

## ***Električni automobil - povijest razvoja i sastavni dijelovi*** ***Electric Car - history and components***

**M. Stojkov<sup>1,\*</sup>, D. Gašparović<sup>2</sup>, D. Pelin<sup>3</sup>, H. Glavaš<sup>3</sup>, K. Hornung<sup>4</sup>, N. Mikulandra<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

<sup>2</sup>HEP-ODS – Elektra Sisak, Hrvatska

<sup>3</sup>Elektrotehnički fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

<sup>4</sup>Srednja škola Valpovo, Hrvatska

<sup>5</sup>Končar – INEM, Zagreb, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: mstojkov@sfsb.hr

### **Sažetak**

U ovom radu opisuje se povijest razvoja električnog automobila, sastavni dijelovi i princip rada električnog automobila. Unatoč tome što su se prvi električni automobili pojavili još početkom prošlog stoljeća, napredak u njihovom razvoju zasjenjen je masovnom proizvodnjom i uporabom automobila s unutarnjim izgaranjem. U zadnjih nekoliko godina ponovno se javlja ogroman globalni interes za električnim automobilima, što zbog sve veće ekološke osviještenosti društva, što zbog ogromnog napretka u učinkovitosti baterija. Mnoge su prednosti električnih automobila u odnosu na klasične: nema emisije stakleničkih plinova, manja ovisnost o fosilnim gorivima, veća učinkovitost motora, manja razina buke itd. Unatoč tome, za daljnji razvoj i globalnu primjenu električnih automobila potrebno je riješiti još nekoliko značajnih prepreka od koji je najveća ograničen kapacitet baterija. Konstantan napredak na području razvoja baterija i energetske učinkovitosti sigurno dovode električne automobile u svakodnevnu primjenu, a samo je pitanje vremena kada će električni u potpunosti biti konkurentni klasičnim automobilima.

**Ključne riječi:** električni automobil, povijest razvoja, sastavni dijelovi, baterije, ekologija, energetska učinkovitost

### **Abstract**

This paper describes the history of the development of electric cars, components and working principle of the electric car. Despite the fact that the first electric car appeared at the beginning of the last century, progress in their development is overshadowed by the mass production and use of cars with internal combustion engines. In recent years, huge global interest in electric cars again appears, caused by the increasing environmental awareness of society and by the enormous progress in battery efficiency. Many of the benefits of electric cars compared to conventional are: no greenhouse gas emissions, less dependence on fossil fuels, greater engine efficiency, lower noise levels, etc.

Nevertheless, for further development and global deployment of electric cars is necessary to solve a few of the major obstacles that limited the maximum capacity of the battery. The constant progress in the development of the battery and energy efficiency certainly bring electric cars in everyday use, and it is only a matter of time before the electric car become fully competitive to classic cars.

**Key words:** electric car, history of development, components, batteries, ecology, energy efficiency

## 1. Uvod - Razvoj električnih vozila

Razvoj tehnologije uvelike je potaknut mogućnošću njene praktične primjene u svakodnevnom životu. Jedan od primjera je električni automobil koji se pojavio nedugo nakon konstrukcije prvog elektromotora. Prvi elektromotor s osnovnim dijelovima rotorom, statorom i komutatorom konstruiran je 1828. Daljnjim usavršavanjem elektromotora dolazi i do prvih komercijalnih primjena elektromotora u industriji pa tako nastaju i prvi električni automobili.

Konstrukcija prvog pravog električnog automobila može se pripisati Robert Andersonu između 1832. – 1839. godine, dvadeset godina prije konstrukcije prvog motora s unutarnjim izgaranjem (Jean Joseph Étienne Lenoir, dvotaktni motor, 1860.; Nicolaus August Otto, četverotaktni motor, 1867.), odnosno prvog automobila na benzinski pogon i tri točka (Karl Friedrich Benz, 1885. - 1886.), [1]. U narednim desetljećima dolazi do velikog napretka u razvoju električnog automobila i njihove komercijalne primjene. Godine 1834. Thomas Davenport konstruira prvi istosmjerni elektromotor u SAD-u, potom je 1838. William H. Taylor (SAD) zaslužan za dalji razvoj elektromotora. Godine 1838. rusko-njemački fizičar Moritz von Jakobi (Boris Semyonovich) (1801. - 1874.) - izrađuje električni motor za pogon broda na rijeci Nevi u Petrogradu. U razdoblju 1837. - 1842. u SAD-u su Thomas i Emily Davenport razvili napredniju konstrukciju Faradayevog istosmjernog elektromotora tako da se mogao koristiti u komercijalne svrhe (napajanje iz jednokratnih baterija) s primjenom u tiskarstvu (prese) i pogonu strojnih alata. Pri tome su bili veliki troškovi baterijskih izvora napajanja pa je potražnja za ovom vrstom motora premala (zanemariva šira komercijalna uporaba). Godine 1842. Thomas Davenport i Robert Davidson (Škotska) neovisno konstruiraju bolji električni automobil (cinkove baterije koje se nisu mogle puniti nego su se mijenjale što je bilo vrlo skupo). U periodu 1859. - 1865. Gaston Plante (Francuska) istražuje i razvija punjive baterije, preteča današnjih akumulatora (olovo u kiselini). Godine 1860., konstruiran je dinamo. Godine 1881. Camille Alphonse Faure (Francuska) konstruira bolje olovne baterije većeg električnog kapaciteta što je preduvjet za daljnji razvoj električnih automobila. Frank Julian Sprague 1886. konstruirao je prvi praktični istosmjerni motor koji je bio sposoban održati konstantnu brzinu pri promjenljivom teretu. William Morrison izrađuje elektromobil 1891. Iste godine Peugeot osniva svoju prvu tvornicu automobila (prije Peugeota, 1889. već postoji

„Panhard&Levassor“). Kasno 19. stoljeće smatra se zlatnim dobom za električne automobile; u Londonu Walter C. Bersey proizvodi električne automobile za potrebe taksi prijevoza, a iste godine „Electric Carriage and Wagon Company of Philadelphia“ uvodi električne taksije u New York City-u, [2]. Iako su u to doba već postojali automobili pogonjeni motorima s unutarnjim izgaranjem, električni automobili imali su brojne prednosti nad konkurencijom: nepostojanje ispušnih plinova, manja buka te ugodnija vožnja bez potrebe za ručnom promjenom stupnjeva. U to vrijeme jedino ograničenje električnih automobila je bio radijus kretanja i prosječna brzina. Veliki nedostatak automobila pogonjenih motorom s unutarnjim izgaranjem bio je start motora (ručni pokretač – „kurbla“). Malo je poznato da je prvi automobil koji je konstruirao Ferdinand Porsche bio pogonjen elektromotorom. Godine 1899. Lohner-Porsche konstruirao prvi hibridni automobil. Početkom 20. stoljeća električna vozila (EV) imaju veći udio u ukupnom broju automobila u SAD. Charles Kettering 1912. patentira električni pokretač za automobile s motorom s unutarnjim izgaranjem, slijedi serijska proizvodnja automobila s motorima s unutarnjim izgaranjem (MsUI) koja dodatno smanjuje cijenu proizvoda (Henry Ford, 1908. - 1927. - model T koji koristi etanol i benzin a proizveden je u 15 milijuna primjeraka uz najveću brzinu vožnje od 30 km/h). Godine 1916. Woods Motor Vehicle Company of Chicago proizvodi hibridni automobil.

Iako prvih godina 20. stoljeća električni automobili čine većinu svih automobila u SAD, u razdoblju 1935 - 1960. dolazi do zastoja u razvoju EV. Naime, u to vrijeme je automobil s pogonom temeljenim na motoru s unutarnjim izgaranjem neisplativ jer je u to vrijeme cijena nafte bila izuzetno visoka. Ipak, nakon otkrića nafte u Texasu, cijena nafte pada. Autonomija (udaljenost koju samostalno može prijeći bez punjenja baterije) automobila s unutarnjim izgaranjem je bitno veća što je važno kod međugradskih relacija. Dvadesetih godina 19. stoljeća dolazi do poboljšanja cestovne infrastrukture te najveći nedostatak električnih automobila postaje sve izraženiji; baterije koje su služile za napajanje elektromotora nisu dovoljne za duže vožnje električnim automobilom. 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. Razvoj tehnologije EV bio je ograničen razvojem akumulatorskih baterija kao najslabijom komponentom. U periodu 1910. - 1925. akumulatorska baterije su tehnološki napredovale, npr.: kapacitet akumulatora povećan je za 35%, vijek trajanja za 300%, radijus kretanja vozila za 230%, troškovi održavanja akumulatora su smanjeni za 65%. Danas je električni automobil ponovo postao vrlo interesantan jer je suvremeni održivi razvoj utemeljen na ekologiji i štednji energije. Energija za potrebe transporta iznosi 40-60% ukupne potrošnje fosilnih goriva (uglavnom nafte). Električna vozila trebaju električnu energiju za pogon koja se dobiva iz elektrana. Tijekom noći elektroopskrbne tvrtke imaju problem s plasiranjem električne energije (protočne HE, pogonski minimum TE, NE). Također, električna energija koja se dobiva iz TE (fosilna goriva) ima značajno bolji stupanj korisnog djelovanja nego je to slučaj u MsUI. To ukazuje na mogućnost dobre sinergije između elektroopskrbnih tvrtki i potreba za električnom energijom za EV,

poglavito ako bi se punjenje obavljalo većinom u noćnom režimu (jeftinija noćna tarifa obračuna električne energije). Do sada ipak elektroopskrbne tvrtke nisu prepoznale ovu zanimljivu poslovnu mogućnost. EV su po radijusu kretanja i cijeni po km idealna za gradske potrebe (obiteljske potrebe, gradski prijevoz i slično). Gotovo svi proizvođači automobila imaju razvoj EV (poznati, ali i male novoosnovane tvrtke), npr. GM EV1, Ford Ranger EV, Ford e-Ka, Honda EV+, Nissan Hypermini, Toyota e-Com, Peugeot 106 Electric, Mitsubishi MiEV, Nissan Leaf, Tesla Model S, BMW i3, VW Golf electric i drugi. Također, ovoj „novojoj“ industriji pridružuju se nove male i velike tvrtke u električnom automobilskom biznisu: „Solectria Corporation“, „Unique Mobility Inc.“, „AC Propulsion Inc.“, „Siemens“ i drugi.

Početakom 90-ih godina 20. stoljeća američko zakonodavstvo traži ekološki prihvatljive automobile u cilju smanjenja emisija ispušnih plinova i proizvodnje ZEV automobila (Zero Emission Vehicle). Tako se u Californiji (SAD) 1990. zakonom definira najmanje 10% ZEV od ukupnog broja automobila na što su proizvođači automobila uglavnom reagirali plasiranjem električnih automobila na tržište. General Motors izbacuje na tržište EV1: električni sportski automobil (dvosjed), autonomija 120 km, brzine do 130 km/h i to isključivo u najmu za potrebe ispitivanja. Nakon što se automobilska industrija žalila na ekološki usmjereno zakonodavstvo, Bushova administracija donosi nove ekološke zakone u korist etanola i biodiezela. Kasnije promjene zakonodavstva na ovom području za vrijeme Clintonovog mandata usmjerene su na razvoj energetske učinkovitosti. Dolazi do velikog razvoja automobila na pogon gorivnim ćelijama nakon čega General Motors prekida najam svih električnih automobila (oko 1000) te ih šalje na uništavanje i recikliranje (sveučilišta, muzeji).

Tijekom cijelog 20. stoljeća, električni automobili su u potpunosti zasjenjeni vozilima s pogonskim motorom s unutarnjim izgaranjem, no u zadnje vrijeme ponovno se javlja interes za električnim automobilima. Sve veći naglasak na ekološkoj osviještenosti, ali i zbog činjenica da su naftne rezerve ograničene, ponovo postavlja električni automobili u fokus mogućih tehničkih rješenja u prometu. Električna vozila rade vrlo tiho i nemaju direktnu emisiju štetnih plinova na mjestu funkcije; stoga se njihova najveća primjena očekuje u bolnicama, skladištima, nacionalnim parkovima, parkovima prirode i velikim gradovima, [1].

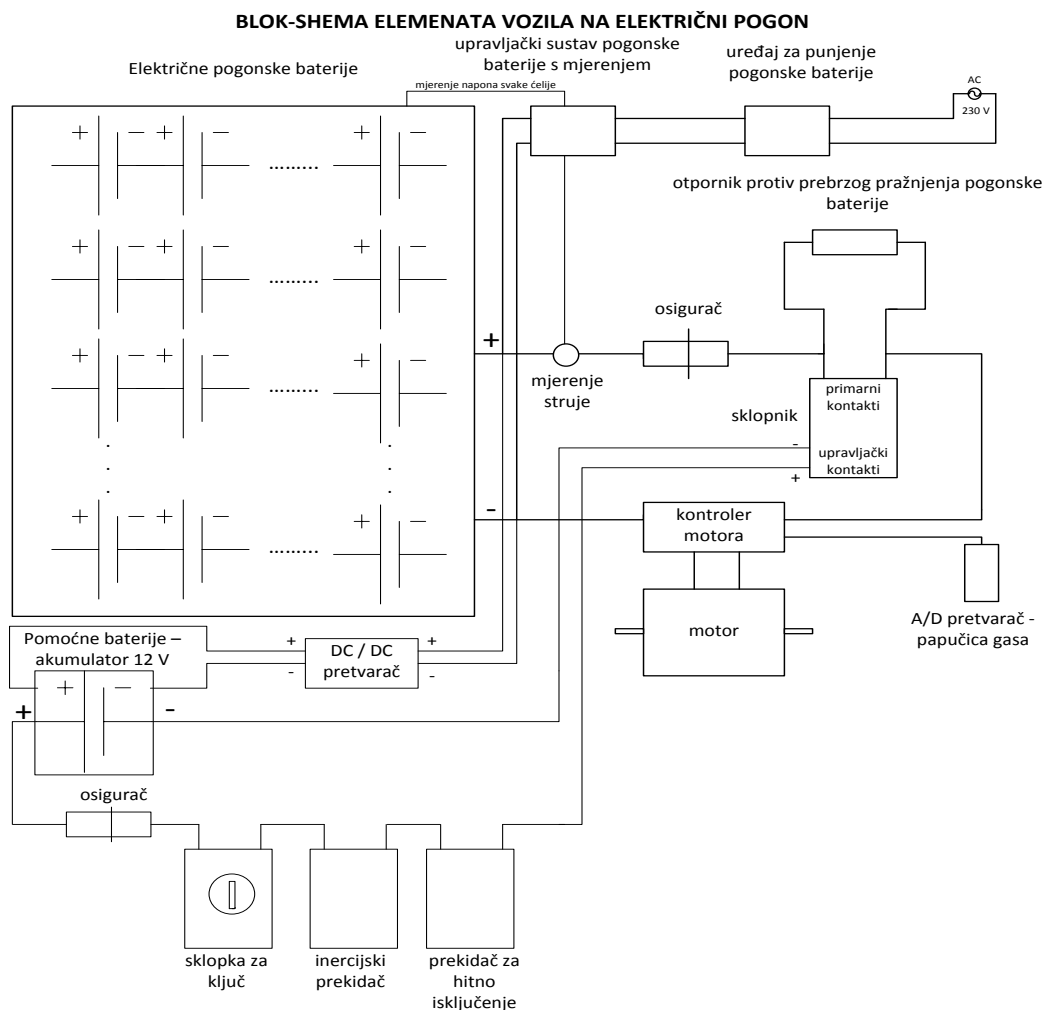
## 2. Osnovni elementi za pogon električnog automobila

Osnovni elementi za pogon električnog automobila su električni motor, električne pogonske baterije te upravljač (kontroler) motora. Ostali dijelovi električnog automobila su: analogno-digitalni pretvarač signala papučice gasa (informacija željene brzine od stane vozača vozila), sklopnik, osigurač ili prekidač, istosmjerni pretvarač napona za pogon uobičajeno ugrađenih trošila vozila na naponskoj razini 12 V (svjetla, pokazivači smjera, brisači, zvučni signal, radio uređaj i slično), mjerni instrumenti za upravljanje vozila

(pokazivač preostalog kapaciteta baterija, napon, struja, snaga, brzina), punjač baterija. Ostali dijelovi koje vozilo na električni pogon mora sadržavati su: kabeli pogonskog napona, kabeli pomoćnog napona 12 V, baterije pomoćnog napona 12 V, kabelske stopice te kabelski priključci.

Baterija je komponenta koja određuje ukupne karakteristike električnog vozila, definira njegovu cijenu, autonomiju (doseg) i njegovu raspoloživost. Dva su čimbenika koji određuju performanse baterije: energija (pređena udaljenost) i snaga (ubrzanje). Omjer snage i energije (engl. power/energy ratio) – pokazuje koliko je snage po jedinici energije potrebno za određenu primjenu.

Ostali dijelovi koje vozilo na električni pogon može sadržavati su: sklopka za ključ, prekidač hitnog isključenja, inercijski prekidač, otpornik protiv prebrzog pražnjenja električne pogonske baterije, upravljački sustav baterija, upravljački sustav električnog vozila, vakuumska pumpa (ukoliko postoji potreba u kočionom sustavu), električna pumpa za pogon servo-sustava upravljanja volanom, ako isti postoji a nije riješen hidrauličkom pumpom s remenskim prijenosom, slika 1.



**Slika 1.** Blok shema elemenata vozila na električni pogon

### 3. Električni motor

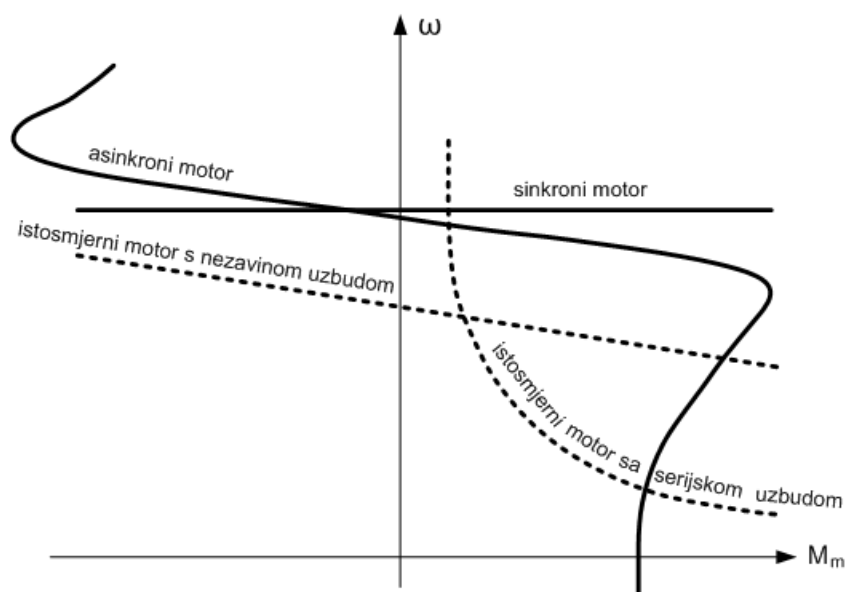
#### 3.1. Uvod

Najvažnija komponenta svakog električnog automobila je električni motor. Električni motor je električni stroj koji električnu energiju pretvara u mehaničku koristeći princip elektromagnetske indukcije. Motori konstrukcijski imaju dva namota (stator i rotor) od kojih je jedan uzбудni a drugi radni ili armaturni namot. Postoje i konstrukcije gdje je uzbudni namot zamijenjen permanentnim magnetima.

Osnovne vrste električnih strojeva prema izvoru napajanja mogu se podijeliti na istosmjerne motore (DC), izmjenične motore (AC) i koračne elektromotore. Prednosti asinkronih (AC) elektromotora u odnosu na istosmjerne (po jedinici snage) su: manja masa, manje dimenzije, manji moment inercije, manja cijena, veća brzina vrtnje, veći stupanj korisnog djelovanja (0,95-0,97 u odnosu na 0,85-0,89), jednostavno i jeftino održavanje. Prednost istosmjernih elektromotora u odnosu na asinkrone je lakše i jeftinije upravljanje.

#### 3.2. Vanjska (mehanička) karakteristika elektromotora i tereta

Moment elektromotora (i tereta)  $M$  je funkcija brzine vrtnje  $\omega$ . Matematičku funkciju brzine elektromotora ovisne o momentu elektromotora  $\omega = f_1(M_m)$  nazivamo vanjskom ili mehaničkom karakteristikom elektromotora. Matematičku funkciju brzine elektromotora ovisne o momentu tereta  $\omega = f_2(M_t)$  nazivamo vanjskom ili mehaničkom karakteristikom pogona. Elektromotor treba osigurati najprikladniji rad sustava u stacionarnim i prelaznim režimima rada (zaletu, kočenju, promjeni opterećenja ili drugih utjecajnih veličina). Vanjska karakteristika motora služi kao osnovni kriterij pri izboru vrste motora za radni mehanizam, slika 2.



**Slika 2.** Vanjske karakteristike različitih tipova elektromotora, [3]



Uz vanjsku karakteristiku kod elektromotora značajno je odrediti i elektromehaničku karakteristiku, koja predstavlja ovisnost brzine vrtnje o jakosti struje  $\omega = f(i)$ .

### 3.3 BLDC elektromotor

BLDC motor je sinkroni stroj s rotorskim permanentnim magnetom i statorskim armaturnim namotom kod kojeg su magnetsko polje stvoreno na statoru i magnetsko polje stvoreno na rotoru jednakih frekvencija te se zahvaljujući prikladnoj uzbudnoj struji moment kod ovog motora drži konstantnim. Na statorske namote dovodi se električna struja koja uzrokuje gibanje rotora. Pri tome se upravljačkim sklopom (elektronički komutator ili inverter) upravlja strujom dovedenom na statorske namote iz istosmjernog izvora napajanja (baterija) preko izmjenjivača, [4]. Na taj način je statorskom namotu dovedena izmjenična struja pa kažemo da je riječ o elektroničkoj komutaciji. Ovdje je za kvalitetno upravljanje uporabom povratne veze osim mjerenja brzine motora i/ili jakosti struje elektromotora, nužno postojanje senzora položaja rotora da upravljački sklop može regulirati u koji će namot statora dovesti struju određenog smjera i veličine. Za ovu namjenu se koriste Hallove sonde, optičke sonde i/ili sonde za mjerenje induciranog napona (back EMF ili Counter EMF) za određivanje brzine i položaja rotora (uglavnom bežični prijenos mjernih podataka), [5].

BLDC motor ima visoku učinkovitost, veliki okretni moment, tiho radi, kompaktan je, pouzdan, malih troškova održavanja, [6].

Naziv „bez četkica“ (engl. brushless) motori ukazuje da se za komutaciju ne koriste četkice nego je motor elektronički komutiran odnosno energetski pretvarač s mjernim članom položaja rotora obavlja funkciju kolektora s četkicama, [7].

Trofazni BLDC motor radi na način da su dvije faze koje proizvode najveći okretni moment pod naponom, dok je treća faza isključena. Pozicija rotora uvjetuje koje dvije faze će biti uključene, [8].

Struja koja protječe kroz fazni namot L1 statora, stvara magnetsko polje koje će privući permanentni magnet rotora. Ovim procesom započinje okretanje rotora elektromotora. Ukoliko se u određenom trenutku napon s jedne faze prebaci na drugu fazu (s faze L1 na fazu L2), dolazi do pomicanja magnetskog polja statora u pozitivnom smjeru za  $120^\circ$  pa će se i rotor nastaviti kretati u istom smjeru. Kretanje rotora se nastavlja uslijed stvaranja rotacijskog elektromagnetskog polja koje nastaje kao posljedica prebacivanja struje iz jednog faznog namota u drugi fazni namot. U slučaju da se promjeni redosljed uključivanja faza, rotor će se početi okretati u suprotnom smjeru, [9].

#### 4. Primjer izračuna radijusa kretanja električnog automobila

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 ( $P_k$ ), [10].

$$P_a = 0,5 \cdot \rho \cdot C_a \cdot A \cdot v^3$$

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).

$$P_k = v \cdot C_k \cdot m \cdot g$$

gdje je:  $C_k$  – koeficijent trenja kotrljanja,  $m$  – masa vozila,  $g$  – ubrzanje sile teže (m/s<sup>2</sup>), [10]. 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  $P_k$ :

$$P_a = 0,5 \cdot \rho \cdot C_a \cdot A \cdot v^3 = 176,22 \text{ W}$$

$$P_k = v \cdot C_k \cdot m \cdot g = 474,15 \text{ W}$$

$$P_{uk} = P_a + P_k = 176,22 + 474,15 = 650,37 \text{ W}$$

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

$$P_{g,pr} = 130,07 \text{ W}$$



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

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  $W_{\text{kin}} = 10069,44 \text{ J}$ .

Teoretska ukupna energija pohranjena u baterijama iznosi:  $E_{\text{bat, t}} = 17280 \text{ kJ}$ , 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  $E_{\text{bat, min}} = 12096 \text{ kJ}$  odnosno  $E_{\text{bat, max}} = 15897,6 \text{ kJ}$ . 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:

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

Najveće vrijeme koje baterije mogu napajati dobiva se iz:

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

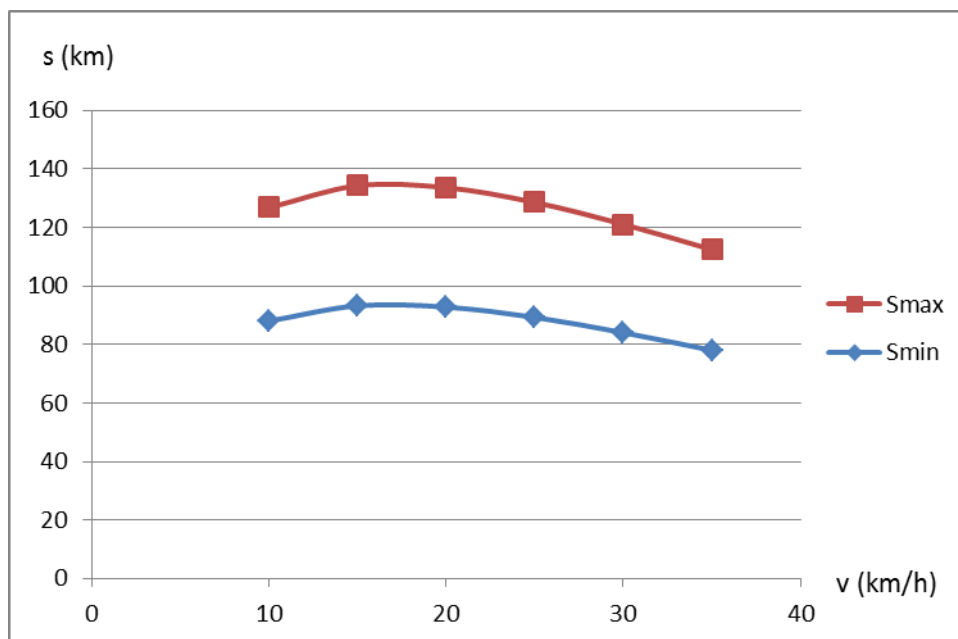
Iz ove dvije vremenske veličine se uz konstantnu brzinu lako izračuna radijus kretanja za brzinu 30 km/h kao:

$$s_{\text{min}} = 84,07 \text{ km, odnosno } s_{\text{max}} = 121,10 \text{ km}$$

U tablici 1. odnosno slici 3. nalaze se izračunati najmanji i najveći radijus kretanja za različite brzine uz pretpostavljene ulazne parametre.

**Tablica 1.** Radijus kretanja električnog vozila

| <b>v (km/h)</b> | <b>s<sub>min</sub> (km)</b> | <b>s<sub>max</sub> (km)</b> |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 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                      |



**Slika 3.** Ovisnost radijusa kretanja električnog vozila ovisno o brzini

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.

## 5. Zaključak

U sve aktualnijim raspravama o očuvanju okoliša i rješavanju energetske krize, posebna pozornost usmjerena je prema električnim automobilima. U usporedbi s automobilima s motorom s unutarnjim izgaranjem, električni automobili nude veću energetske iskoristivost, manju buku, nema neposredne emisije stakleničkih plinova te postoji mogućnost napajanja iz postojeće infrastrukture električnom energijom. Uz sve veće korištenje alternativnih izvora električne energije, električni automobili su korak naprijed u smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima. Prepreke globalnoj prihvaćenosti električnih automobila su još uvijek poprilično velike, a osim kapaciteta baterija i cijene, socijalno-kulturna konzervativnost je također jedna od znatnih prepreka.

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.

## 6. Literatura

- [1] Glavaš, Hrvoje; Antunović, Mladen; Keser, Tomislav: Cestovna vozila na električni pogon, Dvadesetšesti skup o prometnim sustavima s međunarodnim sudjelovanjem AUTOMATIZACIJA U PROMETU 2006, Zagreb, KoREMA, 2006.
- [2] Ciglencčki, Tomislav: Automobil pokretan električnim motorom; [http://rgn.hr/~dkuhinek/nids\\_daliborkuhinek/1 OEE-RN/5Seminari/2008\\_2009/14 Automobil pogonjen elektricnim motorom.ppt](http://rgn.hr/~dkuhinek/nids_daliborkuhinek/1_OEE-RN/5Seminari/2008_2009/14_Automobil_pogonjen_elektricnim_motorom.ppt); pristup 15.7.2014.
- [3] Velagić, Jasmin: Predavanja kolegij Aktuatori, Elektrotehnički fakultet Sarajevo, 2011.
- [4] Vodovozov, Valery: Electric Drive Systems and Operation, Bookboon, 2012.
- [5] Vodovozov, Valery: Electric Drive Dimensioning and Tuning, Bookboon, 2012.
- [6] <http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/brushless-dc-motor-guide.php>; pristup 15.7.2014.
- [7] Yedamale, Padmaraja: Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals, Microchip Technology Inc., 2003.
- [8] Brown, Ward: Brushless DC Motor Control Made Easy“, Microchip Technology Inc., 2002.
- [9] Baldursson, Stefan: BLDC Motor Modelling and Control-A Matlab/Simulink Implementation, Goteborg, Sverige, May 2005.
- [10] Raca, Dejan; Jevremović, R. Vladan: Savremene električne mašine za primenu u hibridnim i električnim vozilima, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2001.