

# IMPLEMENTACIJA V2G SUSTAVA U E-MOBILNOSTI

---

**Milevoj, Mauro**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:463473>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad  
**IMPLEMENTACIJA V2G SUSTAVA U E-MOBILNOSTI**

Rijeka, srpanj 2023.

Mauro Milevoj  
0069076014

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad  
**IMPLEMENTACIJA V2G SUSTAVA U E-MOBILNOSTI**  
Mentor: Prof. dr. sc. Vitomir Komen

Rijeka, srpanj 2023.

Mauro Milevoj  
0069076014

Rijeka, 19. ožujka 2022.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**  
Predmet: **Prijenos i distribucija električne energije**  
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Mauro Milevoj (0069076014)**  
Studij: **Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike**  
Modul: **Elektroenergetika**

Zadatak: **IMPLEMENTACIJA V2G SUSTAVA U E-MOBILNOSTI / IMPLEMENTATION OF V2G SYSTEM IN E-MOBILITY**

Opis zadatka: **pregled osnovnih tehničkih parametara električnih vozila, elemenata i strukture sustava E-mobilnosti. Tehnički utjecaji električnih vozila na distribucijsku mrežu, posebno na vršno opterećenje. Implementacija sustava V2G u E-mobilnost i upravljanje vršnim opterećenjem distribucijske mreže. Model obračuna naplate usluge punjenja električnih vozila na javnim električnim punionicama.**

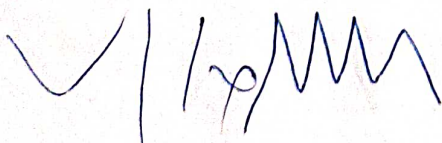
Pregled osnovnih tehničkih parametara električnih vozila, elemenata i strukture sustava E-mobilnosti. Tehnički utjecaji električnih vozila na distribucijsku mrežu, posebno na vršno opterećenje. Implementacija sustava V2G u E-mobilnost i upravljanje vršnim opterećenjem distribucijske mreže. Model obračuna naplate usluge punjenja električnih vozila na javnim električnim punionicama.

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

*Milevoj*

Zadatak uručen pristupniku: 21. ožujka 2022.

Mentor:



Prof. dr. sc. Vitomir Komen

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:



Prof. dr. sc. Viktor Sučić

## IZJAVA

Sukladno članku 8. Pravilnika o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku diplomskih sveučilišnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci od 1. veljače 2020., izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad prema zadatku preuzetom dana 19. ožujka 2023.

Rijeka, 12. srpnja 2023.

---

Mauro Milevoj



# Sadržaj

1.	UVOD.....	1
2.	ELEKTRIČNA VOZILA .....	2
2.1.	Podjela električnih vozila.....	3
2.1.1.	Hibridna vozila (HEV).....	4
2.1.2.	PHEV vozila .....	5
2.1.3.	FCEV vozila.....	5
2.2.	Elementi električnih vozila.....	6
2.2.1.	Električni motor.....	6
2.2.2.	Kontroler i inverter.....	8
2.2.3.	Baterijski spremnik.....	10
2.2.4.	BMS (Battery Managment System).....	13
3.	SUSTAVI PUNIONICA ELEKTRIČNIH VOZILA.....	21
3.1.	Stanice za punjenje.....	23
3.2.	Vrijeme punjenja na punionicama .....	27
4.	INTEGRACIJA PUNIONICA U ELEKTROENERGETSKE MREŽE.....	29
4.1.	Proces izgradnje javne punionice .....	35
4.2.	Utjecaj punionica na elektroenergetsku mrežu .....	39
4.2.1.	Utjecaj punionica na komponente distribucijskog sustava.....	41
5.	VEHICLE TO GRID SUSTAV (V2G) .....	50
5.1.	G2V sustav .....	51
5.2.	V2G sustav .....	52
5.2.1.	Usluge V2G sustava .....	55
5.2.2.	Primjer osnovnog algoritma za upravljanje vršnog opterećenja te pametnog punjenja.....	57
6.	NAPLATA USLUGA PUNIONICA .....	62

7.	SIMULACIJA INTEGRACIJE V2G PUNIONICA .....	69
8.	TRENTNA INTEGRACIJA V2G TEHNOLOGIJA .....	73
8.1.	Nikola - Intelligent Electric Vehicle Integration projekt .....	73
8.2.	Parker projekt .....	78
9.	ZAKLJUČAK.....	84
	LITERATURA.....	86
	POPIS OZNAKA I KRATICA.....	90
	SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI .....	91

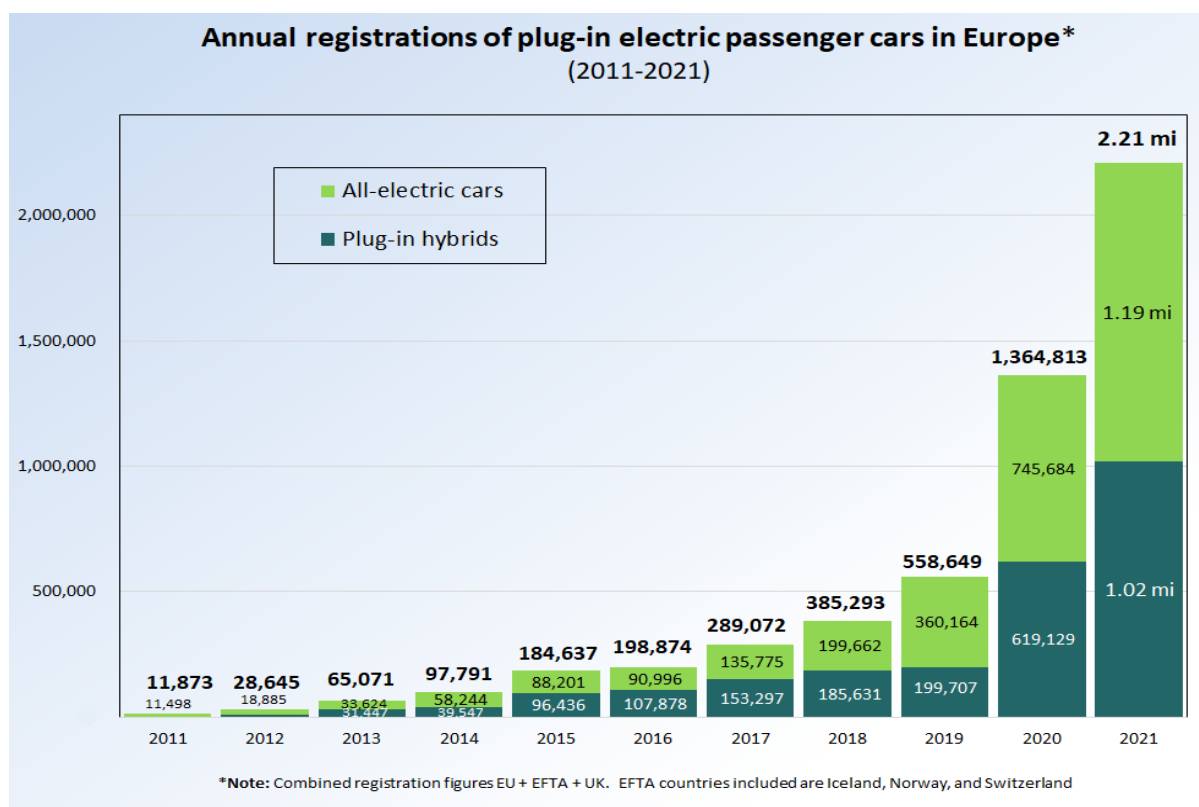


## 1. UVOD

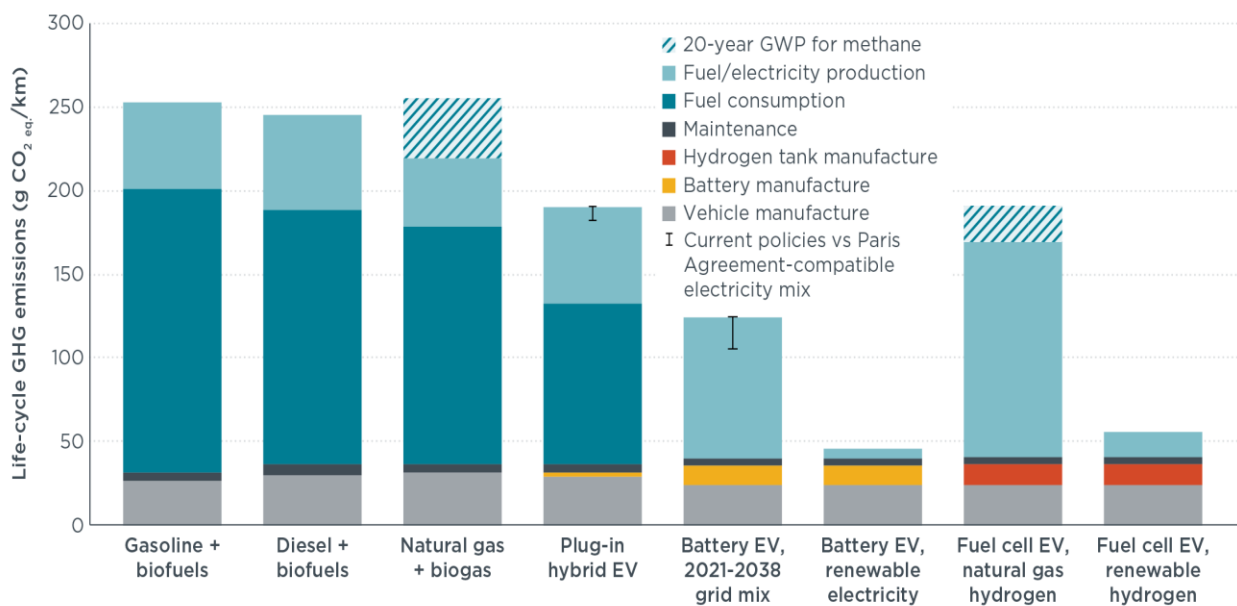
Iscrpljenost rezervi nafte i porast emisija CO<sub>2</sub> povezanih sa vozilima s tradicionalnim motorima za izgaranjem potaknuli su interes za potencijalnu upotrebu električnih vozila (EV). Paralelno s tim, također promatramo sve veći broj obnovljivih izvora energije, kao što su fotonaponski sustavi i vjetroturbine. Ovi distribuirani i povremeni izvori energije predstavljaju neke izazove za elektroenergetsku mrežu u smislu uravnoteženja proizvedene i potrošene energije u svakom trenutku. Dovoljno balansne i rezervne snage mora biti dostupno kako bi se nadoknadile prirodne varijacije u snazi generiranoj iz ovih obnovljivih izvora energije, kao i kako bi se prilagodilo vjerojatnosti opterećenja flote električnih vozila. Ako se voznim parkom električnih vozila može upravljati na odgovarajući način, veliki udio takvih vozila može beneficirati stabilnosti elektroenergetske mreže: električno opterećenje može se premjestiti u vremenu, a prekomjerna energija baterije električnih vozila može se vratiti u električnu mrežu. Ovaj koncept je poznat kao tehnologija vozilo do mreže (V2G). Predstavljena su različita tržišta za V2G i pokazano je da se s V2G može ostvariti profit za korisnika EV-a te korisnika mreže. Gledano s ekološke točke, flote električnih vozila su održiva samo ako uglavnom koriste energiju proizvedenu iz CO<sub>2</sub> neutralnih izvora. Kako bi se ostvario određeni stupanj neutralnosti, stvaraju se zajednički sustavi obnovljivih izvora i električnih vozila koji mogu djelovati u sinergiji, time ostvarujući veći stupanj efikasnosti. Ovaj rad bavi se implementacijom V2G sustava u e-mobilnost, te prikazuje trenutno stanje te mogućnosti koje implementacija u praksi može donijeti.

## 2. ELEKTRIČNA VOZILA

Električnim vozilima definiramo vozila koja koriste elektromotor kao pogonski motor. Usporedno sa vozilima pokretanih motorima na unutarnja izgaranja, električna vozila ne proizvode štetne emisijske plinove ni buku, iznimno u slučajevima hibridnih vozila koja dodatno koriste motore na unutarnja izgaranja kako bi povećali stupanj efikasnosti vozila. Unatoč iznimno važnim prednostima električnih vozila njihova primjena nije dovoljno rasprostranjena da bi činila ključan dio svakodnevnog prometa i logistike. Nedostatak zastupljenosti proizlazi iz samih karakteristika vozila, poput autonomije koja je ponajviše rezultat limitirane tehnologije baterija, uz nedostatak infrastrukture prijenosa i dobave električne energije. Rezultat navedenih nedostataka jest korištenje električnih pogona većinski u javnom prometu poput tramvaja, željeznica te ostalih lakih vozila poput bicikala. Početak značajne elektrifikacije prometa započet je početkom 2010-ih godina zbog sve rastućeg pitanja rješenja problema emisija plinova iz sektora prometa i logistike te smanjenja dostupnih zaliha naftnih sirovina. Prikaz prirasta broja električnih vozila u cestovnom prometu prikazan je zajedno sa usporedbom životnog ciklusa stakleničkih plinova vozila u svakodnevnom prometu na slici 1.1 i 1.2. .



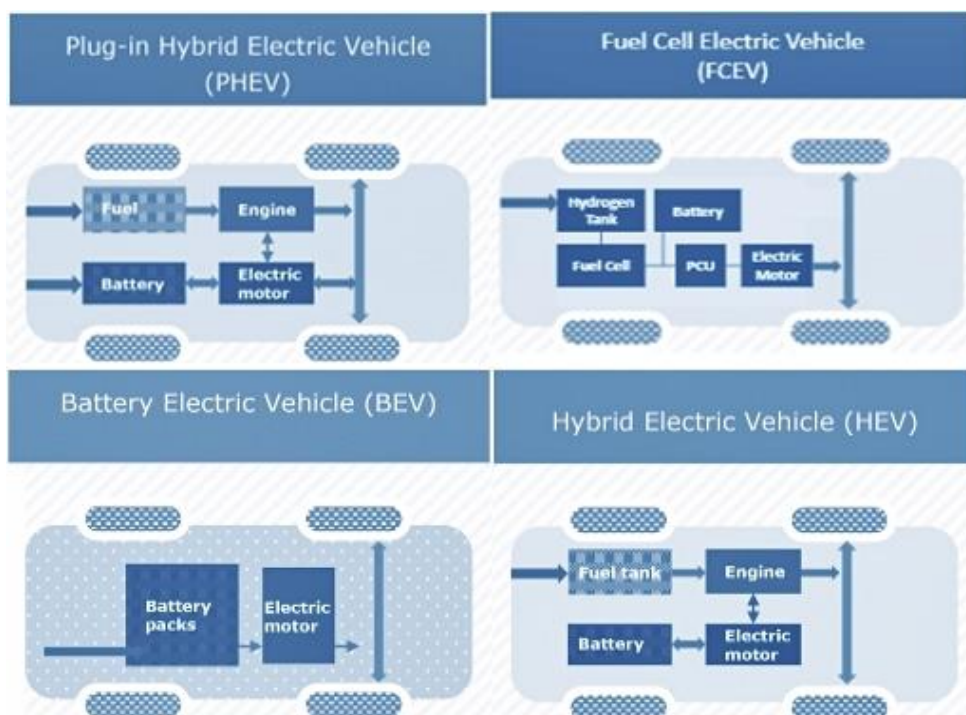
Slika 2.1. Prikaz rasta trenda električnih vozila na godišnjoj bazi [2]



Slika 2.2. Životni ciklus stakleničkih plinova raznih vozila [3]

## 2.1. Podjela električnih vozila

Osnovna podjela električnih vozila prema načinu korištenja energije jest na nezavisna i zavisna električna vozila. Iz nezavisnih i zavisnih električnih vozila dobivamo četiri osnovne grupe vozila prikazanih na slici 2.1.1. .



Slika 2.1.1. Četiri grupe vozila prema pogonu [4]

Nezavisna električna vozila definirana su kao električna vozila pogonjena električnom energijom dobivenom iz izvora električne energije koji je smješten unutar same strukture vozila. Pri govoru o nezavisnim vozilima razlikuju se akumulatorska vozila koja za svoj pogon koriste električnu energiju pohranjenu u akumulatorskim baterijama vozila, te vozila koja uz akumulatorsku bateriju koriste nekakav dodatan izvor energije poput benzinskog ili dizelskog motora. Takva vozila nazivaju se hibridnim vozilima, te kao što je prikazano na slici 2.1.1. mogu biti HEV (eng. „Hybrid Electric Vehicle“), PHEV (eng. „Plug-in Hybrid Electric Vehicle“) te FCEV (eng. „Fuel Cell Electric Vehicle“). Korištenje motora na unutarnje izgaranje i/ili gorivih ćelija zajedno sa električnim pogonom vrši se na više načina.

### 2.1.1. Hibridna vozila (HEV)

HEV ili eng. Hybrid Electric Vehicle, su električna vozila dodatno pogonjena sa motorom na unutarnje izgaranje. Hibridna vozila kombiniraju visoki stupanj ekonomičnosti i niski stupanj emisije plinova zajedno sa snagom i maksimalnim dometom klasičnog oblika vozila. Rezultat simultanog rada električnog pogona te pogona motora na unutarnje izgaranje omogućuje korištenje motora manje zapremnine, održavajući jednaki nivo snage. Hibridna vozila izvedena su u tri moguće konfiguracije: serijski hibrid, paralelni hibrid te serijsko-paralelni (kombinirani) hibrid. Serijska konfiguracija hibrida izvedena je tako da motor sa unutrašnjim izgaranjem pokreće isključivo električni generator. Pri tome uloga generatora nije isključivo punjenje električne baterije, no dodatno pokretanje elektromotora koji služi kao glavni pogonski motor. Ovakva izvedba poznatija je i kao REEV (eng. Range-extended electric vehicle) pošto motor na unutarnje izgaranje napaja baterije te elektromotor, no ne služi kao pogonski motor. Sljedeća i suprotna konfiguracija jest paralelni hibridi, pri kojemu elektromotor i motor na unutarnje izgaranje se zajedno koriste kao pogonski motori kako bi se osigurala optimalna razina izlazne snage. Akumulatorske baterije smještene u vozilu pune se putem regenerativnog kočenja te generatorskog načina rada elektromotora, što rezultira u nemogućnosti rada isključivo na električni pogon. Posljednja izvedba hibrida jest kombinirana serijsko-paralelna izvedba pri kojoj vozilo simultano koristi oba motora kako bi se postigla optimalna opskrba snage sa najvećim mogućim stupnjem djelovanja.

### 2.1.2. PHEV vozila

PHEV ili Plug-In Hybrid Vehicle su hibridna električna vozila sa mogućnosti zasebnog punjenja akumulatorske baterije. Prema načinu rada najbliži su serijsko-paralelnom hibridu, zbog mogućnosti zasebnog rada pojedinog pogona. Cilj PHEV vozila jest daljnje poboljšanje ideje hibridnog vozila putem povećavanja kapaciteta ugrađene baterije te mogućnost neovisnog pogona. Rezultat ovakve konfiguracije je povećani domet na električni pogon, koji u prosjeku iznosi 70 km, pri čemu nije potreban rad motora na unutarnje izgaranje. Ovisno o načinu rada, moguće je postizanje gotovo jednakog stupnja efikasnosti kao kod električnih vozila, zbog povećane fleksibilnosti rada. Negativna strana PHEV vozila u odnosu na obične hibride jest povećanje same kompleksnosti sustava vozila, zbog potrebe prisutnosti sustava punjača te dodatne elektronike za upravljanje, što rezultira u povećanoj cijeni vozila.

### 2.1.3. FCEV vozila

FCEV ili Fuel Cell Electric Vehicles su hibridna vozila pogonjena vodikovim gorivim ćelijama. Korištenjem vodika kao pogonskog goriva postiže se stupanj efikasnosti veći nego kod konvencionalnih vozila uz potpunu eliminaciju emisija plinova zbog rezultata kemijske reakcije vodika koja rezultira u stvaranju vlažnog i toplog zraka. Prema konstrukciji, FCEV vozila koriste sustav propulzije sličan onome u hibridnim vozilima, pri kojima je energija goriva pohranjena u spremniku vodika te se pretvara u električnu energiju pomoću gorivih ćelija. Dodatno, FCEV vozila nemaju potrebe kompenzacije vremena punjenja kao kod električnih vozila, pošto je moguće napuniti spremnik goriva unutar četiri minute, za koji se dobiva preko 500 kilometara dometa. Vodikom pogonjena vozila predstavljaju vrlo privlačan aspekt pri govoru o budućnosti transporta, no zbog same prirode skladištenja i nabave koji zahtijevaju iznimno visok tlak te nisku temperaturu, njihov udio na prometnicama nije znatno prihvaćen.

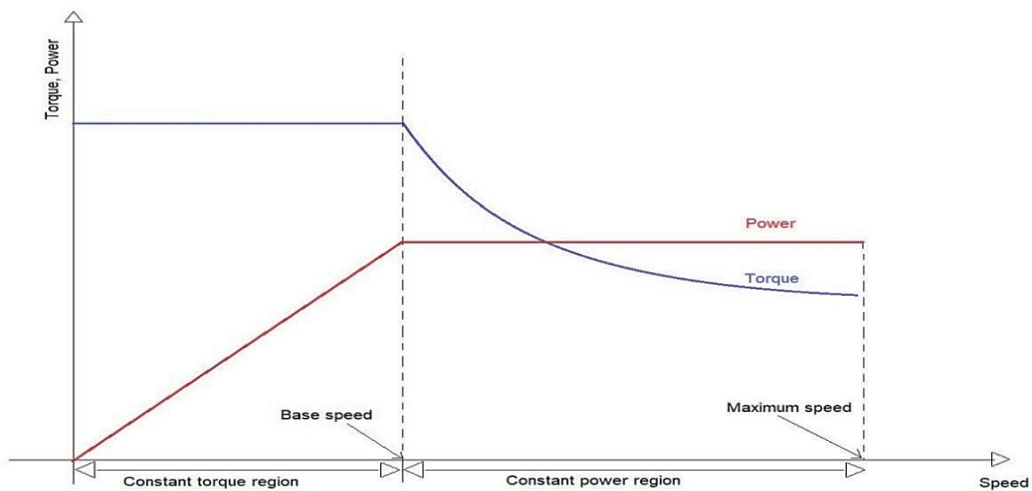
Za temu ovoga rada promatraju se isključivo električna vozila (BEV), zbog najvećeg iskoristivog kapaciteta ugrađenog baterijskog spremnika.

## 2.2. Elementi električnih vozila

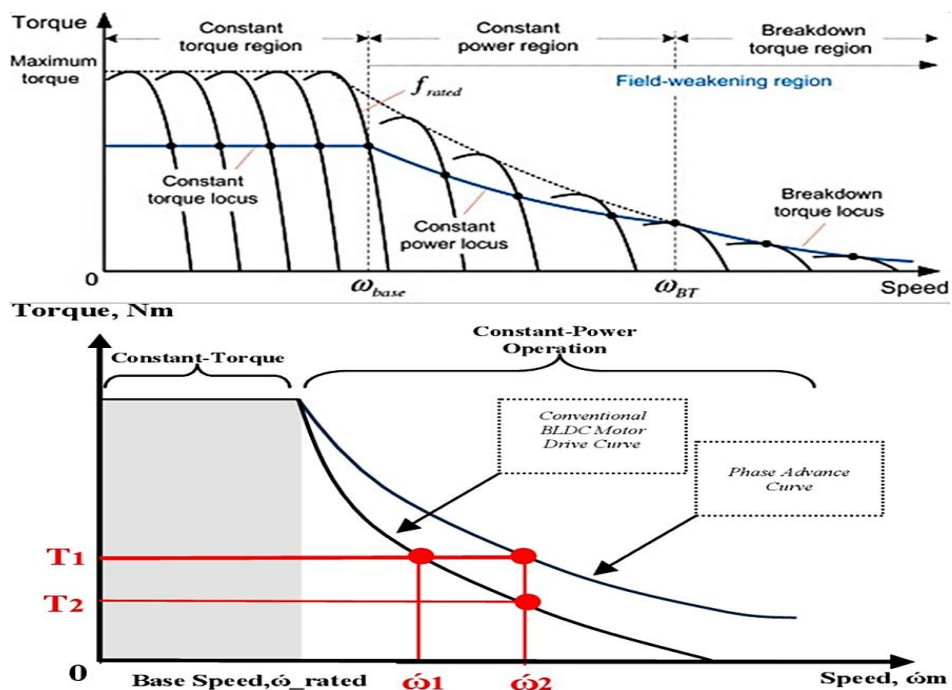
Osnovni dijelovi električnih vozila su električni motor, akumulatorske baterije te sustav upravljanja motora. Ovisno o vrsti električnih vozila, kao što je prethodno opisano, dodatno se pojavljuju moduli i sustavi za upravljanje raspodjele snage. Električna vozila dodatno uz motor posjeduju reduktorsku jedinicu, zajedno sa baterijskim spremnikom koji posjeduje punjač, povezani su EPCU kontrolnom jedinicom. U nastavku pominje su opisane navedene komponente.

### 2.2.1. Električni motor

Primarna komponenta koja definira razliku između klasičnog vozila i električnih automobila je njihov pogon. Električna vozila koriste elektromotor kao pogonski motor, za razliku od konvencionalnih automobila koji koriste motore na unutarnje izgaranje. Konstrukcijska prednost vozila pokretana elektromotorom jest jednostavna konstrukcija usporedno sa klasičnim vozilima. Elektromotori sastavljeni su od 2 do 4 rotirajuće komponente, dok motori sa unutarnjim izgaranjem u svojoj konstrukciji sadrže na stotine do tisuće rotirajućih i pomičnih dijelova, što rezultira u mnogo većem stupnju pouzdanosti i trajnosti elektromotora. Dodatno, sama funkcionalnost te karakteristike vozila definirane su elektromotorom. Elektromotor jest električni stroj koji pretvara električnu energiju u mehaničku energiju, te ovisno o njegovoj vrsti može biti napajan istosmjernom (DC) strujom ili izmjeničnom (AC) strujom. Sama pretvorba električne energije u mehaničku bazira se na stvaranju sile uslijed stvorenog magnetskog polja. Prilikom korištenja istosmjernih motora koji se najčešće javljaju u obliku bez četkica (BLDC), mehanička snaga dobiva se rotacijom permanentnog magneta koji predstavlja rotor pobuđenog sa strane promjene struje na parovima statorskih namota. Konstrukcija beskolektorskih motora omogućuje visoki startni moment, no zbog padajuće karakteristike područja konstantne snage ne apliciraju se električnim automobilima, već u manjim vozilima. Za potrebe električnih vozila koriste se indukcijski motori u obliku asinkronog motora ili sinkronog motora sa permanentnim magnetima. Princip rada izmjeničnih motora temelji se na pojavi elektromagnetske indukcije, koja nastaje kao rezultat međudjelovanja promjenjivog polja statora i rotora, čime nastaje okretni moment. Indukcijski motori primarni su odabir elektromotora za električna vozila zbog velikog stupnja pouzdanosti, lakoće upravljanja te pogodne prirodne karakteristike. Usporedbe i zahtjevi prikazani su u nastavku.



Slika 2.2.1.1. P/T –  $\omega$  karakteristika za električna vozila [1]

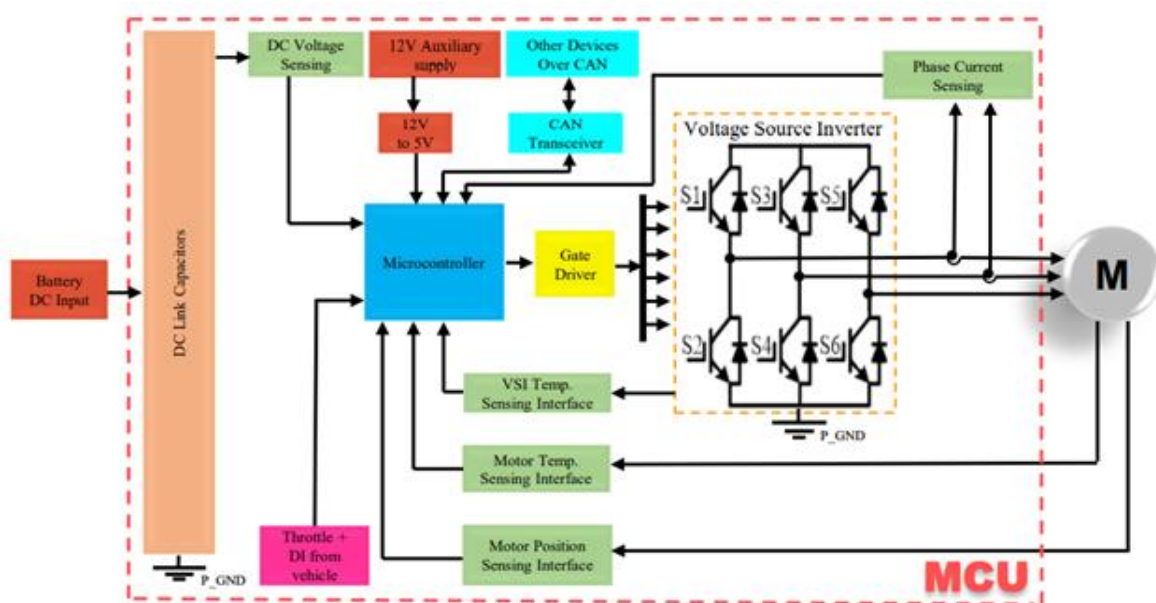


Slika 2.2.1.2. P/T –  $\omega$  karakteristika AC motora (gore) i DC motora (dolje) [1]

Na slici 2.2.1.1. prikazan je zahtjev za karakteristikom rada motora. Prilikom odabira motora za električna vozila potrebno je osigurati dovoljan potezni moment kako bi kretanje iz zaustavljenog položaja bilo brzo i nesmetano, no zbog nedostatka mjenjača, potrebno je i imati dovoljan raspon brzine. Kao što je prikazano, DC motori osiguravaju dovoljan iznos momenta iz nulte brzine, no sa razvojem brzine brzo opadaju u snazi i momentu što ih ne čini povoljnima. Suprotno njima, indukcijski motori imaju sličnu momentnu karakteristiku pri nultoj brzini no zbog mogućnosti upravljanja pomoću slabljenja polja, razvijaju snagu kroz veći raspon brzine što ih čini pogodnijima za uporabu.

## 2.2.2. Kontroler i inverter

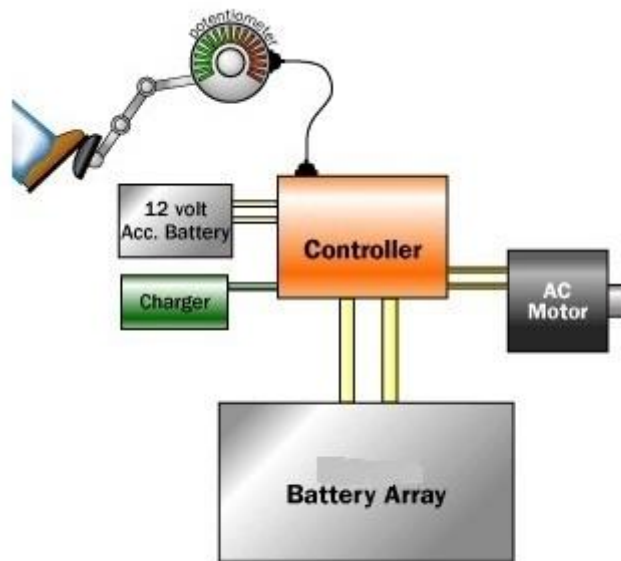
Kontroler zajedno sa inverterom čine upravljački dio pogona električnih vozila, zajedno čine MCU jedinicu (eng. Motor Control Unit). Kontroleri općenito su mikroprocesorski sklopovi koji služe za kontrolu sklopova unutar digitalnih sustava. Unutar sustava električnih vozila, zaduženi su za kontrolu toka energije i snage prema elektromotoru. Glavna funkcija MCU jedinice jest pretvaranje istosmjerne struje i napona akumulatorske baterije u upravljaju izmjeničnu veličinu pomoću invertera izvora napona, primjenom modulacije širine pulsa (PWM) na ulaznim vratima tranzistorskih sklopova. Modulirani PWM impulsi stvoreni su prema povratnoj informaciji iz senzora položaja koji su najčešće enkoderi ili hall-ovi senzori, te prema prethodno definiranoj funkciji namještaju potrebnu izlaznu brzinu i moment. Da bi se postigla učinkovita zatvorena petlja upravljanja motornim pogonom, usvojene su metode vektorskog upravljanja te upravljanje polja. Prilikom metode upravljanja polja, moment te tok mogu biti upravljani odvojeno što rezultira u brzjoj te efikasnijoj kontroli motornog pogona. Složenija, no bolja metoda jest vektorsko upravljanje zbog minimiziranja utjecaja harmonika korištenjem fiksne frekvencije modulacije, dodatno smanjujući porast temperature te buke. MCU kontrolna jedinica zadužena je za sljedeće funkcije: kontrola brzine i momenta motora, pokretanje i zaustavljanje motora, zaštita od greški, zaštita od preopterećenja, reverziranje pogona te regenerativno kočenje.



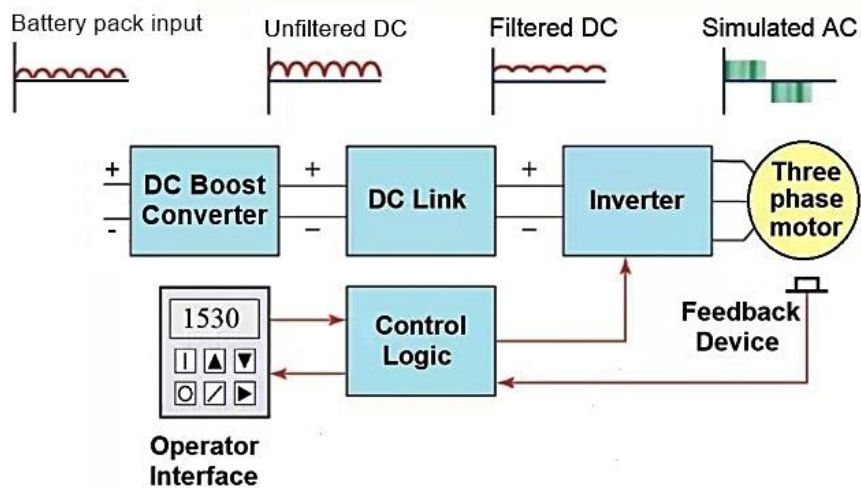
Slika 2.2.2.1. Prikaz MCU kontrolne jedinice [5]



Princip funkcioniranja i proces kontrolera prikazan je na sljedećim slikama.



Slika 2.2.2.2. Vizualni prikaz upravljanja motora [6]



Slika 2.2.2.3. Prikaz procesa upravljanja [6]

Navedene slike prikazuju način rada kontrolera. Napon baterijskih spremnika priključen je na DC/DC pretvarač kako bi dosegao potrebnu razinu napona. Nova naponska razina dovedena je do DC Link-a, sastavljen od kondenzatorskih i indukcijskih filtera sa svrhom filtracije DC napona dobivenog iz pretvarača, te se daljnje dovodi do invertera. Inverter je neposredno spojen sa kontrolnom logikom unutar mikroprocesorske jedinice koja zaprima veličine putem povratne veze te zajedno sa ulaznom veličinom koju možemo predstaviti kao papučicu gasa koja daje informaciju o željenoj brzini, prenaša se na inverter koji pomoću modulacije frekvencije na izlazu povećava ili smanjuje brzinu motora, time i brzinu vozila.

### 2.2.3. Baterijski spremnik

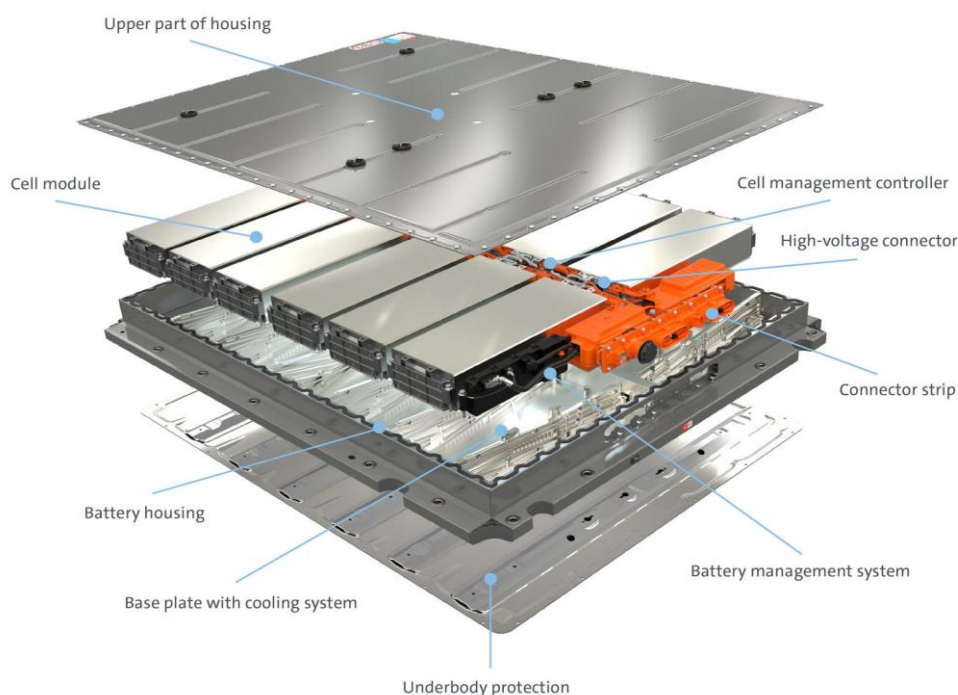
Pogon električnog vozila uz sustav skladištenja energije u obliku baterijskih spremnika glavne su komponente koje definiraju specifikacije i vozne karakteristike električnih vozila. Akumulatorske baterije smještene u klasičnim vozilima opisane su kao SLI baterije (eng. Start Light Ignition) te služe za paljenje vozila, stvaranje i održavanje iskre te snabdijevanje električnih strujnih krugova u vozilu. Baterijski spremnici smješteni u električnim vozilima moraju prenositi veću količinu energije i snage kroz duži vremenski period, što se odražava u većem kapacitetu i konstrukciji samog spremnika. Osnovni kriteriji odabira baterijskih spremnika su: gustoća energije, omjer snage i težine, specifična snaga, životni ciklus, otpornost na vanjske utjecaje sa naglaskom na temperaturu te vrsta primjene. Ovisno o primjeni, kod električnih vozila primjenjuju se primarno litij-ion baterije (Li-On) , nikal-metal (NiMH), baterije sa čvrstim elektrolitom (SSB), olovne baterije te najnovije super kondenzatori. Usporedba baterija prikazana je u tablici 2.2.3.1. .

Tablica 2.2.3.1. Karakteristike električnih baterija [8]

Vrsta baterije/Karakteristike	Olovna	NiCad	NiMH	LiCoO <sub>2</sub>	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Komercijalizacija	1881	1956	1990	1992	1999
Napon ćelije [V]	2.0	1.2	1.2	3.7	3.6
Energija na jed. težine [Wh/Kg]	30-40	40-60	30-80	90-140	160
Specifična snaga [W/Kg]	180	150	250-1000	760	1800
Energija na jed. volumena [Wh/L]	60-75	50-150	140-300	220-350	270
Maks. brzina pražnjenja	10C	/	20C	40C	40C
Vrijeme punjenja [h]	> 10	8	6	< 3	< 3
Broj životnih ciklusa	500-800	2000	1500	1200	1200
Iznos samo pražnjenja na mjesec [%]	3 – 4	20	30	5 – 10	5 – 10
Raspon temperature [ °C ]	-20°C do +60°C				
Preferiran način punjenja	CV	CC (-ΔV)	Dt/dt (-ΔV)	CC,CV	CC,CV
Prosječna cijena [€/kWh]	150	400-800	250	300	300
Dodatni opis	Značajan raspad sa vremenom	Efekt „memorije“	Visoki stupanj samo pražnjenja, iskoristivost do 50% DOD	Skupi i toksični materijali izrade, iskoristivost do 80% DOD	Iskoristivost do 80% DOD

Odabrana baterija treba zadovoljavati potrebe zahtijevane sa strane pogona vozila, sa ciljem konstruiranja i odabira što lakše i manje baterije bez kompenzacije mogućeg dometa i performansi.

Najčešći odabir baterije za električna vozila su litij-ionske baterije, jednake onima korištenim u svakodnevnoj elektronici, no skalirane na razinu potrebnu za pokretanje vozila. Posjeduju veću gustoću energije od tipičnih olovnih ili nikal-kadmijevih punjivih baterija. To znači da proizvođači baterija mogu uštedjeti prostor, smanjujući ukupnu veličinu baterijskog spremnika. Litij je također najlakši od svih metala. Međutim, litij-ionske baterije ne sadrže metalni litij, one sadrže ione koji putuju sa negativne grafitne elektrode do pozitivne litij metal elektrode tokom pražnjenja, te obratno prilikom procesa punjenja. Visokonaponske baterije korištene u električnim vozilima sastavljene su od modula, koji predstavljaju skup pojedinih ćelija. Broj pojedinih modula unutar baterijskog spremnika omogućuje maksimalni stupanj fleksibilnosti pri konstrukciji prema potrebama. Pri javljanju potrebe za većim dometom, jednostavno se dodaje veći broj modula, dok princip rada i konstrukcije ostaje isti, no sa naglaskom na iskoristivi prostor te težinu, pošto većina težine i prostora u električnim vozilima izgrađena je oko baterijskih spremnika smještenih u podnožju vozila za optimalno težište. Iznimno važna komponenta smještena uz baterijske spremnika jest BMS (eng. Battery Management System) ili sustav upravljanja baterije, koja je obrađena u sljedećem poglavlju.



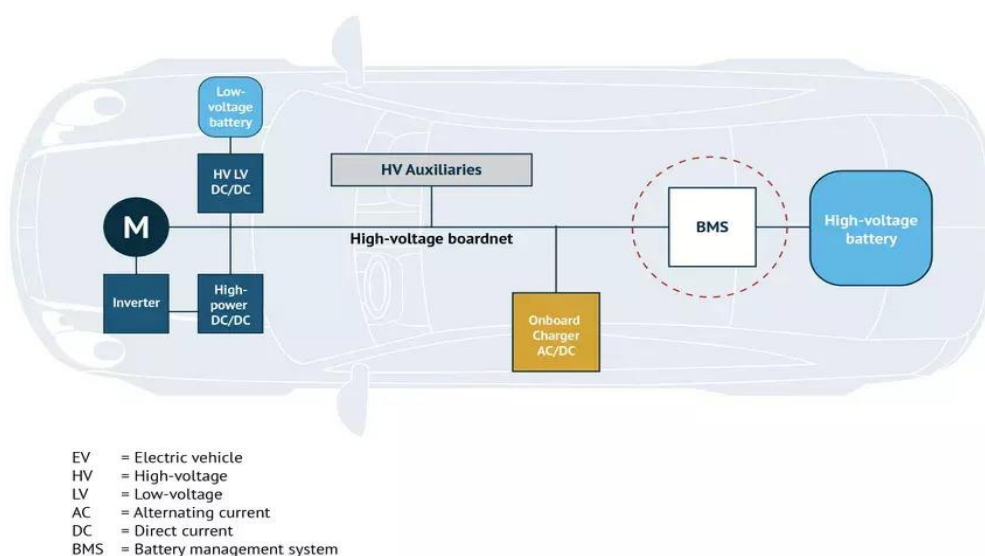
*Slika 2.2.3.2. Prikaz dijelova baterijskih spremnika*

#### 2.2.4. BMS (Battery Management System)

Pojam BMS u industriji posjeduje mnogo značenja, nekima je to jednostavno praćenje sustava baterije, provjera ključnih radnih parametara tijekom punjenja i pražnjenja, kao što su naponi i struje te unutarnja i okolna temperatura baterije. Sustavi za praćenje i monitoring obično daju ulazne informacije zaštitnim uređajima koji bi generirali alarme ili od spojili bateriju od opterećenja ili punjača ako bilo koji od parametara izađe izvan granica. Za inženjere te osoblje unutar generatorskih jedinica poput elektrana ili operatera sustava zaduženih za rezervu napajanja, baterijski spremnici predstavljaju zadnju stavku obrane od pada napajanja sustava, što znači da BMS predstavlja sustav upravljanja baterijskim spremnicima. Takvi sustavi ne obuhvaćaju samo nadzor i zaštitu baterije, već i metode za održavanja stanja pri zahtjevu za isporučenju pune snage kada se to od njih zatraži, te metode za produljenje njezina vijeka trajanja. To uključuje sve korake, od kontrole načina punjenja do planiranog održavanja sustava. Za automobilske inženjere, sustav upravljanja baterijom je komponenta mnogo složenijeg sustava upravljanja energijom, s brzim djelovanjem te mogućnosti povezivanja s drugim sustavima u vozilu kao što su upravljanje motorom, komunikacija i sigurnosni sustavi, stoga postoji mnogo varijanti BMS-a. Kako bi se kontrolirale performanse i ostvarila sigurnost baterije potrebno je razumjeti što treba kontrolirati i zašto to treba kontrolirati. Ovo zahtijeva dubinsko razumijevanje sastava ćelija, karakteristike rada i mehanizme kvara baterije, posebice litijskih baterija. Tri glavna cilja prilikom definiranja BMS sustava jesu: zaštita ćelija i/ili baterija od oštećenja, produženje životnog vijeka te održavanje statusa baterije na način da ispunjava funkcijske zahtjeve postavljene prema njenoj primjeni. Kako bi se ostvarili navedeni zahtjevi potrebno je implementirati sljedeće stavke:

- Zaštita ćelija – Zaštita baterije u izvanrednim uvjetima rada temeljna je za sve BMS primjene. Rad baterije izvan specificiranih te projektiranih ograničenja dovesti će do neizbježnog kvara baterije, sa posebnim naglaskom na baterijske spremnike u automobilske industriji koji koriste visoke razine napona i struje, koje moraju raditi u nepovoljnim uvjetima i ujedno biti podložne stresu od strane korisnika.
- Kontrola punjenja – Kontrola punjenja je jedna od temeljnih funkcija BMS-a, što prikazuje činjenica da najveći uzrok kvara baterija proizlazi iz nepravilnog načina punjenja.

- Upravljanje potražnjom – Iako nije izravno povezano s radom same baterije, upravljanje potražnjom odnosi se na primjenu baterije. Njezin cilj je minimalizirati potrošnju struje u bateriji projektiranjem metoda za uštedu energije u strujnim krugovima primjene i tako produžiti vrijeme između punjenja baterije.
- Određivanje SOC – Mnoge primjene zahtijevaju podatak o stanju napunjenosti ili SOC baterije ili pojedinih ćelija unutar spremnika. Navedeni podatak može služiti za jednostavan monitoring stanja napunjenosti ili za primjenu preciznije i optimalnije strategije punjenja.
- Određivanje SOH – Stanje zdravlja ili SOH je mjera sposobnosti pružanja potrebne izlazne snage baterijskog spremnika. Podatak o stanju zdravlja baterije je ključ za procjenu spremnosti rada i pokazatelj o potrebi za servisom.
- Balansiranje ćelija – Unutar više ćelijskih baterijskih spremnika mala odstupanja između ćelija uzrokovane uslijed proizvodnje ili radnih uvjeta povećavaju se svakim ciklusom punjenja i pražnjenja. Oslabljene ćelije postavljene su pod dodatnom razinom stresa, što ih daljnje oslabljuje do točke prekida, koja uzrokuje potpuni kvar baterijskog spremnika. Kako bi spriječili prekid rada tokom prijelaznih pojava te produljili životni vijek, potrebno je balansirati ćelije na način da se postigne ravnomjerni raspored naboja na svim ćelijama.



Slika 2.2.4.1. Prikaz veze BMS-a sa ostalim elektroničkim dijelovima

Primjena BMS sustava u automobilske svrhe mnogo je zahtjevnija od prethodnog primjera. Za uspješan rad potrebno je povezivanje sa dugim nizom kontrolnih sustava unutar vozila, te rad u stvarnom vremenu prilikom svih načina vožnje i uvjeta. Sljedeći primjer opisuje složeni sustav korišten u automobilskoj industriji, no ovisno o primjeni, nisu aplicirane sve funkcije. Funkcije korištene za električna i hibridna vozila su sljedeće:

- Praćenje stanja pojedinih ćelija koje čine bateriju
- Održavanje svih ćelija unutar njihovih radnih granica te povratak ravnoteže parametra ćelija u baterijskom lancu
- Zaštita stanice od nepodnošljivih uvjeta
- Pružanje "Fail Safe" mehanizma u slučaju neplaniranih uvjeta, gubitka komunikacije ili iznad graničnog naprezanja
- Izolacija baterije u hitnim slučajevima
- Postavljanje radne točke baterije kako bi se omogućilo apsorbiranje naboja regenerativnog kočenja bez pretjeranog punjenja baterije
- Pružanje informacija o stanju napunjenosti baterije. Ova funkcija se često naziva razina goriva
- Pružanje informacija o zdravstvenom stanju baterije. Ovo mjerenje daje indikaciju stanja iskorištene baterije u odnosu na novu bateriju
- Pružanje informacija za vozačeve zaslone i alarme
- Predviđanje mogućeg dometa s preostalim kapacitetom baterije
- Prihvaćanje i provedba kontrolnih uputa povezanih sustava vozila
- Pružanje optimalnog algoritma punjenja za punjenje ćelija
- Pružanje pred-punjenja kako bi se omogućilo testiranje impedancije opterećenja ćelije prije uključivanja i dvostupanjskog punjenja za ograničavanje udarnih struja.
- Osiguravanje načina pristupa za punjenje pojedinačnih ćelija
- Reagirane na promjene u načinu rada vozila
- Prikupljanje informacija o korištenju baterije te neželjenih stanja
- Hitan "Limp Home Mode" u slučaju kvara ćelije ili dijela sustava.

Za složenije sustave BMS može primijeniti više funkcija od same kontrole i monitoringa baterije. Može određivati način rada samog vozila, neovisno o tome da li vozilo ubrzava, koči ili je stacionarno, te primjenjivati zadanu strategiju upravljanja električne energije. Kako bi pomnije razumjeli djelovanje BMS-a na baterijske spremnike u električnim vozilima, dodatno će se definirati funkcije određivanja stanja napunjenosti i zaštita ćelija povezana sa litijskim baterijama.

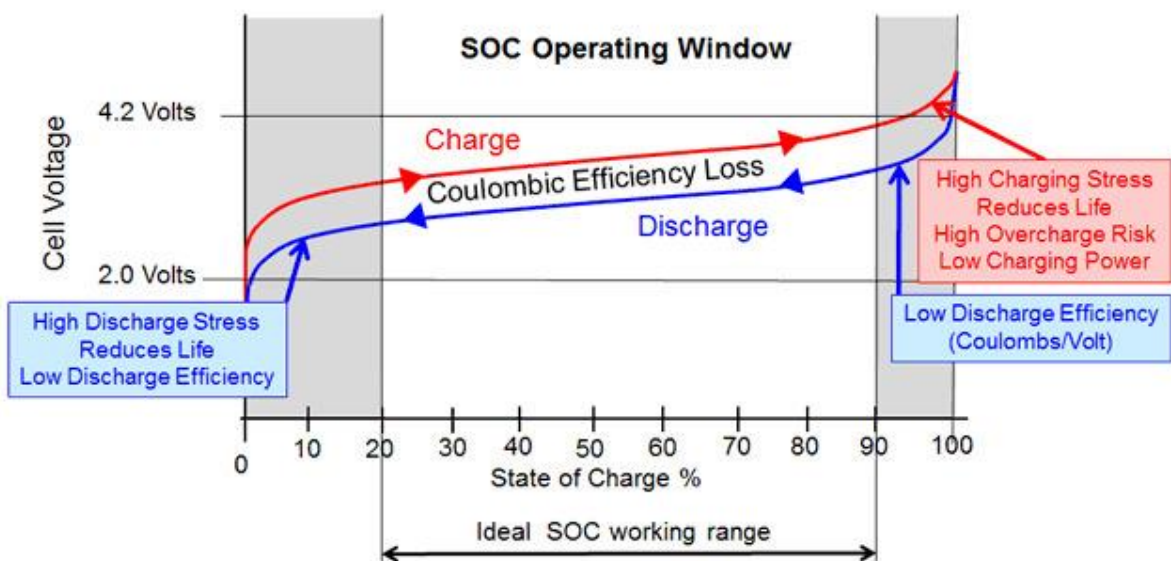
Određivanje stanja napunjenosti (SOC) jedna je od glavnih funkcija BMS-a. Sustav upravljanja baterijskog sustava nadzire i izračunava SOC svake pojedine ćelije baterijskog lanca kako bi postigao ravnomjerno opterećenje pri svakom mogućem događaju poput punjenja, pražnjenja, regenerativnog kočenja te ubrzanju. Stvaranje složenog algoritma upravljanja nužno je kako bi se ostvarila dovoljna razina napunjenosti koja može pružati potrebnu snagu za svaku promjenu, pri tome održavajući dovoljno prostora za prihvaćanje potrebne snage regenerativnog kočenja bez opasnosti stvaranja stanja prenapunjenosti ili preopterećenja ćelija. Za početak stvaranja algoritma upravljanja potrebno je znati koji su zahtjevi za točnost SOC-a te što utječe na njih. Prilikom razmatranja SOC-a, potrebna je referentna početna točka, koja se definira kao postotak trenutnog kapaciteta baterije dobivenog iz posljednjeg ciklusa punjenja što ne iziskuje visoku točnost zbog starenja baterije kroz radni ciklus, no zbog same složenosti algoritma potrebnog za prilagodbu prema kapacitetu, dobni utjecaj se zanemaruje. Određivanje stanja napunjenosti je od iznimne važnosti za litij-ionske baterije većih kapaciteta, zbog iznimno visoke reaktivnosti materijala, jedini je koji treba BMS sustav kako bi održao bateriju unutar sigurnog radnog prozora te osigurao dugi životni ciklus. Za određivanje stanja napunjenosti koristi se strujna (Columbova) procjena, koja se bazira na energiji sadržanoj u električnom naboju mjerenom u kulonima, jednaka vremenskom integralu struje koja nosi taj naboj. Preostali kapacitet u ćeliji može se izračunati mjerenjem struje koja ulazi punjenjem ili izlazi pražnjenjem iz ćelija i integracijom (akumulacijom) toga tijekom vremena. Drugim riječima, naboj koji se prenosi u ćeliju ili izvan nje dobiva se akumulacijom odvoda struje tijekom vremena. Referentna točka kalibracije je potpuno napunjena ćelija, a ne prazna ćelija, a SOC se dobiva oduzimanjem neto toka naboja od naboja u potpuno napunjenoj ćeliji. Ova metoda, poznata kao Coulombovo brojanje, pruža veću točnost od većine drugih mjerenja SOC budući da izravno mjeri protok naboja. Kulonovo brojanje ovisi o struji koja teče iz baterije u vanjske krugove i ne uzima u obzir struje samo pražnjenja ili kulonovsku učinkovitost baterije.



Načini mjerenja struje su sljedeći:

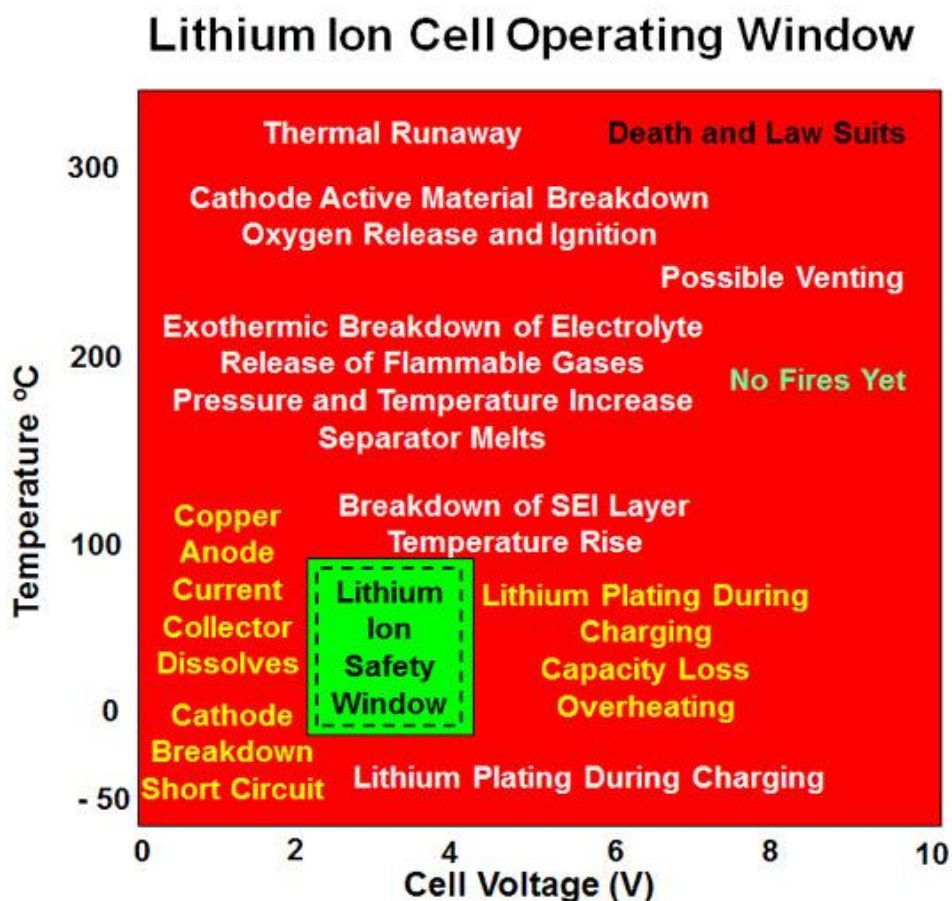
- Strujni shunt – Najjednostavniji način određivanja struje jest mjerenje pada napona na nisko-omskoj vrijednosti, te vrši se na serijskom otporniku-senzoru smješten između baterije i opterećenja. Ova metoda iziskuje mali gubitak snage zbog pada napona te dodatno zagrijavanje baterije, te se ne preporučuje u primjenama sa niskom razinom snage.
- Hallovi pretvornici – Pretvornici bazirani na hallovom efektu funkcioniraju na jednakoj bazi kao strujni shunt, uz rješavanje problema gubitka snage. Nedostatak njihove primjene jest visoka osjetljivost na buku te niska tolerancija na visoke iznose struje.
- GMR – GMR (eng. Giant Magneto-Resistor) jest metoda mjerenja putem magnetno otpornih senzora temeljena na mjerenju promjene struje između feromagnetskih materijala. Rezultat ovakvog mjerenja jest vrlo visoka osjetljivost te visoka razina dobivenog signala sa stabilnijim radom pri visokim temperaturama, no sama primjena zbog složenosti senzora i materijala je skupa.

Sa dobivenim podacima potrebno je izvršiti veliki broj mjerenja zbog vanjskih uvjeta te same konstrukcije i prirode materijala litij-ionskih baterija koji uzrokuje konstantnu promjenu vrijednosti korisnog kapaciteta, varira sa temperaturom te stopama pražnjenja.



Slika 2.2.4.2. Prikaz ciklusa baterije uz idealni raspon rada [8]

Za točna mjerenja i rad potrebno je poštovati okvir rada litij-ion baterije, koje definiramo kroz sigurnosne funkcije. Sigurnosne funkcije vezane uz margine rada definiraju se kroz sustav zaštite ćelije. Naveden okvir rada prikazan je na sljedećoj slici.



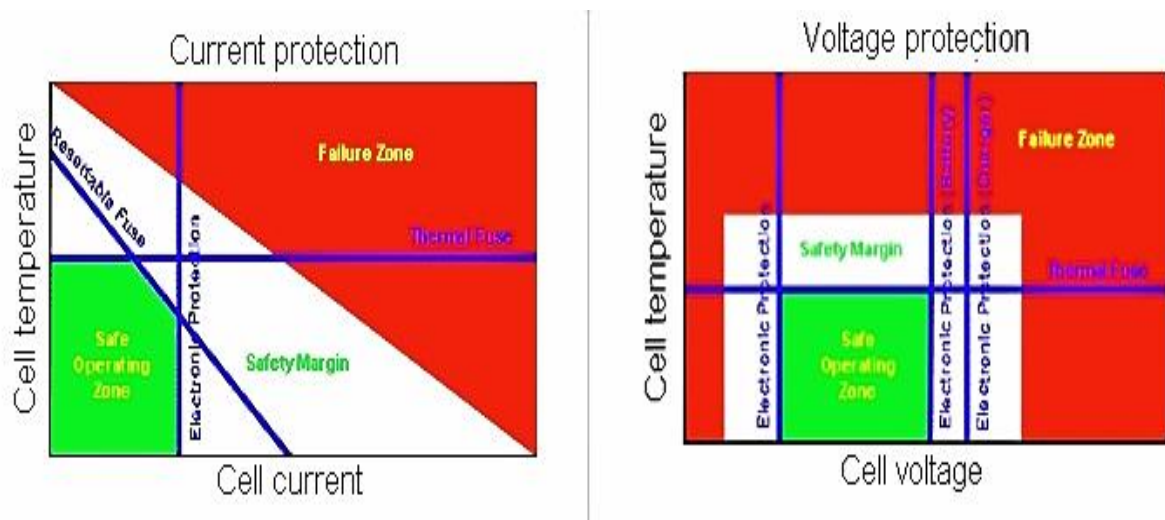
Slika 2.2.4.3. Okvir rada litij-ionske baterije [8]

Svrha sustava zaštite ćelije jest osigurati potrebno praćenje i kontrolu kako bi se ćelije zaštitile od štetnih okolnih ili radnih uvjeta te zaštititi korisnika od posljedica kvara baterije. Baterijske ćelije velike snage mogu biti izrazito opasne izvan okvira rada zbog velike količine energije koja u slučaju nekontrolirane situacije u obliku kratkog spoja ili mehaničkog opterećenja može osloboditi struju veličine nekoliko stotina ampera unutar iznimno kratkog vremenskog perioda. Unutar zaštitnih sustava ćelija definirane su granice strujnih, naponskih te popratno temperaturnih opterećenja kako bi se promjene izvršavale unutar okvira rada.

Generalni sustav zaštite ćelija potreban je pružiti zaštitu od sljedećih događaja:

- Prevelika struja tokom punjenja ili pražnjenja
- Kratki spoj
- Prenapon – dovođenje u stanje prenapunjenosti
- Podnapon – dovođenje napona na razinu nižu od dopuštene razine pražnjenja (DOD)
- Visoka ambijentalna temperatura
- Pregrijavanje – prelažena temperaturna granica ćelije
- Stvaranje pritiska unutar ćelije
- Kvar – potrebna izolacija sustava u slučaju kvara

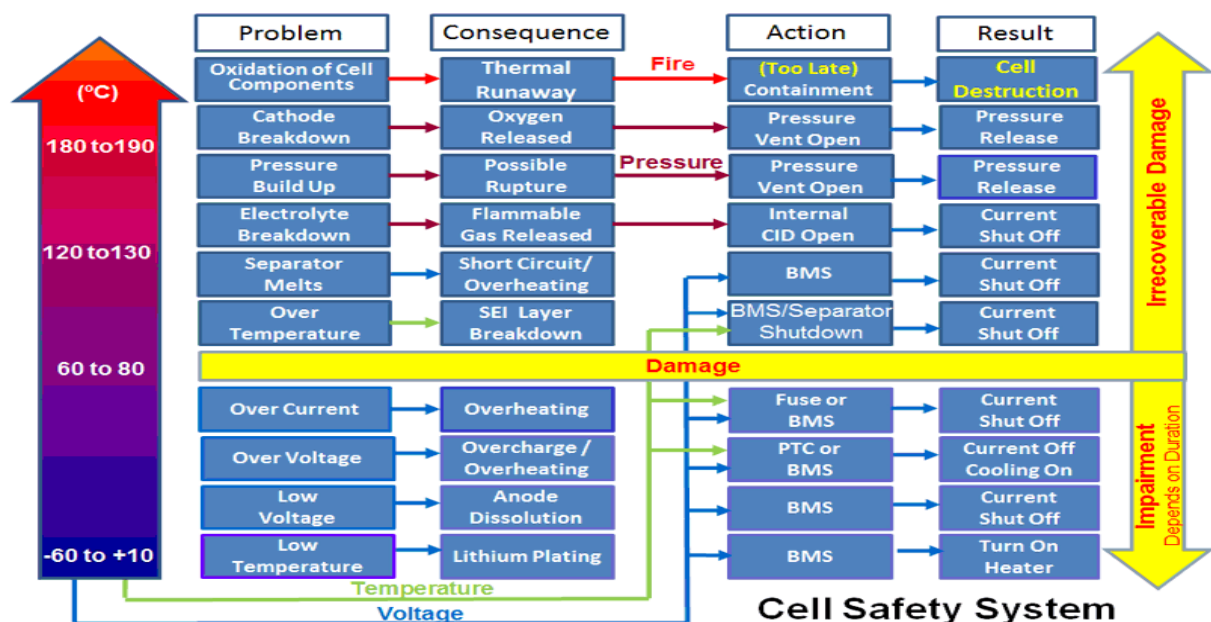
U nastavku prikazana su dva dijagrama sa ilustracijama određenja sigurnosnih granica zaštite ćelija od uvjeta rada izvan tolerancija, time ograničavajući i osiguravajući funkcionalnost u sigurnoj radnoj zoni.



Slika 2.2.4.4. Prikaz granica zaštite ćelija [8]

Slika 2.2.4.4. prikazuje sigurnosne granice strujnog i naponskog sustava zaštita ćelije. Crveno označena područja definirana su kao „zabranjena“ područja pri kojima baterijske ćelije zaprimaju nepovratna oštećenja. Teoretski, ćelije mogu raditi unutar crvene zone, no zbog male margine pogreške te nestabilnosti ćelije rad se ograničava na zeleno područje. Označeno bijelo područje prikazuje marginu sigurnosti pri projektiranju.

Strujna zaštita i naponska zaštita bazirane su na promjeni veličina napona i struje ovisno o temperaturi. Temperaturna kontrola glavna je stavka prilikom dizajniranja i odabira zaštite ćelija. Optimalni uvjeti rada baterijskih spremnika iznose oko 20 °C ,no zbog samih utjecaja struje punjenja i pražnjenja te zahtjeva motora, koje iznose višestruk iznos C-stope baterije te temperature okoline, potrebno je osigurati adekvatnu temperaturnu zaštitu te sustav hlađenja i grijanja. Strujna zaštita podijeljena je na tri sigurnosne granice definirane termičkim osiguračima, PPTC osiguračima te elektroničkom zaštitom. Najjednostavnija zaštita jest termički osigurač, koji djeluje prelaskom temperature iznad prethodno zadane vrijednosti te odvaja strujne krugove baterijskog spremnika od ostatka vozila. Sljedeći tip strujne zaštite jesu PPTC osigurači, često zvani ponovno postavljajući osigurači. Princip rada osigurača jest sličan kao kod termičkog osigurača, pri čemu njegovo djelovanje može biti dvostruko uzrokovano na način da djeluje uslijed prekomjerne razine struje koja stvara toplinu time i temperaturu višu od zadane ili može djelovati uslijed povišene temperature okoline. Nakon smanjenja temperature osigurača ispod predodređene vrijednosti, strujni krug se ponovno zatvara. Zbog načina rada osigurača, može biti korišten kao nad strujna zaštita te temperaturna zaštita. Naponske zaštite svedene su na interakcije sa punjačem, putem integriranih senzora u samoj konstrukciji punjača. Baterije se mogu oštetiti i zbog prenapona do kojeg može doći tijekom punjenja i zbog preniskog napona zbog prekomjernog pražnjenja. Osiguravanjem pristupa punjaču ulazu senzora napona i temperature u bateriji, punjač se može isključiti kada baterija dosegne unaprijed određene kontrolne granice.



Slika 2.2.4.5. Prikaz sveukupnih zaštitnih funkcija BMS-a [8]

### 3. SUSTAVI PUNIONICA ELEKTRIČNIH VOZILA

Punionice zajedno sa punjačem baterija ključni su dijelovi sustava električnih vozila. Poznatiji kao „charge point“ ili točke punjenja, punjači su elementi smješteni unutar elektroenergetske mreže na distribucijskoj razini, te služe za opskrbljivanje svih električnih vozila potrebnom električnom energijom. Odredbama EU sa početkom 2035. godine, stvorena je zabrana proizvodnje vozila pogonjenih motorima na unutarnje izgaranje, sa ciljem de-karbonizacije prometnog sektora. Dostupna i robusna mreža infrastrukture za punjenje električnih vozila (EV) bitan je preduvjet za postizanje ove ambiciozne tranzicije. Trenutno, usporedba punjenja električnih vozila sa klasičnim oblikom vozila jest značajna. Iz financijske perspektive, gorivo potrebno da bi vozilom prešli 500 kilometara iznosi 60€, uz vrijeme punjenja od 3 minute. Paralelno tome, za električna vozila potrebno je izvršiti dva punjenja baterije kapaciteta 40 kWh, sa cijenom punjenja u iznosu od 3.5€ do 10€ ovisno o mjestu punjenja. Usporedivši cijene potrebne za jednaki prijeđeni put, električna vozila prikazuju značajnu uštedu te primamljivi alternativu za klasična vozila. Negativna strana, ujedno i jedna od najvećih barijera usvajanja električnih vozila jest samo vrijeme punjenja, koje bi u ovome slučaju u prosjeku iznosilo 7.5 sati po punjenju. Kako bi ostvarili jednako vrijeme punjenja električnih i klasičnih vozila, za 40 kWh bateriju potreban je punjač snage nekoliko MW. Kako bi stvorili sliku o razini potrebne energije, prosječno kućanstvo troši 10-ak kWh dnevno za svoju opskrbu. Time se postavlja zahtjev pružateljima električne energije za opskrbom ogromne količine električne energije u kratkom vremenskom periodu, što ne predstavlja praktično ni moguće rješenje, pri čemu sa pozicije baterijskih spremnika vozila nije moguće zaprimiti takvu količinu energije u kratkom vremenskom periodu. Kako bi riješili navedene probleme, potreban je razvoj svih sektora uključenih u ovu razmjenu. Sa strane automobilske industrije potrebno je daljnje razvijanje punjača te sustava baterija, uz konstantnu suradnju sa pružateljima opskrbe električne energije kako bi se uspostavila struktura i mreža punionica, javnih te privatnih sa adekvatnim korisničkim sustavom za naplatu i autorizaciju, uz definiranje i implementaciju novih standarda sa ciljem poboljšanja električne mreže. Kako bi odabrali punjač prikladan za električna vozila, potrebno je analizirati njegovu strukturu baterijskog spremnika. Ovisno o vrsti vozila, baterijski spremnici kreću se u rangu od 0.5 kWh do više od 100 kWh, uz strujnu opteretivost od 2A do 200A, što je prikazano u sljedećoj tablici.

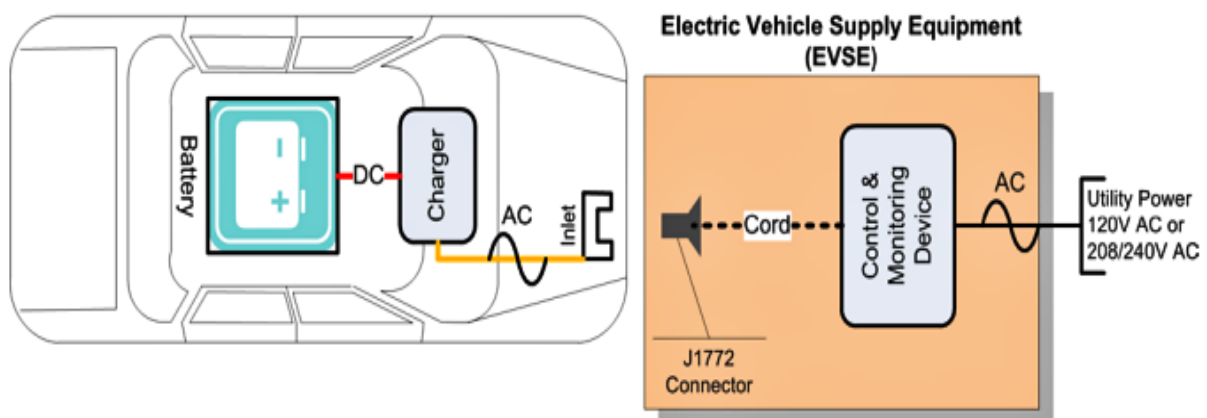
Tablica 3.1. Karakteristike baterija i vrijeme punjenja [8]

<b>Kapacitet baterija i vrijeme punjenja</b>						
<b>Vrsta vozila</b>	<b>Domet [km]</b>	<b>Kapacitet baterije [kWh]</b>	<b>Napon baterije [V]</b>	<b>Struja punjenja [A]</b>	<b>Vrijeme punjenja baterije [h]</b>	<b>C stopa</b>
<i>Električni bicikl</i>	50	0.5	48	6	3	0.1 – 0.6 C
<i>Plug-in hibridi</i>	40	14	100 – 300	16	5 – 6	0.1 – 0.4 C
<i>Električni automobil</i>	340	40	400 – 800	30 – 60	3 – 8	0.3 – 1 C
<i>Dostavna vozila</i>	250	60	600	30 – 60	3 – 8	0.3 – 0.7 C

U tablici 3.1. prikazani su prosječni podatci vremena punjenja te strujne opteretivosti pojedinih vozila. Prilikom punjenja, proizvođači vozila preporučaju određene načine punjenja vozila sa ciljem osiguravanja maksimalnog životnog ciklusa baterija. Prilagođeni načini punjenja odnose se na limitiranje brzine starenja baterije, putem ograničavanja C stope punjenja na vrijednost 30% do 50% manju od maksimalne moguće, uz kontroliranu dubinu pražnjenja baterije (DOD) i punjenja baterije u iznosu od 20 % do 70% kapaciteta baterije. Odabir vrste punjača svodi se na preferencu korisnika vozila, no sama konstrukcija vozila određuje mogućnosti punjenja, zbog potrebnog načina kontrole razine napunjenosti, zadane prenaponske te temperaturne zaštite. Zajedno sa BMS-om ove funkcije ugrađene su u sami punjač unutar vozila, koji ultimativno određuje mogućnosti punjenja. Punjači korišteni za električne bicikle su najjednostavniji i najjeftiniji oblici punjača, iznimno slični punjačima prijenosnih računala. Punjači za hibridna i električna vozila smješteni su u samoj strukturi vozila, time omogućavajući svestranost punjenja. Punjači ugrađeni u sama vozila mogu se priključiti na klasičnu kućnu utičnicu, no zbog vrlo niske stope punjenja, vrijeme punjenja iznosi više od 10 sati. Ovakav način punjenja najčešće se koristi samo u slučajevima hitnoće ili nedostupnosti stanice za punjenje, koje su opisane u nastavku.

### 3.1. Stanice za punjenje

Stanice za punjenje električnih vozila su oprema smještena u elektroenergetskoj mreži koja služi za povezivanje električnih vozila sa izvorom električne energije sa svrhom punjenja električnih vozila. Stanice za punjenje dio su opreme opskrbe električnih vozila zvanom EVSE, smještene na javnim i privatnim površinama. EVSE je zaštitni sustav koji komunicira s vozilom i prati električnu aktivnost kako bi se osiguralo sigurno punjenje. Stvarni „punjač” nalazi se u vozilu, uređaj koji se obično naziva stanica za punjenje ili EVSE je provodni, upravljački i nadzorni uređaj koji povezuje vozilo s električnom mrežom. Na slici 3.1. prikazan je dijagram toka energije od elektroenergetske mreže putem EVSE-a, spojenog putem J1772 standardnog priključka. Priključkom punionice na izmjeničnu (AC) stranu, elektronički uređaji smješteni unutar punionice pretvaraju izmjenične veličine snage u istosmjerne veličine (DC) koje baterija može zaprimiti. U slučajevima istosmjernih punionica, elektronički sklopovi namijenjeni za pretvorbu zamijenjeni su istosmjernim filterima i DC pretvaračima za postizanje željenog izlaznog napona i snage. Zahtjevi za stanicama za punjenje u rastućim su brojkama te kako bi se pokrio zahtjev za stanicama te ostvarila veća dostupnost, postavljene su tri osnovne razine snage punionica time pokrivajući veći broj zahtjeva te mogućnosti upotrebe prema pravilima zadanim sa strane elektroenergetske mreže.



Slika 3.1.1. Prikaz punjenja putem izmjeničnog priključka

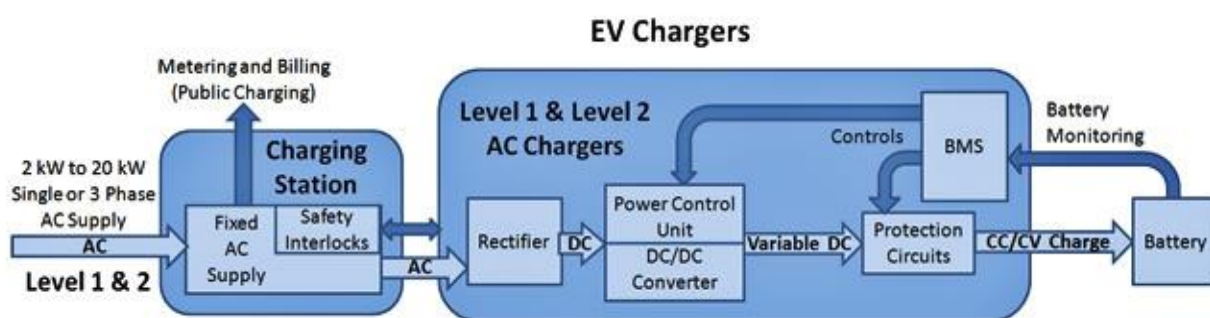
Prva razina punjenja ili razina 1, jest najjednostavnija izvedba punionice koja se odnosi na jednofazno napajanje izmjeničnom strujom, te se najčešće koristi u kućanstvima i ne zahtijeva autentifikaciju i naplatu. Za primjenu unutar zemalja Europe, punionice su određene strujom u iznosu od 13 do 16 A te naponom utičnice od 230V sa izlaznom snagom 3 kW, dok izvedbe za Američko tržište određene su strujom od 16A te naponom utičnice 120V koji dostavlja nižu razinu snage u iznosu od 1.9 kW. Rezultat punjenja na prvoj razini jest brzina od 3 do 15 km dometa na sat punjenja. Za punionice prve i druge razine zbog niske razine snage princip rada je jednostavan. Proces započinje zaprimanjem izmjenične energije sa elektroenergetske mreže koja se dovodi na jedinicu za pretvorbu (ispravljač) ulazne veličina na istosmjernu. Daljnje, pretvorena istosmjerna veličina dovodi se na jedinicu za upravljanje napajanja koja je zadužena za filtraciju ulaznog napona, kao i pretvorbu na razinu potrebnu za punjenje. Preostalo upravljanje tokom procesa punjenja zadužen je sustav upravljanja baterijskih spremnika integriran u bateriji. Prilikom punjenja, zadužen je za praćenje parametara baterije poput napona, struje i temperature uz kontrolu profila punjenja kako bi osigurao pravovremeni profil konstantne struje i konstantnog napona (CC/CV). Sigurnosne mjere unutar prve razine punjenja su relativno niske, te se ograničavaju na osigurače, zbog niske snage te već prethodne implementacije sigurnosnih funkcija unutar BMS-a.



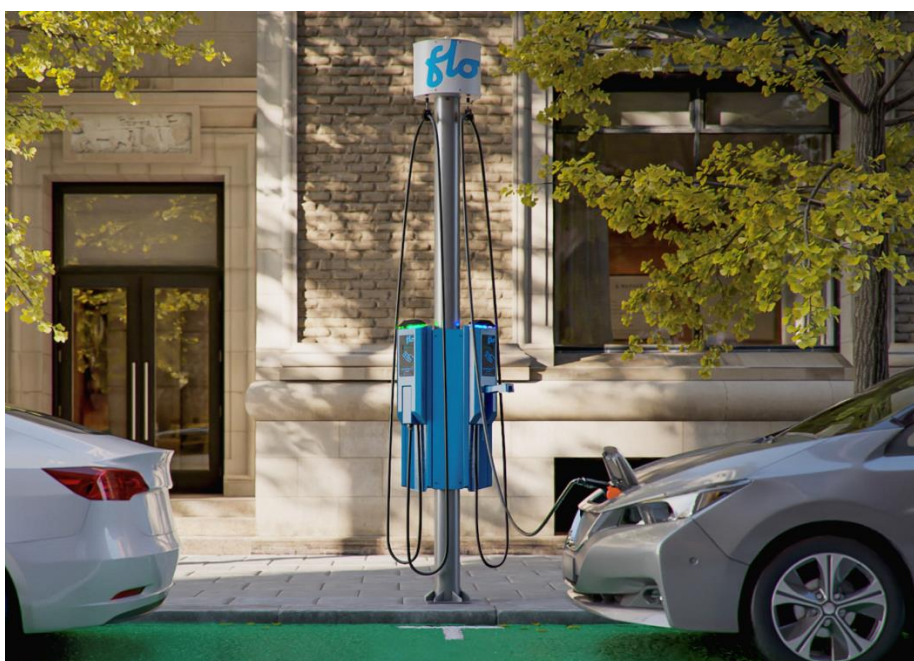
*Slika 3.1.2. Priključak prve razine*



Druga razina punjenja predstavlja složeniju, te najčešći javni oblik punionice električnih vozila. Unutar druge razine punjenja pronalazi se više izvedba punionica prema snazi. Izvor električne energije stiže iz jednofaznog ili trofaznog izmjeničnog priključka napona 208 do 240V te strujnih opterećenja od 32A do 80A, što rezultira u izlaznim snagama u rasponu od 6.6 kW do 19.2 kW. Punjenje vozila na drugoj razini predstavlja značajno bržu stopu punjenja usporedno sa prvom razinom, sa stopom punjenja od 30 do 50 km na sat punjenja. Kako bi standardizirali upotrebu punionica druge razine, razvijena je J1772 SAE (eng. Society of Automotive Engineers) norma, koja definira vrstu priključka univerzalnog na svim punionicama druge razine. Stvaranjem norme za punionicu značajno se pojednostavljuje sustav punjača u električnim vozilima, te se eliminira dodatna upotreba kablova i konektora koja daljnje smanjuje cijenu samog vozila. Punionice druge razine posjeduju jednake sigurnosne sustave poput prve razine, uz mogućnost dodatka sustava autorizacije i naplate ovisno o mjestu ugradnje.

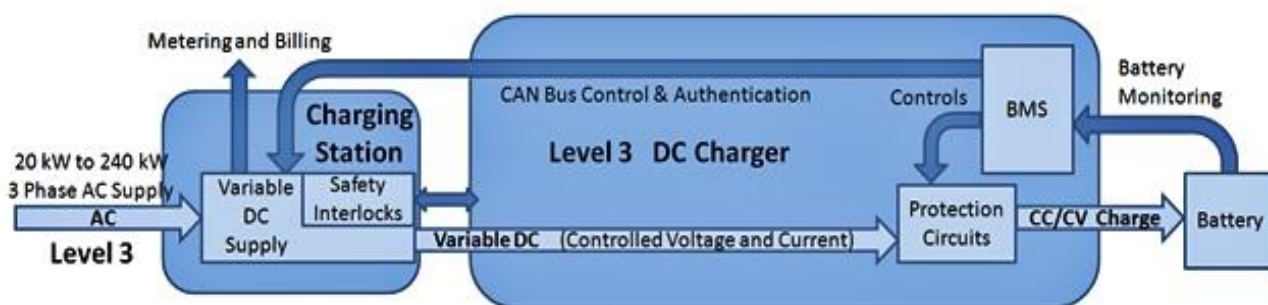


Slika 3.1.3. Procesni tok prve i druge razine punjenja [8]



Slika 3.1.4. Javna punionica druge razine [8]

Treća razina punjenja, često zvana ultra-brzo punjenje, predstavlja punionice najveće dostupne snage. Za ostvarivanje visokih brzina punjenja, koristi se direktno DC punjenje visoke snage, naponskih razina 400V do 900V te struja u iznosima preko nekoliko stotina ampera, rezultirajući u izlaznoj snazi u rangu od 50 kW do 350 kW. Benefit visoke razine snage odražava se u stopi punjenja od 120km do 1200 km dometa za sat vremena punjenja. Cilj treće razine punjenja jest ostvarenje punjenja baterije od potpuno praznog stanja do 80% napunjenosti u vremenskom periodu od 30 minuta. Za primjenu treće razine javlja se nekoliko novih standarda punjenja, od kojih su najviše implementirani japanski standard CHAdeMO te CCS standard. Funkcija punionica treće razine jednaka je prvoj i drugoj razini, uz razliku u primijenjenim standardima priključaka zbog potrebe dodatne komunikacije te same razine snage koja iziskuje sustav koji se sastoji od visokoučinskih komponenta upravljanja i snage. Najveća međurazinska razlika jest u samoj komunikaciji vozila te punionice. Kako bi se ostvarila iznimno visoka stopa punjenja, osim korištenih visokoučinskih komponenti punionice, potrebno je definirati nove razine punjenja unutar električnih vozila. Za regulaciju načina punjenja baterije, kao što je navedeno, zadužen je BMS sustav, koji putem novih protokola komunikacije zaobilazi unutarnje jedinice pretvorbe snage kao kod nižih razina, te putem CAN bus sabirnice razmjenjuje te kontrolira punjenje direktno na ispravljaču napona. Nedostatak treće razine punjenja jest njihova cijena te način primjene. Izgradnja punionice treće razine nije isplativa za privatne priključke, zbog cjenovnog ranga od 30.000€ do 80.000€ uz dodatne troškove priključka na mrežu te infrastrukture, koja predstavlja dodatni problem zbog iznimno visoke snage punionice, koja će zahtijevati zasebnu opskrbnu liniju.



Slika 3.1.5. Procesni tok treće razine punjenja [8]

### 3.2. Vrijeme punjenja na punionicama

Vrijeme punjenja za baterije velikog kapaciteta ograničene su kapacitetom napajanja punionice, što učestalo rezultira u dugom vremenu punjenja te zahtjevu za izgradnjom brzih punionica. No korištenje brzih punionica nije trajno rješenje, zbog velike snage zahtijevane sa strane punionica te velike količine energije i snage koje je potrebno prenijeti na električno vozilo koje mora posjedovati strukturu punjača prikladnog za priključnu snagu. Dodatno, neovisno o maksimalnoj snazi koju punionica može davati, vrijeme punjenja je kontrolirano profilom punjenja ćelija koje određuju limit struje. U sljedećoj tablici prikazana su vremena punjenja za sve razine punjenja.

Tablica 3.2.1. Prikaz vremena punjenja prema svakoj razini punionice [8]

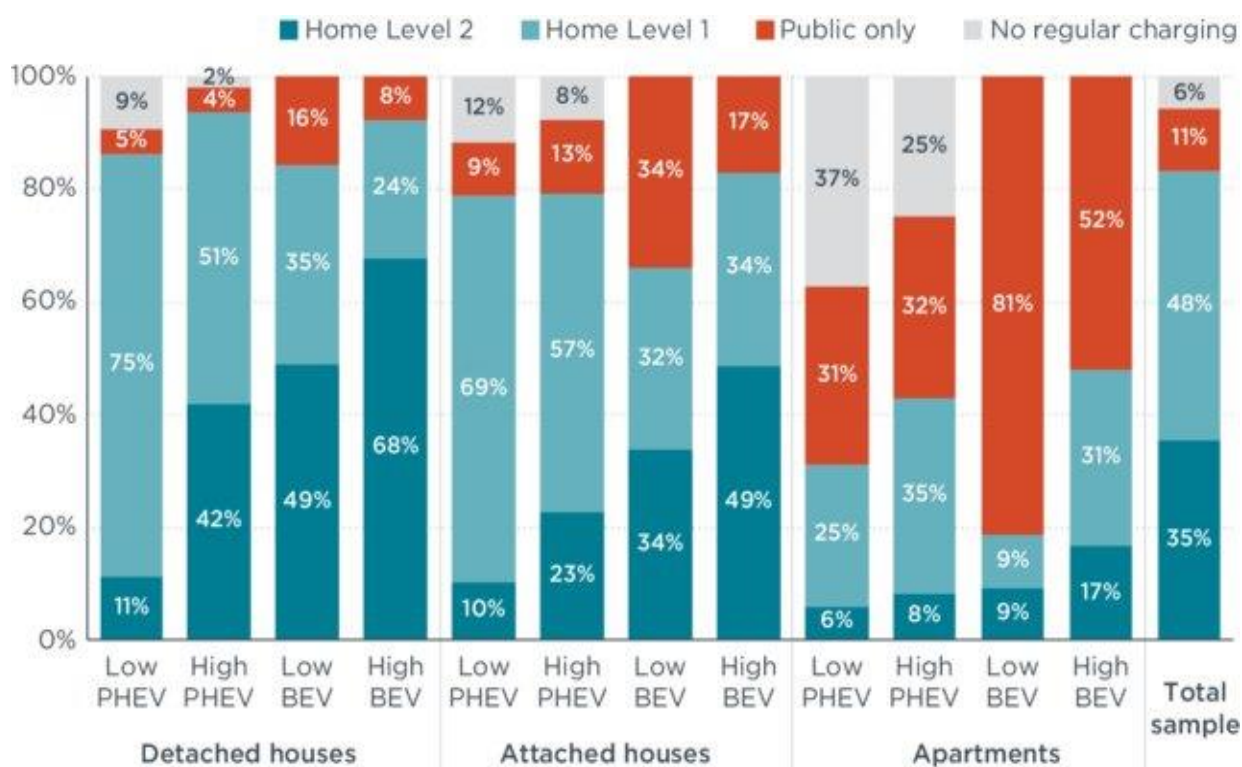
Vrsta vozila i punjača			Dostupna snaga		Prva razina		Druga razina		Treća razina	
					1.9 kW US / 3kW EU		20 kW, 3f ~		50 kW, DC	
	Kapacitet baterije [kWh]	Struja punjenja [A]	Efikasnost punionice [%]	Broj sati do 80% napunjenosti [h]	Ekvivalentna C stopa punjenja [C]	Broj sati do 80% napunjenosti [h]	Ekvivalentna C stopa punjenja [C]	Broj sati do 80% napunjenosti [h]	Ekvivalentna C stopa punjenja [C]	
Vozilo	Električni bicikl	0.5	6	85	0.2 / 0.2	4.3	<b>0.02</b>	<b>42.5</b>	<b>0.002</b>	<b>425.0</b>
	Plug-in hibrid	14	16	85	4.7 / 3.1	0.2	0.5	2.1	<b>0.05</b>	<b>21.3</b>
	Automobil	40	30 – 60	85	11.8 / 7.8	0.1	1.2	0.9	0.1	8.5
	Dostavno vozilo	60	30 – 60	85	<b>22 / 14.8</b>	<b>0.05</b>	2.2	0.5	0.2	4.5

Navedena tablica prikazuje brzine punjenja kroz sve razine punionica. Prilikom stvaranja tablice potrebno je uzeti određene faktore u obzir. Primarno, po smatranu je punjenje vozila sa početnim stanjem napunjenosti 0% , što često nije slučaj u praksi te se kao takvo ne preporuča kako bi se smanjio rizik od oštećenja baterije. Kako bi ostvarili slučaj najvećeg opterećenja, uzima se punjenje do razine od 80% napunjenosti kapaciteta zbog profila punjenja „CC“, pri kojemu se baterija puni konstantnim te maksimalnim iznosom struje.

Kako bi se punjenje odvijalo do 100%-tne razine, baterije je potrebno puniti „CV“ profilom, što predstavlja punjenje konstantnim naponom, te strujom koja iznosi 10% iznosa struje punjenja do 80%-tne razine. Uzimajući vrijeme potrebno za punjenje do 100%-tne razine napunjenosti, potrebno vrijeme množimo sa faktorom 1.65, ili točnije faktor 1.3 množen sa ukupnim kapacitetom baterije te sveukupno dijeljeno sa strujom prilikom „CC“ profila punjenja. Teoretska vremena punjenja bazirana su na potpunoj iskorištenosti snage priključka, što nije istinito u svim slučajevima zbog same limitiranosti sustava vozila u određenim slučajevima. Svijetlo žutom bojom u tablici označene su vrijednosti punjenja koje predstavljaju razinu punjenja koja nije u praksi zbog iznimno niske stope punjenja kao što je prikazano unutar prve razine punjenja dostavnih vozila, te pri trećoj razini punjenja plug-in hibrida te električnih bicikala sa previsokom stopom punjenja. Unutar vremena punjenja dodatno je po smatrana efikasnost punjenja od 85%, sa gubitcima punjenja od 0.5C prilikom „CC“ profila te 0.05C gubitkom prilikom „CV“ profila punjenja.

## 4. INTEGRACIJA PUNIONICA U ELEKTROENERGETSKE MREŽE

Nakon opisanih sustava električnih vozila, punionica te procesa punjenja potrebno je sagledati njihovu integraciju u elektroenergetsku mrežu. Kako bi se razmatrao daljnji razvoj sustava punionica moram se prvobitno pregledati trenutna implementacija i budući zahtjevi. Budući da su benzinske postaje naizgled u svakom kvartu, logično bi bilo očekivati da će biti potrebna slična sveprisutna mreža javnih punionica za punjenje. Međutim, stanice za punjenje mogu se postaviti tamo gdje benzinske postaje ne mogu, točnije u kućanstvima, na radnim mjestima i na odredištima gdje su njihovi automobili dugo vremena parkirani. Iz sljedećeg proizlazi pitanje, hoće li korisnici električnih vozila koristiti punionice smještene unutar stambene zone ili bi usvojili novu paradigmu točenja goriva i punili na nekoliko mjesta gdje najduže parkiraju svoje automobile vremenskim razdobljima? Kroz razna istraživanja, odgovor je jasan: unatoč postavljanju opsežne javne infrastrukture za punjenje u većini projektnih područja, većina punjenja obavljala se kod kuće i na poslu. Otprilike polovica korisnika punila je svoja vozila gotovo isključivo kod kuće. Od onih koji su punili izvan kuće, velika većina preferirala je tri ili manje lokacija za punjenje izvan kuće, a jedna ili više od tih lokacija bilo je na poslu za neke vozače.



Slika 4.1. Prikaz korištenja punionica

Prikazane brojke ne predstavljaju nepotrebnost ili nepoželjnost javnih punionica. Mnogi DC brzi punjači intenzivno su upotrebljavani za promet u gradskoj i međugradskoj vožnji. Javlja se određena korelacija između karakteristika lokacija javnog punjenja i njihovog korištenja. Javne punionice druge razine instalirane su na mjestima gdje su vozila obično bila parkirana dulje vrijeme, te često su zapravo bile među najčešće korištenim. Te lokacije uključuju trgovačke centre, zračne luke i prigradska parkirališta te parkirališta ili garaže u središtu grada s lakim pristupom na razna mjesta. Određivanje pristupa implementacija različitih razina punionice nije moguć sagledavanjem problema kao globalnog, te čimbenici koji određuju zahtjev za javnim punionicama usko su vezani uz zajednicu gdje se primjenjuju, te je potrebno intenzivno prikupljanje podataka za određivanje čimbenika. Unatoč tome, kako bi se podržao „zeleni“ promet, infrastruktura za punjenje trebala bi biti usmjerena na kućanstva, radna mjesta i javna "vruća mjesta" gdje je potražnja za Level 2 ili DC brzim stanicama za punjenje velika.

Planiranje izgradnje punionica ili točka punjenja (eng. Charge Point) započinje odabirom lokacije te popratne opreme adekvatne za tu lokaciju. Kao primjer, punionice prve razine pogodne su za punjenje u kućanstvima te određenim poslovnim zonama, no nisu preporučene za lokacije na kojima se promet odvija kroz kraći vremenski period, poput trgovina. U sljedećoj tablici prikazane su karakteristike javnih punionica svih razina.

Tablica 4.1. Karakteristike punionica uz njihove lokacije [14]

	Razina 1 (L1)	Razina 2 (L2)	Razina 3 (L3)
<b>Prosječno vrijeme punjenja na lokaciji</b>	6 – 10 h	1 – 3 h	30 min
<b>Stopa punjenja dometa</b>	3 – 15 km/h	30 – 50 km/h	120+ km/h
<b>Opis prosječnog korisnika punionice na lokaciji</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kućanstva</li> <li>▪ Zaposlenici tokom radnog dana</li> <li>▪ Dugotrajni parking (8+h) na javnom parkingu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kućanstva, sa ciljem bržeg punjenja                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Punjenje u komercijalnim i poslovnim zonama</li> </ul> </li> <li>▪ Javni dugotrajniji parking</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Brzo punjenje na dužim putevima</li> </ul>
<b>Potrebne karakteristike</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sigurno područje, adekvatno osvijetljeno</li> <li>▪ Radna mjesta</li> <li>▪ Lokacije sa dobrom povezanosti s javnim prijevozom</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sigurno područje, adekvatno osvijetljeno</li> <li>▪ Dostupnost nogostupa te pješačke zone</li> <li>▪ Komercijalne i poslovne zone unutar pješačkog dometa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Komercijalni objekti na lokaciji punjenja (restorani, kafići, dostupnost Wi-Fi mreže)</li> <li>▪ Sigurno područje, adekvatno osvijetljeno</li> </ul>
<b>Ciljani tip lokacije</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zajedničko parkiralište u poslovnim zonama</li> <li>▪ Dugotrajni posjeti</li> <li>▪ Javno parkiralište</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Javna ili privatna parkirališta u gradskoj zoni, komercijalnoj zoni ili većim shopping centrima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ U neposrednoj blizini prometnice sa velikim volumenom prometa</li> </ul>

Postupak postavljanja punionica na određenoj lokaciji ovisiti će o vlasništvu nekretnine i vrsti korištenja zemljišta. Nekoliko je primarnih čimbenika relevantnih za postavljanje instalacija za punjenje električnih vozila unutar nekretnine naveden u nastavku, nakon čega slijede detaljnije informacije o postupku instaliranja stanice za punjenje. Prilikom odabira zemljišta potrebno se osvrnuti na sljedeće generalne probleme:

- Dostupnost električne energije – Blizina električne mreže često je ključni čimbenik u određivanju troškova instalacije. Postavljanje opreme za punjenje u blizini postojećeg elektroenergetskog sustava smanjit će troškove i vrijeme instalacije, osobito ako postoji rezervni kapacitet koji može smanjiti troškove dodatne nadogradnje. Vlasnici posjeda možda će htjeti razmotriti ulaganje u poboljšanja učinkovitosti za drugu potrošnju energije na posjedu kako bi smanjili tekuće troškove električne energije i oslobodili kapacitet usluge u ograničenim situacijama.
- Konstruktivnost – Kao što je gore navedeno, postavljanje opreme u blizini izvora energije smanjit će opseg potrebnog kopanja za postavljanje instalacije. Mnoge će instalacije i dalje zahtijevati određenu količinu iskopavanja rovova, te u tim situacijama je najbolje proći kroz mekše površine, kao što su travnate površine, umjesto nogostupa ili asfalta.
- Montaža – Jedinice za montiranje na zid općenito imaju niže kapitalne troškove i troškove instalacije, pa se ova opcija često preferira ako ugradbeno mjesto ima prikladnu površinu zida. Mogućnosti dvosmjernog montiranja opreme za punjenje također može pomoći u smanjenju ukupnih troškova instalacije, budući da je trošak dodavanja drugog priključka često mnogo niži od instaliranja dodatne jedinice s jednim priključkom.
- Zaštita od okoliša – Izlaganje opreme za punjenje vremenskim uvjetima treba svesti na najmanju moguću mjeru. Područja sklona poplavama ili stajaćoj vodi treba izbjegavati što je više moguće.



Punjenje kod kuće daleko je najpopularnija opcija za vlasnike električnih vozila. Pogodnost je velika za vlasnike kuća koji pune preko noći kada im se vozila ne koriste, a njihovi troškovi električne energije mnogo su niži od usporedivih troškova goriva za benzinska vozila. Mnogi domovi imaju lak pristup strujnim priključcima što smanjuje troškove instalacije EVSE. Općenito nema zabrinutosti oko dostupnosti ili blokiranja drugih vlasnika EV-a u punjenju, iako se stanari s više obitelji koji žive u stambenim zgradama ili stanovima mogu susresti s jedinstvenim problemima pri postavljanju opreme za punjenje, osobito ako nemaju pristup namjenskom parkiralištu u blizini priključaka za struju. Nakon kućnog priključka, drugo i treće mjesto za punjenje električnih vozila odnose se na radna mjesta te javne površine. Za ova područja treba uzeti u obzir nekoliko dodatnih faktora smještaja. Čimbenici koji su posebno relevantni za javne lokacije uključuju znakove za pronalaženje puta koji usmjeravaju korisnike na opremu za punjenje, ograničenja parkiranja radi povećanja dostupnosti instalacija za punjenje i mehanizme naplate za nadoknadu troškova.

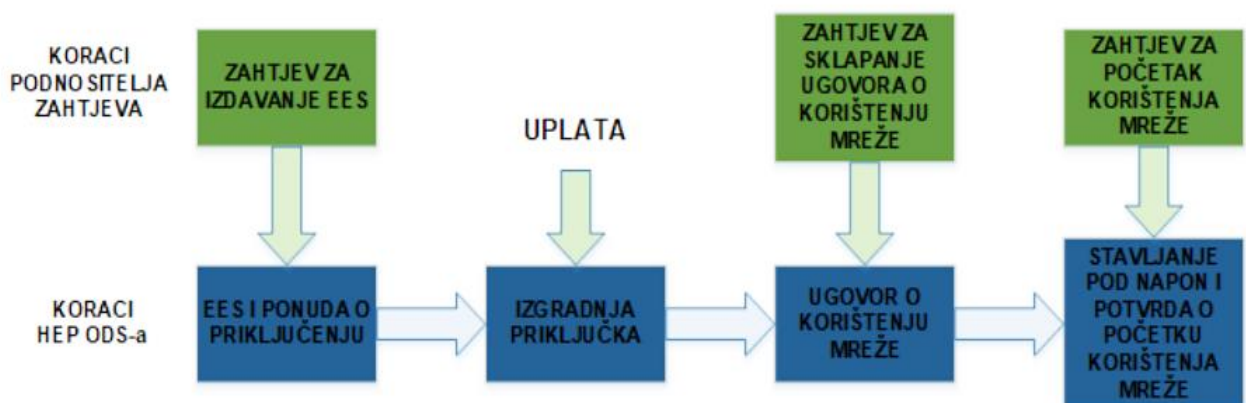
- Kapacitet parkirališta – Primarni zahtjev vozila jest parking od nekoliko sati dok se pune. Postavljanje opreme za punjenje na područja s prekomjernim kapacitetom parkiranja i ograničavanje mjesta za punjenje električnih vozila će smanjiti potencijalne sukobe s vozilima koja ne koriste mjesta dodijeljena za punjenje.
- Blizina radnog mjesta ili odredišta – Budući da punjenje EV-a može zahtijevati podosta vremena, korisno je smještanje punionica u područjima s uslugama, kao što su trgovina, sanitarne jedinice, hrana i drugi objekti na radnom mjestu, što vlasnicima EV-a pruža niz aktivnosti kojima se mogu baviti dok je njihovo vozilo uključeno u struju.
- Inter-modalna povezanost – Postavljanje mjesta punjenja u područjima koja su povezana s drugim načinima prijevoza, kao što su autobusna stajališta, parkirališta te pločnici, vlasnicima pruža pristup dodatnim odredištima.

Tablica 4.2. Pregled plana implementacije punionice na javnim i/ili komercijalnim lokacijama [14]

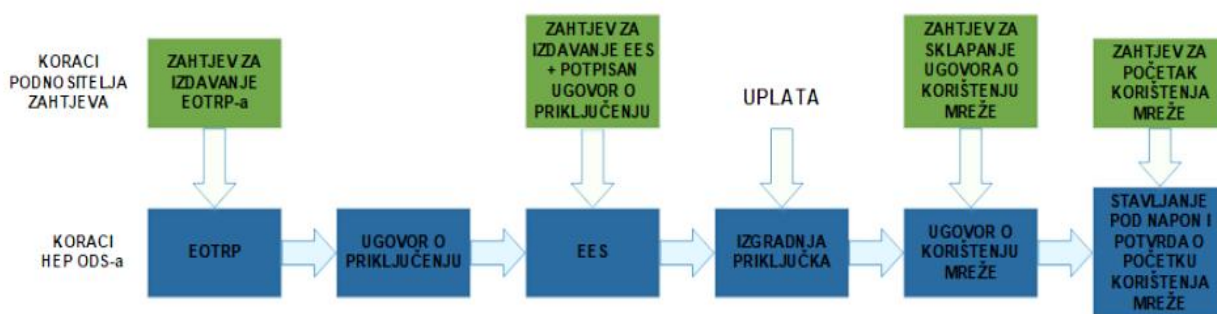
<b>Javne / komercijalne lokacije</b>	
<b>Prednosti ugradnje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Osiguravanje dodatne pogodnosti zaposlenicima</li> <li>• Pružanje vrijedne usluge kupcima i posjetiteljima s električnim vozilima</li> <li>• Demonstracija vodstva u energetskej učinkovitosti i smanjenju stakleničkim plinovima</li> <li>• Dopust korporativnim vozilima da se pune u objektu</li> </ul>
<b>Način primjene i rada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Često se preporučuje kombinacija prve i druge razine kako bi zadovoljili sve korisnike, uz najniže troškove</li> <li>• Razmatranje brzog punjenja za lokacije sa velikim prometom</li> <li>• Vlasnik punionice može odrediti naknadu za punjenje kako bi nadoknadio troškove</li> </ul>
<b>Plan implementacije</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anketiranje zaposlenika o interesu za punjenje EV-a. Rezultati anketa smatraju se kao pomoć pri odredbi broja potrebnih stanica za punjenje</li> <li>• Odabir mjesto(a), idealno blizu izvora napajanja</li> <li>• Odabir opreme ili rad s izvođačem po izboru</li> <li>• Dobiti odobrenje sa strane vlasnika nekretnine</li> <li>• Provjera zahtjeva općinske dozvole</li> <li>• Angažiranje izvođača radova za dovršetak instalacije</li> </ul>

#### 4.1. Proces izgradnje javne punionice

Proces izgradnje javne punionice započinje sa prethodno definiranim, prikupljenim te obrađenim podacima. Glavni korak jest sami priključak na distribucijsku mrežu, koji predstavlja fizički spoj planirane punionice na distribucijsku mrežu, zajedno sa mjernom opremom te obračunskim mjernim mjestom. Obračunsko mjerno mjesto, prema definiciji je mjesto u mreži na kojem se pomoću brojila i ostale mjerne opreme mjere parametri električne energije radi obračuna, a koje je u pravilu mjesto isporuke električne energije. Dodatno, obračunsko mjerno mjesto jest mjesto definiranja vlasništva električnog sustava, pri čemu je operater sustava zadužen za cjelokupnu konstrukciju do obračunskog mjesta, te korisnik mreže ili dodijeljeni operater vlasnik ostatka sustava. Zadatak operatera sustava jest vanjski dio priključka, koji se odnosi na konstruiranje i/ili spajanje voda od mjesta priključenja u mreži do priključnog ormara objekta. Unutarnji priključak odnosi se na konstrukciju i spoj voda od priključnog ormara do mjernog mjesta te ostatka objekta, za koji je zadužen investitor, zajedno sa troškovima vanjskog priključka. Priključci objekta podijeljeni su na jednostavne te složene priključke. Jednostavni priključak je prema definiciji priključak na niskonaponsku distribucijsku mrežu za koji nije potrebno stvaranje tehničkih uvjeta u postojećoj mreži, te se karakterizira kao jednostavna građevina. Složeni priključci su svaki priključci za koje je potrebno dodatno stvaranje tehničkih uvjeta unutar postojeće mreže. Koraci u stvaranju složenog i jednostavnog priključka električnih punionica prikazani su na sljedećim slikama.



**Slika 4.1.1.** Prikaz jednostavnog priključka punionice [5]

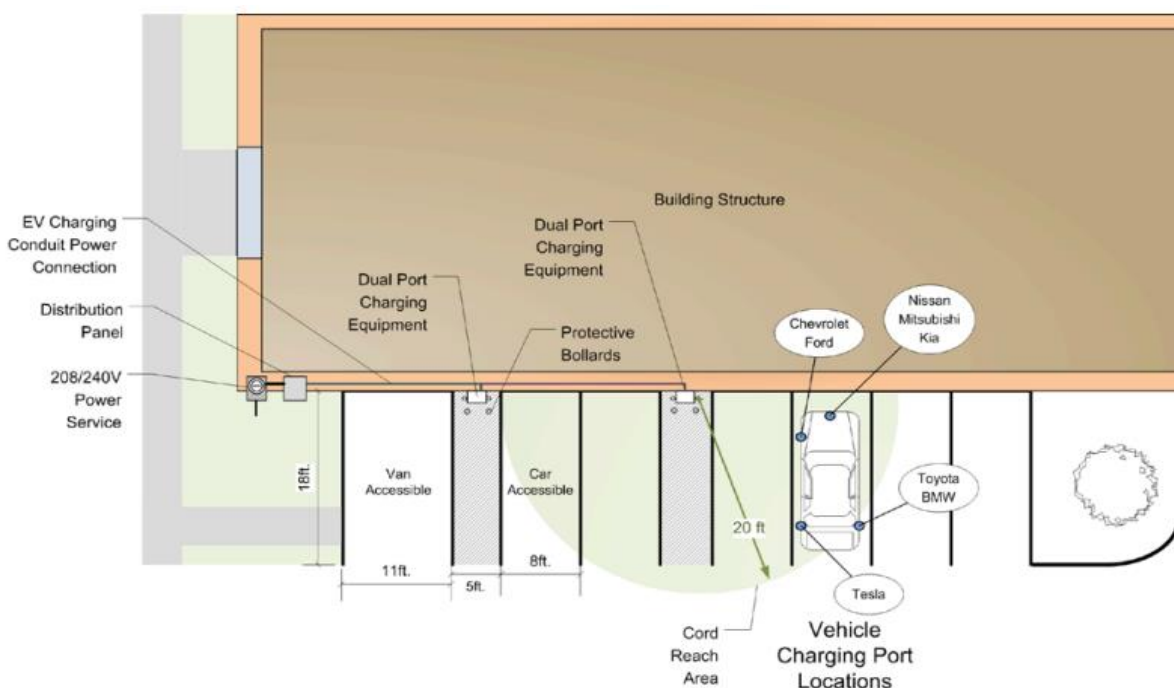


**Slika 4.1.2.** Prikaz složenog priključka punionice [5]

Za priključenje punionice električnih vozila potrebno je ostvariti elektroenergetsku suglasnost te zadovoljiti posebne uvjete građenja. Prilikom izdavanja zahtjeva za priključenjem nove građevine te promjene na priključku trenutnog obračunskog i mjernog mjesta, HEP ODS izdaje prethodnu elektroenergetsku suglasnost. Dodatno, HEP ODS sklapa ugovor o priključenju sa korisnikom mreže u kojem se definiraju odnosi korisnika i HEP ODS-a sa svrhom izgradnje priključka. Kako bi se započeo proces realizacije priključka potrebno je sklopiti ugovor o priključenju te podmiriti minimalno 50% iznosa naknade priključenja. Prethodna elektroenergetska suglasnost izdaje se prilikom postupka izdavanja posebnih uvjeta za građenje, te se izdaje iznimno vlasniku građevinskog objekta za kojeg se traži priključak ili investitoru sa pravom građenja, te se izdaju za potrebe izrade glavnog projekta. Za već postojeće korisnike mreže, prethodna elektroenergetska suglasnost izdaje se u svakom slučaju promjene priključka, promjene priključne snage, promjene kategorije objekta, promjene mjerne opreme te spajanja obračunskih mjesta. Za dobivanje prethodne elektroenergetske suglasnosti potrebno je ispuniti obrazac dostupan na HEP-ovim stranicama sa tehničkim i općim podacima, npr.: osnovni podatci investitora, podatci o građevini, elektroenergetski tehnički podatci o građevini zajedno sa idejnim rješenjem ili idejnim projektom građevine. Za posebne uvjete građenja potrebno je primarno utvrditi njihovu postojanost prema projektnoj dokumentaciji uz prethodni zahtjev za PEES. Za posebne uvjete potrebno je ucrtati postojeću i planiranu distribucijsku mrežu, te ovisno o vrsti planirane mreže (nadzemna ili podzemna) potrebno je slijediti određeni pravilnik prilikom izrade glavnog projekta. U slučaju potrebe premještanja infrastrukture uslijed križanja ili približavanja, investitor je dužan izraditi novi ugovor sa HEP ODS-om kako bi se stvorila potrebna dokumentacija i dozvole za potrebna premještanja, zaštite i popravke na mreži, pri čemu radovi moraju biti izvedeni sa strane HEP ODS-a. Nakon izdavanja PEES-i, te sklapanja ugovora o korištenju mreže sa operatorom sustava te ugovora opskrbe, korisnik se priključuje na mrežu.

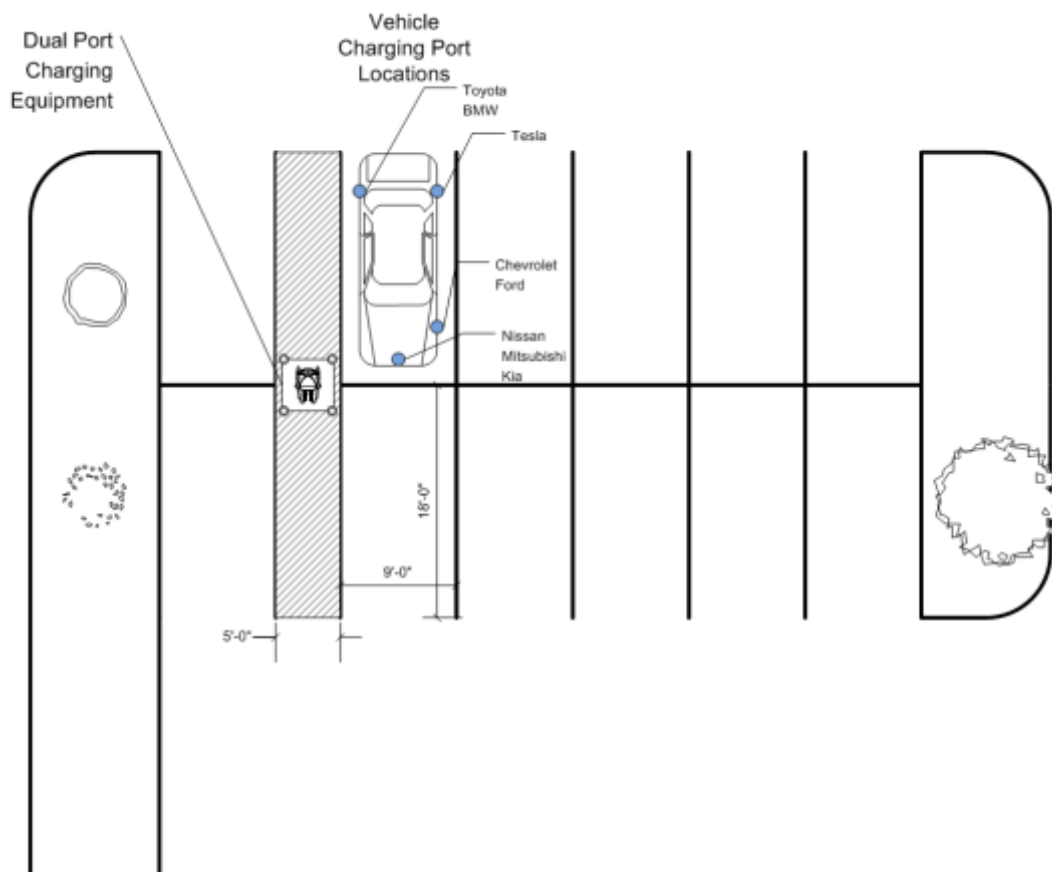
Postoje brojni mogući aranžmani i dizajni za punionice, ovisno o rasporedu parkirališta, dostupnosti priključka struje i drugim razmatranja lokacije. Mnoga EVSE mjesta koriste prometne uspornike kako bi spriječili kontakt vozila s opremom za punjenje, ali oni mogu biti problematični s uklanjanjem snijega. Stupići također mogu pružiti zaštitu za EVSE i preporučuju se iznad prometnih uspornika kako bi se povećala pristupačnost. Uz vrlo ograničenu iznimku, barem jedno parkirno mjesto za punjenje EV-a trebalo bi biti dostupno osobama s invaliditetom.

Većina komercijalnih i javnih mjesta za punjenje električnih vozila bit će smještena na parkiralištima s okomitim parkiranjem za zaposlenike, posjetitelje i kupce. Slika 4.1.3. prikazana u nastavku je primjer zidne instalacije, koja je obično najisplativiji način nabave opreme za punjenje ako konfiguracija parkirnog prostora to dopušta. Troškovi instalacije su smanjeni eliminacijom punjača smještenog na postolju dopuštanjem kraćih vodova duž zidova objekta. Konfiguracija parkirališta prikazuje tipične dimenzije parkirnog mjesta dužine 5 metara te širine 2.5 metara. Dva i pola metara širok prolaz između pristupačnih prostora pruža prostor za manevriranje korisnicima s invaliditetom. Kao što pokazuje područje dosega kabela, ova konfiguracija može opsluživati nekoliko parkirnih mjesta dopuštajući vozačima da parkiraju na odgovarajuća mjesta ili se vrate prema potrebi kako bi osigurali pristup priključku za punjenje vozila.



Slika 4.1.3. Prikaz plana lokacije zidno montirane EVSE opreme [14]

Sljedeća slika prikazuje primjer rasporeda punjenja električnih vozila smještenog u sredini između parkirnih prolaza s iste tipične dimenzije parkirnog mjesta dužine 5 metara te širine 2.5 metara. Ova konfiguracija može služiti za nekoliko parkirnih mjesta ovisno o duljini kabela za punjenje. Lokacije priključaka za punjenje za nekoliko vozila su prikazana na slici.

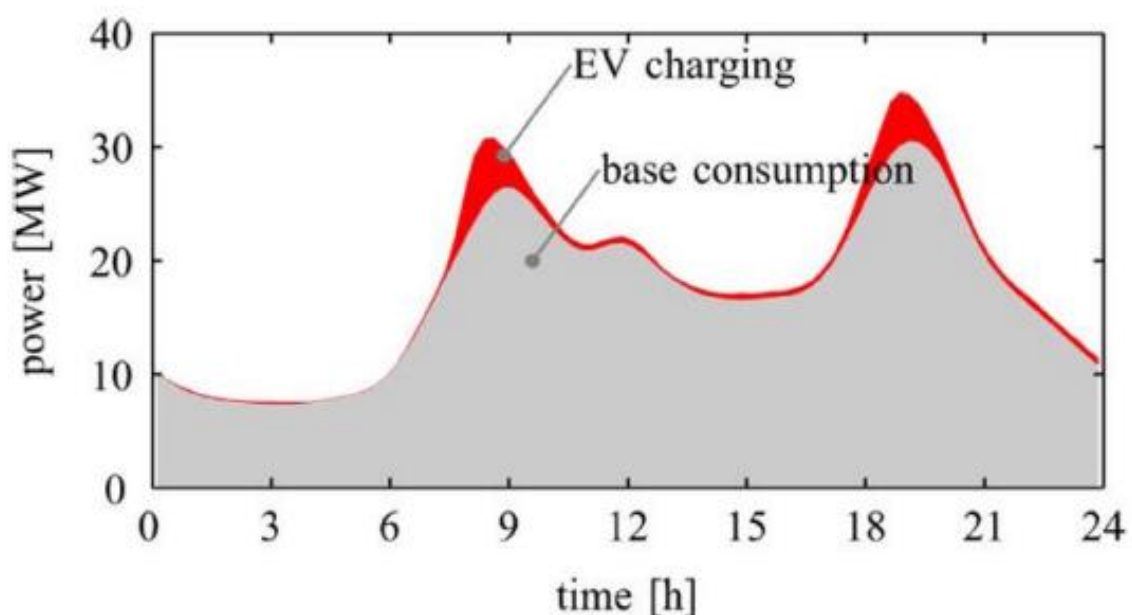


*Slika 4.1.4. Prikaz plana lokacije paralelne izvedbe punionice [14]*

Mnoga prikladna mjesta za punjenje električnih vozila mogu se nalaziti duž skretanja ceste gdje postoji ili se može dodati paralelno parkiranje. Mnoge zemlje instalirale su EVSE uz rub pločnika na takvim lokacijama, međutim ovaj raspored se ne preporučuje ako postoje druge moguće opcije zbog teške konfiguracije rada, zbog načina koji kabele omogućuje pristup višestrukim prostorima, ulaz za punjenje na vozilima može biti teško dostupan, radovi na održavanju ceste mogu oštetiti opremu, te kabele može biti teže konfigurirati za pristup bez pješaka.

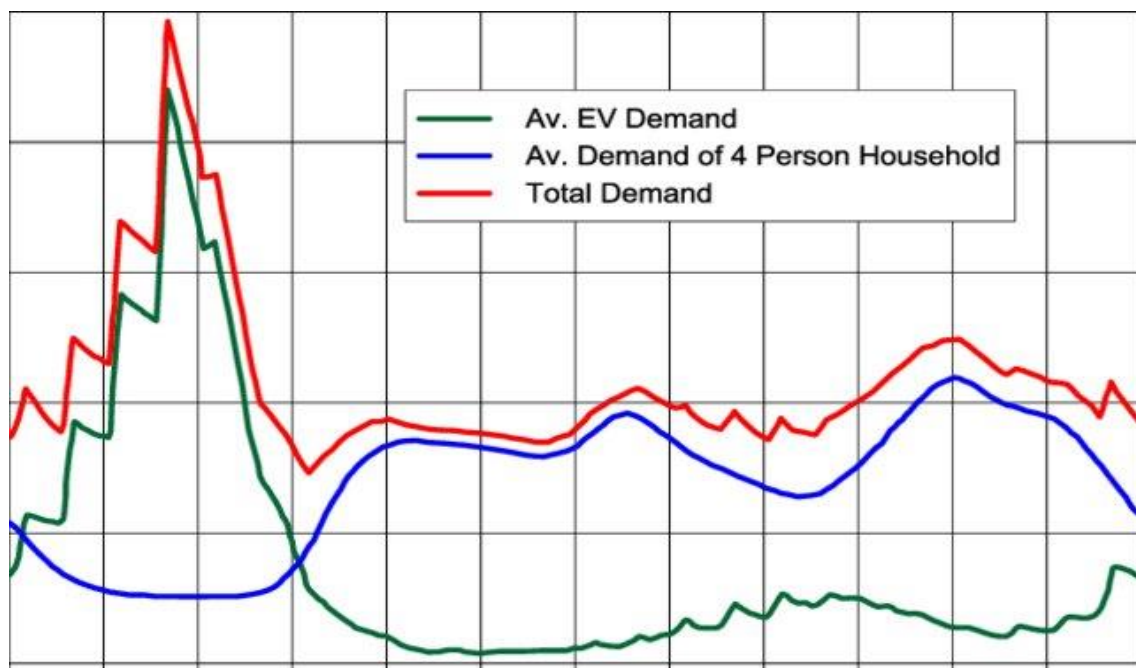
## 4.2. Utjecaj punionica na elektroenergetsku mrežu

Rješavanje pitanja zastupljenosti pojedinih vrsta punionica te pristup povećanja korištenja javnih punionica glavni su čimbenici za investitore i/ili pružatelje usluga punjenja električnih vozila, no temeljni uvjet uspjeha infrastrukture jest distribucijska mreža. Električna vozila priključena na punionicu predstavljaju nelinearna trošila velike snage koja kao takva predstavljaju najveći izazov stabilnosti napona mreže, dodatno vršno opterećenje popraćeno sa višim harmonicima koji sveukupno iziskuju veću proizvodnju električne energije te potrebu za većim kapacitetom mreže. Kako bi se uspješno povećao udio električnih vozila u prometu potrebno je popratno unaprjeđivati infrastrukturu punjenja vozila, što podrazumijeva primarno komponente distribucijske mreže i zatim prijenosne mreže. Trenutni problem proizlazi iz pristupa prema električnim vozilima koja ne predstavljaju značajan udio u prometu, te time se ne obazire na unaprjeđenje sustava punionica. Sa stajališta elektroenergetskog sustava javljaju se problemi sa rezervom energije u sustavu, nedovoljnim trenutnim presjekom vodova te kablova srednje naponske te nisko naponske razine kako bi zadovoljio povećanje opterećenja priključka električnih vozila, problemi uz poddimenzioniranost SN i NN transformatorskih stanica, problem načina integracija obnovljivih izvora energije zajedno sa lokacijama punionica, te i dalje zastarjeli pristup prilikom planiranja i proširenja elektroenergetske mreže koji punionice električnih vozila ne uzima kao dodatni faktor.



Slika 4.2.1. Prikaz dodatnog opterećenja u mreži uslijed punjenja EV-a

Trenutno, prema podacima iz 2020. otprilike 75% punjenja električnih i hibridnih vozila vrši se na „kućnim“ priključcima. Razlog ovome pristupu punjenja jest primarno iz stajališta jednostavnosti i pristupačnosti, no proizlazi iz nespремnosti skoro svih dijelova e-mobilnosti prilikom početne pojave električnih i hibridnih vozila na tržištu. Punjenje vozila na „kućnim“ priključcima predstavlja problem u priključku na distribucijsku mrežu jer kućanstva nisu planirana za takvu vrstu trošila. Dodatni, veći problem se javlja pri simultanom punjenju većeg broj vozila unutar ulice ili naselja koja su spojena na istu transformatorsku stanicu. Rezultat takve situacija odražava se na preopterećenje transformatora te vodova i kablova spojenih zbog nedovoljne dimenzije, te smanjenja kvalitete napona zbog većeg broja nesimetričnih trošila. Trenutno, najbolji pristup kućnom punjenju jest punjenje izvan vremena vršnog opterećenja, točnije prilikom jeftinije noćne tarife, čime se rasterećuje distribucijska mreža te postiže veći stupanj ravnomjernije raspodjele opterećenja. Pri punjenju na javnim punionicama situacija je drugačija. Javne punionice predviđene su za mnogo veće snage, često razine 50kW na više što predstavlja veće opterećenje na mrežu u odnosu na kućne punionice sa stajališta zahtjeva energije. No javne punionice, kao i svaki objekt prethodno je planiran te projektiran kako bi se priključio na mrežu te osigurao dovoljni kapacitet, te izvršen putem vodova i opreme adekvatne veličine. Kako bi se osigurao stabilan rad punionice, bez interferencije na ostatak mreže zbog nesimetričnog opterećenja, potrebno je projektiranje filtera kako bi se postigla potrebna kompenzacija jalove snage te stabilnost napona.



**Slika 4.2.2.** Prikaz opterećenja prilikom kućnog punjenja



#### 4.2.1. Utjecaj punionica na komponente distribucijskog sustava

Nelinearna opterećenja, kao što su punjači i punionice EV-a, mogu izazvati probleme s kvalitetom električne energije unutar distribucijskih vodova, što bi zauzvrat moglo skratiti životni vijek komponenti. Odnos snaga P-Q mjera je kvalitete električne energije koju pružatelj usluga opskrbe energije daje svojim kupcima. Odnos reaktivne snage je neophodna stavka jer se očituje kroz odstupanja u veličini napona, problemi s kontinuitetom opskrbe energijom ili kroz prijelazne napone i struje. Odnos reaktivnih snaga također obuhvaća harmonijsko izobličenje, DC odmicanje, fazni disbalans i odstupanja napona. Od posebnog su interesa harmonijske struje budući da one mogu utjecati na vijek trajanja magnetskih komponenti kao što su distribucijski transformatori i mjerni transformatori. Harmonijsko izobličenje je odstupanje valnog oblika struje ili napona iz savršenog sinusoidnog oblika. Utjecaj harmonijskog izobličenja na komponente distribucijskog sustava može biti štetan za ispravan rad elektroenergetskih sustava. Harmonijsko izobličenje dodatno može utjecati na opterećenja u blizini mjesta disbalansa, posebno na uređaje energetske elektronike i motore. U slučaju nelinearnih opterećenja, kao što su EV punionice, dolazi do izobličenja struje zbog upotrebe tranzistorskih prekidača energetske elektronike za pretvaranje energije iz izmjenične u istosmjernu.

Za izračun harmonijskih utjecaja na naponske i strujne veličine koriste se THD i TDD. THD (eng. Total Harmonic Distortion) predstavlja mjeru poremećaja valnih oblika napona ili struje uslijed djelovanja harmonika, te se najčešće koristi kao pokazatelj kvalitete električne energije u elektroenergetskim sustavima. Prilikom određivanja THD-a za potrebe punionica potrebno je višestruko mjerenje THD faktora uslijed promjene profila punjenja (CC pa zatim CV) zbog promjene kuta upravljanja energetske elektronike punjača. Dodatno, mora se uvažavati stavka da THD predstavlja omjer harmonijskog udjela u odnosu na osnovni harmonik, te se odnosi na harmonijski sadržaj pojedinog tereta, te nije prikaz skupa harmonika unutar sabirnica ili točke sustava. Definicija THD omjera za napon i struju prikazan je u izrazima (4.1) i (4.2).

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1} \quad (4.1)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (4.2)$$

Gdje je:

$h$  : red harmonika

$U_1$  : efektivna vrijednost napona osnovnog harmonika

$I_1$  : efektivna vrijednost struje osnovnog harmonika

$U_h, I_h$  : efektivna vrijednost h-tog reda harmonika

Iz gore navedenih formula može se uočiti da broj harmonika za razmatranje THD-a započinje sa drugim redom, pri čemu je nulti harmonik istosmjerna komponenta te prvi harmonik osnovna komponenta. Najveći utjecaj izobličenja prenose harmonici višekratnika broja 3, zbog pojave toka struje u neutralnom vodiču. No uzimajući THD kao osnovni pokazatelj mjere izobličenja nije pouzdana metoda, iz razloga što se pregledava omjer efektivnih vrijednosti svih harmonika viših redova sa efektivnom vrijednosti harmonika na osnovnoj frekvenciji, što može rezultirati sa velikim iznosom THD-a pri malim iznosima struje zbog velikog stupnja izobličenja. Iz tog razloga primjenjuje se TDD mjera. TDD (eng. Total Demand Distortion) je mjera proizašla iz THD-a, pri čemu se omjer svih harmonika vrši prema najvećoj mjerenoj vrijednosti osnovne komponente struje unutar određenog mjernog vremenskog intervala. Izraz za proračun TDD-a prikazan je na formuli (4.3).

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L^2} \quad (4.3)$$

Gdje je:

$h$  : red harmonika

$I_h$  : efektivna vrijednost h-tog reda harmonika

$I_L$  : najveća mjerena struja pri osnovnoj frekvenciji

Problemi stvoreni u distribucijskoj mreži uslijed djelovanja harmonika punionica rješavaju se ugradnjom filtera harmonika, pri čemu razlikujemo pasivne i aktivne filtere. Glavna funkcija pasivnog filtra je prigušivanje harmonijske struje koja teče u sustavu na temelju odabrane frekvencije ili pojas frekvencija. Impedancija filtra je vrlo niska kako bi se omogućio pad harmonika u filteru. Jednostruko podešeni filter najzastupljeniji je tip filtra koji se koristi protiv harmonijskog utjecaja, posebno u industrijskom području, sa paralelnom vezom na izvor harmonika. Aktivni filteri su zapravo elektronski pretvarači koji pomoću mjernog transformatora dobiva informaciju o harmonijskom sadržaju struje tereta, te na temelju analize harmonijskog sadržaja injektira potrebnu struju za poništavanje harmonika prema teretu. Za pasivne filtere, četiri jedinice pojedinačnih podešenih filtara smatraju se jednim skupom filtara koji može eliminirati četiri frekvencije kao što je prikazano na slici 4.2.1.1. . Jednadžbe (4.4) do (4.6) koriste se za izračun komponenti kondenzatora, induktiviteta i otpora. Kondenzator se izračunava na temelju ubrizgane reaktivne snage i napona na toj sabirnici, dok induktivitet i otpor se temelje na odabranim harmonicima koje je potrebno smanjiti. Četiri seta filtara koristi se za eliminiranje 3., 5., 7. i 9. reda harmonika u mreži u nekoj od prikazanih konfiguracija.

$$C_{filter} = \frac{Q}{2\pi f V^2} \quad (4.4)$$

$$L_{filter} = \frac{V^2}{2\pi f n^2 Q^2} \quad (4.5)$$

$$R_{filter} = \frac{V^2}{n Q^2} \quad (4.6)$$

$$Q_f = \frac{2\pi f L}{R} \quad (4.7)$$

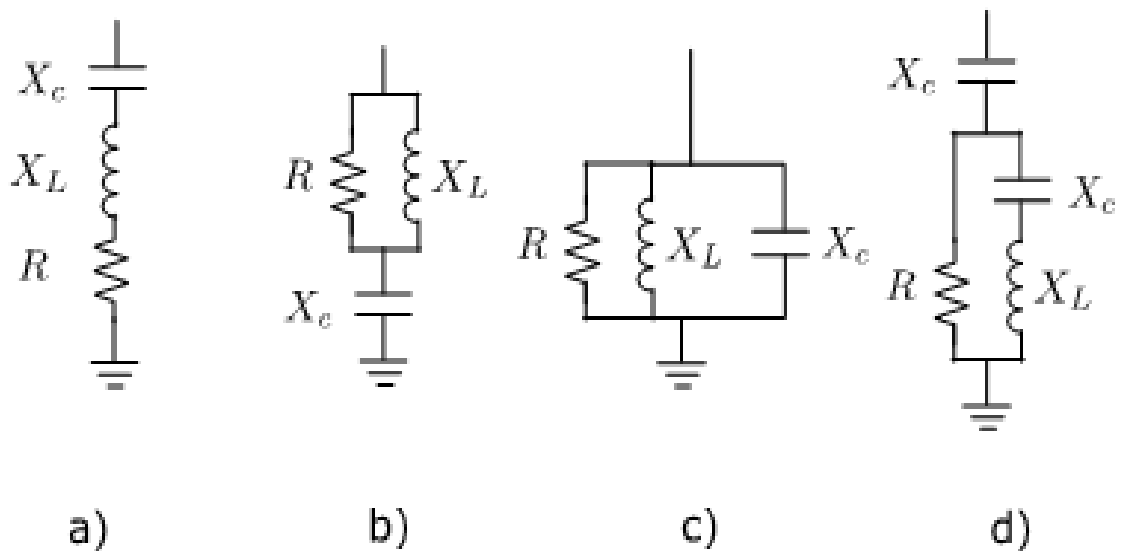
Gdje je:

$Q$  : Injektirana reaktivna snaga filtera

$V$  : Napon sabirnice na koju je filter priključen

$n$  : Određeni red harmonika (točka podešavanja filtra)

$Q_f$ : Faktor kvalitete (raspon djelovanja filtra)



Slika 4.2.1.1. Konfiguracije pasivnih filtera a) Serijski b) Visoko-propusni  
c) Pojasno-propusni d) C-tip

Neparni harmonici				Parni harmonici	
Nisu višekratnici broja 3		Višekratnici broja 3			
Red h	Relativna amplituda $u_h$	Red h	Relativna amplituda $u_h$	Red h	Relativna amplituda $u_h$
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,4 %	6	0,5 %
13	3,0 %	21	0,3 %	8	0,5 %
17 ... 49	$2,27 \cdot (17/h) - 0,27$	27 ... 45	0,2 %	10 ... 50	$0,25 \cdot (10/h) + 0,25$

Slika 4.2.1.2. Dozvoljene razine harmonika prema normi IEC 61000-2

Gubitci transformatora uslijed djelovanja viših harmonika definiraju se kao  $I^2R$  gubitci, koji su posljedica gubitaka u namotajima uslijed djelovanja harmonijskih struja višeg reda. Gubitci u namotajima mijenjaju se proporcionalno sa kvadratnom vrijednosti struje opterećenja uslijed djelovanja harmonijske komponente. Rezultanto, transformator će trošiti više energije nego što je predviđeno, smanjujući njegovu učinkovitost. Uz gubitke u namotima, harmonici induciraju dodatne vrtložne struje i gubitke histereze u transformatorskim jezgrama. Gubitci uslijed vrtložnih struja i histereze uzrokuju iznimno visok porast temperature unutar transformatora, što značajno utječe na izolaciju transformatora, te time i životni vijek. Gubitci histereze i vrtložnih struja ovisni su o frekvenciji, proporcionalno promjeni  $f$  i  $f^2$ , što znači da će se viši redovi harmonika značajno odraziti na gubitke. Prikaz djelovanja harmonika na transformator može se izračunati i iskazati putem K- faktora.

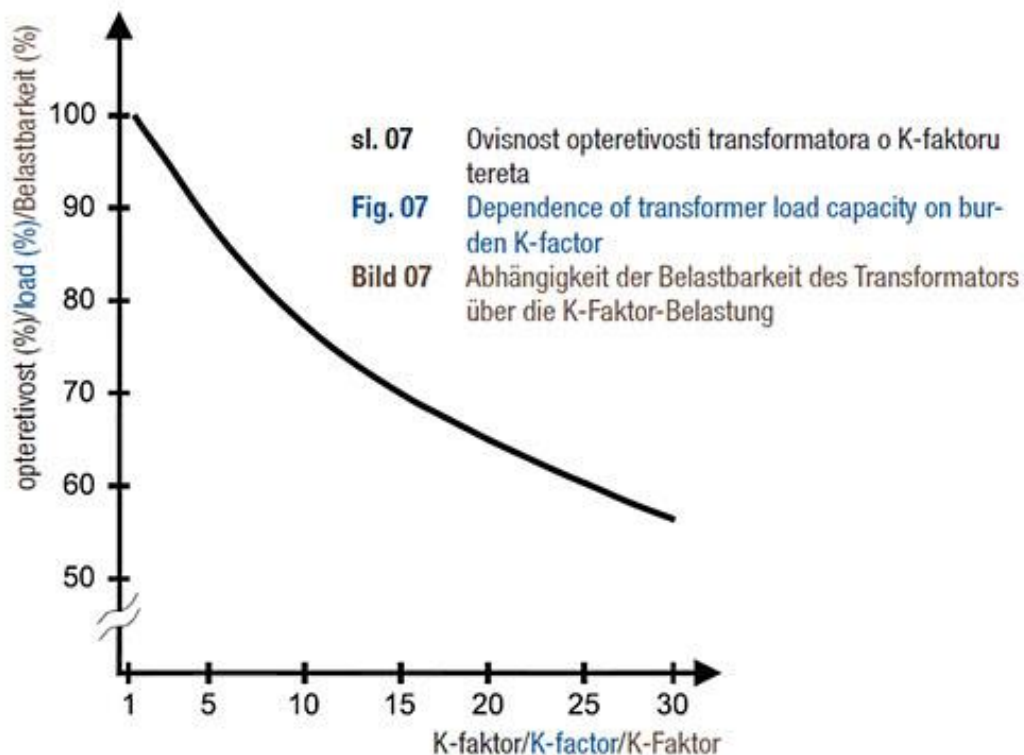
K-faktor je mjera utjecaja viših harmoničnih članova u struji na transformator, te se fizički prikazuje kao zagrijavanje transformatora te gubitci. Putem K-faktora vrši se proračun smanjenja snage transformatora uslijed dodatnih gubitaka, dok pri projektiranju novog transformatora određuje se povećanje snage kako bi transformator zadovoljio 100%-tno opterećenje. Što je niži K-faktor transformatora, to je priključeno teret linearnije karakteristike te nema pojave opterećenja viših harmonika. Sa povećanjem K-faktora javlja se sve viši udio viših harmonika, te time i povećani gubici. Izračun K-faktora prikazan je u izrazu (4.8).

$$K = \sum (I_h)^2 \times h^2 \quad (4.8)$$

Gdje je:

$h$  : red harmonika

$I_h$  : efektivna vrijednost h-tog harmonika (p.u.)



Slika 4.2.1.2. Ovisnost opteretivosti transformatora o K-faktoru

Prilikom projektiranja, transformatori su građeni za određeni K-faktor te kao takvi mogu se opteretiti sa trošilima predviđenim za postizanje projektiranog K-faktora ili niže vrijednosti.

Gubici u kabelima uslijed djelovanja harmonijskih komponenti manifestiraju se primarno kao zagrijavanje uslijed  $I^2R$  gubitka. Povećana disipacija snage unutar vodiča rezultat je pojave „skin“ efekta i efekta blizine, koji rezultiraju u povećanju otpora unutar vodiča zbog djelovanja polja te pad napona. Obje pojave uzrokuju povećanje otpora voda koje je proporcionalno frekvencijama harmonijskih komponenti.

Releji, sklopni uređaji i mjerna oprema također reagiraju na negativni utjecaj harmonijskih struja. Relejni sklopovi pod utjecajem harmonijskih struja imaju sporije djelovanje te moguće nepravilan rad uslijed krivog očitavanja vršne vrijednosti i/ili kuta ulazne vrijednosti. Operacije osigurača mogu biti komprimirane što rezultira u preranoj proradi uslijed dodatnog  $I^2R$  zagrijavanja. Kako bi spriječili neželjeno djelovanje opreme, potrebno je prilagoditi opremu na način da djeluje i mjeri samo osnovne harmonike ulazne veličine.

Kako bi smanjili negativne utjecaje punjenja električnih vozila na mrežu te omogućili efikasniji način punjenja postoji par mogućnosti. Prva od mogućnosti jest primjenjivanje strategije punjenja, poput sljedećih:

- Punjenje malom snagom

Punjenje malom snagom jest najosnovnija strategija punjenja električnih vozila. Pristup punjenja malom snagom omogućava punjenje vozila bez značajnog utjecaja na opterećenje mreže te niskom cijenom. Ovakav pristup jest nekontrolirani način punjenja, no zbog niskog zahtjeva za električnom energijom, ne iziskuje velika ulaganja u infrastrukturu.

- Punjenje prema redu dolaska (eng. First come, first serve)

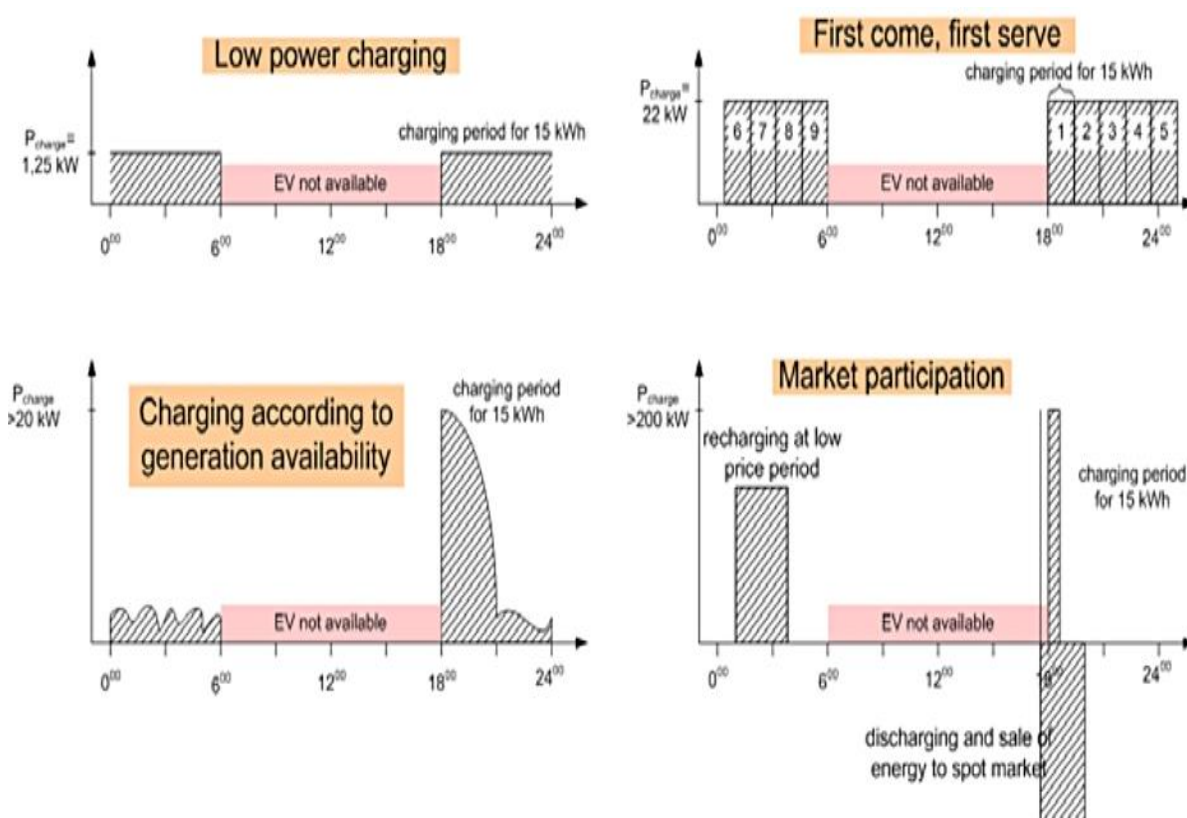
Punjenje prema redu dolaska jest najpopularnija strategija punjenja sa strane korisnika punionica. Strategija se temelji na principu da korisnik odabire njemu prikladnu punionicu po unaprijed poznatoj cijeni punjenja, te odabire željenu količinu energije koja će se isporučiti. Sami naziv „punjenje prema redu dolaska“ opisuje način rada, korisnik koji je najprije odabrao vrstu punjenja i količinu energije ima pravo reda nad ostalima, te nakon ostvarenja željenog punjenja mora prepustiti korištenje punionice sljedećem korisniku. Ovakav pristup javnom ili polu-javnom punjenju omogućuje bolje planiranje i organizaciju sa strane korisnika te daje informacije o budućem opterećenju sustava na toj točki mreže.

- Punjenje prema dostupnosti i/ili cijeni energije

Korisnici punionica sa dvotarifnim brojilom ostvaruju najekonomičniji pristup punjenju svojih vozila. Za vrijeme trajanja veće tarife, korisnici izbjegavaju punjenje kako bi ostvarili punjenje na nižoj tarifi, time znatno smanjili troškove. Ovakav pristup je najzastupljeniji prilikom kućnog punjenja, te se prikazuje kao pogodan za korisnike te pružatelje usluga opskrbe električnom energijom zbog linearizacije krivulje opterećenja koja rezultira u manjoj potrebi za regulacijom generatora.

- Sudjelovanje na tržištu (eng. Market participation)

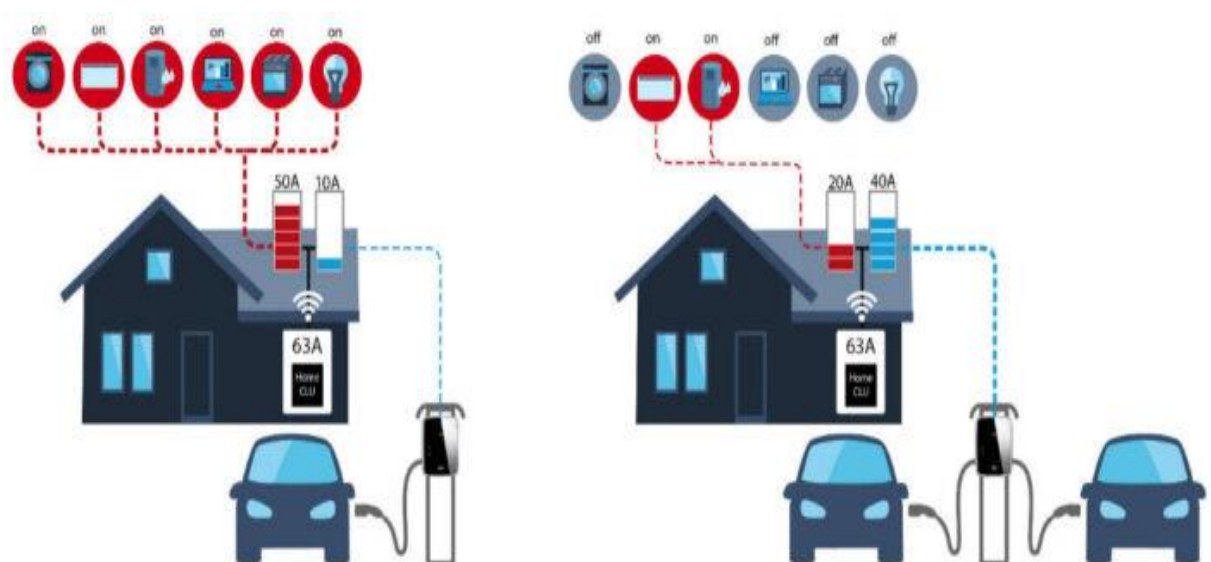
Sudjelovanje na tržištu jest strategija budućnosti, te predstavlja novi koncept u e-mobilnosti. Ideja iza navedene strategije jest neutralizacija negativnih utjecaja velikih brojeva električnih vozila integriranih u električnu mrežu, na način da se promjene infrastrukture mreže svode na najnižu moguću razinu. Strategija radi na principu da korisnici punionica ostvaruju mogućnost razmjene viška električne energije iz baterije vozila u mrežu, ostvarujući povrat novca prema prethodno zadanoj tarifi. Spajajući ovakvu strategiju punjenja sa punjenjem prema dostupnosti energije, ostvaruje se najekonomičniji oblik punjenja.



Slika 4.2.3. Primjer svih strategija punjenja



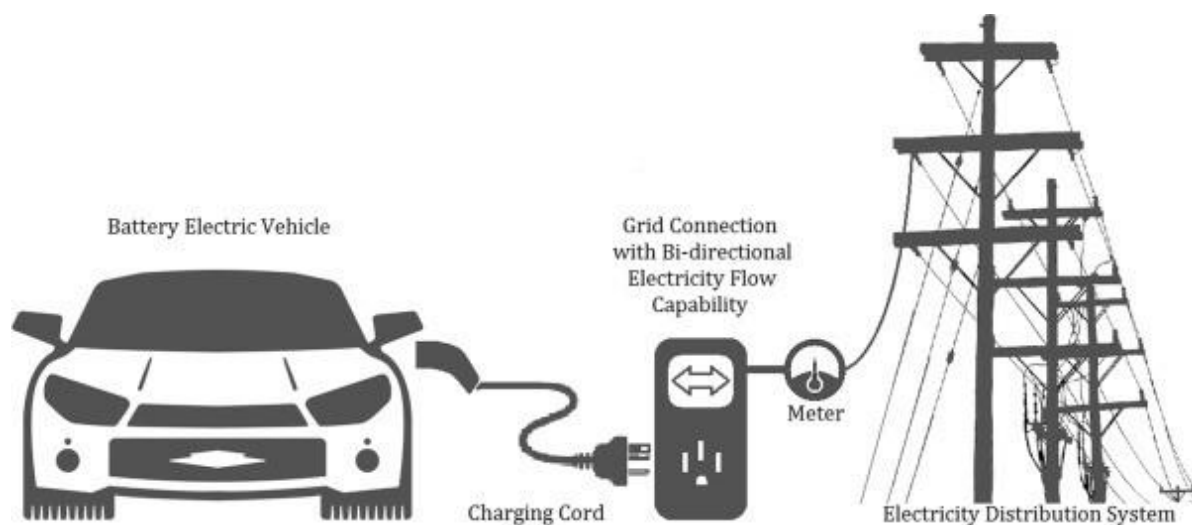
Sljedeća mogućnost ostvarivanja efikasnijeg oblika punjenja jest dinamičko balansiranje opterećenja. Dinamičko balansiranje opterećenja jest sustav koji stalno prati promjene opterećenja objekta i automatski raspodjeljuje raspoloživi kapacitet energije različitim uređajima. Uravnotežuje potrošnju energije i prilagođava snagu punjenja električnom automobilu kao odgovor na promjene u opterećenju električnom energijom. Na primjer, ako su perilica rublja, sušilica rublja i električni automobil povezani u isto vrijeme, dinamičko balansiranje opterećenja može odlučiti ako će zaustaviti ili usporiti proces punjenja električnog automobila kako bi se oslobodio kapacitet za druge uređaje. Nakon što se isključe, punjač nastavlja ili povećava brzinu punjenja. Ovo također vrijedi za više električnih automobila i punjenje na istom priključku. U tom slučaju dinamičko balansiranje opterećenja automatski raspodjeljuje dostupnu energiju između dva vozila ili daje prioritet jednom od električnih automobila na temelju stanja baterije ili zadane preferanse. U drugom scenariju, dinamičko balansiranje opterećenja će usmjeriti više snage na jedan od električnih automobila, dok će usporiti ili zaustaviti punjenje za drugi dok više energije ne postane dostupno. Rezultat korištenja sustava za balansiranje jest eliminacija preopterećenja instalacije, fleksibilnost uporabe te mogućnosti modifikacije sustava prema potrebi korisnika.



Slika 4.2.4. Prikaz principa rada sustava dinamičkog balansiranja opterećenja

## 5. VEHICLE TO GRID SUSTAV (V2G)

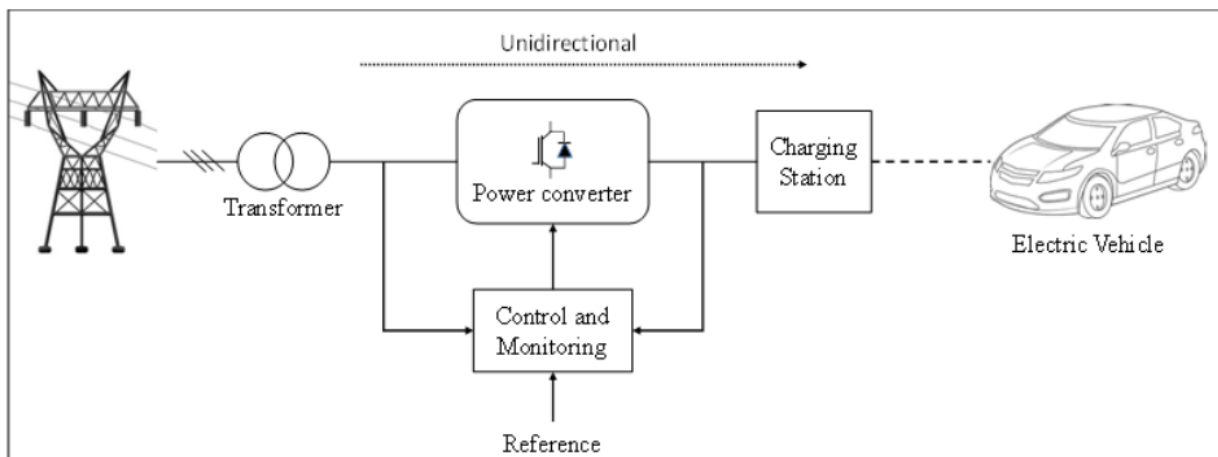
Primjer primjene strategije punjenja sudjelovanja na tržištu jest V2G sustav, pri kojem korisnici punionica mogu sudjelovati kao kupac i prodavatelj električne energije. Ovakav sustav proizlazi iz ideje stvaranja održive elektroenergetske mreže, uz održavanje zajedničkog benefita prema korisnicima sustava. Pogledom iz perspektive mreže, sveprisutni i rastući problem sa povećanjem zahtjeva za električnom energijom jest nemogućnost skladištenja veće količine električne energije, što znači da kako bi se održavala stabilnost sustava potrebno je održavati jednaku razinu potražnje i potrošnje. Kako bi osigurali potrebnu razinu rezerve električne energije, predložen je sustav u kojemu korisnici punionica imaju mogućnost razmjene energije sa mrežom, time ostvarujući pogodnu rezervu za elektroenergetski sustav te mogućnost otplate pogodne za korisnike punionica. No za uspjeh ostvarenja dostatne razine rezerve potrebna je značajna količina energije, time i električnih vozila. Sa strane korisnika, potrebna je dodatna koordinacija zbog smanjenja kapaciteta baterije pri predaji energije u mrežu, kako bi se zadržao potrebni domet za preostale potrebe vlasnika vozila. Dodatno, zbog povećanog ciklusa punjenja i pražnjenja baterije, dolazi do degradacije baterija koje su većinski predviđene za 1500 do 2000 ciklusa punjenja te do 250 000 km. Sa daljnjim razvijanjem baterijskih sustava i povećanjem broja električnih vozila u svakodnevnom prometu, V2G sustav predstavlja najjednostavniji i najefikasniji pristup rješavanju problema dodatnih opterećenja i potrebe za energijom, uzimajući u obzir da prosječno vozilo provodi u prosjeku 95% vremena parkirano.



Slika 5.1. Osnovni prikaz V2G sustava [15]

## 5.1. G2V sustav

Prethodno V2G sustavu, može se razmotriti G2V (eng. grid to vehicle) sustav koji predstavlja koncept mreže do vozila, te uključuje pametni raspored punjenja koji kontrolira stopu punjenja baterije za EV, povećanu ili smanjenu kada je to potrebno. To je jednosmjerni protok energije između mreže i električnih vozila. Realizacija G2V sustava je jeftina jer uključuje jednostavan kontroler za upravljanje stopom punjenja. Prosječna osobna vozila na cestama provode samo oko 4-5% dana, što znači da su veći dio dana vozila parkirana. Kako bi se isplaniralo shemu za pravilno dispečiranje električne energije, mrežni operater se mora osloniti da je dovoljno vozila parkirano i da se mogu priključiti u bilo koje doba dana. G2V može pružiti pomoćne usluge mreži kao što su obrtna rezerva i kontrola mreže čime se poboljšava fleksibilnost rada električne mreže. Fleksibilnost rada elektroenergetske mreže značajno je poboljšana zahvaljujući ovim pomoćnim uslugama. Jedan od glavnih zahtjeva za implementaciju G2V je uspostavljanje politika trgovanja energijom između zajmodavaca električnih vozila i elektroprivrede. Kako bi se potaknulo sudjelovanje kupaca, ovaj proces trgovanja trebao bi osigurati prihod za vlasnike električnih vozila kada pune svoje električno vozilo tijekom sati izvan najvećeg opterećenja i smanjiti troškove tijekom sati najveće potrošnje. Osim toga, može se izbjeći preopterećenje elektroenergetskog sustava tijekom vršnih sati. Stoga se G2V implementacijom postiže maksimiziranje profita optimizacijom rada sustava. Međutim, te su usluge ograničene mogućnošću pružanja pomoćnih usluga za napajanje mreže. Funkcije kao što su smanjenje vršnog opterećenja, podrška reaktivne snage, kontrola napona i frekvencije su usluge koje je moguće postići samo s V2G sustavom.



Slika 5.1.1. Prikaz funkcionalnosti G2V sustava [15]

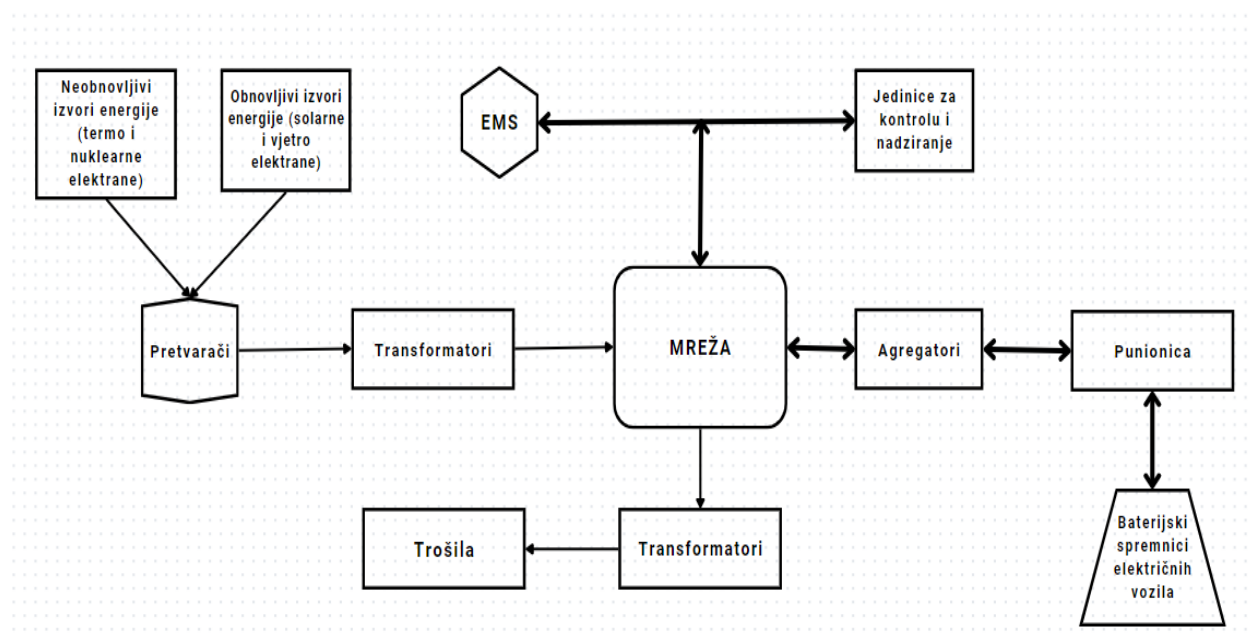
## 5.2. V2G sustav

Vehicle-to-grid (V2G) sustav definira se kao sustav dvosmjernog prijenosa električne energije između ugrađene baterije EV-a i mreže na koju je ono povezano. Omogućujući vozilima da kontroliraju proces punjenja te vrše opskrbu električnom energijom, V2G tehnologija ima cilj ponuditi razne usluge električnim mrežama, dok istovremeno cilja smanjiti degradaciju baterije i neugodnosti za korisnike električnih vozila. Tehnologija od vozila do mreže trebala bi povećati potencijalnu korist od uključivanja električnih vozila u energetske sustave u usporedbi s nekontroliranim punjenjem ili čak s pametnim strategijama punjenja. V2G zahtijeva dodatnu električnu opremu u usporedbi sa standardnim ili pametnim punjenjem, kao što je inverter za pretvaranje istosmjerne izlazne snage iz ugrađene baterije u izmjeničnu za korištenje. Ova oprema za pretvorbu obično je integrirana u EVSE, iako neki proizvođači razmatraju integraciju ove opreme u vozilo. Upravljačke jedinice također su potrebne za učinkovito, pouzdano i sigurno punjenje i pražnjenje baterijskog spremnika, zajedno s komunikacijskim protokolima za upravljanje tim interakcijama s električnim sustavima na koje je vozilo povezano. Prethodno spomenuta razlika koju treba napraviti je ona između V2G i "pametnog" oblika punjenja, također poznatog kao "kontrolirano" punjenje, ponekad pod akronimom G2V. Dok pametno punjenje i V2G mogu daljinski i inteligentno kontrolirati brzinu punjenja baterije, samo V2G tehnologija omogućuje bateriji vozila da razmjeni energiju natrag u sustav. Drugim riječima, dok se V2G sustav može ponašati kao fleksibilni oblik generatora i kao fleksibilno opterećenje, pametno punjenje može se ponašati samo kao fleksibilno opterećenje. Pametno punjenje bilo je prvi pristup uključivanja i optimiziranja događaja punjenja električnih vozila u različite energetske sustave, te kombiniranja tih načina pametnog punjenja s lokalnom proizvodnjom iz obnovljivih izvora, cijenama energije ili predviđenom potražnjom pomoću sustava upravljanja energijom. V2G zahtijeva ove optimizacijske algoritme za daljnji razvoj, oni bi trebali odlučiti kada napuniti ili isprazniti vozilo prateći različite veličine u mreži poput cijene, potražnje energije i potrebe mreže, ali uvijek imajući na umu zahtjeve korisnika za domet iz baterije vozila. Važno je spomenuti da je V2G tehnologija još uvijek uvelike u fazi razvoja i njenu efikasnost u primjeni je potrebno dokazati. Trenutačno na tržištu postoji ograničen broj električnih vozila koja mogu osigurati dvosmjerni protok energije između vozila i mjesta za punjenje. Također postoji ograničena dostupnost EVSE-a i priključaka spremnih za V2G.

Ograničenje vjerojatno proizlazi iz zabrinutosti proizvođača električnih vozila i baterijskih sustava zbog utjecaja V2G sustava na degradaciju baterije, zajedno sa pristupom potencijalnih korisnika sustava koji potencijalno ne vide potrebu za sudjelovanjem u sustavu. Ovo predstavlja problem pristupa usmjeravanja svih sudionika u sustavu e-mobilnosti, od samih vlasnika i korisnika, te naročito proizvođača opreme kada se radi o premještanju tehnologije iz faze istraživanja i razvoja na masovno tržište za dvosmjerne EVSE i EV.



Slika 5.2.1. Prikaz utjecaja G2V i V2G sustava na krivulju opterećenja [15]



Slika 5.2.2. Blok dijagram V2G sustava [15]

Dijelovi blok dijagrama sa slike 5.2.2. objašnjeni su u nastavku:

- Izvori energije – Uključuje obnovljive i neobnovljive izvore energije. Obnovljivi izvori energije uključuju fotonaponske panele (solarna energija), vjetroturbine (energija vjetra). Neobnovljivi uključuje bilo koju elektranu na fosilna goriva i tretira se uglavnom kao elektrana osnovnog opterećenja.
- Trošila – Sustavi koji troše električnu energiju poznati su kao električna opterećenja. Mogu biti stambena, komercijalna, industrijska itd.
- Agregatori i sustav naplate – Agregator je posrednik između električnog vozila (EV) i operatera električne mreže. Oni su odgovorni za upravljanje električnim vozilima kako bi vlasnicima osigurali vlastite narudžbe i povećali profitabilnost elektroenergetske mreže na tržištu električne energije. Agregator, na temelju dobivenih informacija, odlučuje o skupu električnih vozila za naredbu punjenja i pražnjenja. Ove se odluke temelje na regulacijskoj tržišnoj cijeni i referenci regulacije koju su objavili mrežni operator. Postoji samo jedan agregator koji upravlja raznim električnim vozilima s različitih stanica za punjenje. Nakon naredbe iz agregatora dolazi punionica gdje se vozila pune ili prazne prema zahtjevima.
- Jedinice za upravljanje i nadzor – Kako bi se EV-a integrirali u elektroenergetsku mrežu, upravljački uređaji moraju biti stalno nadzirani i kontrolirani od strane administratora elektroenergetskog sustava. Osim toga, administrator također mora stalno nadograđivati infrastrukturu za upravljanje punjenjem i pražnjenjem vozila. Sustav upravljanja energijom (EMS) može se definirati kao skup računalnih alata koje koriste operateri mreže kako bi kontrolirali, pratili i optimizirali performanse sustava za proizvodnju i prijenos električne energije. Također, može se koristiti u malim sustavima poput mikro mreža pomoću SCADA/EMS ili EMS/SCADA računala tehnologija.

### 5.2.1. Usluge V2G sustava

Procesom elektrifikacije prometa postaje obvezno osigurati pomoćne usluge u elektroenergetskom sustavu kako bi se održala pouzdanost mreže, izjednačila potražnja i ponuda te prenijela opskrba električnom energijom od prodavatelja do kupca. Budući da je koncept V2G dvosmjernan, on pruža kvalitetnije pomoćne usluge poput bolje regulacije frekvencije i napona, smanjenje vršne snage, upravljanje opterećenjem i pružanje učinkovitih obrtnih rezerva. Za dvosmjerno napajanje svako vozilo se može koristiti zasebno ili se može spojiti na agregator. Agregator je odgovoran za upravljanje grupom električnih vozila u V2G sustavu sa svrhom opskrbe zahtijevane količine energije. Pomoćne usluge dobivene iz implementacije V2G sustava su sljedeće:

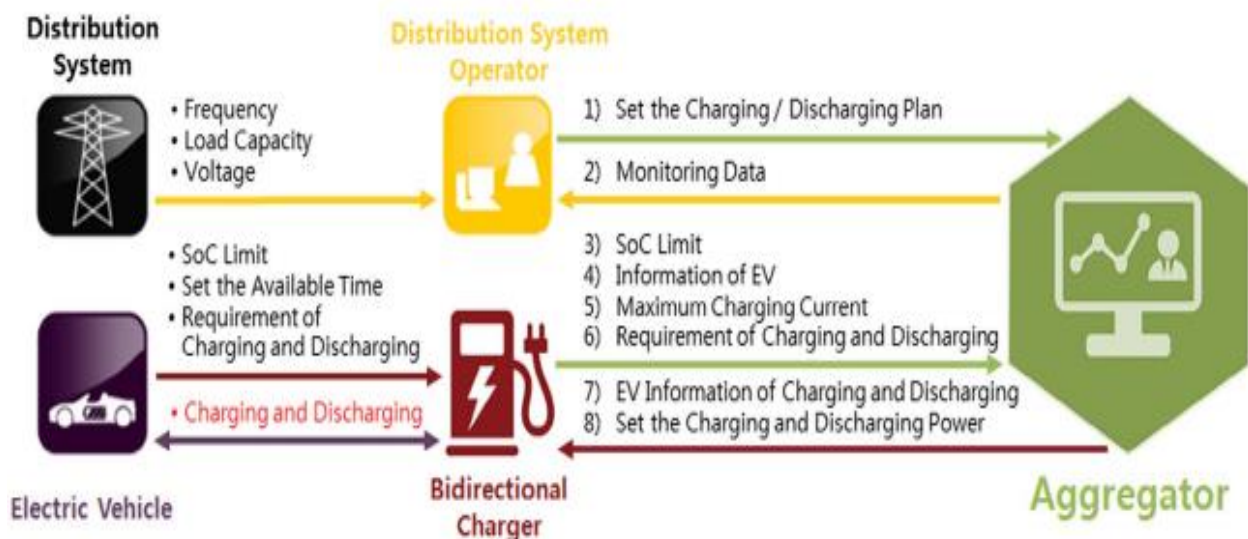
- Regulacija frekvencije i napona – Zbog veće tržišne vrijednosti i manjeg opterećenja sustava za pohranu energije električnog vozila usluga regulacije postaje prvi korak u implementaciji V2G tehnologije. Za postizanje uravnotežene ponude i potražnje djelatne snage usvojena je regulacija frekvencije, a za uravnoteženu ponudu i potražnju jalove snage razmatra se usluga regulacije napona. Zaduženje velikih generatora koristi se za postizanje regulacije frekvencije, no usluga dolazi uz veću cijenu. Brze brzine punjenja i pražnjenja EV baterija čine V2G sustav učinkovitim zamjenom za regulaciju frekvencije. Električna vozila brzo reagiraju na regulacijske signale kojima upravlja svako električno vozilo zasebno. Kontrola napona fiksirana je u punjaču baterija koja pomaže u kompenzaciji induktivne ili kapacitivne jalove snage odabirom odgovarajućeg faznog kuta struje. Za stabilizaciju frekvencije tri vrste regulacije definirane su kao primarna, sekundarna i tercijarna. Tijekom procesa punjenja baterije, osigurava se regulacija padom frekvencije, a kada je potrebna regulacija povišenjem frekvencije, električna vozila su isključena iz punjenja ili osiguravaju napajanje natrag u mrežu.

- Obrtna rezerva – Dodatni proizvodni kapacitet postaje dostupan uključivanjem dodatnih generatora koji su povezani s mrežom i poznati su kao obrtne rezerve, odnosno rezerve su osigurane s mrežnim generatorom koji će trenutno promijeniti izlaz kao odgovor na veće prekide prijenosa. S obzirom na vrijeme zahtjeva, dodatno napajanje je dostupno u kratkom vremenskom roku. Međutim, kapitalni trošak ovih rezervi je veći. V2G integracija rješava ovaj problem ispunjavanjem iznenadnih zahtjeva za napajanjem. U slučaju rotirajućih rezervi, vlasnici električnih vozila plaćaju se za uslugu, kao i za njihovu sposobnost pružanja napajanja tijekom spontanog događaja poput kvara generatora. U slučaju iznenadne vršne potrebe u tvornici ili radnoj stanici, zaposlenici EV će ostati spojeni na mrežu i mogu se pozvati za dodatno napajanje.
- Balansiranje opterećenja i smanjenje vršnog opterećenja – V2G može upravljati opterećenjem vraćanjem energije u mrežu tijekom vršnih sati i punjenjem baterije tijekom van vršnih sati. Predodređeni raspored punjenja i pražnjenja baterije EV pomaže uravnotežiti opterećenje sustava. Smanjenje vršnog opterećenja također nudi dodatne prednosti kao što je smanjenje raznih neželjenih čimbenika kao što su gubici u prijenosu, kašnjenje prijenosa, zagušenja prijenosa, itd. Također pomaže u smanjenju stresnog rada elektroenergetskog sustava, čime se povećava njegova dugovječnost u smislu trajanja. To dovodi do izbjegavanja velikih ulaganja u instaliranje vršnih elektrana.
- Minimiziranje nesigurnosti proizvodnje obnovljivih izvora energije – Kao što je već navedeno, jedna od glavnih prednosti V2G je mogućnost potpore proizvodnje obnovljivih izvora energije. Električno vozilo djeluje kao kontrolirano opterećenje, kako bi zahtijevalo više energije kada je energija iz obnovljivih izvora dostupna, ali nije potrebna u mreži (dakle, izgubila bi se) i osigurava rezervu snage kada obnovljivi izvori ne proizvode energiju, a javlja se potreba za dodatnom energijom. Međutim, ova usluga doprinosi dodatnoj degradaciji baterije, skraćujući njihov životni vijek, što je stoga važan trošak za korisnika. Također, u ovom slučaju pametno punjenje dolazi u pomoć, pokušavajući predvidjeti kada će EV djelovati kao opterećenje ili kao izvor, a zatim prilagoditi profil punjenja kako bi zaštitio bateriju od destruktivnih rutina.



### 5.2.2. Primjer osnovnog algoritma za upravljanje vršnog opterećenja te pametnog punjenja

Implementacija V2G i G2V sustava ne zahtijeva veliku količinu adaptacije u pogledu fizičkih komponenta sustava punionica, pri kojima u „osnovi“ dolazi do zamjene inverterskih jedinica trenutnih punionica sa bidirekcijskim inverterima s popratnom spojnom i mjernom opremom. Glavne komponente koje omogućuju pravilnu funkcionalnost sustava su sustavi za praćenje, mjerenje, verifikaciju svih komponenta distribucijske mreže, počevši od prikupljanja podataka o stanju opterećenja transformatorskih stanica na koje je priključen V2G i G2V sustav te ostale transformatorske stanice unutar distribucijske mreže na koju oni djeluju, stanju opterećenja distribucijskih vodova. Sa prikupljenim informacijama o stanju komponenta distribucijskih vodova, potrebno je razviti algoritam koji uspješno primjenjuje snagu vozila u sustav prema prethodno prognoziranoj krivulji opterećenja za zadani dan. Funkcije monitoringa uveliko bi se olakšala stvaranjem pametne mreže (eng. smart grid) te uvođenjem agregatora sustava u mrežu. Posljednje preostaje pristup stvaranja algoritma, najčešće temeljenog na strojnom učenju ili neuronskim mrežama.



Slika 5.2.2.1. Prikaz razmjene informacija unutar V2G i G2V sustava [11]

Općenito, V2G sustav sastoji se uglavnom od 5 komponenti: distribucijski sustav, operator distribucijskog sustava, agregator, dvosmjerni punjač i električno vozilo. Svaka komponenta razmjenjuje nekoliko informacija kao što su stanje elektroenergetskog sustava (frekvencija, kapacitet prijenosa, napon), broj električnih vozila koja zahtijevaju punjenje ili pražnjenje i stanje napunjenosti. Na kraju bi bila proces punjenja ili pražnjenja započet je na temelju navedenih podataka. Kada EV daje električnu energiju iz baterije do distribucijskog sustava, potrebno je potvrditi stanje punjenja i/ili pražnjenja, a zatim će agregator pokrenuti traženu radnju. Funkcije agregatora unutar sustava su: praćenje stanja napunjenosti za sva vozila, zaprimanje informacije o razini snage iz V2G sustava, zaprimanje informacija o kapacitetu baterije EV-a i slanje signala punjenja ili pražnjenja svakom priključenom EV-u.

Prvi korak u izgradnji algoritma jest definiranje stanje napunjenosti baterije ili SoC. SoC je vrlo važna informacija agregatoru koji mora prikupiti informaciju koliko se energije može koristiti za punjenje ili pražnjenje u distribucijskom sustavu. Jednadžba za izračun SoC električnih vozila u sustavu prikazana je u izrazu (5.1):

$$SoC_{avg} = \frac{\sum_{n=1}^k SoC}{EV_t} \quad (5.1)$$

Gdje je :

$SoC_{avg}$  : prosječni SoC svih električnih vozila spojenih na sustav

$EV_t$  : ukupan broj EV-a u sustavu

$SoC_n$  : SoC pojedinog EV-a u sustavu

Ako električna vozila podijelimo u  $m_{th}$  skupine prema zasebnim skupinama punionicama, izraz (5.1) može se prikazati kao izraz (5.2):

$$SoC_t = \frac{\sum_{m=1}^k (SoC_m \times EV_m)}{EV_t} \quad (5.2)$$

Gdje je:

$SoC_t$  : integrirani SoC svih električnih vozila u distribucijskom sustavu

$SoC_m$  : SoC električnih vozila povezanih u m-tu grupu

$EV_m$  : Broj električnih vozila povezanih u m-tu grupu

Sljedeći korak jest proračun ukupne snage procesa punjenja i pražnjenja. S aspekta elektroenergetskog sustava, praćenje snage punjenja ili pražnjenja iz EV-a ili V2G sustava jedno je od važnih pitanja za stabilan rad distribucijskog sustava. Stoga se ukupna snaga punjenja može izračunati pomoću jednadžbi (5.3) i (5.4).

$$P_{eV}^c = EV_t \times P_{eV} \left\{ 1 - \frac{\sum_{m=1}^k S_o C_m \times EV_m}{EV_t} \right\} \times (S_o C_{max} - S_o C_{min}) \quad (5.3)$$

$$P_{eV}^c = P_{eV} \left\{ EV_t - \sum_{m=1}^k S_o C_m \times EV_m \right\} \times (S_o C_{max} - S_o C_{min}) \quad (5.4)$$

Gdje je :

$P_{eV}^c$  : Ukupna snaga punjenja svih EV-a u kWh

$P_{eV}$  : Snaga punjenja i pražnjenja EV-a u kW

$S_o C_{max}$  : Gornja granica SoC-a

$S_o C_{min}$  : Donja granica SoC-a

Za postavke algoritama donja granica SoC-a postavljena je na 0.1, te gornja granica SoC-a na 0.9 ukupnog kapaciteta baterije kako bi se zaštitila baterija od pretjeranog pražnjenja i prenapunjavanja. Zbog same konstrukcije baterije električnih vozila te degradacije materijala, kao što je prikazano na slici 2.2.4.2 , preporuča se viša donja granica SoC-a od 0.2 . Na sličan način, snaga pražnjenja EV-a može se dobiti putem izraza (5.5) i (5.6).

$$P_{eV}^d = EV_t \times P_{eV} \left\{ \frac{\sum_{m=1}^k S_o C_m \times EV_m}{EV_t} \right\} \times (S_o C_{max} - S_o C_{min}) \quad (5.5)$$

$$P_{eV}^d = P_{eV} \left\{ \sum_{m=1}^k S_o C_m \times EV_m \right\} \times (S_o C_{max} - S_o C_{min}) \quad (5.6)$$

Gdje je:

$P_{eV}^d$  : Ukupna snaga pražnjenja svih EV-a u kWh

Ako je  $S_oC_t$  veći od  $S_oC_{max}$ , to znači da nema prisutnog EV-a za punjenje. Stoga je  $P_{eV}^c$  jednak nuli. Nasuprot tome,  $S_oC_t$  je manji od  $S_oC_{min}$ ,  $P_{eV}^d$  bi bio nula. Posljednji korak jest definiranje inicijalnog  $S_oC$ . U osnovi, sva električna vozila imaju različite uzorke vožnje ovisno o vlasniku električnog vozila. Stoga, početni  $S_oC$  električnih vozila ima različite vrijednosti kada su električna vozila povezana za sudjelovanje u V2G sustavu. Za analizu ove nesigurnosti potrebno je koristiti stohastički pristup. Značenje stohastičke metode korištene je da bi se  $S_oC$  izračunao metodom vjerojatnosti kada su električna vozila spojena na elektroenergetski sustav. Kako bismo primijenili ovaj koncept, koristimo Gaussovu distribuciju i jednadžbe za izračun prikazane su u (5.7) i (5.8).

$$p(\mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \times e^{-\frac{(X-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5.7)$$

$$E_i = \left(1 - \frac{\alpha X}{d_R}\right) \times 100 \text{ [%]} \quad (5.8)$$

Gdje je:

$\mu$  : Prosječna vožena udaljenost

$\sigma$  : Standardna devijacija

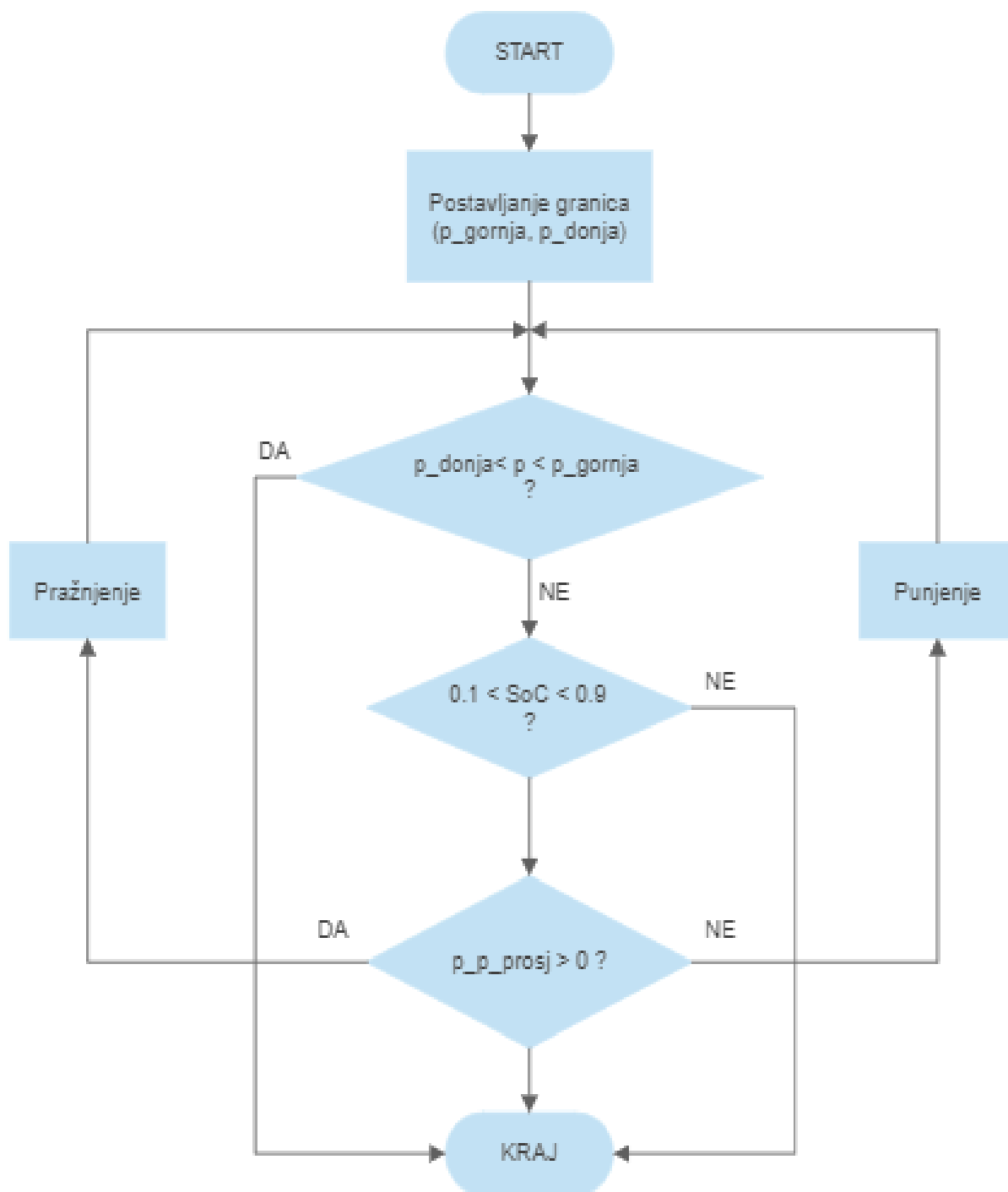
$X$  : Stvarna vožena udaljenost

$E_i$  : Inicijalni SoC

$d_R$ : Maksimalna udaljenost

$\alpha$  : Vrijeme punjenja (Dan, Mjesec)

Prikupljeni i obrađeni podaci provode se kroz algoritam prikazan na slici 5.2.2.2., pri čemu je agregator zadužen za prikupljanje podataka o dnevnom dijagramu opterećenja kako bi se definirale nove varijable p\_gornja, p\_donja i p\_p\_prosj, pri čemu je varijabla p\_gornja odabrana gornja granica opterećenja u dnevnom dijagramu opterećenja, varijabla p\_donja je donja granica opterećenja u dnevnom dijagramu opterećenja te p\_p\_prosjec zadana granica opterećenja pri kojoj se mijenja način rada u V2G ili G2V.



**Slika 5.2.2.2.** Prikaz algoritma V2G i G2V za smanjenje vršnog opterećenja [11]

## 6. NAPLATA USLUGA PUNIONICA

Troškovi instalacije EVSE uvelike variraju ovisno o karakteristikama lokacije i količini i vrsti EVSE-a koja se primjenjuje. Kao i na svaki drugi proizvod, na cijenu također utječe stupanj konkurencije među dobavljačima EVSE-a i sposobnost dobavljača da postignu ekonomiju razmjera u pružanju svojih usluga. Cijene opreme i troškovi instalacije padaju kako EVSE postaje sve rašireniji, s posebno brzim smanjenjem troškova za opremu za punjenje razine 3. Prilikom izrade troškovnika punionice sagledavaju se sljedeće stavke: Priključak na električnu mrežu (uključujući sve komponente električne instalacije do priključka punionice), montaža punionice (različite cijene za zidno postavljene ili podno postavljene punionice), zaštitne cestovne komponente (stupovi i graničnici kotača), oznake i znakovi puta do punionice, rasvjeta, veza sa internetom, dozvole. U tablici 5.3.1. prikazane su prosječne cijene infrastrukture punionica.

Tablica 6.1. Prosječne cijene infrastrukture EVSE-a [14]

	<b>Razina 1 (do 3 kW)</b>	<b>Razina 2 (3 do 6 kW)</b>	<b>Razina 3 (25 do 50 kW)</b>
<b>Cijena opreme [€]</b>	30 – 900	600 – 9,000	15,000 – 60,000
<b>Cijena instalacije [€]</b>	200 – 450	2,000 – 12,000	10,000 – 25,000
<b>Ukupni iznos [€]</b>	230 – 1,350	2,600 – 21,000	25,000 – 85,000

Operativni troškovi EVSE-a uključuju troškove energije za napajanje električnih vozila, troškove stalnih usluga daljinskog nadzora kao i troškove održavanja opreme. Najčešći problem održavanja za EVSE je oštećenje kabela i/ili J1772 konektora. Većina proizvođača ima modularni dizajn opreme koji omogućuje zamjenu oštećenih dijelova, iako CE zahtjevi ponekad uvjetuju zamjenu cijelih modula umjesto pojedinačnih komponenti kako bi se održao certifikat nakon popravaka, posebno za EVSE u vanjskim okruženjima. Operativni troškovi uključuju: troškovi energije, troškovi sustava monitoringa uporabe sustava sa ciljem prikupljanja podataka o vremenu punjenja, broju događaja, kako bi se pomnije odredila naknada sa ciljem povratom troškova na lokacijama punionica te troškovi održavanja, uređenja i osiguranja koji variraju ovisno o vrsti punionice te broju priključka.

Tablica 6.2. Operativni troškovi punionica prema razini [14]

Vrsta troška	Razina 1 (do 3kW)	Razina 2 (3 do 6 kW)	Razina 3 (25 do 50kW)
<b>Električna energija</b>	200 – 800€/god. (ovisno o količini korištenja)	200 – 2,500€/god. (ovisno o količini korištenja)	Vrlo varijabilno, ovisno o vremenu i količini korištenja usluge, do 12,000€/god. za 50kW DC punionice
<b>Sustav monitoringa i naplate (neobavezno)</b>	400€ Jednokratna naplata za monitoring i sustav za naplatu	250€/god : za pristup softveru i mreži za svaki pojedini priključak punionice	250€/god : za pristup softveru i mreži za svaki pojedini priključak punionice
<b>Održavanje sustava</b>	400€/god.	400€/god.	400€/god.
<b>Čišćenje i održavanje površina</b>	<i>Varijabilno</i>	<i>Varijabilno</i>	<i>Varijabilno</i>
<b>Osiguranje</b>	<i>Varijabilno</i>	<i>Varijabilno</i>	<i>Varijabilno</i>
<b>Ukupno</b>	600€+	1,200€+	1,500€+

Kako bi se ostvario veći prihod i ubrzani povrat investicije postoji nekoliko potencijalnih poslovnih modela punjenja električnih vozila koji su sažeti u tablici 6.3., mnogi modeli omogućuju stvaranje većeg prihoda imaju no stvaraju veći administrativnu obvezu.

Tablica 6.3. Načini oporavka troškova punionica [14]

Model oporavka	Opis modela
<b>Pretplata i/ili naknada za usluge</b>	Vlasnik EVSE-a naplaćuje korištenje pojedinačnih stanica ili pristup mreži postaja za određeno vremensko razdoblje. To može biti jednokratna ili mjesečna pretplata.
<b>Prihod temeljen na oglašavanju</b>	EVSE je dizajniran tako da vlasniku omogući zakup prostora za reklamne promidžbe. Može zahtijevati dodatnu kontrolu sa strane lokalnih nadležnih tijela.
<b>EVSE spojen sa proizvodnjom iz OIE-a</b>	Solarne–fotonaponske instalacije mogu nadoknaditi troškove energije za punjenje EV-a putem sustava energetske mreže.

Postoje različiti modeli za generiranje prihoda putem naplate usluga korisnicima EVSE-a. Od modela koji su trenutno u praksi najčešći su model temeljen na članstvu i model plaćanja prema korištenju. Primjer modela pretplate putem članstva i/ili plaćanja usluge korištenja punionice jest pristup kompanije eVgo network kojom upravlja privatna tvrtka za usluge punjenja električnih vozila eVgo i program „Plug-in EVerywhere“ kojim upravlja tekstaško komunalno poduzeće Austin Energy. eVgo nudi planove pretplate od 29,99 do 69,99 dolara mjesečno za instalaciju punjenja razine 2. Operater izbjegava početne troškove instalacije, kao i troškove rada i održavanja, a eVgo zarađuje kroz naknade za naplatu. Program „Plug in EVerywhere“ tvrtke Austin Energy omogućuje korisnicima usluga mogućnost kupnje članstva u mreži javno dostupnih EVSE-a uz naknadu od 5 USD mjesečno ili korištenje EVSE u njihovoj javnoj mreži za punjenje bez pretplate za 2 USD po događaju punjenja uz iskorištenu količinu energije prema prethodno definiranoj tarifi. Model generiranja prihoda putem oglašavanja definiran je zakonom postavljenim sa strane nadležnih tijela, te se najčešće limitira na oglašavanje uz cestovni pristup. Međutim, reklamni znakovi na EVSE-u koji se nalaze izvan vidokruga autoceste namijenjeni kupcima, zaposlenicima i posjetiteljima objekta na kojem se nalazi EVSE mogu biti održiv način generiranja prihoda putem EVSE-a, ovisno o lokalnim propisima o znakovima. Posljednja mogućnost jest integracija solarnih sustava u sustav punionice. Integracija se može vršiti na način da se povrat novca vrši putem predaje proizvedene energije u mrežu prema definiranoj tarifi ili pohranom energije u zasebne baterijske spremnike kako bi EVSE oprema mogla biti neovisna o opskrbi mreže.

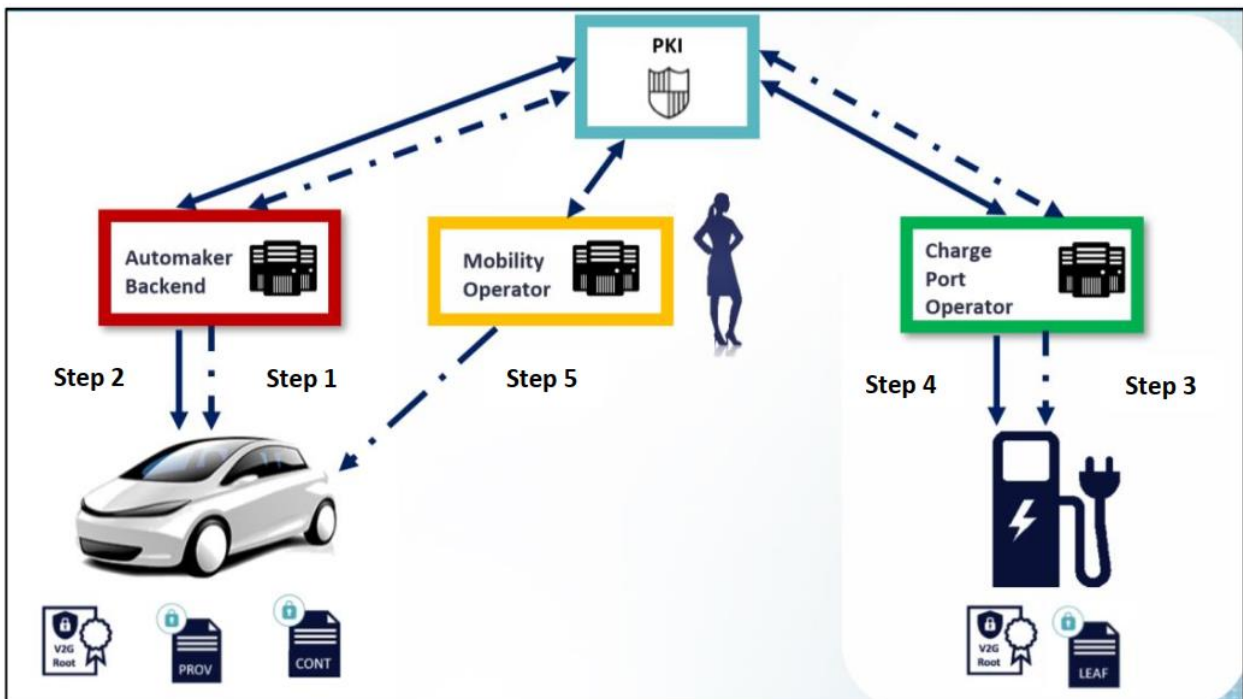


No prilikom izvođenja nezavisnog sustava punionice, potrebno je razmotriti aspekt isplativosti zbog većeg inicijalnog ulaganja u sami sustav koje nose dodatne komponente.

Usluge koje pruža EVSE oprema provode se kroz ISO 15118 standard, koji definira digitalni komunikacijski protokol koji omogućuje sigurnu razmjenu informacija između EV i punionice. Navedeni ISO 15118 standard koristi „Plug&Charge“ (PnC) pristup koji omogućuje vozaču EV-a da puni EV bez potrebe da vozač komunicira sa stanicom za punjenje. PnC pruža poboljšano korisničko iskustvo s jednostavnim pristupom plaćanju bez dodira. Za korištenje PnC autorizacije i tehnologije plaćanja potrebne su dvije stvari: automobil s implementiranim ISO 15118 standardom i registrirani račun za plaćanje. Glavne stavke koje ISO 15118 standard obuhvaća jesu definirane komunikacijske specifikacije i automatizirane autentifikacije i autorizacijske specifikacije. ISO 15118 utvrđuje standarde digitalne komunikacije za sve uključene stranke, omogućujući EV-u i EV stanici za punjenje (EVSE-u) da međusobno komuniciraju, dijele informacije vezane s razmjenom energije i razmjenjuju digitalne certifikate kako bi se osigurala sigurna komunikacija. Automatizirana autentifikacija i autorizacija potvrđuju identitet svake strane u transakciji, omogućuju izvršenje transakcije i omogućuju razmjenu poruka za upravljanje transakcijama između vlasnika EV-a i operatera sustava mobilnosti (MO), te između MO-a te pružatelja usluge energetskeg snabdijevanja. PnC eliminira potrebu da vozač električnog vozila plaća karticom ili aplikacijom, te vozač se jednostavno priključi i punjenje započinje. ISO 15118 podržava četiri načina upotrebe: PnC, pametno punjenje, dvosmjerno punjenje (V2G sustav) i bežično punjenje. Ključ značaja norme ISO 15118 je mogućnost da se osigura sigurna komunikacija između njegovih sudionika. Upotreba digitalnih certifikata ključna je za povjerljivost te za omogućavanje procesa autentifikacije, što je početni dio bilo koje sesije naplate koja se oslanja na standarde ISO 15118.



Slika 6.4. Sudionici u PnC-u sa dodijeljenim sigurnosnim certifikatima [20]



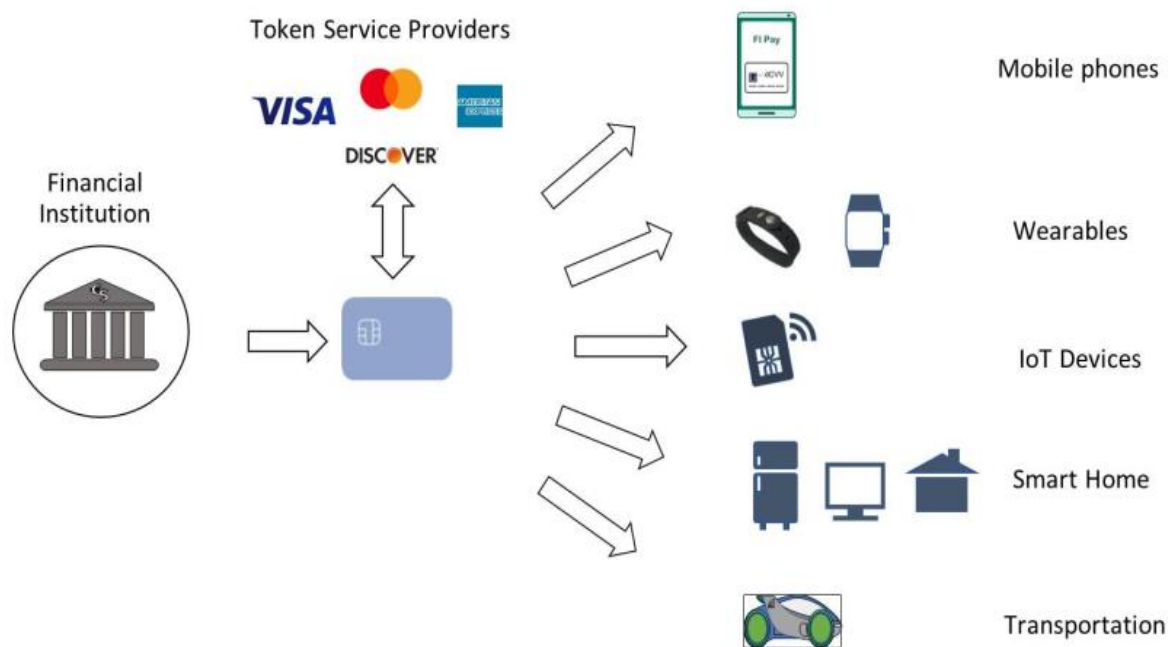
Slika 6.5. Povezanost sudionika i certifikata tokom sesije punjenja [20]

Proces ISO 15188 norme započinje sa električnim vozilom. Proizvođač EV-a posjeduje pozadinski proces koji upravlja svim aspektima automobila uključujući sigurnosne certifikate ovjerene PKI-em (Public Key Infrastructure, generator digitalnih certifikata), bilo njihov vlastiti ili pružatelj treće strane kao što je prikazano na slici 6.5. EV mora imati potvrdni certifikat „PROV” za pružanje usluge instaliran u automobilu koji je potpisan vlastitim PKI-jem ili PKI-jem treće strane. Sljedeći, drugi korak jest definicija certifikata vrste punjenja koje EV podržava unutar ISO 15118 norme, što je najbitnije za ostvarivanje V2G komunikacije i kontrole. Sa desne strane slike 6.5. prikazana je stanica za punjenje koja je povezana s pozadinskim procesom operatera na priključak za punjenje. Stanica za punjenje mora imati potpisan digitalni certifikat „LEAF” od strane V2G root CA PKI treće strane, kako bi se izvršila autentifikacija tijekom sesije punjenja prikazana u koraku 3. Slično kao i EV, stanica za punjenje također treba imati V2G root certifikat instaliran u svom komunikacijskom kontroleru prikazano na koraku 4. Posljednji korak izvršava sami vlasnik ili korisnik električnog vozila. Nakon kupnje električnog vozila, vlasnik električnog vozila može se prijaviti za usluge punjenja i razmjene energije kod pružatelja koji se zove operater mobilnosti (MO). To je subjekt koji ima ugovorni odnos s vlasnikom EV-a. U mnogim današnjim slučajevima operater mobilnosti može biti pružatelj energetske opskrbe, ali može biti i proizvođač EV automobila. Vlasnik EV-a dijeli podatke o plaćanju (npr. kreditna kartica, debitna kartica, bankovni račun) s operaterom mobilnosti kako bi se naknade i troškovi sesije punjenja mogli obraditi. Operater mobilnosti pohranjuje ove informacije i generira digitalni ugovorni certifikat (CONT) koji treba potpisati V2G root PKI za provjeru identiteta vlasnika EV-a tijekom sesije punjenja. Ovaj certifikat prikazan je u 5. koraku, te može biti unaprijed ugrađen u EV. Uz ove korake, svi digitalni certifikati su spremni za PnC sesiju.

Modeli i načini naplate usluge značajno su unaprijeđeni u posljednjim godinama, sa plaćanjima koja se oslanjaju na alternativne oblike ili kroz razne kanale postaju sve popularnija, poput sljedećih:

- Beskontaktnog plaćanja putem mobilnih ili nosivih uređaja
- Plaćanja putem e-trgovine unutar aplikacije za robu i usluge pomoću digitalnih novčanika
- Repetitivna plaćanja u obliku pretplate putem kartica
- IoT plaćanja kroz razne uređaje u domovima i tvrtkama

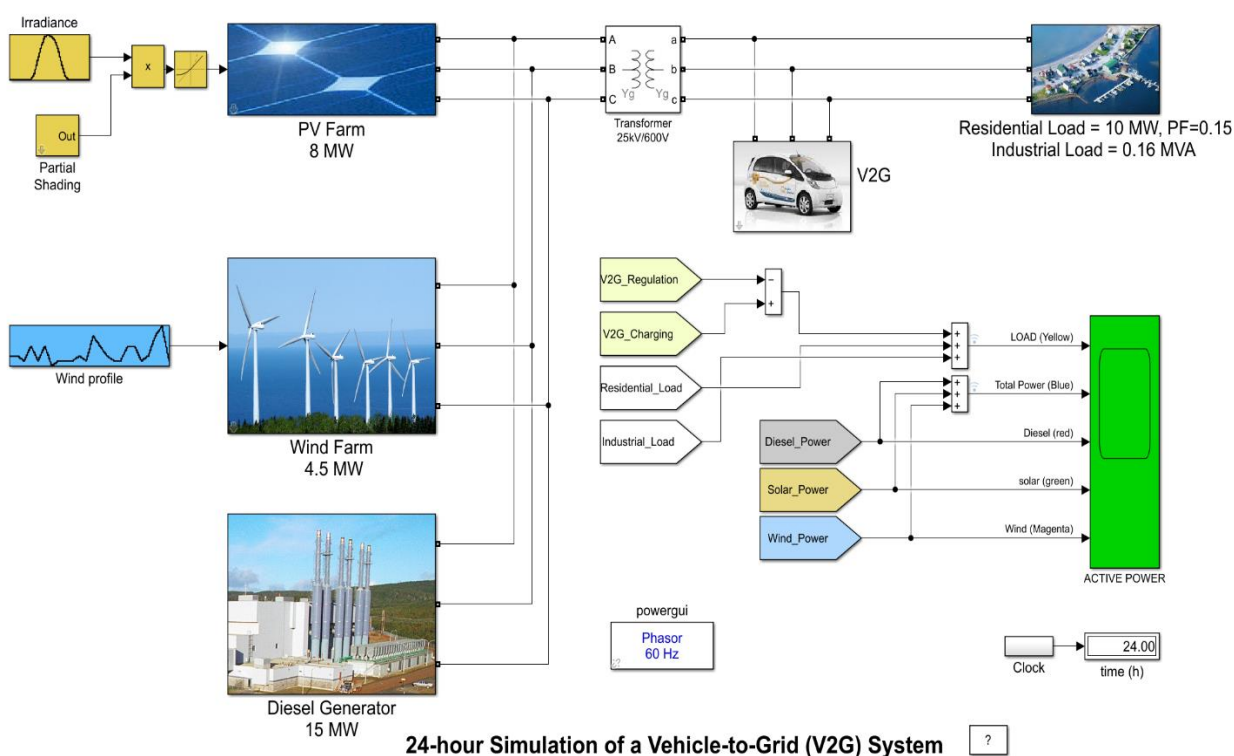
Svi ovi primjeri temelje se na globalno prihvaćenoj tehnologiji plaćanja EMV koja koristi vjerodajnice pohranjene u sigurnosnim elementima temeljenim na uređaju ili u oblaku za izvršavanje financijskih transakcija. Tokenizacija omogućuje da se vjerodajnica za plaćanje, kao što je broj kreditne ili debitne kartice, proširi na više uređaja, aplikacija ili novčanika upotrebom alternativnog broja za primarni broj računa kartice (PAN). Alternativni broj povezan je s izvornim PAN-om, ali je njegova upotreba ograničena, čime se štiti sam PAN i svi drugi alternativni brojevi koji se koriste za taj PAN. EMV i tokenizacija mogu se integrirati u tehnologiju punjenja električnih vozila usklađenu sa standardom ISO 15118 kako bi se olakšalo beskontaktno plaćanje i omogućilo vlasniku električnog vozila da kontrolira rezultantu financijsku transakciju.



Slika 6.6. Proliferacija vjerodajnica plaćanja pomoću tokenizacije [20]

## 7. SIMULACIJA INTEGRACIJE V2G PUNIONICA

Kako bi prikazali djelovanje V2G sustava na elektroenergetsku mrežu izvršena je simulacija pomoću MATLAB programa koristeći SIMULINK paket.



Slika 7.1. Prikaz MATLAB modela 24-satne simulacije V2G sustava

Korišteni model sadrži proizvođače električne energije u obliku dva obnovljiva izvora, vjetroelektrane i solarne elektrane te dizelskog generatora koji služi kao bazna elektrana sa mogućnosti brze promjene izlazne snage prema potrebi promjene opterećenja ili smanjenja proizvodnje ostalih elektrana, uz dodatnu snagu iz baterija električnih vozila koja se razmjenjuje sa mrežom putem V2G sustava. Solarna elektrana izlazne je snage 8 MW, te unutar simulacije uračunato je djelomično zasjenjenje elektrane u 12 sati. Vjetroelektrana izlazne je snage 4.5 MW uz nazivnu brzinu vjetra u iznosu od 13.5 m/s te maksimalnu brzinu vjetra od 15 m/s. Posljednje dizelski generator izlazne je snage 15 MW, uz prosječnu izlaznu snagu u iznosu 4 MW.

Sami sustav razmjene električne energije električnih vozila definiran je unutar V2G bloka kroz pet profila, pri čemu je prethodno definirana snaga vozila u iznosu od 40 kW uz kapacitet baterija od 50 kWh.

Block Parameters: V2G 4 MW (100x40 kW)

V2G

Models a generic aggregation of electric vehicles. The model has 5 different profiles that can be modified under the mask by changing the plug and the state of charge lookup tables of each profile. The user can set the number of vehicles following each type of profile. The rated capacity, the rated power and the efficiency of the power converter can also be decided by the user. See the example documentation for information about various user profiles.

Parameters

Rated power (kW)  
40

Rated capacity (kWh)  
50

System efficiency (%)  
90

V2G on

Regulator gain [Kp Ki]  
[2 4e3]

Number of cars (profile 1)  
35

Number of cars (profile 2)  
20

Number of cars (profile 3)  
20

Number of cars (profile 4)  
10

Number of cars (profile 5)  
15

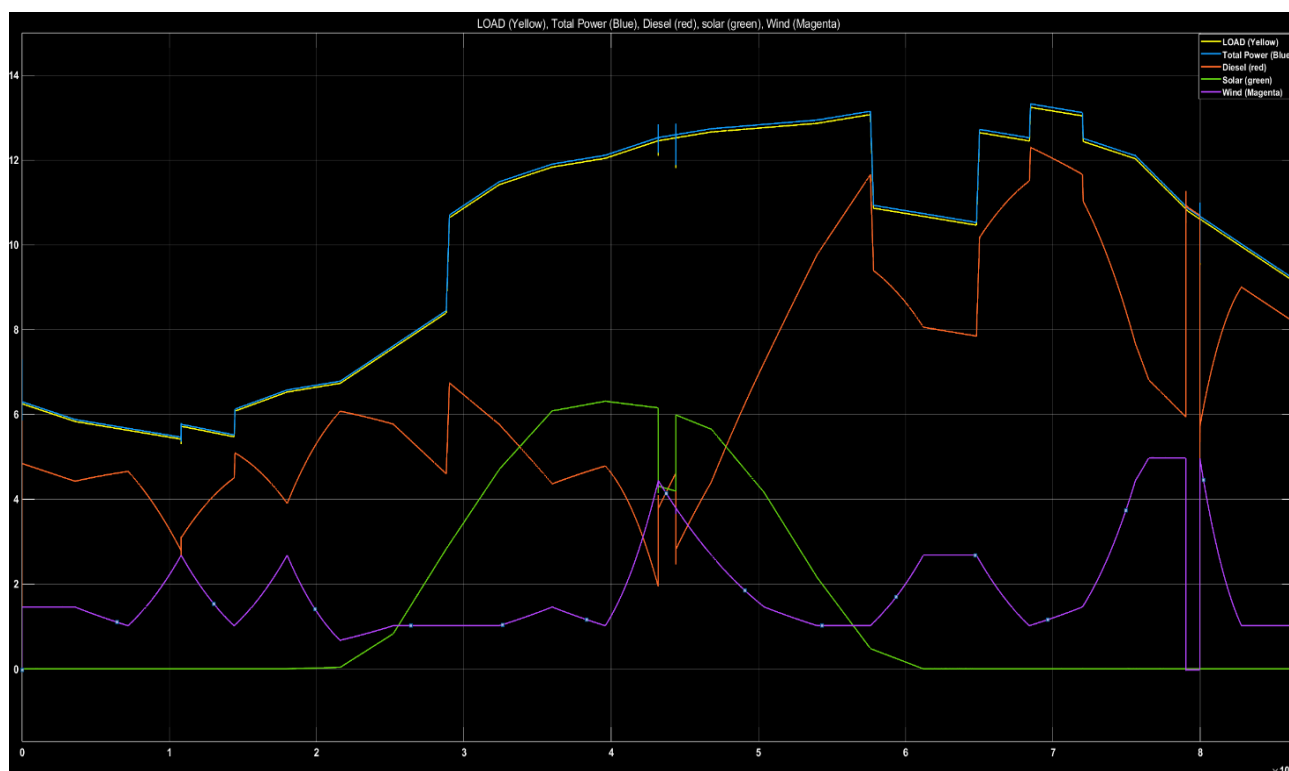
OK Cancel Help Apply

Slika 7.2. Prikaz parametara V2G bloka

V2G ima dvije funkcije: kontrola napunjenost baterija spojenih na sustav te koristi raspoloživu snagu za regulaciju mreže kada se dogodi neki događaj tijekom dana. Blok implementira pet različitih profila korisnika automobila :

- Profil 1: Osobe koje idu na posao s mogućnošću punjenja automobila na poslu
- Profil 2: Osobe koje idu na posao s mogućnošću punjenja automobila na poslu, ali uz dužu vožnju
- Profil 3: Osobe koje idu na posao bez mogućnosti punjenja automobila na poslu
- Profil 4: Osobe koje ostaju kod kuće
- Profil 5: Osobe koje rade u noćnoj smjeni

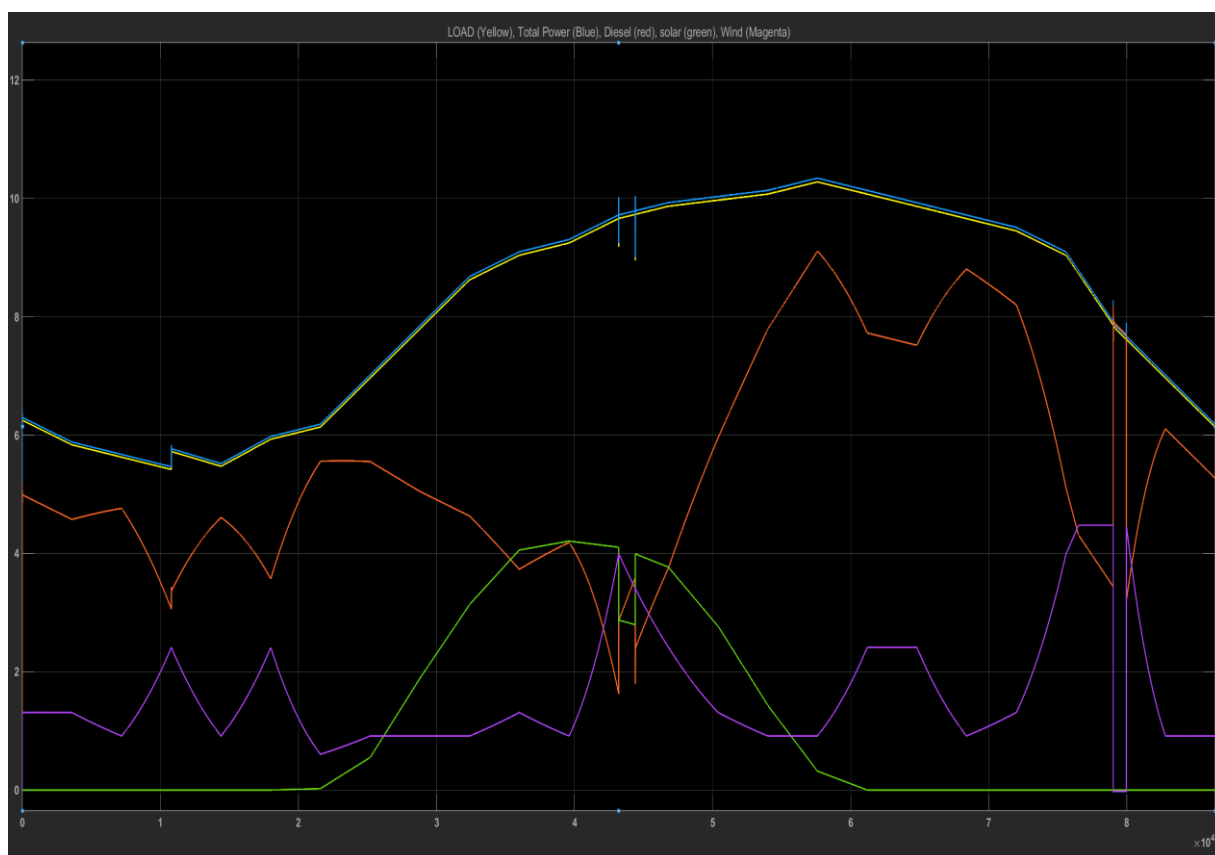
Unutar V2G bloka 100 vozila definirano je prema profilima na sljedeći način: profil 1 sadrži 35 vozila, profil 2 sadrži 20 vozila, profil 3 sadrži 20 vozila, profil 4 sadrži 10 vozila te profil 5 sadrži 15. Raspored vozila prema profilima prikazuje da polovica vozila ima dostupnu EVSE infrastrukturu na mjestu posla, dok preostali pune prilikom niže tarife ili ne koriste vozila. Prikazani grafovi započinju iz ponoći, pri čemu zelena boja predstavlja proizvodnju solarne elektrane, magenta predstavlja proizvodnju vjetroelektrane, crvena predstavlja proizvodnju dizelskog generatora te plava predstavlja ukupnu snagu uz žutu koja predstavlja opterećenje.



Slika 7.3. Prikaz rezultata 24-satne V2G simulacije

Na slici 7.3. prikazani su rezultati simulacije sa uključenim punjenjem vozila te V2G sustavom. X-os grafa prikazuje vrijeme, počevši od 0 koja obilježava pola noći te svaka sljedeća jedinica je pomak od 3 sata te Y-os prikazuje snagu u MW. Proizvodnja električne energije do 8 ujutro svodi se na dizelski generator te vjetroelektranu, dok opterećenje obilježava manji broj punjenja električnih vozila te asinkroni strojevi iz industrije sa pokretanjem na 3 sata ujutro, kao što je vidljiv skok na grafu. Najveće opterećenje započinje na 8 sati ujutro, pri čemu je vidljiv značajan skok na 9 sati. Sa daljnjim tokom vremena solarna elektrana započinje sa većom proizvodnjom energije te dostiže vrhunac oko 12 sati, nakon čega dolazi do naoblacenja te pada proizvodnje čime vidimo porast proizvodnje iz dizelskog generatora kako bi se pokrilo potrebno opterećenje.

Daljnje opterećenje raste do 18 sati, zbog punjenja električnih vozila pri čemu se javlja novo vršno opterećenje u danu, pri kojemu se primjenjuje razmjena energije EV-a sa mrežom, te je uočljiv pad u opterećenju zbog razmjene u iznosu od 3 MW, trajanja 2.5 sati. Sljedeći značajni događaj jest prekid proizvodnje snage iz vjetroelektrane zbog prekomjerne brzine vjetra, što rezultira u ponovnom povećanju snage iz dizelskog generatora.



Slika 7.4. Prikaz simulacije bez V2G sustava

Na slici 7.4 prikazana je simulacija bez EV-a, vršni sati su 8-9 ujutro i 6-7 popodne. Vidimo kontinuiranu liniju bez iznenadnih smanjenja kao što se vidi na slici 7.3. gdje u 8-9 ujutro i 6-7 poslijepodne, vidimo jasno smanjenje vršnog opterećenja gdje je V2G postavljen. Obnovljivi izvori energije ne bi trebali stvarati nikakve razlike u smislu proizvodnje energije budući da je u ovom modelu isto, međutim, vidi se da se potreba za zagađujućim izvorima energije poput dizela kontinuirano koristi. Ovdje dolazi do izražaja važnost V2G-a.



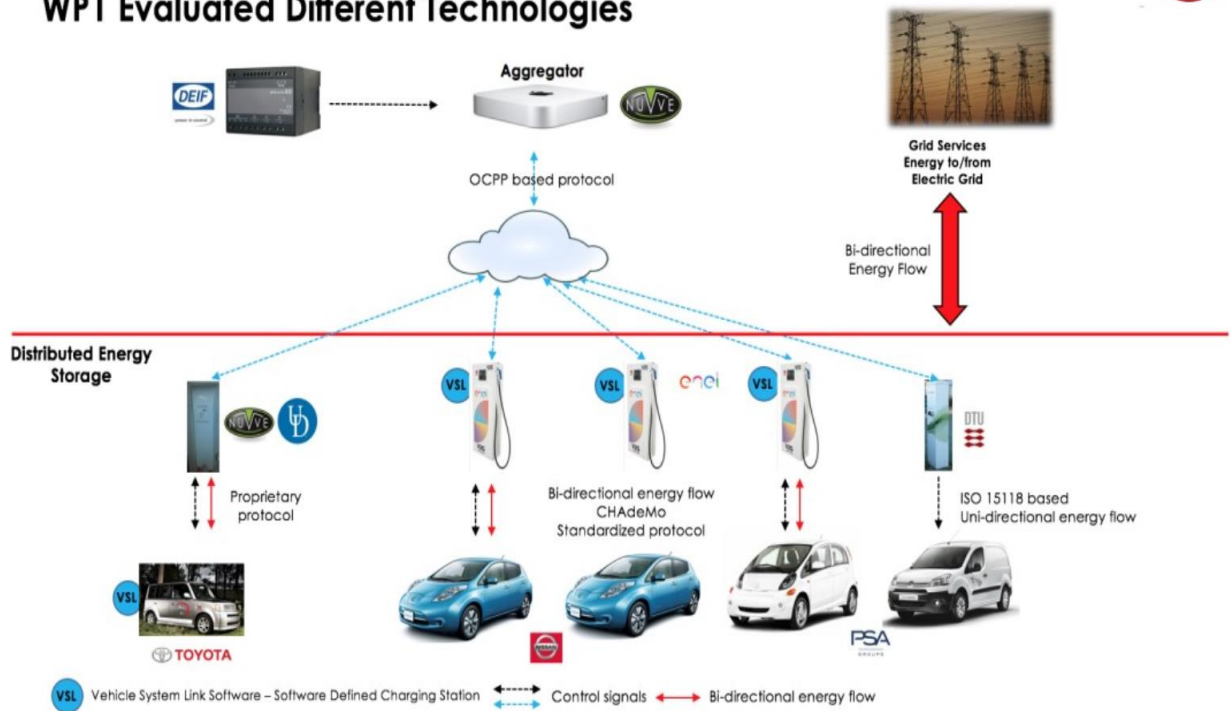
## **8. TRENUTNA INTEGRACIJA V2G TEHNOLOGIJA**

Trenutna primjena V2G sustava u distribucijskim mrežama limitirana je zbog malog broja električnih vozila te nerazvijenoj infrastrukturi, dok aktualni pilot-projekti trenutno služe kao mjerilo za pravilan pristup usvajanju tehnologije. Iako postoje mnoge tvrtke koje su započele pristup prema V2G istraživanjima i implementaciji, tvrtka NUVVE sa svojim Nikola - Intelligent Electric Vehicle Integration te kasnije Parker projektom zajedno sa Danskom tvrtkom DTU izvršile su najopširnija istraživanja.

### **8.1. Nikola - Intelligent Electric Vehicle Integration projekt**

Nikola je Danski istraživački i demonstracijski projekt usmjeren na sinergiju između električnog vozila (EV) i elektroenergetskog sustava. Pravilnim stupnjem kontrole i komunikacije moguće je utjecati na vrijeme, brzinu, smjer snage i energije koja se razmjenjuje između baterije EV-a i mreže. Izvršenjem projekta ostvareni su ciljevi identifikacijom, prioritiziranjem te procjenom usluga putem teorijskog te praktičkog dijela uz demonstracije analiziranih podataka. Fizička ispitivanja provedena su kako na serijski proizvedenim vozilima i punjačima, tako i na opremi razvijenoj u sklopu samog projekta (vozila, punjači i prateća oprema). Glavni cilj Nikola projekta jest sistematično, dosljedno te temeljito istražiti usluge koje će EV učiniti atraktivnim sredstvom za krajnjeg korisnika i aktivnim resursom za elektroenergetski sustav. Nikola projekt razmatran je kroz sedam usluga, pri čemu se svaka usluga razdvaja na istraživanje prema: tehnologiji primjene, tržištu usluge, ekonomskom aspektu te aspektu korisnika usluge. Poseban naglasak postavljen je na maksimiziranje vrijednosti usluge te najjednostavniju tržišnu uslugu regulacije frekvencije. Za projekt korištena su dva nissan leaf vozila, dvije V2G punionice marke Endesa, NUVVE agregatorska platforma te DEIF uređaj za mjerenje frekvencije.

## WP1 Evaluated Different Technologies



Slika 8.1.1. Prikaz Nikola platforme [33]

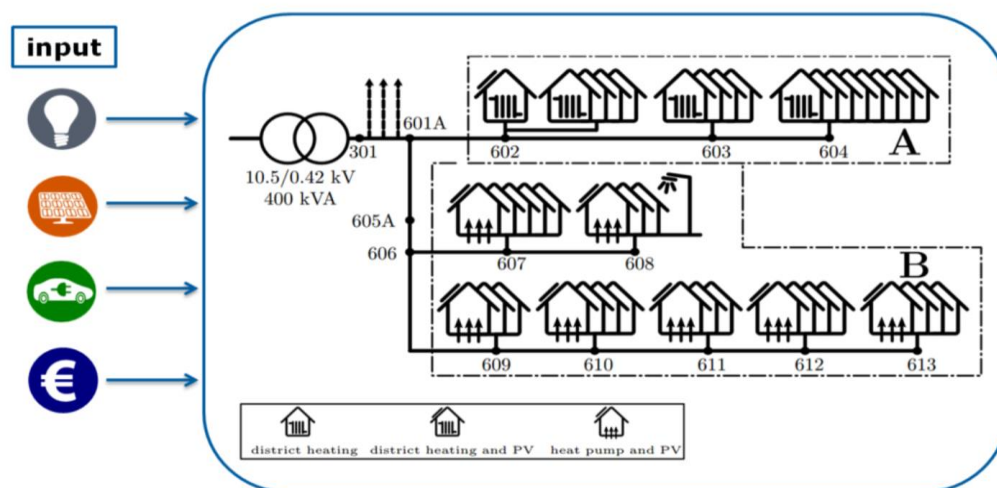
Rezultati preliminarnih istraživanja projekta pokazali su pozitivni ishod validacije usluge regulacije frekvencije, dok druge identificirane usluge još uvijek trebaju dodatnu validaciju u kasnijim istraživanjima i razvoju. Usluge pružene kroz Nikola platformu prikazane su u sljedećoj tablici.

Tablica 8.1.1. Prikaz rezultata evaluacije sustava [33]

Naziv	Kratki opis	Doprinos sustavu	Doprinos vlasniku	Tehnološka podrška	Tržišna / regulatorna podrška
<b>Regulacija frekvencije</b>	Održavanje frekvencije u intervalima na razini 50 Hz	Visoka	Visoka	Srednja/Visoka	Visoka
<b>Regulacija frekvencija – brzi odziv</b>	Regulacija frekvencija sa vremenima odziva kraćim od tradicionalnih generatora	Visoka	Visoka	Srednja/Visoka	Niska
<b>Sekundarna regulacija</b>	Povratak frekvencije na vrijednost 50 Hz	Srednja	Niska	Srednja/Visoka	Niska
<b>Tercijarna regulacija</b>	Povratak sekundarne regulacije te upravljanje zagušenjima	Niska	Niska	Niska	Niska
<b>Inercija sustava</b>	Simuliranje rotacijske inercije uslijed reakcija u bateriji	Srednja/Visoka	Niska	Niska	Niska
<b>Adaptivno punjenje</b>	Ograničenje punjenja na temelju dostupnosti energije iz OIE ili cijene energije	Visoka	Visoka	Srednja/Visoka	Niska
<b>„MORE“ – Mother Of All Regulation</b>	Uključuje do sad sve navedene regulacije uz preduvjet velikog broja EV-a u sustavu	Niska	Niska	Niska	Niska

Rezultati evaluacije prikazali su mogućnost korištenja usluge regulacije frekvencije kroz 24 satni test u simulaciji DK2 mreži, vrlo brza reakcija na regulaciju (unutar 5 do 6 sekundi od promjene), visoka preciznost i točnost u reakciji. Sa prvom izvedbom evaluacije (WP1), ustanovila se kompatibilnost vozila Nissan Leaf, vozila PSA grupacije sa iOn tehnologijom te Toyota E-Box, sa bidirekcijskom razmjenom energije. Testiranje prikazuje mogućnost V2G primjene u vozilima koja su namijenjena za jednosmjerno punjenje, što može biti značajan argument za proizvođače vozila i opreme električnih vozila (EVSE) da razmotre primjenu ove tehnologije u serijskoj proizvodnji. Dodatno, potrebno je napomenuti izvršenje sve razmjene energije se vršilo pomoću CHEdemo protokola, bez potrebnih modifikacija što prikazuje značajno pojednostavljenje sustava u stvarnoj primjeni tehnologije.

Radni projekt dva (WP2) je na temelju prethodnih projekata i prijedloga vanjskih recenzenata, identificirao i odredio prioritet ukupno pet usluga koje električna vozila mogu pružiti za podršku lokalnoj distribucijskoj mreži. Tri od ovih usluga, točnije upravljanje NN prenaponima, SN-NN transformatori, preopterećenje vodova te balansiranje NN mreže, prepoznate su kao najrelevantnije i izdvojene za daljnje istraživanje. Stoga su bili predmetom raznih evaluacijskih postupaka. Radni projekt proveo je brojne simulacijske studije za procjenu utjecaja nekontroliranog punjenja EV na lokalnu distribucijsku mrežu, kao i za istraživanje potencijalnih prednosti različitih strategija kontrole. Osim toga, nekoliko je eksperimenata provedeno u laboratorijskom okruženju kako bi se dokazala tehnička izvedivost električnog vozila koje pruža usluge distribucijske mreže. Posljednje, projekt je izvršen u praksi kroz jedno električno vozilo u stvarnom okruženju sa ograničenom količinom opreme te bez mogućnosti upravljanja opterećenja, čime se definiralo i ocijenilo pet usluga.



Slika 8.1.2. Prikaz korištene distribucijske mreže [33]

Usluge upravljanja pojava niskonaponskih prenapona i SN-NN transformatora uz preopterećenje vodova procijenjene su od velike vrijednosti za operatera distribucijske mreže i vrlo važne za integraciju velikih EV brojeva u lokalnu mrežu. Osim toga, NN zagušenje zbog brzih punionica također je od velike važnosti za distribucijsku mrežu budući da bi električna vozila mogla djelomično ublažiti probleme inducirano zagušenja različitim strategijama upravljanja. Međutim, sve te usluge trebaju kontinuirani razvoj jer, prema saznanjima autora, nijedna još nije dostupna u suvremenom radu mreže. Procijenjeno je da balansiranje NN mreže ima srednju vrijednost za operatera sustava jer može pomoći u smanjenju neuravnoteženosti i stoga utjecaja na trofaznu spojenu opremu, ali nisku vrijednost za korisnika EV-a, budući da to nije njegov glavni interes imati savršeno uravnotežen napon napajanja. S druge strane, otočna mikro mreža i crni start imaju nisku vrijednost za sustav, ali veliku vrijednost za korisnika EV-a jer mu omogućuju održavanje malog elektroenergetskog sustava i osiguravaju da su snaga i energija dostupni čak i kada je glavna mreža je isključena.

*Tablica 8.1.2. Rezultati evaluacije usluga distribucijskog sustava [33]*

Naziv	Kratki opis	Doprinos sustavu	Doprinos vlasniku	Tehnološka podrška	Tržišna / regulatorna podrška
<b>Otočni rad mikro mreže i crni start</b>	Mogućnost jednog ili većeg broja EV-a za održavanje energetskih sustava	Niska	Visoka	Niska	Niska
<b>Balansiranje NN mreže</b>	Ublažavanje neravnoteža između faza u NN mreži	Srednja	Niska	Niska	Niska
<b>Upravljanje NN prenaponima</b>	Ublažavanje prenapona u izvodima NN mreže	Visoka	Srednja	Srednja	Srednja
<b>Upravljanje SN-NN transformatorima i preopterećenja vodova</b>	Ublažavanje preopterećenja transformatora i kabela NN mreže	Visoka	Srednja	Srednja	Niska
<b>Upravljanje NN zagušenjima zbog brzih punionica</b>	Upravljanje brzog punjenja EV-a unutar operativnih granica NN mreže	Visoka	Srednja	Srednja	Niska

## 8.2. Parker projekt

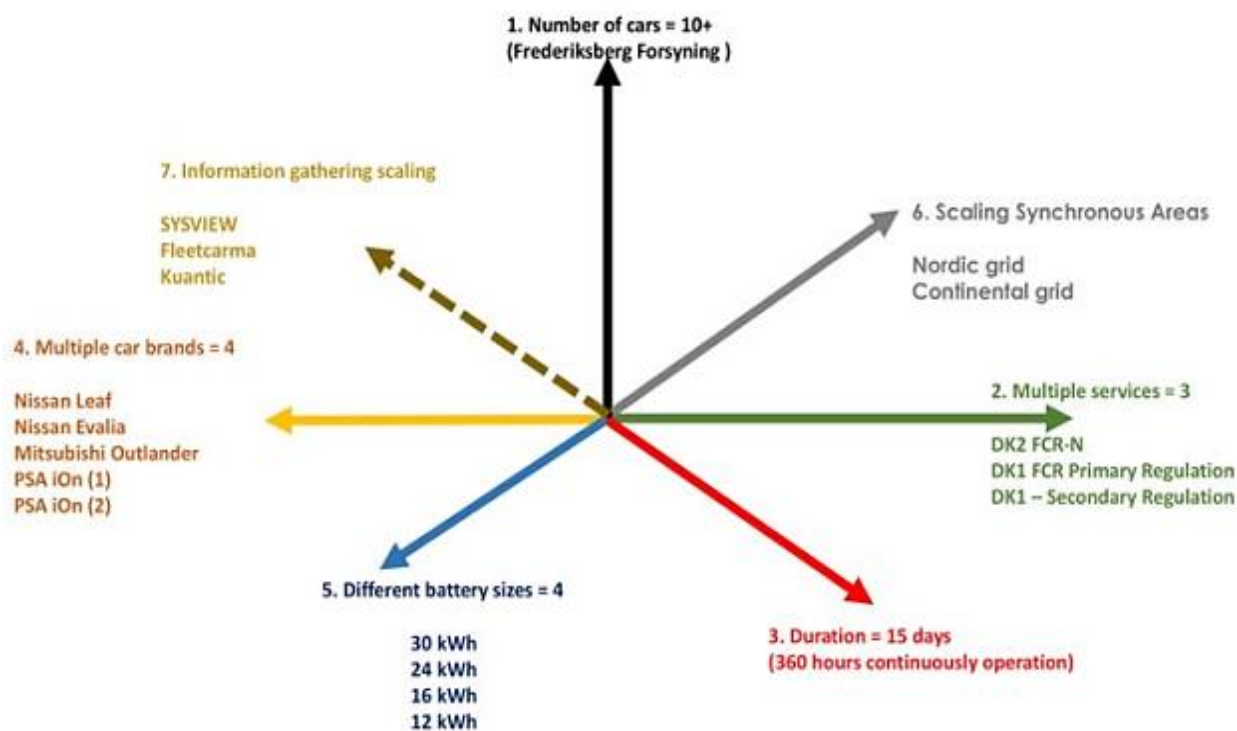
Parker projekt proizlazi iz prethodnih testiranja izvršenih u Nikola projektu, te se odnosi na Dansku DK1 (zapadnu) te DK2 (istočnu) distribucijsku mrežu. Primarni cilj projekta je pokazati da suvremena električna vozila mogu sudjelovati u naprednim uslugama pametne mreže uključujući korištenje Vehicle-to-Grid (V2G) sustava. Projekt koristi niz suvremenih električnih vozila i V2G-DC punjača koje su osigurali njegovi industrijski partneri i upotrijebljeni su za izvođenje niza testova i demonstracija u PowerLabDK, eksperimentalnoj platformi za istraživanje elektroenergetskog sustava. Nadalje, projekt je surađivao s prvim svjetskim komercijalnim V2G sustavom (čvorište Frederiksberg Forsyning V2G) gdje su električna vozila osigurala rezervu frekvencije, a koji se nalazi u širem dijelu Kopenhagena. Projekt je koristio navedena sredstva za istraživanje tri ključne teme: primjene u mreži, mrežna spremnost, kao i skalabilnost i replikaciju.

### Parker “service catalog” 2.0

Domain	Categories	Service examples	Short description	EV and EVSE Technical requirements	USER Incentives
Region (Transmission)	Power balancing	Synthetic inertia	Mimic inertia of rotating machines.		Availability payment
		Frequency containment	Keep the frequency within a required interval.		
	Energy balancing	Wholesale energy	Responsiveness to varying energy prices.		Savings on energy costs / Renewable-based charging
Regulation		Balancing energy schedules/portfolios.			
Marginal emission		Defer charging based on CO2 cost of marginal consumption.			
Neighborhood (Distribution)	Grid contingencies	Loading issues	Mitigate overloading of transformers and cables in LV network. May also include phase load balancing.		Savings on connection costs / compensation from utility
		Voltage issues	Mitigate overvoltage and voltage drops in distribution systems.		
Building (behind the meter)	Energy autonomy	Bilateral trading	Local peer-to-peer trading of energy.		Savings/Independence/ renewable support
		Self consumption maximization	Ensure the highest possible utility of locally produced energy.		
	Islanded operation	Back-up power	Sustain a small power system temporarily disconnected from the grid.		Security of supply /Independence
Fully off-grid		Sustain a small power system permanently disconnected from the grid.			
Mobile load serving	Vehicle-to-tool	Vehicle-to-tool	Provide a mobile power-source for equipment during in-field use.		Access to mobile power source
		Vehicle-to-Vehicle	Provide energy directly from one vehicle to another.		

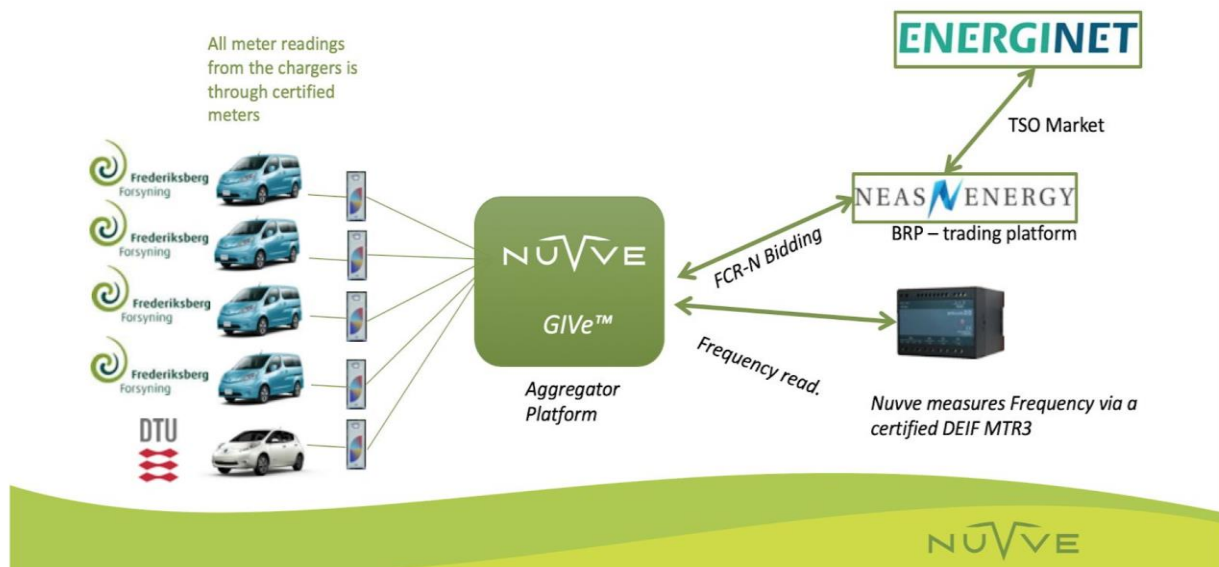
Slika 8.2.1. Prikaz usluga razmatranih Parker projektom [34]

Frederiksberg Forsyning, referirana kao FF stanica je stvarna operativna korisnička lokacija sastavljena od 10 Nissan e-NV200 EV-a i 10 Enel V2G punjača kojima upravlja Nuvve agregator za frekvencijsku regulaciju (FCR-N) danskoj mreži DK2. Budući da je FF operativna korisnička stranica, testovi koji su izvedivi na ovoj stranici ograničeni su, bez ometanja poslovanja FF-a. Agregator prikuplja podatke iz operacije FF i bilježi frekvenciju mreže sekundu po sekundu. Ovi snimljeni podaci korišteni su za testiranje rezerve očuvanja frekvencije (FCR-D) s DTU referentnom konfiguracijom. Projekt Nikola koristi na raspolaganju samo 2 EV-a/EVSE-a, a testovi su obavljani samo u DK2 Nordic sinkronom području, dok je putem Parker projekta korišteno preko 10 EV-a, uz naglasak na skaliranje sustava u različitim dimenzijama primjene.



Slika 8.2.2. Prikaz smjerova i skale Parker projekta [34]

## V2G Architecture - Frequency Regulation Denmark

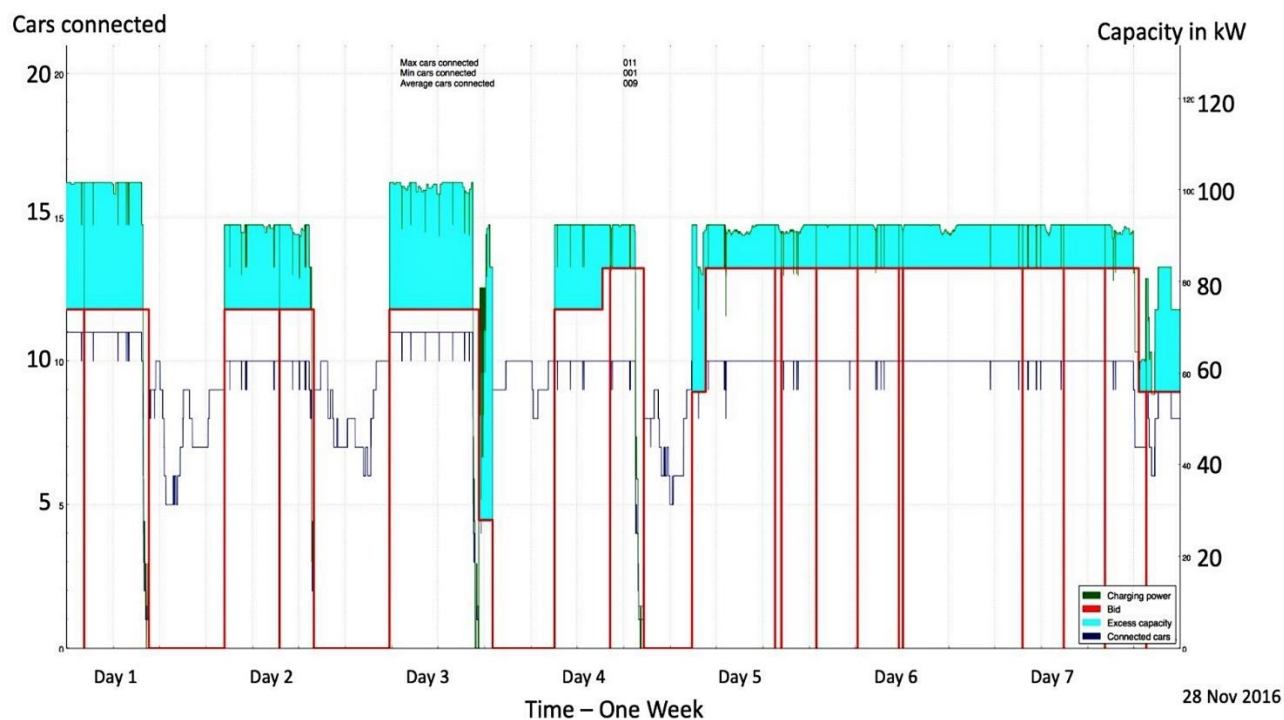


Slika 8.2.3. Prikaz V2G sustava zajedno sa mjerenjem i regulacijom frekvencije [34]

Za V2G usluge te regulaciju frekvencije agregator prima informacije o kapacitetu iz distribuirane pohrane i koristi taj kapacitet, uz iskustvo operatera, određuje se koliko kW ili MW je moguće ponuditi. Na jednostavnoj razini, kada se automobili isključe, kapacitet za razmjenu se smanjuje, kada se automobili priključe, kapacitet se povećava. Na temelju promjene jedne sekunde, agregator prima frekvencijske signale DEIF MTR-3 uređaja i koristi sustav optimizacije za upotrebu potrebne kombinacije EV-a, pri različitim razinama snage. Budući da agregator stalno ažurira procjenu kapaciteta iz EV-a, kombinirani skup automobila i bilo koji drugi resursi osigurat će traženu razinu snage prema vremenskim zahtjevima usluge. No EV baterije su po prirodi ograničenog kapaciteta. Mogu se puniti samo dok se ne dosegnu maksimalno stanje napunjenosti ili prazniti dok se ne isprazne, u suprotnosti s tradicionalnim elektranama koje mogu raditi punim kapacitetom uz ubacivanjem više goriva u postrojenje. Sve dok je frekvencija "uravnotežena" tijekom određenog vremena, npr. jedan sat, baterija će zadržati svoj SOC i može sudjelovati u sustavu. Dodatno, unutar nordijskog sinkronog područja, u kojem je smještena FF stanica učestalo dolazi do produljenog vremena u kojem je frekvencija sustava iznad zadane vrijednosti 50 Hz, što predstavlja problem za EV-a upravljana V2G sustavom zbog nepotrebne energije iz vozila, čime će se baterije krenuti puniti.



Pristup ovom problemu moguć je kroz konzervativno licitiranje te korištenje mehanizma dinamička preferirana radna točka (eng. Preferred Operating Point ili POP). Prikaz pristupa putem ovim mehanizama prikazan je na slici 8.2.4., pri čemu crvena boja prikazuje konzervativnu licitiranu razinu energije te svijetlo plava boja prikazuje iznos rezervnog iskoristivog kapaciteta.



Slika 8.2.4. Prikaz mehanizma licitacije i rezervnog kapaciteta usluge [34]

Kod klasičnih elektrana prilikom pružanja usluga balansiranja, njihova radna točka nalazi se uobičajeno ispod kapaciteta, kako bi kasnije mogli povećavati i smanjivati izlaznu snagu. Ova djelomična radna razina ponekad se naziva "preferirana radna točka" ili POP. Za distribuiranu pohranu, snaga može biti pozitivna ili negativna, tako da bi teoretski resurs mogao stajati na nultoj razini snage kroz razmjenu. Za korištenje EV-a korisnika, unutar sustava potrebno je održavati periode punjenja. Kako bi se održao balans, navedeni POP morao bi biti predstavljen kao mala negativna vrijednost zbog dužeg perioda punjenja, unatoč pružanju usluge balansiranja po potrebi u kraćim vremenskim razdobljima. Razmjena energije krajnje je uvjetovana operaterom prijenosnog sustava po tome hoće li i u kojim intervalima uravnotežiti regulaciju naviše i naniže.

Unutar elektroenergetskog sustava SAD-a, operater prijenosnog sustava PJM prema propisima FERC-a (Federativna Energetska Regulatorna Komisija) dužan je vršiti balansiranje energije u intervalima od 15 minuta, dok baltičke regije zahtijevaju balansiranje energije u intervalima od sat vremena. U oba slučaja, balansiranjem zahtjeva za energijom prema gore i prema dolje, javlja se minimalna potreba za dinamičkom promjenom POP-a. Nasuprot tome, zahtjevi za FCR-N ne moraju se balansirati tijekom sličnog vremenskog razdoblja i mogu biti van ravnoteže mnogo sati, prvenstveno prema gore ili primarno prema dolje, odnosno prazneći ili puneći bateriju. Kada se to dogodi, agregator mora nekako ponovno napuniti ili isprazniti, kako bi uspostavio SOC tako da se obje usluge mogu ponovno izvršavati. To se može učiniti isključivanjem sa usluge te jednosmjernim punjenjem (ili pražnjenjem), zatim ponovnim povezivanjem i nastavkom pružanja usluge. Problem sa od spajanjem iz sustava prilikom vršenja usluge radi potrebe punjenja ili pražnjenja nije isključivo nedostupnost resursa te nemogućnost pružanja usluge, već potreba kompenziranja preostalih izvora energije zbog ne balansa stvorenog zbog manjka kapaciteta sustava, stvarajući sustav koji više ne radi u smjeru potpore mreže. Kao rezultat Parker projekta identificirano je i izdvojeno sedam glavnih prepreka koje mogu spriječiti upotrebu skupa EV-a na tržištu pomoćnih usluga, prikazanih u sljedećoj tablici.

Tablica 8.2.1. Prikaz nedostataka uočenih kroz Parker projekt [34]

Ograničenje	Stupanj ograničenja	Opis	Moguće rješenje
<b>Tehničko</b>			
Dvosmjerni gubitak energije	Srednji	Gubitak energije prilikom punjenja ili pražnjenja uz razmjenu energije sa mrežom	Razvoj opreme u OEM razini te suradnja sa agregatorima u razvoju
Dugotrajna regulacija frekvencije	Visoki	Baterijski spremnici su ograničeni izvori energije koji ne mogu služiti za dugotrajnu regulaciju frekvencije	Unutar intervala balansiranja energije potrebno je uvesti period mirovanja ili odabir nove radne točke
Potencijalna degradacija baterija	Srednji/Visoki	Povećani ciklusi pražnjenja i punjenja uzrokovati će ubranu degradaciju baterija	Tehnološka poboljšanja u strukturi baterija
<b>Tržišno</b>			
Budući tržišni modeli za agregatore	Srednji	Nedefinirani model za ulogu i mogućnosti koje agregator posjeduje na tržištu usluga	Prema danskim istraživanjima uvođenje agregatora u sustav sa ciljem adaptacije i harmonizacije nove strukture sustava sa ciljem skaliranja na Europu
<b>Regulatorno</b>			
Zahtjevi za obračunska brojila	Visoki	Visoka cijena razvoja i adaptacije brojila usporava primjenu u distribucijskoj proizvodnji	Manje konzervativni zakoni o zahtjevima i izradi brojila
Prekvalifikacije	Visoki	Stvaranje prekvalifikacije za primjenu skupa EV-a sa ciljem FCR (primarne) regulacije jest zahtjevno zbog nespremnosti tehničkih regulacija te nespremnosti nadležnih tijela za primjenu agregatora u vođenje EES	Postavljanje smjera razvoja u općem smjeru kako bi se unaprijedila pouzdanost i performanse sustava općenito, umjesto primjene izričito pojedinih kombinacija EV-a i EVSE-a
<b>Ekonomsko</b>			
Tarife i porezi električne energije	Visoki	Visoke tarife energije zajedno sa porezom na navedenu energiju u sustavima sa dvosmjernom razmjenom energije	Postavljanje većeg stupnja poreza za korisnike EV-a koji izričito koriste vozilo za punjenje. Korisnici sustava pružanjem usluga anuliraju troškove punjenja EV-a.

## 9. ZAKLJUČAK

Zaključno, integracija električnih vozila u distribucijsku mrežu predstavlja mnogobrojne nove mogućnosti no i izazove. Dok električna vozila pridonose smanjenju emisija stakleničkih plinova i povećanju energetske raznolikosti, njihova integracija predstavlja određene nedostatke koje treba riješiti. Povećana potražnja za punjenjem nameće dodatno opterećenje infrastrukturi distribucijske mreže, što potencijalno dovodi do preopterećenja mreže, varijacije razine napona i problema s pouzdanošću mreže. Adekvatno planiranje, nadogradnje distribucijske mreže, te nadalje i prijenosne mreže, uz primjenu pametnih rješenja za punjenje i ostatak infrastrukture sustava ključni su faktori za ublažavanje ovih problema. Nadalje, implementacija Vehicle-to-Grid (V2G) sustava ima značajna obećanja za distribucijsku mrežu. V2G sustavi omogućuju dvosmjerni protok energije između električnih vozila i mreže, pružajući fleksibilnost mreže i omogućavaju olakšanu integraciju obnovljivih izvora energije. Sposobnost električnih vozila da vraćaju energiju u mrežu tijekom razdoblja najveće potražnje i sudjeluju u pomoćnim mrežnim uslugama može doprinijeti stabilnosti i pouzdanosti mreže. Dodatno, V2G sustavi su zamišljeni na način da ne pogoduju isključivo operateru mreže, no već kroz razne pristupe naplate pružane usluge, korisnik može pogodovati kroz isplate koje dovode ukupnu cijenu inicijalnog punjenja vozila na istu, moguće i nižu cijenu od uložene. Međutim, V2G sustavi također se suočavaju s značajnim izazovima. Degradacija baterije i dalje predstavlja značajan problem zbog čestih ciklusa punjenja i pražnjenja povezanih s V2G funkcijama. Razvoj infrastrukture, uključujući infrastrukturu pametnog punjenja, dvosmjerne pretvarače energije, nužan je za podršku skalabilnosti i pouzdanosti V2G sustava. Regulatorni okviri i tržišne strukture moraju se prilagoditi kako bi se učinkovito adaptirale V2G operacijama. Dodatno, tehničke složenosti kao što su kvaliteta električne energije, kontrola napona i dvosmjerno upravljanje protokom energije, koje proizlaze iz V2G sustava potrebno je provesti kroz adekvatna rješenja. Kako bi se osigurala uspješna integracija električnih vozila i V2G sustava u distribucijsku mrežu, ključna je suradnja među dionicima, uključujući pružatelje elektroenergetskih usluga, regulatorna tijela, proizvođače i istraživače. Podrška politikama, odgovarajuća ulaganja u infrastrukturu i naponi u standardizaciji potrebni su kako bi se prevladali izazovi i ostvario puni potencijal električnih vozila i V2G sustava u stvaranju održive i otporne distribucijske mreže. Posljednje, rješavanjem nedostataka povezanih s integracijom električnih vozila i iskorištavanjem prednosti V2G sustava, distribucijska mreža može prihvatiti sve mogućnosti koje pružaju električna vozila.

Uz pažljivo planiranje, razvoj infrastrukture i suradnju svih članova koje sustav obuhvaća, integracija električnih vozila i V2G sustava može doprinijeti zelenijoj i učinkovitijoj distribucijskoj mreži, podržavajući budućnost održive energije.

## LITERATURA

- [1.] Osmanbasic E.; „The Many Types of EV Motors“, s Interneta, <https://www.engineering.com/story/the-many-types-of-ev-motors> , 25. svibanj 2020
- [2.] Wikiwand.: „Plug-in electric vehicles in Europe“, s Interneta, [https://www.wikiwand.com/en/Plug-in electric vehicles in Europe](https://www.wikiwand.com/en/Plug-in%20electric%20vehicles%20in%20Europe) , 29. siječanj 2018.
- [3.] Jarratt, E.: „ New study confirms: EVs’ greenhouse gas emissions are lower than those from combustion engines“, s Interneta, <https://electricautonomy.ca/2021/07/26/gas-vs-ev-lifetime-emissions-icct/> , 26. srpnja 2021.
- [4.] e-AMRIT : „TYPES OF ELECTRIC VEHICLES“, s Interneta, <https://e-amrit.niti.gov.in/types-of-electric-vehicles>
- [5.] Radošević, V.; Puzak, D.; Cvitanović, M.: „TEHNIČKI I REGULATORNI UVJETIPRIKLJUČENJA PUNIONICA ELEKTRIČNIHVOZILA NA ELEKTROENERGETSKU MREŽU“, HOCIREN, Opatija, svibanj 2018.
- [6.] ETechnoG: „How MCU(Motor Control Unit) Works in Electric Vehicle? Diagram“, s Interneta, <https://www.etechnog.com/2022/11/how-mcumotor-control-unit-works-in.html> , 19. travnja 2023.
- [7.] Brian, M.: „Electric Car Conversion“, s Interneta, <http://electriccars.com/info/build/EV-basics/index1.cfm> , 2002.
- [8.] George Brown College: „Variable Frequency Drives: Basics and Common Applications“, s Interneta, <https://www.plctechnician.com/news-blog/variable-frequency-drives-basics-and-common-applications-vfds>, 09. siječanj 2022.
- [9.] Lawson, B.: „Electropaedia“, s Interneta, <https://www.mpoweruk.com/index.htm>, 2010.

- [10.] Yahaya, N.; Abu-Bakar, M.; Mohd, M.: „Study of Phase Advance Angle Control (PAAC) Technique for Brushless DC (BLDC) Motor“, 26 lipanj 2013.
- [11.] Lee, S-J.; Oh, Y-S.; Sim, B-S.; Kim, M-S.; Kim, C-H.; „Analysis of peak shaving effect of demand power using Vehicle to Grid system in distribution system“, Journal of International Council on electrical engineering, Korea, 2017.
- [12.] Papadopoulos, P.; „INTEGRATION OF ELECTRIC VEHICLES INTO DISTRIBUTION NETWORKS“, Institute of energy, Cardiff university, 2012.
- [13.] Khalil bendraz, M.; „Modelling and analysis of Vehicle-to-Grid Technologies for Power Quality improvement“, Politecnico di Milano, 2021-2022.
- [14.] Liu, Q.; Fang, H.; Wang, J.; Yan, S.; „The Impact of Electric Vehicle Charging Station on the Grid“, State Grid Henan Electric Power Company Luoyang Power Supply Company, Luoyang, China, 2015.
- [15.] Gupta, P.; Bhurawalla, D.; Shah, P.: „Vehicle to Grid Technology“, (Department of Electrical Engineering, VIVA Institute of Technology, India, 2021.
- [16.] Vermont Energy Investment Corporation; „Electric Vehicle Charging Station Guidebook“, Chittenden county RPC, lipanj 2014.
- [17.] Abdel-Monem, M.; Yang, Y.; Van Mierlo, J.; El Baghdadi, M.; „Modelling, Analysis and Performance Evaluation of Power Conversion Unit in G2V/V2G Application- A Review“, Energies članak, travanj 2018.
- [18.] Bahrami, A.; „EV Charging Definitions, Modes, Levels, Communication Protocols and Applied Standards“, tehnički izvještaj, siječanj 2020.

- [19.] Hall, D.; Lutsey, N.; „Electric vehicle charging guide for cities“, International Council on Clean Transportation ICCT, 2020.
- [20.] Secure Technology Alliance Payments Council; „Electric Vehicle Charging Open Payment Framework with ISO 15118“, Secure Technology Alliance, New Jersey, veljača 2021.
- [21.] Sudha Letha, S.; Bollen, M.; „Impact of Electric Vehicle Charging on The Power Grid“, Luleå University of Technology, Luleå, 2021.
- [22.] Agarwal, O P.; Pai, M.; Ranjan, A.; Koodli, V.; Bose, M.; Narayan, S.; „Handbook of Electric Vehicle Charging Infrastructure Implementation“, Government of India Ministry of power, India, 2021.
- [23.] Idaho National Laboratory; „Plugged In: How Americans Charge Their Electric Vehicles“, INL, Idaho, 2015.
- [24.] Radošević, V.; „Promjene u mreži izazvane uporabom punionica za električna vozila“, HO CIRED, Osijek, svibanj 2016.
- [25.] Žunec, M.; Žutobradić, S.; Hutter, S.; Wagmann, L.; „Utjecaj uvođenja električnih vozila na značajke opterećenja distribucijskog sustava“, HO CIRED, Opatija, 2018.
- [26.] Slides, B.; „V2G, DER and how ISO 15118 will enable the future of electric vehicle charging“, s Interneta, <https://www.power-grid.com/der-grid-edge/v2g-der-and-how-iso-15118-will-enable-the-future-of-electric-vehicle-charging/>, 10. kolovoza 2019.
- [27.] Xu, Yijun A, Xu, Yunshan, Chen, Zimin, Peng, Fei, and Beshir, Mohammed. Harmonic Analysis of Electric Vehicle Loadings on Distribution System. United States: N. p., 2014. Web. doi:10.1109/CCSSE.2014.7224526.
- [28.] S. N. Syed Nasir, J. J. Jamian, M. W. Mustafa, "Minimizing Harmonic Distortion Impact at Distribution System with Considering Large-Scale EV Load Behaviour Using Modified Lightning



Search Algorithm and Pareto-Fuzzy Approach", Complexity, vol. 2018, Article ID 6587493, 14 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6587493>

- [29.] Csanyi, E.: „How harmonic filters prevent distortions in networks with high harmonic levels“, s Interneta, <https://electrical-engineering-portal.com/harmonic-filters> , 03. srpnja 2019.
- [30.] Zhang, D.; „EV Charging: The Dynamic Load Balancing“, s Interneta, <https://jointcharging.com/ev-charging-the-dynamic-load-balancing/> , 27. kolovoza 2022.
- [31.] Smith, M.; „ Level 1 Electric Vehicle Charging Stations at the Workplace“, Energetics Incorporated - U.S. Department of Energy Vehicle Technologies Office, SAD, srpanj 2016.
- [32.] Europski revizitorski sud; „Infrastruktura za punjenje električnih vozila: dostupan je veći broj punionica, ali putovanje EU-om otežano je neujednačenim uvođenjem infrastrukture“, s Interneta, <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/electrical-recharging-5-2021/hr/#chapter0> , svibanj 2021.
- [33.] NUVVE; SEAS-NVE; EURISCO; „Final report: NIKOLA- intelligent electric vehicle integration“, Tehnički fakultet Danske – odjel za elektrotehniku, 31. siječanj 2017.
- [34.] Bach Andersen, P.; Meier, T.; Eske Christensen, B. i dr.; „The Parker Project Final Report“, Energy Technology Development and Demonstration Program (EDUP), 31. siječanj 2019.

## POPIS OZNAKA I KRATICA

EV – eng. Electric vehicle, električno vozilo

EVSE – eng. Electric vehicle supply equipment, sveukupna oprema punjača i punionica

V2G – eng. Vehicle – to – grid, V2G dvosmjerni sustav razmjene energije

G2V – eng. Grid – to – vehicle , G2V jednosmjerni sustav razmjene energije

HEV – eng. Hybrid Electric Vehicle, hibridna vozila

PHEV – eng. Plug-in Electric Vehicle, plug-in hibridna vozila

FCEV – eng. Fuel Cell Electric Vehicles, električna vozila na gorive ćelije

DC – eng. Direct Current, istosmjerna struja

AC – eng. Alternating Current, izmjenična struja

BLDC – eng. Brushless direct current motor, beskolectorski istosmjerni motor

MCU – eng. Motor Control Unit, motorna upravljačka jedinica

PWM – eng. Pulse Width Modulation, širinsko-impulsna modulacija

DOD – eng. Depth of Discharge, dubina pražnjenja

SOC – eng. State Of Charge, stanje napunjenosti baterije

SOH – eng. State of Health, stanje zdravlja baterije

CC – eng. Constatnt Current, konstantna struja

CV – eng. Constant Voltage , konstantni napon

C rate – C stopa, nrzina punjenja i pražnjenja baterije

PKI – eng. Public Key Infrastructure, infrastruktura javnog ključa

## SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Ovaj rad prikazuje načine implementacije električnih vozila u e-mobilnost. U prvom dijelu rada opisana su električna vozila sa principom rada, kao i njihovi funkcionalni dijelovi, sa detaljnijim opisom sustava upravljanja baterija. Opisana je EVSE oprema – punjači podijeljeni prema razinama te mogućnosti primjene. Nadalje opisane su stanice za punjenje, zajedno sa njihovim zahtjevima za implementaciju u distribucijskim mrežama u pogledu planiranja i izgradnje, te njihov utjecaj na distribucijsku mrežu. U posljednjem dijelu opisan je V2G sustav zajedno sa kratkim modelom implementacije u sustav, te kratka simulacija primjene sustava. Rad je završen sa primjerom trenutno aktivnih projekta implementacije V2G sustava.

Ključne riječi: električna vozila, elektromotor, baterije, EVSE oprema, električne punionice, distribucijska mreža, dvosmjerni tok energije, vršno opterećenje, emisije plinova, V2G.

## SUMMARY

This paper shows ways of implementing electric vehicles in e-mobility. In the first part of the paper, electric vehicles are described with the principle of operation, as well as their functional parts, with a detailed description of the battery management system. EVSE equipment is described - chargers divided according to levels and application possibilities. Charging stations are further described, together with their requirements for implementation in distribution networks in terms of planning and construction, and their impact on the distribution network. In the last part, the V2G system is described together with a short model of implementation into the system, and a short simulation of the system's application. The paper is finished with an example of currently active V2G system implementation projects.

Keywords: electric vehicles, electric motor, batteries, EVSE equipment, electric charging stations, distribution network, two-way flow of energy, peak load, gas emissions, V2G.