Simulacija komunikacije stanice za punjenje s električnim vozilom

Cvetek, Dominik

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:538405

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dominik Cvetek

SIMULACIJA KOMUNIKACIJE STANICE ZA PUNJENJE S ELEKTRIČNIM VOZILOM

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 3. travnja 2018.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Napredne baze podataka**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4683

Pristupnik: **Dominik Cvetek (1191225501)**
Studij: Inteligentni transportni sustavi i logistika
Smjer: Inteligentni transportni sustavi

Zadatak: **Simulacija komunikacije stanice za punjenje s električnim vozilom**

Opis zadatka:

Opisati standarde vezane za komunikaciju vozila na mrežu. Potrebno je opisati komunikaciju kroz sve slojeve OSI modela. Izraditi maketu korištenjem Raspberry Pi razvojne platforme. Maketa prikazuje digitalnu komunikaciju više razine između vozila i punionice koja se bazira na ISO 15118 i IEC 61851. Maketa treba prikazivati sljedeća stanja prilikom punjenja vozilo nije priključeno na punionicu, vozilo spojeno na punionici i da je spremno za punjenje, vozilo se puni, vozilo je gotovo s punjenjem te vozilo je spremno za fizičko odvajanje.

Mentor:

prof. dr. sc. Tonči Carić

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

Simulacija komunikacije stanice za punjenje s električnim vozilom

Simulation of Communication Between Charging Station and Electric Vehicle

Mentor: prof. dr. sc. Tonči Carić

Student: Dominik Cvetek
JMBAG: 1191225501

Zagreb, srpanj 2018.

SIMULACIJA KOMUNIKACIJE STANICE ZA PUNJENJE S ELEKTRIČNIM VOZILOM

SAŽETAK

Digitalna komunikacija više razine opisana u ISO 15118 standardu preduvjet je za naprednije usluge kao što je na primjer inteligentno upravljanje električnom mrežom. Primjena ove vrste komunikacije prilikom punjenja omogućuje jednostavan mehanizam za autentifikaciju, autorizaciju i naplatu prilikom priključivanja vozila na punionicu. Takvu komunikaciju nije moguće ostvariti isključivom analognom komunikacijom opisanom u IEC 61851. Mehanizam specificiran u ISO 15118 treba biti realiziran tako da ne zahtijeva nikakvu dodatnu radnju korisnika osim samog priključivanja na punionicu.

KLJUČNE RIJEČI: standard; ISO 15118; IEC 61851; komunikacija; punionica; električno vozilo

SUMMARY

The digital communication described in the ISO 15118 is a prerequisite standard for more advanced services such as Smart Grid. The communication provides a simple charging mechanism for authentication, authorization, and billing when charging cable is plugged from charging station to electric vehicle. Digital communication can’t be accomplished by the analog communication described in IEC 61851. The mechanism specified in ISO 15118 must be implemented without requiring any additional user action except the plug-in connection itself.

KEYWORDS: Electric vehicle, digital communication, charging station, ISO 15118, IEC 61851

Sadržaj

1 Uvod 1
2 Vozila na električni pogon 3
2.1 Razvoj električnih vozila s osvrtom na trenutno stanje 3
2.2 Hibridna električna vozila 4
2.3 Plug-in hibridna električna vozila 4
2.4 Električna vozila s akumulatorom 5
2.5 Osnovni elementi vozila na električni pogon 6
2.5.1 Električni motor 6
2.5.2 Elektrokemijski akumulator 10
3 Stanica za punjenje električnih vozila 11
4 Komunikacija vozila s mrežom 14
4.1 Analogna komunikacija po IEC 61851 15
4.2 Digitalna komunikacija po ISO 15118-2 18
5 Simulacija „Plug & Charge“ komunikacije 21
5.1 Oprema korištena za simulaciju PnC 22
5.1.1 Raspberry PI 3 22
5.1.2 Mrežni preklopnik 25
5.2 Rise V2G projekt otvorenog koda 26
5.3 Plug & Charge 32
5.4 Izrada makete 36
5.5 Kontrola GPIO pinova sa Raspberry PI uređajem 37
6 Pohrana informacija tijekom komunikacije vozila sa mrežom u bazu podataka 42
6.1 MYSQL baza podataka 42
6.2 Pohrana informacija tijekom komunikacije 44
7 Zaključak 46
Bibliografija 48
Popis ilustracija 50
Popis tablica 51
Popis kratica 51

1 Uvod

Električni pogon dobiva značajniju ulogu u autoindustriji. Političke najave o zabrani vozila s unutarnjim izgaranjem sredinom ovog stoljeća ubrzavaju i potiču promjene u autoindustriju. Poboljšanja autonomije električnih vozila doprinijet će većoj upotrebi električnog pogona, ne samo u autoindustriji, nego i u globalnoj ekonomskoj slici.

U zaštitu okoliša ulažu se veliki napori i novac, a električni automobili ne proizvode štetne plinove i sigurni su za okoliš. Glavna prednost električnog automobila pred konvencionalnim nulta je emisija štetnih plinova u gradovima. Onečišćenja mogu nastati pri proizvodnji električne energije, što je još jedan od razloga ulaganja u proizvodnju iz obnovljivih izvora energije. Vrijedi napomenuti da su onečišćenja pri proizvodnji električne energije uglavnom izvan gradova i područja gušće naseljenosti, što implicira na očuvanje kvalitete zraka u gradovima.

Električni motori imaju znatno veću iskoristivost od benzinskih i dizelskih, znatno su jednostavnije konstrukcije što smanjuje mogućnost kvara te potrebe zbrinjavanja zamijenjenih dijelova. Na električnom vozilu nema potrebe za promjenom motornog ulja koje predstavlja potencijalnu opasnost za onečišćenje okoliša.

Električna vozila su tiha, stoga su pogodna u prostorijama koje zahtijevaju nisku razinu buke, primjerice u bolnicama, skladišnim prostorima i sl. Problem buke u gradovima moguće je reducirati korištenjem električnih vozila koja proizvode samo buku uzrokovanu kotrljanjem pneumatika po podlozi.

Zbog navedenih razloga broj električnih vozila u svakodnevnoj upotrebi će se povećavati, čime će rasti potražnja za punjenjem vozila. Zahtjevi korisnika su jednostavnije punjenje u kraćem vremenu. Tehničke karakteristike spremnika energije trenutno su najveći problem vozila na električni pogon. U ovom radu obrađuje se koncept *Plug and Charge* komunikacije između električnog vozila i punionice. *Plug and charge* komunikacija bazirana je na ISO 15118 standardu. Omogućuje uz automatsku naplatu punjenje vozila bez autorizacije RFid karticom, QR kodom, SMS kodom ili nekim drugim oblikom autorizacije. Korisnik usluge punjenja vozilo priključuje na punionicu čime započinje automatska razmjena certifikata punionice i električnog vozila. Time je punjenje jednostavnije te se postižu preduvjeti za razne servise koji omogućavaju pametno upravljanje električnom mrežom (engl. Smart Grid).

Diplomski rad je strukturiran u 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Vozila na električni pogon
3. Stanica za punjenje električnih vozila
4. Komunikacija vozila s mrežom
5. Simulacija „Plug & Charge“ komunikacije
6. Pohrana informacija tijekom komunikacije vozila sa mrežom u bazu podataka
7. Zaključak

U drugom dijelu rada opisana su vozila na električni pogon s njihovim glavnim karakteristikama s naglaskom na plug-in električnim vozilima te glavne komponente vozila na električni pogon. Naglasak je na samom pogonu i spremniku energije.

U trećem dijelu opisane su punionice tipovi punjača i njima pripadnih utikača za električna vozila.

U četvrtom dijelu rada pojašnjena je *Vehicle to grid* komunikacija više razine i što obuhvaća standard ISO 15118. Objašnjena je analogna komunikacija ili komunikacija niže razine propisana u standardu IEC 61851. Navedene su neke glavne prednosti koje se ostvaruju digitalnom komunikacijom više razine.

U petom dijelu rada opisana je simulacija komunikacije između vozila i punionice. Navedena je sva korištena oprema za simulaciju te korišteni projekti otvorenog koda.

U šestom dijelu rada opisano je povezivanje RiseV2G projekta s bazom podataka i spremanje podataka u bazu podataka.

2 Vozila na električni pogon

Vozila koja posjeduju električni pogon te tehnologija kako se ta vozila pune su područje istraživanja ovoga rada. Standard ISO 15118 dijeli takva vozila na Plug-in hibridna električna vozila (engl. *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*, PHEV) i električna vozila s akumulatorom (engl. *Battery Electric Vehicle*, BEV).

Hibridna vozila su generalno ona vozila koja za pokretanje koriste dva ili više izvora energije, umjesto jednog kao konvencionalna vozila. U usporedbi sa konvencionalnim vozilima, hibridna vozila su ekonomičnija i imaju manju emisiju štetnih plinova koji onečišćuju okoliš (1).

Električno vozilo je bilo koje vozilo pogonjeno električnim motorom koji crpi struju iz akumulatora ili drugih prijenosnih uređaja za pohranu energije. Uređaji za pohranu energije se mogu obnavljati koristeći energiju iz izvora koji je izvan vozila. Kao što je vlastita ili javna električna punionica (2)

Postoje tri osnovne vrste vozila koje imaju električni pogon (3):

- Hibridna električna vozila
- Plug-in hibridna električna vozila
- Električna vozila s akumulatorom

2.1 Razvoj električnih vozila s osvrtom na trenutno stanje

Električni automobili su bili popularni krajem 19. i početkom 20. stoljeća. Početkom 20. stoljeća električna vozila u odnosu na vozila s unutarnjim izgaranjem, imaju veći udio u ukupnom broju automobila u SAD (4). Unapređenja motora s unutarnjim izgaranjem i masovna proizvodnja jeftinijeg vozila na benzin dovodi do smanjenja korištenja vozila na električni pogon. Energetske krize 1970-ih i 80-ih dovele su do kratkotrajnog zanimanja za električne automobile, te se sredinom 2000. obnovio interes u proizvodnju električnih automobila, uglavnom zbog zabrinutosti oko ubrzanog povećanja cijene nafte na tržištu i potrebe za smanjenjem emisije stakleničkih plinova (4).

Trenutno autoindustrija nudi električne automobile koji imaju domet otprilike oko 500 km, mogu razviti brzinu od $0 - 100\ \frac{km}{h}$ u gotovo istom vremenu kao super automobili. Ne nude samo male automobile već prostrane varijante sa sedam sjedala za korisnike kojima je potreban prostor i praktičnost. Hibridna vozila imaju kapacitet akumulatora približno od 3 do 5 kWh, s električnom autonomijom od 60 do 70 km (5). Tehnološki najdalje je dogurala tvrtka Tesla čiji model S može postići brzinu od 250 $\frac{km}{h}$, uz domet od 540 km i napunjenosti do 100% za 30 min uz pomoć Tesla super punjača (6). Spremnici energije predstavljaju još

uvijek najveći nedostatak ove vrste vozila zbog ograničenog kapaciteta i vremena potrebnog za punjenje (7).

2.2 Hibridna električna vozila

Hibridna električna vozila kombiniraju prednosti motora s unutarnjim sagorijevanjem i električnog motora. HEV pogon baziraju na motoru s unutarnjim izgaranjem i nemaju mogućnost punjenja preko električnog utikača kako bi nadopunili akumulator. Razvijaju se tako da zadovolje različite ciljeve kao što su manja potrošnja goriva, veća pogonska snaga ili dodatna pomoćna napajanja za električni pogon i uređaje u vozilu (8). Dodatno, se navedeni ciljevi postižu ugradnjom regenerativnog kočenja, pogonske asistencije električnog motora, automatske stani-kreni funkcije u vozilu i dr.

Prednosti regenerativnog kočenja mogu koristiti sva vozila koja imaju električni pogon. Regenerativnim kočenjem se kinetička energija koja bi inače bila izgubljena kao toplina, pretvara u električnu energiju koja potom puni akumulator vozila. Prilikom kočenja električni motor pruža dodatan otpor na kotače. Okretanjem kotača ujedno se okreće i elektromotor te se ponaša kao generator i proizvodi električnu energiju (4).

Kod hibridnog vozila prilikom pokretanja električni motor pruža dodatnu snagu motoru s unutarnjim izgaranjem pri ubrzanju, pretjecanju i usponima. Pomoć električnog motora omogućava korištenje manjih ali efikasnijih motora s unutarnjim izgaranjem. Elektromotor minimizira prazan hod i poboljšava performanse vozila prilikom kretanja i ubrzavanja. Što se pokazalo učinkovito u gradskoj stani-kreni vožnji gdje su motori s unutarnjim sagorijevanjem manje efikasni. Primjerice elektromotor ubrzava vozilo na otprilike 40 km/h, a zatim motor s unutarnjim sagorijevanjem nastavlja pogoniti vozilo (4).

Automatska stani-kreni funkcija gasi motor kada vozilo staje i ponovno ga pokreće kada je pritisnuta papučica gasa. Na taj se način sprječava gubitak energije praznog hoda, ostvaruje se ušteda na potrošnji goriva te se manje zagađuje okoliš (8).

2.3 Plug-in hibridna električna vozila

Plug-in hibridno vozilo je potpuno hibridno vozilo opremljeno akumulatorom koji ima mogućnost punjenja preko električnog utikača kako bi se nadopunio akumulator. PHV radi na principu električnog vozila dok se akumulator ne isprazni. Kada se akumulator isprazni vozilo automatski prelazi na motor s unutarnjim izgaranjem, baš poput klasičnog hibridnog vozila.

PHEV s obzirom na vezu mehaničkog i električnog dijela pogonskog sustava mogu biti izvedeni sa serijskim, paralelnim i serijsko-paralelnim pogonskim sustavom (1).

Serijski PHEV se također naziva električno vozilo s produljenim dometom (engl. *Extended Range Electric Vehicles*, EREV). Pogonske kotače uvijek pogoni elektromotor, bez ikakve mehaničke veze s motorom s unutarnjim izgaranjem. Kako bi se povećao domet serijskog hibrida, motor s unutarnjim izgaranjem se uključuje po potrebi i preko generatora proizvodi

električnu energiju kojom puni akumulator vozila. Na taj način motoru s unutarnjim izgaranjem je omogućen rad u optimalnom radnom području s najmanjom potrošnjom goriva.

Kod paralelnog hibrida postoji mogućnost pogona vozila motorom s unutarnjim izgaranjem i elektromotora istovremeno. Također postoji mogućnost pogona samo motorom s unutarnjim izgaranjem ili čistog električnog pogona. Najčešće se kod takvih hibrida koristi automatski mjenjač (1).

Kod serijsko-paralelnih hibrida raspodjela snage na pogonske kotače dijeli se između električnog motora i motora s unutarnjim izgaranjem pomoću posebnog diferencijala. Omjer razdiobe snage može biti od 0-100% u korist ili elektromotora ili motora s unutarnjim izgaranjem. Motor s unutarnjim izgaranjem se također može koristiti i za punjenje akumulatora vozila. Primjerice na otvorenoj cesti primarni motor je motor s unutarnjim izgaranjem, dok elektromotor služi kao dodatna snaga (npr. kod pretjecanja) (1). Sadrži akumulatore većeg kapaciteta od običnih hibrida što mu omogućuje veći domet s pogonom na električnu energiju.

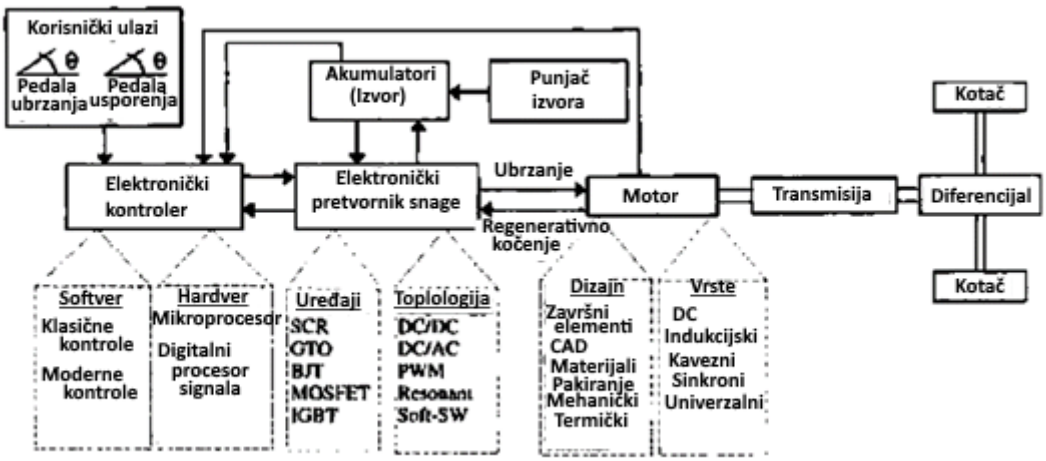
Koncept plug-in hibrida zanimljiv je onima koji svakodnevno putuju na manjim udaljenostima te na taj način mogu potpuno ili djelomično izbjeći korištenje motora s unutarnjim izgaranjem i ostvariti značajne uštede goriva (8).

2.4 Električna vozila s akumulatorom

Električna vozila (engl. *Electric Vehicles*, EV) ili električna vozila s akumulatorom pokreću se pomoću električnog motora. Električni motor za izvor energije koristi isključivo akumulator, što je osnovna razlika u odnosu na PHEV . Akumulatori se mogu obnavljati koristeći energiju iz izvora koji je izvan vozila. Kao što je vlastita ili javna električna punionica.

2.5 Osnovni elementi vozila na električni pogon

Osnovni elementi koji se koriste za pogon električnog vozila su električni motor, električni akumulator te kontroler i regulator za upravljanje motora. Pod dodatne komponente ubrajaju se analogno-digitalni pretvarač signala papučice gasa, istosmjerni pretvarač napona za pogon u automobil ugrađenih uređaja (svjetla, pokazivač smjera i slično) te mjerni instrumenti (4). Slika 1. prikazuje osnovne komponente električnog vozila te interakciju među njima. Prikazani su podsustavi koji se koriste za svaki osnovni element. Upravljački dio prima signal od papučica gasa i kočnice o željenoj brzini, odnosno usporenju. Signal se prenosi na pretvornik snage koji u ovisnosti o vrijednosti koju je primio s regulatora prenosi na motor. Motor odgovarajućom brzinom vrtnje pogoni preko prijenosa osovinu koja stvara moment i okreće kotače. U tom slučaju moguć je negativni tok energije, odnosno mehanička energija gibanja električnog vozila se pretvara u električnu.



Slika 1: Osnovni elementi za pogon električnog vozila s podsustavima (3)

2.5.1 Električni motor

Elektromotori imaju znatno veću iskoristivost od benzinskih i dizelskih. Osim toga jednostavnije su konstrukcije što smanjuje mogućnost kvara te potrebe zbrinjavanja zamijenjenih dijelova. Na električnom automobilu nema potrebe za promjenom motornog ulja koje predstavlja veliku potencijalnu opasnost za onečišćenje okoliša. Električno vozilo u usporedbi s vozilom koje ima motor s unutarnjim sagorijevanjem može ostvariti uštedu energije do 82% za gradske i prigradske vožnje (10).

2.5.1.1 Istosmjerni motor

Istosmjerni motori se koriste u sustavima kojima je potrebno prilagođavanje brzine, često kretanje, kočenje i kretanje unatrag, zbog usavršene tehnologije i jednostavnog sustava upravljanja. Način djelovanja je jednostavan. Kada kroz vodič teče električna struja i nalazi se u magnetskom polju, stvara se magnetska sila koja djeluje na vodič. Magnetska sila je okomita na vodič i na magnetsko polje, kako prikazuje slika 2. Magnetska sila je proporcionalna električnoj struji i gustoći električnog polja pa vrijedi: (3).

$$\vec{F} = \vec{B}\vec{I}lsin\alpha \tag{1}$$

$\vec{F}$ [N] – sila

$\vec{B}$ [T] –jakosti magnetskog polja

$\vec{I}$[A] $-$ jakost struje

l[m] – duljina

$\alpha[rad]$ $-$ kut vektora strujnog elementa i vektora magnetske indukcije

Kada je vodič namotan u spiralu ili petlju na slici 2. magnetska sila djeluje na obje strane, te dolazi do stvaranja momenta koji se izražava:

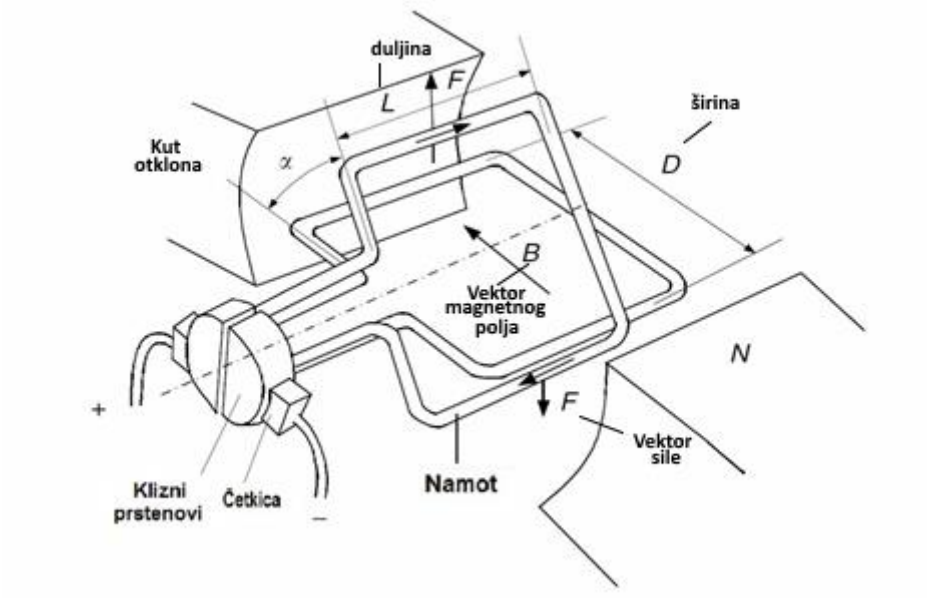
$$\vec{M} = \vec{F}\frac{D}{2} \tag{2}$$

$\vec{M}[Nm]$ $-$ moment sile

$\vec{F}$ [N] – sila

$D[m]$ $-$ promjer petlje

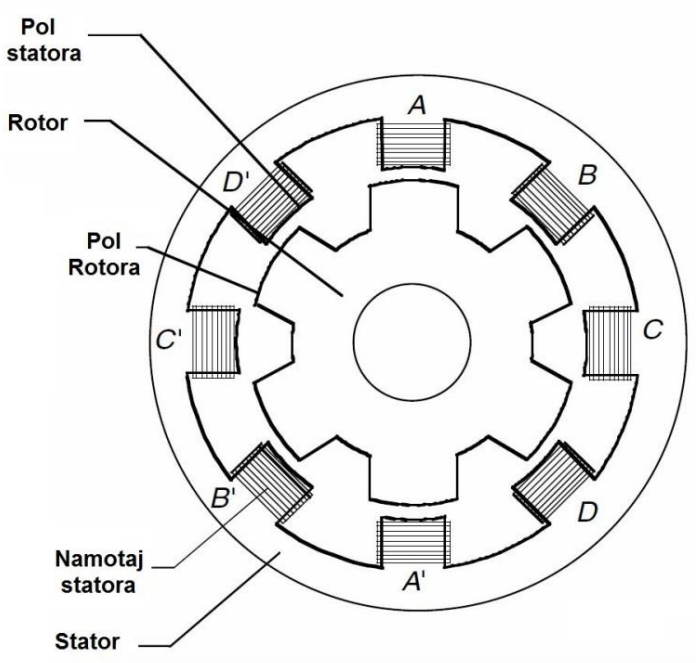
Magnetsko polje stvara se nizom namotaja ili stalnim magnetom. Više namotaja kojima teče električna struja nazivaju se armatura. Kako bi se zadržao konstantni i maksimalni moment, koriste se klizni prsteni i četkice čija je uloga dovesti svaki namotaj u položaj gdje je $\alpha = 0$. Parametri istosmjernog motora mogu se opisati otporom i induktivitetom armature, elektromotornom silom i magnetskim tokom (3).



Slika 2. Princip rada istosmjernog motora (3)

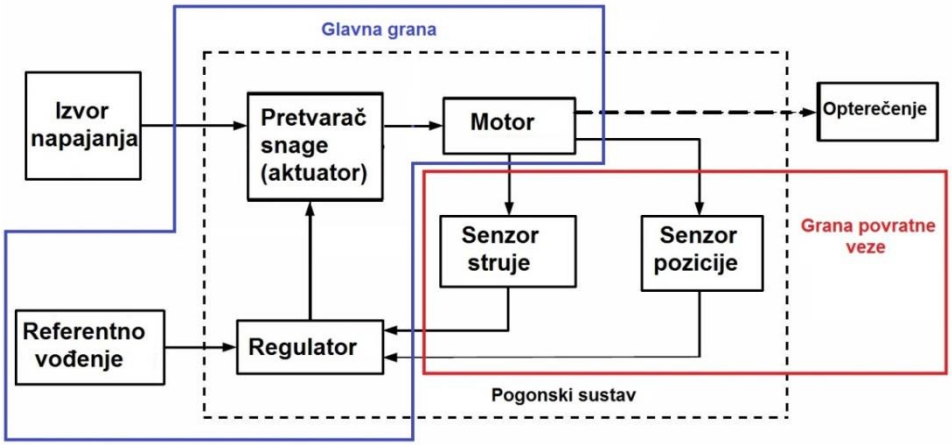
2.5.1.2 Reluktantni motor

U sustavima gdje je potrebna promjenjiva brzina vrtnje motora, reluktantni motor je pogodan kandidat za implementaciju. Ovaj tip motora pogodan je za primjenu u električnim vozilima, kao i dio zrakoplovnog pogonskog sustava, rudarske pogone itd. Struktura reluktantnog motora je jednostavna i niske cijene, ne sadrži stalni magnet ni namotaje na rotoru. Namotaji se nalaze samo na statoru. Postoji više izvedbi ovakve vrste motora, ovisno o odnosu broja polova statora i rotora. Na slici 3. prikazana je struktura reluktantnog motora u izvedbi 8/6. Ovakva struktura, osim što smanjuje cijenu samog motora, nudi velike radne brzine motora. U usporedbi s indukcijskim i motorima koji koriste stalne magnete, nema mehaničkih kvarova koje uzrokuju velike centrifugalne sile (3).



Slika 3. Presjek reluktantnog motora (3)

Sustav upravljanja reluktantnog motora sastoji se od električnog napajanja, referentne ili željene vrijednosti, regulatora, pretvarača snage, senzora za mjerenje struje, senzora za mjerenje pozicije te opterećenja. Napajanje, koje je spojeno na pretvornik snage, mora biti istosmjerno spojeno s akumulatorom ili izvorom gradske mreže preko pretvornika iz izmjenične u istosmjernu struju (3).Slika 4. prikazuje navedeni sustav. Ovaj sustav se može podijeliti na glavnu granu u koju spada referentno vođenje, regulator, pretvornik snage i motor te na granu povratne veze koju predstavljaju mjerenja sa senzora struje i pozicije. Regulator daje signal pretvaraču snage koji prenosi snagu s izvora ovisno o mjerenjima dobivenim iz grane povratne veze i referentnom vođenju (3).



Slika 4. Sustav upravljanja pogonom reluktantnog motora (3)

2.5.2 Elektrokemijski akumulator

Elektrokemijski akumulator je baterija koja se može ponovo puniti i pod određenim uvjetima akumulirati električnu energiju, dakle može se višestruko upotrebljavati. Dok se baterija smatra kao spremnik električne energije koju nakon što se isprazni više ne možemo iskoristiti. Mogli bismo reći da su svi akumulatori baterije, ali sve baterije nisu akumulatori (9).

Akumulatori su uređaji koji pretvaraju električnu energiju u kemijsku za vrijeme punjenja i kemijsku energiju u električnu za vrijeme pražnjenja, putem elektrokemijske reakcije. Primjeri elektrokemijskih akumulatora su olovni akumulatori, akumulatori zasnovani na niklu te akumulatori zasnovani na litiju (8) (9). Glavni dijelovi akumulatora su anoda, katoda i elektrolit. Sastoji od nekoliko ćelija koje su međusobno povezane. Ćelija se sastoji od dvije elektrode (anode i katode) i elektrolita u kojega su uronjene i u pravilu proizvodi napon od 2 V. Anoda je elektroda koja daje elektrone kako bi potekla struja. Katoda je oksidirajuća elektroda koja prihvaća elektrone. Konačno, elektrolit nosi električnu struju, kao ione unutar ćelije, između anode i katode.

Akumulator je određen kapacitetom u amper satima te nazivnim naponom. Kapacitet se definira kao broj amper sati koji se dobije kod pražnjenja akumulatora od stanja napunjenosti do stanja potpune ispražnjenosti (3). Pri početku pražnjenja ima veći napon od nazivnog napona koji je definirao proizvođač. Početni napon ubrzo padne na približnu vrijednost definiranog napona koji lagano pada do vrijednost na kojoj uređaj prepoznaje da je akumulator u potpunosti ispražnjen. Raspon napona od potpune napunjenosti do potpune ispražnjenosti je približno 2 V.

Ciklusi punjenja i pražnjenja, starenje, temperatura te dugo skladištenje imaju velik utjecaj na ukupan kapacitet akumulatora. Poznavanje akumulatorskih parametara može pomoći pri produljenju vijeka trajanja ili optimizaciji rute (3).

Stanje napunjenosti akumulatora (engl. *State of Charge,* SOC) definira se kao dostupni naboj pohranjen u akumulatoru u odnosu na naboj potpuno ispražnjenog akumulatora. Procjena ovog parametra važna je zbog optimalnog upravljanja sustavom napajanja električnog vozila. SOC poprima vrijednosti u intervalu (0,1) (10). SOC je definiran kao:

$$SOC_{(t)} = SOC^{(t_0)-\frac{1}{K}\int_0^t i(t)d(t)} \tag{3}$$

gdje je:

$SOC(t_0)$ - početno stanje napunjenosti akumulatora

K_{pnom} $[Ah]$ - normalni kapacitet potpuno napunjenog akumulatora

i(t) $[A]$ - struja pražnjenja

3 Stanica za punjenje električnih vozila

Punionica za električna vozila (engl. *Electronic Charging Station*, ECS) i oprema za punjenje (engl. Electric Vehicle Supply Equipment, EVSE) dostavlja električnu energiju od električnog izvora do akumulatora vozila. Komunicira s vozilom kako bi osigurala odgovarajući i siguran protok električne energije.

Oprema za punjenje specificirana je u IEC 61851 standardu. Postoje tri tipa punjača (engl. *Charging Plug*) i njima odgovarajućih utičnica (engl. *Vehicle Inlet*) kao što je prikazano na slici 5.

Tip 1 ne podržava trofaznu izmjeničnu struju , stoga je prilagođen američkom i japanskom tržištu. Koji imaju isključivo jednofaznu električnu mrežu napona 100-120V/240 V (10).

Tip 2 podržava obje i jednofaznu i trofaznu izmjeničnu struju. Prevladava na Europskom i Kineskom tržištu. Implementiran je tako da podržava priključak na mrežu s jednom fazom pri naponu od 240V i tri faze pri naponu 400 V (11).

U listopadu 2011. osam proizvođača vozila Audi, BMW, Chrysler, Daimbler, Ford, GM, Porsche i VW prezentirali su prijedlog za jedinstveni punjač i njemu prigodnu utičnicu. Koji omogućava punjenje izmjeničnom (AC) i istosmjernom DC strujom nazvan je *Combined Charging System* . Utičnica kombinira tip 1 i tip 2 za punjenje AC strujom, no sadrži još dodatna dva pina za punjenje DC strujom, koja u pravilu opskrbljuje vozilo većom snagom te omogućava brže punjenje.

Slika 5. Tipovi utikača za razna tržišta (11)

Komunikacija između vozila i punionice odvija se preko *Control Pilot (CP)* pina. Koristi se za razmjenu informacija tijekom punjenja izmjeničnom i istosmjernom strujom. *Control Pilot* pin prenosi analogne signale modulirane pulsno-širinski (engl. *Pulse Width Modulation*, PWM) kao i digitalne informacije više razine koje omogućuju *Plug and Charge* komunikaciju. Digitalnom komunikacijom više razine moguće je razviti naprednije usluge kao što je na primjer inteligentno upravljanje električnom mrežom, koje nije moguće ostvariti samom analognom komunikacijom. Komunikacija više razine modulirana je unutar postojećeg analnog kanala pomoću *Powerline Communication (PLC)* kontrolera. *Proximity Pilot (PP)* pin prenosi signal koji detektira da li je vozilo priključeno na punionicu, također određuje koliku snagu punjenja vozilo podržava. *Protective Earth (PE)* pin osigurava uzemljenje. Pinovi faza predstavljeni su sa slovom L (12). Pinovi koji prenose istosmjernu struju (engl. *Direct Current*, DC) predstavljeni su s pinom DC+ i DC- kao što je prikazano na slici 6.

Slika 6. *Combined Charging System* punjač s pinovima (11)

Prije samog procesa punjenja između električnog vozila i punionice preko CP pina razmjenjuju se analogni signali. Analogni PWM signali određuju trenutni status vozila i punionice. Dekodiraju informacije kao primjerice maksimalna dozvoljena struja punjenja, raspoloživost punionica za punjenje ili električne mreže.

Električna vozila mogu biti punjena u četiri razine punjenja. Razine se razlikuju o jakosti struje koju mogu isporučiti i komunikacijskom i sigurnosnom mehanizmu kojeg podržavaju.

- Razina 1 posjeduje utikač izmjenične struje (AC) koji je ograničen na 16 A jakosti struje pod naponom od 250 V za jednofaznu struju i 480 V za trofaznu struju. Dok maksimalno stanje napunjenost na razini 1 može trajati između 8 i 20 sati, ovisno o kapacitetu akumulatora vozila. Punjenje na razini 1 je generalno moguć u svakom domu (13) (12).
- Razina 2, posjeduje utikač izmjenične struje (AC) do jakosti 32 A pri naponu od 250V za jednofaznu struju i napon od 480 V za trofaznu struju. Unutar kabla integriran je *In-cable control box (ICCB)* koji štiti od preopterećenja. Sadrži ispravljač koji pretvara

izmjeničnu u istosmjernu struju . Punjenje razine 2 može trajati između 3 i 8 sati, ovisno o kapacitetu akumulatora vozila (12) (13).

- Razina 3, je javno dostupna punionica koja komunicira s vozilom sa analognim pulsno-širinskim signalima. Naponom i jakosti struje identična je razini 2 (12) (13)..
- Razina 4 ili brzi punjači (engl. *Fast Charger*) slična je razini 3 jer se punjenje događa preko punionice. Razlikuje se u tome što se omogućava direktno punjenje istosmjernom strujom DC pod naponom od 600V i većom snagom. Stoga su pogodni za punjenje duž velikih prometnih koridora ili na javnim punionicama. Punjenje na ovakvim punionicama može potrajati manje od 30 minuta da bi se akumulator napunio na veći dio kapaciteta i 45 min do stanja potpune napunjenosti (12) (13).

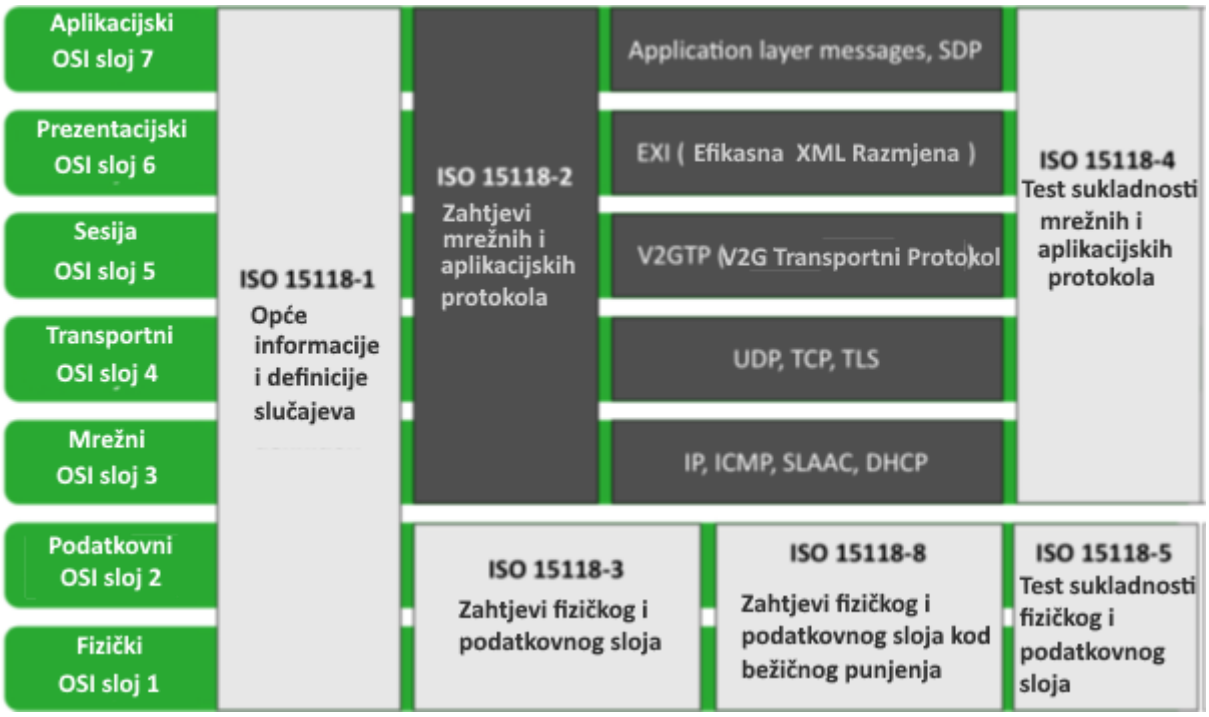
Očekuje se da će većina vlasnika PHEV i EV puniti svoja vozila preko noći kod kuće. Oprema za punjenje razine 1 i 2 primarna je opcija za kućno punjenje. Javne punionice za punjenje upotrebljavaju punjače razine 3 ili brze DC punjače. Trenutno se takve punionice najčešće nalaze na lokacijama gdje se izmjenjuje velika koncentracija ljudi koji ostavljaju svoja vozila. Neke od tih lokacija su trgovački centri, parkirališta i garaže, restorani. Rasprostranjenost javnih punionica za PHEV i EV povećava prihvatljivost takve vrste vozila (13) (14).

4 Komunikacija vozila s mrežom

Vehicle to grid - V2G digitalna komunikacija bazirana na IP protokolu definirana je u internacionalnom standardu ISO 15118. Tim standardom definirana je komunikacija između električnog vozila i punionice. Odgovorni za komunikaciju su komunikacijski kontroler u vozilu (engl. *Electric Vehicle Communication Controller*, EVCC) i komunikacijski kontroler u punionici (engl. *Supply Equipment Communication Controller*, SECC). Svrha ovog standarda je omogućiti jednostavan mehanizam za autentikaciju, autorizaciju i naplatu prilikom priključivanja vozila na punionicu. Mehanizam ne smije zahtijevati nikakvu dodatnu radnju korisnika osim samog priključivanja na punionicu. V2G komunikacijom ostvaruju se preduvjeti kojima se omogućava integracija vozila na pametnu mrežu (engl. *Smart Grid*).

Pametnom električnom mrežom moguće je fleksibilno i efikasno iskorištavanje energije iz električne mreže štiteći je od preopterećenja (engl. *Intelligent Load Management*) (2). Dodatno, električna vozila priključena na električnu mrežu mogu uravnotežiti razlike u ekstremne vrijednostima, potrebe za električnom energijom. Razlike nastaju zbog veće potrebe kućanstava za električnom energijom danju i manjom potrebom za električnom energijom noću. Noću bi vozila apsorbirala proizvedeni višak električne energije punjenjem svojih akumulatora, a danju kada je veća potreba za energijom, pod određenim uvjetima pustila energiju ponovno u električnu mrežu (14).

U kompletnom poslovnom procesu sigurne autorizacije, autentifikacije, naplate, integracije punionica s električnom mrežom (engl. *Smart Grid Integration*), zatim mehanizma za inteligentno upravljanje električnom mrežom (engl. *Inteligent Load Management*). Uključeno je više interesnih skupina: proizvođači vozila, operater za električnu energiju (engl. *Charge Point Operators*, CPO), operater usluge punjenja (engl. *Mobility Operators*, MO), kuća za izdaju certifikata (engl. *Certificate Authority*, CA). ISO 15118 ne obuhvaća sve usluge raznih interesnih skupina već je baziran isključivo na komunikaciju između vozila i punionice. Na slici 7. prikazan je OSI model s pripadnim protokolima po određenom sloju za V2G komunikaciju.



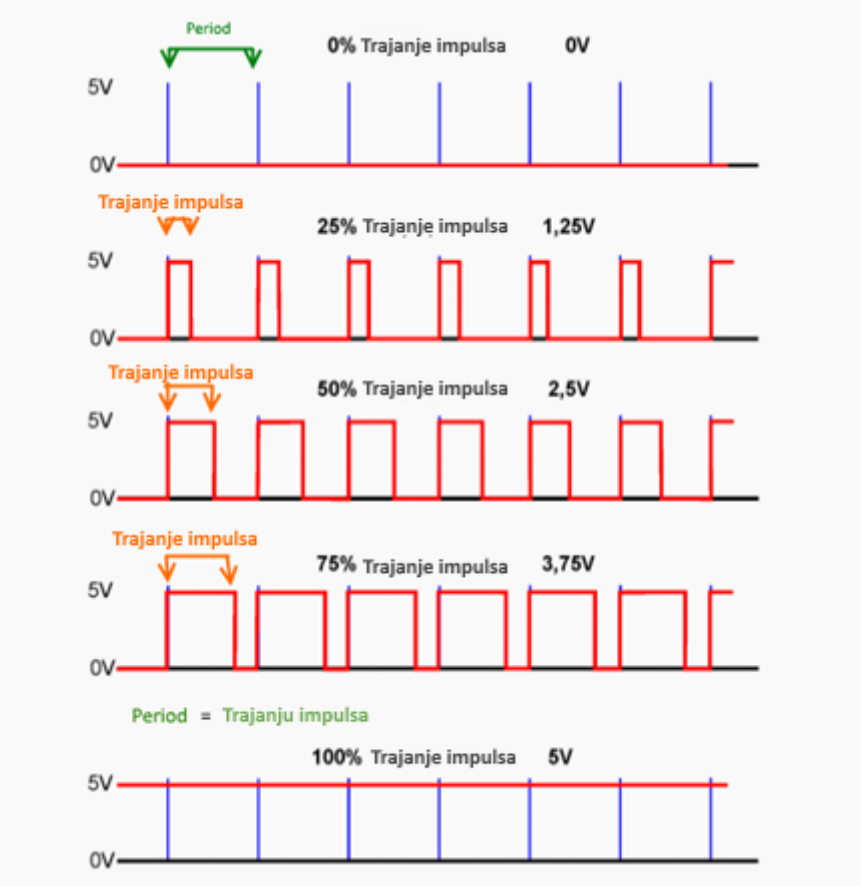
Slika 7. OSI model *Vehicle to grid* komunikacije (11)

Komunikacija u kojoj se koriste sigurnosni mehanizmi te kojom se omogućava automatska autorizacija, autentifikacija i naplata još se naziva *Plug and Charge - PnC*. Standard ISO 15118-2 odnosi se na standardizaciju višim slojevima komunikacije između vozila i punionice te također opisuje PnC. Specificira na koji način ostvariti punjenje vozila bez autorizacije vanjskim autorizacijskim medijem. Primjeri autorizacije i naplate pomoću vanjskog autorizacijskog medija su plaćanje u gotovom novcu, kreditnom ili debitnom karticom i autorizacija uz pomoć NFC, RFID, QR kod, SMS porukom ili nekom drugom tehnologijom. PnC komunikacija smatra da korisnik usluge punjenja vozilo priključuje na punionicu čime se u pozadini odvija autorizacija, autentifikacija, kontrola od preopterećenja električne mreže i naplata (11).

4.1 Analogna komunikacija po IEC 61851

U standardima IEC 61851 i ISO 15118-3 opisuju se komunikacijski protokoli koji se odnose na fizički i podatkovni sloj V2G komunikacije. PnC treba biti prenesen kao 5% trajanja impulsa (engl. Duty Cycle). PWM signala preko CP pina opisanog u poglavlju 3. Opisano je kako određeno trajanje impulsa signalizira punionici o kojem se statusu između vozila i punionice radi: početak punjenja, punjenje, vozilo nije dobro priključeno na punionicu. Bitno je napomenuti da se može obaviti punjenje analognom komunikacijom, no mogu se prenijeti samo nužne informacije koje su potrebne da bi odvilo punjenje bez naprednih mogućnosti upravljanja. Signali koji određuju status procesa punjenja generirani su pomoću napona i pulsno-širinske modulacije signala.

Pulsno-širinska modulacija je metoda koja se koristi kako bi se s digitalnog izvora proizveo analogni signal ili obrnuto. Ponašanje PWM signala je karakterizirano dvjema vrijednostima: frekvencijom i trajanjem impulsa (engl. *Duty Cycle*). Kod pulsno-širinske modulacije frekvencija impulsa je fiksna ali se mijenja parametar trajanja impulsa odnosno postotak vremena u kojem je signal u visokoj (engl. *High*) razini i niskoj (engl. *Low*) razini. Slika 8. prikazuje neke slučajeve generiranja signala.

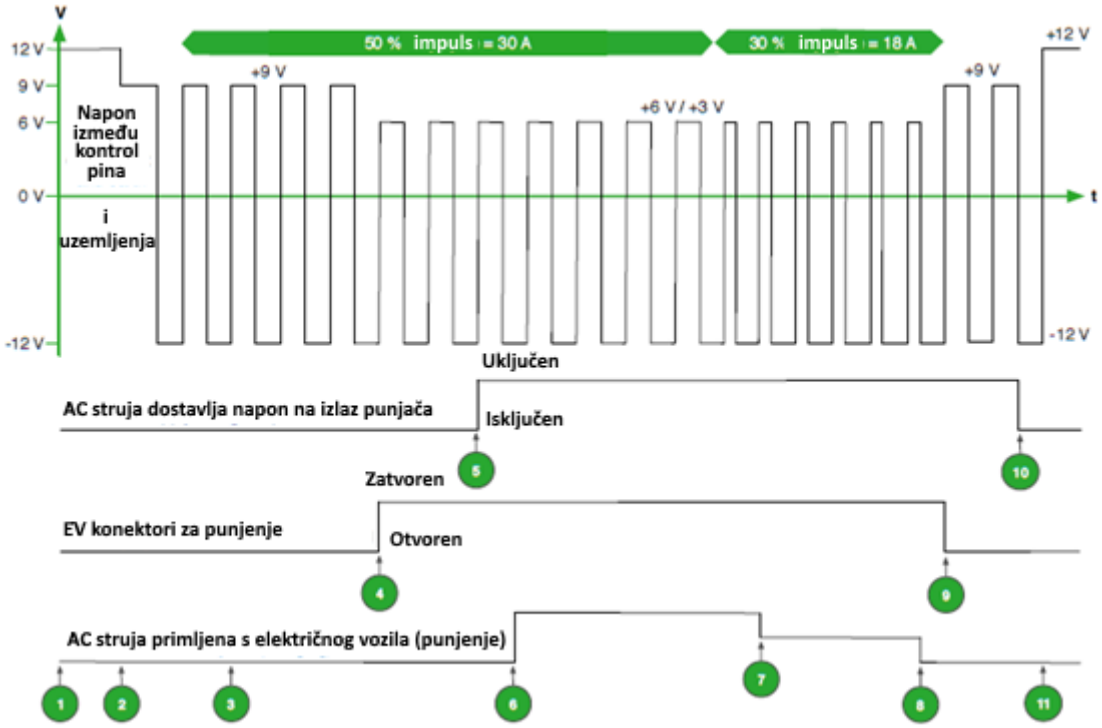


Slika 8. Primjer raznih impulsa pulsno-širinske modulacije

Na slici 9. prikazani su statusi koji prezentiraju određeni trenutak u procesu punjenja. Tako statusi redom prikazuju (11):

- Status 1 električno vozilo nije priključeno te je generiran napon od +12 V koji je mjeren na utičnici EVSE između CP i PE pina.
- Status 2 pri (+9V) signalizira se da je vozilo spojeno na punionicu sa priključnicom za punjenje, no još nije spremno na punjenje.
- Status 3 EVSE nije spremna za opskrbu energijom već provjerava i ukazuje pomoću trajanja impulsa PWM signala na najveću struju koju je moguće isporučiti. Napon oscilira između +9V i -12V. Čim kontroler izmjeri struju kojom može opskrbiti vozilo zaključava se priključnica tako se priključak punjača ne može više izvaditi.
- Status 4 nakon zaključavanja priključka punjača podrazumijeva se da je vozilo spremno za punjenje te napon pada na 6V.

- Status 5 Nakon provjera zaštite od strujnog udara koje bi mogle ugroziti čovjekov život, ukoliko je sve prošlo uredu započinje opskrba energijom. Zatvara se strujni krug te se dostavlja električna energija na izlaz priključka punjača.
- Status 6 Karakterizira početak punjenja akumulatora električnog vozila. Raspored punjenja je u potpunosti kontroliran od strane vozila. Struja punjenja ne smije niti u jednom trenutku premašiti gornji limit koji je određen trajanjem impulsa te prikazan u postocima.
- Status 7 Dodatni zahtjevi koji pristižu od električne mreže. Primjerice prekomjerno opterećenje mreže zahtjeva snižavanje maksimalne struje punjenja.
- Status 8 Električno vozilo završava s procesom punjenja.
- Status 9 Električno vozilo otključava priključak punjača te radi pripremu za odvajanja punionice i električnog vozila.
- Status 10 Priključnica punionice također detektira prestanak punjenja te otvara svoje konektore.
- Status 11 Nakon što su priključnica te priključak punjača odvojeni jedno od drugoga napon se ponovno vraća na 12 V te je punionica pripravna za novi proces.

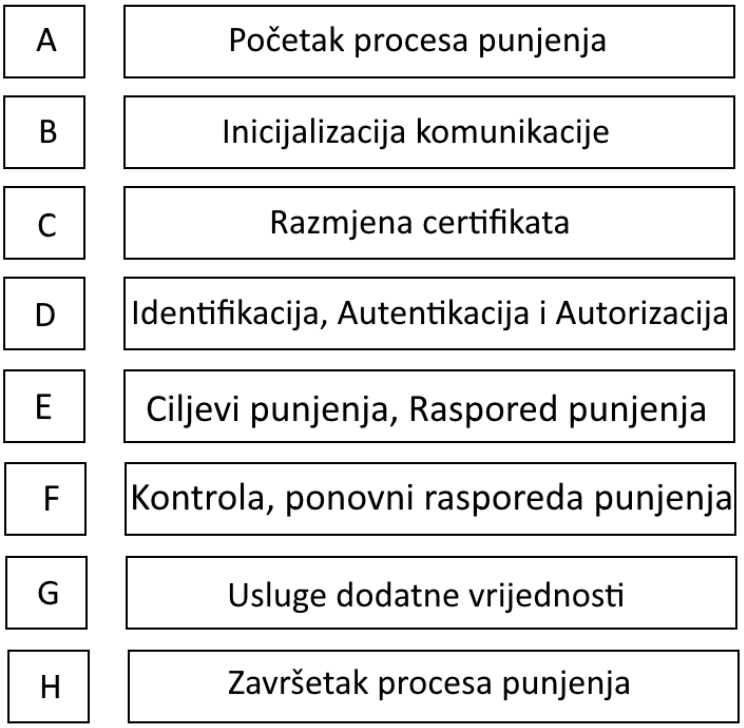


Slika 9. Proces punjenja uz odgovarajuće impulse PWM signala (11)

4.2 Digitalna komunikacija po ISO 15118-2

Komunikacija je slična komunikaciji između servera i klijenta. Tako što EVCC šalje zahtjeve prema SECC koji prema tome odgovara odgovarajućim porukama. Poruke kojima SECC odgovara na zahtjev moraju biti između 2 i 5 *s* u suprotnom se komunikacijska sesija prekida te mora ponovno biti inicirana sa strane EVCC.

Redoslijed kojim se odvija komunikacija prikazuje slika 10. Slova od A do H predstavljaju grupe koje karakteriziraju specifične poruke za tu grupu poruka.



Slika 10. Raspored grupa poruka prilikom procesa punjenja (11)

Grupe poruka A označavaju početak punjenja. Prilikom početka punjenja čim su vozilo i punionica spojeni uspostavlja se konekcija bazirana na IP protokolu, šalje se PWM signal od 5% vremena trajanja impulsa preko CP pina. Prva poruka koja je poslana od strane EVCC u aplikacijskom sloju je SDP (engl. *SECCDiscoveryReq*) zahtjev. EVCC koristi SDP (engl. *SECC Discovery Protocol*) protokol kako bi primio IP adresu i *port* od SECC. EVCC zaprima odgovor u SDP (engl. SECCDiscoveryRes) poruci. Čim je odgovor zaprimljen uspostavlja se konekcija u transportnom sloju između EVCC i SECC. U trenutku kada se razmjene *SupportedAppProtocolReq/-Res* poruke uspostavljena je TCP ili TLS sesija EVCC i SECC. Nakon toga koraka razmjenjuju se XML bazirane poruke.

SessionSetupReq/-Res poruke koje služe kako bi dodijelile ID sesiji unutar koje će se razmjenjivati sve buduće poruke unutar sesije punjenja. Time započinju grupe poruka B.

ServiceDiscoveryreq/-Res porukama EVCC šalje zahtjev SECC za sve dostupne servise od strane punionice. Odgovori sadrže informacije da li je punjenje dostupno jednofaznom ili trofaznom izmjeničnom strujom ili istosmjernom strujom te koje usluge dodane vrijednosti su dostupne kao internet konekcija za prijenos i skidanje podataka. Odgovori ovise o mogućnostima punionice.

PaymentServiceSelectionReq služe kako bi EVCC obavijestili u vezi autentikacijske metode i servisa dodane vrijednosti koji se odabiru u grupi G. EVCC odabire metodu autentifikacije i autorizacije pomoću *PnC* ili RFID kartice ili neke druge eksterne metode. Ukoliko je odabran *PnC* , SECC (kontroler na punionici provjerava) provjerava da li je ispravan digitalni certifikat koji je zaključen između vlasnika vozila i proizvođača vozila (Engl. Mobility Operator). Ako takav certifikat ne postoji mora biti instaliran. Za instalaciju su odgovorne *CertificateInstallationReq/-Res* poruke, ukoliko je certifikat samo istekao on se obnavlja. Za obnovu certifikata su odgovorne *CertificateUpdateReq/-Res* poruke. Čime završava grupa poruka C.

Nakon instalacije certifikata na EV *PaymentDetails* zatjev se šalje sa strane EVCC kako bi prenio ugovorni certifikat (Engl. C*ontract Certificate*) uključujući lanac certifikata (Engl. C*ertificate Chain)* potreban kako bi se verificirao ugovorni certifikat. Prenosi se i identifikacijski broj E-Mobility računa (Engl. *E-Mobility Account Identifier - EMAID)* koji odgovara ugovornom certifikatu. *CPO* (Engl. Charge Point Operator) koristi EMAID kako bi upitao proizvođača vozila postoji li odgovarajući ugovor između korisnika i proizvođača vozila. Prvih 5 znamenki EMAID služi za identifikaciju proizvođača vozila. SECC također potvrđuje i verificira ugovorni certifikat samostalno pomoću *root* certifikata instaliranog u memoriji opreme za punjenje vozila ili prosljeđivanjem certifikata u pozadinskom servisu od CPO za daljnju verifikaciju.

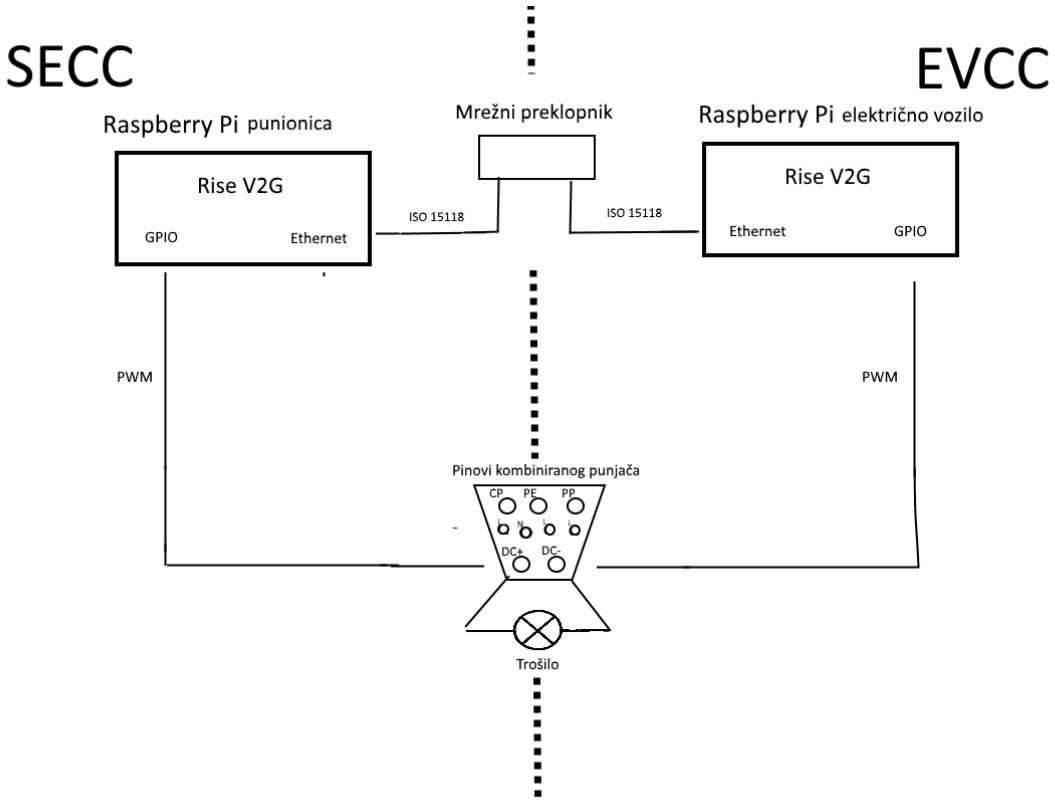
Nakon postavljanja početnih postavki te nakon završetka procesa autorizacije i autentifikacije punionica i vozilo razmjenjuju informacije o mogućnostima punjenja te njenim restrikcijama koje se odnose na napon te struju punjenja. Kontroler električnog vozila šalje informaciju koja količina energije je potrebna kako bi se akumulatore električnog vozila potpuno napunilo. Informacija može uključivati energiju za dodatne uređaje kao što su na primjer uređaji za grijanje, hlađenje itd. Zatim kontroler punionice isporučuje zahtijevanu snagu. Čitav ovaj slijed se događa unutar *ChargeParameterDiscovery Req/-Res* poruka čime završava grupa poruka E.

U stupnju F započinju poruke koje se razlikuju s obzirom da li je riječ o punjenju izmjeničnom ili istosmjernom strujom. U slučaju punjenja izmjeničnom strujom iduće poruke su naziva *PowerDeliveryReq*. Slijede *CableChackReq/-Res* poruke koje mijenjaju stanje kontrolnog pina (CP) iz B u stanje C/D te obavještavaju kontroler na punionici da je konektor zaključan i spreman za punjenje. Zatim električno vozilo šalje *PreChargeReq* poruke koje sadrže informacije o zahtijevanoj struji i naponu za punjenje. Nešto prije početka procesa punjenja kontroler električnog vozila mora poslati *PowerDeliveryReq* zahtjev. *PowerDelivery* poruke označavaju zadnji trenutak u vremenu prije nego oprema punionice zaista pusti napon i struju te započne s punjenjem akumulatora. Poruka u kojoj se šalje zahtjev sadrži raspored punjenja koji će se koristiti tokom punjenja koji je baziran na tehničkim restrikcijama električnog vozila i stanice za punjenje maksimalnoj snazi punjenja te opcionalno cijeni energije punjenja u tom trenutku.

Ukoliko je proces punjenja postavljen u status „Start“ proces ulazi u proces stvarnog punjenja u kojem električno vozilo i punionica konstantno razmjenjuju poruke C*hargingStatusReq/-Res* koje služe kako bi se pratila situacija u električnoj mreži te se po potrebi punjenje zaustavilo.

5 Simulacija „Plug & Charge“ komunikacije

U implementaciji standarda ISO 15118 korišten je RiseV2G projekt otvorenog koda (15) pisan u Java programskom jeziku. U radu je komunikacija po standardu ISO 15118 implementirana na način da jedan Raspberry Pi predstavlja punionicu ili SECC dok drugi predstavlja vozilo EVCC. S druge strane komunikacija niže razine po standardu IEC 61851 implementirana je pomoću Pi4J projekt otvorenog koda. Pi4J projekt omogućava pristupačne biblioteke za kontrolu ulazno-izlaznih GPIO pinova u Java programskom jeziku. Na slici 11 prikazana je shema između kojih objekata je realizirana simulacija komunikacije između punionice i električnog vozila te koji su protokoli ili standardi odgovorni za način komunikacije.



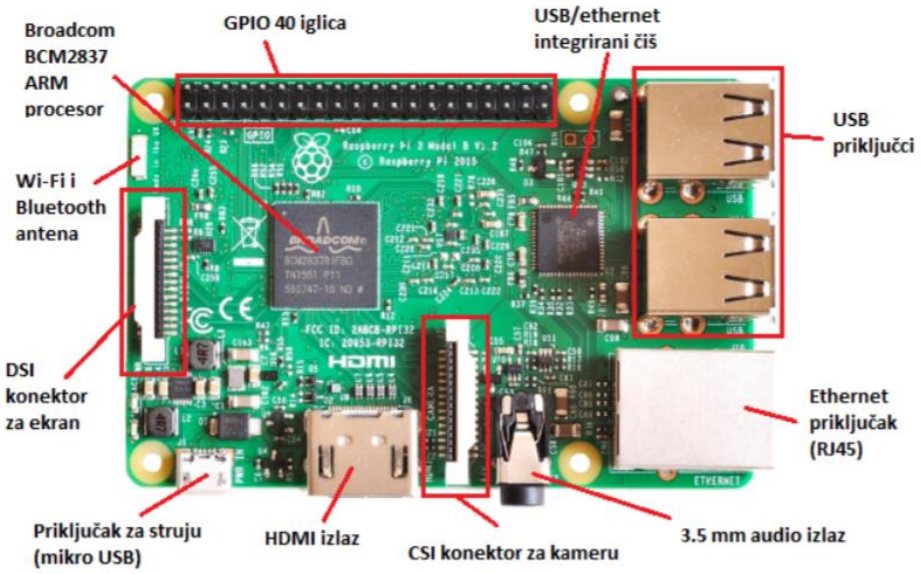
Slika 11. Prikaz implementirane sheme komunikacije između punionice i električnog vozila

5.1 Oprema korištena za simulaciju PnC

U radu je za svrhu izrade makete te same simulacije komunikacije između punionice i električnog vozila korišten je Raspberry Pi uređaj te mrežni preklopnik. Mrežni preklopnik je omogućio povezivanje Raspbery Pi uređaja u lokanu mrežu, Rasberry Pi uređaji predstavljaju klijenta i poslužitelja te razmjenjuju poruke svojstvene za proces punjenja električnih vozila.

5.1.1 Raspberry PI 3

Raspberry Pi je minijaturno računalo sastavljeno od elektroničke pločice na kojoj su integrirane komponente malog računala. Proizveden je u Velikoj Britaniji od strane Raspberry Pi fondacije s namjerom olakšavanja učenja osnova računalstva u školama i na fakultetima. Ima prednost nad ostalim računalima zbog male potrošnje električne iz tog razloga pronalazi primjenu u mnogim projektima robotike i elektronike. Na slici 12. su prikazane komponente te ulazi i izlazi Raspberry Pi uređaja.



Slika 12. Osnovne komponente Raspberry Pi uređaja (16)

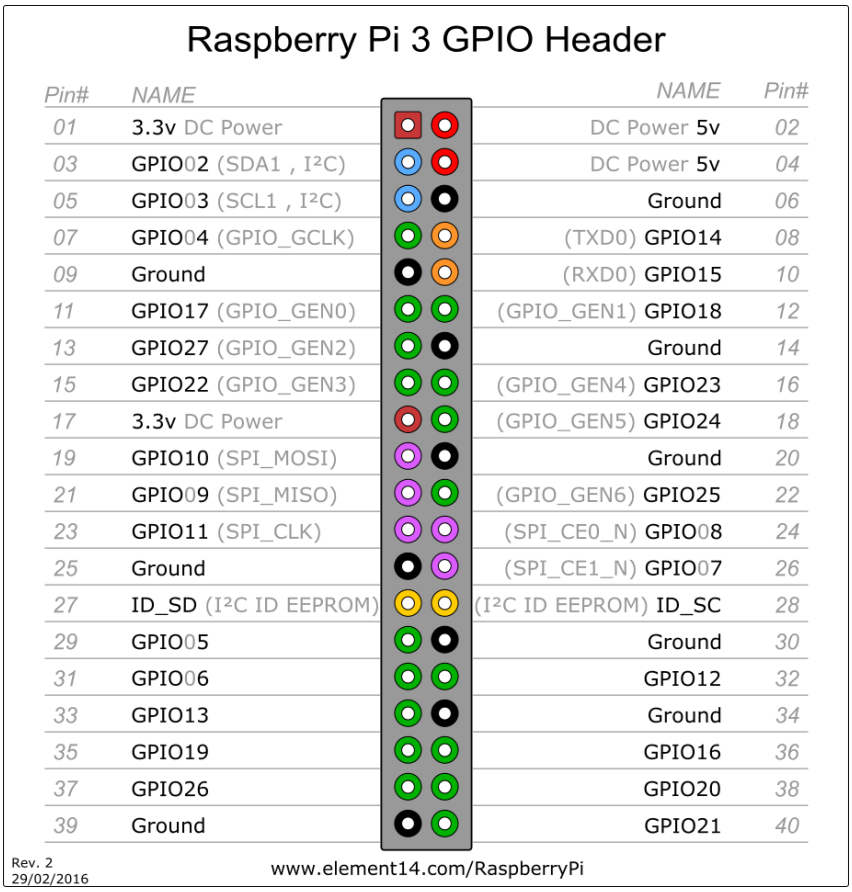
Raspberry Pi se sastoji od komponenata kao što su USB ulaz, Ethernet ulaz, Wi-Fi antene ili čipa koji podržava Bluetooth i Wi-Fi, procesor, HDMI ulaz. U tablici 1 se nalaze tehničke specifikacije za Raspberry Pi model 3B.

Tablica 1. Popis komponenti Raspberry Pi 3B modela

SoC (Engl. System on Chip)	Broadcom BCM2837
CPU (Engl. Central Processing Unit)	4× ARM Cortex-A53, 1.2GHz
GPU (Engl. Graphics Processing Unit)	Broadcom VideoCore IV
RAM (Engl. Random Access Memory)	1GB LPDDR2 (900 MHz)
Networking	10/100 Ethernet, 2.4GHz 802.11n wireless
Bluetooth	Bluetooth 4.1 Classic, Bluetooth Low Energy
Storage	microSD
GPIO	Uzglavlje s 40-pinova
Ulazi i izlazi	HDMI, 3.5mm analogue audio-video jack, 4× USB 2.0, Ethernet, Camera Serial Interface (CSI), Display Serial Interface (DSI)

Broadcom BCM2837, je sistem na čipu koji pokreče Raspberry Pi 3 Model B, sastoji se od procesora 4 ARM Cortex-A53 jezgre procesora visokih performansi čija je brzina 1.2 GHz sa 32kB razine 1 (L1) i 512kB razine 2 (L2) koja se odnosi cache memorije, VideoCore IV procesora za grafiku i povezan je sa 1GB LPDDR2 radne memorije. Model 3B otprilike je 10 puta učinkovitiji od procesora Raspberry Pi 1. također je otprilike 80% brži od svog prethodnika kada je u pitanju paralelno izvršavanje radnji (16).

GPIO pinovi su osim što posjeduje operacijski sustav jedna od najvećih prednosti Raspberry Pi uređaja. Pinovi omogućuju integraciju i primjenu logike s drugim elektroničkim uređajima što je pogodno za razvoj raznih projekata. Raspberry Pi 3 Model B sadrži isključivo digitalne pinove. Neki od tih pinova podržavaju SPI, I2C, UART komunikaciju te sadrži 4 pina koji omogućavaju napajanje dva sa 3,3 V i 2 sa 5V, 7 GND pinova. Na slici 13. prikazani su GPIO pinovi Modela 3B.

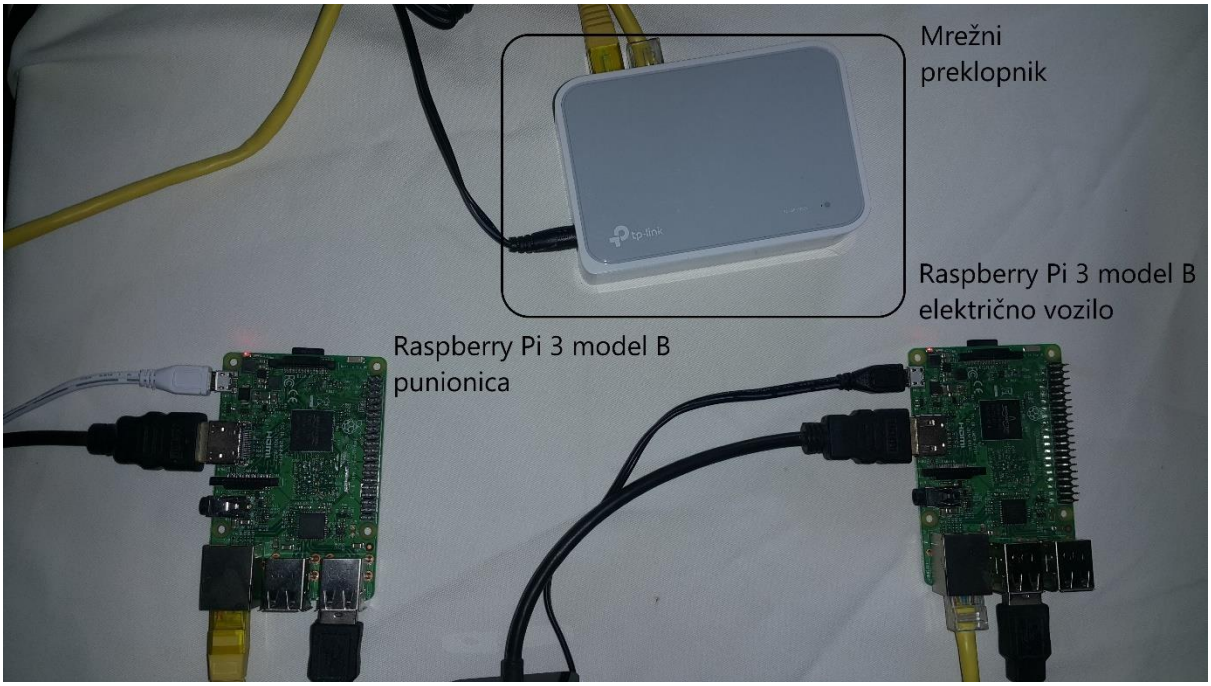


Slika 13. Raspberry Pi GPIO pinovi Modela 3B (16)

Operacijski sustav na Raspberry PI uređajima korišten u ovim radu je Raspbian. Raspbian je Linuxova distribucija bazirana na Debianu, besplatan je i pruža nešto više od običnog operacijskog sustava. Dolazi zajedno sa više od 35 000 paketa. Kreirala ga je mala skupina programera koji su obožavatelji Raspberry Pi hardvera i naravno Debian projekta. Prva verzija Raspbian bila je gotova 2012. godine, no on se još uvijek aktivno razvija, a od 2015. godine Raspbery Pi fondacije ga službeno promovira kao primarni operacijski sustav za uređaje iz Raspbery Pi obitelji (16).

5.1.2 Mrežni preklopnik

Mrežni preklopnik (Engl. *Switch*) je korišten u ovom radu kako bi povezao dva Raspberry PI uređaja u istu mrežu. Jedan Raspberry predstavlja punionicu dok drugi predstavlja električno vozilo. Preklopnik je marke TP-LINK model TL-SF1005D sa 5 ulaza te brzine 10/100 Mbps. Svih 5 ulaza podržavaju Auto MDI/MDIX što eliminira brigu o vrsti kabala koji se koristi. Omogućava puni duplex mod koji može prenijeti podatke do 200 Mbps i čini ga zadovoljavajućim rješenjem u ovom radu. Na slici 14. je prikazan mrežni preklopnik korišten u ovom radu preko kojeg su povezana dva Raspberry Pi uređaja u lokalnu mrežu.



Slika 14. Mrežni preklopnik korišten u radu

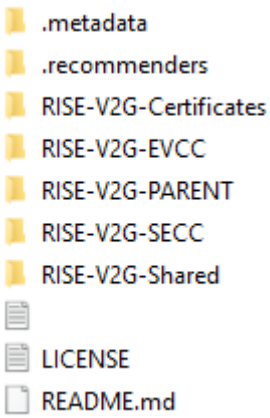
5.2 Rise V2G projekt otvorenog koda

RISE V2G (Engl. Reference Implementation Supporting the Evolution of the Vehicle-2-Grid) je projekt otvorenog koda koji predstavlja referencu za implementaciju komunikacijskog sučelja po ISO 15118 standardu. Internacionalni standard ISO 15118 definira digitalnu komunikaciju baziranu na IP protokolu između stanice za punjenje i električnog vozila. Komunikacijom se omogućava *„Plug &Charge“* mehanizam za pojednostavljenu autentifikaciju, autorizaciju, naplatu te fleksibilnu kontrolu od prekomjernog iskorištenja električne mreže, baziranu na širokom skupu informacija koji se razmjenjuju između vozila i punionice. Na slici 15. je prikazan logo je Rise V2G projekta.

Slika 15. Logo Rise V2G projekta (15)

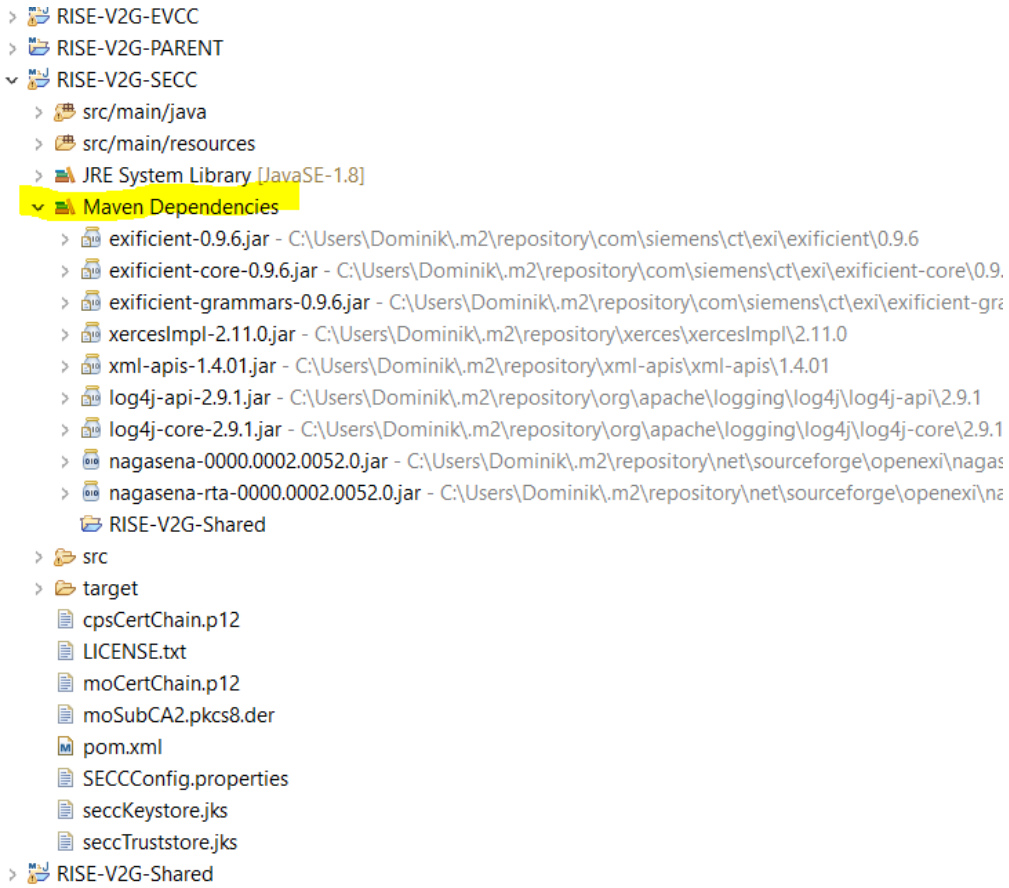
Rise V2G projekt (15) je Apache Maven projekt. Maven je alat za Java programski jezik koji služi kao platforma koja olakšava upravljanje zavisnosti biblioteka te omogućava automatsko kompaliranje programa.

Projekt je strukturiran tako da sadrži mape u kojima se nalazi kod za kontroler električnog vozila (EVCC) te za kontroler stanice za punjenje (SECC), mapu u kojima se nalazi zajednički kod koji dekodira primljene poruke i kodira odaslane poruke koristeći EXI (engl. *Efficient XML Interchange*) te mapu u kojoj se nalaze certifikati nužni za sigurnu komunikaciju. EXI se koristi za binarnu reprezentaciju XML poruka. Koristan je jer XML poruku reducira na samo najbitnije informacije lako razumljive računalu te se komprimiranjem poruka postiže znatno brža razmjena informacija. Na slici 16. je prikazana struktura Rise V2G projekta podijeljena u mape.



Slika 16. Struktura Rise V2G projekta podijeljena u mape

U mapi Maven Dependences prikazano na slici 17. nalaze se sve datoteke koje su nužne za pravilno pokretanje RiseV2G projekta.



Slika 17. Biblioteke nužne za uspješno izvršavanje Rise V2G projekta

U mapi koja predstavlja SECC te mapi EVCC nalazi se datoteka s postavkama. Na slici 18. se mogu vidjeti postavke koje definiraju mrežno sučelje preko kojeg se poruke šalju i primaju.

```
28 # Network interface
29 #-----------------
30 #
31 # The network interface name like en3 or eth1 of the network interface on which to communicate with the SECC via a
32 # link-local IPv6 address
33 network.interface = 17
```

Slika 18. Mrežno sučelje preko kojeg komuniciraju EVCC i SECC

Zatim, postavke za energetski način punjenja koji je podržan. Puni li se električno vozilo izmjeničnom ili istosmjernom strujom. Definiranje energetskog načina punjenja prikazano je na slici 19..

```
36 # Supported energy transfer modes
37 # ------------------------------
38 #
39 # Refer to table 63 "Semantics for EnergyTransferModeType"
40 # Select one value or a comma-separated list of the following values:
41 # - AC_single_phase_core
42 # - AC_three_phase_core
43 # - DC_core
44 # - DC_extended
45 # - DC_combo_core
46 # - DC_unique
47 energy.transfermodes.supported = AC_three_phase_core, AC_single_phase_core, DC_core, DC_extended, DC_combo_core
48
```

Slika 19. Podržani energetski načini punjenja električnog vozila

Nadalje postavke u kojima je definirano koje vrste autentifikacije punionica podržava pomoću digitalnih certifikata ili eksternih medija za autentikaciju kao što su RFid kartica ili QR kod. Na slici je prikazano koje sigurnosne načine autentifikacije i autorizacije podržava punionica.

```
59 # PaymentOptions
60 # --------------
61 #
62 # Select from the following values:
63 # - Contract
64 # - ExternalPayment
65 # The supported values must be separated by the comma delimiter (","). It does not matter
66 # if you add white spaces between the values or not.
67 authentication.modes.supported = Contract, ExternalPayment
```

Slika 20. Sigurnosni načini na koji se moguće autentificirati

Nalaze se i postavke EXI kodera koji je zadužen za kodiranje i dekodiranje poruka iz EXI formata u XML format. Moguće je odabrati OpenEXI ili Exificient implementaciju EXI kodera prikazano na slici 21.

```
113 # EXI codec
114 #-------------------------------
115 #
116 # This (single!) value tells the program which EXI codec to use to en-/decode EXI messages
117 # Possible values are:
118 # - exificient
119 # - open_exi
120 # If no correct value is provided here, 'exificient' will be used
121 exi.codec = exificient
```

Slika 21. Postavke za odabir EXI dekodera

Digitalna komunikacija ISO 15118 je klijent-server baziran protokol gdje se električno vozilo ponaša kao klijent i šalje zahtjeve, dok se punionica ponaša kao server i šalje odgovore. Odgovorna datoteka za pokretanje komunikacije je StartSECC.java u kojoj se pokreću UDP, TCP i TLS server koji nakon pokretanje čekaju poruke sa strane EVCC. Na slici 22. je prikazan dio koda za inicijalizaciju servera.

```
2⊕ * The MIT License (MIT)
24 package com.v2gclarity.risev2g.secc.main;
25
26⊕ import org.apache.logging.log4j.LogManager;
34
35 public class StartSECC {
36
37⊖     public static void main(String[] args) {
38         final Logger logger = LogManager.getLogger(StartSECC.class.getSimpleName());
39         MiscUtils.setV2gEntityConfig(GlobalValues.SECC_CONFIG_PROPERTIES_PATH.toString());
40
41         UDPServer udpServer = UDPServer.getInstance();
42         TCPServer tcpServer = TCPServer.getInstance();
43         TLSServer tlsServer = TLSServer.getInstance();
44
45         if (!udpServer.initialize() || !tlsServer.initialize() || !tcpServer.initialize()) {
46             logger.fatal("Unable to start SECC because UDP, TCP or TLS server could not be initialized");
47         } else {
48             Thread udpServerThread = new Thread(udpServer);
49             udpServerThread.setName("UDPServerThread");
50
51             Thread tcpServerThread = new Thread(tcpServer);
52             tcpServerThread.setName("TCPServerThread");
53
54             Thread tlsServerThread = new Thread(tlsServer);
55             tlsServerThread.setName("TLSServerThread");
56
57             // All transport layer threads need to be initialized before initializing the SECC session handler.
58             new V2GCommunicationSessionHandlerSECC();
59
60             /*
61              * To avoid possible race conditions, the transport layer threads need to be started AFTER the SECC
62              * session handler has been initialized. Otherwise the situation might occur that the UDPServer is
63              * receiving a UDP client packet and tries to access the MessageHandler object before this object has
64              * been created by the SECC session handler.
65              */
66             udpServerThread.start();
67             tcpServerThread.start();
68             tlsServerThread.start();
69         }
70     }
71 }
72
```

Slika 22. Inicijalizacija UDP, TLS, TCP servera

Plug&Charge komunikacija postiže se nakon što se omogući sigurna komunikacija koristeći TLS protokol uz pomoć digitalnih certifikata. Postoje digitalni certifikati koji su izdani od strane proizvođača vozila instalirani u vozilu, operatera koji omogućava punjenje instalirani u punionicama, operater koji izdaje certifikat korisniku usluge. U cijelom procesu provjere valjanosti i razmjene certifikata ključnu ulogu ima ustanova za provjeru certifikata. Sve navedene interesne skupine sudjeluju u infrastrukturi javnog ključa (engl. *Public Key Infrastrukture*, PKI) kako bi izdali, upravljali i razmjenjivali digitalne certifikate. PKI realizirana je pomoću asimetrične kriptografije gdje su primijenjeni parovi privatnog i javnog ključa. Zadaća sustava je enkripcija i dekripcija digitalnih certifikata. Digitalni certifikat je kreiran s jednim privatnim ključem kojem je nužno osigurati tajanstvenost. Matematika koja stoji iza digitalnog certifikata omogućava da certifikat bude verificiran koristeći odgovarajući javni ključ. U PKI svaki privatni ključ je kodiran unutar digitalnog certifikata. Na taj način se osigurava da digitalni certifikat može biti distribuiran i ne mora ostati tajan.

Certifikati se u projektu RiseV2G nalaze u mapi rise-v2g-certificates. Certifikate je potrebno kreirati tako što se pokrene komanda za pokretanje skripte u kojoj su definirani vremenski periodi važenja certifikata prema ISO 15118. Na slici 23. je prikazano pokretanje skripte za generiranje certifikata.

```
Dominik@DESKTOP-UURDPF6 MINGW64 ~/Desktop/Diplomski/Doc_Simulation_EVCC_and_SECC
/V2G projects/RISE-V2G-master - PWM/RISE-V2G-Certificates (master)
$ sh generateCertificates.sh
using curve name prime256v1 instead of secp256r1
read EC key
writing EC key
using curve name prime256v1 instead of secp256r1
read EC key
writing EC key
Signature ok
subject=/CN=CPOSubCA1/O=RISE V2G Project/C=DE/DC=V2G
Getting CA Private Key
using curve name prime256v1 instead of secp256r1
read EC key
writing EC key
Signature ok
subject=/CN=CPOSubCA2/O=RISE V2G Project/C=DE/DC=V2G
Getting CA Private Key
using curve name prime256v1 instead of secp256r1
read EC key
writing EC key
Signature ok
subject=/CN=SECCCert/O=RISE V2G Project/C=DE/DC=CPO
Getting CA Private Key
using curve name prime256v1 instead of secp256r1
read EC key
writing EC key
using curve name prime256v1 instead of secp256r1
```

Slika 23. Generiranje certifikata

Nakon što su certifikati kreirani moguće je realizirati TLS komunikaciju između EVCC i SECC. Kako bi se mogla realizirati simulacija komunikacije pomoću dva Raspberry Pi uređaja, potrebno je napraviti dvije datoteke koje se mogu izvršiti na Raspberry Pi uređajima . Dvije izvršne datoteke se kreiraju tako da kompajliramo čitavi Maven projekt. Navedeno činimo pomoću naredbe Maven-clean install. U tom trenutku Maven projekt povlači sve zavisnosti koje su nužne za izvršavanje projekta. Ukoliko je projekt uspješno kompajliran trebao bi poslati poruku kao na slici 24**.**

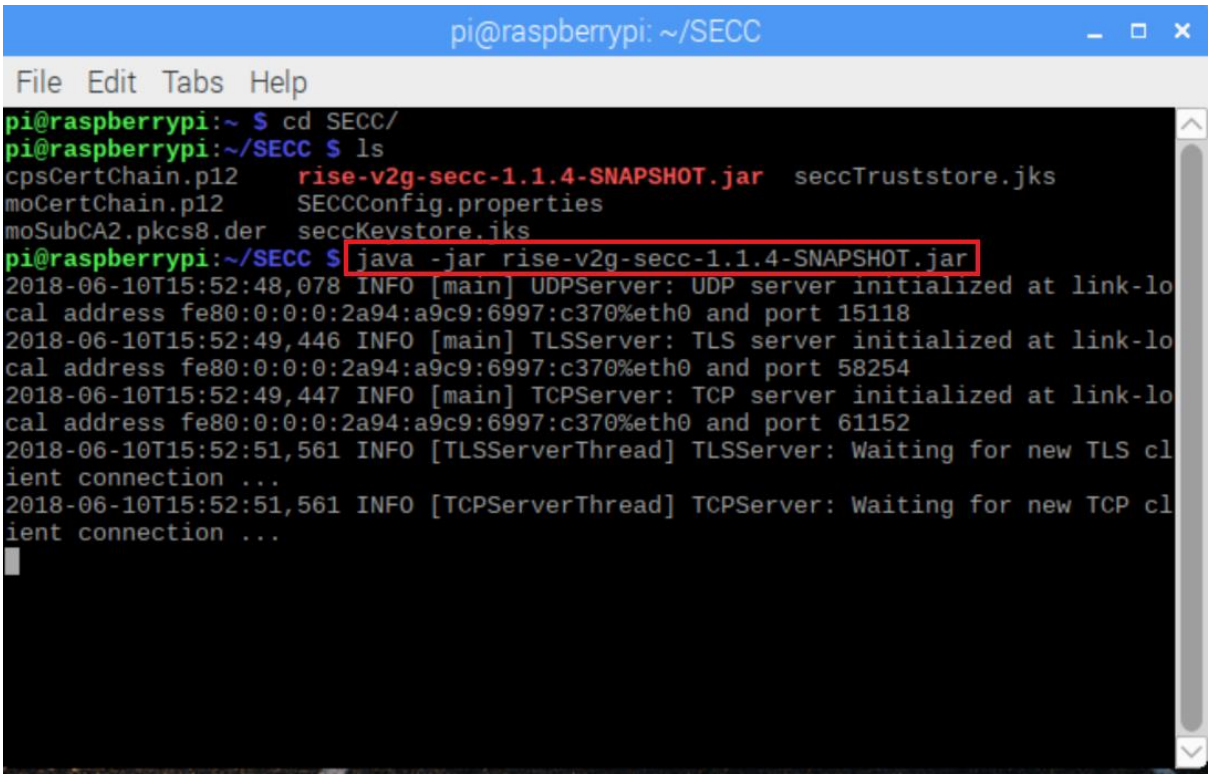
```
[INFO] Copying 6 resources
[INFO] ------------------------------------------------------------------------
[INFO] Reactor Summary:
[INFO]
[INFO] rise-v2g-parent ..................................... SUCCESS [  3.180 s]
[INFO] rise-v2g-shared ..................................... SUCCESS [  8.875 s]
[INFO] rise-v2g-evcc ....................................... SUCCESS [  8.754 s]
[INFO] rise-v2g-secc ....................................... SUCCESS [  2.331 s]
[INFO] ------------------------------------------------------------------------
[INFO] BUILD SUCCESS
[INFO] ------------------------------------------------------------------------
[INFO] Total time: 23.262 s
[INFO] Finished at: 2018-06-10T17:31:30+02:00
[INFO] Final Memory: 52M/453M
[INFO] ------------------------------------------------------------------------
```

Slika 24. Poruke uspješnosti nakon kompajliranja Rise V2G projekta

Kada je projekt uspješno kompajliran stvorene su izvršne datoteke sa strane EVCC i SECC. Izvršne datoteke se mogu pohraniti na Raspberry Pi uređajima kako bi se mogla izvršiti simulacija PnC kopmunikacije.

5.3 Plug & Charge

Kada su izvršne datoteke pohranjene na uređajima sa prethodno generiranim certifikatima, moguće je pokrenuti komunikaciju. Prvo je potrebno pokrenuti izvršnu datoteku sa strane punionice kako bi se postavile inicijalne postavke i podigli UDP ,TLS i TCP server. Na slici 25. je u crvenom pravokutniku prikazana pokrenuta izvršna datoteka sa strane punionice.



Slika 25. Pokretanje izvršne datoteke koja predstavlja punionicu

Nakon što je komunikacija inicijalizirana sa strane punionice, potrebno je pokrenuti izvršnu datoteku sa strane električnog. Električno vozilo odgovara na poruke odaslane sa strane punionice te započinje TSL razmjena (engl. *Handshake*). Provjerava se valjanost certifikata sa strane vozila i punionice. U slučaju da su certifikati istekli komunikacija se ne može nastaviti već je potrebno ponovno kreirati certifikate. Ukoliko je sve prošlo uredu punjenje električnog vozila prelazi u fazu B koja označava pripremu za punjenje te se uspostavlja nova sesija. Na slici 26. u crvenoj elipsi prikazani su navedeni koraci.

```
pi@raspbe...  Downloads  EVCC - Go...  EVCC  6 %  16:46
pi@raspberrypi: ~/EVCC
File  Edit  Tabs  Help
pi@raspberrypi:~ $ cd EVCC
pi@raspberrypi:~/EVCC $ java -jar rise-v2g-evcc-1.1.4-SNAPSHOT.jar
2018-06-10T16:00:02,717 INFO [main] V2GCommunicationSessionHandlerEVCC: Security level TLS was chosen
2018-06-10T16:00:02,755 INFO [main] UDPClient: UDP client initialized at address fe80:0:0:0:6da2:d795:91b8:93dc%eth0 and port
57058
2018-06-10T16:00:02,759 DEBUG [main] V2GCommunicationSessionHandlerEVCC: Preparing to send SECCDiscoveryReq ...
2018-06-10T16:00:02,761 DEBUG [main] UDPClient: Message sent
2018-06-10T16:00:02,777 DEBUG [main] UDPClient: Message received
2018-06-10T16:00:02,780 INFO [main] V2GCommunicationSessionHandlerEVCC: UDP server responded: SECC reachable at address fe80:0
:0:0:2a94:a9c9:6997:c370%2 and port 58254
2018-06-10T16:00:02,784 DEBUG [main] TLSClient: Initializing client connection ...
2018-06-10T16:00:03,232 DEBUG [main] TLSClient: Creating socket to TLS server ...
2018-06-10T16:00:03,962 DEBUG [main] TLSClient: TLS socket to server created
2018-06-10T16:00:03,963 DEBUG [main] TLSClient: Starting TLS handshake ...
2018-06-10T16:00:06,554 DEBUG [main] TLSClient: TLS handshake finished
2018-06-10T16:00:06,564 INFO [main] TLSClient: TLS client connection established
         from link-local address /fe80:0:0:0:6da2:d795:91b8:93dc%eth0 and port 61502
         to host fe80:0:0:0:2a94:a9c9:6997:c370%2 and port 58254
2018-06-10T16:00:07,805 DEBUG [main] V2GCommunicationSessionEVCC: New state is WaitForSupportedAppProtocolRes
2018-06-10T16:00:07,813 DEBUG [main] DummyEVController: Changing to state STATE_B
2018-06-10T16:00:07,816 DEBUG [main] V2GCommunicationSessionEVCC:
*******************************************
* New V2G communication session initialized
*******************************************
2018-06-10T16:00:07,858 DEBUG [main] OpenEXICodec: XML representation of SupportedAppProtocolReq:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns2:supportedAppProtocolReq xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xm
lns:ns5="http://www.w3.org/2000/09/xmldsig#" xmlns:ns7="urn:iso:15118:2:2013:MsgBody" xmlns:ns2="urn:iso:15118:2:2010:AppProto
col" xmlns:ns4="urn:iso:15118:2:2013:MsgDataTypes" xmlns:ns3="urn:iso:15118:2:2013:MsgHeader"><AppProtocol><ProtocolNamespace>
urn:iso:15118:2:2013:MsgDef</ProtocolNamespace><VersionNumberMajor>2</VersionNumberMajor><VersionNumberMinor>0</VersionNumberM
inor><SchemaID>10</SchemaID><Priority>1</Priority></AppProtocol></ns2:supportedAppProtocolReq>
2018-06-10T16:00:07,870 DEBUG [main] OpenEXICodec: EXI encoded SupportedAppProtocolReq: 8000EBAB9371D34B9B79D189A98989C1D191D1
91818999D26B9B3A232B30020000280040
2018-06-10T16:00:07,875 DEBUG [main] OpenEXICodec: Base64 encoded SupportedAppProtocolReq: gADrq5Nx00ubedGJqYmJwdGR0ZGBiZnSa5s
6IyswAgAAKABA
2018-06-10T16:00:07,876 DEBUG [main] V2GCommunicationSessionHandlerEVCC: Preparing to send SupportedAppProtocolReq ...
2018-06-10T16:00:07,881 DEBUG [main] TLSClient: Message sent
2018-06-10T16:00:08,309 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message received
2018-06-10T16:00:08,312 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: Received EXI stream: 80400280
2018-06-10T16:00:08,505 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: XML representation of SupportedAppProtocolRes:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns2:supportedAppProtocolRes xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xm
lns:ns5="http://www.w3.org/2000/09/xmldsig#" xmlns:ns7="urn:iso:15118:2:2013:MsgBody" xmlns:ns2="urn:iso:15118:2:2010:AppProto
col" xmlns:ns4="urn:iso:15118:2:2013:MsgDataTypes" xmlns:ns3="urn:iso:15118:2:2013:MsgHeader"><ResponseCode>OK_SuccessfulNegot
iation</ResponseCode><SchemaID>10</SchemaID></ns2:supportedAppProtocolRes>
2018-06-10T16:00:08,505 DEBUG [Thread-1] WaitForSupportedAppProtocolRes: SupportedAppProtocolRes received
```

Slika 26. Punjenje prelazi u stanje pripreme za punjenje

U slijedećem koraku prikazanom na slici 27. razmjenjuju se poruke između kontrolera punionice i kontrolera vozila kako bi se utvrdila snaga punjenja, da li će se punjenje izvršiti izmjeničnom ili istosmjernom strujom, određuje se raspored punjenja. Vrši se i fizička provjera same konekcije punjača i punionice te da li je igdje oštećena instalacija. Nakon što su provjere izvršene zaključavaju se konektori te električno vozilo i punionica ulaze u stanje C procesa punjenja. U stanju C odvija se punjenje te kontroler punionice i kontroler vozila konstantno razmjenjuju poruke te proces ulazi u svojevrsnu petlju. Razmjena poruka u petlji je nužna kako bi se utvrdilo da li je struja kojom se vozilo puni premala ili prevelika. Punionica prenosi informacije o stanju na električnoj mreži, ukoliko je mreža preopterećena vozilo se opskrbljuje slabijom strujom.

```
pi@raspbe...  Downloads  EVCC - Go...  EVCC  5 %  16:47
pi@raspberrypi: ~/EVCC
File  Edit  Tabs  Help
2018-06-10T16:00:10,349 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message sent
2018-06-10T16:00:10,349 DEBUG [Thread-1] DummyEVController: Changing to state STATE_C
2018-06-10T16:00:10,350 DEBUG [Thread-1] V2GCommunicationSessionEVCC: New state is WaitForPowerDeliveryRes
2018-06-10T16:00:10,371 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message received
2018-06-10T16:00:10,372 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: Received EXI stream: 809802176678BA2A911254916000000000
2018-06-10T16:00:10,389 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: XML representation of PowerDeliveryRes:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5="htt
p://www.w3.org/2000/09/xmldsig#" xmlns:ns7="urn:iso:15118:2:2013:MsgBody" xmlns:ns2="urn:iso:15118:2:2010:AppProtocol" xmlns:n
s4="urn:iso:15118:2:2013:MsgDataTypes" xmlns:ns3="urn:iso:15118:2:2013:MsgHeader"><ns6:Header><ns3:SessionID>5D99E2E8AA444952<
/ns3:SessionID></ns6:Header><ns6:Body><ns7:PowerDeliveryRes><ns7:ResponseCode>OK</ns7:ResponseCode><ns4:AC_EVSEStatus><ns4:Not
ificationMaxDelay>0</ns4:NotificationMaxDelay><ns4:EVSENotification>None</ns4:EVSENotification><ns4:RCD>false</ns4:RCD></ns4:A
C_EVSEStatus></ns7:PowerDeliveryRes></ns6:Body></ns6:V2G_Message>
2018-06-10T16:00:10,390 DEBUG [Thread-1] WaitForPowerDeliveryRes: PowerDeliveryRes received
2018-06-10T16:00:10,391 DEBUG [Thread-1] WaitForPowerDeliveryRes: Preparing to send ChargingStatusReq
2018-06-10T16:00:10,405 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: XML representation of ChargingStatusReq:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5="htt
p://www.w3.org/2000/09/xmldsig#" xmlns:ns7="urn:iso:15118:2:2013:MsgBody" xmlns:ns2="urn:iso:15118:2:2010:AppProtocol" xmlns:n
s4="urn:iso:15118:2:2013:MsgDataTypes" xmlns:ns3="urn:iso:15118:2:2013:MsgHeader"><ns6:Header><ns3:SessionID>5D99E2E8AA444952<
/ns3:SessionID></ns6:Header><ns6:Body><ns7:ChargingStatusReq/></ns6:Body></ns6:V2G_Message>
2018-06-10T16:00:10,407 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: EXI encoded ChargingStatusReq: 809802176678BA2A91125490B0
2018-06-10T16:00:10,407 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: Base64 encoded ChargingStatusReq: gJgCF2Z4uiqRElSQsA==
2018-06-10T16:00:10,408 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message sent
2018-06-10T16:00:10,408 DEBUG [Thread-1] V2GCommunicationSessionEVCC: New state is WaitForChargingStatusRes
2018-06-10T16:00:10,426 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message received
2018-06-10T16:00:10,427 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: Received EXI stream: 809802176678BA2A91125490C0003D1114A958C91CA914C4C8
CCD0D400080662080FA01222A5BD76014000000000
2018-06-10T16:00:10,448 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: XML representation of ChargingStatusRes:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5="htt
p://www.w3.org/2000/09/xmldsig#" xmlns:ns7="urn:iso:15118:2:2013:MsgBody" xmlns:ns2="urn:iso:15118:2:2010:AppProtocol" xmlns:n
s4="urn:iso:15118:2:2013:MsgDataTypes" xmlns:ns3="urn:iso:15118:2:2013:MsgHeader"><ns6:Header><ns3:SessionID>5D99E2E8AA444952<
/ns3:SessionID></ns6:Header><ns6:Body><ns7:ChargingStatusRes><ns7:ResponseCode>OK</ns7:ResponseCode><ns7:EVSEID>DE*V2G*E12345<
/ns7:EVSEID><ns7:SAScheduleTupleID>1</ns7:SAScheduleTupleID><ns7:MeterInfo><ns4:MeterID>1</ns4:MeterID><ns4:MeterReading>32000
</ns4:MeterReading><ns4:TMeter>1528646410</ns4:TMeter></ns7:MeterInfo><ns7:ReceiptRequired>false</ns7:ReceiptRequired><ns7:AC_
EVSEStatus><ns4:NotificationMaxDelay>0</ns4:NotificationMaxDelay><ns4:EVSENotification>None</ns4:EVSENotification><ns4:RCD>fal
se</ns4:RCD></ns7:AC_EVSEStatus></ns7:ChargingStatusRes></ns6:Body></ns6:V2G_Message>
2018-06-10T16:00:10,448 DEBUG [Thread-1] WaitForChargingStatusRes: ChargingStatusRes received
2018-06-10T16:00:10,450 DEBUG [Thread-1] WaitForChargingStatusRes: Preparing to send ChargingStatusReq
2018-06-10T16:00:10,464 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: XML representation of ChargingStatusReq:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5="htt
p://www.w3.org/2000/09/xmldsig#" xmlns:ns7="urn:iso:15118:2:2013:MsgBody" xmlns:ns2="urn:iso:15118:2:2010:AppProtocol" xmlns:n
s4="urn:iso:15118:2:2013:MsgDataTypes" xmlns:ns3="urn:iso:15118:2:2013:MsgHeader"><ns6:Header><ns3:SessionID>5D99E2E8AA444952<
/ns3:SessionID></ns6:Header><ns6:Body><ns7:ChargingStatusReq/></ns6:Body></ns6:V2G_Message>
2018-06-10T16:00:10,466 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: EXI encoded ChargingStatusReq: 809802176678BA2A91125490B0
2018-06-10T16:00:10,466 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: Base64 encoded ChargingStatusReq: gJgCF2Z4uiqRElSQsA==
```

Slika 27. Proces punjenja ulazi u stanje C

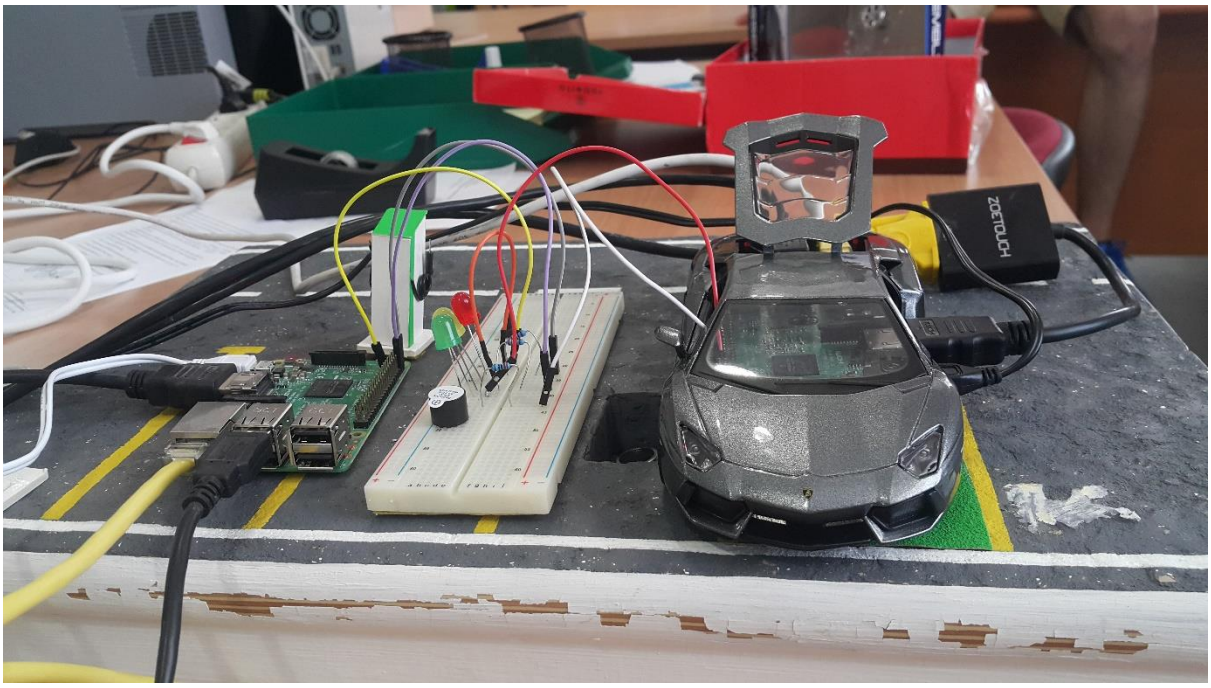
Ukoliko je akumulator električnog vozila napunjen ili se iz nekog drugog razloga mora zaustaviti punjenje. Punjenje prelazi u stanje B prikazano na slici 28. te se ponavlja reverzni postupak do mogućnosti sigurnog uklanjanja punjača iz vozila. Razmjenjuju se adekvatne poruke koje naznačuju završetak punjenja. Zatvara se otvorena sesija te se na samom kraju gase pokrenuti serveri TLS, TCP, UDP sa strane punionice. U ovom trenutku preko priključka punionice indicira se napon od 12V kako bi naznačio da je punionica završila s punjenjem te je spremna za novo punjenje.

```
/ns3:SessionID></ns6:Header><ns6:Body><ns7:PowerDeliveryReq><ns7:ChargeProgress>Stop</ns7:ChargeProgress><ns7:SAScheduleTupleI
D>1</ns7:SAScheduleTupleID></ns7:PowerDeliveryReq></ns6:Body></ns6:V2G_Message>
2018-06-10T16:45:24,226 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: EXI encoded PowerDeliveryReq: 809802261BDDFDFCF5A7A95151000600
2018-06-10T16:45:24,226 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: Base64 encoded PowerDeliveryReq: gJgCJhvd/fz1p6lRUQAGAA==
2018-06-10T16:45:24,227 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message sent
2018-06-10T16:45:24,227 DEBUG [Thread-1] DummyEVController: Changing to state STATE_B
2018-06-10T16:45:24,228 DEBUG [Thread-1] V2GCommunicationSessionEVCC: New state is WaitForPowerDeliveryRes
2018-06-10T16:45:24,261 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message received
2018-06-10T16:45:24,261 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: Received EXI stream: 809802261BDDFDFCF5A7A9516000000000
2018-06-10T16:45:24,278 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: XML representation of PowerDeliveryRes:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5="htt
p://www.w3.org/2000/09/xmldsig#" xmlns:ns7="urn:iso:15118:2:2013:MsgBody" xmlns:ns2="urn:iso:15118:2:2010:AppProtocol" xmlns:n
s4="urn:iso:15118:2:2013:MsgDataTypes" xmlns:ns3="urn:iso:15118:2:2013:MsgHeader"><ns6:Header><ns3:SessionID>986F77F7F3D69EA5<
/ns3:SessionID></ns6:Header><ns6:Body><ns7:PowerDeliveryRes><ns7:ResponseCode>OK</ns7:ResponseCode><ns4:AC_EVSEStatus><ns4:Not
ificationMaxDelay>0</ns4:NotificationMaxDelay><ns4:EVSENotification>None</ns4:EVSENotification><ns4:RCD>false</ns4:RCD></ns4:A
C_EVSEStatus></ns7:PowerDeliveryRes></ns6:Body></ns6:V2G_Message>
2018-06-10T16:45:24,278 DEBUG [Thread-1] WaitForPowerDeliveryRes: PowerDeliveryRes received
2018-06-10T16:45:24,279 DEBUG [Thread-1] WaitForPowerDeliveryRes: Preparing to send SessionStopReq (ChargingSession = TERMINAT
E)
2018-06-10T16:45:24,294 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: XML representation of SessionStopReq:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5="htt
p://www.w3.org/2000/09/xmldsig#" xmlns:ns7="urn:iso:15118:2:2013:MsgBody" xmlns:ns2="urn:iso:15118:2:2010:AppProtocol" xmlns:n
s4="urn:iso:15118:2:2013:MsgDataTypes" xmlns:ns3="urn:iso:15118:2:2013:MsgHeader"><ns6:Header><ns3:SessionID>986F77F7F3D69EA5<
/ns3:SessionID></ns6:Header><ns6:Body><ns7:SessionStopReq><ns7:ChargingSession>Terminate</ns7:ChargingSession></ns7:SessionSto
pReq></ns6:Body></ns6:V2G_Message>
2018-06-10T16:45:24,296 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: EXI encoded SessionStopReq: 809802261BDDFDFCF5A7A951F000
2018-06-10T16:45:24,296 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: Base64 encoded SessionStopReq: gJgCJhvd/fz1p6lR8AA=
2018-06-10T16:45:24,297 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message sent
2018-06-10T16:45:24,297 DEBUG [Thread-1] V2GCommunicationSessionEVCC: New state is WaitForSessionStopRes
2018-06-10T16:45:24,326 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message received
2018-06-10T16:45:24,327 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: Received EXI stream: 809802261BDDFDFCF5A7A9520000
2018-06-10T16:45:24,343 DEBUG [Thread-1] OpenEXICodec: XML representation of SessionStopRes:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5="htt
p://www.w3.org/2000/09/xmldsig#" xmlns:ns7="urn:iso:15118:2:2013:MsgBody" xmlns:ns2="urn:iso:15118:2:2010:AppProtocol" xmlns:n
s4="urn:iso:15118:2:2013:MsgDataTypes" xmlns:ns3="urn:iso:15118:2:2013:MsgHeader"><ns6:Header><ns3:SessionID>986F77F7F3D69EA5<
/ns3:SessionID></ns6:Header><ns6:Body><ns7:SessionStopRes><ns7:ResponseCode>OK</ns7:ResponseCode></ns7:SessionStopRes></ns6:Bo
dy></ns6:V2G_Message>
2018-06-10T16:45:24,344 DEBUG [Thread-1] WaitForSessionStopRes: SessionStopRes received
2018-06-10T16:45:24,345 INFO [Thread-1] V2GCommunicationSessionEVCC: Terminating V2G communication session, reason: V2G commun
ication session will be stopped successfully
2018-06-10T16:45:24,346 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Stopping TLS client ...
2018-06-10T16:45:24,349 DEBUG [Thread-1] TLSClient: TLS client stopped
2018-06-10T16:45:24,351 DEBUG [Thread-1] UDPClient: UDP client stopped
pi@raspberrypi:~/EVCC $
```

Slika 28. Ulazak u stanje B te završetak komunikacije i punjenja

5.4 Izrada makete

U sklopu rada je izrađena maketa kako bi se vjernije prikazao proces punjenja prema standardu ISO 15118. Kako bi se simulirala komunikacija digitalna komunikacija korištena su dva Raspberry Pi uređaja ili u ovom slučaju punionica i električno vozilo. Povezani su pomoću preko mrežnog preklopnika u istu lokalnu mrežu. Za fizičko povezivanje koristio se UTP kabel klase Cat5. Konektor koji je odgovoran za punjenje električnog vozila realiziran je pomoću GPIO pinova na Raspberry Pi uređajima. Pinovi su povezani na testnoj pločici te svaki pin predstavlja određeni pin na pravom konektoru. Kontrolni pin odgovoran za komunikaciju pomoću PWM signala, pin koji predstavlja fazu te uzemljenje. Pin za procjenu snage punjenja i dodatni sigurnosni pinovi su u ovoj maketi zanemareni. Na slici 29. je prikazana maketa te je na testnoj ploči realiziran konektor s reprezentacijom pinova. LED žarulje predstavljaju trošilo koje se u trenutku punjenja ili točnije kada komunikacija dosegne stanje C upale. Kontrolni pin proizvodi adekvatne PWM signale te je povezan na testnoj ploči ljubičastom bojom sa strane punionice te bijelom bojom sa strane vozila.



Slika 29. Maketa za simulaciju punjenja električnog vozila i punionice

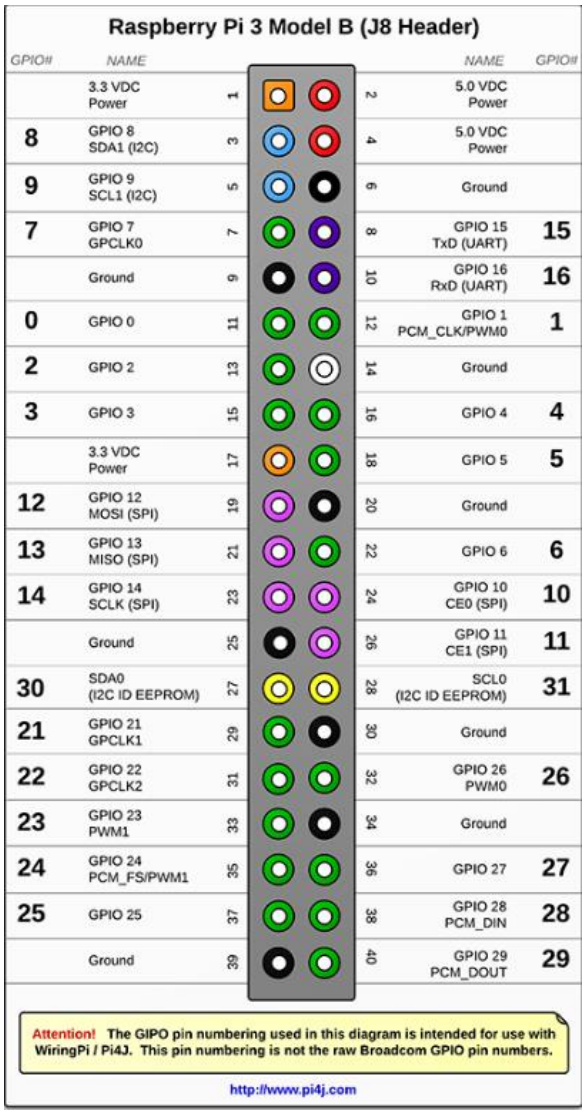
Na slici 30. je prikazan trenutak punjenja u kojem proces komunikacije ulazi u stanje C. U tom trenutku LED žarulje su upaljene jer je njima potekla struja što simulira punjenje.

Slika 30. Simulacija punjenja električnog vozila

5.5 Kontrola GPIO pinova sa Raspberry PI uređajem

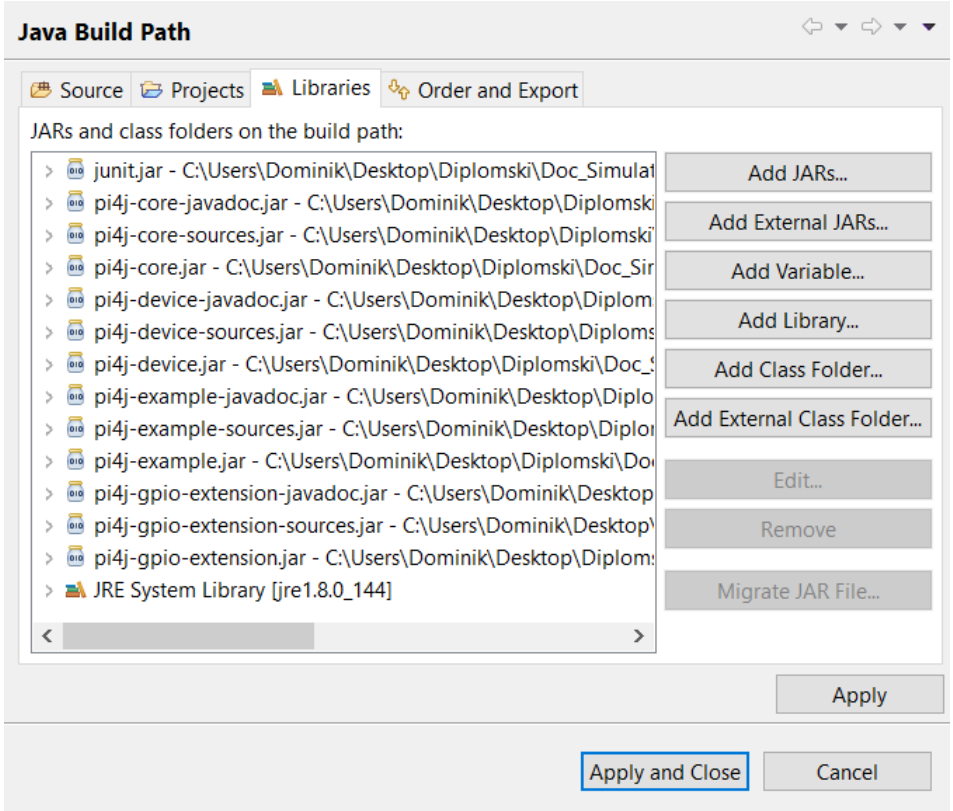
Za kontrolu GPIO pinova korišten je Pi4J projekt otvorenog koda. Pi4J projekt omogućava pristupačne biblioteke za kontrolu ulazno-izlaznih GPIO pinova u Java programskom jezik. Omogućava upravljanje GPIO pinovima gotovo svih Raspberry Pi generacijama i modelima. Podržava Raspberry Pi - Model A, Raspberry Pi - Model B, Raspberry Pi - Model A+, Raspberry Pi - Model B+, Raspberry Pi - Compute Modul, Raspberry Pi 2 - Model B, Raspberry Pi 3 - Model B, Raspberry Pi Zero.

Zaglavlje u projektu Pi4J nešto se razlikuje od zaglavlja koji se koristi za upravljanje GPIO pinovima u drugim jezicima. Brojevi pinova su nešto drugačije raspoređeni što se može vidjeti na slici 31.



Slika 31. Zaglavlje za Pi4J projekt Raspberry PI 3 Modela (17)

Za izvršavanje i korištenje metoda definiranih u Pi4J projektu potrebno je unijeti neke biblioteke unutar projekta prikazano na slici 32.



Slika 32. Unos biblioteka u Rise V2G projekt

Za kontrolu GPIO pinova u trenutku kada počinje punjenje napravljena je klasa GPIOClass koja pinu daje napon u trenutku kada proces punjenja dostigne razinu C. Napon se ponovno spušta na nula kada je status C završio. U slučaju simulacije napravljene u ovom radu to vrijeme je fiksno te iznosi 10 sekundi. Na slici 33. je prikazan kod za paljenje trošila u trenutku punjenja C.

```java
import com.pi4j.io.gpio.GpioController;
import com.pi4j.io.gpio.GpioFactory;
import com.pi4j.io.gpio.GpioPinDigitalOutput;
import com.pi4j.io.gpio.RaspiPin;

public class GPIOClass {

    public static void main(String[] args) {
        // TODO Auto-generated method stub
        GpioController gpio = GpioFactory.getInstance();

        GpioPinDigitalOutput pin6V = gpio.provisionDigitalOutputPin(RaspiPin.GPIO_02);


        pin6V.high(); // paljenje trošila
        try {
            Thread.sleep(10000);
        } catch (InterruptedException e) {
            // TODO Auto-generated catch block
            e.printStackTrace();
        }
        pin6V.low(); // trošilo se gasi nakon 10 sekundi koliko traje simulacija punjenja
    }

}
```

Slika 33. Metoda koja povisuje napon na GPIO pinu

Napravljena je i metoda unutar klase PWMSignal prikazana na slici 34. za kontrolni pin koji proizvodi PWM signale te određenim trajanjem impulsa označuje kolika bi trebala biti snaga punjenja.

```java
package com.v2gclarity.risev2g.secc.backend;

public class PWMSignal {

    public static void run30percentDutyCycle(){

        // pin5 suggest 5% duty cycle and pin30 suggest 30% percent of duty cycle when starts charging process
        int pin5 = 1;
        int pin30 = 29;

        // initialize wiringPi library, this is needed for PMW
        Gpio.wiringPiSetup();

        // softPmwCreate(int pin, int value, int range)
        // the range is set like (min=0, max=100)
        SoftPwm.softPwmCreate(pin5, 0, 100);
        SoftPwm.softPwmCreate(pin30, 0, 100);
        // SoftPwmWrite(int pin, int value)
        // This updates the PWM value on the given pin. The value is
        // checked to be in-range and pins
        // that haven't previously been initialized via PwmCreate
        // will be silently ignored

        SoftPwm.softPwmWrite(pin5, 0);
        SoftPwm.softPwmWrite(pin30, 30);
        try {
            Thread.sleep(10000);
        } catch (InterruptedException e) {
            // TODO Auto-generated catch block
            e.printStackTrace();
        }

    }

}
```

Slika 34. Metoda koja proizvodi PWM signal na GPIO pinu

Zatim je metoda pokrenuta unutar RiseV2G projekta na onom dijelu koji odgovara komunikacijskom procesu između punionice i električnog vozila prikazano na slici 35.

```java
public void setChargeProgressStarted(boolean chargeProgressStarted) {
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////
    ///////////////// start PWM signal 6 V and rise Duty Cycle to example 30%//////
    ////////////////////////////////////according to 18A charging/////////////////
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    PWMSignal.run30percentDutyCycle();
    this.chargeProgressStarted = chargeProgressStarted;
}
```

Slika 35. Poziv metode koji pokreće PWM signal koji odgovara trajanju impulsa od 30% perioda

Preko GPIO pinova također su proizvedeni i ostali PWM signali s trajanjem impulsa koji je propisan u IEC 61851 standardom. Ugrađeni su u Rise V2G projekt u kronološkom slijedu razmjena poruka između punionice i električnog vozila onako kako propisuje ISO 15118.

6 Pohrana informacija tijekom komunikacije vozila sa mrežom u bazu podataka

Djelatnici u institucijama i poduzećima se svakodnevno susreću s aktivnostima koje uključuju neku interakciju s bazom podataka. Kroz aplikacije koje imaju namjenu pojednostaviti postupak skladištenja, sustava rezervacija, poslova referade, itd. sigurno pristupaju bazi podataka kako bi pohranili ili izvukli podatke. Baza podataka je dobro organizirana, računalno čitana, te se u većini slučajeva radi o relacijski povezanom skupu podataka. Primarne zadaće sustava baze pohrana podataka, neovisnost, integritet i sigurnost podataka, robusnost i jednostavan pristup podacima (18).

Baze podataka pohranjuju podatke poslovanja neke organizacije i kao rezultat pohrane sadrže veliki broj podataka koje je potrebno dugoročno skladištiti. Podaci su pohranjeni na način neovisan o programima koji ih koriste. Podaci mogu biti pohranjeni u različitim oblicima, a to su tablični, hijerarhijskih i mrežni oblik. Ako se podaci pohranjuju u tabličnom obliku onda se radi o relacijskoj bazi podataka. Kada se podaci pohranjuju u obliku strukture stabla radi se o hijerarhijskoj bazi podataka, dok se mrežna baza podataka odnosi na podatke koji su pohranjeni u obliku grafova koji predstavljaju odnose između objekata (18).

Relacijska baza podataka sastoji se od skupa povezanih tablica odnosno relacija. Relacijska struktura u velikoj je mjeri podudarna s predodžbom događaja stvarnog svijeta i podataka koje ti događaji generiraju. Zbog svoje jednostavnosti i prilagođenosti ljudskom shvaćanju podataka i odnosa među njima relacijski model ima prednost pred ostalim modelima podataka (19). Relacijska baza podataka često je korišteni model baza podataka. Upravljanje bazom podataka vrši Sustav za upravljanje bazom podataka – SUBP (engl, *Database Management System*, DBMS) odnosno RDBMS za relacijske baze. RDBMS je program, zapravo programski sustav, koji pohranjuje podatke u obliku međusobno povezanih tablica, odnosno to je sustav za organiziranje baze podataka i rad s podacima (19).

Za manipulaciju podataka koristi se SQL jezik. SQL je akronim za (engl. *Structured Query Language*) te je najpoznatiji računalni jezik korišten pri izradi baza podataka, te manipulacijom podataka u bazi podataka. Originalno razvijen u IBM-u 70-ih godina prošlog stoljeća Jezik SQL je napisan s namjerom da bude lako razumljiv i jednostavan za korištenje. Jezik je deklarativnog tipa te se navodi što se želi dobiti, a ne daju se konkretne instrukcije kako to dobiti kao što je slučaj kod jezika proceduralnog tipa (20).

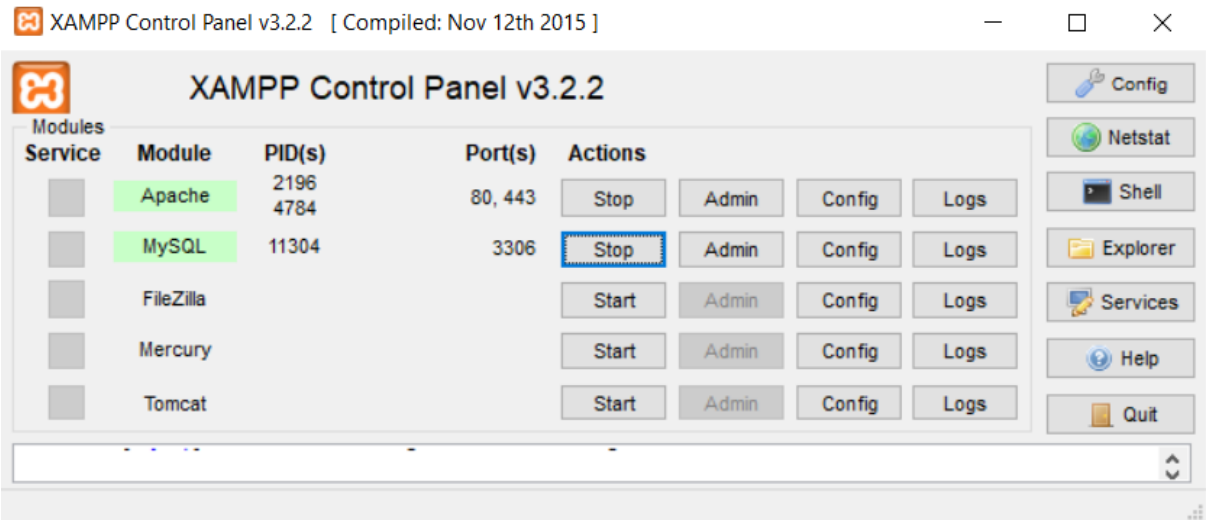
6.1 MYSQL baza podataka

MySQL baza podataka je najpopularnija baza među web aplikacijama i koristi LAMP platformu. LAMP platforma se sastoji od Linux operativnog sustava, Apache web servera, MySQL baze podataka i PHP programskog jezika. Aplikacije koje koriste MySQL bazu podataka su Facebook, Continental Airlines, Joomla, Wordpress, Netflix, YouTube, Drupal kao i mnoge druge aplikacije (21). Omogućava pristup bazi podataka uz pomoć većine programskih

jezika. MySQL server i podržane bibilioteke pisane su u C i C++ programskim jezicima. Radi na mnogim sistemskim platformama kao što su AIX, BSDi, FreeBSD, HP-UX, eComStation, i5/OS, IRIX, Linux, OS X, Microsoft Windows, NetBSD, Novell NetWare, OpenBSD, OpenSolaris, OS/2 Wrap, QNX, Oracle Solaris, Symbian, SunOS, SCO OpenServer, SCO UnixWare, Sanos i Tru64. Portovi MySQL-a prema OpenVMS također postoje (20).

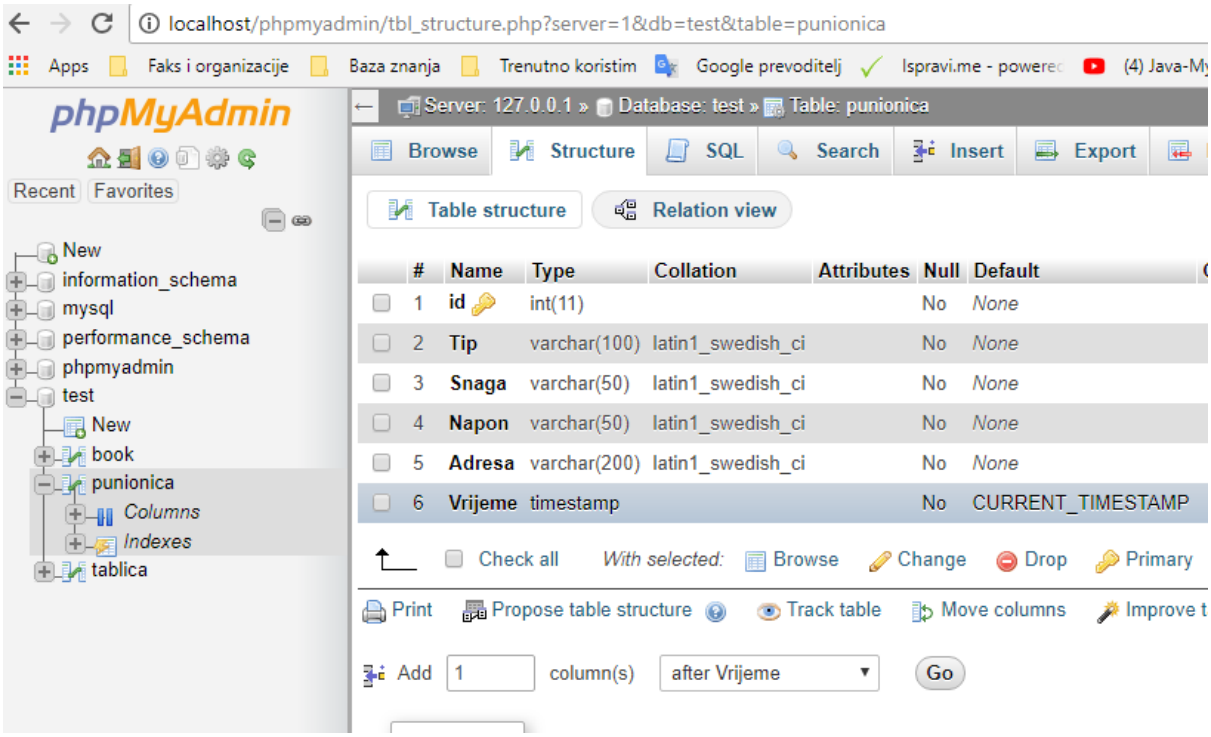
Kako bi se u bazu podataka spremile informacije o karakteristikama punionice i vremenu kada se punjenje obavilo potrebno je napraviti određen broj tablica koje se koriste za pohranjivanje podataka. Osnovni element koji se pohranjuje u bazi naziva se entitet, entitet može biti bilo što: osoba, objekt, događaj, služba u nekoj organizaciji i sl. dakle stvari iz stvarnog života o kojima želimo čuvati informacije. Drugi važan pojam je relacija. Kao što u stvarnom životu postoje određeni međusobni odnosi između dvije ili više osoba, događaja i sl. tako se u bazama podataka mogu pojaviti određeni odnosi ili relacije između raznih entiteta, koji se odgovarajući način predstavljaju unutar baze. Prema vrsti, relacije se mogu podijeliti na relacije jedan prema jedan, jedan prema više te više prema više. Relacijske baze podatke pohranjuje podatke unutar tablica koje se sastoje od redaka i stupaca. Stupci se nazivaju još i poljima ili atributima, a služe za skladištenje pojedinih podataka o određenom entitetu, redci se nazivaju još zapisima ili slogovima i sadrže podatke jednog entiteta (22).

Kako bi se pokrenula MySql baza podataka korištena je platforma XAMPP. XAMPP je multi-platforma prikazana na slici 36. s kojom se instalira Apache Web server, MySQL, PHP, phpMyAdmin i još mnoge druge aplikacije korisne za razvoj i testiranje dinamičkih web stranica izravno na lokalnom računalu.



Slika 36. XAMPP kontrolna ploča

Pomoću phpMyAdin sučelja prikazano na slici 37. kreirana je tablica u kojoj su pohranjeni podaci o karakteristikama punionice te je zabilježeno u kojem vremenskom trenutku je gotovo punjenje.



Slika 37. PhpMyAdmin sučelje

6.2 Pohrana informacija tijekom komunikacije

MySQL nudi upravljački program za povezivanje s Java programskim jezikom, Node.Js radnom okolinom, .NET sustavom kako bi se omogućio lakša konekcija aplikacije sa bazom. Upravljački program je implementiran unutar RiseV2G projekta. Za potrebe spremanja tijekom komunikacije razvijena je klasa koja sprema informacije o karakteristikama punionice u bazu podataka. Podaci se spremaju u trenutku kada je punjenje započeto i u trenutku kada je punjenje završilo. Na slici 38. je prikazana metoda za dodavanje podataka.

```
public static void insert() {

    final String type = "TIP 2 uticnica AC";
    final String voltage = "400V";
    final String power = "22 kW 32A";
    final String address = "Slavonska avenija 11 d";


    try {

        Connection con = getConnection();
        PreparedStatement inserted = con.prepareStatement("INSERT INTO punionica(Tip,Napon,Snaga,Adresa) "
                + "VALUES('"+type+"','"+voltage+"','"+power+"','"+address+"')");

        inserted.executeUpdate();

    }catch(Exception e){
        System.out.println(e);

    }
    finally {
        System.out.println("Inserted");

    }
```

Slika 38. Metoda koja vrši unos podataka o punjenju

Kako bi se omogućilo spremanje najprije je potrebno povezati aplikaciju ili dio aplikacije kojom se želi pristupiti bazi podataka. Metoda je prikazana na slici 39.

```
public static Connection getConnection() throws Exception{
 try{
  String driver = "com.mysql.jdbc.Driver";
  String url = "jdbc:mysql://localhost/test?useUnicode=true&useJDBCCompliantTimezoneShift=true&"
                + "useLegacyDatetimeCode=false&serverTimezone=UTC";
  String username = "root";
  String password = "";
  Class.forName(driver);

  Connection conn = DriverManager.getConnection(url,username,password);
  System.out.println("Connected");
  return conn;
 } catch(Exception e){System.out.println(e);}


 return null;
}
```

Slika 39. Metoda koja omogućava konekciju s bazom podataka

Nakon procesa punjenja koji se odvija pomoću RiseV2G projekta poziva se metoda za unos korisnih podataka o punjenju. Podaci se spremaju u tablice prikazano na slici 40. Time su omogućene različite analize i dodatne mogućnosti koje se vežu za sam proces punjenja.

Showing rows 0 - 3 (4 total, Query took 0.0020 seconds.)

```
SELECT * FROM `punionica`
```

Show all | Number of rows: 25 Filter rows: Search this table Sort by key: None

+ Options

	id	Tip	Snaga	Napon	Adresa	Vrijeme
Edit Copy Delete	2	TIP 2 uticnica AC	22 kW 32A	400V	Slavonska avenija 11 d	2018-06-07 18:36:09
Edit Copy Delete	3	TIP 2 uticnica AC	22 kW 32A	400V	Slavonska avenija 11 d	2018-06-07 18:37:49
Edit Copy Delete	4	TIP 2 uticnica AC	22 kW 32A	400V	Slavonska avenija 11 d	2018-06-07 18:58:22
Edit Copy Delete	5	TIP 2 uticnica AC	22 kW 32A	400V	Slavonska avenija 11 d	2018-06-07 18:59:12

Check all *With selected:* Edit Copy Delete Export

Slika 40. Prikaz spremljenih podataka u tablicu punionica

7 Zaključak

Smanjenje potrošnje energije i sprječavanje energetskih gubitaka imaju sve veću važnost za Europsku Uniju (EU). Čelnici EU-a postavili su 2007. cilj smanjenja godišnje potrošnje energije u Uniji za 20 % do 2020. Provode se mjere za energetsku učinkovitost sa ciljem postizanja održive opskrbe energijom, smanjenje emisije stakleničkih plinova, poboljšanje sigurnosti opskrbe i smanjenje troškova uvoza, ali i za promicanje konkurentnosti europskih gospodarstava.

Domet električnih vozila od 2013. godine u odnosu na 2018. godinu se u prosjeku povećao za 300 km. Spremnici energije razvijaju se i postaju sve efikasniji i jeftiniji. Što ujedno i smanjuje cijenu električnog vozila. Čini ga dostupnijim i poželjnijim za građanstvo. Političke najave o zabrani vozila s unutarnjim izgaranjem sredinom ovog stoljeća ubrzavaju i potiču promjene u autoindustriju. Intencija za električnim vozilima poprimila je nezaustavljivi moment što samo potvrđuje kako su električna vozila, vozila budućnosti.

Vrijedi napomenuti da su onečišćenja pri proizvodnji električne energije uglavnom izvan gradova i područja gušće naseljenosti, što implicira na očuvanje kvalitete zraka u gradovima. Međutim, električna energija je najčešće proizvedena iz ne baš čistih izvora kao što su nuklearne elektrane, elektrane na fosilna goriva i ugljen. Kako bi energija kojom pogonimo električna vozila bila potpuno ekološka. Električna mreža mora postati efikasnija i napajana iz obnovljivih izvora.

Trenutna energetska infrastruktura ne može odoljeti sve većim globalnim zahtjevima. Zahtjeva se jeftinija i čišća energija. Stoga se namjerava uložiti 6 trilijuna dolara u sljedećih 10 godina. u izgradnju pametne električne mreže (engl. Samrt Grid). Pametna električna mreža je nužan donositelj ove tranzicije. Pametna mreža je inteligentna, digitalizirana energetska mreža koja dostavlja električnu energiju od izvora prema potrošačima na optimalna način. Postiže se integracijom postojećih sustava informacija, telekomunikacijskih tehnologija i proizvodnje energije u novi povezani sustav. Koristi su efikasnija i pouzdanija dostava električne energije, integracija više obnovljivih izvora energije u postojeću mrežu. Potpora razvoja električnih vozila i novih rješenja i poslovnih modela.

Električna vozila priključena na pametnu električnu mrežu mogu uravnotežiti razlike u ekstremne vrijednostima, potrebe za električnom energijom. Razlike nastaju zbog veće potrebe za električnom energijom danju i manjom potrebom za električnom energijom noću. Noću bi vozila apsorbirala proizvedeni višak električne energije punjenjem svojih akumulatora, a danju kada je veća potreba za energijom, pod određenim uvjetima pustila nazad u mrežu. Obzirom na cijenu energije vlasnik vozila ukoliko neće više koristiti vozilo u tom danu. Energiju može prodati električnoj mreži koja je ima manjka. Razne prednosti i koristi se otvaranju ulaganjem u inteligentniji i efikasniji sustav.

Komunikacija između vozila i punionice razrađena u ovom radu omogućava automatsku autentifikaciju i naplatu usluge punjenja vozila na mreži. Takav vid komunikacije je preduvjet za naprednije usluge koje bi omogućila pametna mreža. Izvedenom simulacijom komunikacije između električnog vozila i punionice, nastojalo se što više približiti stvarnom procesu punjenja i komunikaciji koja se odvija. Rad ima prostora za moguća poboljšanja u samom procesu punjenja između vozila i punionice. Bez obzira što postoje poruke koje u samom trenutku

punjenja provjeravaju stanje akumulatora te stanje na mreži. Simulacija je izvedena tako da je trajanje punjenja fiksno.

Buduća istraživanja koja bi se nadovezivala na ovaj rad bila bi povezivanje stanja napunjenosti i maksimalne snagu kojom se može puniti akumulator u iteracijama punjenja te da se komunikacija odvija zaista onoliko koliko i traje punjenje te da se puni maksimalnom strujom koja je dopuštena. Dodatno bi se mogli implementirati sigurnosni mehanizmi koji bi u iteracijama provjeravali vjerojatnost opasnosti od pregrijavanja. Kako bi se simulirala pametna mreža mogli bi se povezati razni scenariji koji se zamišljaju na pametnoj mreži te se implementirati u postojeću komunikaciju za punjenje između električnog vozila i punionice.

Bibliografija

1. Dokoza H. Doprinis električnih vozila održivom razvoju. Specijalistički diplomski. Karlovac: Veleučilište u Karlovcu; 2016.

2. Road vehicles — Vehicle to grid. International standard. Geneva: ISO; 2013. Report No.: ISO 15118-1:2013.

3. Ehsani M, Gao Y, Gay SE, Emadi A. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. CRC PRESS Boca Raton London New York Washington. New York: CRC PRESS; 2005.

4. Stojkov M, Gašparović D, D P. Električni automobil - povijest razvoja i sastavni dijelovi. 5. međunarodni skup o prirodnom plinu. ; 2014.

5. Cvetek D, Tišljarić L. Mjerenje potrošnje energije malog električnog vozila s obzirom na konfiguraciju terena u svrhu optimiziranja rute vozila. Zagreb:; 2016.

6. [Online]. [cited 2018. Srpanj 1. Available from: https://www.tesla.com/models.

7. Carlos F, Vicente M, Joshue P, David G, Fawzi N. Optimal energy consumption algorithm based on speed reference generation for urban electric vehicles. IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Seoul:; 2016.

8. Hybrid and Electric Vehicle Technologies | IA-HEV. [Online]. [cited 2018. Veljača 2. Available from: http://www.ieahev.org/.

9. FRIS energija koja traje. [Online]. [cited 2018. Siječanj 28. Available from: http://www.fris.hr/.

10. Kujundžić G. Estimacija stanja i parametara VRLA baterije nelinearnim Kalmanovim filtrom. rad za KDI. Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu; 2015.

11. Mültin. Mastering The Vechicle-2-Grid (V2G) Communications Interface. ISO 15118 Manual. ; 2017.

12. Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements. IEC 61851-1:2017. International Electrotechnical Commission; 2017.

13. Plug-In Electric Vehicle Handbook for Public Charging: U.S. Department of Energy, Clean Cities Tehnical Response Services; 2012.

14. Puni Hr. [Online]. [cited 2018. Siječanj 20. Available from: http://www.puni.hr/.

15. [Online]. Available from: https://github.com/V2GClarity/RISE-V2G.

16. Živković N. Raspberry Pi. Diplomski rad. Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Odjel za Matematiku; 2017.

17. http://pi4j.com/. [Online].

18. Bobinac T. Aplikacija za upravljanje skladištem temejena na aktivnim bazama podataka. VARAŽDIN: SVEUČILIŠTE U ZAGREBU, FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE VARAŽDIN; 2017.

19. [Online]. [cited 2018 6 6. Available from: https://e-u.hr/dok/udzbenik/31_210.pdf.

20. Mujadžević E. Uvod u SQL centar Sr, editor. Zagreb: Tečajevi Srce; 2016.

21. mysql customers. [Online]. [cited 2018 6 6. Available from: https://www.mysql.com/customers/.

22. Kovačić, M. : Mjerenje s Arduino kontrolerom preko interneta, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012.

Popis ilustracija

SLIKA 1: OSNOVNI ELEMENTI ZA POGON ELEKTRIČNOG VOZILA S PODSUSTAVIMA (7)..... 6
SLIKA 2. PRINCIP RADA ISTOSMJERNOG MOTORA 8
SLIKA 3. PRESJEK RELUKTANTNOG MOTORA (7)..... 9
SLIKA 4. SUSTAV UPRAVLJANJA POGONOM RELUKTANTNOG (7) 9
SLIKA 5. TIPOVI UTIKAČA ZA RAZNA TRŽIŠTA (ENGL. VECHICLE INLET) (10)..... 11
SLIKA 6. *COMBINED CHARGING SYSTEM* PUNJAČ S PINOVIMA (10) 12
SLIKA 7. OSI MODEL *VECHICLE TO GRID* KOMUNIKACIJE (10) 15
SLIKA 8. PRIMJER RAZNIH IMPULSA PULSNO ŠIRINSKE MODULACIJE 16
SLIKA 9. TRENUCI U PROCESU PUNJENJA UZ ODGOVARAJUĆE IMPULSE PWM SIGNALA (10)17
SLIKA 10. RASPORED GRUPA PORUKA PRILIKOM PROCESA PUNJENJA (10) 18
SLIKA 11. PRIKAZ SHEME KOJA PREDSTAVLJA OBJEKTE KOJI KOMUNICIRAJU 21
SLIKA 13. RASPBERRY PI GPIO PINOVI MODELA 3B (15) 24
SLIKA 14. MREŽNI PREKLOPNIK KORIŠTEN U RADU 25
SLIKA 15. LOGO RISE V2G PROJEKTA (14) 26
SLIKA 16. STRUKTURA RISE V2G PROJEKTA PODIJELJENA U MAPE 27
SLIKA 17. BIBLIOTEKE NUŽNE ZA USPJEŠNO IZVRŠAVANJE RISE V2G PROJEKTA..... 27
SLIKA 18. MREŽNO SUČELJE PREKO KOJEG KOMUNICIRAJU EVCC I SECC 27
SLIKA 19. PODRŽANI ENERGETSKI NAČINI PUNJENJA ELEKTRIČNOG VOZILA..... 28
SLIKA 20. SIGURNOSNI NAČINI NA KOJI SE MOGUĆE AUTENTIFICIRATI..... 28
SLIKA 21. POSTAVKE ZA ODABIR EXI DEKODERA 28
SLIKA 22. INICIJALIZACIJA UDP, TLS, TCP SERVERA 29
SLIKA 23. GENERIRANJE CERTIFIKATA 30
SLIKA 24. PORUKE USPJEŠNOSTI NAKON KOMPAJLIRANJA RISE V2G PROJEKTA 31
SLIKA 25. POKRETANJE IZVRŠNE DATOTEKE KOJA PREDSTAVLJA PUNIONICU 32
SLIKA 26. PUNJENJE PRELAZI U STANJE PRIPREME ZA PUNJENJE..... 33
SLIKA 27. PROCES PUNJENJA ULAZI U STANJE C 34
SLIKA 28. ULAZAK U STANJE B TE ZAVRŠETAK KOMUNIKACIJE I PUNJENJA 35
SLIKA 29. MAKETA ZA SIMULACIJU PUNJENJA ELEKTRIČNOG VOZILA I PUNIONICE 36
SLIKA 30. SIMULACIJA PUNJENJA ELEKTRIČNOG VOZILA..... 37
SLIKA 31. ZAGLAVLJE ZA PI4J PROJEKT RASPBERRY PI 3 MODELA (16) 38
SLIKA 32. UNOS BIBLIOTEKA U RISE V2G PROJEKT 39
SLIKA 33. METODA KOJA POVISUJE NAPON NA GPIO PINU 40
SLIKA 34. METODA KOJA PROIZVODI PWM SIGNAL NA GPIO PINU 41
SLIKA 35. POZIV METODE KOJI POKREĆE PWM SIGNAL KOJI ODGOVARA TRAJANJU IMPULSA OD 30% PERIODA 41
SLIKA 36. XAMPP KONTROLNA PLOČA..... 43
SLIKA 37. PHPMYADMIN SUČELJE 44
SLIKA 38. METODA KOJA VRŠI UNOS PODATAKA O PUNJENJU 44
SLIKA 39. METODA KOJA OMOGUĆAVA KONEKCIJU S BAZOM PODATAKA 45
SLIKA 40. PRIKAZ SPREMLJENIH PODATAKA U TABLICU PUNIONICA 45

Popis tablica

TABLICA 1. POPIS KOMPONENTI RASPBERRY PI 3B MODELA 23

Popis kratica

EVSE	(Electric Vehicle Supply Equipment) oprema za punjenje
AC	(Alternating Current) izmjenična struja
DC	(Direct Current) istosmjerna struja
CP	(Control Pilot) kontrolni pin
PE	(Protective Earth) zaštitni pin
PWM	(Pulse Width Modulation) pulsno širinska modulacija
HEV	(Hybrid Electric Vehicle) hibridno vozilo
PHEV	(Plug-in Hybrid Electric Vehicle) hibridno vozilo s mogućnošću punjenja
EV	(Electric Vehicle) električno vozilo
V2G	(Vehicle to Grid) vozilo na električnu mrežu
EVCC	(Electric Vehicle Communication Controller) kontroler električnog vozila
SECC	(Supply Equipment Communication Controller) kontroler punionice
PnC	(Plug and Charge) uključi i puni
TCP	(Transport Communication Protocol) transportni protokol
EMAID	(E-Mobility Account Identifier) identifikacijski račun od proizvođača
GPIO	(General-Pur pose Input/Output)

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom Simulacija komunikacije stanice za punjenje s električnim vozilom na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 2018-07-03

Student/ica:
D. Cvetek
(potpis)