

Miran Blažek
Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i
računarstva
miran.blazek@fer.hr

Izv. prof. dr. sc. Željko Ban
Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i
računarstva
zeljko.ban@fer.hr

Izv. prof. dr. sc. Viktor Šunde
Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i
računarstva
viktor.sunde@fer.hr

KOMPARATIVNA ANALIZA OSNOVNIH NAČINA PUNJENJA BATERIJA ZA ELEKTRIČNE AUTOMOBILE

SAŽETAK

Za razvoj proizvodnje i sve veću primjenu električnih automobila nužan je i razvoj prateće infrastrukture. Posebno su važni punjači baterija, prateća elektromehanička oprema i protokoli punjenja. U radu je dana komparativna analiza osnovnih načina punjenja baterija za električne automobile kako to definiraju sjevernoamerički *SAE J1772* standard i međunarodni *IEC 6851* standard prihvaćen u Europi. *SAE J1772* definira tri načina tj. tri nivoa punjenja; *nivo 1*, *nivo 2* i *nivo 3* koji vrijede za AC i DC punjenje. Prema *IEC 6851*, postoje 4 *moda* punjenja. Prva tri vrijede za AC punjenje uz ugrađeni punjač u vozilu, dok *mod 4* vrijedi za DC punjenje iz punjača ugrađenog u stanicu za punjenje. U radu je također dan i pregled korištenih konektora, te je ukratko opisan sigurnosni sustav za izabrani protokol punjenja.

Ključne riječi: električni automobili, stanice za punjenje, punjači, protokoli punjenja, konektori

SUMMARY

Development and increased use of electric vehicle demand the development of necessary infrastructure. The most important are battery charges, electromechanical equipment, and protocols of charging. This paper gives a comparative analysis of basic protocols and ways for battery charging in accordance with *SAE J1772* standard and international *IEC 6851* standard. *SAE J1772* defines three ways or levels of charging; *level 1*, *level 2* and *level 3* for AC and DC charging. In accordance with *IEC 6851* standard there are 4 modes of charging. The first three are used for AC charging with charger built in the vehicle while mode 4 is used for DC charging and the charger is built in the station. This paper also gives review of the used connectors and very shortly describes the security system for one particular mode of charging.

Key words: electric vehicles, charging stations, chargers, charging protocols, connectors

1. UVOD

Prva električna vozila s baterijama koristila su se još prije više od 100 godina. U početku su koristila nepunjive baterije malog kapaciteta i njihov je domet bio svega 30-ak kilometara. S razvitkom motora s unutrašnjim izgaranjem, popularnost vozila na električni pogon postupno je opadala. Prednost pred električnim motorom preuzeo je motor s unutrašnjim izgaranjem, prvenstveno zbog većeg dometa i tadašnje niske cijene nafte. U današnje vrijeme potražnja za električnim vozilima ponovo raste, a neki od razloga su visoka cijena nafte i njenih derivata, te problemi povezani s narušavanjem okoliša zbog velike

količine ispuštenih stakleničkih plinova koji su jednim dijelom proizvod motora s unutrašnjim izgaranjem. Današnja su električna vozila svojim karakteristikama spremna konkurirati konvencionalnim vozilima, ali je za njihov daljnji razvoj potrebna, u prvom redu, mreža punionica.

Punionice električnih automobila dio su prometne infrastrukture sa zadatkom osiguranja sigurne i pouzdane opskrbe električnom energijom potpuno električnih i hibridnih automobila. U svrhu kompatibilnosti različitih vozila kod punjenja, traje proces standardizacije načina punjenja, kabela, utičnica i utikača, te ostale elektromehaničke opreme potrebne za punjenje. Istovremeno se uvode različiti protokoli sigurnog i pouzdanog načina punjenja.

2. ELEKTRIČNI AUTOMOBILI

Osnovna podjela električnih automobila je na potpuna električna vozila (eng. **EVs** – *all-electric vehicles*, odnosno **BEVs** – *battery-electric vehicles*) i hibridna vozila (eng. **PHEVs** – *plug-in hybrid electric vehicles*). Skupina **BEVs** obuhvaća električna vozila pogonjena s jednim ili s više električnih motora koji koriste energiju iz ugrađenih baterija koje se pune spajanjem na električnu mrežu. Domet današnjih potpuno električnih vozila u prosjeku iznosi oko 150 km i ovisi o veličini vozila i namjeni, kapacitetu ugrađenih baterija, načinu vožnje itd. Vrijeme potrebno za punjenje baterija je od 30 minuta pa do skoro čitavog dana, a ovisi o kapacitetu baterija i načinu punjenja. Jedan od predstavnika i najprodavaniji potpuno električni automobil je *Nissan LEAF*, slika 1.a), s dometom od 121, 135 i 200 km, ovisno o modelu.



Slika 1. a) Nissan Leaf i b) Toyota Prius.

U skupini **PHEVs** su električna vozila koja uz električni motor imaju i benzinski (dizel) motor. Na taj je način smanjena potrošnja goriva kao i količina ispušnih plinova jer se gradska vožnja obavlja uz električni pogon. Baterija je dovoljnog kapaciteta za kraće gradske rute dok se pogon na benzin (dizel) koristi kada se baterija istroši, kod većih ubrzanja, kad je potreban rad klimatskog uređaja ili kod nekih drugih sličnih opterećenja. **PHEVs** vozila se također pune spajanjem na električnu mrežu, s tim da je vrijeme punjenja obično kraće nego kod **BEVs** jer su baterije kod **PHEVs** znatno manje. Jedan od predstavnika je *Toyota Prius*, slika 2.b).

3. ELEKTRIČNE PUNIONICE

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

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

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

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

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

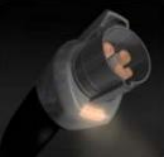
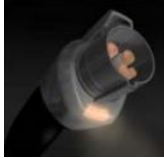
4. STANDARDI PUNJENJA ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA

Dva su glavna standarda koji opisuju načine punjenja električnih automobila. To su SAE (*Society of Automotive Engineers*) J1772 za američku automobilsku industriju i IEC 61851 za Europu. Oni definiraju razine napona i struja kod punjenja, te protokole punjenja. Standardi također određuju način spajanja električnog vozila sa stanicom za punjenje, te način komunikacije vozila sa stanicom [1].

4.1. SAE J 1772

SAE J1772 definira 3 nivoa punjenja (eng. *charging level*); nivo 1, nivo 2 i nivo 3 za AC i DC punjenje [2]. Nivo punjenja označava razinu električne snage koja se prenosi u vozilo prilikom punjenja. AC nivoi označavaju punjenje preko punjača koji su instalirani u vozilu, a DC nivoi označavaju punjenje preko vanjskih punjača koji se nalaze u stanicama za punjenje. Podjela stanica prema nivou punjenja prikazana je u *Tablici 1.* u kojoj su još navedeni i podaci kao što su napon i struja punjenja, snaga i očekivano vrijeme punjenja.

Tablica I. Podjela stanica za punjenje prema SAE J1772.

AC nivo 1 (SAE J1772™) 	punjač ugrađen u vozilu	DC nivo 1 punjač izvan vozila	punjač izvan vozila
	120 V, 1.4kW @ 12A 120 V, 1.9kW @ 16A		200 – 450 VDC, do 36kW (80A)
	procjena vremena punjenja:		procjena vremena punjenja (punjač snage 20kW):
	PHEV: 7 sati (SOC – 0 do 100%) BEV: 17 sati (SOC – 20 do 100%)		PHEV: 22 minute (SOC – 0 do 80%) BEV: 1.2 sata (SOC – 20 do 80%)
AC nivo 2 (SAE J1772™) 	punjač ugrađen u vozilu	DC nivo 2 punjač izvan vozila	punjač izvan vozila
	240 V, do 19.2kW (80A)		200 – 450 VDC, do 90kW (200A)
	procjena vremena punjenja za punjač snage 3.3kW:		procjena vremena punjenja (punjač snage 45kW):
	PEV: 3 sati (SOC – 0 do 100%) BEV: 7 sati (SOC – 20 do 100%)		PHEV: 10 minuta (SOC – 0 do 80%) BEV: 20 minuta (SOC – 20 do 80%)
	procjena vremena punjenja za punjač snage 7kW:	DC nivo 3 punjač izvan vozila	200 – 600 VDC do 240kW (400A)
	PEV: 1.5 sati (SOC – 0 do 100%) BEV: 3.5 sati (SOC – 20 do 100%)		procjena vremena punjenja (punjač snage 45kW):
	procjena vremena punjenja za punjač snage 20kW:		BEV: < 10 minuta (SOC – 0 do 80%)
	PEV: 22 minute (SOC – 0 do 100%) BEV: 1.2 sata (SOC – 20 do 100%)		
AC nivo 3	> 20kW, jednofazno i trofazno		

4.1.1. Nivo 1 (AC)

Nivo 1 podrazumijeva spajanje vozila na kućnu utičnicu. U SAD-u i nekim drugim zemljama koristi se mrežni napon od 120 V, uz ograničenje struje do 15 ili 20 A. Valja naglasiti da isto takvo punjenje iz utičnice u Europi, gdje je napon jednofazne mreže 230 V, spada u *nivo 2* način punjenja. Snaga punjenja iznosi 1,4 do 1,9 kW. Glavna prednost ovakvog načina punjenja je jednostavnost. Za spajanje vozila s utičnicom koristi se kabel koji na jednoj strani ima tipični američki/europski mrežni utikač s uzemljenjem dok na drugoj strani ima spomenuti standardizirani *J1772* konektor. Glavni nedostatak ovakvog načina punjenja je dugo vrijeme punjenja, primjerice za punjenje automobila kao što je *Nissan Leaf* potrebno je čak 15 sati.

4.1.2. Nivo 2 (AC)

Naziva se još i brzo AC punjenje. Punjenje se obavlja preko 240 V mreže u domaćinstvu ili 208 V u industriji. Za *nivo 2* je potrebna instalacija opreme za punjenje koja omogućuje komunikaciju vozila sa stanicom za punjenje preko dodatnih podatkovnih pinova. Na taj je način vozilu omogućeno da šalje podatke stanici o željenom iznosu struje punjenja u određenim vremenskim ciklusima kako bi se produljio vijek trajanja baterije i spriječilo eventualno pregrijavanje. Struje punjenja mogu biti od 30 do 80 A uz snage od 7,5 do 19,2 kW. Kabel iz stanice za punjenje se priključuje na istu utičnicu na automobilu kao i kod *nivoa 1*. Vrijeme punjenja u pravilu traje oko 4 do 6 sati za potpuno ispražnjenu bateriju. *Nivo 2* način punjenja može se instalirati i u vlastitom domu. Neke od tvrtki koje razvijaju komercijalna rješenja takvih stanica za punjenje su američki *Leviton*, a u Europi npr. *Eaton* ili *Bosch*.

4.1.3. Nivo 3 (DC)

Naziva se još i brzo DC punjenje. Napon punjenja je 200-450 VDC (čak i 600 VDC), a struje punjenja mogu biti i do 400 A. Ovakva punionica može potpuno praznu bateriju napuniti do 80% za manje od 20 minuta. Pošto se do automobila dovodi istosmjerni napon, nije potreban ugrađeni punjač u automobilu. Ovakve punionice se skoro nikad ne koriste kod kuće jer je struja koju uzimaju iz mreže prevelika, a rijetko koja kuća ima izvedene električne instalacije koje bi mogle podržati toliku struju. Ovaj je način zbog kratkog vremena punjenja idealan za punionice koje se postavljaju uz ceste ili druga mjesta gdje bi se automobili mogli nakratko zadržati kako bi na brzinu dopunili svoje baterije. Punjenje se vrši samo do 80% kapaciteta kako bi se zaštitila baterija i spriječilo smanjenje kapaciteta uslijed punjenja strujama velikog iznosa.

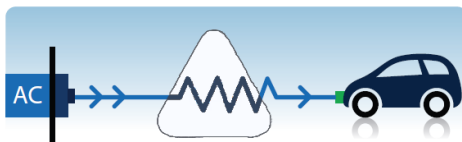
4.2. IEC 61851

IEC 61851 je standard koji se osim u Europi koristi i u Kini. Izveden je iz *J1772* standarda i prilagođen europskoj i azijskoj izmjeničnoj mreži. Kod *J1772* standarda se govori o *nivoima* punjenja, dok se kod *IEC* standarda priča o *modovima* punjenja. Mod punjenja opisuje i sigurnosni komunikacijski protokol između vozila i stanice za punjenje. Prema standardu *IEC 61851-1* definiraju se 4 različita moda punjenja [3]:

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

4.2.1. Mod 1

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



Slika 2. *Mod 1* način punjenja.

Prednost ovakvog načina punjenja vozila je jednostavnost zbog velike dostupnosti običnih utičnica. No, postoje i ograničenja, prije svega ograničenje struje u kućnim instalacijama što automatski ograničava snagu punjenja. Snaga punjenja današnjih vozila je između 3 do 24 kW što odgovara strujama punjenja od 16 A kod jednofaznih punjača do 32 A kod trofaznih punjača. Pošto je punjenje automobila ovakvim načinom punjenja višesatno, a kućne su utičnice predviđene za rad pri maksimalnoj snazi samo određeno kratko vrijeme (tipično oko 1 sat što odgovara korištenju tipičnih kućanskih električnih uređaja), može doći do zagrijavanja utičnice i priključnog kabela. Da bi se izbjegli spomenuti rizici, kompromisno je određeno da maksimalna struja punjenja može biti 10 A. No, potpuno punjenje automobila pri tolikoj struji može potrajati i do 12 sati što je jedan od glavnih nedostataka ovog načina punjenja. Ovi se problemi mogu riješiti i izvođenjem posebne instalacije namijenjene samo punjenju automobila..

4.2.2. Mod 2

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



Slika 3. *Mod 2* način punjenja.

Kod ovog je načina punjenja omogućena komunikacija vozila sa zaštitnim elementom. Zaštitni element ima i upravljačku funkciju jer može kontrolirati i upravljati iznosom struje punjenja. Komunikacija se obavlja preko kontrolnog pina kojeg prema standardu *IEC 61851-1* mora sadržavati utičnica na vozilu. Zaštitni element također sadrži i RCD sklopku koja štiti od električnog udara. Također postoje i ugrađeni osigurači od strujnog i temperaturnog preopterećenja. Ovim se načinom punjenja prvenstveno štiti dio kabela od zaštitnog elementa do vozila kao i samo vozilo, ali se ne štiti sam utikač u mrežnoj utičnici koji i dalje ostaje izložen riziku od pretjeranog zagrijavanja. Međutim, postoje kabeli koji sadrže i temperaturne senzore u samom utikaču spojenom na mrežu i time je zaštitnom elementu omogućeno dodatno upravljanje snagom punjenja kako bi se izbjeglo zagrijavanje mrežne utičnice.

4.2.3. Mod 3

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



Slika 4. Mod 3 način punjenja.

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

4.2.4. Mod 4

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



Slika 5. Mod 4 način punjenja.

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

5. VRSTE KONEKTORA

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

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

5.1. Tip 1 SAE J1772-2009

Godine 2001. američka organizacija za standardizaciju *SAE International* donijela je prijedlog standarda koji opisuje konektor za konduktivno punjenje. Bio je to *SAE J1772-2001* konektor kojeg je

razvila američka tvrtka *Avcon Corporation*. Konektor *J1772-2001* zamijenjen je novim okruglim konektorom pod standardom *SAE J1772-2009* zbog svojih nedostataka kao što su; glomaznost, komplicirano rukovanje, nespretni kut priključenja utikača u utičnicu i nedovoljna maksimalna struja punjenja od 32 A. Novi *J1772-2009* konektor razvila je tvrtka *Yazaki*. Specifikacije tog konektora uključene su u standard *IEC 62196-2* kao konektor *tipa 1* za punjenje električnog vozila preko jednofazne izmjenične mreže [4].



Slika 6. *J1772-2009* konektor s utičnicom.

Konektor ima 5 pinova, dva energetska, uzemljenje i dva signalna pina, takozvani *proximity* i *control pilot* pinovi. Signalni pinovi služe za osnovnu komunikaciju vozila s opremom za punjenje te omogućuju detekciju je li automobil spojen na stanicu za punjenje. Ovim je standardom uključeno i nekoliko razina zaštite od električnog udara, te je omogućeno korištenje i u vlažnim uvjetima. Kada je konektor spojen s utičnicom, pinovi su fizički zaštićeni i izolirani tako da ne postoji mogućnost od neposrednog kontakta s dijelovima konektora koji su pod naponom. Kada je konektor odvojen od utičnice, sigurnosni protokol isključuje napajanje na pinovima te ne postoji opasnost od električnog udara. Dodatno, kontrolni pinovi su realizirani na način da se kod odvajanja konektora od utičnice oni prvi odvoje od odgovarajućih kontakata i na taj način signaliziraju stanici da isključi napajanje energetskih pinova prije nego se pak oni odvoje od utičnice.

5.2. Tip 2 *VDE-AR-E 2623-2-2*

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



Slika 7. *VDE* konektor s utičnicom.

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

5.3. Tip 3– EV Plug Alliance

Udruženje *EV Plug Alliance* sklopljeno je 2010. godine između francuskih tvrtki *Schneider Electric* i *Legrand* te talijanske tvrtke *Scame*. Držeći se okvira *IEC 62196* standarda, *EV Plug Alliance* je razvio dvije varijante konektora, konektor *tipa 3A* i konektor *tipa 3B*. Prvi je dobiven iz *Scame* konektora kojemu su dodani signalni pinovi i predviđen je za jednofazno punjenje, te je najčešće korišten za punjenje laganih električnih vozila poput električnih motocikala ili skutera. U drugoj varijanti *tipa 3B* su dodana još dva pina kako bi se podržalo punjenje preko trofazne mreže uz struje do 32 A. Glavna značajka takvog konektora je zaštitni poklopac koji štiti od direktnog kontakta s dijelovima pod naponom. No, i *Mennekes* je s vremenom razvio konektor *tipa 2* s ugrađenim poklopcem. U siječnju 2013. godine je dogovoreno da će na području Europske Unije standardni konektor biti *Mennekesov* konektor. Jedino je Francuska odlučila zadržati ovaj *EV Plug Alliance* standard.



Slika 8. *EV Plug Alliance* konektor.

5.4. CHAdeMO

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



Slika 9. *CHAdeMO* konektor.

CHAdeMO standard su preuzeli japanski proizvođači automobila poput *Nissana* i *Mitsubishija*. Pošto je *CHAdeMO* ograničen samo na DC punjenje, automobili poput *Leafa* i *i-MiEva* imaju ugrađenu i dodatnu utičnicu *tipa 1* prema *SAE* standardu kako bi bili kompatibilni i sa sporijim AC načinom punjenja.



Slika 10. *CHAdeMO* (lijevo) i *J1772* (desno) utičnica na *Leafu*.

5.5. SAE CCS

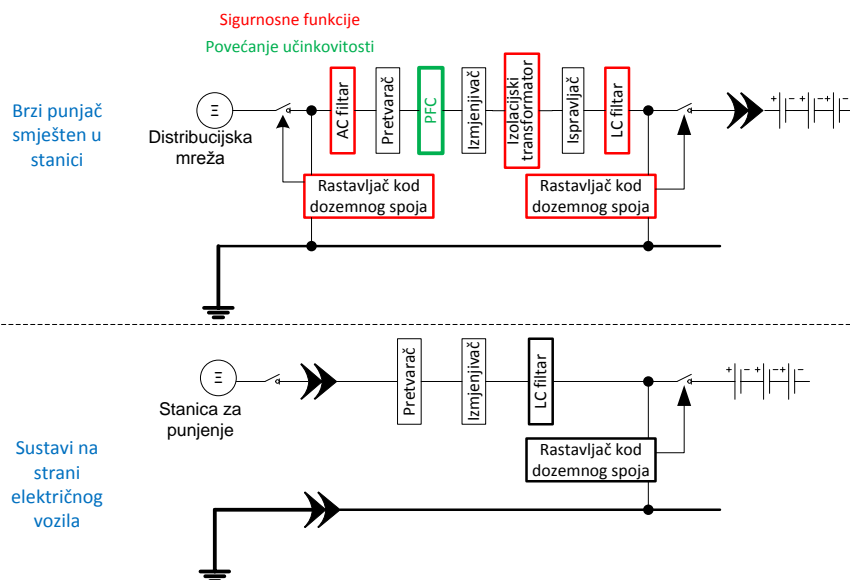
Osam proizvođača automobila (*Audi, BMW, Chrysler, Daimler, Ford, General Motors, Porsche i Volkswagen*) složili su se oko standardizacije novog kombiniranog sustava punjenja (eng. *Combined Charging System*) za konektore koji se koriste u Americi i Europi. Kombinirani sustav bio bi pogodan za jednofazno AC punjenje, za brzo trofazno AC punjenje, za DC punjenje kod kuće i za brzo DC punjenje na javnim stanicama za punjenje, sve to koristeći jedan te isti konektor. Sredinom 2012. godine SAE je predstavio novi *Combo* konektor koji podržava i AC i DC punjenje. Zapravo, to je nadogradnja na postojeći *J1772* konektor kojemu su dodana još dva energetska pina za DC brzo punjenje. Pošto se u Europi koristi *Mennekes* konektor za AC punjenje, razvijena je i druga inačica *Combo* konektora koja je zapravo nadogradnja na *Mennekes* konektor kojemu su također dodana dva energetska pina za DC brzo punjenje. Treba još naglasiti da postoji i treći standard za DC brzo punjenje kojeg je razvio *Tesla Motors*, no taj je standard trenutno ograničen samo na njihove modele električnih automobila.



Slika 11. *Combo 1* (desno) i *Combo 2* (lijevo) konektor.

6. SIGURNOSNI SUSTAV

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



Slika 12. Sigurnosni i ostali elementi u brzim punjačima.

Dva su osnovna tipa sigurnosnih senzora:

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

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

Tablica II. Funkcije sigurnosnih i ostalih elemenata u brzim punjačima.

Sigurnosni elementi u brzim punjačima stanica za punjene električnih vozila	
ELEMENT	SVRHA
AC filtar	Štiti distribucijsku mrežu od izobličenja višim harmonicima
Korektor omjera snage (PFC)	Povećava učinkovitost pretvorbe energije
Izolacijski transformator	Galvanski odvaja krug baterije od distribucijske mreže u svrhu zaštite ljudi kod rukovanja stanicom
LC filtar	Smanjuje valovitost izlazne struje stanice u svrhu zaštite sustava baterije
Rastavljač napona u slučaju dozernog spoja	Brzo odspajanje sustava s naponskog izvora u slučaju detekcije struje u vodu uzemljenja u svrhu zaštite rukovaoca stanicom od električnog udara

7. ZAKLJUČAK

Uz razvoj proizvodnje i sve veću primjenu električnih automobila nužan je i razvoj prateće infrastrukture. Posebno su važni punjači baterija, prateća elektromehanička oprema i protokoli punjenja. Također je važna i standardizacija svega navedenog kako bi se mogla puniti vozila različitih proizvođača preko punjača priključenih na različite elektroenergetske sustave. Za sporo punjenje koriste se punjači ugrađeni u vozila. Ovisno o snazi instalacije na koju je punjač priključen punjenje traje desetak sati. Preko vanjskih punjača punjenje se može obaviti u trajanju do dvadesetak minuta. Punjenje se obavlja preko utičnica i konektora za AC punjenje, DC punjenje, a u zadnje vrijeme se razvijaju konektori koji podržavaju i AC i DC punjenje. Dva glavna standarda koji opisuju protokole punjenja električnih automobila su sjevernoamerički *SAE J1772* standard i međunarodni *IEC 6851* standard prihvaćen u Europi. *SAE J1772* definira tri načina tj. tri nivoa punjenja; *nivo 1*, *nivo 2* i *nivo 3* koji vrijede za AC i za DC punjenje. Prema *IEC 6851* postoje 4 *moda* punjenja. Prva tri vrijede za AC punjenje uz ugrađeni punjač u vozilu, dok *mod 4* vrijedi za DC punjenje uz ugrađeni punjač u stanici za punjenje. Da bi se proces punjenja obavljao pouzdano i sigurno, navedeni protokli definiraju strukturu i funkcije sigurnosnog sustava.

8. LITERATURA

- [1] **Electric vehicle charging standards EV charging station;**
<http://carstations.com/8143>
- [2] **Electric Vehicles Charging Levels and Requirements Overview;**
http://www1.eere.energy.gov/cleancities/toolbox/pdfs/ev_charging_requirements.pdf
- [3] **Charging modes for electric vehicles;**
<http://w3.siemens.com/powerdistribution/global/en/lv/green-applications/electromobility/pages/charging-modes-for-electric-vehicles.aspx>
- [4] **SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler;**
http://standards.sae.org/j1772_201202/