

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivana Birin

**PRIMJENA ELEKTRIČNIH VOZILA U GRADSKOM  
PROMETU**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**PRIMJENA ELEKTRIČNIH VOZILA U GRADSKOM  
PROMETU**

**IMPLEMENTATION OF ELECTRIC VEHICLES IN  
URBAN TRANSPORT**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Doc. dr. sc. Marko Slavulj  
Student: Ivana Birin  
JMBAG: 0135237279

Zagreb, rujan 2017.

## **SAŽETAK:**

Električna vozila su vozila koja koriste električnu energiju pohranjenu u akumulatoru ili drugim uređajima za pohranjivanje energije te se pokreću elektromotorom. Električna vozila imaju bolji stupanj iskorištenja i bolja vozna svojstva od vozila pogonjenih motorom s unutarnjim izgaranjem jednake snage. Ne ispuštaju plinove i ne stvaraju buku, što je od velikog značaja za urbane sredine.

**KLJUČNE RIJEČI:** gradski promet, električna vozila, baterija, ekološke značajke

## **SUMMARY:**

Electric vehicles are vehicles which use electric energy stored in the battery or other devices for energy storage, and they are operated by the electromotor. Electric vehicles have a better degree of efficiency, and driving characteristics than vehicles operated by the internal combustion engine of equal power. It does not emit gases and does not create noise that is of great importance for the urban environment.

**KEY WORDS:** city transport, electric vehicles, battery, ecological features

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. POVIJEST I RAZVOJ ELEKTRIČNIH VOZILA</b> .....	<b>3</b>
2.1. ELEKTRIČNA VOZILA TIJEKOM 21. STOLJEĆA.....	5
2.2. ELEKTRIČNA VOZILA U HRVATSKOJ .....	6
2.3. RAZVOJ ELEKTRIČNOG VOZILA.....	7
<b>3. EKOLOŠKE ZNAČAJKE ELEKTRIČNIH VOZILA</b> .....	<b>9</b>
<b>4. ENERGETSKE ZNAČAJKE ELEKTRIČNIH VOZILA</b> .....	<b>12</b>
4.1. UČINKOVITOST ELEKTRIČNIH MOTORA.....	13
4.2. PRIMJERI ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA .....	13
<b>5. URBANA INFRASTRUKTURA ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA</b> .....	<b>17</b>
5.1. BATERIJA ELEKTRIČNOG VOZILA.....	19
5.2. PUNIONICE U HRVATSKOJ.....	20
5.3. PRIMJER INFRASTRUKTURE ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA U ZAGREBPARKINGU.....	22
<b>6. PRIMJENA ELEKTRIČNIH VOZILA U GRADSKOM PROMETU</b> .....	<b>24</b>
6.1. VRSTE ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA .....	25
6.1.1. HIBRIDNA ELEKTRIČNA VOZILA .....	25
6.1.2. PLUG-IN HIBRIDNA ELEKTRIČNA VOZILA .....	27
6.1.3. ELEKTRIČNA VOZILA S PRODULJENIM DOMETOM.....	28
6.1.4. ELEKTRIČNA VOZILA S BATERIJOM.....	28
6.2. VRSTE ELEKTRIČNIH AUTOBUSA .....	29
6.2.1. TROLEJBUS .....	30
6.2.2. HIBRIDNI ELEKTRIČNI AUTOBUS .....	31
6.2.3. GYROBUS .....	32
6.3. PRIMJERI ELEKTRIČNIH AUTOBUSA U GRADOVIMA .....	33
6.4. STATISTIKA PRIMJENE ELEKTRIČNIH VOZILA.....	38
6.5. PRIMJER IZRAČUNA RADIJUSA KRETANJA ELEKTRIČNOG VOZILA.....	40
6.6. PRIMJER IZRAČUNA POTROŠNJE GORIVA I UTJECAJA NA OKOLIŠ.....	42

<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>44</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>45</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>47</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>48</b>
<b>POPIS GRAFIKONA.....</b>	<b>48</b>

# 1. UVOD

O električnim vozilima donedavno se samo razmišljalo kao o jednom u nizu alternativnih vrsta pogona. Električna vozila postala su neizostavni dio ponude svih svjetskih proizvođača automobila uslijed stalno rastućih cijena naftnih derivata i rastuće svijesti o nužnosti razvoja održive mobilnosti temeljene na obnovljivim izvorima energije. Polako ali nezaustavljivo, električni automobili počinju zauzimati svoje mjesto u prometu, osobito u gradskom prometu.

Naslov završnog rada je: Primjena električnih vozila u gradskom prometu. Završni rad se sastoji od 7 cjelina :

1. Uvod
2. Povijest i razvoj električnih vozila
3. Ekološke značajke električnih vozila
4. Energetske značajke električnih vozila
5. Urbana infrastruktura za punjenje električnih vozila
6. Primjena električnih vozila u gradskom prometu
7. Zaključak

U drugom poglavlju Povijest i razvoj električnih vozila, opisan je sami početak te detaljan razvoj električnih vozila krajem 19. stoljeća i početkom 20. stoljeća. Isto tako spomenuta su i električna vozila tijekom 21. stoljeća te njihova primjena u Hrvatskoj.

Treće poglavlje obuhvaća utjecaj električnih vozila na okoliš i udjele stakleničkih plinova u prometu.

Četvrto poglavlje Energetske značajke električnih vozila, uspoređuje električna vozila s vozilima na unutarnje izgaranje. Isto tako, navedeni su i primjeri električnih vozila sa karakterističnim značajkama.

U petom poglavlju opisana je infrastruktura za punjenje električnih vozila, odnosno način rada i vrste punionica, te su obuhvaćene i neke od punionica u Hrvatskoj.

Šesto poglavlje bazira se na primjeni električnih vozila u gradskom prometu, vrstama, primjerima i pojedinostima električnih automobila i autobusa, statistici primjene električnih vozila te proračunu radijusa njihova kretanja.

## 2. POVIJEST I RAZVOJ ELEKTRIČNIH VOZILA

Električna vozila uživala su u popularnosti krajem 19. a početkom 20. stoljeća. To je razdoblje bilo zlatno za električna vozila jer su pružala više komfora i jednostavnosti prilikom korištenja za razliku od vozila pokretana fosilnim gorivom. Razvoj tehnologije uvelike je potaknut mogućnošću njene praktične primjene u svakodnevnom životu. Jedan od primjera je električni automobil koji se pojavio ubrzo nakon konstrukcije prvog elektromotora. 1828. godine konstruiran je prvi elektromotor s osnovnim dijelovima: rotorom, statorom i komutatorom. Daljnjim usavršavanjem elektromotora dolazi i do prvih komercijalnih primjena elektromotora u industriji pa tako nastaju i prva električna vozila [1].

Prvi električni automobil konstruirao je Robert Anderson između 1832. i 1839. godine, što je dvadeset godina prije konstrukcije prvog motora s unutarnjim izgaranjem (dvotaktni motor, 1860. ; četverotaktni motor 1867.) U narednim godinama 1834. Amerikanac Thomas Davenport konstruirao prvi istosmjerni elektromotor i malu akumulatorsku lokomotivu [2].



Slika 1. Prvi električni automobil

Izvor: [https://hr.wikipedia.org/wiki/prvi\\_elektricni\\_automobil](https://hr.wikipedia.org/wiki/prvi_elektricni_automobil)

Godine 1842. Thomas Davenport i Robert Davidson neovisno konstruiraju bolji električni automobil koji je koristio cinkove baterije koje se nisu mogle puniti, nego su se svakim pražnjenjem morale mijenjati što je bilo vrlo skupo.

U drugoj polovici 19. st. podjednako su razvijana električna željeznička i cestovna vozila. Preteča današnjih akumulatora (olovo u kiselini), Gaston Plante u periodu 1859. – 1865. istražuje i razvija punjive baterije. U tom periodu, 1860., konstruirao je i dinamo koji je nakon toga stekao široku primjenu, a bio je preteča današnjim generatorima. Prvu upotrebljivu



električnu lokomotivu prikazao je W. Siemens na berlinskoj izložbi 1879., a već dvije godine poslije bila je elektrificirana kratka željeznička pruga u blizini Berlina.

Godine 1881. Camille Alphonse Faure (Francuska) konstruirao olovne baterije koje su bile bolje i većeg kapaciteta što je bio bitan preduvjet za daljnji razvoj električnih vozila. Godine 1886., Frank Julian Sprague konstruirao je istosmjerni motor koji je bio sposoban održati konstantnu brzinu pri promjenljivom teretu, a bio je i prvi elektromotor koji se prakticirao. U to vrijeme, kraj svih prednosti, postojala su ograničenja električnih automobila kao što su radijus kretanja i prosječna brzina. U to doba veliki nedostatak vozila s unutarnjim izgaranjem bio je start motora jer se za pokretanje takvih motora morala koristiti vlastita snaga da bi se polugom pokrenuo motor. Iako danas vrlo popularan i na samom vrhu proizvođača sportskih i luksuznih automobila, malo je poznato da je prvi automobil koji je konstruirao Ferdinand Porsche bio pogonjen elektromotorom [2].



Slika 2. Električni automobil, Ferdinand Porsche  
Izvor: [https://hr.wikipedia.org/wiki/prvi\\_elektricni\\_automobil](https://hr.wikipedia.org/wiki/prvi_elektricni_automobil)

Kasno 19. stoljeće smatra se zlatnim dobom za električne automobile. Među njima je bilo i vozila koja su obarala rekorde, npr. električni automobil belgijskog izumitelja Camillea Jenatzyja koji je izgledao u obliku cigare električnog vozila, postao je 1899. prvi automobil koje je vozio brže od 100 km/h., točnije 105.3 km/h. Električni automobili komercijalno su se počeli rabiti krajem 19. stoljeća te su dominirali od tada na ulicama u Americi i Europi [3].

U početku 20. stoljeća električni automobili sa 38% čine većinu svih automobila u SAD, dok su vozila pogonjena parom bila nešto manje zastupljena, a ostatak su činila vozila s benzinskim motorima. Međutim nedugo nakon toga u razdoblju 1935 - 1960. dolazi do zastoja u razvoju električnih vozila. Do tog vremena je automobil temeljen na motoru s unutarnjim izgaranjem bio vrlo neisplativ jer je cijena nafte bila vrlo visoka sve do velikog otkrića nafte u

Texasu i ostalim područjima zemlje nakon čega cijena nafte strahovito pada. Velika prednost automobila s motorom s unutrašnjim izgaranjem je bitno veća autonomija (udaljenost koju samostalno može prijeći bez punjenja rezervoara) što je važno kod međugradskih relacija odnosno kod većih udaljenosti.

Dvadesetih godina 20. stoljeća dolazi do razvoja cesta i prometne infrastrukture te se uviđa najveći nedostatak električnih automobila koji postaje sve izraženiji. Baterije koje su se koristile za napajanje elektromotora nisu dovoljne za duže i intenzivnije vožnje električnim automobilom, a njihova zamjena i punjenje su zahtijevale mnogo više vremena u odnosu na automobile s motorima s unutrašnjim izgaranjem.

Otprilike u isto vrijeme otkrivaju se i ogromna nalazišta nafte diljem svijeta (uglavnom SAD) te naftni derivati postaju najisplativiji izvor energije, a automobili s motorom s unutarnjim izgaranjem, zahvaljujući serijskoj proizvodnji, nameću se kao jeftinije i pouzdanije prijevozno sredstvo.

## **2.1. ELEKTRIČNA VOZILA TIJEKOM 21. STOLJEĆA**

Tijekom 21. stoljeća, električni automobil ponovo je postao vrlo zanimljiv jer je suvremeni održivi razvoj utemeljen na ekologiji i štednji energije. Visoke cijene goriva i loše nastala klima, dovelo je do povećanja svijesti potrošača, pa je tako električno vozilo opet pronašlo svoje mjesto s ciljem za daljnje razvijanje i uporabu[4].

To je svakako potaklo na intenzivnije istraživanje za punjenje i raspon napunjenosti akumulatorskih baterija. Jedno od misli za budućnost okoliša i sprječavanje ugljičnog dioksida, dušikovog oksida i štetnih čestica, kao i na nedostatak resursa, okreće razvoj vozila prema alternativnim načinima razvoja na prirodnim temeljima.

Energija za potrebe transporta iznosi 40-60% ukupne potrošnje fosilnih goriva. Električna vozila trebaju električnu energiju za pogon koja se dobiva iz elektrana. Električna energija koja se dobiva iz fosilnih goriva ima značajno bolji stupanj korisnog djelovanja nego je to slučaj u motorima s unutrašnjim izgaranjem. To ukazuje na mogućnost dobre sinergije između elektroopskrbnih tvrtki i potreba za električnom energijom za električna vozila, poglavito ako bi se punjenje obavljalo većinom u noćnom vremenu (jeftinija noćna tarifa

obračuna električne energije). Do sada ipak elektroopskrbne tvrtke nisu prepoznale ovu zanimljivu poslovnu mogućnost [4].

U današnje vrijeme električna vozila su po radijusu kretanja i cijeni po km idealna za gradske potrebe kao što su gradska vožnja i slično. Danas gotovo svi proizvođači automobila rade na razvoju električnih vozila (npr. GM EV1, Ford Ranger EV, Ford e-Ka, Honda EV+, Toyota e-Com, Tesla Model S, BMW i3, VW Golf electric i drugi). Također, u današnje vrijeme u razvoju električnih automobila pridružuju se nove tvrtke poput Siemens i drugih koji rade na razvoju nekih od komponenti ili dijelova električnog vozila. Početkom 1990-ih, nakon osviještenosti, SAD, Europa i ostale zemlje svijeta traže ekološki prihvatljive automobile, s ciljem smanjenja emisija ispušnih plinova i povećanom i potpomognutom proizvodnjom ZEV automobila (Zero Emission Vehicle). Tako se sve veće zemlje svijeta u cilju imale da se postigne broj automobila (0% emisija ispušnih plinova) od 10% od ukupnog broja automobila. Na to su proizvođači automobila reagirali razvijanjem i plasiranjem električnih automobila na tržište.

Električna vozila rade vrlo tiho i nemaju direktnu emisiju štetnih plinova na mjestu. Sve veći naglasak stoji na ekološkoj osviještenosti, ali i zbog osviještenosti da su naftne rezerve prema sadašnjim saznanjima ograničene, ponovo se stavlja električni automobili u fokus mogućih tehničkih rješenja u prometu, pa se nakon konceptnih automobila javljaju i prvi modeli u serijskoj proizvodnji (sportski model Tesla Roadster američke tvrtke Teslamotors proizvodi se od 2008) [2].

## **2.2. ELEKTRIČNA VOZILA U HRVATSKOJ**

Električna vozila u Hrvatskoj uglavnom se primjenjuju u gradskom javnom te željezničkom prometu. Tramvaji pogonjeni istosmjernom strujom napona 660 V prometovali su u Rijeci od 1899., Zagrebu od 1910., a u Osijeku od 1926. Razvoj infrastrukture i elektrifikacija željeznice u Hrvatskoj započela je instaliranjem istosmjernoga sustava napona 3 kV na pruzi Rijeka–Šapjanena hrvatsko-slovenskoj granici, a tim je sustavom elektrificirana i pruga Rijeka–Ogulin. Ostale elektrificirane hrvatske pruge imaju izmjenični napon 25 kV i frekvenciju 50 Hz. Od ukupno 2700 km pruga u Hrvatskoj (u 2000. god.) elektrificirano je 915 km. Proizvodnja elektrovučnih sredstava (tramvaji, dizelsko-električne diodne i tiristorske lokomotive) ima u Hrvatskoj dugu tradiciju, a okosnicu proizvodnje čine tvrtke „Končar“ iz

Zagreba, „Đuro Đaković“ iz Slavonskoga Broda i „TŽV Gredelj“ iz Zagreba. Posebno se ističe razvoj i izradba dizelsko-električnoga motornog vlaka (1962), koji je bio jedan od prvih primjera suvremenoga motornog vlaka, tiristorske lokomotive (1981), tada jedne od najmodernijih u svijetu, te najnovijega niskopodnoga tramvaja TMK 2200 (2005). U posljednje su se doba hrvatski inovatori i poduzetnici uključili u razvoj električnih automobila, pa su tako 2011. predstavljena dva konceptna modela tih vozila, gradski automobil (DOK-ING XD) istoimene tvrtke iz Zagreba te sportski automobil Concept One tvrtke Rimac automobili iz Svete Nedelje [3][19].



Slika 3. Concept One, Rimac automobili  
Izvor: [https://hr.wikipedia.org/wiki/rimac\\_automobil](https://hr.wikipedia.org/wiki/rimac_automobil)

### 2.3. RAZVOJ ELEKTRIČNOG VOZILA

Električno vozilo je vozilo pokretano elektromotorom. Elektromotorni pogon takvih vozila naziva se i električnom vučom, pa se ponekad ta vozila nazivaju i elektrovučnim vozilima. Električna vozila uglavnom ne ispuštaju ispušne plinove ako se neradi o hibridnim vozilima, ne stvaraju buku, imaju bolji stupanj djelovanja i bolja vozna svojstva od vozila pogonjenih motorom s unutarnjim izgaranjem jednake snage, pa su njihove prednosti znatne. Ipak, zbog ograničene autonomnosti uzrokovane tehničkim poteškoćama vezanim uz dobavu električne energije i problem kapaciteta akumulatorskih baterija, ta su vozila široku primjenu zasad našla u javnom prometu (željeznica, tramvaj i dr.) te za slučajeve autonomnoga teretnoga i osobnoga prijevoza (za prijevoz manjih tereta unutar tvorničkih pogona, skladišta i sl., elektrotaksiji i druga laka električna vozila za prijevoz osoba i tereta, a za prijevoz gradskim četvrtima i osobni transporter, električni bicikli, motocikli i sl.). U posljednje doba intenzivno se radi na razvoju i postupnom uvođenju električnih osobnih automobila, pa se vjeruje kako će oni u budućnosti preuzeti znatan dio automobilskoga tržišta. Nekonvencionalna vozila, kao npr.

pružna lebdeća vozila pogonjena linearnim elektromotorima, tek su u početnoj fazi primjene [5].

Prema načinu dobave električne energije razlikuju se nezavisna i zavisna električna vozila.

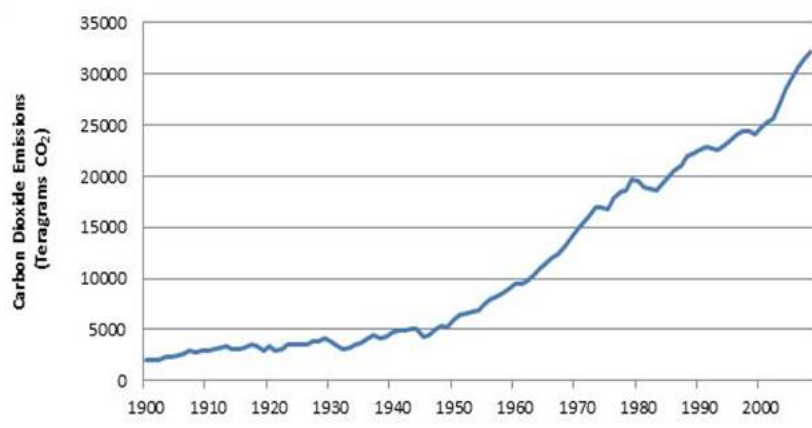
Nezavisna električna vozila crpe električnu energiju koja je potrebna za pogon elektromotora iz izvora ugrađenog u samom vozilu (akumulatorska baterija). Kod akumulatorskih vozila električna energija je pohranjena u akumulatoru (npr. kod električnog automobila), a kod nekih drugih nezavisnih vozila električna energija se dobiva izgaranjem goriva, što se ostvaruje radom električnoga generatora u kombinaciji sadizelskim ili benzinskim motorom, rjeđe plinskom turbinom (vozila s hibridnim pogonom). Izvor električne energije može biti i gorivi članak s izravnom pretvorbom kemijske u električnu energiju, ili sunčana baterija (kao kod sunčanog ili solarnog automobila).

Zavisna električna vozila preuzimaju električnu energiju iz elektroenergetske mreže preko kontaktnoga voda i pantografa koji po njemu klizi (npr. električna lokomotiva, tramvaj) ili s pomoću posebne tračnice (podzemna željeznica). Tehničke i ekonomske prednosti električnoga pogona osobito su uočljive u željezničkom prometu. U odnosu na parni i dizelski pogon ističe se pouzdanošću, većom instaliranom snagom po osovini, prijevoznom i propusnom moći pruga, a manjim utroškom energije, troškovima iskorištavanja i štetnim utjecajem na okoliš. Zbog velikih investicijskih ulaganja u elektrifikaciju željeznica, navedene prednosti dolaze do izražaja kod većih gustoća prometa. Na elektrificiranim željezničkim prugama električna energija dovodi se do elektrovučnih podstanica, koje izravno napajaju kontaktne mreže pojedinih dionica pruge. U njima se izmjenična struja visokog napona pretvara u istosmjernu ili izmjeničnu struju onog napona i frekvencije koji odgovara vrsti sustava električnoga pogona [3].

Električna vozila imaju nekoliko mogućih prednosti u odnosu na konvencionalna vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem, koje uključuju značajnu razliku između cijene električne energije u odnosu s cijenom naftnih derivata, smanjenje onečišćenja zraka u gradovima, jer oni ne ispuštaju onečišćenja tijekom rada, smanjene emisije stakleničkih plinova, ovisno o gorivu i tehnologiji koja se koristi za proizvodnju električne energije za punjenje akumulatora, manju ovisnost o nafti. Također smanjenje buke koja potiče iz prometa, kroz gotovo nečujan rad električnih vozila[5].

### 3. EKOLOŠKE ZNAČAJKE ELEKTRIČNIH VOZILA

Zemljina atmosfera, kao višeslojni plinski omotač oko Zemlje, najvećim dijelom pridonosi klimatskim prilikama. Tzv. “staklenički plinovi”, koji danas sudjeluju u tvorbi atmosfere s relativno malim volumnim udjelom (manjim od 0,04 %, odnosno s manje od 4 dcl na 1m<sup>3</sup>, odnosno 1000 litara zraka) “najzaslužniji” su za staklenički učinak Zemljine atmosfere, koji nastaje zadržavanjem odbijene Sunčeve emisije od površine Zemlje. Smatra se da staklenički plinovi, odnosno atmosfera, pridonose prosječnoj temperaturi na površini Zemlje za 330 C (što znači da temperaturana Zemlji bez toga učinka ne bi bila +15 stupnjeva celzijusovih, već -18 stupnjeva celzijusovih ).Najznačajniji staklenički plinovi su ugljični dioksid, metan i dušikov dioksid.



Grafikon 1. Emisije ugljičnog dioksida u teragramima (Tg) od 1900. do 2007. godine

Izvor: [https://\\_emisije\\_staklenickih\\_plinova.pdf](https://_emisije_staklenickih_plinova.pdf)

Ispušni plinovi djeluju otrovno i znatno onečišćuju atmosferu, posebno automobilske ispušni plinovi u gradovima s većom gustoćom prometa. Poznat je vrlo štetan fotokemijski smog, koji nastaje djelovanjem ultraljubičastoga sunčeva zračenja na ugljikov monoksid, nezasićene ugljikovodike i dušikove okside iz ispušnih plinova.

Globalno gledajući, na svjetskoj razini, znakovite emisije stakleničkih plinova potječu iz proizvodnje energije s udjelom od 35 %, industrije 18 %, prometa 13 %, poljoprivrednih djelatnosti 11 %, otpada s 4 %, a za ostatak su zaslužni šumski požari (3 %) te truljenje drva, tresetišta i sl. (udio od 8 %).

Udio stakleničkih plinova iz prometa u porastu je od 1990. do 2010. g. Najvećim dijelom tome pridonosi cestovni promet, čiji je udio u odnosu na ostale prometne grane u stalnom

porastu, tako da danas u EU i RH sve ostale prometne grane sudjeluju u stakleničkom učinku od prometa s manje od 5 %, a u SAD s udjelom od 15 %. Osim toga, u cestovnom se prometu zadnjih 20 godina redovito bilježi porast emisija stakleničkih plinova, čak i u onim područjima svijeta u kojima je došlo do smanjenja ukupnih emisija stakleničkih plinova antropogenog podrijetla. To upućuje da bi, glede prometa, osnovne napore trebalo usmjeriti prema smanjenju emisija iz cestovnog prometa [6].

Vrste prometa/ emisije	Udio u ukupnim emisijama 2010. g. u %		
	RH	EU	SAD
Cestovni	19,98	18,39	22,82
Željeznički	0,31	0,15	0,68
Pomorski i riječni	0,40	0,36	0,63
Zračni	0,29	0,36	2,11
Naftovodi i maziva	NP <sup>1</sup>	NP	0,71
Promet ukupno	20,98	19,26	26,95
Staklenički ukupno	-	-	-

Tablica 1. Udio emisija iz prometa u emisijama stakleničkih plinova u 2010. godini

Izvor: <https://emisije-staklenickih-plinova.pdf>

Vozila na električnu energiju povećavaju energetska učinkovitost cestovnih vozila i doprinose smanjenju ugljikovog dioksida te ostalih stakleničkih plinova u prometu. Električna energija je izvor energije koji je neophodan za uvođenje električnih vozila.

Električni automobili pridonose čistijem zraku u gradovima, jer oni ne ispuštaju štetne tvari u okolinu, kao što su čestice čađe, hlapivi organski spojevi, ugljikovodici, ugljični monoksid, ozon, olovo i razni dušikovi oksidi. Koristi od čistog zraka su najčešće lokalne, zbog toga što su, ovisno o izvoru električne energije koja se koristi za punjenje akumulatora, emisije štetnih tvari u zrak pomaknute na mjesto proizvodnje električne energije.

Kao prednosti, postoje i nedostaci električnih vozila. Ona nisu u potpunosti dobra za okoliš zbog baterija koje su teške, a proizvođači automobila pokušavaju svoje automobile učiniti što lakšima te moraju koristiti materijale koji su veoma laki, ali i čvrsti kao npr. aluminij i kompoziti ugljičnih vlakana koji iziskuju mnogo energije za proizvodnju. Također sastavni dijelovi baterije koje se koriste u električnim automobilima imaju štetne posljedice za okoliš. Sastavni dijelovi baterija litij, nikel i bakar nalaze se u zemljinoj kori te za njihovu eksploataciju

i obradu potrebno je koristiti mnogo energije što nije efikasno. Nepravilnim rukovanjem tih baterija može se znatno naštetiti okolišu [21].

Nemjerljivo tiši rad električnih vozila, bez ispuha i vibracija, znatno utječe na gradsku buku, život cijele eko zajednice i time na stres kod ljudi, te zadovoljstvo vožnje. Ekološka komponenta je bila pokretač tendencija za poticanje „elektrifikacije“ vozila, s manje emisije štetnih ispušnih plinova, ka održivijoj energetskej budućnosti koja štiti zrak i vode, daje privrednicima više prijevoznih opcija i smanjuje ovisnost o nafti.



## 4. ENERGETSKE ZNAČAJKE ELEKTRIČNIH VOZILA

Obnovljive izvore energije možemo podijeliti u dvije glavne kategorije: tradicionalne obnovljive izvore energije poput biomase i velikih hidroelektrana, te na takozvane "nove obnovljive izvore energije" poput energije sunca, energije vjetra, geotermalne energije itd. Iz obnovljivih izvora energije dobiva se 18% ukupne svjetske energije (2006.), ali je većina od toga energija dobivena tradicionalnim iskorištavanjem biomase za kuhanje i grijanje - 13 od 18%. Od velikih hidroelektrana dobiva se dodatnih tri posto energije. Prema tome, kad izuzmemo tradicionalne obnovljive izvore energije jednostavno je uračunati da takozvani "novi izvori energije" proizvode samo 2,4% ukupne svjetske energije. 1,3% otpada na instalacije za grijanje vode, 0,8% na proizvodnju električne energije i 0,3% na biogoriva. Taj udio u budućnosti treba znatno povećati jer neobnovljivih izvora energije ima sve manje, a i njihov štetni utjecaj sve je izraženiji u zadnjih nekoliko desetljeća. Sunce isporučuje Zemlji 15 tisuća puta više energije nego što čovječanstvo u sadašnjoj fazi uspijeva potrošiti. Iz toga se vidi da se obnovljivi izvori mogu i moraju početi bolje iskorištavati i da ne trebamo brinuti za energiju nakon fosilnih goriva. Razvoj obnovljivih izvora energije (osobito od vjetra, vode, sunca i biomase) važan je zbog nekoliko razloga:

- Obnovljivi izvori energije imaju vrlo važnu ulogu u smanjenju emisije ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) u atmosferu. Smanjenje emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu je politika Europske unije, pa se može očekivati da će i Hrvatska morati prihvatiti tu politiku.
- Povećanje udjela obnovljivih izvora energije povećava energetske održivosti sustava. Također pomaže u poboljšavanju sigurnosti dostave energije tako da smanjuje ovisnost o uvozu energetske sirovine i električne energije.
- Očekuje se da će obnovljivi izvori energije postati ekonomski konkurentni konvencionalnim izvorima energije u srednjem do dugom razdoblju.

Vozilo koje se pogoni obnovljivim izvorima je ono vozilo koje radi na sve izvore energije osim onih "tradicionalnih" naftnih goriva (benzin ili dizel) i odnosi se na bilo koju tehnologiju napajanja motora koja ne uključuje samo naftu (naprimjer: električnog automobila, hibridnih električnih vozila, solarni pogon, zračni pogon, biomase).

Zbog kombinacije faktora, kao što su briga za okoliš, visoke cijene nafte i sve manjih rezervi nafte, razvoj čistih alternativnih goriva i naprednih elektroenergetskih sustava za vozila postaje sve veći prioritet za mnoge vlade i proizvođače vozila diljem svijeta.

#### **4.1. UČINKOVITOST ELEKTRIČNIH MOTORA**

Motori s unutarnjim izgaranjem su relativno neučinkoviti u pretvaranju energije goriva za pogon jer se većina energije troši u obliku topline. S druge strane, elektromotori su učinkovitiji u pretvorbi pohranjene energije u energiju potrebnu za vožnju. Vozila na električnu energiju ne troše energiju dok miruju, a dio od energije izgubljene prilikom kočenja se ponovno koristi kroz regenerativno kočenje, koje koristi do jedne petine energije normalno izgubljene tijekom kočenja. Obično konvencionalni benzinski motori učinkovito koriste samo 15% energetskog sadržaja goriva za kretanje vozila ili za napajanje dodatne opreme. Dizel motorima može se dosegnuti učinkovitost od 20%, dok je učinkovitost vozila na električni pogon oko 80% [7] [8].

#### **4.2. PRIMJERI ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA**

##### **a) RIMAC CONCEPT ONE**

Rimac Automobili je hrvatski proizvođač automobila koji razvija i proizvodi električne automobile, pogonske i akumulatorske sustave visokih performansi, sa sjedištem u Svetoj Nedelji, u Hrvatskoj. Prvi model Rimac Automobila, Concept One, poznat je kao najbrži električni automobil na svijetu.

Concept One je električni automobil dizajniran i proizveden s jedinstvenim prijenosnim motorom koji je podijeljen na četiri podsustava. Svaki sustav se sastoji od zasebnog električnog pogona s nezavisnim pretvaračem, motorom i mjenjačem za svaki kotač automobila. Zahvaljujući 1088 KS, koje razvija baterijski sustav s 8450 ćelija, Concept One s pogonom na sva četiri kotača do 100 km/h dolazi za 2,6 sekunde, dok je maksimalna brzina 354 km/h. S druge strane, Concept One nije samo sirova snaga, već postoje različiti modevi rada – comfort, control, track i drift. Motori su pogonjeni 90 kWh litij-nikal-mangan kobalt oksidom (LiNiMnCoO<sub>2</sub>) dajući automobilu raspon od 500 km po naboju. Tijelo automobila izrađeno je od karbonskih vlakana. Unutrašnjost ima prilagođene radove od kože i ručno izrađene dijelove upravljačke ploče. Od listopada 2014. proizvedeno je i prodano osam automobila što je bila cjelokupna proizvodnja [16].



Slika 4. Rimac Concept One električno vozilo  
Izvor: [http://www.rimac-automobili.com/en/supercars/concept\\_one/](http://www.rimac-automobili.com/en/supercars/concept_one/)

Rimac je sudjelovao na Pikes Peak utrci u lipnju 2015. godine s visoko prilagođenom verzijom od 1,500 KS pod nazivom E-RunnerConcept\_One. Vozilo je zauzelo ukupno drugo mjesto.

#### **b) DOK-ING Loox**

DOK-ING je privatna hrvatska tvrtka osnovana krajem 1991. godine za proizvodnju robotskih bespilotnih terenskih vozila (UGV-a) za uklanjanje neeksplozivnih ubojnih sredstava, gašenja požara i kopanje podzemnih rudnika.

Dok-IngLoox koji je ranije poznat kao DOK-ING XD, je mali hrvatski električni gradski konceptni automobil s tri sjedala, stvoren od strane DOK-ING . Ime XD došlo je od čudno oblikovanih stražnjih svjetala ("X" oblika) i početno slovo "D" imena tvrtke. Loox može putovati preko 250 km s jednim punjenjem s litijevim željeznim fosfatnim akumulatorima. Vozilo ima mali koeficijent otpora od samo 0,35. Ostale značajke uključuju zračne jastuke od 360 stupnjeva , integrirani sigurnosni sustav za električnu stabilnost, ABS kočnice i servo upravljač. Loox može ići od 0-100 km u 4.2 sekundi. Jedini ne-hrvatski dio baterija od 32 kWh koja može trajati 200-250 kilometara s vremenom punjenja od tri do osam sati. Prvi prototip završen je početkom 2010. godine [23].



Slika 5. DOK-ING Loox (XD)

Izvor: <http://www.dok-ing.hr/products/automotive/loox>

### c) SMART FOR TWO ELECTRIC DRIVE

Tvrtka Avantcar zalaže se i potiče na društveno odgovorno poslovanje i održivi razvoj na dugi rok koristeći obnovljive izvore energije, a u sklopu svoje flote, između ostalih konvencionalnih vozila, posebno mjesto zauzimaju električna vozila.

Smart for twoelectricdrive, prvo je električno vozilo u Dubrovniku koje se pojavilo u 2015. godini. Novi model opremljen je elektromagnetskim motorom snage 55 kW, prvim proizvodom tvrtke EM-motive, utemeljene zajedno s Boschom, koji osigurava agilnost i živost te okretni moment od 130 njutnmetara. Litij-ionska baterija kapaciteta 17,6 kWh osigurava doseg od 145 kilometara, a kada je potpuno prazna, punjenje na kućnu utičnicu traje najviše sedam sati. Automobil je moguće opcijски opremiti funkcijom brzog punjenja, pri čemu punjač od 22 kW omogućuje punjenje potpuno prazne baterije za manje od sata. S električnim motorom od 55 kW smart fortwoelectricdrive od 0 do 60 km/h ubrzava za 4,8 sekundi, od 0 do 100 km/h stiže za samo 11,5 sekundi. Maksimalna brzina mu je 125 km/h [14].



Slika 6. Smart For Two Electric Drive električno vozilo tvrtke Avantcar

Izvor: <http://dubrovackidnevnik.rtl.hr/vijesti/zupanija/prvo-elektricno-vozilo-u-dubrovniku>

#### d) CHEVROLET VOLT

Chevrolet Volt je najprodavanije plug-in hibridno električno vozilo proizvedeno od strane General Motors u SAD-u sa više od 100.000 prodanih jedinica u 2016. godini.

Volt djeluje kao da ima čisti električni akumulator sve dok kapacitet baterije ne padne na unaprijed određeni prag od pune napunjenosti. Odatle, njegov motor s unutrašnjim sagorijevanjem dopušta generator električne energije kako bi proširio raspon vozila po potrebi. Kada motor radi, može se povremeno mehanički povezati (spojkom) s planetarnim zupčanicima, a time i izlaznim osovina pogona, kako bi se poboljšala energetska učinkovitost. Voltovo regenerativno kočenje također doprinosi ugradnji električne energije. Najveća brzina je 130 km/h do 160 km/h [24].



Slika 7. Chevrolet Volt plug-in hibridno-električno vozilo

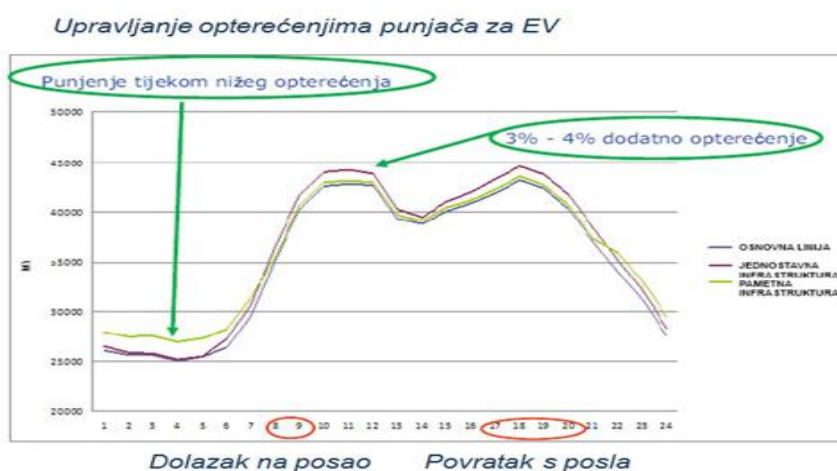
Izvor: <http://www.chevrolet.com/electric/volt-plug-in-hybrid>

## 5. URBANA INFRASTRUKTURA ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA

Za razliku od automobila s motorima s unutarnjim izgaranjem koje se na svakoj benzinskoj postaji može napuniti za minutu-dvije, proces punjenja električnih vozila traje duže, no prednost električnog vozila je što se mogu puniti i na kućnoj utičnici (koja je najčešće smještena u garaži) s odgovarajućim kabelom standardiziranog priključka. Tako se baterija automobila može puniti npr. tijekom noći (kada je cijena električne energije najjeftinija) pa vlasnici ovakvih automobila često niti neće imati potrebu za stajanjem na punionici.

Infrastruktura za električna vozila zahtijeva znatno manja ulaganja i napore. Naime, električna energija je dostupna, osim u kućanstvu, i na radnom mjestu, trgovačkom centru ili u centru grada. U odnosu na postojeći raspored i zastupljenost stanica za konvencionalna vozila, zastupljenost punionica za električna vozila u urbanim područjima bit će znatno veća. Proračuni pokazuju da optimalan broj iznosi četiri vozila po punionici. Razlog tome je karakterističan proces punjenja električnih vozila, koji je znatno duži te može trajati do tri sata na punionicama koje se postavljaju na urbanim površinama poput javnih parkirališta, garaža, trgovačkih centara i drugdje. Kako bi se zadovoljile potrebe vozila za električnom energijom, u budućnosti će trebati osigurati znatno veći broj punionica.

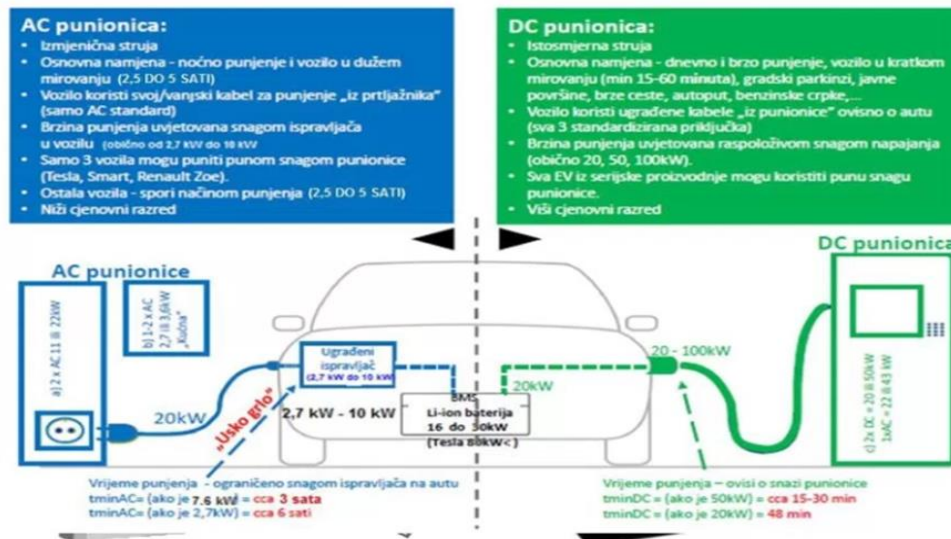
Javnim punionicama mogu se koristiti sva vozila koja imaju mogućnost identifikacije na tu punionicu (putem kartica, smartphona, RFID kartica i slično), bez obzira tko je opskrbljivač električne energije, a postoje i privatne punionice koje mogu imati npr. hoteli, ali njihovo korištenje dopušteno je samo gostima hotela.



Grafikon 2. Prikaz punjenja u vršnim satima

Izvor: [http://elen.hep.hr/Punjenje-punjenje.aspx\\_vozilo/](http://elen.hep.hr/Punjenje-punjenje.aspx_vozilo/)

Punionice se razlikuju po snazi i brzini punjenja. Brzina punjenja može biti spora (preko utičnice od 8 do 15 sati punjenja), brza (punionicama izmjeničnom strujom i to od 2,5 sati do 5 sati punjenja) i super brza (punionicama istosmjernom strujom gdje se baterija električnog vozila napuni 30-80% unutar 30 minuta).



Slika 8. Razlika između punionica istosmjernom i izmjeničnom strujom

Izvor: [http://elen.hep.hr/Punjenje-punjenje.aspx\\_vozilo/](http://elen.hep.hr/Punjenje-punjenje.aspx_vozilo/)

Svako električno vozilo radi na istosmjernoj struji. Razlika između istosmjernih i izmjeničnih punionica strujom je u tome što punionica izmjeničnom strujom ne može puniti električno vozilo punom snagom kao što to može punionica istosmjernom strujom. Da bi se električno vozilo punionicom izmjeničnom strujom moglo napuniti potrebno je izmjeničnu struju ispraviti u istosmjernu preko ispravljača. Takav ispravljač se nalazi u automobilu na samome ulazu od glavne utičnice. Samim time što dolazi do ispravljanja struje dolazi i do smanjenja snage koju ispravljač propušta (u ovom slučaju punionica izmjeničnom strujom na jednom izlazu ima 22 kW, a kroz ispravljač u većini automobila na tržištu može najviše ispraviti od 2,7 kW do 10 kW). Tako se dolazi i do potrebnog vremena za punjenje gdje se uzima u obzir standardna veličina Li-ion baterije od 24 kWh i podijeli se sa 7,6 kW nakon ispravljanja pa se dolazi do otprilike 3 sata punjenja u najboljem slučaju [18][20].

CHAdEMO (Charge de move) priključak jedan je od najpoznatijih vanjskih punjača koji vrši brzo punjenje električnih vozila. Uz prijenos snage, priključak također uspostavlja podatkovnu vezu te na taj način obavlja funkcije poput sigurnosnog prekidača kako bi se izbjeglo napajanje konektora prije nego što je potrebno, prenoseći parametre akumulatora na stanicu za punjenje kao što su prestanak punjenja, kapacitet baterije i tako dalje [25].



Slika 9. CHAdeMO priključak za brzo punjenje električnog vozila  
Izvor: <http://www.voltrek.com/standards/>

## 5.1. BATERIJA ELEKTRIČNOG VOZILA

Baterije, odnosno skladištenje energije predstavlja glavni razlog sporog razvoja električnih automobila. Začetkom razvoja električnih automobila koristile su se olovne baterije ali su se zbog relativno loših karakteristika takvih baterija, na tržištu pojavile nove baterije zasnovane na litiju. To su zapravo litij-ionske baterije o čijem kapacitetu ovisi autonomnost kretanja električnog automobila. Litijske baterije su u pravilu tri puta lakše i manje od olovnih baterija za isti kapacitet. Neki tipovi ovakvih baterija podnose brza punjenja i uz uporabu dovoljno snažnog punjača mogu se napuniti i za dvadeset minuta. Trajnost i karakteristike baterije ovise o vrsti litijske tehnologije, primjerice LiFePO<sub>4</sub> baterije mogu podnijeti do tri tisuće ciklusa punjenja, sukladno garanciji proizvođača. Neki tipovi baterija podnose ultra brza punjenja te se mogu napuniti za 15 do 30 minuta. U današnje vrijeme kapaciteti baterija dovoljni su da mogu pokriti prosječne dnevne potrebe korištenja osobnog vozila. Ako se govori o olovnim baterijama, u pravilu za skladištenje jednog kWh električne energije potrebno je oko 60 kg baterija. Ako se to prevede u domet za neki prosječni gradski auto, potrebno je oko 7 kg baterija za jedan prijeđeni kilometar, dakle za 100 kilometara dometa trebalo bi oko 700 kg baterija, što bi zauzimalo 300 litara prostora. Olovne baterije ne podnose brza punjenja (manje od dva sata). Vijek trajanja akumulatorskih baterija izražava se u broju ciklusa (punjenje-pražnjenje). Olovne baterije namijenjene za pogon električnih vozila u pravilu izdrže 500-1000 ciklusa odnosno pet kalendarskih godina.

Tesla Motors je oslobodio model S sa kapacitetom akumulatora od 40 kWh, 60 kWh i 85 kWh, s tim da model S od 60 kWh ima procijenjeni raspon od približno 480 km. Od svibnja



2017. imaju tri modela, 70 kWh, 90 kWh i 100 kWh. Priključak hibridnih vozila ima kapacitet od oko 3 do 5 kWh, za električnu autonomiju od 20 do 40 kilometara, ali benzinski motor osigurava punu autonomiju konvencionalnog vozila.

U malim jeftinijim elektromobilima može se naći i olovni gel akumulator kao pogonska baterija, ali životni vijek mu je maksimalno 2-3 godine. Izuzetno je težak i zauzima puno mjesta a kapacitet kao i domet se već nakon 1 godine može smanjiti i do 30-40%.

Svjetski proizvođači električnih baterija sve više ulažu u razvoj novih tehnologija te najavljuju intenzivno povećanje kapaciteta baterija što će dovesti do povećanja dometa vozila u skoroj budućnosti te se očekuje autonomnost kretanja do 350 km s jednim punjenjem baterija. Također se očekuje povećanje životnog vijeka baterija sa sadašnjih 4 i 7 na 10 godina ovisno o vrsti baterije. Nakon toga potrebna je zamjena, što može rezultirati odbačenim baterijama u prirodi. Iako postoje zakoni o odlaganju baterija, za taj problem rješenje su našli sami proizvođači vozila, ponudivši kupcima mogućnost iznajmljivanja baterija, što znači da kupac nije odgovoran za recikliranje baterija, već proizvođač. Studije su pokazale da baterija nije takav problem za okoliš koliko gorivo, u ovom slučaju struja, odnosno izvor nastanka struje.

Kada je riječ o baterijama zasnovanim na litiju proizvođači baterija postavljaju tehnološki limit i nema puno mjesta za njihov razvoj. Ali može se i očekivati kvantni skok u razvojnom procesu baterija za električna vozila. Tome pridonosi sve veće zanimanje za razvojem baterija za električna vozila pa ih danas nalazimo u različitim oblicima sa još većim kapacitetima, sa još većom sigurnošću i brzinom punjenja baterija, a tu su i noviji materijali i tehnike izrade akumulatorskih baterija za električna vozila [20].

## **5.2. PUNIONICE U HRVATSKOJ**

U Hrvatskoj najviše postavljenih javnih punionica (46) ima HEP te je većinom riječ o AC punionicama maksimalne snage 22 kW s priključkom CCS Mode 3 Type 2. Stanica za punjenje električnih vozila otvorena je i ispred Gradskog poglavarstva Grada Zagreba na Trgu Stjepana Radića te je riječ o prototipu najsuvremenije stanice za punjenje električnih vozila u Hrvatskoj, ujedno i prvoj punionici koja za napajanje koristi solarnu energiju. Stanica se sastoji se od dvije nadstrešnice sa solarnim panelima i super brzom punionicom za punjenje električnih vozila snage 50 kW DC i 43 kW AC, uz mogućnost istovremenog punjenja dvaju vozila.



Slika 10. Javna punionica za električna vozila na trgu Stjepana Radića

Izvor: <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle>

HEP planira graditi punionice sukladno Strategiji 2020, kojom su utvrđene 345 punionice kojima bi trebali biti pokriveni autoceste, gradovi i naselja na svim državnim i županijskim cestama. Plan je da se brze DC punionice, koje napune bateriju za 15 do 30 minuta, postave na autoceste, čime bi se osigurala potrebnu vezu između većih hrvatskih gradova, naročito između Zagreba i Splita, a cilj je i postaviti punionice za električna vozila na benzinskim crpkama na autocesti.

Stanice za punjenje električnih vozila, koje HEP grupa razvija pod robnom markom ELEN, dio su razvojnog projekta eMobilnost, usklađenog s energetsom strategijom Europske unije. Vlasnicima električnih vozila se nudi punjenje električnih vozila energijom proizvedenom isključivo iz obnovljivih izvora energije. Javnoj punionici može pristupiti vlasnik svakog električnog ili hibrid vozila koji se identificira preko smartphone aplikacije, RFID kartice ili kreditne kartice [10].

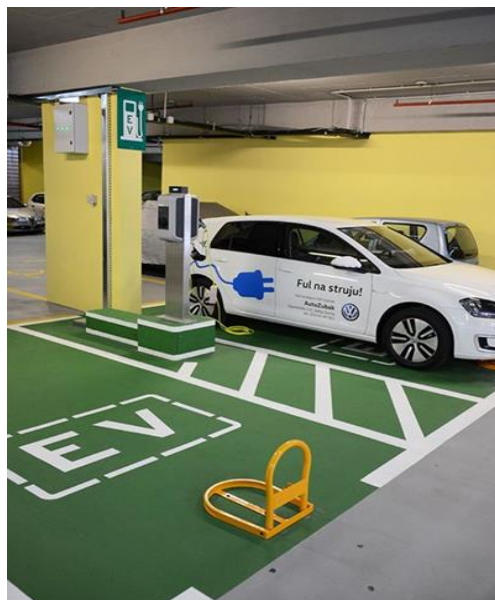
Hrvatski Telekom drži oko 50 posto tržišta punionica električnih automobila u Hrvatskoj u svom sustavu za upravljanje mrežom punionica. Tijekom 2015. i 2016. godine u 50-ak e-punionica u Hrvatskoj, koje su u portfelju HT-a, ukupna količina isporučene električne energije omogućila je preko 250.000 kilometara 'zelenog' dometa. Smanjena je potrošnja naftnih derivata za više od 25.000 litara, a opterećenje na okoliš manje je za čak osam tona emisija CO<sub>2</sub>.

Pokrivenost javno dostupnim punionicama Republike Hrvatske trenutno prati dinamiku porasta broja električnih vozila te je u skladu s prosjekom zemalja zapada i sjevera EU-a, u kojima su električna vozila značajnije zastupljena. Ono što nedostaje jest ukupno povezana mreža punionica, koja će korisnicima električnih vozila omogućiti jednostavan i pouzdan pristup. U tom pogledu HT je napravio vodeći iskorak, povezavši 50 posto svih javno dostupnih punionica preko platforme SMS i Smart APP.

### 5.3. PRIMJER INFRASTRUKTURE ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA U ZAGREBPARKINGU

U Gradu Zagrebu, Podružnica Zagrebparking pravni je sljedbenik tvrtke „Centar“ koja se pružanjem usluga parkiranja bavila od svog osnivanja 1965. do 1993. godine, kada je preimenovana u Zagrebparking. Od 2. siječnja 2007. godine Zagrebparking posluje kao jedna od podružnica u sklopu tvrtke “ZAGREBAČKI HOLDING”.

Zagrebparking je u svojim pet garaža (Tuškanac, Langić, Petrinjska, Kvatrić i Svetice) sufinanciranjem iz Europskih fondova postavio 10 punionica električnih vozila. Svaki vlasnik električnog vozila dobiva posebnu tarifu za tjednu, mjesečnu i godišnju kartu u pola cijene, zajamčeno mu je slobodno parkirno mjesto a isto tako dobiva i pravo potpuno besplatnog punjenja svog vozila. Cilj navedene akcije bio je ići u korak s normama EU koje govore o tome kako se u RH s trenutnih 14,6 % korištenja obnovljivih izvora energije do 2020. Godine treba popeti na 20 % energenata iz obnovljivih izvora. Povlaštena tarifa u pola cijene od redovne također se odnosi i na vlasnike hibridnih vozila, bez mogućnosti besplatnog punjenja vozila. Uvođenjem posebnih beneficija za vlasnike hibridnih i električnih vozila Zagrebparking indirektno potiče na kupnju istih.



Slika 11. Punionica za električna vozila u javnoj garaži Tuškanac

Izvor: <http://www.zgh.hr/aktualnosti-10/novosti-170/otvorena-punionica-za-elektricna-vozila-u-garazi-tuskanac/2114>

Do sada su parkirna mjesta i punionice bile instalirane samo u garažama, no u korak s vremenom tvrtka Zagrebparking kojoj su inovacije jedan od prioriteta u poslovanju, počinje instalacije punionica i na vanjskom parkingu. Do sada je na vanjskim parkiralištima izgrađeno 3 punionice na kojima vlasnici električnih vozila mogu trenutno besplatno napuniti svoje automobile [26].

## 6. PRIMJENA ELEKTRIČNIH VOZILA U GRADSKOM PROMETU

Zbog ograničene autonomnosti uzrokovane tehničkim poteškoćama vezanim uz dobavu električne energije, električna su vozila široku primjenu zasad našla u javnom prometu (željeznica, tramvaj i trolejbus) te za sporedne slučajeve autonomnoga teretnoga i osobnoga prijevoza (za prijevoz manjih tereta unutar tvorničkih pogona, skladišta i sl.)

Električna vozila su gotovo bešumna, što je danas u doba velikog zagađenja bukom, jako važno. Nema emisija štetnih stakleničkih plinova iz električnih vozila što znači manje smoga i bolja briga za okoliš.

Električna vozila su mnogo lakša za popravak i sastavljanje, naime imaju mnogo manje pokretnih dijelova pa to zahtjeva manje vremena za održavanje i manja je mogućnost mehaničkog kvara. Ukupno gledano, električna vozila zahtijevaju manje održavanja, što na kraju znači uštedu. Iako elektrane koje proizvode struju koju će koristiti takva vozila i dalje zagađuju, takvo zagađenje je mnogo lakše kontrolirati nego ono koje nastaje zbog plinova iz automobila na unutarnje izgaranje.

Unatoč potencijalnim prednostima, široko prihvaćanje električnih vozila suočava se s nekoliko prepreka i ograničenja. Električna vozila su znatno skuplja od konvencionalnih vozila s unutarnjim izgaranjem i hibridnih električnih vozila zbog dodatnog troška njihovih litij-ionskih akumulatora. Međutim, cijena akumulatora pada s masovnom proizvodnjom i očekuje se da će nastaviti padati. Druge prepreke za opće korištenje električnih vozila su nedostatak javne i privatne infrastrukture za punjenje i strah vozača od nestanka energije prije dostizanja svog odredišta zbog ograničenog doseg postojjećih električnih vozila. Nekoliko vlada je ponudilo političke i gospodarske poticaje za prevladavanje postojjećih zapreka, promoviranje prodaje električnih automobila i za financiranje daljnjeg razvoja električnih vozila, isplativijih izvedbi akumulatora i njihovih komponenti. SAD je obećala 2,4 milijarde USD poticaja za razvoj električnih automobila i njihovih akumulatora. Kina je objavila da će osigurati 15 milijardi USD za pokretanje industrije električnih automobila unutar svojih granica. Nekoliko nacionalnih i lokalnih vlasti su uspostavile porezne olakšice, subvencije i druge poticaje kako bi se smanjila neto nabavna cijena električnih automobila i drugih dodataka.

Sadašnja tehnologija razvoja baterija nema dovoljno jake baterije za duže autonomno putovanje (bez ponovnog punjenja baterija). Zbog toga je kod trolejbusa nužno koristiti napojne električne vodove, koji se generalno smatraju narušavanjem prirodnog okoliša.

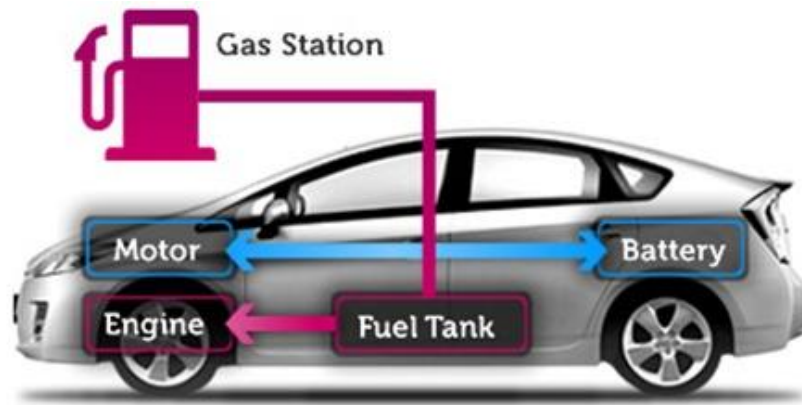
## **6.1. VRSTE ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA**

Postoje četiri glavne vrste električnih vozila:

- Hibridna električna vozila
- Plug-in hibridna električna vozila
- Električna vozila s produljenim dometom
- Električna vozila s baterijom

### **6.1.1. HIBRIDNA ELEKTRIČNA VOZILA**

Hibridna vozila su ona koja za pokretanje koriste dva ili više izvora energije, umjesto jednog kao kod tradicionalnih automobila. Najčešća je kombinacija benzinskog ili dizelskog motora s elektromotorom. Hibridni automobili su odnedavno postali vrlo popularni jer imaju znatno manju emisiju štetnih plinova koji onečišćuju zrak i uzrokuju kisele kiše (ugljičkov dioksid i drugi). S obzirom na autonomnost električnoga pogona, hibridi se dijele na djelomične i potpune hibride. Potpuni hibrid je po definiciji onaj kojem je omogućena vožnja vozilom pogonjenog samo elektromotorom. U tom slučaju elektromotor ima u pravilu barem jednu trećinu snage motora s unutarnjim izgaranjem. Kod djelomičnog hibrida elektromotor služi samo kao pomoć motoru s unutarnjim izgaranjem. Stoga je djelomični hibrid i znatno jeftiniji, ali kako je dodatna snaga koju on razvija manja, i ušteda goriva je manja. Hibridna električna vozila koriste malu električnu bateriju kako bi nadomjestiti klasičan motor sa unutarnjim sagorijevanjem i kako bi poboljšali učinkovitost goriva za otprilike 25 posto u odnosu na klasična vozila. Elektromotor minimizira prazan hod i pojačava sposobnost vozila da krene i ubrza, što je iznimno važno u gradskoj vožnji. Hibridna vozila kombiniraju i elektromotor i motor sa unutarnjim sagorijevanjem za vožnje. Elektromotor ubrzava vozilo na otprilike 40 km/h, a zatim motor sa unutarnjim sagorijevanjem preuzima. Baterija se puni preko benzinskog motora i regenerativnog kočenja. Regenerativnim kočenjem se kinetička energija koja bi inače bila izgubljena kao toplina, pretvara u električnu energiju koja potom puni bateriju.



Slika 12. Princip rada hibridnog vozila

Izvor: <http://www.mechanicalengineeringblog.com/tag/hybrid-cars/>

S obzirom na vezu mehaničkog i električnog dijela hibridni pogonski sustavi se mogu podijeliti u tri skupine: serijski, paralelni i serijsko-paralelni hibridi.

Kod serijskog hibrida pogonske kotača 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 baterije. Na taj način motoru s unutarnjim izgaranjem je omogućen rad u optimalnom radnom području s najmanjom potrošnjom goriva. Poboljšanje energetske učinkovitosti postiže se i time što se iskorištava energija kočenja, tako što elektromotor postaje generatorom kojega tjeraju kotači. Učinkovitost takvog pogona je ipak dijelom smanjena zbog gubitaka u pretvaranju mehaničke energije u električnu, te naknadnog pretvaranja električne energije iz baterija ponovno u mehaničku.

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 su kod takvih hibrida motori i mjenjač brzina povezani automatskim spojka. Treba ipak imati na umu da su vozne mogućnosti vrlo ograničene kapacitetom baterije.

Kod serijsko-paralelnih hibrida raspodjela snage na pogonske kotača 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 baterija. Na

otvorenoj cesti primarni motor je motor s unutarnjim izgaranjem, dok elektromotor služi kao dodatna snaga [22].

### 6.1.2. PLUG-IN HIBRIDNA ELEKTRIČNA VOZILA

Plug-In hibridno vozilo (PHV) je potpuno hibridno vozilo opremljeno baterijom koja se može ponovno puniti spajanjem utičnice u izvor električne energije. PHV radi na principu električnog vozila bez emisije štetnih plinova na kraće udaljenosti, te kao klasično hibridno vozilo na duže udaljenosti. Njegova je prednost ta što kada se baterija isprazni ne morate se brinuti o traženju utičnice za ponovno punjenje već će se vozilo automatski prebaciti u hibridni način rada, baš poput klasičnog hibridnog vozila.

Plug-in hibridno vozilo može biti izvedeno sa serijskim i sa paralelnim pogonskim sustavom. Sadrži baterije povećanog kapaciteta (od običnih hibrida) kako bi vozilu bilo omogućen veći domet vožnje samo na električnu energiju. Koncept plug-in hibrida zanimljiv je onima koji svakodnevno putuju manjim udaljenostima te na taj način mogu potpuno ili djelomično izbjeći korištenje motora s unutarnjim izgaranjem. Na taj se način također smanjuje emisija štetnih plinova ako električna energija kojom se vozilo puni dolazi iz čistih izvora energije [22].



Slika 13. Toyota Prius Plug-in Hybrid

Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota\\_Prius\\_Plug-in\\_Hybrid](https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius_Plug-in_Hybrid)



### 6.1.3. ELEKTRIČNA VOZILA S PRODULJENIM DOMETOM

Za razliku od hibridnih i plug-in hibridnih automobila, ovaj tip automobila se pokreće isključivo elektromotorom. U ovom slučaju motor s unutarnjim izgaranjem samo puni baterije. Zavisno o vremenskim prilikama, uključenim električnim uređajima te načinom na koji se vozi, može se preći čak i 65 kilometara na struju pohranjenu u bateriji vozila, bez korištenja benzina i bez emisije štetnih plinova. Nakon toga, vozilo se automatski prebacuje na benzinski generator koji nastavlja proizvoditi struju i produžuje domet. Tako vozilo može prijeći nekoliko stotina kilometara dok se ponovno ne uključi u struju ili napuni gorivom. Naprimjer Chevrolet Volt električno vozilo ima električni motor 111kW/150KS okretnog momenta 370Nm, maksimalne brzine 160 km/h; te sa punim spremnikom goriva može doseći i do 482 km. Električna vozila s produljenim dometom su većinom kombinirana sa manjim benzinskim generatorima koji omogućuju punjenje baterije [22][24].



Slika 14. Chevrolet Volt, električno vozilo sa produljenim dometom

Izvor: <http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=129159569>

### 6.1.4. ELEKTRIČNA VOZILA S BATERIJOM

U ovaj tip vozila spadaju sva vozila koja su u potpunosti električna. Nemaju motora sa unutarnjim izgaranjem, te da bi se napunila moraju biti priključena na elektroenergetsku mrežu. Za prelazak oko 100 km s jednim punjenjem potrebne su baterije sa znatno većim kapacitetom od ostalih vrsta električnih automobila, od 18 pa čak do 35 kw-sati. Električni automobili su znatno skuplji od konvencionalnih vozila s unutarnjim izgaranjem i hibridnih električnih vozila

zbog dodatnog troška njihovih litij-ionskih akumulatora, međutim zbog masovne proizvodnje akumulatorskih baterija pada i cijena akumulatora.

Druge prepreke za opće korištenje električnih automobila su nedostatak javne i privatne infrastrukture za punjenje i strah vozača od nestanka energije prije dostizanja svog odredišta zbog ograničenog doseg postojjećih električnih automobila i njihovih akumulatorskih baterija. Nekoliko vlada je ponudilo političke i gospodarske poticaje za prevladavanje postojjećih zapreka, promoviranje prodaje električnih automobila i za financiranje daljnjeg razvoja električnih vozila, isplativijih izvedbi akumulatora i njihovih komponenti [20][22] .

Nekoliko nacionalnih i lokalnih vlasti su uspostavile porezne olakšice, subvencije i druge poticaje kako bi se smanjila neto nabavna cijena električnih automobila i drugih dodataka. Poticanjem odnosno sufinanciranjem nabave električnih vozila u Hrvatskoj, planirano je postupno ali direktno utjecanje na smanjenje emisija štetnih plinova u prometu. S obzirom da su emisije iz prometa najznačajniji izvori onečišćenja zraka i emisija stakleničkih plinova, postizanjem ovih ciljeva utjecat će se na povećanje kvalitete zraka te smanjenje ukupne emisije stakleničkih plinova na razini države.

## **6.2. VRSTE ELEKTRIČNIH AUTOBUSA**

Električni autobus (eng. electric bus) je električno vozilo za prijevoz putnika. Glavni pogon ostvaruje preko elektromotora koji mogu biti istosmjerni serijski ili trofazni asinkroni motori. Ne koristi se motor sa unutarnjim sagorijevanjem, te se time ne zagađuje okoliš izravno iz vozila, niti mirisom, niti zamagljenjem ispušnih plinova.

Prednosti električnih autobusa su raznolike. Iskoristivost mase naspram snage puno je bolja (u slučaju trolejbusa, ili nekog drugog vanjskog izvora snage, tj. struje, koja se oduzima, a proizvedena je izvan vozila). Efikasnost električne energije koja se može iskoristiti iznosi oko 98%, dok se kod čistog unutarnjeg izgaranja može iskoristiti najviše 30%, zbog topline, koja se gubi. Elektromotor dozvoljava duže periode preopterećenja bez značajnijih problema (mala generirana topline u radu). Jedna od najvažnijih prednosti je to što hibridi proizvode manje ispušnih plinova, jer neki koriste regenerativnu energiju. Regenerativna energija je energija, koja se proizvodi kočenjem. Razlog, zašto je to moguće, je taj, jer je elektromotor ujedno i generator, tj. izvor električne energije, ukoliko se koristi na obrnuti način. Električna struja se

može generirati iz izvora, koji ne zagađuju okoliš, tj. obnovljivih izvora energije, tj. hidroelektrana, vjetroelektrana, energije oceanskih valova, termalnih izvora [13].

Postoji više vrsta električnih autobusa a to su:

- Trolejbus
- Hibridni električni autobus
- Gyrobus
- Baterijski pogonjen autobus
- Solarno pogonjen autobus

### **6.2.1. TROLEJBUS**

Trolejbus (eng. trolley-bus) je autobus na električni pogon koji električnu energiju dobiva iz nadzemnoga električnog napojnoga voda. Namijenjen je javnomu prijevozu putnika u gradskom i prigradskom prometu. Konstrukcijski je sličan običnom autobusu, ali umjesto Dieselova motora ima jedan ili više elektromotora, te je opremljen oduzimačem struje koji trolejbusu omogućuje određenu pokretljivost u odnosu na napojni vod. Oduzimač struje sastoji se od para metalnih ili drvenih motki (tzv. trola ili trolej) s užlijebljenim kotačima ili klizačima na vrhu koji dodiruju odgovarajući par zračnih vodova. Kako je put vožnje trolejbusa određen položajem voda, kretanje mu je ipak ograničeno u odnosu na klasične autobuse. Manje onečišćuje okoliš, a pri kočenju obično i proizvodi struju. Napojni vodovi napona su 550 do 800 V i imaju dva vodiča. Danas se na svim kontinentima nalazi u prometu više od 40 000 trolejbusa; samo u Rusiji ih ima oko 16 000, a najslabije su zastupljeni u Africi. Prvi trolejbusi u Hrvatskoj uvedeni su 1951. u Rijeci. Od 1964. u Splitu je prometovao trolejbus između gradske obale i Solina, ali je zbog čestih prekida već 1968. bio ukinut. Godinu dana poslije trolejbus je prestao prometovati i u Rijeci. Tvornica »Rade Končar« 1960-ih proizvodila je trolejbus, koji su osim u Rijeci i Splitu prometovali i u drugim gradovima tadašnje Jugoslavije.

Prema osnovnoj podjeli trolejbusi se dijele na dvoosovinske s jednodijelnom karoserijom i troosovinske zglobne s dvodijelnom karoserijom, a osim njih postoje i trolejbusi na kat te trolejbusi s prikolicom [27].

Prema veličini i broju putničkih mjesta trolejbuse dijelimo na:

1. duljine 8-9 m , neto mase 6-7 tona, sa jednim vučnim motorom, snage 50-60 kw i sa oko 60 putničkih mjesta
2. duljine 9-10 m, mase 7,5-8,5 tona, motorom snage 70-90 kw i sa ukupno 70-80 putničkih mjesta
3. duljine 10-12 m, sa dvije ili tri osovine, mase 9-11 tona, sa jednim vučnim motorom snage 95-120 kw, sa ukupno 85-105 putničkih mjesta
4. duljine 16-21 m, tri ili četiri osovine, dvodijelnom zglobnom karoserijom, mase praznog vozila 16-17,5 tona, sa jednim ili dva vučna motora trajne snage 135-160 kw, za 130-180 putnika.



Slika 15. Trojelbus

Izvor: <http://www.prometna-zona.com/trolejbus/>

## 6.2.2. HIBRIDNI ELEKTRIČNI AUTOBUS

Hibridni električni autobus je autobus koji koristi hibridni električnu tehnologiju za pokretanje, umjesto uobičajenog dizelskog motora. Ovo vozilo kombinira uobičajeni sustav pokretanja sa spremnikom električne energije (punjiva baterija) kako bi se postigla bolja učinkovitost korištenja goriva nego uobičajena vozila. Njegov drugi sustav pogona, dodatno uz električni motor, znači kako nisu potrebni posjeti stanici za punjenje. Ovaj tip autobusa se često koristi kao alternativa autobusu na dizelski pogon [27].



Slika 16. Hibridni autobus „Hino blue ribbon“

Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid\\_electric\\_bus](https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_electric_bus)

### 6.2.3. GYROBUS

Ime dolazi od Grčkog pojma za kotač zamašnjak, gyros. Trenutno nije u uporabi nijedan Gyrobus, ali razvoj u tome smjeru se nastavlja. To je specijalni tip autobusa, koji za skladištenje energije koristi kotač zamašnjak. Na njegovom putu se nalaze stanice za punjenje, koje pokreću kotač zamašnjak, koji zatim skladišti energiju. Za pokretanje se koriste stanice za punjenje, tj. električni napon. U prošlosti je postojalo nekoliko javnih prijevoznika, koji su koristili ovaj tip električnog autobusa.

Prvi je bio razvijen 1940-te u Švicarskoj, koji je koristio autobus sa kotačem zamašnjakom od 3,000 okretaja u minuti. Kad je bio potpuno napunjen, gyrobus je mogao putovati do 6km na ravnom terenu brzinama do 50 , pa i 60 km/h. Punjenje kotača zamašnjaka je trajalo 30 sekundi i 3 minute. U pokušaja smanjivanja toga vremena, napon stanice za punjenje je povećan sa 380 volti na 500 volti. Potpuno popunjen Gyrobus je mogao prijeći 6 kilometara po punjenu, ali se u pravilu svakih 4 km nalazila stanica za punjenje. Trošenje sustava je bilo neminovno, zbog velike potrebe za energijom. Procijenjeno je kako je bilo potrebno 3.4 kWh/km po gyrobusu, što je bilo preskupo, te je 1959 zatvorena linija.

Nedostatak je i težina. Gyrobus za 20 Osoba i predviđen za 20 km treba masu zamašnjaka od 1,5 t, kako bi se spremilo oko 9,15 kWh. Kotač zamašnjak u vrtnji osim toga treba posebne mjere predostrožnosti. Brzina ophoda kotača promjera 1,6 m promjera kod 3000 okretaja u minuti iznosi oko 900 km/h. Kućište kotača zamašnjaka se mora isprazniti, tj. stvoriti vakuum, kako bi se smanjilo trenje zraka koje dovodi do gubitka energije. Sve ove mjere povećavaju težinu oko 3 tone naspram uobičajenih dizelskim vozila [13][27].



Slika 17. Gyrobus G3

Izvor: <https://en.wikipedia.org/wiki/Gyrobus>

### 6.3. PRIMJERI ELEKTRIČNIH AUTOBUSA U GRADOVIMA

#### a) KOPRIVNICA, HRVATSKA

Koprivnički električni autobusi primjer su prvog javnog prijevoza nulte emisije u Republici Hrvatskoj. Grad Koprivnica električne mini autobuse nabavio je u sklopu projekta CivitasDyn@mo, najvećeg je i najzahtjevnijeg projekta u kojemu Grad sudjeluje. Cilj projekta je razvoj održive i energetske efikasne urbane mobilnosti s naglaskom na elektromobilnosti.

Električni mini autobusi nabavljeni su od hrvatske tvrtke DOK-ING. Autobusi mogu prevesti 12 putnika uz autonomiju od 90 do 130 km. Snaga elektromotora je 100 kW, a maksimalna brzina elektronski im je ograničena na 90 km/h [11].



Slika 18. Električni mini busevi marke DOK-ING, Koprivnica

Izvor: <http://koprivnica.hr/novosti/predstavljeni-elektricni-autobusi/>

### **a) BOLECHOWO, POLJSKA**

Solaris Urbino je serija niskopodnih autobusa i autobusnih linija koje proizvodi poljska tvrtka Solaris Bus&Coach u Bolechowo u blizini Poznań u Poljskoj. Solaris Bus &Coach je u Berlinu ove godine, osvojio prestižnu EBUS 2017 nagradu koju, svake godine, dodjeljuje njemačko udruženje javnih prijevoznika. Poljski proizvođač nagrađen je na osnovu dugogodišnjeg doprinosa razvoju javnog prijevoza bez štetnih ispušnih plinova, stalnim akcijama u toj oblasti i velike agilnosti prema prijevoznicima u vidu raznih rješenja za elektropogon.

Solaris Urbino 12 je serija od 12,0 metara niskih podnih autobusa iz serije SolarisUrbino namijenjene javnom prijevozu. Motor je centralno montiran s 4 pola asinkronog motora s maksimalnom snagom snage od 160 kW (1400 Nm). Energija koja se oporavlja tijekom kočenja pohranjena je u litij-ionskim baterijama kapaciteta 210 kWh. Vozilo je također opremljeno priključkom koji omogućuje priključivanje dodatnog vanjskog izvora energije. Svi uređaji u vozilu, koji su obično pogonjeni dizelskim motorom, elektrificirani su [12][13].



Slika 19. Električni mini busevi marke Solaris Urbino

Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solaris\\_Urbino\\_12](https://en.wikipedia.org/wiki/Solaris_Urbino_12)

### **b) PARIZ, FRANCUSKA**

Francuski Alstom, predstavio je u 3. mjesecu 2017. godine svoje prvo električno putničko vozilo, elektrobus Aptis.

Aptis, iako je svojevrsni iskorak u autobusnoj industriji, izgledom podsjeća na tramvaj zbog svoje niskopodnosti te velikih prozora za neograničen pogled. Kao i kod tramvaja,

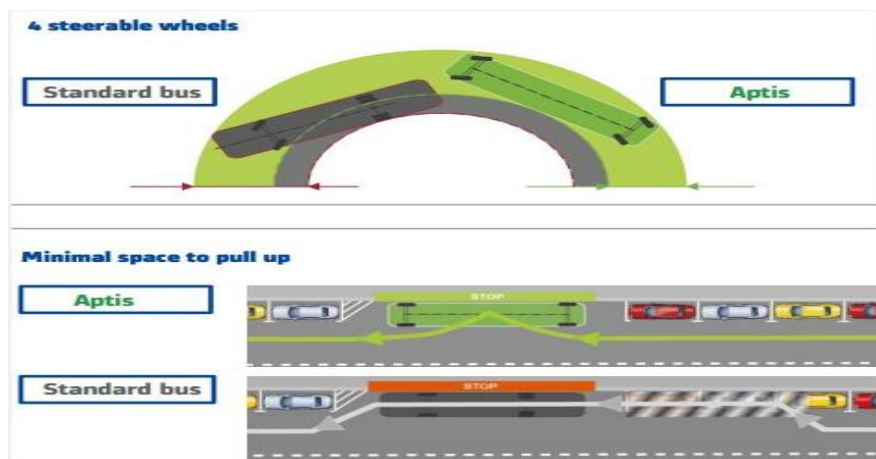
pogonske komponente su smještene na krovu, dok su komponente koje narušavaju niskopodnostpomaknute u prednji odnosno zadnji dio vozila. Autobus prima 95 putnika, a maksimalna snaga elektromotora je 240 konjskih snaga. Aptis se može noću puniti u spremištu i time dobiva 200 kilometara autonomije. Brojku povećava i brzo punjenje na terminusima, gdje se mogu birati dva tipa punjenja: putem pantografa na krovu i induktivno, tako što je autobus parkiran na određenoj ploči.



Slika 20. Električni mini bus marke Aptis

Izvor: <http://www.greencarcongress.com/2017/03/20170313-aptis.html>

Ono što je zanimljivo kod Aptisa je to što nema 6 upravljačkih kotača već 4 od koji se svaki može zakretati tako da je radijus skretanja manji nego kod klasičnog solo autobusa, a uz to autobus lakše ulazi u stanicu, ukoliko je ona zaklonjena parkiranim vozilima [13].



Slika 21. Prikaz radijusa skretanja kod Aptisa

Izvor: <http://www.greencarcongress.com/2017/03/20170313-aptis.html>



### c) GRAZ, AUSTRIJA

U siječnju 2017. godine., u promet su puštena dva električna autobusa u Grazu koja će prometovati na jednoj gradskoj liniji. Graz je osim zglobnih CRRC autobusa nabavio i dva solo elektrobuse od kompanije Chariot Motors.

Zglobni električni autobus ima kondenzatore koji se pune na stanicama za samo trideset sekundi, a u slučaju pražnjenjakondenzatora, autobus je u mogućnosti da se priključiputem pantografa na kontaktnu mrežu. Sastoji se od četvero vrata te 36 sjedećih i 74 stajaćih putničkih mjesta. Autobus u jednom smjeru potroši oko 60% baterije [13].



Slika 22. Električni autobus Chariot Motors

Izvor: <http://www.autobusi.net/tag/elektricni/>

### d) HONG KONG, KINA

BYD je najveći proizvođač punjivih baterija i električnih vozila na svijetu. Njezina glavna djelatnost je projektiranje, razvoj, proizvodnja i distribucija osobnih automobila i autobusa prodanih pod markom BYD. BYD posjeduje ukupno 4 tvornice širom svijeta, a godišnje proizvede više od 7.000 jedinica.

BYD ebus, dizajniran za udobnost vozača i putnika uz nisku razinu buke i nula emisija, prvi je električni autobus s električnom energijom na željeznom fosfatu na svijetu. Postoji više vrsta BYD električnih buseva s različitim karakteristikama kao što je prikazano na slikama 23, 24, 25, 26 i 27 [28].

L x Š x H (mm)	8800 x 2430 x 3220
opseg	200km
Kapacitet putnika	49
Kapacitet baterije	160kWh
Vrijeme punjenja	3h
<a href="#">Uči više</a>	



Slika 23. BYD bus duljine 8 metara

Izvor: <http://bydeurope.com/vehicles/ebus/>

L x Š x H (mm)	10200 x 2550 x 4400
opseg	240km
Kapacitet putnika	81
Kapacitet baterije	340kWh
Vrijeme punjenja	4h
<a href="#">Uči više</a>	



Slika 24. BYD bus duljine 10,20 metara

Izvor: <http://bydeurope.com/vehicles/ebus/>

L x Š x H (mm)	10850 x 2550 x 3300
opseg	260km
Kapacitet putnika	78
Kapacitet baterije	320kWh
Vrijeme punjenja	4h
<a href="#">Uči više</a>	



Slika 25. BYD bus duljine 10,80 metara

Izvor: <http://bydeurope.com/vehicles/ebus/>

L x Š x H (mm)	12000 x 2550 x 3360
opseg	300km
Kapacitet putnika	68
Kapacitet baterije	380kWh
Vrijeme punjenja	6h
<a href="#">Uči više</a>	



Slika 26. BYD bus duljine 12 metara s 3 vrata i 3 baterije

Izvor: <http://bydeurope.com/vehicles/ebus/>



L x Š x H (mm)	18100 x 2550 x 3435
opseg	170km
Kapacitet putnika	150
Kapacitet baterije	270kWh
Vrijeme punjenja	3h

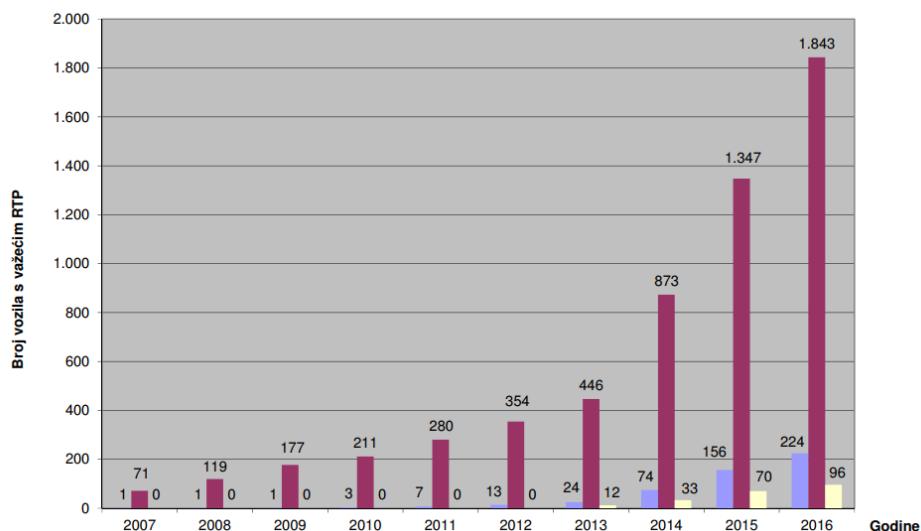
Slika 27. BYD bus duljine 18metara

Izvor: <http://bydeurope.com/vehicles/ebus/>

## 6.4. STATISTIKA PRIMJENE ELEKTRIČNIH VOZILA

Proteklih par godina Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost sufinancirao je javnim pozivom nabavu električnih i hibridnih vozila, čime se znatno doprinjelo statistici.

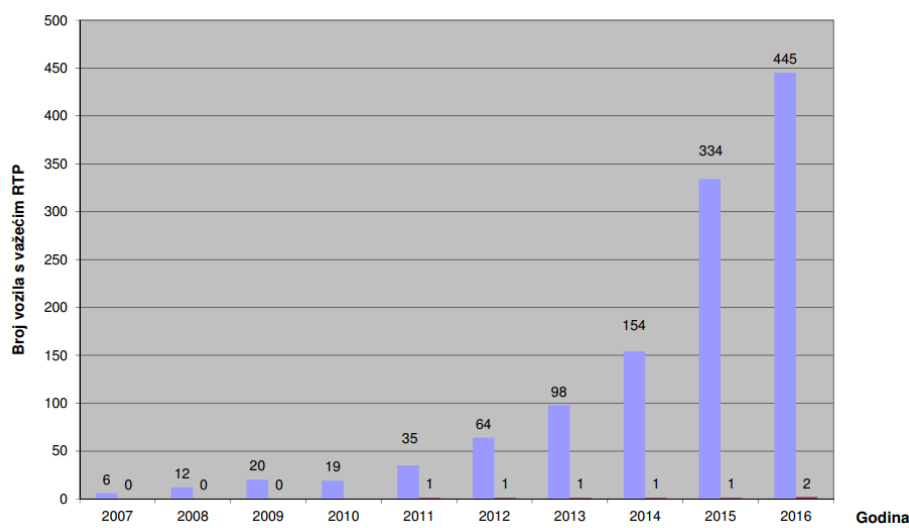
Najveće povećanje u kategoriji M1 (osobni automobil/kombi vozilo) očekivano bilježe vozila sa hibridnim pogonom, točnije 496 vozila više u odnosu na prethodnu godinu. Vozila sa potpuno električnim pogonom po brojnosti čine 1/9 u odnosu na hibridna vozila, sa ukupnim brojem registriranih vozila od 224 komada, time je ostvareno povećanje za +44% u odnosu na prošlu godinu, što znači da je 68 električnih automobila više na našim cestama nego u 2015. godini.



Grafikon 3. Statistika električnih vozila M1 kategorije

Izvor: <https://www.cvh.hr/tehnicki-pregled/statistika/>

Najveći broj električnih vozila svrstava se u kategoriju L (laka vozila; červerocikl, motor, moped), ukupno 445 registriranih vozila , u istoj kategoriji nalaze se i 2 hibridna vozila. Povećanje električnih vozila u L kategoriji u odnosu na prošlu iznosi +33% , tj. 111 vozila više.



Grafikon 4. Statistika električnih vozila kategorije L

Izvor: <https://www.cvh.hr/tehnicki-pregled/statistika/>

## 6.5. PRIMJER IZRAČUNA RADIJUSA KRETANJA ELEKTRIČNOG VOZILA

Ako se pretpostavi električni automobil s 4 olovna akumulatora 100 Ah, istosmjernim motorom 48 V, 1500 W te težina vozila bez vozača od 230 kg; s vozačem 290 kg, postoji niz mogućih promjena uvjeta pri analizi kretanja vozila. Prije svega, treba promotriti parametre sustava automobila kao što su masa, parametri elektromotora (snaga, stupanj korisnog djelovanja, vanjska karakteristika i slično), način upravljanja elektromotora, kapacitet izvora napajanja, aerodinamički koeficijent vozila (definira otpor vozila u struji zraka), otpor u ležajevima. Potom je potrebno razmotriti vanjske utjecajne parametre: trasa ceste (konfiguracija terena) što određuje koeficijent trenja kotača s podlogom, vremenske prilike (vjetar, temperaturu) te način vožnje. Snaga potrebna da vozilo ide određenom brzinom može se procijeniti računajući snagu aerodinamičke sile ( $P_a$ ) koja se suprotstavlja kretanju vozila kroz zrak i snagu sile otpora kotrljanju vozila po cesti ( $P_k$ ).

$$P_a = 0,5 \times \rho \times C_a \times A \times v^3 \quad (1)$$

gdje je:  $\rho$  – gustoća zraka, približno 1,25 kg/m<sup>3</sup>,  $C_a$  - koeficijent aerodinamičkog otpora vozila (u proračunu odabrano 0,4),  $A$  – prednja površina vozila (m<sup>2</sup>),  $v$  – brzina vozila (m/s).

$$P_k = v \times C_k \times m \times g \quad (2)$$

gdje je:  $C_k$  – koeficijent trenja kotrljanja,  $m$  – masa vozila,  $g$  – ubrzanje sile teže (m/s<sup>2</sup>); za brzinu vozila 30 km/h ili 8,33 m/s;  $m = 290$  kg;  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>;  $C_a = 0,4$ ;  $C_k = 0,02$ ;  $A = 1,218$  m<sup>2</sup>, dobivaju se  $P_a$  i  $P_k$ :

$$P_a = 0,5 \times \rho \times C_a \times A \times v^3 = 176,22W \quad (3)$$

$$P_k = v \times C_k \times m \times g = 474,15W \quad (4)$$

$$P_{uk} = P_a + P_k = 176,22 + 474,15 = 650,37W \quad (5)$$

Ovako izračunata snaga se mora povećati za 10-30% radi pokrivanja gubitaka prijenosa, ovdje je odabrano 20%.

$$P_{g,pr} = 130,07 \text{ W} \quad (6)$$

Uz pretpostavljeni stupanj korisnog djelovanja motora od 0,95; dobivaju se gubici u motoru u iznosu:  $P_{g, mot} = 75 \text{ W}$ . Na ovaj se način dobivaju ukupni gubici za danu brzinu (30 km/h):  $P_{g, uk} = 855,44 \text{ W}$ .

Ovdje se pretpostavlja da se vozilo giba konstantnom brzinom, bez zaustavljanja i bez ponovnog pokretanja, po ravnom terenu (suhi asfalt bez brežuljaka). Da bi se fizikalni model u potpunosti primijenio, potrebno je izračunati kinetičku energiju potrebnu da vozilo krene iz mirovanja do konstante brzine i to u ovom slučaju iznosi  $W_{kin} = 10069,44 \text{ J}$ . Teoretska ukupna energija pohranjena u baterijama iznosi:  $E_{bat, t} = 17280 \text{ kJ}$ , ali se ona smanjuje u ovisnosti o stupnju korisnog djelovanja olovnih baterija kod pretvorbe električne energije u kemijsku i kemijske energije u električnu energiju (0,7 – 0,92) na  $E_{bat, min} = 12096 \text{ kJ}$  odnosno  $E_{bat, max} = 15897,6 \text{ kJ}$ . Bitno je napomenuti da se olovne baterije smiju prazniti do 20% kapaciteta kako bi se izbjeglo trajno uništenje i da pražnjenje baterije većim strujama dovodi do smanjenja kapaciteta. Kod proračuna radijusa autonomije vozila, zapravo se računa vrijeme koje baterije mogu napajati motor u danim uvjetima. Najmanje vrijeme koje baterije mogu napajati dobiva se iz:

$$t_{min} = \frac{E_{bat, min} - 0,2E_{bat, t} - E_{kin}}{P_{g, uk}} = 2,8 \text{ h} \quad (7)$$

Najveće vrijeme koje baterije mogu napajati dobiva se iz:

$$t_{max} = \frac{E_{bat, max} - 0,2E_{bat, t} - E_{kin}}{P_{g, uk}} = 4,04 \text{ h} \quad (8)$$

Iz ove dvije vremenske veličine se uz konstantnu brzinu lako izračuna radijus kretanja za brzinu 30 km/h kao:

$$S_{min} = 84,07 \text{ km}, \text{ odnosno } S_{max} = 121,10 \text{ km} \quad (9)$$

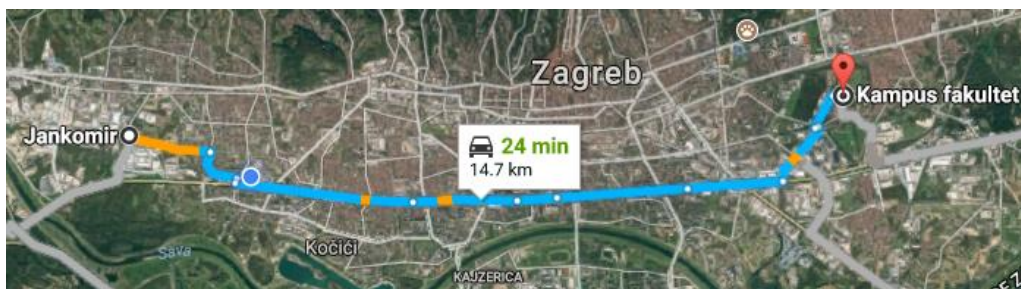
$v$ (km/h)	$s_{min}$ (km)	$s_{max}$ (km)
10	88,06	126,82
15	93,26	134,30
20	92,80	133,65
25	89,28	128,59
30	84,07	121,10
35	78,04	112,44

Tablica 2. Radijus kretanja električnog vozila različitim brzinama

Ograničenje brzine je važno jer se optimalnom brzinom može prijeći veća duljina puta. Utrošak energije značajno ovisi o brzini kretanja. Primjerice, vozilo Tesla Roadster pri brzini do 90 km/h može prijeći 450 km; pri 150 km/h oko 250 km, pri 250 km/h nešto ispod 100 km. To je tako jer snaga potrebna za savladavanje otpora zraka raste s trećom potencijom brzine. Suvremeni električni automobili koriste kočenje za regenerativno punjenje baterija, tako da se ipak nešto povećava autonomija električnog automobila [17].

## 6.6. PRIMJER IZRAČUNA POTROŠNJE GORIVA I UTJECAJA NA OKOLIŠ

Za primjer izračuna potrošnje goriva i utjecaja na okoliš, uzeta je relacija Jankomir - Znanstveno-učilišni kampus Borongaj te put nazad, stoga ukupna duljina odabrane relacije u jednom i u drugom smjeru iznosi 29,4 km.



Slika 28. Prikaz relacije Jankomir - Znanstveno-učilišni kampus Borongaj

Izvor: <http://www.google.hr/maps/>

Ako se pretpostavi da je prosječna potrošnja kod električnog vozila 15 kWh (0,56 kn/kWh), prosječna potrošnja kod dizela 6 L/100km (9,89 kn/kWh) te prosječna potrošnja kod benzina 8 L/100km, tada se dobivaju sljedeći podaci na odabranoj relaciji:

- Potrošnja kod električnog vozila je 2 kn, potrošnja kod dizela je 17 kn, a kod benzina 25 kn
- Emisije ugljičnog dioksida kod korištenja električnog vozila su 1 kg, kod dizela 5 kg te kod benzina 6 kg
- Površina šume potrebna za apsorpciju ugljičnog dioksida kod korištenja električnog vozila je  $0 \text{ m}^2$ , kod korištenja dizela  $1 \text{ m}^2$  te kod korištenja benzina  $2 \text{ m}^2$

Ako se pretpostavi da je prosječna godišnja prijeđena kilometraža vozila 15 000 km te da su prosječne potrošnje kod električnog vozila 15 kWh (0,56 kn/kWh), dizela 6 L/100km (9,89 kn/kWh) i benzina 8 L/100km, tada se dobivaju sljedeći podaci na godišnjoj razini:

- Potrošnja kod električnog vozila je 1 260 kn, potrošnja kod dizela je 8 901 kn, a benzina 12 936 kn
- Emisije ugljičnog dioksida kod korištenja električnog vozila su 707 kg, kod dizela 2 412 kg te kod benzina 2 808 kg
- Površina šume potrebna za apsorpciju ugljičnog dioksida kod korištenja električnog vozila je  $236 \text{ m}^2$ , kod korištenja dizela  $804 \text{ m}^2$  te kod korištenja benzina  $936 \text{ m}^2$  [29]



## 7. ZAKLJUČAK

Rasprave o zaštiti okoliša i rješavanju energetske krize sve su češće, a najveća se pozornost pridodaje električnim automobilima i njihovim benefitima. Ukoliko uspoređujemo električne automobile s automobilima s unutarnjim izgaranjem, uočit ćemo da električni automobili nude veću energetska iskoristivost uz mnogo manju buku te da nema neposredne emisije stakleničkih plinova, ali i da postoji mogućnost napajanja iz postojeće infrastrukture električnom energijom.

Budući da je korištenje alternativnih izvora električne energije sve učestalije i raširenije, električni automobili korak su naprijed u smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima te povećavaju energetska učinkovitost cestovnih vozila.

Također, političko-ekonomska potpora vozila na električni pogon mnogih europskih zemalja jasno pokazuje da razvoj električnih automobila nije samo aktualan trend već potencijalno rješenje za ekološke i energetske izazove čovječanstva koje je na samom pragu ekonomske isplativosti.

Glavni cilj uspostave prometne infrastrukture za alternativna goriva, među kojima je električna energija, je razvoj održivog prometnog sustava pritom uz minimalne negativne učinke na društvo i okoliš. Povećanjem uporabe električne energije postići će se smanjenje ovisnosti o nafti, povećanje kvalitete zraka, smanjenje emisija stakleničkih plinova, smanjenje buke te u konačnici gospodarski razvoj kroz povećanje ekonomskih aktivnosti.

Iz primjera izračuna potrošnje goriva i utjecaja na okoliš vidljiva je minimalna potrošnja električnih vozila te njihov pozitivan utjecaj na okoliš, ali ono što predstavlja prepreku globalnoj prihvaćenosti električnih vozila, a osim kapaciteta baterija i cijene, su socijalno-kulturna konzervativnost iz čijeg razloga društvo treba što više educirati o prednostima uporabe navedene energije.

## LITERATURA

1. ELECTASOL: <http://www.electasol.hr/povijest/index.html> (pristupljeno: kolovoz 2017.)
2. Povijest razvoja i sastavni dijelovi, M. Stojkov, D. Gašparović, D. Pelin, H. Glavaš, K. Hornung, N. Mikulandra [pdf] (pristupljeno: kolovoz 2017.)
3. HRVATSKA ENCIKLOPEDIJA: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=67917/> (pristupljeno: kolovoz 2017.)
4. ELEKTROAUTOR: <http://www.elektroautor.com/hr/geschichte-des-elektroautos> (pristupljeno: kolovoz 2017.)
5. Seminarski rad, Ivana Alajbeg, Električni automobili i održivi razvoj, Split, Veljača 2014.
6. Emisije stakleničkih plinova: [https://\\_emisije\\_staklenickih\\_plinova.pdf](https://_emisije_staklenickih_plinova.pdf) (pristupljeno: kolovoz 2017.)
7. Seminarski rad, Uvođenje alternativnih pogona u cestovnom prometu, I. Jakovac, M. Kučica, D. Marčelja
8. HR. WIKIPEDIA: [http://en.wikipedia.org/wiki/Alternative\\_fuel\\_vehicle](http://en.wikipedia.org/wiki/Alternative_fuel_vehicle) (pristupljeno: kolovoz 2017.)
9. Završni rad, Povijest električnih vozila, Ana Šantek, Karlovac, 2015.
10. HEP.HR: [http://elen.hep.hr/Punjenje-punjenje.aspx\\_vozilo](http://elen.hep.hr/Punjenje-punjenje.aspx_vozilo) (pristupljeno: kolovoz 2017.)
11. KOPRIVNICA.HR: <http://koprivnica.hr/novosti/predstavljeni-elektricni-autobusi> (pristupljeno: kolovoz 2017.)
12. HR. WIKIPEDIA: [https://de.wikipedia.org/wiki/Solaris\\_Urbino\\_12\\_electric](https://de.wikipedia.org/wiki/Solaris_Urbino_12_electric) (pristupljeno: kolovoz 2017.)
13. AUTOBUSI.NET: <http://www.autobusi.net/solarisu-osvojio-ebus-nagradu/> (pristupljeno: kolovoz 2017.)
14. DUBROVAČKI DNEVNIK.HR: <http://dubrovaekidnevnik.rtl.hr/vijesti/zupanja/prvo-elektricno-vozilo-u-dubrovniku-positivan-primjer-avantcara> (pristupljeno: kolovoz 2017.)
15. SUNWINBUS.COM: [http://www.sunwinbus.com/Global\\_Market/sunwinbus.html#greenbus](http://www.sunwinbus.com/Global_Market/sunwinbus.html#greenbus) (pristupljeno: kolovoz 2017.)
16. NET.HR: <http://net.hr/auto/vijesti/mashable-hvali-rimca-oprostiti-tesla-najbrzi-elektricni-automobil-na-svijetu-napravljen-je-u-hrvatskoj> (pristupljeno: kolovoz 2017.)
17. Radijus kretanja električnog automobila: [https://bib.irb.hr/datoteka/717355.140925\\_Elektricna\\_Vozila\\_ms.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/717355.140925_Elektricna_Vozila_ms.pdf) (pristupljeno: kolovoz 2017.)
18. HR. WIKIPEDIA: [https://en.wikipedia.org/wiki/Charging\\_station](https://en.wikipedia.org/wiki/Charging_station) (pristupljeno: kolovoz 2017.)
19. E-AUTO.GURU: <http://www.e-auto.guru/en/vijesti/update-elekticnih-zbivanja-u-hrvatskoj> (pristupljeno: kolovoz 2017.)

20. R.H. Bacon: Electricity in cars, Philips technical library, 1975.
21. Golubić, J.: Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2000.
22. Society of Automotive Engineers: Electric and Hybrid Vehicles- Implementation of technology, USA, 2007.
23. DOK-ING.HR: <http://www.dok-ing.hr> (pristupljeno: kolovoz 2017.)
24. CHEVROLET VOLT.COM: <http://www.chevrolet.com/electric/volt-plug-in-hybrid> (pristupljeno: kolovoz 2017.)
25. HR. WIKIPEDIA: <https://en.wikipedia.org/wiki/CHAdeMO> (pristupljeno: kolovoz 2017.)
26. Seminarski rad, Rješenje javne garaže u gradu Zagrebu, Roman Klešković, Toma Ladišić, Zagreb, 2016.
27. HR. WIKIPEDIA: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni\\_autobus](https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_autobus) (pristupljeno: kolovoz 2017.)
28. BYD EUROPE.COM: <http://bydeurope.com/vehicles/ebus> (pristupljeno: kolovoz 2017.)
29. ELEN.HEP: <http://elen.hep.hr/Kalkulator.aspx> (pristupljeno: kolovoz 2017.)

## POPIS SLIKA

Slika 1. Prvi električni automobil.....	3
Slika 2. Električni automobil, Ferdinand Porsche .....	4
Slika 3. Concept One, Rimac automobili .....	7
Slika 4. Rimac Concept One električno vozilo .....	14
Slika 5. DOK-ING Loox (XD).....	15
Slika 6. Smart For Two Electric Drive električno vozilo tvrtke Avantcar.....	16
Slika 7. Chevrolet Volt plug-in hibridno-električno vozilo .....	16
Slika 8. Razlika između punionica istosmjernom i izmjeničnom strujom .....	18
Slika 9. CHAdeMO priključak za brzo punjenje električnog vozila.....	19
Slika 10. Javna punionica za električna vozila na trgu Stjepana Radića.....	21
Slika 11. Punionica za električna vozila u javnoj garaži Tuškanac.....	22
Slika 12. Princip rada hibridnog vozila.....	26
Slika 13. Toyota Prius Plug-in Hybrid .....	27
Slika 14. Chevrolet Volt, električno vozilo sa produljenim dometom.....	28
Slika 15. Trojelbus .....	31
Slika 16. Hibridni autobus „Hino blue ribbon“ .....	32
Slika 17. Gyrobus G3.....	33
Slika 18. Električni mini busevi marke DOK-ING, Koprivnica.....	33
Slika 19. Električni mini busevi marke Solaris Urbino.....	34
Slika 20. Električni mini bus marke Aptis.....	35
Slika 21. Prikaz radijusa skretanja kod Aptisa .....	35
Slika 22. Električni autobus Chariot Motors.....	36
Slika 23. BYD bus duljine 8 metara.....	37
Slika 24. BYD bus duljine 10,20 metara.....	37
Slika 25. BYD bus duljine 10,80 metara.....	37
Slika 26. BYD bus duljine 12 metara s 3 vrata i 3 baterije .....	38
Slika 27. BYD bus duljine 18metara.....	38

Slika 28. Prikaz relacije Jankomir - Znanstveno-učilišni kampus Borongaj.....	42
---	----

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Udio emisija iz prometa u emisijama stakleničkih plinova u 2010. godini.....	10
---	----

Tablica 2. Radijus kretanja električnog vozila različitim brzinama.....	42
---	----

## **POPIS GRAFIKONA**

Grafikon 1. Emisije ugljičnog dioksida u teragramima (Tg) od 1900. do 2007. godine.....	9
---	---

Grafikon 2. Prikaz punjenja u vršnim satima.....	17
--	----

Grafikon 3. Statistika električnih vozila M1 kategorije.....	39
--	----

Grafikon 4. Statistika električnih vozila kategorije L.....	39
---	----

## METAPODACI

**Naslov rada:** Primjena električnih vozila u gradskom prometu

**Student:** Ivana Birin

**Mentor:** Dr.sc. Marko Slavulj

**Naslov na drugom jeziku (engleski):**

Implementation of Electric Vehicles in Urban Transport

**Povjerenstvo za obranu:**

- Izv. prof. dr. sc. Ljupko Šimunović \_\_\_\_\_ predsjednik
- Dr. sc. Marko Slavulj mentor
- Mario Ćosić, dipl. ing. \_\_\_\_\_ član
- Izv. prof. dr. sc. Davor Brčić \_\_\_\_\_ zamjena

**Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj:**

Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

**Zavod:** Zavod za gradski promet

Vrsta studija: Preddiplomski

**Studij:** Promet

**Akademski naziv:** univ. bacc. ing. traff.

**Datum obrane završnog rada:** \_\_\_\_\_



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni 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 \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom \_\_\_\_\_

### **Primjena električnih vozila u gradskom prometu**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom  
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 2.9.2017 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(potpis)