

CESTOVNA VOZILA NA ELEKTRIČNI POGON

Hrvoje Glavaš, Mladen Antunović, Tomislav Keser
Elektrotehnički fakultet Osijek, Kneza Trpimira 2b, 31000 Osijek

Sažetak

U posljednje vrijeme u cestovnom prometu primjetna je pojava električnih vozila, uglavnom romobila i električnih biciklova. Mali, tihi i relativno brzi, svojom pristupačnom cijenom pronalaze sve veći broj poklonika. U radu je opisana tehnologija električnih vozila te njihove prednosti i nedostaci u usporedbi sa vozilima s unutrašnjim sagorjevanjem. Izložen je povijesni pregled tipova električnih vozila s obzirom na vrstu napajanja: na baterije, hibridna rješenja, napajanje gorivim ćelijama, solarnim putem, zamašnjacima i kondenzatorima.

ELECTRIC ROAD VEHICLES

Abstract

Recently, electric vehicles, mostly romobils and electric bicycles, can be seen in road traffic. Small, quiet and relatively fast, sold at affordable prices find fans at fast rate. This article describes electric vehicles technology, their advantages and disadvantages compared to the vehicles with internal combustion motors. Historical overview of electric vehicles related to the type of energy source is laid out. This includes battery, hybrid solution, fuel cell, solar power, flywheels and supercapacitors.

1. UVOD

Krajem 19. stoljeća s masovnom proizvodnjom punjivih baterija započinje zamjetna upotreba električnih vozila. U radu se opisuje pojava električnih vozila, osnovna podjela, problematika, izvedba, njihov nestanak s prometnica i ponovni povratak. Prema statističkim podacima iz 2001. godine u svijetu je bilo 700 miliona vozila s motorom na unutrašnje sagorijevanje od čega čak 213 miliona otpada samo na USA, a samo 100 miliona na zemlje u razvoju. Udio električnih vozila u cestovnom prometu je zanemarivih 0.05%.

2. ELEKTRIČNA VOZILA

Električna vozila su sva vozila koja na neki način koriste električnu energiju za pokretanje pogonskog stroja. Mogu se podijeliti u šest osnovnih skupina:

- tradicionalna električna vozila
- hibridna vozila
- el. vozila na gorive ćelije ili metal-zrak baterije

- električna vozila koja energiju dobivaju preko zračnog voda
- električna vozila na solarne ćelije
- el. vozila na zamašnjake i superkondenzatore

Osnovna primjena električnih vozila je u prostorima koji zahtijevaju nizak nivo buke i minimalnu emisiju štetnih plinova. To su u prvom redu bolnice, skladišni prostori i prenapučena gradska središta u kojima postoji problem s ispušnim plinovima.

2.1. Kratka povijest električnih vozila

Dostupnost punjivih baterija i jednostavna konstrukcija elektromotora dovode do relativno rane pojave električnih vozila. Do 1830. godine sav transport se odvijao isključivo na parni pogon. Nakon 1830 niz otkrića, patenata i tehničkih usavršavanja dovodi do funkcionalnih električnih vozila:

- 1831 Faradejev zakon dovodi do razvoja istosmjernog motora
- 1834 Baterija pokreće električno vozilo
- 1851 Baterija pokreće električno vozilo brzinom 31 km/h
- 1859 Razvijen punjivi olovni akumulator
- 1874 Prva kočija pokretana baterijama

1899. g. Camille Jenatzy obara brzinski rekord od 100 km/h a 1901. godine u New Yorku se pojavljuje prvi električni taksu. 1900 godine, prodalo se 4200 automobila, od toga 40% na parni pogon, 38% električnih i 22% na benzin. Do kraja 20tih godina 20og stoljeća nekoliko stotina električnih vozila bilo je na cestama.

Karakteristike nekih od električnih vozila toga vremena su brzine od 24 km/h u 1897. godini do 65 km/h u 1900. godini i 80 do 150 km autonomije po ciklusu punjenja (domet).

Unatoč prvobitnim predviđanjima, neugodnosti prilikom punjenja akumulatora, jeftino gorivo i samostartajući motor iz 1911.g. potisnuli su 1920g. električna vozila sa cesta.

Ponovni interes za električna vozila raste nakon uočavanja prvih ekoloških problema 60tih godina prošlog stoljeća. General Motors proizvodi prototipove svoja prva dva elektromobila „Electrovair I“ (1964) i „Electrovair II“ (1966) slijedećih karakteristika:

- trofazni motor, 85 kW, 13000 min⁻¹
- pokretanje motora pomoću DC-AC pretvarača na bazi silikonskih ventila
- baterija srebro-cink, 512 V, mase 310 kg
- najveća brzina: 130 km/h
- domet: 65 do 130 km
- ubrzanje: 0 – 100 km za 16 s
- težina vozila: 1550 kg

Nažalost tehnologija 60tih nije bila komercijalno isplativa. Naftna kriza i embargo na naftu iz 1973. godine potiče Sjedinjene Američke Države na razvoj električnih vozila. 1975. godine 325 vozila se predaje na testiranje američkim poštanskim službama. 1976. razvija se prva standardizacija električnih vozila za komercijalnu i osobnu upotrebu. Jedan od zahtjeva na električna vozila je da neelektrična potrošnja energije ne smije prelaziti 75% ukupne energetske potrošnje vozila. Kao rezultat toga uslijedilo je General Motorsovo električno vozilo slijedećih karakteristika:

- zasebno uzbuđen istosmjerni motor, 25 kW, 2400 min⁻¹
- baterija Ni-Zn, 120 V, 333 kg
- dodatna baterija Ni-Zn, 14 V
- energetska elektronika motora zasnovana je na tiristorima i bipolarnim tranzistorima.
- najveća brzina: 100 km
- domet: 100 – 130 km
- ubrzanje: 0 – 90 km/h za 27 s

Pravi razvoj se događa u 80tim i 90tim godinama razvojem poluvodičkih ventila visoke

snage i frekvencije i sa razvojem mikrokontrolera. Taj tehnološki pomak daje General Motorsovo električno vozilo „Impact3“ iz 1993.g., slijedećih karakteristika:

- jedan trofazni indukcijski motor, 100 kW, 12000 min⁻¹
- baterija – olovni akumulator (26 kom), 12 Voltne baterije povezane u seriju (= 312 V), 400 kg
- energetska elektronika motora zasnovana je na IGBT tranzistorima
- najveća brzina: 120 km/h
- domet: 145 km na otvorenoj cesti
- ubrzanje: 0 – 100 km za 9 s
- težina: 1315 kg

Slijedeći korak radi Toyota najavivši električno vozilo s gorivim ćelijama 2003.g. čime daje naznaku vozila s nultom emisijom štetnih plinova. Od 2003. godine zamjetna je pojava električnih skutera i romobila srednjeg dometa oko 20 km.

2.2. Osnovni nedostaci električnih vozila

Osnovni problem ranih električnih vozila u odnosu na motor s unutrašnjim sagorjevanjem (ICM - eng. Internal Combustion Motor) je u maloj specifičnoj energiji tj. uskladištenoj energiji po kilogramu mase. ICM ima približno 9000 Wh/kg dok vozila na električni pogon (EV – eng. Electric Vehicle) s olovnim akumulatorom imaju svega 30Wh/kg. Ako u obzir uzmemo stupanj korisnog djelovanja ICM-a $\eta_{ICM} = 0.2$ i EVa $\eta_{EV} = 0.9$ proizlazi da je specifična energija za ICM 1800 Wh/kg a za EV 27Wh/kg. Drugim riječima, ako bi vozilo trebalo preći 50 km za ICM bi bilo potrebno 4,5 l tj. 4 kg goriva, dok bi za EV bio potreban olovni akumulator od 270 kg. Usporedba potreba za gorivom IC-a i masom baterije EV-a u odnosu na radius kretanja dana je tablicom 1.

Tablica 1. Usporedba potrebe za masom baterije-energenta i dometa EV - ICM

Radius kretanja	Potrebna masa Pb akumulatora za EV	Potrebna količina goriva za ICM
50 km	270 kg	4.5 l
100 km	540 kg	9.0 l
150 km	810 kg	18.0 l
200 km	1080 kg	22.5 l
250 km	1350 kg	27.0 l
300 km	1620 kg	31.5 l
350 km	1890 kg	36.0 l
400 km	2160 kg	45.0 l

Osim mase akumulatora EVa, problem je i visoka cijena baterija te relativno kratko trajanje životne dobi akumulatora od prosječno 5 godina.

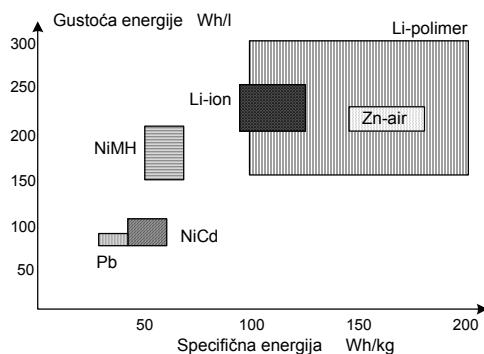
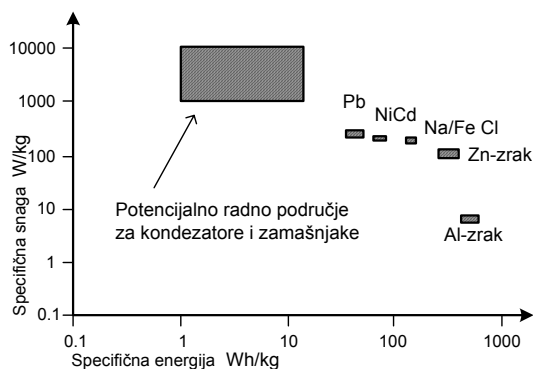
2.3. Spremišta energije

Prije analize pojedinih spremišta energije potrebno je napraviti usporedbu energetske gustoće dane tablicom 2.

Tablica 2. Specifična energija po kg energenta

Izvor energije	Specifična en. Wh/kg
Benzin	12500
Prirodni plin	9350
Metanol	6050
Vodik	33000
Ugljen	8200
Olovni akumulator	35
Li-polimer baterija	200
Karbonski zamašnjak	200

Stupanj djelovanja električnog dijela vozila se kreće oko 80%, ali efektivan stupanj djelovanja ne više od 32%. Kao rezultat toga emisija štetnih plinova je pomaknuta na područje elektrane koja proizvodi električnu energiju. U konačnici to je puno veći stupanj korisnog djelovanja od ICM-a koji u prosjeku ima $\eta = 0.28$. Samo za usporedbu hibridna vozila imaju $\eta = 0.41$. Njihova upotreba smanjuje zagađenje za 55 %, a korištenje goriva pada na 70 % vrijednosti ICM-a. Vozila s gorivim ćelijama imaju $\eta = 0.43$, smanjuju zagađenje za 90%, a potreba za gorivom je samo 66% potrebe ICM vozila [7].



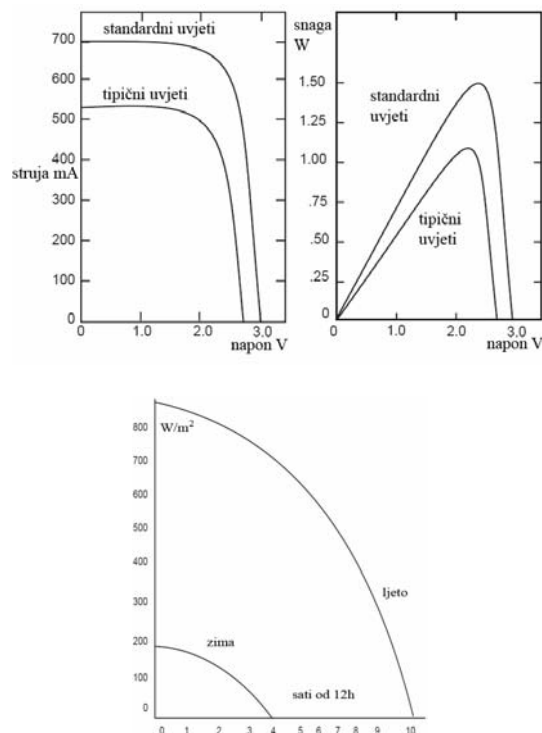
SI.1. Ovisnost specifične snage i gustoće energije o specifičnoj energiji tipa energetskog skladišta

Tablica 3. Masa pojedinih komercijalno dostupnih baterija ovisno o dometu vozila

Vrsta baterije	Masa baterije za domet vozila od:		
	75 km	150 km	300 km
Pb	750 kg	1500 kg	3000 kg
NiMH	346 kg	692 kg	1385 kg
Li-ion	250 kg	500 kg	1000 kg
NaNiCl	225 kg	450 kg	900 kg
Zn-zrak	98 kg	196 kg	391 kg

Na osnovu slike 1 može se izračunati približna masa za pojedine tipove akumulatora u ovisnosti o željenoj autoomiji vozila, kao što je prikazano tablicom 3.

Kao izvor energije može se koristiti energija sunca. Puno je demonstracija vozila na solarni pogon. Glavni nedostatak takvih rješenja je mala gustoća i nekontinuirana energija sunca [8], slika 2. Ako se kao rješenje glavnog nedostatka ugrade baterije, tada povećanje mase dovodi do većih energetskih zahtjeva.

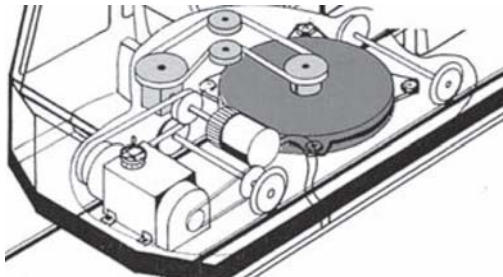


SI. 2. Električna svojstva fotonaponske ćelije i gustoća energije sunca na jedinici površine

Gorive ćelije kao izvor elektriciteta su dobro razvijene. Postoje više različitih rješenja. Stupanj korisnog djelovanja za visokotemperaturna rješenja ($\sim 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) kreće se u rasponu $\eta = 0.5 - 0.65$. Za EV koriste se ćelije $\eta = 0.4 - 0.5$ koje rade na temperaturi $\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Problem za širu primjenu predstavlja distribucija goriva i sigurnosna pitanja konstrukcije.

Zamašnjaci se koriste u vozilima koja često staju i kreću kao pomoć prilikom ubrzanja. Iz slike 1.

vidljiva je veća snaga u odnosu na baterije ali i manja specifična energija. Kao primjer možemo navesti zamašnjak od kompozitnog materijala težine 19 kg, polumjera 390 mm, pri rotaciji 19000 min⁻¹ sadrži 180 kW. Predvorba se odvija uz stupanj korisnosti i do 98%. Slika 3 prikazuje smještaj zamašnjaka u vozilu.

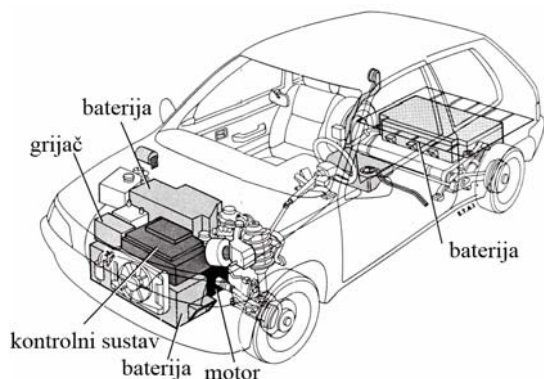


Sl. 3. Izgled i smještaj zamašnjaka u vozilu.

Nada se polaže na razvoj superkondenzatora. Njihova prednost je u brzini akumulacije i predaje energije. Upotrebljava se kao ispomoc baterijama i gorivim ćelijama kada je u kratkom vremenskom intervalu potrebno dati veću količinu energije, npr. prilikom savladavanja uspona ili prikupljanja energije uslijed kočenja. Razvojem nanotehnologije radi se na superkondenzatorima koji bi imali znatno veći kapacitet.

2.4. Kontrukcija električnih vozila

Konstrukcija EV ovisi o proizvođaču i varira od jednog motora do novijih rješenja s četiri motora integrirana u točkove vozila. Blokovski prikaz [6] je gotovo za sve sličan. Slika 4 prikazuje EV Peugeot 106. Zanimljivo je uočiti tri baterije koje uglavnom nisu iste te se svojim svojstvima nadopunjuju dajući vozilu potrebnu brzinu odziva i energetska skladište dostatnog kapaciteta.



Sl. 4. EV Peugeot 106 dostupan građanima Francuskog grada La Rochelle

Glavni pomak u razvoju EV na našim prostorima dogodio se na području električnih

skutera i bicikala koji su unazad par godina postali dostupni. Iskustva višegodišnjih korisnika malih električnih vozila ukazuju na baterije kao glavni problem koje uslijed loše kvalitete i skladištenja u zimskim mjesecima brzo propadaju.

3. ZAKLJUČAK

Upotreba električnih vozila ne znači nužno smanjenje ukupne potrošnje. Glavni razlog njihovog daljnjeg razvoja je rješavanje ekološkog problema zagađenja i iscrpljivanje rezervi nafte koja je trenutno primarno gorivo za 700 milijuna vozila, a ujedno i nezamjenjiva osnova za proizvodnju plastike, za kemijsku industriju i najvažnije - za većinu medicinske opreme. Razvoj tehnologije i porast cijena goriva dovodi do rasprave o ekonomskoj isplativosti električnog vozila o kojoj do 60 tih godina prošlog stoljeća nije bilo ni govora. Teško je napraviti jednoznačnu usporedbu raznih tipova vozila pa se ona radi po različitim kriterijima. Autori zastupaju stav da nije prioritetno uspoređivati ICM sa EV sa stajališta energetske i ekonomske isplativosti jer budućnost ovisi o smanjenju emisije štetnih plinova. Glavni izazov znanstvenicima i konstruktorima je kako proizvesti dovoljno energije za njegovo pokretanje. Nažalost alternativni ili točnije dopunski izvori energije nisu dostatni za podmirenje energetske potreba i daljnji razvoj. Rješenje je moguće u oživljavanju proizvodnje nuklearne energije.

4. LITERATURA

- [1] W. E.H. , History of the Electric Automobile, The Society of Automobile Engineers, Warrendale. 1994.
- [2] W. M.H., The Electric Car, The Institution of Electrical Engineers, London. 2001
- [3] J.L.& J.L., Electric Vehicle Technology, John Wiley & Sons Ltd. , England, 2003.
- [4] S. D., Electric vehicle battery systems, Butterworth-Heinemann, Boston, 2002.
- [5] R. M. J., In search of better batteries, IEEE Spectrum, p. 51-56, May 1995.
- [6] I. H., ELECTRIC and HYBRID VEHICLES Design Fundamentals, CRC Press, NY 2003.
- [7] R.H.&J.F., Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design, Reed Educational and Professional Publishing Ltd., Oxford, 2001.
- [8] M.R.P., Wind and Solar Power Systems, CRC Press, Florida 1999.
- [9] T.R.C., Battery Reference Book, Reed Educational and Professional Publishing Ltd., Oxford, 1990.