

# Elektroenergetska infrastruktura za prihvat hibridnih i električnih vozila

**prof.dr.sc. Davor Škrlec**

**Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

**Sažetak:** *Elektroenergetski sustav se trenutačno suočava s nekoliko najvećih izazova u povijesti od svog nastanka – integracija velikog broja obnovljivih izvora koje karakterizira varijabilna proizvodnja električne energije i sveprisutnost informacijsko komunikacijske tehnologije koja kroz tehnologijsku platformu naprednih elektroenergetskih mreža – SmartGrids postavlja potpuno novu paradigmu elektroenergetskog sustava. U skoroj budućnosti se mogu očekivati novi izazovi za elektroenergetski sustav u obliku hibridnih i električnih vozila. Cestovni saobraćaj ima značajnu ulogu za EU ekonomiju i društvo te veliki utjecaj na kvalitetu svakodnevnog života građana. Potaknuti nesigurnim tržištem nafte, postavljenim ciljevima za zaštitu okoliša, hibridna i električna vozila su postala predmetom istraživanja u većini zemalja EU, ali i ostalih razvijenih zemalja u svijetu. Treća generacija hibridnih vozila je već prisutna na cestama, dok se u strateškim planovima i strategijama predviđa masovna proizvodnja električnih vozila oko 2020. godine. Pretpostavka je da će se do tada uspješno riješiti najveći problem električnih vozila – pohrana električne energije u spremnicima s mogućnošću velikog kapaciteta pohrane energije. Međutim, i hibridna i električna vozila će imati zahtjeve na uređaje za punjenje energetskih spremnika, te će raširena primjena imati značajne utjecaje na strukturu i pogon elektroenergetskog sustava, posebno distribucijske mreže. Ako se uzme u obzir da je maksimalno vršno opterećenje prosječnog domaćinstva 3 kW, pojavom električnih vozila iznos vršnog opterećenja se može povećati i do 10 kW. Zbog toga se danas provode istraživanja koja osim unaprjeđenja same tehnologije vozila, značajan dio posvećuju uspješnoj integraciji u elektroenergetski sustav i predviđanju dinamike uvođenja hibridnih i električnih vozila. U radu će opisati trenutačni rezultati istraživanja i integracije električnih vozila u elektroenergetski sustav, iskorištavanje njihovih sposobnosti da budu mobilni distribuirani spremnici energije i generatori, tržišni aspekti (tarife, pomoćne usluge).*

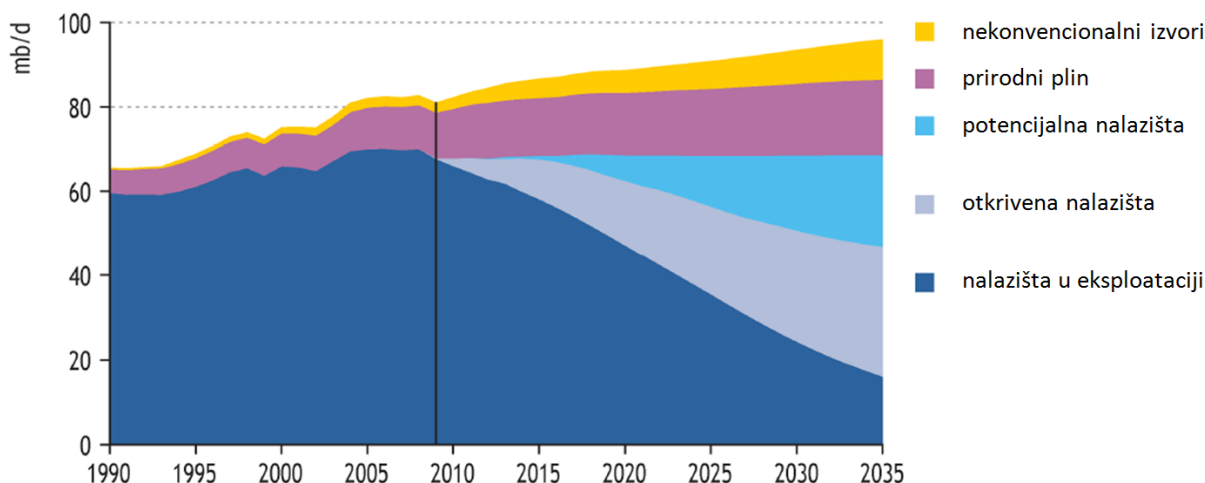
**Ključne riječi:** *električna vozila, hibridna vozila, elektromobilnost, napredne elektroenergetske mreže.*

## 1. UVOD

Kraj 19. i početak 20. stoljeća može se smatrati prvim razdobljem ozbiljnije primjene električne energije u transportu, primarno u kategoriji osobnih vozila. Jednostavnost uporabe i komfor tih prvih električnih vozila nisu se mogli ostvariti tadašnjim vozilima koja su koristila motore s unutrašnjim izgaranjem, odnosno goriva koja se temelje na ugljikovodicima. Međutim, ulaganja u istraživanja i inovacije, uzrokovale su razvoj tehnologije - motora s unutrašnjim izgaranjem, ali i ostalih sustava u automobilu koji

su umanjili prednosti električnih vozila, pogotovo u području komfora. U tom području je izum elektropokretača bio jedan od ključnih rezultata razvoja tehnologije kojima su električna vozila izgubila svoj primat. Interesantno je da su današnja prepreka većoj primjeni električnih vozila isti razlozi zbog kojih su ona potisnuta s cesta početkom 20. stoljeća: puno veći doseg odnosno autonomija bez nadopune pogonskog goriva, kraće vrijeme nadopune pogonskog goriva i razvijena mreža punionica – benzinskih stanica. Konačni udarac je električnim vozilima zadan na američkom tržištu automobila kad je kompanija *Ford Motor Company* razvila masovnu proizvodnju automobila koji su koristili motore s unutrašnjim izgaranjem i ponudila na tržištu za polovicu cijene ekvivalentnog električnog automobila. Do 1930. godine električna vozila su nestala s tržišta automobila u SAD.

Naftne krize sedamdesetih i osamdeset godina 20. stoljeća potaknule su interes za razvoj vozila koja će biti energetske efikasnija i s manjom emisijom štetnih plinova. Kontinuiranim ulaganjem proizvođača automobila u nove, energetske efikasnije motore s unutrašnjim izgaranjem i elektroničke sustave za štedljivu i ekološku vožnju, dostignut je vrhunac postojeće tehnologije. Međutim, prema [1] trenutačno se nalazimo u razdoblju kad je dostignuta maksimalna proizvodnja iz postojećih nalazišta nafte, te se prema projekcijama (slika 1) do 2035. godine može očekivati samo blagi porast proizvodnje nafte na svjetskoj razini i to zbog dodatnih ulaganja u postojeća nalazišta koja nisu u eksploataciji, te otkrivanju i eksploataciji novih nalazišta.



Slika 1. Projekcija dnevne proizvodnje nafte (izvor: IEA Energy Outlook 2010)

Nasuprot tome, predviđanja su da će se zbog razvoja i povećanja standarda u zemljama poput Kine i Indije ukupan broj automobila u svijetu do 2020. godine udvostručiti. Energetskim i klimatskim paketom EU je 2009. godine postavila ciljeve 20%-tnog smanjenja emisije stakleničkih plinova, 20%-tni udjela proizvodnje energije iz obnovljivih izvora u ukupnoj energetske bilanci i 20%-tnog smanjenja potrošnje primarne energije kroz povećanje energetske učinkovitosti. Kako sektor transporta ima značajan udio u potrošnji primarne energije i emisiji stakleničkih plinova, očekivanja su da primjena biogoriva i električne energije u transportu doprinese postavljenim ciljevima. Očekivani porast potražnje za električnom energijom u transportu nužno će uzrokovati povećanje proizvodnje električne energije. Kako se to povećanje proizvodnje električne energije ne bi trebalo ostvariti izgradnjom novih termoelektrana i plinskih elektrana, kao jedine moguće opcije ostale su nuklearna energije i obnovljivi izvori. Nuklearna nesreća u japanskoj elektrani Fukushima u većini zemalja je na neodređeno vrijeme zaustavila ili odgodila projekte izgradnje nuklearnih elektrana, tako da su obnovljivi izvori trenutačno ostali jedina održiva opcija za period do 2020. a možda i 2030. godine. Osim izgradnje novih izvora električne energije, za povećanje primjene hibridnih i električnih vozila u transportu potrebna su ulaganja u razvoj i

izgradnju infrastrukture – elektroenergetske mreže i punionica, te razvoj regulatornih i tržišnih mjera i politika koji će potaknuti razvoj, proizvodnju i korištenje električnih vozila. Napredne elektroenergetske mreže (Smartgrids) te integracija obnovljivih izvora i električnih vozila su zbog toga postali jedna od najvažnijih područja istraživanja i razvoja tehnologija u EU, ali i u ostalim dijelovima svijeta.

## 2. STATUS DANAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I PRIMJENE ELEKTROMOBILNOSTI

### 2.1. Razvoj hibridnih i električnih vozila

Ponovnim ozbiljnijim tržišnim otkrivanjem hibridnih i električnih automobila može se smatrati pojavljivanje 1. generacije hibridnog automobila Toyota Prius 1997. godine koji je nakon 2001. godine postao dostupan na svjetskom tržištu, te je trenutačno prisutan na tržištu u svojoj 3. generaciji. Zaključno s listopadom 2010. godine u svijetu je ukupno prodano 2 milijuna primjeraka, od toga 1 milijun na tržištu SAD. Iako danas gotovo svi značajniji proizvođači automobila imaju u svojoj paleti proizvoda i neku vrstu hibridnog automobila, Toyota Prius se u smislu tehnologije gotovo redovno smatra vodećim modelom u toj kategoriji iako je već i sama Toyota ponudila na tržištu serijski model Toyota Auris HD.



Slika 2. Najpoznatije hibridno vozilo – Toyota Prius (3. generacija)

Manji uspjeh je imao prvi ozbiljniji električni automobil krajem 20. stoljeća. - General Motors predstavio je 1990. godine na sajmu automobila u Los Angelesu koncept električnog automobila EV1. Kad je 1996. proizveden prvi primjerak EV1, u General Motorsu su bili iznenađeni vrlo pozitivnom reakcijom tržišta na EV1, ali klijenti nisu mogli kupiti svoj primjerak, već ga samo uzeti u najam na određeno vrijeme nakon čega je morao biti vraćen proizvođaču. Tijekom svog postojanja od 6 godina, EV1 je doživio ogroman uspjeh i promijenio način na koji ljudi doživljavaju električne automobile. Međutim, kako je EV1 bio vrlo pouzdan i imao malo pokretnih dijelova, General Motors je 2002. osjetio pad potražnje za rezervnim dijelovima te zaključio da u budućnosti ne može profitirati iz EV1. Iz toga, i još nekih razloga poznatih GM-u, došlo je do najkontroverznijeg povlačenja automobila u povijesti, a kako EV1 nije mogao biti kupljen, već uzet u najam, GM je opozvao sve primjerke EV1. Mnogima koji nisu dobrovoljno predali svoj primjerak bio je prisilno oduzet. GM je zatim uništio gotovo sve primjerke EV1, s izuzetkom nekolicine isporučenih muzejima s deaktiviranim pogonskim sklopom kako više nikad ne bi zaživjeli na cesti.

U današnje vrijeme General Motors planira ponoviti uspjeh EV1 s novim modelom, Chevrolet Volt (Opel Ampera u Europi), ali koji je u kategoriji hibridnih vozila. Vjerojatno najpopularniji električni automobil današnjice je Tesla Roadster, sportski automobil koji je proizvela i prodaje tvrtka Tesla Motors iz SAD, a 2012. godine planira ponuditi na tržište novi automobil, Model S koji je u srednjoj klasi. Oba modela osim dobrih aerodinamičnih svojstava i atraktivnog izgleda, imaju primijenjene inovativne tehnologije, koje im za električne automobile omogućavaju veliku autonomiju vožnje od 450 km i brzo punjenje akumulatorskih baterija u vremenu od 45 minuta.



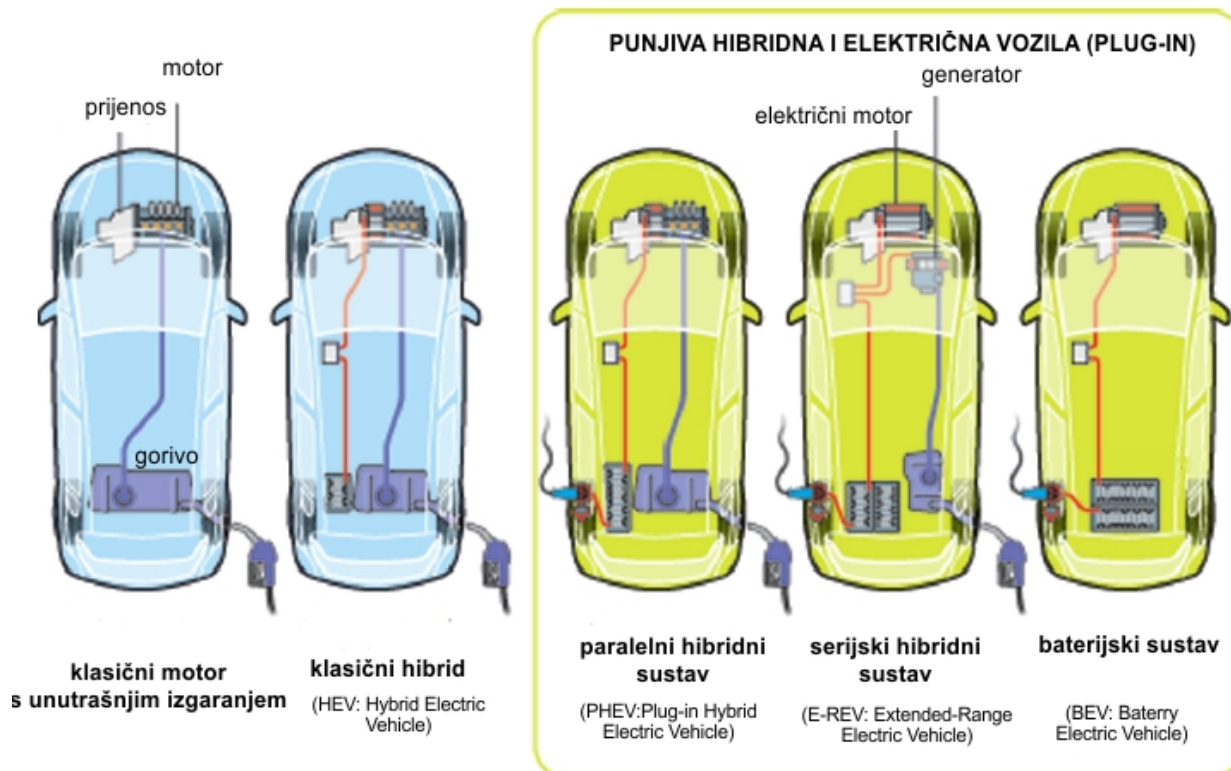
Slika 3. Električno vozilo tvrtke „Tesla Motors“ – Model S

## 2.1. Kratki pregled tehnologija hibridnih i električnih vozila

U svim vrstama dokumenata koji se odnose na hibridna i električna vozila bez obzira da li se radi o strateškim dokumentima, vizijama, rezultatima istraživačkih projekata ili analizama tržišta napravljena je podjela na tri kategorije vozila:

1. hibridna vozila (HEV – Hybrid Electric Vehicle)
2. punjiva hibridna vozila (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
3. baterijska električna vozila (BEV – Battery Electric Vehicle).

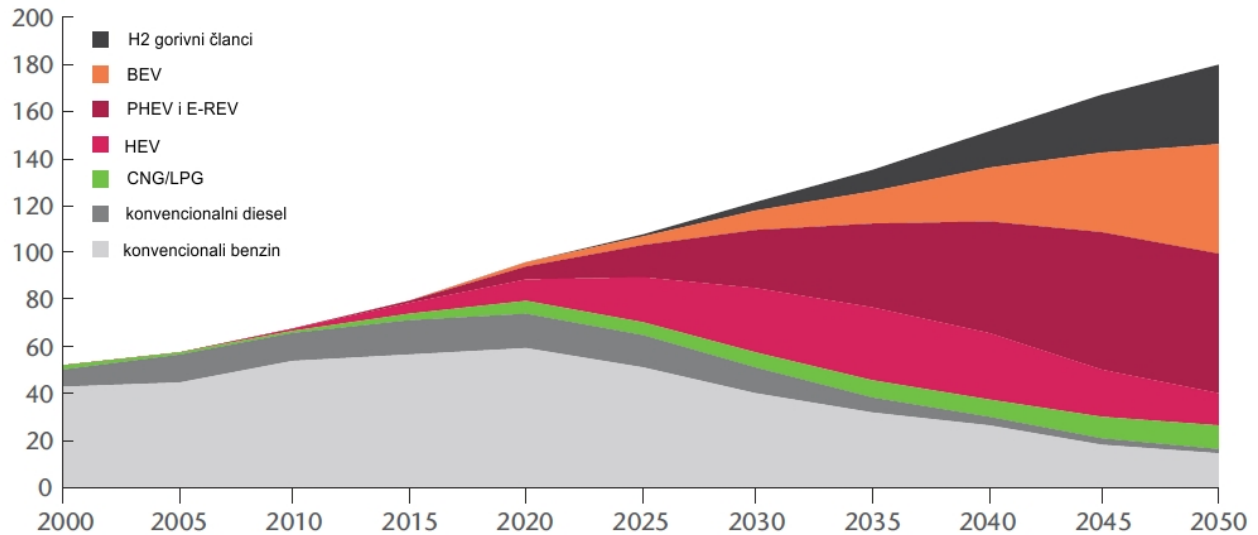
Iako unutar pojedine kategorije vozila postoje različita tehnička rješenja njihov je osnovni koncept isti. U ovom radu se neće detaljnije opisivati tehnologija i tehnička rješenja nego samo dio koji se odnosi na zahtjeve prema elektroenergetskoj mreži.



Slika 4. Podjela hibridnih i električnih vozila

Hibridna električna vozila (HEV-Hybrid Electric Vehicle) za pogon koriste motor s unutrašnjim izgaranjem i električni motor, a za pohranu električne energije koriste akumulatorsku bateriju kapaciteta 1-2 kWh. Akumulatorska baterija se nadopunjava pomoću generatora kojeg pokreće motor s unutrašnjim sagorijevanjem te kod usporavanja ili zaustavljanja regenerativnim kočenjem. Kod ove vrste vozila ne postoji mogućnost punjenja akumulatorske baterije iz nekog vanjskog izvora ili elektroenergetske mreže. Električni motor se najčešće koristi u situacijama kad je potrebna dodatna snaga ili kad je moguća ušteda goriva, a tek novije generacije vozila koriste samo električni motor pri pokretanju vozila i manjim brzinama vožnje, što je karakteristika gradske vožnje.

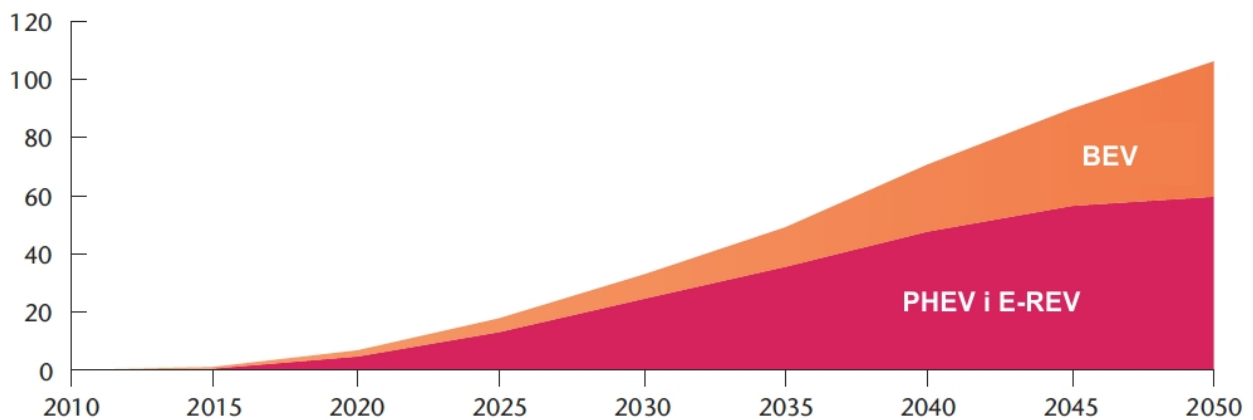
Punjiva hibridna vozila (PHEV-Plug-in Hybrid Electric Vehicle) više se oslanjaju na električni dio pogona nego klasična hibridna električna vozila. Karakterizira ih paralelni hibridni sustav kod kojeg je motor s unutrašnjim izgaranjem glavni pogon vozila ali je nadopunjen s većom baterijom i snažnijim električnim motorom. Akumulatorske baterije su većeg kapaciteta 8-16 kWh, mogu se puniti iz elektroenergetske mreže i nadopunjavati pomoću generatora kojeg pokreće motor s unutrašnjim sagorijevanjem te kod usporavanja ili zaustavljanja regenerativnim kočenjem. Električni pogon omogućava da motor s unutrašnjim izgaranjem veći dio vremena radi u optimalnim uvjetima. Moguće je i korištenje samo električnog motora za pogon vozila i ovisno o kapacitetu akumulatorske baterija očekivana udaljenost koja se može prijeći između dva punjenja je između 20 km i 80 km. Tipične oznake su pri tom PHEV20 što označava da vozilo može prijeći udaljenost od 20 km ili PHEV80 za udaljenost 80 km. Ova vrsta vozila je potencijalno važna tehnologija za smanjivanje potrošnje fosilnih goriva i emisije CO<sub>2</sub> jer je statističkim ispitivanjima ustanovljeno da u Europi dnevnu udaljenost manju od 10 km čini 50% putovanja, a 80% putovanja je manje od 25 km.



Slika 5. Procjena udjela različitih kategorija putničkih vozila do 2050. godine u milijunima primjeraka ukupno u svijetu (izvor: IEA 2010)

Punjiva hibridna vozila sa serijskim hibridnim sustavom (E-REV – Extended-Range Electric Vehicle) su puno bliže potpunom električnom vozilu jer se pokreću samo električnim pogonom. Oslanjaju se na akumulatorsku bateriju većeg kapaciteta koja se puni iz elektroenergetske mreže, a za vrijeme vožnje se nadopunjuje iz generatora koji je pogonjen motorom s unutrašnjim izgaranjem. Osim motora s unutrašnjim izgaranjem mogu se koristiti i druge tehnologije poput gorivnih članaka ili fotonaponskih modula.

Potpuno električno vozilo (BEV-Battery Electric Vehicle) koristi samo električni pogon koji se sastoji od snažnog električnog motora i akumulatorske baterije velikog kapaciteta. Za udaljenost između dva punjenja od 500 km koliko je minimalni standard za današnja vozila, kapacitet akumulatorske baterije bi trebao biti barem 75 kWh. Današnji modeli ostvaruju maksimalnu udaljenost 120 – 150 km uz akumulatorsku bateriju kapaciteta 30 kWh.



Slika 6. Procjena prodanih punjivih hibridnih vozila i električnih putničkih vozila do 2050. godine u milijunima primjeraka ukupno u svijetu (izvor: IEA 2010)

### 3. INFRASTRUKTURA ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA

Osim električne energije i drugi alternativni izvori energije (vodik, gorivni članci, itd.) su u istraživanjima i kroz demonstracijske projekte razmatrani kao moguća zamjena za fosilna goriva u transportu. Međutim, izgrađenost infrastrukture koja se može iskoristiti za punjenje vozila – elektroenergetske mreže učinila je električnu energiju za duže razdoblje konkurentnijom od ostalih alternativnih izvora energije. Postojanje infrastrukture za punjenje električnih vozila je značajna početna prednost, ali važno je uzeti u obzir da za masovnije korištenje električne energije postoje određene prepreke koje se moraju početi rješavati danas kako bi se mogli ostvariti planovi prikazani na slikama 5 i 6, jer današnja struktura elektroenergetske mreže nije građena niti se njezina izgradnja planira za električna vozila.

Kao najvažnije prepreke mogu se istaknuti:

1. Nedovoljan presjek vodova srednjeg i niskog napona za dodatno opterećenje koje se pojavljuje priključkom hibridnih i električnih vozila. Ovaj problem postoji kod kućnih i industrijskih priključaka, ali i kod vodova javne rasvjete koji bi se mogli iskoristiti za izgradnju punjača na javnim mjestima i parkiralištima.
2. Nedovoljna rezerva snage u postojećim i planiranim energetske transformatorima, posebno SN/NN.
3. Korištenje obnovljivih izvora energije na lokaciji punionice.
4. Metode za planiranje izgradnje elektroenergetske mreže i predviđanje opterećenja ne uzimaju u obzir pojavu električnih vozila kao budućih trošila, a u konačnoj fazi i kao izvora u mreži.

Moguće lokacije punionice električnih vozila i njihove specifične karakteristike prema [2] ne utječu samo na tehnička rješenja nego i na poslovne modele te zakonodavne i regulatorne aspekte. Grupiranjem mogućih lokacija sličnih karakteristika u [2] je napravljena podjela na četiri osnovna tipa koja su u osnovama povezana s načinom kako je danas organizirana elektroenergetska mreža u većini država:

1. **Javna lokacija na javnoj površini** koja je normalno u vlasništvu lokalne samouprave (ceste, javna parkirališta, ostale javne površine) i na kojoj je elektroenergetska mreže (srednjonaponska i niskonaponska) u vlasništvu operatora distribucijskog sustava (ODS).



Slika 7. Primjer punionice na javnoj lokaciji – gradsko parkiralište, na javnoj površini u Oslu, Norveška

2. **Javna lokacija na privatnoj površini** najčešće ima slobodan pristup za vozila, ali je u privatnom vlasništvu. Pod ovim tipom se smatraju parkirališta ili garaže koje se nalaze u trgovačkim centrima, poslovnim i višenamjenskim zgradama i privatnim parkiralištima i garažama. Elektroenergetska instalacija je u privatnom vlasništvu i preko jednog obračunsko-mjernog mjesta je spojena na elektroenergetsku mrežu u vlasništvu ODS-a.
3. **Privatna lokacija na privatnom vlasništvu** najčešće podrazumijeva privatno parkiralište ili garažu u osobnom vlasništvu vlasnika vozila i elektroenergetska infrastruktura je u privatnom vlasništvu te sastavni dio kuće ili zgrade.
4. **Lokacija za brzo punjenje** nije toliko vezana uz vlasništvo koliko uz tehnologiju opreme za punjenje. Pretpostavljene lokacije se nalaze na postojećim postajama za gorivo koje se nalaze uz autocestu, veće trgovačke centre ili površine u gradovima koje su namjenski dodijeljene za tu svrhu. Specifičnost ovih lokacija je izgradnja namjenske transformatorske stanice za punionicu električnih vozila koja je zbog visokog faktora istovremenosti spojena direktno na srednjonaponsku mrežu ili čak na srednjonaponski razvod TS 110(35)/10(20) kV.

Europska Komisija je u dokumentu **A European Strategy on clean and energy efficient vehicles**, Brussels, 28.04.2010, COM (2010)186 identificirala potrebu za zajedničkim standardima koji će omogućiti svim električnim vozilima punjenje i komunikaciju sa elektroenergetskom mrežom i svim vrstama punjača u EU [3,4]. U lipnju 2010. godine Europska Komisija je obvezala europske organizacije za standarde (CEN, CENELEC i ETSI) da razviju nove EU standarde ili naprave reviziju postojećih kako bi se:

1. osigurala interoperabilnost i mogućnost povezivanja na elektroenergetsku infrastrukturu električnog vozila s integriranim punjačem uzimajući u obzir problem da priključnice u kućnim instalacijama u državama EU nisu standardizirane;
2. osigurala interoperabilnost i mogućnost povezivanja električnog vozila s punjačem koji je sastavni dio elektroenergetske infrastrukture;
3. omogućiti napredne metode punjenja (smart-charging) kako bi se mogle pružati pomoćne usluge elektroenergetskom sustavu
4. osigurati zaštitu korisnika od previsokog napona dodira i elektromagnetsku kompatibilnost punjača.

Tehnički odbori međunarodnih organizacija koji bave izradom standarda za električna vozila su:

1. CEN/TC 301: Road vehicles
2. CENELEC & IEC TCs 64: Electrical installations & protection electric shock
3. IEC TC 21: Battery standards
4. IEC SC 23h: Connector standards
5. IEC TC 69: Safety and chargers
6. ISO TC 22/SC 21: Electrical vehicles

Važnost međunarodne suradnje EU i Kine u području standardizacije za električna vozila očituje se i kroz postojanje zajedničke platforme **China-Europe Standards Information Platform (CESIP)**.



Trenutačno su istraživački naponi usmjereni na rješavanje ključne karakteristike električnih vozila koja značajno utječu na njihovu tržišnu poziciju – autonomija vozila odnosno maksimalna udaljenost koje vozilo prijeđe između dva punjenja i vrijeme punjenja. Te karakteristike su zapravo problem punjenja akumulatorske baterije i mogu se promatrati kao kombinacija dva odvojena tehnička podsustava:

1. karakteristika punjača (napon/struja punjenja i broj faza priključka)
2. karakteristike baterije

Tablica 1 koja je preuzeta iz [3] proces punjenja prikazuje u ovisnosti o snazi punjača, a ne kako uobičajeno u vremenu punjenja što daje bolju predodžbu o utjecaju na elektroenergetsku mrežu.

Tablica 1. Proces punjenja baterije u ovisnosti o snazi punjača u korelaciji s autonomijom vozila

Naziv snage punjenja	Vrsta priključka	Snaga punjača [kW]	Nazivna struja punjenja [A]	Autonomija vozila/h <sup>1</sup>
<b>normalna snaga</b> <sup>2</sup>	jednofazni izmjenični	≤ 3,7 kW	10 -16	<20 km
<b>srednja snaga</b>	jednofazni ili trofazni izmjenični	3,7-22 kW	16-32	20-110 km
<b>visoka snaga</b>	trofazni izmjenični	>22 kW	>32	>110 km
<b>visoka snaga</b>	istosmjerni	>22 kW	>32 <sup>3</sup>	>110 km

U EU još uvijek nije dogovoren standard za konektor punjača, jer osim funkcije prijenosa energije zahtjeva se mogućnost komunikacije između vozila i elektroenergetske mreže. Rok za prihvaćanje standarda je bio travanj 2011., ali se francuski i talijanski predstavnici auto industrije još nisu usuglasili sa njemačkim predstavnicima oko konstrukcije i sigurnosnih pitanja konektora. Već postoji međunarodni *IEC standard 62196-1 Plugs, socket-outlets, vehicle couplers and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles – Part 1: Charging of electric vehicles up to 250 A a.c. and 400 A d.c.* tako da se očekuje kako će se europski standard temeljiti na tom standardu.

Jedno od predloženih rješenje koje je kompatibilno s IEC standardom prikazano je na slici 8.

<sup>1</sup> uz pretpostavku prosječne potrošnje od 20 kWh/100 km

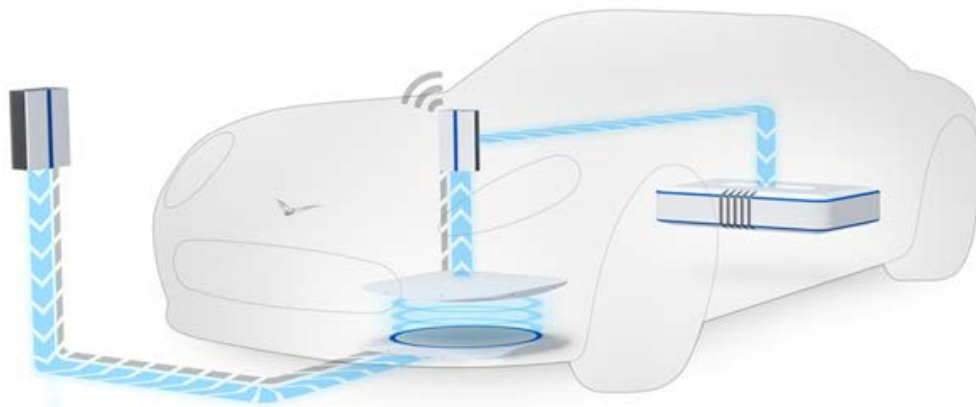
<sup>2</sup> tipični kućni priključak

<sup>3</sup> kod istosmjernog priključka punjenje baterije ovisi o njezinom nazivnom naponu koji je u normalno u rasponu 150-300 V te je struja punjenja ovisna o snazi i naponu



Slika 8. Predloženi konektor za punjenje i sustav za punjenje (tvrtka Mennekes)

Kako bi se uklonio problem univerzalnog konektora za priključak punjača i ostvarila veća sigurnost korisnika od previsokog napona dodira u fazi istraživanja je primjena punjača koji radi na principu elektromagnetske indukcije. Slika 9. prikazuje princip takvog indukcijskog punjača, koji nažalost još uvijek ima prenisuku efikasnost da bi postigao komercijalnu uporabu.



Slika 9. Princip bezkontaktnog indukcijskog punjača

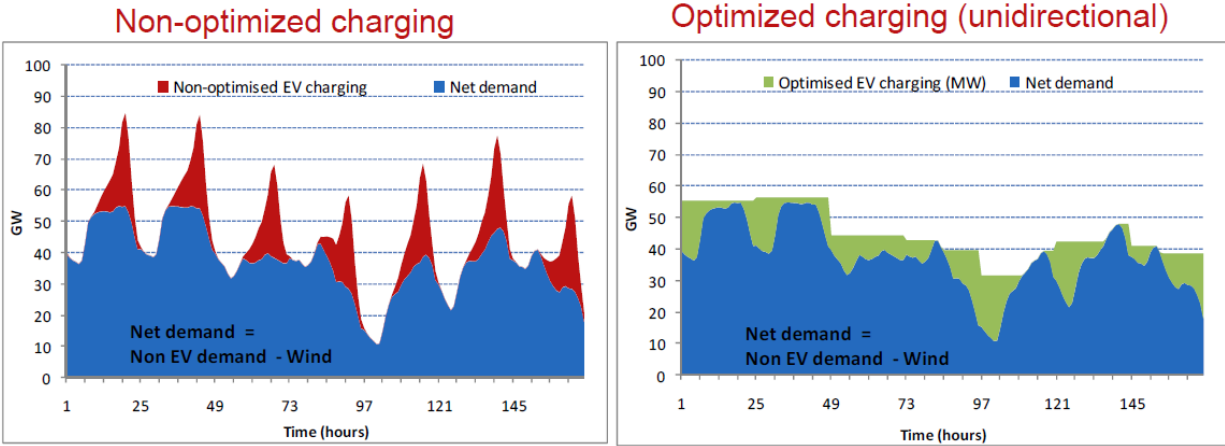
Kako je za korisnika često najvažniji podatak vrijeme potrebno za punjenje akumulatorske baterije u tablici 2 su prikazane osnovne karakteristike i aktualna cijena punjača za tri standardne vremenske kategorije punjenja. Najjednostavnija stanica za punjenje – kućna, (< 3kW) iznosi 3000€ uz pretpostavku da će se povećanjem broja cijena smanjiti na 1000€ te bi cijena punjenja mogla biti oko 0.6 €/kWh.

Tablica 2. Osnovne karakteristike punjača ovisno o vremenskoj kategoriji punjenja i navikama korisnika

	Standardno punjenje	Ubrzano punjenje	Brzo punjenje
<b>Snaga punjača</b>	3 kW	7 – 40 kW	50 – 250 kW
<b>Vrijeme punjenja praznog vozila</b>	6 - 9 h	30 min – 3 h	5 - 20 min
<b>Cijena stanice za punjenje</b>	< 3 000 €	4 000 – 10 000 €	20 000 – 50 000 €
<b>Tipične lokacije</b>	kuće, poslovne zgrade, javna parkirališta	trgovački centri, centar grada	servisne postaje uz autoceste, namjenske punionice u gradovima
<b>Ponašanje korisnika</b>	ostavlja vozilo i vraća se nakon nekoliko sati	ostavlja vozilo i vraća se nakon kraćeg vremena	ostaje kod vozila

#### 4. UTJECAJ NA ELEKTROENERGETSKU MREŽU

Iz tablica 1. i 2. može se lako prepoznati da će s porastom broja električnih vozila porasti i zahtjev za priključnom snagom u elektroenergetskoj mreži, a još izraženija će biti istovremenost pojave opterećenja što do sada nije bila uobičajena pojava u elektroenergetskom sustavu. U istraživačkim projektima EU [5,6] proučavali su se mogući scenariji povećanja broja električnih vozila i utjecaji na elektroenergetski sustav. Slika 10. prikazuje utjecaj na tjedni dijagram opterećenja i scenarij koji pretpostavlja da se povećanje opterećenja osigurava iz konvencionalne elektrane. Lako se uočava potreba za optimizacijom vremena punjenja električnih vozila kako bi se spriječila pojava kratkotrajnih vršnih opterećenja u elektroenergetskom sustavu.

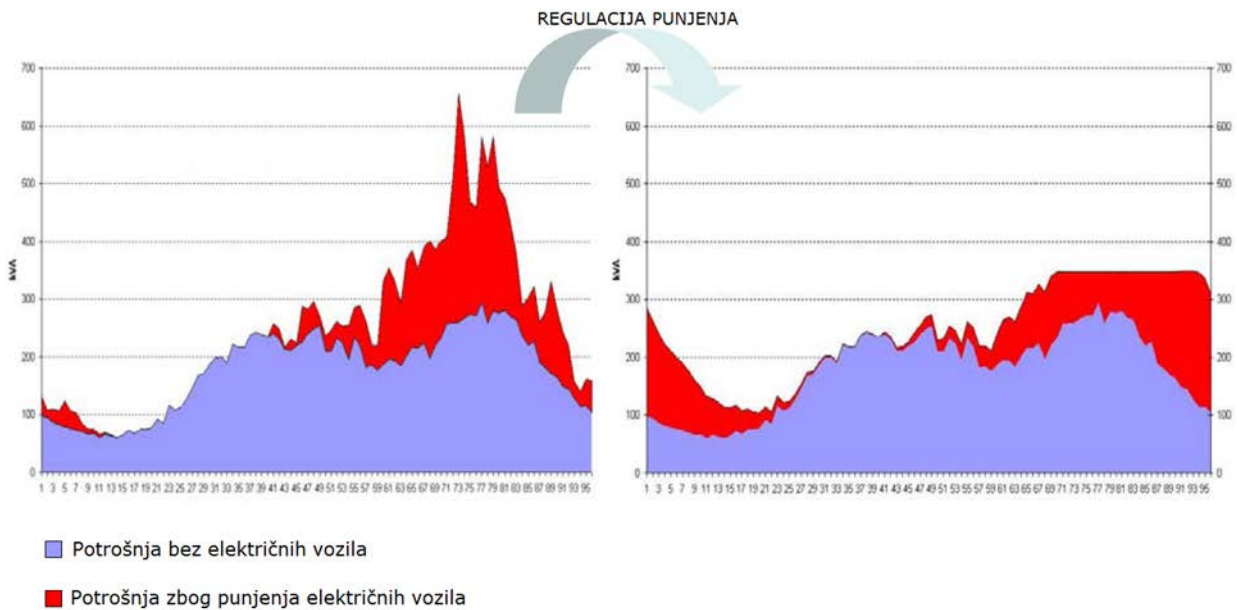


EV Charging coinciding with peak demand periods

EV Charging optimized during low net demand periods

Slika 10. Rezultati istraživanja EU projekta G4V o utjecaju punjenja električnih vozila na dijagram opterećenja elektroenergetskog sustava

Dnevni dijagram opterećenja koji je po svom obliku sličan karakterističnom dijagramu opterećenja u hrvatskom elektroenergetskom sustavu prikazan je na slici 11. Također se može uočiti da bez optimizacije punjenja može doći do pojave vršnih opterećenja uzrokovanih visokim faktorom istovremenosti punjenja električnih vozila.



Slika 11. Promjena dnevnog dijagrama opterećenja uz regulacije punjenja pri udjelu električnih vozila od 80%, RETRANS

U zahtjevu Europske Komisije (poglavlje3) istaknut je zahtjev da se omoguće napredne metode punjenja (smart-charging) koje su preduvjet za ostvarenje optimizacije punjenja. Međutim da bi se ostvarila očekivana optimizacija punjenja osim tehničkih preduvjeta – primjene informacijsko-komunikacijske

tehnologije nužno je ostvariti promjenu ponašanja korisnika – vlasnika vozila. Promjena ponašanja se dobrovoljno može ostvariti samo tržišnim mehanizmima odnosno odgovarajućim tarifnim sustavom koji će potaknuti tu promjenu, a informacijsko komunikacijska tehnologija treba poslužiti kao sredstvo za njezinu realizaciju.

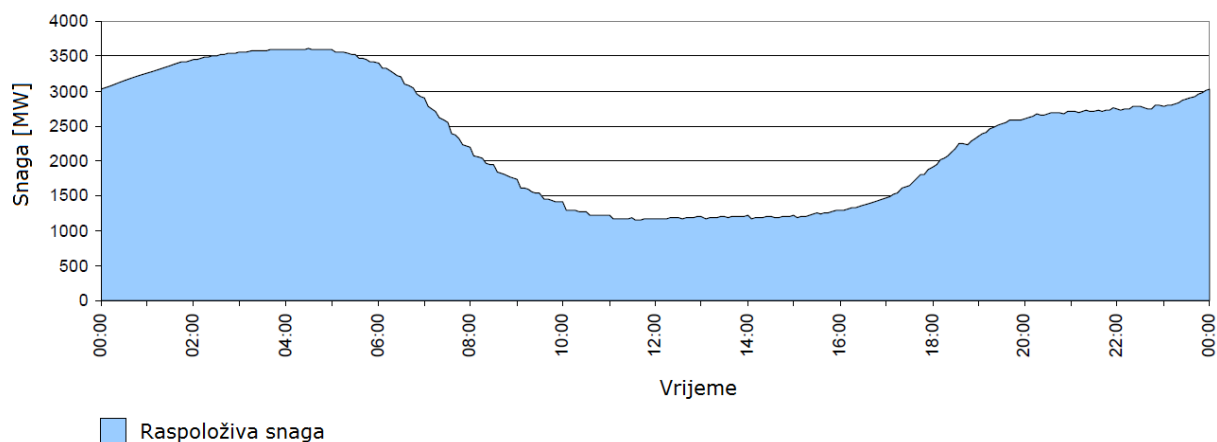
Osim utjecaja na dijagram opterećenja, električna vozila za elektroenergetsku mrežu predstavljaju pojavu novih trošila te se mogu očekivati već dobro poznati problemi [5, 7-11]:

- promjena naponskih prilika u SN i NN mreži
- potreba za kompenzacijom jalove energije
- kvaliteta električne energije
- nesimetrično opterećenje

Prema rezultatima istraživanja [1,5,6] punjiva hibridna vozila (PHEV i E-REV) će u razdoblju do 2035. godine biti dominantna prema potpunim električnim vozilima, te ih se u elektroenergetskom sustavu može promatrati kao upravljivu potrošnju. Osnovni princip usluga koje hibridna i električna vozila pružaju elektroenergetskom sustavu se naziva **V2G** (eng. *Vehicle-To-Grid*). Tu vrstu usluga hibridna i električna vozila mogu izvršavati dok su priključena na elektroenergetsku mrežu za vrijeme mirovanja na parkiralištu. Kada je potražnja električne energije mala mogu puniti svoje baterije bez preopterećivanja sustava. Kroz takovu interakciju s elektroenergetskim sustavom mogu pomoći u otklanjanju negativnih posljedica varijabilne proizvodnje kod velikog udjela obnovljivih izvora u ukupnoj proizvodnji električne energije. Prednost ove vrste distribuiranog skladištenja naspram velikih centraliziranih sustava je što ukupni kapacitet može rasti sa brojem električnih vozila.

Već je u uvodnom dijelu istaknuto da se od hibridnih i električnih vozila očekuje podrška rastu udjela proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. Ostvarenje tih ciljeva se vrednuje kroz smanjenje emisije CO<sub>2</sub> ali i višestrukim vrednovanjem ispunjenja ciljeva koje je postavila Europska Komisija.

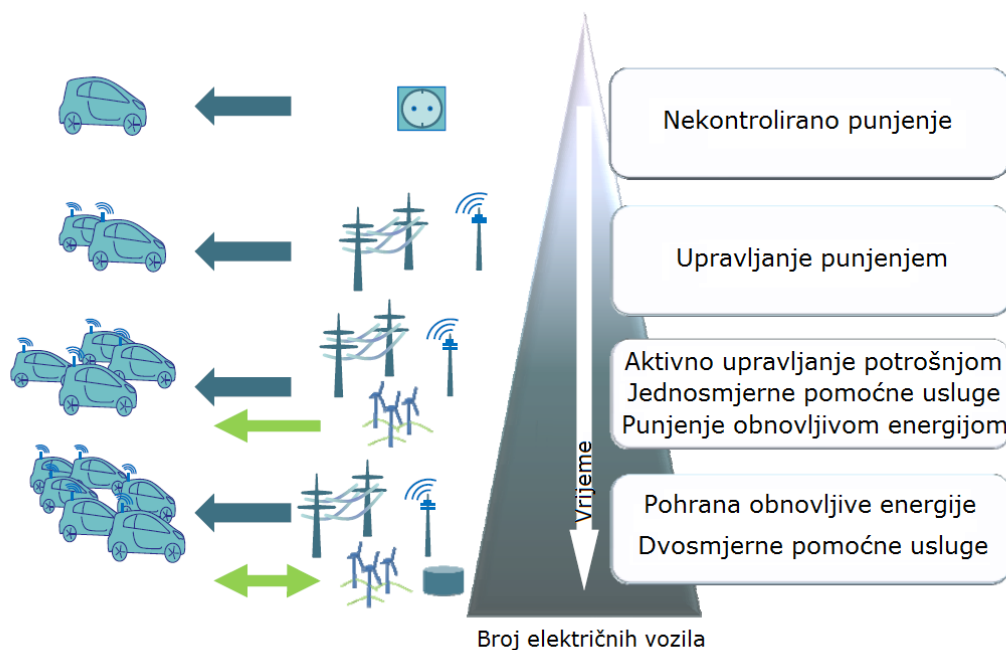
Povećanjem broja potpunih električnih vozila predviđa se dodatno pružanje pomoćnih usluga u elektroenergetskom sustavu kao što je regulacija i usluga rotirajuće rezerve ili spremanje viška energije obnovljivih izvora i njeno vraćanje u sustav kada je potrebna. Slika 12 prikazuje s kojim iznosom snage se može računati tijekom dana na temelju 1 milijuna vozila.



Slika 12. Raspoloživa snaga s obzirom na dostupnost vozila kroz razdoblje tijekom jednog dana (milijun vozila, snaga priključka na mrežu 3.7 kW, 90% napunjenost baterija)

Na primjeru promjene u proizvodnji iz vjetroelektrane, privremeni manjak električne energije može se nadoknaditi vraćanjem energije iz baterija vozila u elektroenergetsku mrežu, što smanjuje potrebu izgradnje konvencionalnih elektrana s istom svrhom. Povećanje potrošnje zbog punjenja vozila u područjima blizu lokacije distribuirane proizvodnje iz obnovljivih izvora može pozitivno djelovati na smanjenje zagušenja u prijenosnoj mreži.

Na slici 13. su prikazane faze razvoja pomoćnih usluga s obzirom na rast broja električnih vozila [5]. U samom početku uvođenja električnih vozila zbog njihovog malog broja nema mogućnosti za pomoćnim uslugama niti se koristi upravljanje punjenjem. Kako raste broj vozila dolazi do potrebe za nadogradnjom elektroenergetske mreže i implementacijom sustava koji omogućavaju upravljanje punjenjem i rad pomoćnih usluga.



Slika 13. Faze razvoja pomoćnih usluga prema porastu broju električnih vozila

## ZAKLJUČAK

Veliki broj tehničkih prepreka i još uvijek znatno povoljnija cijena vozila koja imaju ugrađene motore s unutrašnjim izgaranjem sprečavaju značajniji porast broja hibridnih i električnih vozila. Glavne prepreke su početna cijena, manja doseg, dostupnost infrastrukture za punjenje i pad vrijednosti vozila uz nove inovacije. Kao i kod svih novih tehnologija država mora sustavom potpora pomoći uvođenje hibridnih i električnih vozila. Sustav potpora se sastoji od potpore proizvođačima za razvoj i proizvodnju vozila, izgradnju infrastrukture za punjenje na javnim lokacijama i potporu demonstracijskim projektima. U fazi stvaranja ranog tržišta potrebno je pružiti i potporu kupcima kako bi se smanjila cjenovna razlika spram konvencionalnih vozila. Hrvatska kao turistička destinacija će vrlo brzo zbog turista iz EU koji na odmor ili u posjetu dolaze osobnim automobilom imati potrebu za izgradnjom infrastrukture za punjenje hibridnih i električnih vozila. Iako većina planova i strategija [1,14,15] predviđa povećanje broja hibridnih i električnih

vozila nakon 2015. godine, upravo je sada vrijeme kada se na demonstracijskim projektima trebaju stjecati iskustva i hrvatsko gospodarstvo uključiti u proizvodnju dijelova za hibridna i električna.

## 5. LITERATURA

1. IEA, Technology Roadmap – Electric and plug-in hybrid electric vehicles, IEA 2011
2. EURELECTRIC, Market Models for the Roll-Out of Electric Vehicle Public Charging Infrastructure, EURELECTRIC, 2010.
3. EURELECTRIC, European electricity industry views on charging Electric Vehicles, 2011.
4. EURELECTRIC, Standardisation of Electric Vehicle Charging Infrastructure, 2011.
5. MERGE – Mobile Energy Resources in Grids of Electricity, FP7 projekt, Internet stranice <http://www.ev-merge.eu/> (srpanj 2011)
6. G4V – Grid for Vehicles, FP7 projekt, Internet stranice <http://www.g4v.eu/> (srpanj 2011)
7. Putrus G.A., Suwanapingkarl P. Johnston D. Bentley E. C. Narayana M., Impact of Electric Vehicles on Power Distribution Networks, Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009. VPPC '09. IEEE, pp 827 – 831
8. Ryan Liu, Luther Dow, Edwin Liu, A Survey of PEV Impacts on Electric Utilities, IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference, January 17-19, 2011, Anaheim, CA, USA
9. Jayakrishnan R. Pillai, Electric vehicle based battery storages for large scale wind power integration in Denmark, doktorska disertacija, Aalborg University Danska, 2010.
10. Peter Richardson, Damian Flynn, Member, Andrew Keane, Member, Optimal Charging of Electric Vehicles in Low-Voltage Distribution Systems, IEEE Transactions on Power Systems (u objavi), 2011.
11. Robert C. Green II, Lingfeng Wang, Mansoor Alam, The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks, Renewable and Sustainable Energy Review 15 (2011), pp 544-553
12. Mario Kroflin, Vizija upotrebe hibridnih i električnih vozila u Hrvatskoj do 2030. godine, završni rad, FER 2011.
13. Goran Đura, Analiza strateških planova EU za hibridna i električna vozila, završni rad, FER, 2011.
14. ALPIQ, Electric vehicle market penetration in Switzerland by 2020,
15. Making the Connection: The Plug-In Vehicle Infrastructure Strategy, Department for Transport, Office for Low Emission Vehicles, UK, June 2011.