća struja punjenja. Kad se spoji EV na punionicu, punionica šalje probnu struju punjenja, nakon čega vozilo šalje informaciju o potrebnoj struji punjenja i zahtijeva početak punjenja. Kad su svi zahtjevi zadovoljeni, punionica započinje punjenje. U bilo kojem trenutku vozilo može završiti s punjenjem.

AC sabirnice za brzo punjenje preko nisko-frekvencijskog transformatora primaju energiju sa sekundara transformatora do svake punionice. Svaka punionica ima svoj ispravljač. Ovakva konfiguracija omogućuje jednostavniju primjenu. Ovakve sabirnice sadrže po potrebi i dodatni izvor energije kao što su: solarne ćelije ili baterija. Prednost ovakvih sabirnica za korisnike je ta što posjeduju svu opremu za punjenje, visoku zaštitu opreme i punjenje više EV istovremeno. No, svaka punionica ima svoju pretvorbu energije što smanjuje faktor snage i pogoršava napon iz mreže. Svaka pretvorba također smanjuje i efikasnost cijelog sustava i otežava upravljanje sustavom zbog potrebe za filterima i posebno upravljanje za svaku punionicu. U smislu regulacije, regulacija AC sustava je zahtjevnija od regulacije DC sustavom. Na Slici 3.3. prikazana je AC sabirnica za brzo punjenje.

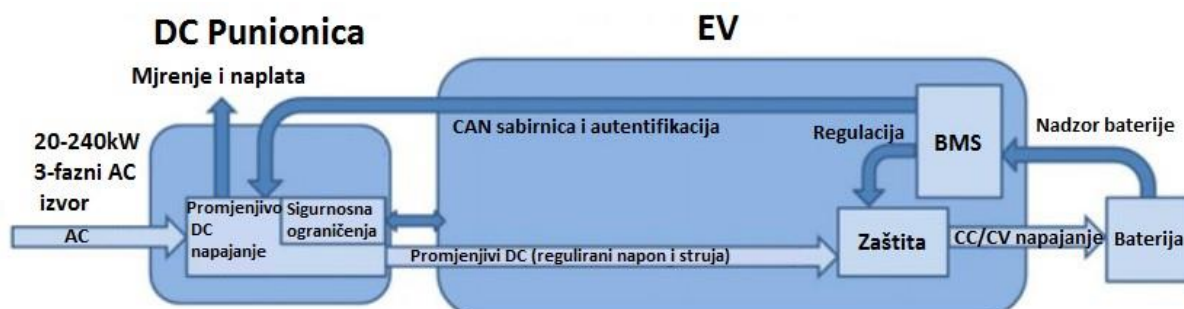


Slika 3.3. AC sabirnica za brzo punjenje [7].

### 3.4. DC Punjenje

Danas kao najprihvatljiviji način punjenja se izdvaja DC brzo punjenje. DC brzo punjenje se svojim brzinom punjenja približilo vremenu potrebnom za punjenje spremnika goriva. Sva oprema za punjenje se nalazi unutar punionice što omogućuje veće snage i smanjuje cijenu EV. Uz razvitak baterije koje omogućuju punjenje velikim snagama i s velikim brojem punjenja moguće je sve brže punjenje. Prosječna punionica ima snagu od 50kW iz 3-fazne AC mreže. Kod DC brzog punjenja koriste se CHAdeMO i CCS ("Combined Charging System") (koristi se za AC i DC punjenje) konektori. DC punjenje

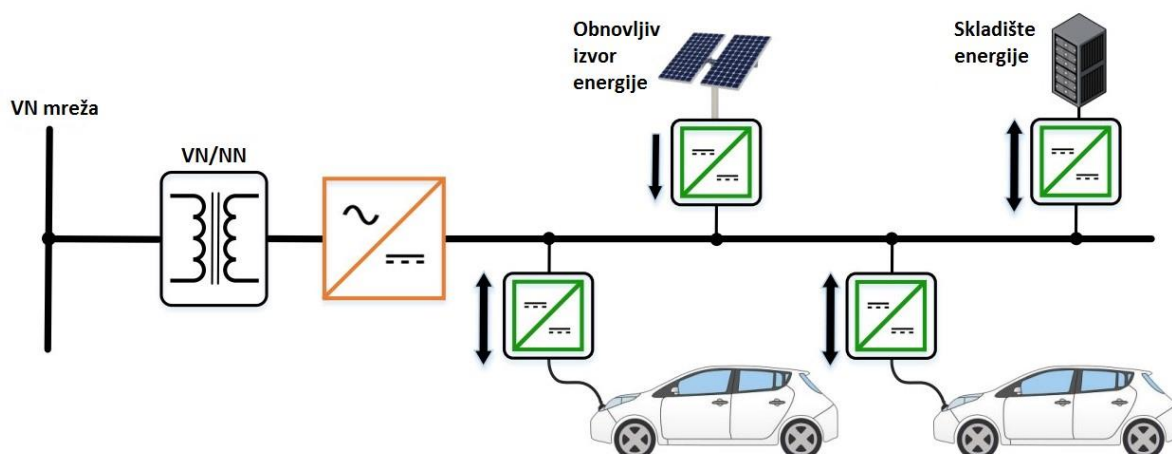
omogućuje slične komponente kao i AC punjenje kod tipa 3 punjenja, dok kod tipa 4 punjenja je i kabel za punjenje pričvršćen sa punionicom. Na Slici 3.4. prikazane su komponente DC punionice i sustava za upravljanje baterijom i EV.



Slika 3.4. Komponente DC punionice i EV za punjenje [1]

BMS mora komunicirati s punionicom kako bi se uspješno odvijala regulacija napona i struje za punjenje baterije. BMS šalje punionici podatke o naponu, struji, temperaturi i razini napunjenosti, kako bi punionica pravilno punila bateriju. U svakom trenutku BMS može zaustaviti punjenje. Ovakva vrsta punionica je namijenjena za velike snage i brzo punjenje.

DC sabirnice pretvaraju energiju iz AC u DC odmah kod spajanja na mrežu, tako se sve punionice spajaju na sabirnicu sa DC izvorom. Na ovaj način se smanjuju gubici, problem sinkronizacije i ne šteti se naponu mreže. Zbog smanjenja pretvorbe kod svake punionice, znatno se olakšava regulacija cijelog sustava. Međutim, korištenjem pretvarača velike snage zahtjeva stabilniju mrežu, ograničava frekvenciju sklapanja i zahtjevnije zaštitne uređaje u usporedbi s AC sabirnicom. Na Slici 3.5. prikazana je jedna izvedba DC sabirnice [8], [9].



Slika 3.5. DC sabirnica[7].

### 3.5. Bežično (indukcijsko) punjenje

Induktivno punjenje se odvija dok vozilo miruje ili tijekom vožnje. Potrebna je velika zavojnica iznad koje se nalazi EV sa zavojnicom, što omogućuje prijenos energije u EV. Prednost ove metode je jednostavnost punjenja na punionicama i kod vožnje, također i sigurnost vozača je veća jer nema nikakvog doticaja s opremom za punjenje, što smanjuje rizik od strujnog udara i pogrešnog ukapčanja vozila na punjač [9].

Postoje izvedbe koje omogućuju brzo punjenje snagom od 50kW na frekvenciji od 25kHz. Rezonancija je ostvarena pomoću sklopki, a gubici su znatno umanjeni pomoću ZVS (Zero Voltage Switching) i ZCS (Zero Current Switching) i regulacijom. Postignuta je efikasnost od 96% kod punionica sa snagom od 100kW i 22kHz frekvencijom i udaljenosti od 12,7cm između dvije zavojnice.

Ovaj način punjenja još uvijek nije široko korišten. Postoji mogućnost interakcije rezonantne frekvencije zavojnice sa drugim sustavima u EV, potrebno je ugraditi dodatnu opremu u EV, sustavu je potreban dodatni sustav za upravljanje temperaturom kod velikih snaga punjenja, što zahtjeva dodatni prostor.

Popularnost za razvitkom bežičnog punjenja je porasla zadnjih nekoliko godina.

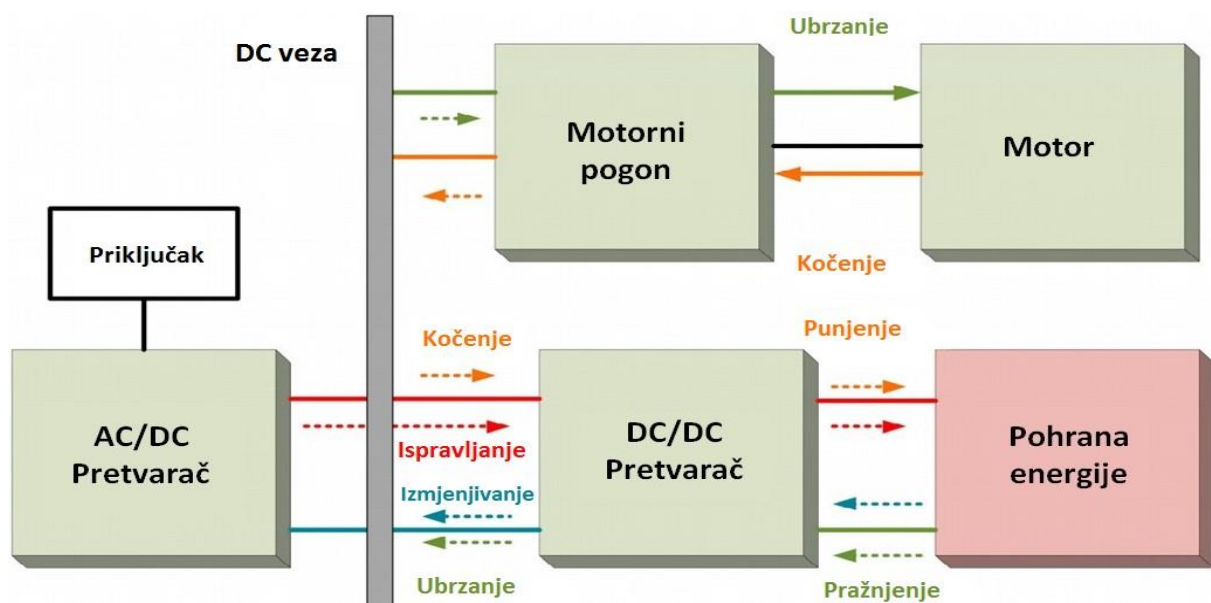
Na Slici 3.6. prikazano je indukcijsko bežično punjenje i potrebna oprema.



Slika 3.6. Bežično (indukcijsko) punjenje [1].

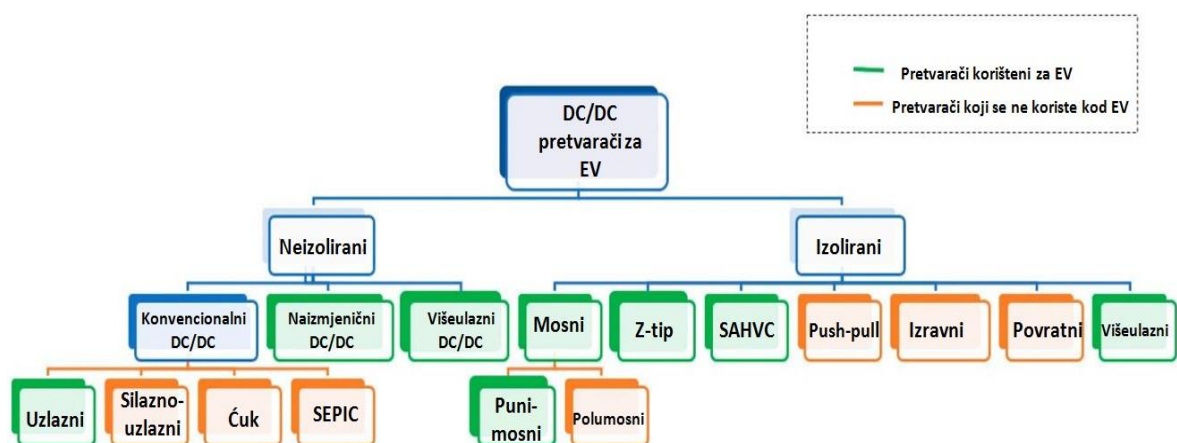
### 3.6. Pretvarači

EV se najčešće pune iz AC mreže, a baterije se pune istosmjernom strujom (DC) te je potrebno energiju iz AC mreže pretvoriti u DC. Isto tako potrebno je povisiti napon iz baterije za napajanje motora[4]. U oba slučaja koriste se pretvarači. Pretvarači su dio energetske elektronike zaduženi za ispravljanje ili izmjenjivanje signala. U EV koriste se različiti pretvarači: DC-DC i AC-DC. AC-DC pretvarači se najčešće nalaze u punionici, jer zbog veličine, cijene i sigurnosti nije moguće ugraditi pretvarače za velike snage u EV[5], dok se DC-DC pretvarači koriste za dizanje ili spužtanje napona. Na slici 3.7. prikazan je položaj različitih pretvarača u EV. AC se pretvara u DC na ulazu u EV te se puni baterija, dok se preko DC veze energija šalje do motora.



Slika 3.7. Položaj pretvarača unutar EV [4].

#### 3.6.1. Vrste DC/DC pretvarača za EV

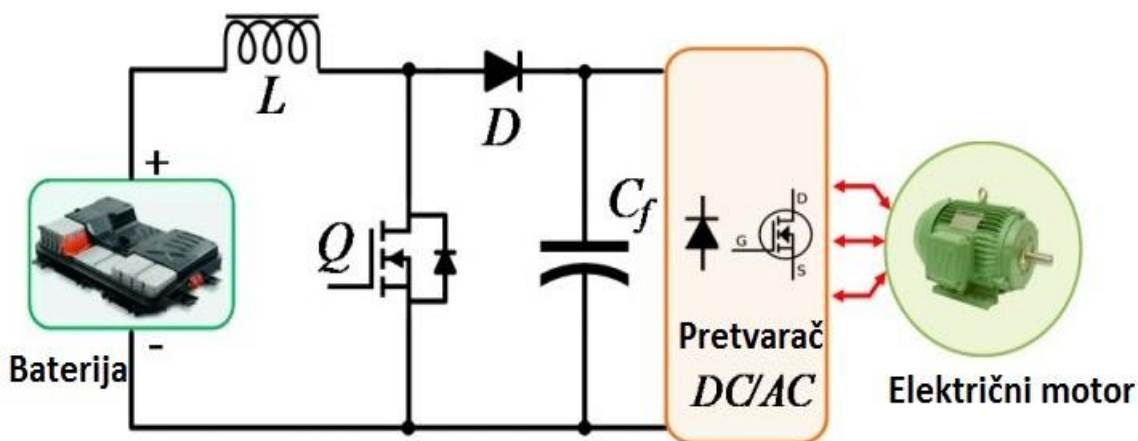


Slika 3.8. Vrste DC/DC pretvarača[6].

Neizolirani DC/DC pretvarači se koriste kod srednjih i velikih snaga. Za primjenu kod EV koristi se uzlazni pretvarač iz razloga što jedini daje samo pozitivno naponsko pojačanje koje je potrebno za rad motora. Ostali neizolirani konvencionalni pretvarači nemaju primjenu u EV. Naizmjenični DC/DC pretvarač se koristi kada je potrebno veće naponsko pojačanje. Može se povećati napon u omjeru većem od 4:1, a da ulazna struja i izlazni napon ostanu dovoljno glatki. Višeulazni pretvarač ne pretvara energiju između ulaza i izlaza, nego iz više ulaza pretvara energiju koju daje na jedan izlaz.

Izolirani DC/DC pretvarači se koriste kod malih i srednjih snaga. Pretvorba se odvija u tri faze DC/AC/DC. U AC dijelu se nalazi visokofrekvencijski transformator koji diže vrijednost napona. Mosni pretvarači su najpogodniji za uporabu kod EV jer smanjuju naponske i strujne napetosti na sklopkama i diodama što nije moguće kod ostalih vrsta izoliranih pretvarača. Mosni pretvarač podiže efikasnost cijelog sustava.

Uzlazni DC/DC pretvarač je vrsta pretvarača koja diže ulazni napon, a smanjuje ulaznu struju. Posjeduje najmanje jedan element za pohranu energije (kondenzator, zavojnicu ili oboje) i najmanje dva poluvodička elementa (diodu i sklopku). Zavojnica u ulaznom krugu služi kako bi izgladila ulaznu struju, dok u izlaznom krugu kondenzator služi kako bi izgladio izlazni napon. Sklopka je vrlo lako uzemljena, ulazni strujni signal je kontinuiran i lako se filtriraju elektromagnetske smetnje. Efikasnost ovakvih pretvarača iznosi 83-85% kod punog opterećenja. Sam sklop je vrlo jednostavan s malo komponenta, te je samim time i povoljan za upotrebu kod EV. Na Slici 3.9. prikazan je uzlazni DC/DC pretvarač.



Slika 3.9. Uzlazni DC/DC pretvarač [6].

Ova vrsta pretvarača za velike snage mora imati veliki kondenzator koji služi za uklanjanja izobličenja izlaznog napona, te mu se zbog toga povećava veličina. Potrebni su dodatni dijelovi kako bi se zaštitio od kratkog spoja.

## 4. V2X koncept

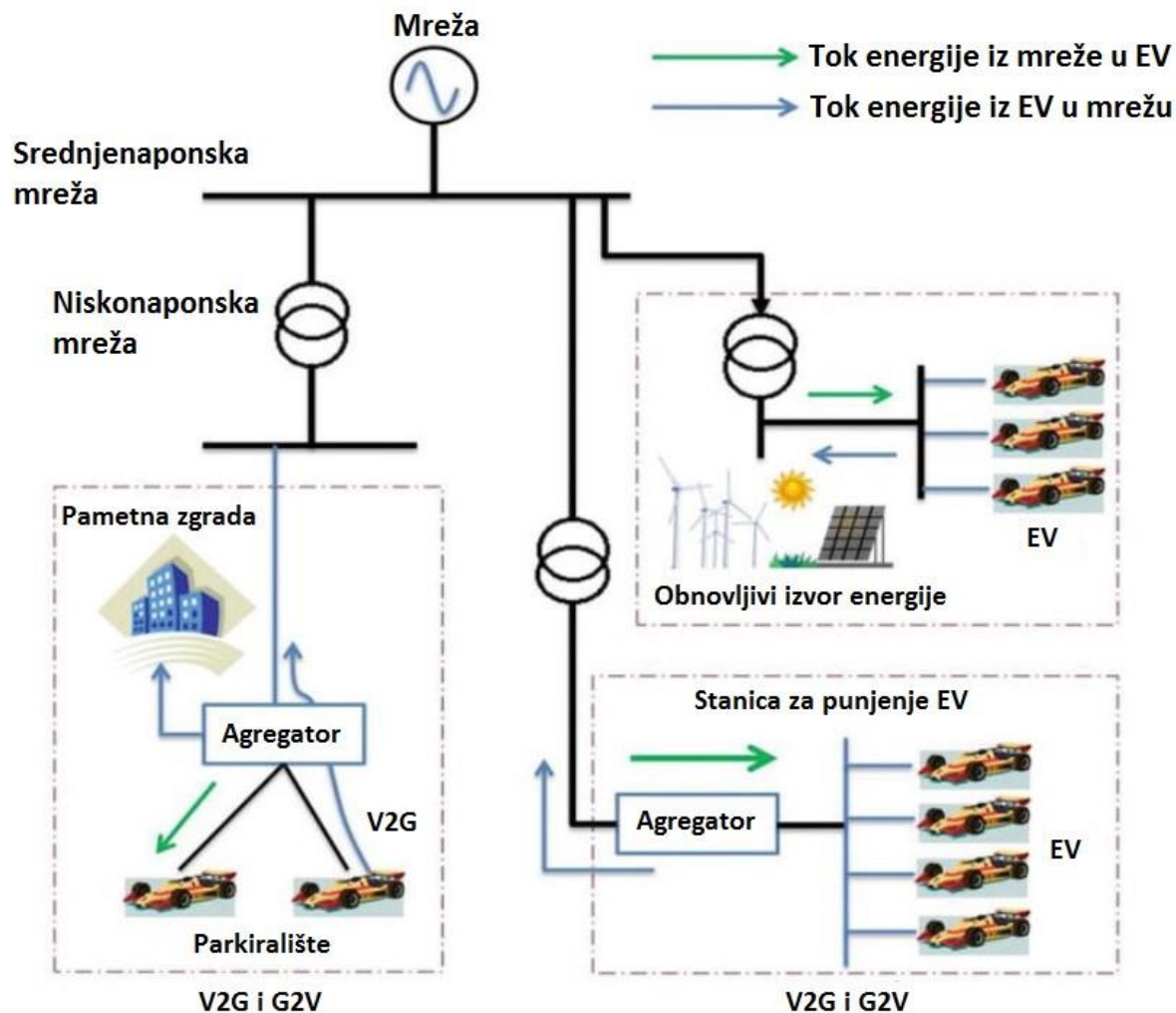
V2X koncept omogućuje komunikaciju između EV i ostalih komponenti sustava kao što su: mreža, kuća, drugo vozilo, internet, itd. Svaka komunikacija treba osigurati veću sigurnost, poboljšati regulaciju i spriječiti nesreće. Unutar V2X postoji komunikacija između vozila i mreže (V2G), vozila i vozila (V2V), vozila i kuće (V2H), vozila i zgrade (V2B) vozila i aplikacijski server (V2N). Glavni cilj ovog koncepta je razmjena energije između komponenta sustava, stoga je bitan faktor za razvitak ove tehnologije kapacitet baterije. Vozila bi sudjelovala u razmjeni energije iz baterije, ali bi u svakom trenutku morala imati dovoljno energije za vožnju do najbliže punionice. Tako bi se pomoću V2X procjenjivalo koliko energije bi vozilo moglo vratiti u mrežu ili bilo kojem dijelu sustava. EV bi sustavu dalo informaciju o stanju napunjenosti, kapacitetu, željenoj razini punjenja. Ukoliko EV ima potrebu za brzim punjenjem koje traje od 30min do jednog sata, u tom slučaju EV ne bi moglo sudjelovati sa razmjenom energije, dok bi u slučaju dužeg vremena punjenja EV moglo dati dio energije i ponovo kasnije biti napunjeno.

### 4.1. V2G

V2G omogućuje EV vraćanje energije u mrežu prilikom velike potrošnje drugih potrošača. Jedno EV naravno nema veliki utjecaj, svojim vraćanjem energiju, na mrežu, no kada poraste broj vozila koja vraćaju energiju, tada je utjecaj značajan. Kapacitet ovakvog sustava može biti od nekoliko MWh do GWh, što će u budućnosti sa sve većim broj EV mreži dati još veću pouzdanost. Regulacijom toka energije unutar sustava upravlja agregator, koji također regulira i tok energije kod V2G koncepta. Agregator se može nalaziti na različitim mjestima u sustavu. Agregator ima ključnu ulogu kod V2G koncepta jer povezuje veći broj EV sa mrežom. Važne značajke V2G koncepta su:

- V2G povezuje velik broj EV, preko nekoliko stotina.
- Postiže se veća stabilnost mreže iako je regulacija toka energija za svako EV prilično kompleksna
- V2G može isporučiti, ovisno o potrebi, radnu i jalovu snagu.
- V2G omogućuje veliko skladište energije u baterijama EV, što omogućuje ublažavanje planiranih padova u mreži i čak neplaniranih padova u realnom vremenu.

Na slici 4.1. prikazan je V2G koncept.



Slika 4.1. V2G koncept [10].

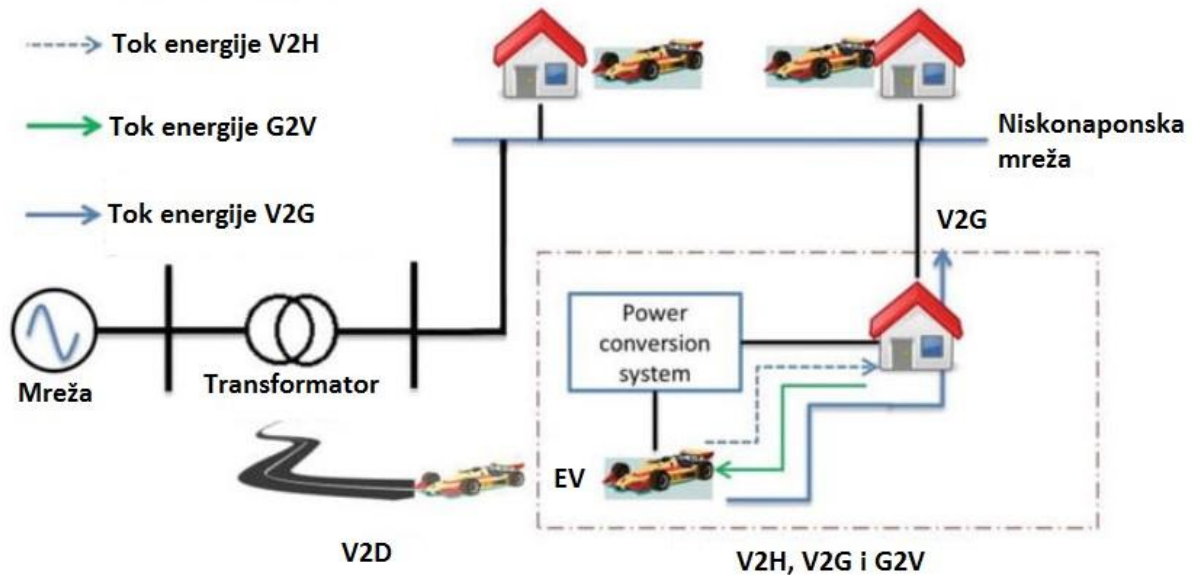
## 4.2. V2H

EV se većinom kod kuće pune preko noći, što omogućuje vožnju preko dana bez potrebe za punjenje, ukoliko se ne isprazni baterija. PCS ("Power Conversion System") omogućuje kući korištenje djelomične ili potpune količine energije EV. PCS može u sustavu koristiti i obnovljive izvore energije. PCS omogućuje regulaciju toka energije i upravljanje punjenjem i pražnjenjem EV u G2V i V2H. Važne značajke V2H koncepta:

- V2H može uključiti jedan ili dva EV i tako sa značajnom količinom energije sudjelovati u energetske potrebama kuće.
- V2H je jednostavan za korištenje, a neki proizvođači već nude mogućnost korištenja V2H koncepta.
- V2H smanjuje korištenje energije iz mreže za vrijeme najveće potrošnje u mreži.

- EV se može ponašati kao skladište energije u slučaju obnovljivih izvora energije.
- Korištenjem V2H povećava se efikasnost mreže.
- V2H povećava pouzdanost napajanja u kući kod sustava pametnih domova.

Na Slici 4.2. prikazan je V2H koncept.



Slika 4.2. V2H koncept [10].

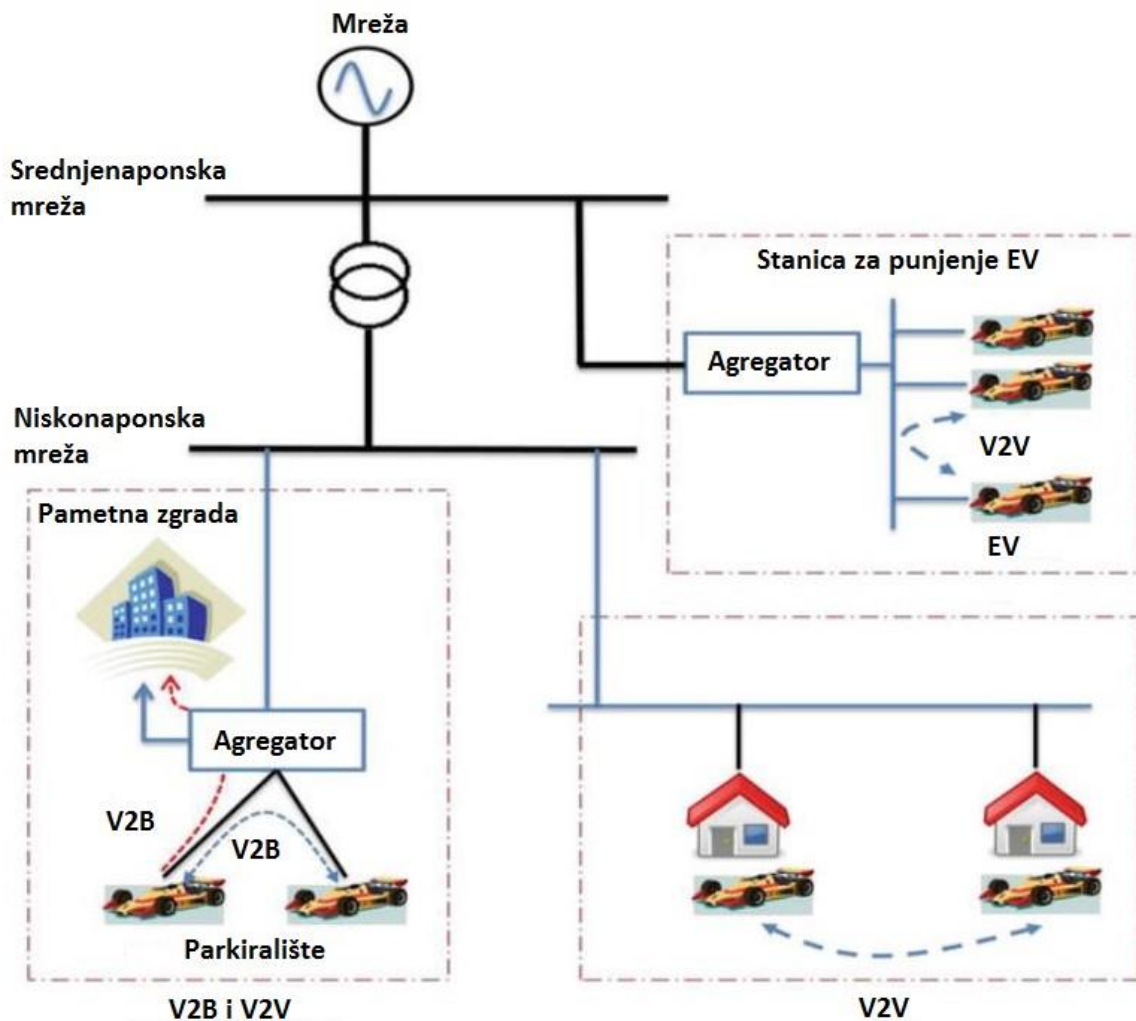
### 4.3. V2V i V2B

V2V i V2B su vrlo slični V2G konceptu, samo što za razliku od V2G rade s manjim snagama. V2V koncept je moguće provesti u malim izoliranim sustavima kako bi se dijelila energija prema planu i potrebama za energijom. V2V se može koristiti direktnim povezivanjem vozila ili preko mreže. V2V daje dodatnu sigurnost mreži. V2B je ograničen na pametne zgrade gdje EV sudjeluje u upravljanju energijom cijele zgrade. To omogućuje povezivanje EV sa obnovljivim izvorima iz zgrade. Omogućava regulaciju potrošnje energije temeljenu na cijenama električne energije, energetske planiranje, skladištenje energije, uštede i mogućnost održavanja potrebnog stanja napunjenosti za vožnju. Bitne značajke V2Vi V2B koncepta:

- Koristi jedan, dva ili više EV, što je zahtjevnije za regulaciju od V2H, ali jednostavnije od V2G.
- Povezuje pametne kuće, i punionice na parkiralištima za razmjenu energije.
- Gubici variraju u ovisnosti o udaljenosti između vozila, ali su manji nego kod V2G, no veći nego kod V2H.
- Moguće je povezivanje sa obnovljivim izvorima energije,

- V2V i V2B su jednostavniji za regulaciju od V2G, a posjeduju veliku količinu energije, pa mogu značajno pomoći razvitku pametne mreže.

Na slici 4.3. prikazan je V2V i V2B koncept.



Slika 4.3. V2V i V2B koncept [10].

#### 4.4. V2N

V2N je komunikacija između EV i V2X servera. Oprema korisnika koja podržava V2N aplikacije može komunicirati sa aplikacijskim serverom koji podržava V2N, dok dijelovi sustava komuniciraju pomoću EPS-a ("Evolved Packet Switching"). Ovakva komunikacija će pomoći operatoru postavljati zadatke RSU (Remote Switching Unit) preko svoje mreže, te će tako uštedjeti na vremenu, troškovima i preko takve mreže EV će moći komunicirati međusobno, to neće biti precizno kao kod V2V, ali će biti pouzdano.

## 4.5. Arhitektura mreže

V2X koncept je zapravo primjena D2D ("Device to Device", uređaj prema uređaju). Korištenjem PC5 sučelja omogućuje se komunikacija jednog uređaja sa više uređaja, te omogućuje korištenje LTE-Uu ("Long Time Evolution") koji je radio sučelje između korisničke opreme i eNodeB. Korisnička oprema može komunicirati pomoću MBMS ("Multimedia Broadcast or Multicast Service"). Koriste se oba načina komunikacije, a neka korisnička oprema podržava oba načina komunikacije.

Kod komunikacije bazirane na PC5 V2X poruke se šalju preko PC5, a primaju se preko PC5 i MCMS. RSU prosljeđuje poruke prema V2X aplikacijskom serveru, koji šalje poruku prema korisničkoj opremi pomoću MBMS. Kod LTE-Uu i PC5 komunikacije poruke se šalju i zaprimaju preko PC5.

Frekvencije koje koriste za V2X komunikaciju u različitim područjima:

1. Prvo područje se odnosi se na Europu. Odlukom komisije 2008/671/EC određeno je da se za nesigurnu komunikaciju koriste frekvencije od 5,885GHz do 5,875GHz i za sigurnu komunikaciju od 5,875GHz do 5,905GHz.
2. U drugo područje spada Amerika i Grenland. Standardizaciju frekvenciju i protokola postavili su IEEE 802,11 i 1609. Raspon frekvencija je od 5,850GHz i 5,925GHz.
3. Treće područje je Azija i Australija bez srednjeg istoka. Standardizacija je objavljena od strane TTA ("Telecommunications Tehnology Associations") koji podržavaju brzinu komunikacije od 200kph, dok je ARIB ("Japanese Association of Radio Industries and Business") donio standard temeljen na IEEE 802,11 komunikacijskom sistemu.

## 4.6. Standardi

Postoji nekoliko standarda koji podržavaju V2X komunikaciju, no samo dva se razmatraju za korištenje na području Europe i Amerike. To su C-ITS ("Cooperative Intelligent Transport System") i DSRC ("Dedicated Short Range Communication"). U Americi su za razvoj standarda zaduženi IEEE i SAE organizacija, dok su u Europi zadužene ETSI i CEN.

1. DSRC standard je izveden iz IEEE 802,11-2012, gdje je prijenosni medij i MAC prilagođen V2X komunikaciji. Radi na frekvencijama od 5,825GHz do 5,925GHz, uz kanale od 10MHz. Metoda multipleksiranja korištena kod DSRC je OFDM.

IEEE 802,11 je definirao BSS ("Basic Service Set"), koji omogućuje različite topologije mreže sa pristupnom točkom. IEEE 1609,4 definirao je nastavak prema MAC-u kako bi osigurao više bežičnih kanala u 5GHz području. Sigurnost je definirao IEEE 1609,2.

2. C-ITS je definiran od strane neovisne i neprofitabilne organizacije ETSI ("European Telecommunications Standards Institute") za V2V komunikaciju. Sličnosti C-ITS-a i DSRC-a su u pristupnoj tehnologiji, slanju poruka i koriste istu strukturu horizontalnih slojeva za upravljanje i vertikalnih slojeva za sigurnost kod V2X poruka. Oba rade u području od 5GHz, s tim da je C-ITS podijeljen u dijelove od A do D, gdje je glavni frekvencijski pojas ITS-G5A (30MHz). Za V2X poruke koristi CAM ("Co-operative Awareness Message") koji je sličan BSS-u. Za slanje sigurnosnih poruka koristi se DENM ("Distributed Environmental Notification Message") koji nije automatiziran kao CAM i treba ga pokrenuti iz aplikacije.

Koriste se još i slijedeći standardi: C-V2X ("Cellular-V2X") je sličan DSRC-u. Koristi D2D sučelje označeno kao PC5, koji podržava poboljšanu verziju V2V sa isticanjem V2X zahtjeva. Koristi 5G radio sučelje u frekvencijskom pojasu od 30GHz do 300GHz. Omogućuje brzine veće od 7Gbps i kašnjenja manja od 10ms. Advanced ITS je promijenjena verzija IEEE 802.11p. Organizacija koja ga definira je TTA. Radi u rasponu od 5,855MHz do 5,925MHz. ARIB Development je razvijen u Japanu od strane ARIB-a. Koristi frekvencije od 755,5MHz do 764,5MHz uz 9MHz kanal koji će se koristiti za podršku sigurnoj vožnji [11].

## 5. Komunikacija punionice prema EV

Većina današnjih EV radi na principu jednosmjernog toka energije, što znači da je smjer kretanja energije isključivo od mreže prema EV. Rastom korištenja EV dolazi i do opterećenja energetske mreže. Kako bi se to opterećenje smanjilo potrebno je razviti komunikaciju i regulaciju kod punjenja EV kako bi se EV punila s obzirom na stanje u energetske mreži. Tako bi se omogućilo korištenje V2X koncepta.

### 5.1. IEC 61852-1

Ovaj protokol omogućuje jednosmjernu komunikaciju od punionice prema EV. Dodatak A definira osnovnu komunikaciju korištenjem regulacijskog kruga i PWM-a kroz regulacijski vodič kako bi se osiguralo odgovarajuće punjenje. Dodatak A također definira funkcije i slijed događaja za krug prema preporukama SAE J1772 standarda kako bi osigurala stabilnost sustava. Kod korištenja PWM-a za regulaciju sustava, regulacija se obavlja promjenom radnog ciklusa. Ukoliko se koristi jednostavniji regulacijski krug u kojem nema PWM-a u EV za regulaciju tada se ne bi trebalo koristiti punjenje strujom većom od 16A.

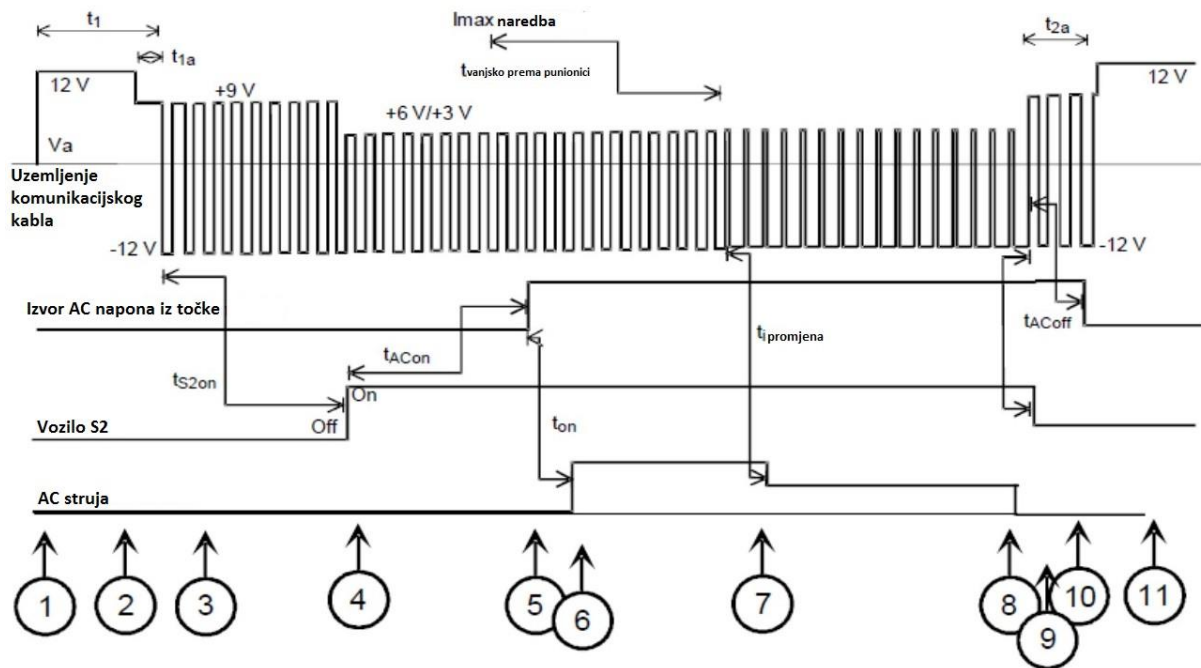
Kada se EV priključi na punionicu punjenje započinje nakon zatvaranja sklopke S2, prikazane na Slici 5.1., te započinje moduliranje PWM-a. Tablica 5.1. prikazuje koliki radni ciklus mora osigurati punionica za EV kako bi se uspostavili komunikacija i dobili podaci o definiranom ograničenju struje. Vrijednost radnog ciklusa je izražena u postocima.

| Dostupna struja                                                      | Nazivni radni ciklus osiguran od punionice (%) |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Komunikacijom će kontrolirati DC punjač u punionici ili punjač u EV. | 5% radnog ciklusa                              |
| Vrijednost struje od 6 A do 51 A                                     | Od 10% do 85% radnog ciklusa                   |
| Vrijednost struje od 51 A do 80A                                     | Od 85% do 96% radnog ciklusa                   |

*Tablica 5.1. Radni ciklus koji osigurava punionica [1].*

Radni ciklus od 3-7% označava da je moguća viša razina komunikacije, koju je moguće koristiti prema ISO/IEC 15118 protokolu.

Na Slici 5.1. prikazano je regulacija punjenja korištenjem PWM-a. Takva regulacija se sastoji od 11 stanja, od priključivanja kabla, početka punjenja, sve do završetka punjenja. Svako od stanja je objašnjeno u Tablici 5.2.



Slika 5.1. Ciklus punjenja PWM-a kod normalnih uvjeta [1].

|                                                                                                   | Stanje  | Operacija                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                 | A       | Vozilo nije spojeno. Punionica je detektirala puni napon $V_a$ . Vg je singal generatora +12V DC.                                                                                                            |
| 2                                                                                                 | B       | Vozilo je spojeno sa punionicom, što je detektirano sa signalom od 9V na $V_a$ . Napon signala iz generatora iznosi +12V DC ili $\pm 12V$ 1kHz signal koji potvrđuje da je punionica spremna za punjenje EV. |
| 3                                                                                                 | B       | Punionica sada može odrediti struju pomoću radnog ciklusa automobila. Postojanje diode se detektira sa 12V i dodatno potvrđuje da 9V signal pouzdano pokazuje da je EV spojeno.                              |
| 4                                                                                                 | B → C,D | Zatvorena sklopka S2 od strane vozila pokazuje da je vozilo spremno za primanje energije. Nema vremenskih uvjeta za zatvaranje S2.                                                                           |
| 5                                                                                                 | C,D     | Punionica zatvara krug. Sklopka će biti zatvorena za vrijeme koje je određeno uvjetima (plaćanje, razmjena informacija). U stanju D sklopka će se zatvoriti jedino ako su ispunjeni uvjeti ventilacije.      |
| 6                                                                                                 | C,D     | Struja teče prema vozilu. Vrijeme i jakost struje su određeni od strane vozila. Jakost struje možda neće biti ona koja je određena radnim ciklusom.                                                          |
| 7                                                                                                 | C,D     | Mreža ili punionica može zatražiti zahtjev za redukciju snage kod punjenja. EV prilagođava jakost struje koja je određena radnim ciklusom.                                                                   |
| 8                                                                                                 | C,D     | Kraj punjenja, odlučan od strane EV                                                                                                                                                                          |
| 9                                                                                                 | C,D → B | EV traži isključivanje.                                                                                                                                                                                      |
| 10                                                                                                | B       | Punionica detektira B stanje zbog otvaranja sklopke S2 i dopušta isključivanje kabla                                                                                                                         |
| 11                                                                                                | A       | Isključivanje kabla iz EV ili punionice je detektirano sa signalom od 12V.                                                                                                                                   |
| Punionica treba dopustiti isključivanje kabla kada je punjenje stiglo do kraja i ušlo u stanje A. |         |                                                                                                                                                                                                              |

Tablica 5.2. Opis operacija za vrijeme punjenja [1].

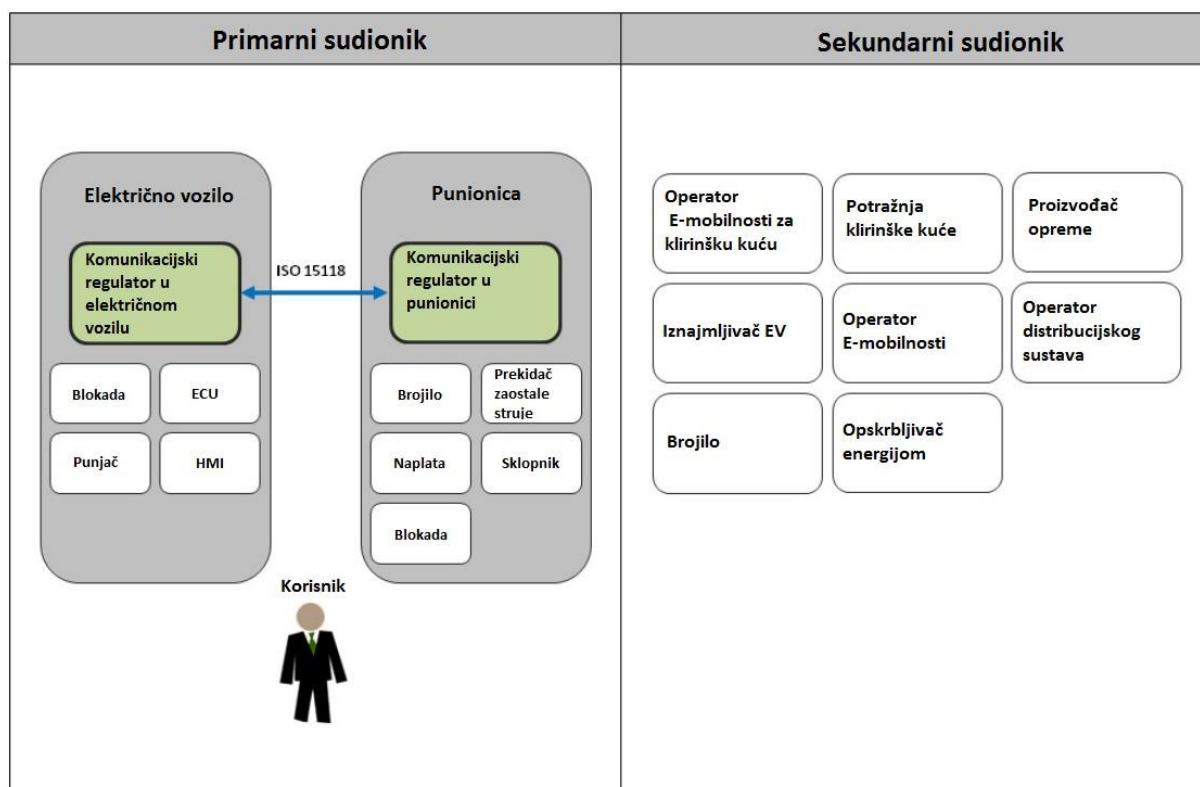
## 5.2. ISO/IEC 15118

ISO/IEC 15118 omogućuje dvosmjernu komunikaciju između EV i punionice kao primarne sudionike komunikacije, ali i komunikaciju između sekundarnih sudionika. Postoji mogućnost potrebe razmjene podataka sa višim razinama sustava. Ovaj standard služi za podešavanje procesa punjenja EV.

Standard se dijeli na 9 dokumenta koji opisuju komunikaciju između primarnih i sekundarnih sudionika:

1. 15118-1: Opće informacije i korištenja
2. 15118-2: Zahtjevi mrežnog i aplikacijskog protokola
3. 15118-3: Zahtjevi fizičkog i sloja podatkovne veze
4. 15118-4: Test sukladnosti za mrežni i aplikacijski sloj
5. 15118-5: Test sukladnosti za fizički sloj i sloj podatkovne veze
6. 15118-6: Opće informacije i definicija korištenja za bežičnu komunikaciju
7. 15118-7: Zahtjevi mrežnog i aplikacijskog sloja za bežičnu komunikaciju
8. 15118-8: Zahtjevi fizičkog sloja i sloja podatkovne veze za bežičnu komunikaciju
9. 15118-20: Druga generacija zahtjeva mrežnog i aplikacijskog protokola

Slika 5.3. prikazuje podjelu na primarne i sekundarne sudionike u komunikaciji sa punionicom. Primarni sudionici su punionica i EV, dok su sekundarni sudionici svi ostali dijelovi u sustavu.



Slika 5.2. Sudionici u ISO/IEC 15118 [1].

IEC 15118-1 definira sve načine korištenja bitne za standard i sve funkcionalnosti uvedene od strane kompatibilnog sustava, grupiranog u 8 kategorija:

- **Početak procesa punjenja:** inicijacija procesa između EV i punionice. Postavljanje osnove za punjenje (dostupnost PWM-a, komunikacija više razine).
- **Postavljanje komunikacije:** povezivanje punionice sa njenim komunikacijskim regulatorom.
- **Upravljanje certifikatima:** sve vezano uz certifikate.
- **Identifikacija, ovjera autentičnosti i autorizacija**
- **Postavljanje ciljeva i rasporeda punjenja:** informacije potrebne EV od komunikacijskog regulatora punionice i sekundarnih sudionika kako bi započeo proces punjenja.
- **Regulacija punjenja i promjena rasporeda:** potrebno za vrijeme punjenja.
- **Usluge s dodanom vrijednošću:** dijelovi koji nisu direktno potrebni za punjenje.
- **Kraj procesa punjenja:** definira signal za javljanje kraja procesa punjenja.

Aplikacijski protokoli i poruke koje se koriste kod izvršenja ovih funkcija su definirane u standardu 15118-2. IEC 15118-2 zahtjeva osnovu mrežnu infrastrukturu za razmjenu IP paketa. Standard je kompatibilan i sa 61851 u slučaju da EV ili punionica ne podržavaju 15118 standard.

Svaka funkcionalna grupa sadrži detaljnije načine korištenja i time 15118-1 i 15118-2 zajedno tvore potpunu listu funkcija koje standard mora sadržavati. U nastavku su ukratko objašnjene svaka od njih:

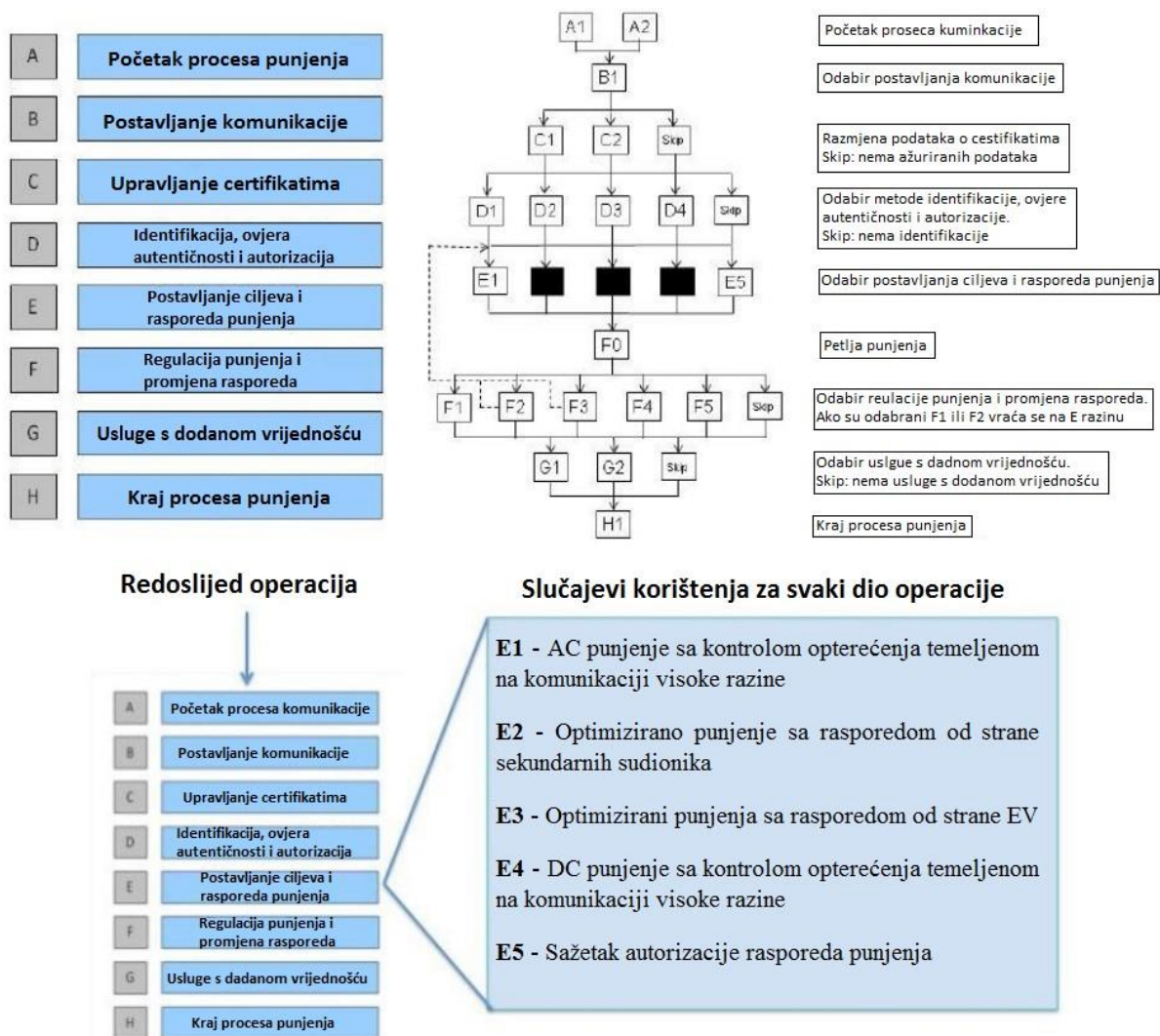
- **A - Početak procesa punjenja**
  - A1 - Početak punjenja koristeći komunikaciju visoke razine
  - A2 - Početak punjenja koristeći IEC 61851-1 i komunikaciju visoke razine
- **B - Postavljanje komunikacije**
  - B1 - Postavljanje komunikacije punionice sa komunikacijskim regulatorom punionice
- **C - Upravljanje certifikatima**
  - C1 - Ažuriranje certifikata
  - C2 - Postavljanje certifikata
- **D - Identifikacija, ovjera autentičnosti i autorizacija**

**Identifikacija i ovjera autentičnosti** ovise o infrastrukturi punionice i sposobnosti EV.

**Autorizacija** ovisi o dizajnu punionice. Autorizacija sadrži sve metode za usluge prema klijentu.

  - D1 - Ovjera autentičnosti EV sa lokalnom autorizacijom
  - D2 - Ovjera autentičnosti EV sa autorizacijom od strane sekundarnih sudionika
  - D3 - Identifikacija u punionici
  - D4 - Identifikacija u punionici sa potvrdom od sekundarnih korisnika
- **E - Postavljanje ciljeva i rasporeda punjenja**
  - E1 - AC punjenje sa kontrolom opterećenja temeljenom na komunikaciji visoke razine
  - E2 - Optimizirano punjenje sa rasporedom od strane sekundarnih sudionika
  - E3 - Optimizirani punjenja sa rasporedom od strane EV
  - E4 - DC punjenje sa kontrolom opterećenja temeljenom na komunikaciji visoke razine
  - E5 - Sažetak autorizacije rasporeda punjenja
- **F - Regulacija punjenja i promjena rasporeda**
  - F0 - Petlja punjenja
  - F1 - Petlja punjenja sa razmjenom informacija sa brojila
  - F2 - Petlja punjenja sa utjecajem iz komunikacijskog regulatora punionice
  - F3 - Petlja punjenja sa utjecajem iz komunikacijskog regulatora punionice
  - F4 - Kompenzacija reaktivne snage
  - F5 - Podrška za V2G
- **G - Usluge sa dodanom vrijednošću**
  - G1 - Usluge sa dodanom vrijednošću
  - G2 - Detalji punjenja
- **H - Kraj procesa punjenja**
  - H1 - Kraj punjenja

Na slici 5.4. prikazan je način korištenja ovog standarda kod punjenja.



Slika 5.3. Korištenje standarda ISO/IEC 15118 kod punjenja EV [1].

Poruke u standardu ISO/IES 15118-2 su bazirane na principu zahtjev/odgovor.

Na Slici 5.4. je prikazana razmjena poruka kod procesa punjenja.

Nakon što se uspostavi veza između EV i punionice otvara se V2G komunikacijska sekcija na aplikacijskom sloju. Komunikacija se odvija na principu para poruka:

- **Zahtjev za postavljanje sekcije** ("SessionSetupReq()")
  - EVCC ID ( identifikacijski broj komunikacijskog regulatora EV)
- **Odgovor za postavljanje sekcije** ("SessionSetupRes()")
  - Odgovor (OK, Failed)
  - EVSE ID (identifikacijski broj komunikacijskog regulatora punionice)
  - Vremenska oznaka EVSE (neobavezno)

Kad se završi autorizacija za punjenje, EVCC i SECC pomoću Charge Parameter Discovery poruka dogovore parametre punjenja. EV će ovim porukama komunicirati sa punionicom i sekundarnim sudionicima kako bi saznalo dostupnu energiju za punjenje. Potrebno je omogućiti i nove dogovore između EVCC i SECC jer se dostupna energija za punjenje može mijenjati tijekom punjenja te je potrebno mijenjati parametre punjenja. Razmjena poruka se odvija na slijedeći način:

- **Zahtjev za otkrivanje parametara punjenja** (ChargeParameterDiscoveryReq())
  - MaxEntriesSAScheduleTuple - neobavezan: ukazuje na najveći broj ulazaka u raspored punjenja.
  - RequestedEnergyTransferMode - razina punjenja koju je odabrao EVCC
  - AC\_EVChargeParameter ili DC\_EVChargeParameter - ovaj parametar koristi EVCC za postavljanje ciljeva AC ili DC punjenja.
- **Odgovor za otkrivanje parametara punjenja** (ChargeParameterDiscoveryRes())
  - EVSE obrada (finished, ongoing)
  - Odgovor (OK, Failed)
  - Raspored sekundarnih sudionika - ovaj odgovor daje informacije o najvećoj snazi punjenja, najvećem mogućem broju ulazaka u raspored punjenja po najvećoj snazi, vremenu punjenja na najvećoj snazi, najveća moguća snaga, cijena punjenja (ovisno o razini punjenja, vrijednosti energije i ostalim troškovima)
  - Parametri punionice za AC ili DC punjenje.

Poruka za isporuku energije određuje vrijeme kada EV može započeti s punjenjem:

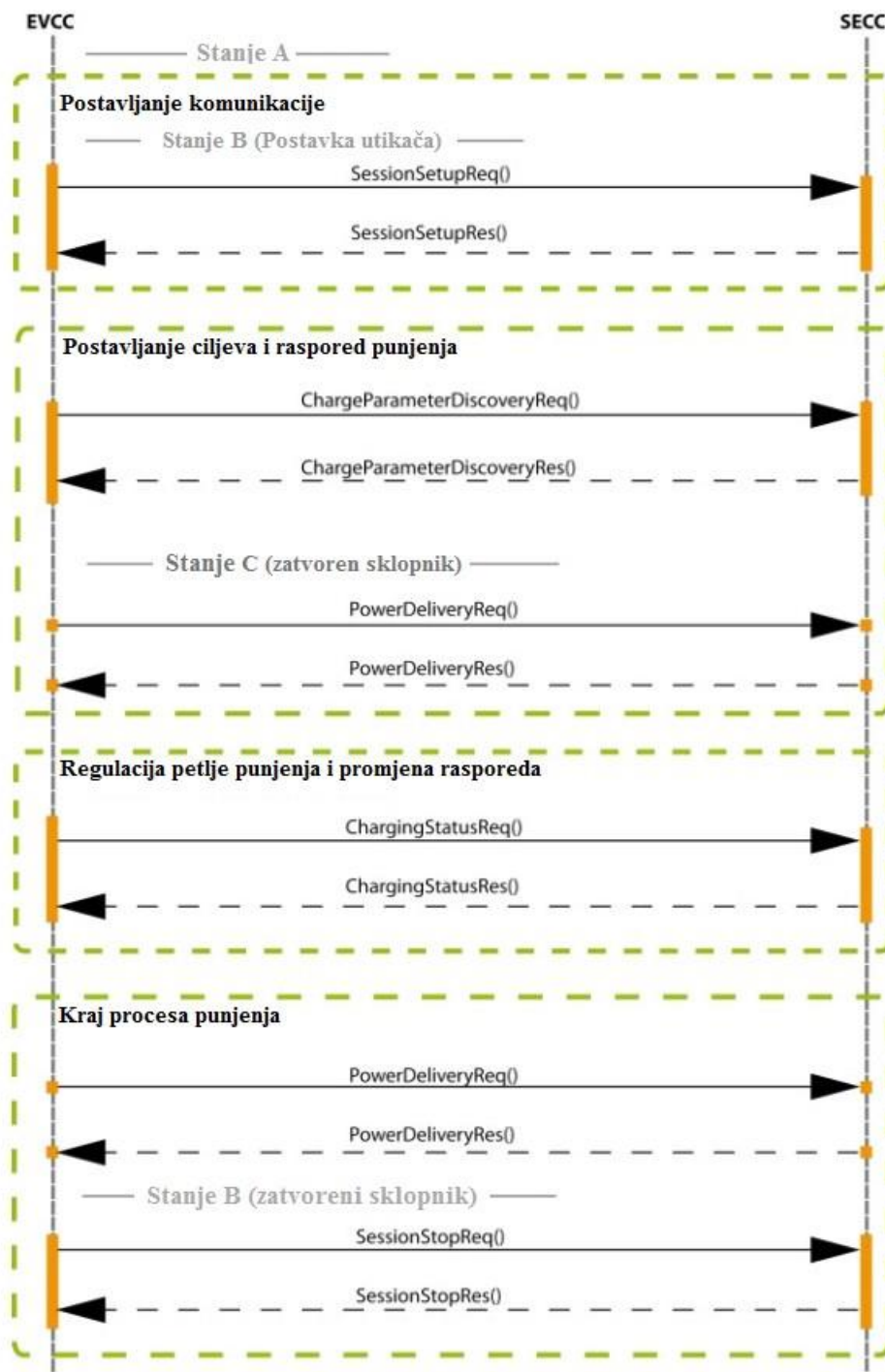
- **Zahtjev za isporuku energije:** EV zahtjeva od punionice početak punjenja i informaciju o razini punjenja koja će se koristiti tijekom punjenja.
  - Napredak punjenja ("ChargeProgress") - ova poruka zahtjeva od punionice ostvarivanje svih uvjeta za početak punjenja čim sustav EV počinje zaprimati energiju. Ako je ChargeProgress = Start, tada je punionica spremna započeti punjenje u bilo kojem trenutku sve dok se ne bude ChargeProgress = Stop, tada punionica prekida punjenje. Ukoliko je ChargeProgress = Renegotiate, tada započinju ponovni pregovori između EVCC i SECC.
  - Identifikacijski broj podešavanje rasporeda sekundarnih sudionika ("SAScheduleTupleID") - to je jedinstveni broj unutar procesa punjenja i ostaje isti za jedan raspored tijekom procesa punjenja.
  - Profil punjenja ("Charging Profile") - sadržava identifikator rasporeda podešavanja sekundarnih korisnika, početak i najveću snagu punjenja.
  - DC\_EVPowerDeliveryParameter - neobavezan parametar koji koristi EVCC za slanje parametara za slanje energije
- **Odgovor za isporuku energije:** punionica šalje poruku o dostupnosti energije.
  - Odgovor (OK, Failed)
  - Stanje AC EVSE ili DC EVSE

Stanje punjenja osigurava provjeru očitavanja brojila od strane punionice. Na temelju iterativno razmijenjenih poruka o statusu punjenja kojima EV provjerava i potvrđuje dolaznu energiju iz punionice:

- **Zahtjev za stanje punjenja:** punionica šalje podatke s brojila nakon što EV pošalje zahtjev ta stanje punjenja.
  - Odgovor (OK, Failed)
  - Identifikacijski broj punionice
  - Identifikacijski broj rasporeda sekundarnih korisnika (neobavezan)
  - Najveća struja punionice (neobavezno)
  - Podaci s brojila:
    - Identifikacijski broj brojila
    - Očitavanje brojila (neobavezno)
    - Ovjera očitavanja brojila (neobavezno)
    - Stanje brojila (neobavezno)
    - Vremenska oznaka punionice (neobavezno)
  - Zahtjev za potvrdnom porukom (true, false)
  - Stanje AC punionice:
    - Stanje sklopke (zatvorena ili otvorena)
    - Postojanje greške na RCD-u
    - Najveća odgoda reakcije na obavijesti punionice
    - Obavijest punionice (none, stop charging, renegotiation)

Poruka za prekid sekcije se koristi za prekid V2G komunikacije:

- **Zahtjev za prekid sekcije** (SessionStopReq()): ukazuje na to da EV želi prekinuti ili pauzirati komunikacijsku sekciju.
- **Odgovor na prekid sekcije** (SessionStopRes()): punionica nakon primanja zahtjeva za prekid komunikacijske sekcije šalje odgovor o uspješnosti procesa.
  - Odgovor (OK, Failed)



Slika 5.4. Poruke unutar komunikacijske sekcije [1].

Druga generacija ISO/IEC 15118-2 standarda nazvana ISO/IES 15118-20 trebali bi biti objavljena krajem 2021. godine. Novi standard je baziran na ISO/IES 15118-2, no unatoč tome neće biti kompatibilni, punionica koja koristi ISO/IEC 15118-20 standard neće moći uspostaviti komunikaciju sa EV koje koristi ISO/IEC 15118-2 standard [11].

### 5.3. CAN (SAE J 1939)

CAN SAE J 1939 je najčešće korišten protokol za razmjenjivanje informacija između regulacijskih jedinica automobila. U EV se koristi CAN ("Controller Area Network") komunikacija koja koristi CAN SAE J 1939 protokol. CAN se koristi i u industriji, automatizaciji postrojenja, medicinskoj opremi, pomorstvu i vojsci. CAN je iznimno robustan komunikacijski protokol.

Prema arhitekturi i slojevima CAN-a moguće je povezati standardne uređaje u automobilu (npr. motor, upravljačka jedinica prijenosa, ABS, računalo u automobilu) s uređajima u EV (pretvarač, BMS, punjač). Također koristi se za komunikaciju između podsustava, sučelja (pokretanje/zaustavljanje, kočnice, ubrzavanje), sustava za prikaz fizičkih veličina (snaga, okretni moment, napon, struja), sustava za prikaz stvarnih fizičkih veličinama (stvarni okretni moment, stvarna brzina), kontrole temperature, regulatora prosječnog napona. Omogućuje i dijagnostiku, bilježenje podataka i promjenu podataka. CAN komunikacija ne može biti korištena za audio, video ili regulacijske krugove velikih brzina. Baziran je na porukama, a ne adresama, što znači da CAN šalje poruku na sve čvorove te oni sami odlučuju da li trebaju reagirati na poruku ili ne.

#### 5.3.1. Parametri podataka

CAN mreža može biti konfigurirana za rad sa dva različita formata poruke:

1. standardni format (CAN 2.0 A)
2. produženi format (CAN 2.0 B)

Razlika između ova dva formata poruke je u tome da podržavaju različite duljine okvira. Standardni format podržava duljinu od 11 bitova za identifikator, dok produženi format koristi duljinu od 29 bitova za identifikator.

CAN koristi četiri tipa okvira:

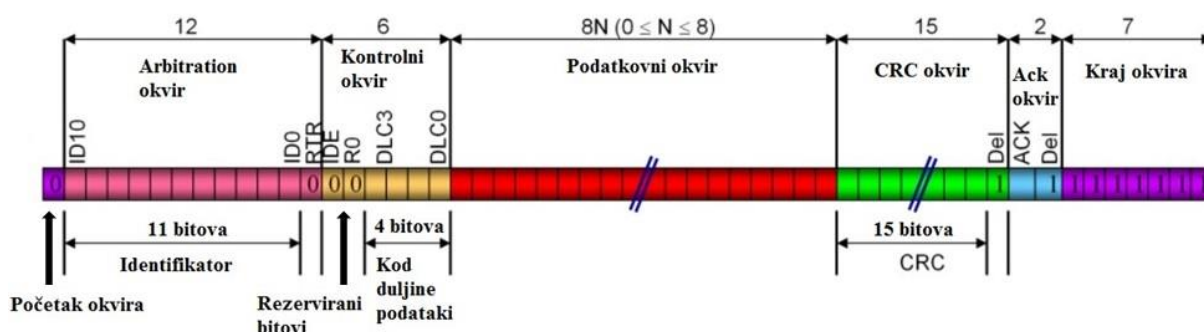
1. **Podatkovni okvir:** sadrži podatke o čvorovima za prijenos.
2. **Remote okvir:** okvir koji zahtjeva prijenos specifičnog identifikatora
3. **Error okvir:** okvir poslan od bilo kojeg čvora o detekciji problema
4. **Overload okvir:** okvir koji stvara kašnjenje između podatkovnog i/ili remote okvira

#### Podatkovni okvir

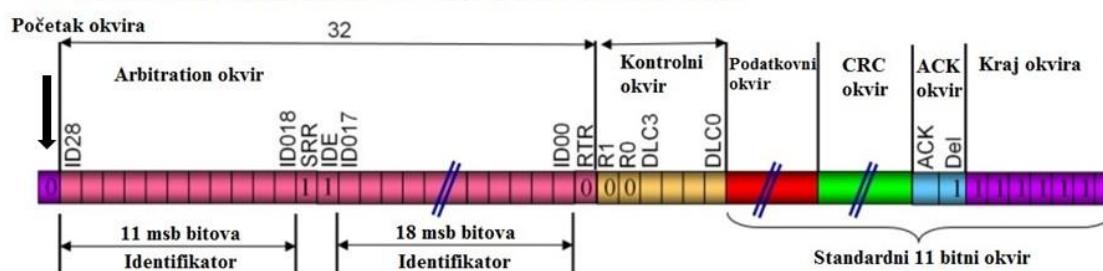
Podatkovni okvir jednini zapravo prenosi podatke, u dva formata poruke.

## Podatkovni okvir

- **Standardni format sa 11 bitova za identifiaktor**



- **Produženi format sa 29 bitova za identifiaktor**



Slika 5.5. Prikaz podatkovnog okvira [15].

Oba formata poruke mogu koegzistirati unutar CAN sabirnice. Standardni format ima prednost ispred produženog format.

Podatkovni okvir započinje sa okvirom "Početak okvira" koji je dominantan bit. Nakon njega dolazi ID okvir gdje dolazi do arbitraže i čvor sa najvišim prioritetom koristi sabirnicu. Ova metoda omogućuje porukama sa najvišim prioritetom da stignu na odredište i u slučaju kolizije, također poruke se šalju bez kašnjenja. CAN je iz tog razloga siguran za korištenje u kritičnim primjenama. Čvor koji prenosi poruku će poslati i kontrolni okvir koji sadrži IDE bit i uobičajeno skraćeni kod duljine podataka do DLC-a. IDE bit daje informacije o formatu poruke, je li poruka standardnog ili produženog formata, dok DLC daje informaciju je li poruka između 0 i 8 bajta. Slijedeći čvor će prenijeti podatke pa CRC. CRC je izračunat od početka okvira do podatkovnog polja. U ACK polju pošiljalac šalje recesivan bit u sabirnicu i čeka da pošiljalac pošalje dominantan bit. Ako je s poruke sve u redu svi primatelji šalju dominantan bit. Pošiljalac nakon toga zna da je poslana poruka ispravna. Na završetku okvira svaki čvor, uključujući onog je slao poruku, imaju priliku još jednom prenijeti poruku.

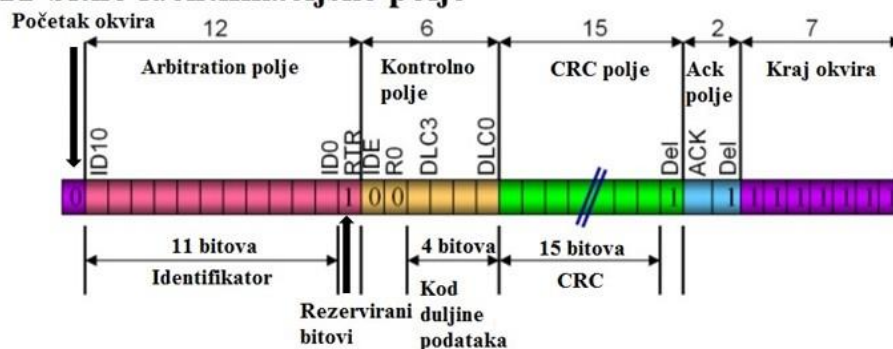
## Remote okvir

Remote okviri se koriste u oba formata poruka. Koriste se kada jedan čvor treba zatražiti podatke od drugog čvora.

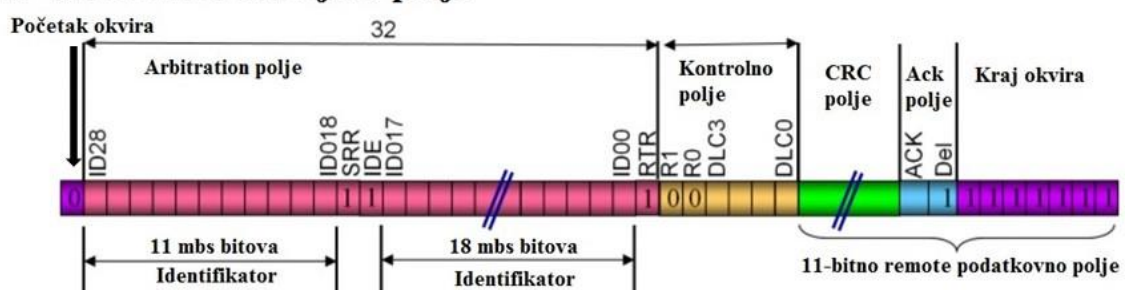
Čvor A šalje remote okvir u sabirnicu sa identifikatorom koji odgovara podatkovnom okviru poslanom od čvora B. Nakon što čvor B primi zahtjev, poslat će podatkovni okvir sa odgovarajućim ID-om i odgovarajućim podacima.

## Remote podatkovni okvir

- **11-bitno identifikacijsko polje**



- **29-bitno identifikacijsko polje**



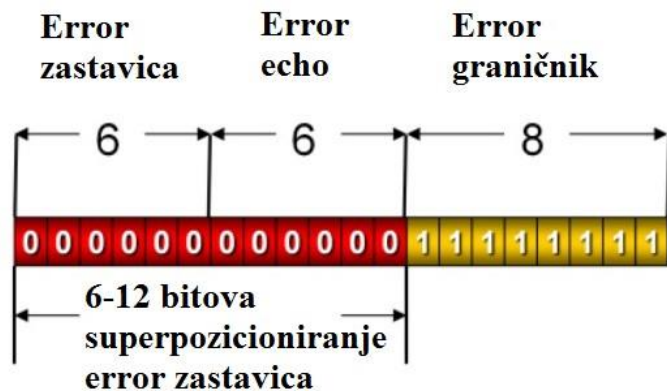
*Slika 5.6. Prikaz remote podatkovnog okvira [15].*

## Error okvir

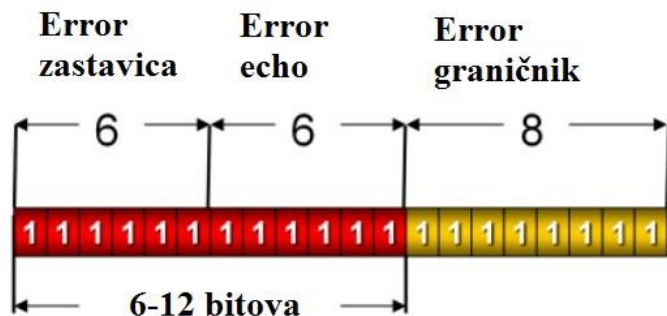
Error okvir je poslan od bilo kojeg čvora kada detektira pogrešku u CAN podatkovnom ili remote okviru. Ovisno o stanju u kojem je čvor (aktivnom ili pasivnom) poslat će i takav okvir (aktivni ili pasivi). Error okvir može varirati u duljini zbog mogućnosti postojanja šuma u blizini CAN čvora koji će okrenuti bit u podatkovnom okviru. Zbog promjene bita CRC izračun bi trebao biti pogrešan. U tom slučaju će čvor poslati error okvir.

# Error okvir

- **Aktivni error okvir**



- **Pasivni error okvir**



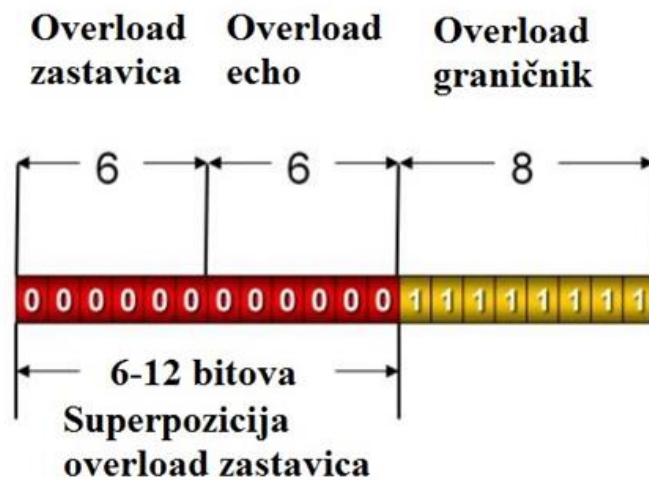
Slika 5.7. Prikaz error okvira [15].

Poruka će biti uništena od strane error okvira. Pošiljalac će znati da poruka nije zaprimljena ispravno te će prvom slijedećom prilikom ponovo poslati poruku.

## Overload okvir

Overload okvir je jedna vrsta Error okvira koji ne pokreće ponovo slanje uništene poruke. Umjesto uništavanja poruke čvor koristi ovaj okvir kako bi povećao razmak između podatkovnih i remote okvira ili isključio vrijeme u CAN sabirnici.

- **Overload okvir**

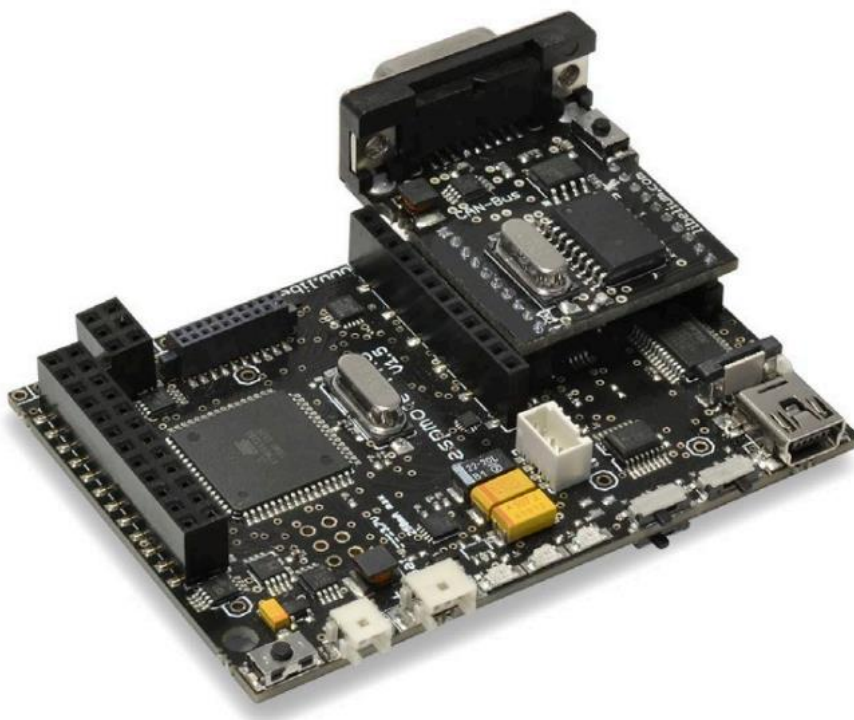


*Slika 5.8. Prikazuje overload okvir [15].*

Čvor može poslati do dva overload okvira ukoliko mu je potrebno više vremena za obradu poruke. Time će svi čvorovi pričekati sa slanjem podatkovnih ili remote okvira.

### 5.3.2. Hardver

CAN sabirnica se može koristiti sa raznim uređajima i vozilima i kompatibilan je sa različitim modulima, ali ne sa svima. Svaki proizvođač vozila koristi različitu konfiguraciju CAN sabirnice. Korisnik CAN sabirnice treba sam integrirati modul CAN sabirnice sa uređajem (vozilom ili senzorima). Na slici 5.9. je prikazan primjer jednog modula CAN sabirnice.



*Slika 5.9. Modul CAN sabirnice [16].*

CAN sabirnica koristi SPI pinove za komunikaciju, što omogućuje veću brzinu komunikacije. Proširena pločica omogućuje povezivanje dvije pločice u isto vrijeme na platformu senzora.

CAN modul može koristiti razne oblike komunikacije (bežične i/ili žičane). Od raznih bežičnih kao što su radio frekvencije, Wifi, 4G, Bluetooth i razni drugi, i od žičanih preko konektora koji ovise o modelu i području korištenja CAN modula (RS-232, RS-485,...). Na slici 5.10. prikazan je CAN modula sa antenom za bežičnu komunikaciju.



*Slika 5.10. CAN modul sa dodatnom radio pločicom [16].*

U ovakvom slučaju sa dvije pločice za komunikaciju CAN sabirnica može kombinirati različite vrste prijenosa podataka. Neke od mogućih kombinacija su: RS-232 - Wifi, RS-485 - 868MHz, CAN sabirnica - Bluetooth,...

## **5.4. Proces punjenja**

Punjenje u kojem EV i punionica razmjenjuju podatke kojima reguliraju punjenje se naziva dinamičko punjenje. Prednosti takvog punjenja su mogućnost prilagodbe punjenja prema zahtjevima nekog od sudionika u punjenju. Dinamičko punjenje se oslanja na komunikaciju i protokole.

### **5.4.1. Dinamičko AC punjenje**

Komunikacija između EV i AC punionice se odvija koristeći kontrolni signal (CP) i signal povezanosti (PP). Signal povezanosti provjerava fizičku povezanost između punionice i

EV i daje informaciju o najvećoj snazi koju kabel za punjenje može podržati. Kontrolni signal pomoću PWM signala promjenjivog ovisno o najvećoj dostupnoj struji punionice. Prema PWM signalu iz kontrolnog signala EV određuje kolikom strujom će se puniti prema stanju napunjenosti baterije i temperaturi. Struja koju odredi EV može biti manja ili jednaka najvećoj struji punionice. Ukoliko su stanje napunjenosti ili temperature previsoki, BMS iz EV određuje novu jakost struje punjenja.

## **5.4.2. Dinamičko DC punjenje**

Dinamičko DC punjenje se razlikuje u ovisnosti vrsti konektora. U ovom poglavlju su opisana punjenja koristeći dva trenutno najviše upotrebljavana konektora:

- CHADEMO
- CCS/COMBO

### **5.4.2.1. Dinamičko punjenje preko chademo konektora**

Kod chademo v1.0 ima sličnu kontrolu kao kod AC punjenja tipa 1 i 2. EV određuje jakost struje punjenja i svakih 200ms šalje novu potrebnu vrijednost. Na početku procesa punjenja EV šalje informacije punionici o modelu, naponu baterije i stanju napunjenosti. EV i punionica postavljaju vrijednost najviše struje s obzirom na najveću struju punjenja EV i punionice. Punionica mora dostavljati struju koja smije varirati 2,5A od dogovorene vrijednosti struje. Kod chademo v1.0 nije moguće mijenjati najvišu dogovorenu struju punjenja nakon dogovora prije početka punjenja. Chademo ne podržava V2X koncept niti punionica ne može postavljati struju punjenja i smjer punjenja.

Chademo v2.0 podržava V2X koncept i omogućuje protok energije u oba smjera. Na početku punjenja također kao i kod chademo v1.0 EV i punionica razmjenjuju podatke o bateriji EV-a i određuju najvišu struju punjenja i pražnjenja prema ograničenjima EV i punionice. EV svakih 200ms određuje najvišu struju punjenja i razmjenjuje podatke o stanju napunjenosti i temperaturi. V2X nije moguć kada je struja pražnjenja baterije 0. Punionica može osigurati svaku vrijednost struje između gornje i donje granice vrijednosti s odstupanjem od 2,5A. Dinamičko punjenje preko chademov2.0 konektora pametno upravljanje sustavom i odlučiti o načinu punjenja EV-a ovisno o korisničkim prioritetima, cijeni energije ili mogućnostima obnovljivih izvora energije.

#### **5.4.2.2. Dinamičko punjenje preko CSS/COMBO konektora**

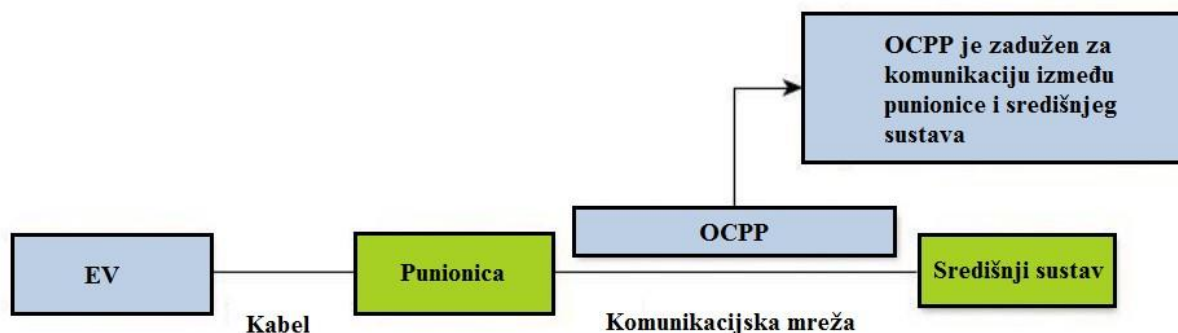
EV i punionica određuju najvišu struju punjenja temeljenoj na mogućnostima EV i punionice. Kada punjenje započne EV i punionica neprestano komuniciraju i postavljaju vrijednost struje punjenja i pražnjenja ovisno o stanju napunjenosti i temperaturi. Kod V2X ili dinamičkog punjenja punionica može zatražiti promjenu struje punjenja od EV-a. Komunikacija se bazira na ISO 15118 standardu. ukoliko EV odobri zahtjev punionice, tada EV mijenja postavljene granice vrijednosti struje i punionica mora nastaviti s punjenjem unutar novih granica s najvišim odstupanjem od 2,5A.

Dinamičko punjenje sa CSS-om nije toliko lako promjenjivo kao kod chademo. Ukoliko dođe do nagle promjene u opskrbi iz obnovljivih izvora ili cijeni energije tada punionica mora slati zahtjev za promjenu vrijednosti struje. EV je potrebno određeno vrijeme za odgovor i postavljanje nove vrijednosti struje. U tom vremenu potrebno je pohrana energije iz mreže ili obnovljivih izvora energije, što kod chademo nije potrebno. Vrijeme potrebno za odgovor ovisi o proizvođaču EV, stanju napunjenosti i trenutnim postavljenim vrijednostima struje i može u CCS-u iznositi do 60s. [12]

## 6. Komunikacija punionice sa ostalim sudionicima

### 6.1. OCPP

OCPP-u ("Open Charge Point Protocol") je glavna zadaća vođenje komunikacije između punionica i središnjih sustava. Na slici 6.1. je prikazano gdje se u sustavu nalazi OCPP.



Slika 6.1. OCPP u komunikacijskom sustavu [1].

U standardu je središnji sustav opisan kao sustav koji upravlja većim brojem punionica. Ovakva jednostavna arhitektura omogućuje središnji prolaz s kojim je moguće okupiti određeni broj punionica.

U OCPP 2.0 verziji dodane su i promijenjene neke poruke u usporedbi s starijim izvedbama. Lista operacija koje punionica može pokrenuti prema središnjem sustavu je sljedeća:

- **Autorizacija:** prije nego što korisnik punionice pokrene ili zaustavi punjenje punionica mora odobriti operaciju. Tek nakon što punionica odobri operaciju korisnik može priključiti ili isključiti EV s punionicom.
- **Obavijest o pokretanju:** nakon pokretanja punionica šalje obavijest u središnji sistem s informacijom o konfiguraciji ( verzija, poslužitelj itd.). Središnji sustav prihvaća samo punionice koje su registrirane u središnjem sustavu.
- **Prijenos podataka:** punionica u slučaju pojavljivanja funkcija koje nisu podržane od OCPP-a koristi operaciju prijena podataka ("Data Transfer").
- **Obavijest o stanju dijagnostike:** punionica šalje obavijest središnjem sustavu kada je ažuriranje dijagnostike završeno.
- **Obavijest o stanju firmware-a:** punionica šalje obavijest središnjem sustavu napretku ažuriranja firmware-a.
- **Impulsi povezanosti:** kako bi središnji sustav znao da je punionica povezana, punionica mu šalje podesiv signal u nekom vremenskom razmaku.

- **Vrijednost brojila:** punionica može koristiti senzor kako bi dobila dodatne podatke o vrijednosti brojila.
- **Početak punjenja:** punionica obavještava središnji sustav o početku punjenja.
- **Punjenje zaustavljeno:** punionica obavještuje središnji sustav o zaustavljanju punjenja.

Lista operacija pokrenute od strane središnjeg sustava prema punionici:

- **Otkazivanje ažuriranja firmware-a:** središnji sustav može otkazati ažuriranje firmware-a ukoliko je zahtjev poslan ranije prema punionici i nije potpuno obrađen.
- **Otkazivanje rezervacije:** za otkazivanje rezervacije
- **Promjena dostupnosti:** središnji sustav može zatražiti od punionice promjenu dostupnosti. Punionica je dostupna kada je spremna za punjenje ili tijekom procesa punjenja, a nedostupna kada ne dozvoljava punjenje.
- **Promjena konfiguracije:** središnji sustav može zatražiti od punionice promjenu konfiguracije.
- **Brisanje predmemorije:** središnji sustav može od punionice zatražiti brisanje predmemorije.
- **Prijenos podataka:** ukoliko središnji sustav mora poslati punionici informaciju o funkciji koja nije podržana u OCPP-u, tada će koristiti operaciju za prijenos podataka.
- **Zahtjev za konfiguraciju:** služi za dobivanje postavka konfiguracije.
- **Zahtjev za dijagnostiku:** središnji sustav može zatražiti od punionice podatke o dijagnostici.
- **Zahtjev za verziju lokalnog popisa:** kako bi se podržala sinkronizacija lokalne autorizacijske liste, središnji sustav šalje zahtjev punionici za broj verzije lokalne autorizacijske liste.
- **Zahtjev za početak punjenja:** središnji sustav može zatražiti od punionice početak punjenja
- **Zahtjev za prekid punjenja:** središnji sustav može zatražiti od punionice prekid punjenja
- **Rezervacija:** središnji sustav može rezervirati bilo koju punionicu u sustavu za određeni ID-tag.
- **Resetiranje:** zahtjev punionici za resetiranje.
- **Slanje lokalnog popisa:** središnji sustav može poslati lokalnu autorizacijsku listu kako punionica mogla autorizirati ID-tag-ove.
- **Otključavanje konektora:** središnji sustav može otključati konektor punionice.
- **Ažuriranje firmware-a:** središnji sustav može obavijestiti punionicu o potrebi ažuriranja firmware-a.

Punionica daje korisniku izbor između nekoliko načina plaćanja. Izračun u realnom vremenu kod jednostavnijih načina plaćanja može napraviti punionica, dok zahtjevnije

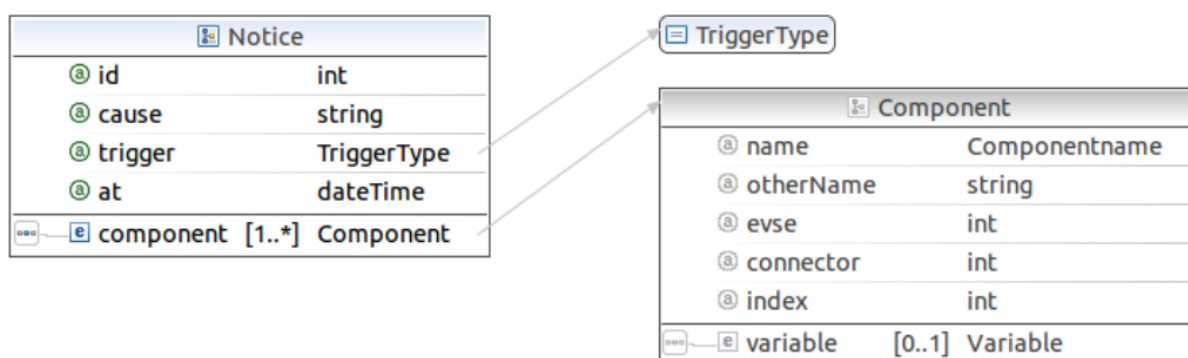
izračune radi središnji sustav te ga šalje punionici. Nakon procesa autorizacije moguće je koristiti načine plaćanja kojeg koristi određeni korisnik.

Pametno punjenje se bazira na profilima punjenja koji se sastoje od rasporeda punjenja koji u sebi sadržavaju podatke o vremenskim intervalima punjenja i najvećoj snazi punjenja i podatke o rasporedu punjenja. Profil omogućuje informacije o tarifi. Primjena ovisi o dva čimbenika:

- postojanje loknog regulatora između središnjeg sistema i punionice.
- dostupna komunikacija između punionice i EV. OCPP podržava treću razinu PWM komunikacije i ISO/IEC 15118.

OCPP se na lokalnoj razini može koristiti za ograničavanje najveće snage koju grupa punionica može dati. Također, na globalnoj razini OCPP se može koristiti za prilagođavanje potrošnje snage na punionicama s mrežom.

OCPP koristi jednostavan model sučelja ("Device model") za izvještavanje o događajima i stanju. Svi podaci o stanju, podaci o nadgledanju i podaci o upravljanju se šalju od punionice prema središnjem sistemu preko "Notice" strukture, koja je prikazana na slici 6.2..



Slika 6.2. "Notice" struktura [1]

Svaka komponenta ima svoju varijablu koja se koristi kako za prikaz i regulaciju određenih aspekata, njenog trenutnog stanja i značajnih događaja. Središnji sustav može nadgledati i regulirati punionicu na način kako bi lakše dijagnosticirao:

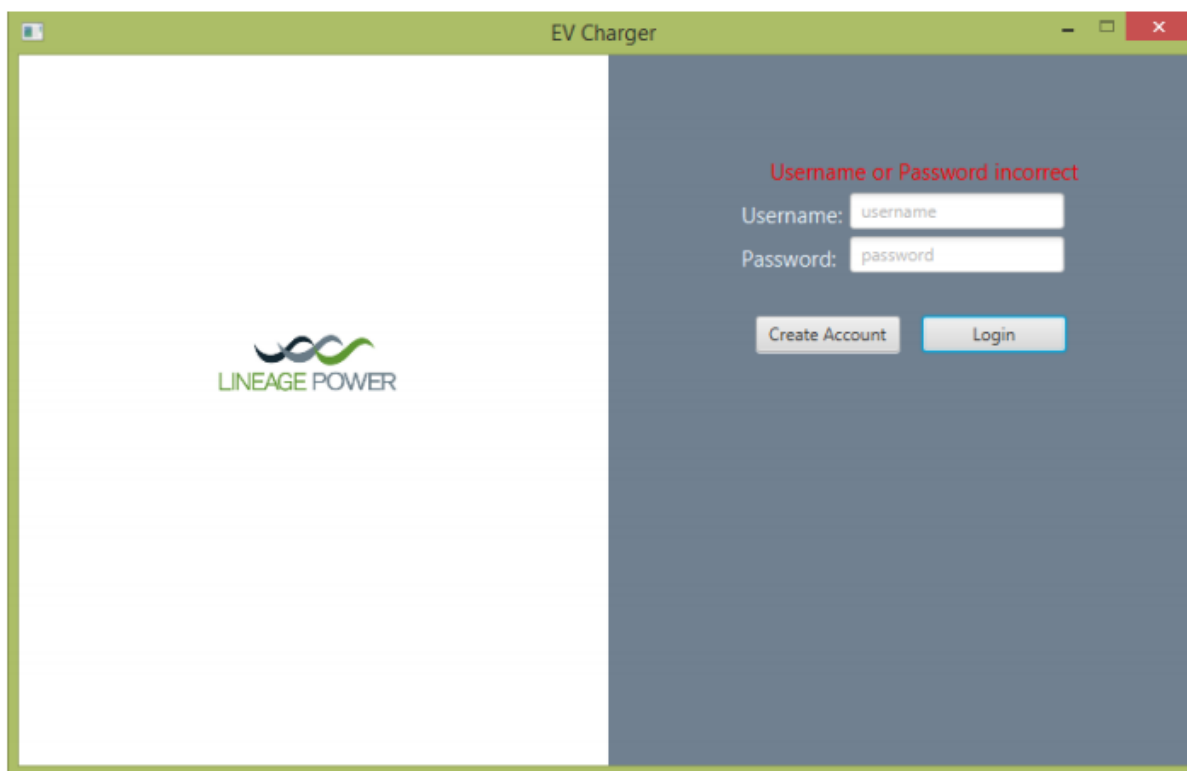
- stanje punionice i kako obavlja punjenje
- što se dogodi u slučaju kvara
- kako poboljšati korisnikovo iskustvo i smanjiti troškove koristeći dijagnostiku u približno realnom vremenu:
  1. spriječiti dolaženje do problema pomoću naprednih upozorenja
  2. kada god je moguće identificirati i otkloniti probleme bez dolaska do punionice

3. potencijalno navesti korisnika kod punionice da dijagnosticira i ako je moguće poradi na problemu
4. slanje servisa ukoliko nije moguće riješiti problem nikako drukčije

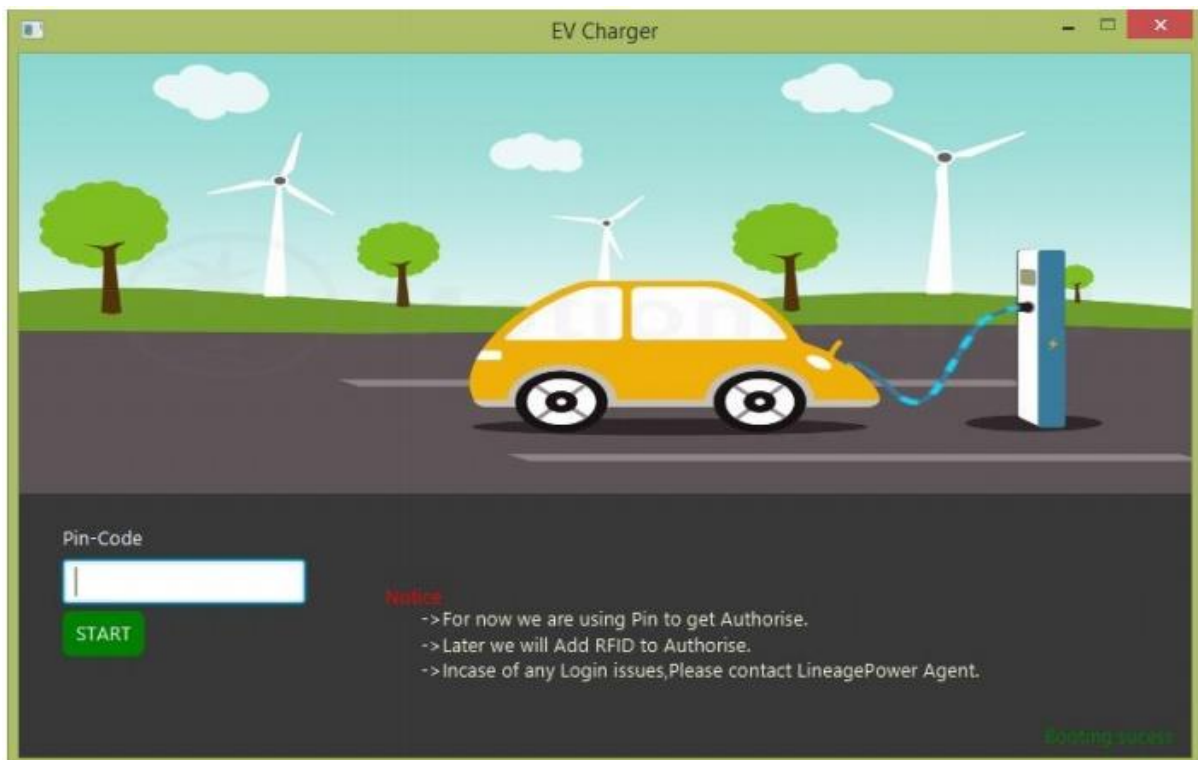
"Plug & Play" upis novih punionica može izbjeći skupe i sklonim pogreškama ručnih unosa podataka. Dobe se detaljne informacije o trenutnom stanju punionice, primaju se obavijesti i izvješća sa svim problemima i operativnih radnji. Promjena konfiguracija komponenta punionice izdaleka kako bi se omogućile, onemogućile ili izmijenile određene funkcije. Prilagodba nadgledanja kako bi slalo samo informacije o radnjama i problemima od veće važnosti.

OCCP nema specifičnu komunikacijsku tehnologiju već svaka mreža koja podržava TCP/IP vezu može koristiti OCPP. Kako bi se smanjila veličina poruka i troškovi komunikacije OCPP 2.0 koristi JSON kodiranje i Websocket. [12]

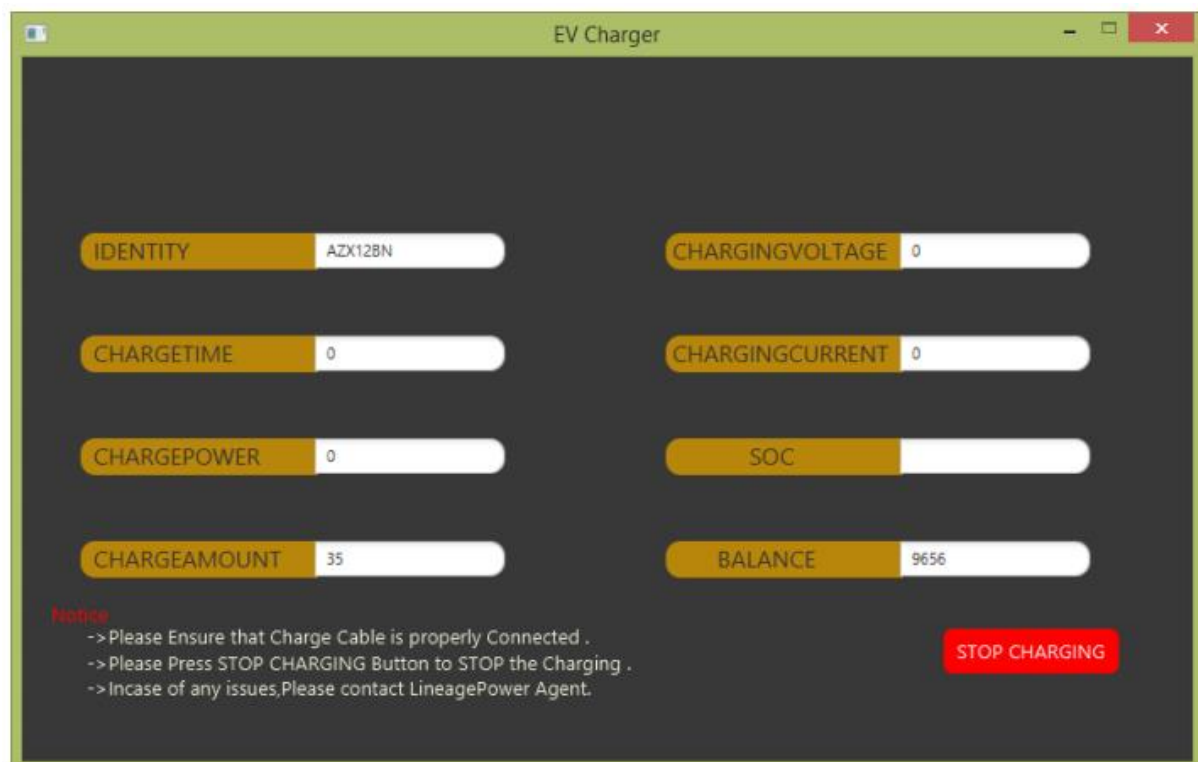
Na slici 6.3. prikazan je jedan mogući primjer sučelja za OCPP protokol. Na slici a) prikazana je prijava administratora u središnjem sustavu, dok je slikama b) i c) prikazan dio koji koristi korisnik.



*a) prijava administratora u središnjem sustavu.*



*b) prijava korisnika kod punionice.*



*c) stanje vozila tijekom punjenja.*

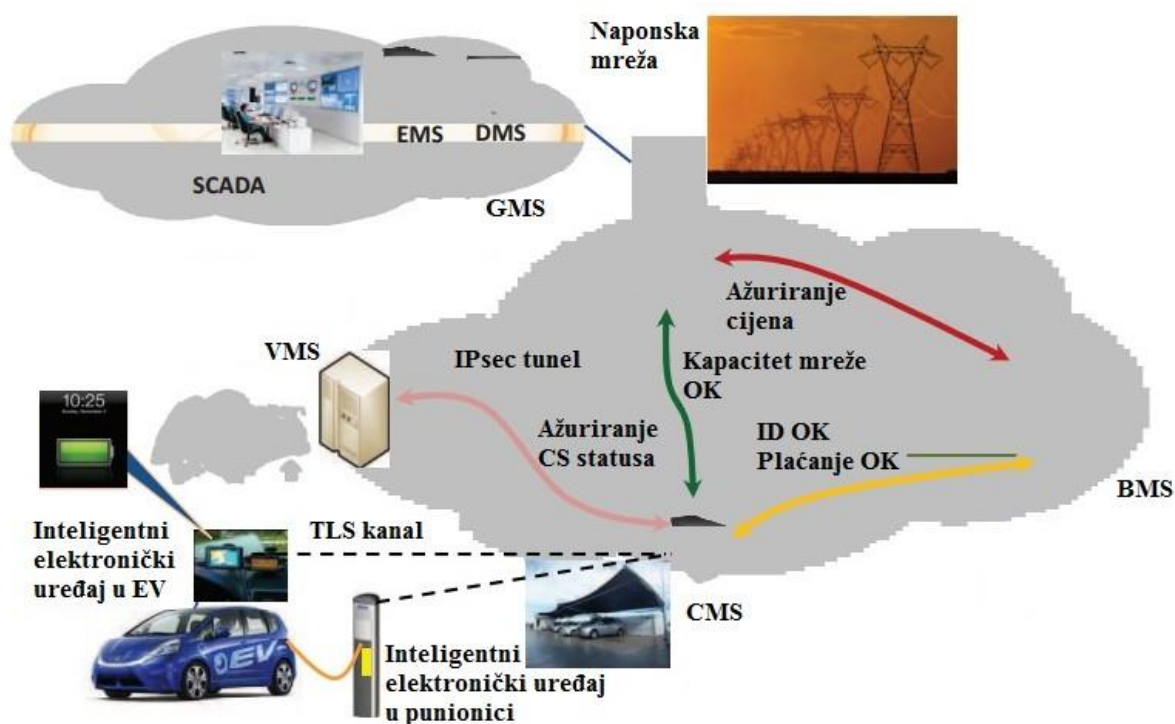
*Slika 6.3. Primjer sučelja OCPP protokola [14].*

## 6.2. Sudionici u komunikaciji

Razmjena podataka se vrši između 4 servera, punionice i EV koji su povezani privatnom mrežom, a to su:

1. Server za upravljanje punjenjem (CMS)
2. Server za upravljanje EV (VMS)
3. Server za upravljanje naplatom (BMS)
4. Server za upravljanje električnom mrežom (GMS)

Komunikacijski uređaj iz EV i punionice razmjenjuju podatke sa CMS-om preko kojeg se vrši koordinacija između EV-a, punionice, BMS-a, GMS-a i ostalih sekundarnih sudionika. CMS djeluje umjesto EV kako bi koordinirao sa BMS-om o potvrdi valjanosti računa za naplatu, provedbu naplate i sa GMS-om o dozvoli za početak punjenja temeljenom na mogućnostima mreže, komunikaciju o detaljima punjenja, promjeni opterećenja i o prodaji električne energije EV mreži. Također CMS ažurira podatke za VMS. VMS opskrbljuje EV sa podacima o punionicama kao što su njihova lokacija, specifikacije punjenja, zauzetost, itd. GMS u razmjeni podataka sudjeluje kao posrednik između punionice i električne mreže kako bi se ublažili negativni utjecaji na mrežu. CMS je zadužen za zatvaranje svih komunikacijskih sekcija kod prekida komunikacije. Na Slici 6.4. prikazani su sudionici u komunikaciji i podataka.



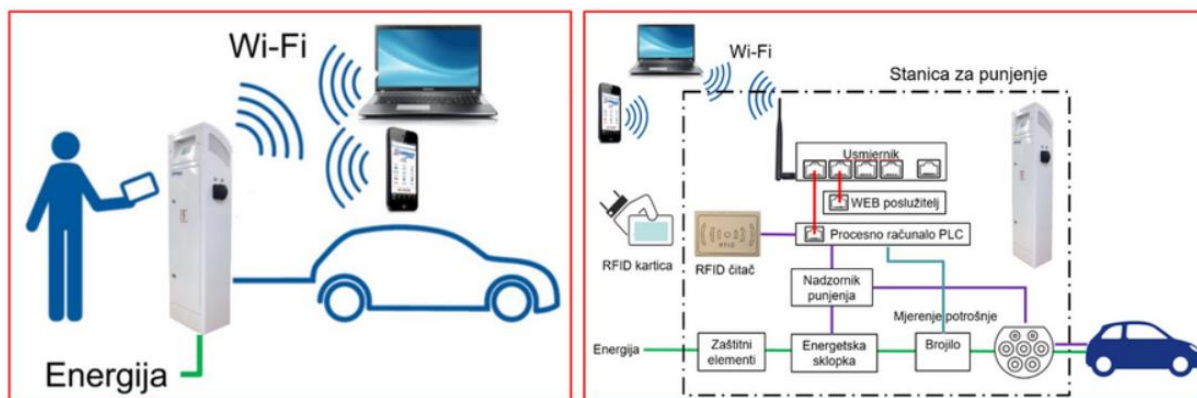
Slika 6.4. Sudionici u komunikaciji [17].

GMS pomoću podataka iz CMS-a i VMS-a preračunava potrebnu snagu za svaki CMS u sustavu. CMS potom dobiva podatke od GMS-a o snazi kojom može puniti EV. Interakcijom sa CMS-om i VMS-om se određuje koja vozila se mogu priključiti na punjenje. Za vrijeme punjenja punionica razmjenjuje podatke sa sustavom i mijenja parametre punjenja prema mogućnostima mreže. Pomoću ISO/IEC 15118 punionica dobiva podatke od EV i pomoću OCPP protokola šalje podatke prema CMS-u. Zatim CMS traži od BMS-a podatke o naplati punjenja i obavještava GMS o trenutnom punjenju.

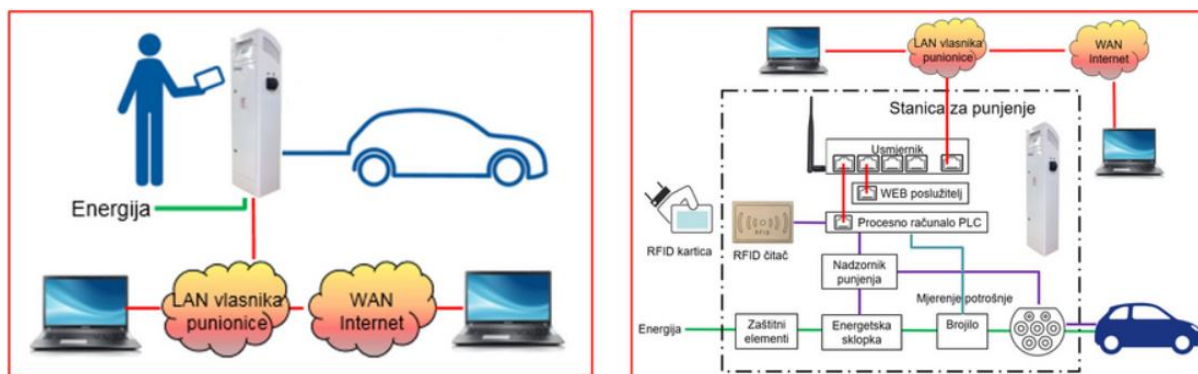
### 6.2.1. Razmjena podataka

Prije početka punjenja potrebno je prepoznati korisnika od strane punionice. Ovisno o izvedbi punionice koristi se različita identifikacija korisnika (npr. RFID kartica). Punionica može podatke o punjenju učiniti dostupnima preko bežične tehnologije (npr. Wifi) ili žičano (npr. LAN). Najčešće koriste oba načina razmjene podataka. Punionica za ovakvu razmjenu podataka mora u sebi sadržavati usmjerenik koji će podatke učiniti dostupnima izvan punionice.

Na slici 6.5. prikazana je bežična razmjena podataka preko Wifi mreže punionice. Podaci s brojila, s RFID čitača, iz BMS-a ulaze u procesno računalo koje zatim te podatke šalje preko usmjerenika prema sudionicima punjenja. Na slici 6.6. je prikazana razmjena podataka preko kabela. Podaci iz punionice se preko usmjerenika šalju na mrežu punionice i postaju dostupni sudionicima za nadzor punionice. Ovime se omogućava stalni nadzor rada punionice. Podaci mogu poslužiti za izračun naplate punjenja, otklanjanje poteškoća, provjeru dostupnosti punionice, rezervaciju punionice, servisne informacije, podatke o potrošnji, itd. Sve te podatke usmjerenik pohranjuje u bazu podataka iz koje su dostupni nadzorniku punionice. Na ovaj način moguće je nadzirati više punionica sa udaljenog mjesta od strane jednog nadzornika [18].



Slika 6.5. Bežična razmjena podataka [18].



Slika 6.6. Razmjena podataka preko kablenskog spajanja na mrežu [18].

### 6.3. Sigurnost

Cijeli sustav razmjene podataka ovisi o sigurnosti razmjene poruka. Sigurnost je posebno važna kod poruka koje sadrže financijske podatke i osobne podatke vozača. Svaki sustav punjenja EV trebao bi omogućiti točne informacije o autentifikaciji za koordinaciju punjenja, osigurati plaćanje, transakcije i osobne podatke korisnika, sigurnu integraciju sa podacima iz naponske mreže i ostalih sudionika. Ovakvi sigurnosni čimbenici su potrebni kako bi se održala stabilnost u sustavu i prihodi operatera, a istovremeno je EV prikazano kao nova vrsta sudionika i izvora energije.

Postoji više razloga zašto je važno osigurati točnost identiteta uređaja. EV je potreba veća količina energije nego prosječnim kućanstvima zato je važno uskladiti identifikaciju sa povećanom potrošnjom energije. Za sigurnost V2V komunikacije potrebno je omogućiti međusobno prepoznavanje uređaja bez sudjelovanja čovjeka. Kako bi se osigurala V2G komunikacija potrebno je profiliranje baterije. Bez pravilne autentifikacije komunikacije unutar sustavi bi mogle dovesti do slanja pogrešnih podataka prema naponskoj mreži.

## 7. Zaključak

Domet i vrijeme punjenja su još uvijek najveći problem kod korištenja EV. Trenutna tehnologija baterija ne može ostvariti rezultate kod dometa i punjenja baterija koji bi bili približni punjenju spremnika i dometu s jednim punim spremnikom goriva.

Kod punica postoji nekoliko vrsta punjenja, a kao trenutno najbolje pokazalo se DC brzo punjenje, kako je to trenutno najbrži način punjenja, potrebno imati jako napajanje koji bi osigurao u kratkom vremenu svim priključenim vozilima potrebnu energiju. Kako bi se mogla regulirati razina punjenja EV u skladu s mogućnostima mreže, potrebna je komunikacija između punionice i mreže. Postoje i bežični načini punjenja koji su još uvijek u razvitku, ali bi mogli naći primjenu u budućnosti.

V2X koncept je iznimno važan za poboljšanje utjecaja EV na mrežu, ali i za komunikaciju između vozila i cijelog sustava kako bi se došlo do važnih podataka. Još uvijek nema dovoljno EV i infrastrukture da bi ovakav koncept mogao djelovati u potpunosti. Standardizacija je podijeljena na regije u svijetu, tako da standardi nisu isti u cijelom svijetu.

Komunikacijom tijekom punjenja postiže se veća učinkovitost sustava smanjuje se broj padova u mreži i osigurava mogućnost pristupa energiji svima ovisno o stanju u mreži. Komunikacijom se olakšava i korisnikovo korištenje sustava punjenja, jer može doći do podataka o punionici koja je slobodna i puniti EV najbrže moguće u tom trenutku. Komunikacija također pomaže i održavanju zbog javljanja o kvarovima i poteškoćama približno istovremeno s nastankom istog. Protokoli su zaslužni za pravilo funkcioniranje komunikacije. CAN sabirnica je odlično rješenje za EV zbog svoje robusnosti i jednostavnosti komunikacije. Također je moguće uspostaviti komunikaciju preko više vrsta prijenosa podataka, pa se CAN sabirnica može koristiti u različitim primjenama. Pravilnom komunikacijom između sudionika sustava punjenja postiže se učinkovitost cijelog sustava. Sigurna i pouzdana razmjena poruka je ključan čimbenik u komunikaciji između sudionika punjenja.

HAŠKON  
ALISHAIAIN

Sveučilište  
Sjever

VŽKC

SVEUČILIŠTE  
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, IVAN ŽUKIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom RAZMJENA PODATAKA PUNIONICE ELEKTRICITETA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Ivan Žukić  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, IVAN ŽUKIĆ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom RAZMJENA PODATAKA PUNIONICE ELEKTRICITETA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Ivan Žukić  
(vlastoručni potpis)

## Literatura

- [1] <https://www.mouser.com/pdfdocs/TDK-MLCC-Automotive.pdf>. Dostupno 17.8.2020.
- [2] <http://cotevos.eu/wp-content/uploads/2014/08/D1.1-Report-on-the-needs-for-interoperability-between-EVs-and-electrical-power-system.pdf>. Dostupno 17.8.2020.
- [3] K.V. Vidyanandan :Batteries for electric vehicles, 2019. Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/337337281\\_Batteries\\_for\\_Electric\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/337337281_Batteries_for_Electric_Vehicles). Dostupno 10.08.2020.
- [4] Fuad Un-Noor, Sanjeevikumar Padmanaban, Lucian Mihet-Popa, Mohammad Nurunnabi Mollah i Eklas Hossain: Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development, 2017.
- [5] <https://www.intechopen.com/books/advanced-communication-and-control-methods-for-future-smartgrids/the-strategies-of-ev-charge-discharge-management-in-smart-grid-vehicle-to-everything-v2x-communicati>. Dostupno 15.8.2020.
- [6] Ryan Collin, Yu Miao, Alex Yokochi, Prasad Enjeti, Annette von Jouanne: Advanced Electric Vehicle Fast-Charging Technologies, 2019.
- [7] A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development (Un-Noor, Padmanaban, Mihet-Popa, Nurunnabi Mollah i Hossain, 2017). Dostupno na: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/8/1217>, [10.08.2020.]
- [8] Deepak Ronanki, Apoorva Kelkar i Sheldon S. Williamson: Extreme Fast Charging Technology—Prospects to Enhance Sustainable Electric Transportation, 2019.
- [9] Sajib Chakraborty, Hai-Nam Vu, Mohammed Mahedi Hasan, Dai-Duong Tran, Mohamed El Baghdadi i Omar Hegazy:DC-DC Converter Topologies for Electric Vehicles, Plug-in
- [10] Mohammad Kawser, Saymon Fahad, Syed Safwan Sajjad, Sakib Ahmed: The Perspective of Vehicle-to-Everything (V2X) Communication towards 5G, 2019.
- [11] <https://v2g-clarity.com/blog/new-features-and-timeline-for-iso15118-20/>. Dostupno 28.8.2020.
- [12] Gautham Ram Chandra Mouli, Miro Zema i P. Bauer. Implementation of dynamic charging and V2G using Chademo andCCS/Combo DC charging standard, 2016.
- [13] <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjkkcbsgcjrAhUSx4sKHxWlCEIQFjACegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.evs27.org%2Fdownload.php%3Ff%3Ddefpresentations%2FEVS27-2E-19470780.pdf&usg=AOvVaw09Y7AyJs1Efcw5hOMu-YESV>. Dostupno 1.9.2020.

[14] Thota Venkata Pruthvi, Niladri Dutta, Phaneendra Babu Bobba, B Sai Vasudeva :Implementation of OCPP Protocol for Electric Vehicle Applications, 2019.

[15][https://www.microchip.com/stellent/groups/SiteComm\\_sg/documents/DeviceDoc/en558265.pdf](https://www.microchip.com/stellent/groups/SiteComm_sg/documents/DeviceDoc/en558265.pdf). Dostupno 2.9.2020.

[16] [http://www.libelium.com/downloads/documentation/canbus\\_communication\\_guide.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/canbus_communication_guide.pdf). Dostupno 3.9.2020.

[17] Aldar Chan, Jianying Zhou: A Secure, Intelligent Electric Vehicle Ecosystem for Safe Integration With the Smart Grid, 2018.

[18] <https://www.schrack.hr/know-how/alternativni-izvori/elektromobilnost/stanice-za-punjenje-el-vozila/>. Dostupno 20.9. 2020.