Analiza tehničko eksploatacijskih značajki vozila na alternativni pogon

Međurečan, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:225272

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Luka Međurečan

Analiza tehničko eksploatacijskih značajki vozila na alternativni pogon

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

Analiza tehničko eksploatacijskih značajki vozila na alternativni pogon

Analysis of Technical Exploatation Features of Alternative Fuel Vehicles

Mentor: dr. sc. Željko Šarić

Student: Luka Međurečan

JMBAG: 0035182693

Zagreb, kolovoz 2016.

SAŽETAK

Analiza tehničko eksploatacijskih značajki vozila na alternativni pogon uspoređuje klasična vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem i njezine moguće alternative za pogonjenje vozila. Alternative koje ovaj rad analizira su posebice električna vozila i vodikova vozila s gorivim ćelijama te naknadno još i hibridna, plug-in hibridna i vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem pogonjena vodikom. U ovom radu se opisuje princip rada svih alternativnih rješenja, te njihove najvažnije komponente. Potom se izvodi komparacija, nakon ustvrđenih prednosti i nedostataka svakog od navedenih alternativnih pogona. Navedena komparacija se temelji na istraživanju Američkog prometnog instituta sveučilišta Michigan.

KLJUČNE RIJEČI: alternativne vrste pogona; motor s unutrašnjim izgaranjem; električna vozila; hibridna vozila; gorive ćelije.

SUMMARY

Analysis of technical exploitation features of alternatively fuelled vehicles compares conventional vehicles with internal combustion engines and its possible alternatives for vehicle propulsion. Alternatives which this paper analyzes are firstly electric vehicles and hydrogen fuel cell vehicles and subsequently also a hybrid, plug-in hybrid and vehicles with internal combustion engines fueled by hydrogen. This paper describes the working principle of all alternative solutions and its main components. Then the comparison is performed after establishing advantages and disadvantages of each of these alternative drives. The comparison is based on a survey of American traffic institute at University of Michigan.

KEY WORDS: alternative drives; internal combustion engine; electric vehicle; hybrid vehicle; fuel cell.

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Princip rada motora s unutrašnjim izgaranjem 3
   2.1. Podjela motora s unutrašnjim izgaranjem 4
   2.2. Konstrukcija motora s unutrašnjim izgaranjem 5
   2.3. Princip rada motora s unutrašnjim izgaranjem 6
3. Princip rada vozila na električni pogon 8
   3.1. Baterije električnih vozila 10
   3.2. Infrastruktura i punjenje električnih vozila 12
   3.3. Prednosti i nedostaci električnih vozila u prometu 14
4. Princip rada hibridnih i plug-in hibridna vozila 16
   4.1. Hibridna vozila 17
   4.2. Plug-in hibridna vozila 20
   4.3. Prednosti i nedostaci hibridnih i plug-in hibridnih vozila 21
5. Princip rada vozila na vodik 22
   5.1. Vodikova vozila sa unutrašnjim izgaranjem 22
   5.2. Vodikova vozila s gorivim ćelijama 23
   5.3. Prednosti i nedostaci vodikovih vozila 27
6. Komparativna analiza alternativnih pogona za cestovna vozila 28
7. Zaključak 35
8. Literatura 36

Popis slika 38

Popis tablica 38

Popis kratica 39

Prilozi 40

1. Uvod

Trenutno na planetu Zemlji postoji oko milijardu vozila, otprilike na svakih sedam osoba dolazi jedno vozilo. Također, prema najnovijim istraživanjima, pokazano je da je količina nafte dostupna za izvlačenje konačna. Stručnjaci nazivaju trenutnu situaciju vrhuncem iskorištenja naftnih derivata, te će se u budućnosti mogućnosti izvlačenja fosilnih goriva znatno smanjiti. Zbog toga je više nego potrebno razmotriti alternativne izvore pogonskih energija u sustavu koji je troši najviše, prometu. Kratkoročno rješenje svakako je poboljšanje iskoristivosti motora s unutrašnjim izgaranjem, ali na neki duži vremenski period treba razvijati neke druge opcije za pogon prometnog sustava.

U ovom radu prikazan je princip rada i pregled nekih osnovnih karakteristika trenutno najboljih opcija koje bi mogle zamjeniti ili u slučaju plug-in hibridne verzije, znatno poboljšati efikasnost prometa, te također smanjiti štetne ekološke utjecaje znatno reduciranim ispuhom štetnih plinova. Počevši od same proizvodnje vozila s alternativnim pogonom, preko logističkih procesa u lancu proizvodnje pa do samog prometa i eksploatacje vozila. Naslov završnog rada je: Analiza tehničko eksploatacijskih značajki vozila na alternativni pogon. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Princip rada motora s unutrašnjim izgaranjem
3. Princip rada vozila na električni pogon
4. Princip rada hibridnih i plug-in hibridnih vozila
5. Princip rada vozila na vodik
6. Komparativna analiza alternativnih pogona za cestovna vozila
7. Zaključak

U drugom poglavlju u kratko je opisan princip rada motora s unutrašnjim izgaranjem, njegovi dijelovi te podjela takve vrste motora.

Treće poglavlje se odnosi na električna vozila, sam sastav električnih vozila, te opis najbitnijeg elementa samog vozila, baterije. Također se opisuje i infrastruktura i način punjenja takvih vozila te njihove prednosti i nedostaci.

Princip rada hibridnih i plug-in hibridnih vozila je tema četvrtog poglavlja. U njemu je opisana razlika između hibridnih i plug-in hibridnih vozila, način rada svakog od tih sustava te njihove prednosti i nedostaci.

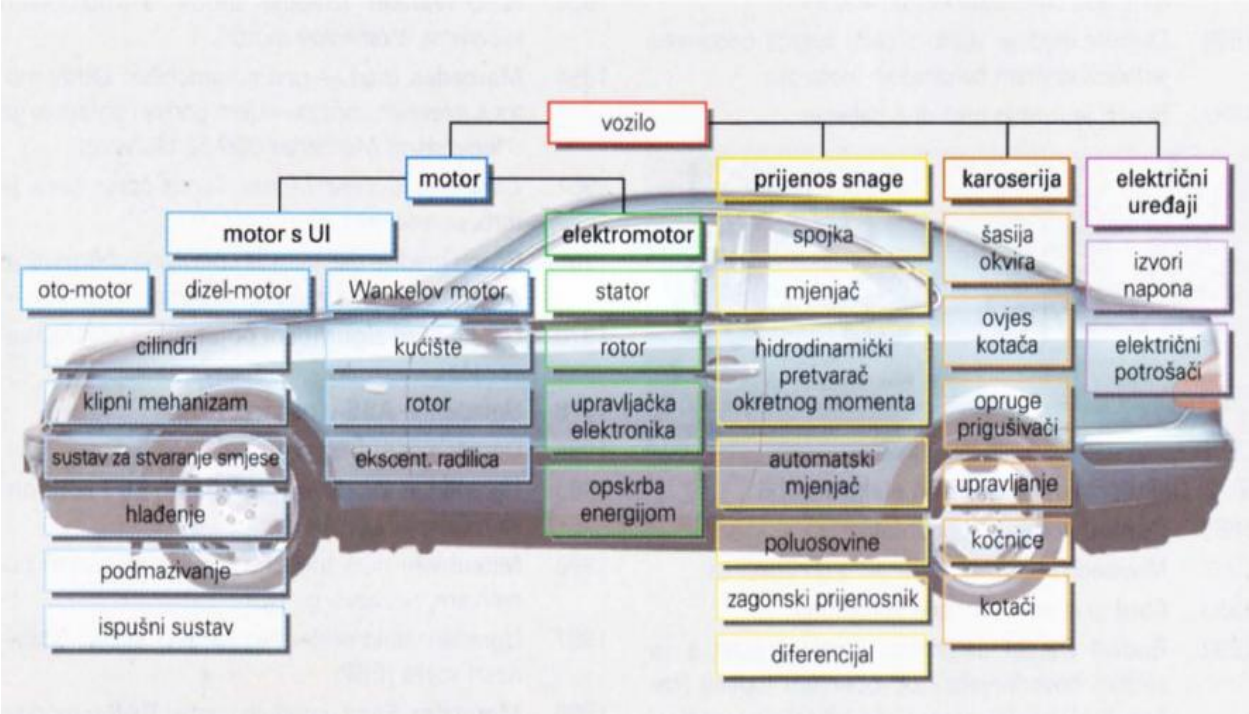
U petom poglavlju opisan je princip rada vozila na vodik i njihova osnovna podjela. Također je opisan i ključni element jedne od dviju vrsta vodikovih vozila, a to je goriva ćelija. Peto poglavlje također sadrži i osnovne prednosti i nedostatke vozila pokretanih vodikovom energijom.

Šesto poglavlje rezervirano je za komparativnu analizu navedenih alernativnih pogona za cestovna vozila. Ovo poglavlje bazirano je na najnovijim istraživanjima američkog nacionalnog instituta za promet sa sveučilišta u Michiganu te donosi najbitnije kriterije i samu usporedbu najboljih rješenja za alternativni pogon cestovnih vozila.

2. Princip rada motora s unutrašnjim izgaranjem

U prvom poglavlju objašnjen je princip rada motora s unutrašnjim izgaranjem. Takav tip motora trenutno se nalazi u velikom broju prometnih entiteta. On služi kao referentna točka za daljnji napredak tehnika i tehnologija koje trenutno koristimo u prometu.

Motor je stroj koji pretvara neki oblik energije u mehanički rad. Toplinski motori su strojevi koji pretvaraju toplinsku energiju, sadržanu u kemijskim gorivima, u mehanički rad. Ovisno o tome izgara li gorivo unutar ili izvan radnog prostora, toplinske motore dijelimo na motore s vanjskim izgaranjem (gorivo izgara izvan radnog prostora, primjeri su parni stapni stroj i parna turbina) i unutrašnjim izgaranjem. Motori s unutrašnjim izgaranjem su strojevi u kojima gorivo izgara neposredno unutar radnog prostora. Toplinska energija koja pritom nastaje pretvara se u mehanički rad. Iskoristivost kemijske energije goriva u ovakvim je motorima vrlo racionalna. Također, nisu potrebni posrednici, npr. para, ni dodatni uredaji (kotlovi, kondenzatori) [1].



Slika 1. Razdioba elemenata motornog vozila [1]

2.1. Podjela motora s unutrašnjim izgaranjem

Motore s unutrašnjim izgaranjem može se podjeliti u nekoliko kategorija, prema izvoru [1]. Prva je prema stvaranju smjese i paljenju, druga je prema gibanju klipova, treća prema smještaju cilindara, četvrta prema gibanju klipova te posljednja prema hlađenju.

Prema stvaranju smjese i paljenju, motore smo podijelili na:
1) otto motore - prije svega to su benzinci s vanjskim kao i unutrašnjim izgaranjem i stvaranjem smjese. Paljenje smjese izvedeno je prisilno (svjećicom);
2) diesel motore - s unutrašnjim stvaranjem smjese, a pogonjeni dizel-gorivom.

Prema radnim taktovima, motori mogu biti:
1) četverotaktni - imaju zatvorenu (odvojenu) izmjenu plinova, a radni ciklus odvija se unutar 4 takta (tj. dva okretaja radilice);
2) dvotaktni - rade s otvorenom izmjenom plinova, a radni ciklus odvija se u dva takta (jedan okretaj radilice).

Prema smještaju cilindara, razlikujemo:
1) redne (R);
2) V-blok motore;
3) bokser motore (posebna izvedba V-bloka s kutom između njih od 180°);
4) VR-motore.

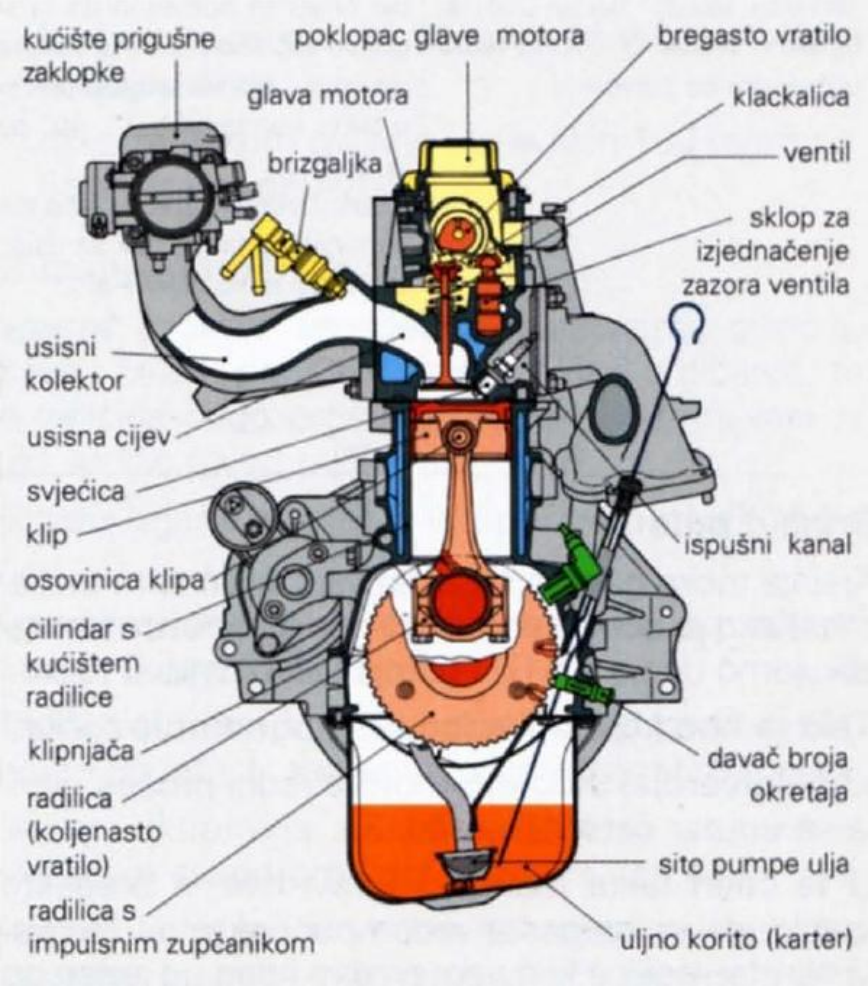
Prema gibanju klipova:
5) motori s potisnim klipovima (Ottovi i Dieselovi);
6) motori s rotacijskim klipovima (Wankelovi).

Prema hlađenju:
1) tekućinom hlađeni motori;
2) zrakom hlađeni motori.

2.2. Konstrukcija motora s unutrašnjim izgaranjem

Jedan od motora koji se trenutno najčešći za pokretanje vozila je četverotaktni Ottov motor. Prema njemu će se predstaviti sastav jednog takvog mehanizma, od kojih se on sustava sastoji, te koji djelovi čine te sustave.

Četverotaktni Ottov motor, (slika 2.) ima četiri osnovna dijela i dodatne sustave:
- kučište motora - karter (uljno korito), blok motora, glava, poklopac glave i brtva;
- klipni mehanizam - klipovi, klipnjače i radilica (koljenasto vratilo);
- razvodni mehanizam - ventili, opruge, klackalice, podizaći ventila, bregasto vratilo, remeni ili lančani prijenos
- sustav za stvaranje smjese - spremnik, pumpa, filtar (pročistać) goriva, usisna cijev, sustav ubrizgavanja;
- pomoćni sustavi - sustav za paljenje, podmazivanje, hladenje i ispušni sustav [1].



Slika 2. Motor s unutrašnjim izgaranjem [1]

2.3. Princip rada motora s unutrašnjim izgaranjem

Princip rada motora s unutrašnjim izgaranjem može se najbolje prikazati preko njegovih taktova. Taktovi su pomicanje klipova unutar glave motora. Krajnje točke gibanja klipa nazivaju se mrtvim točkama. Kako je uobičajeno da cilindri stoje okomito, razlikujemo donju (u daljnjem tekstu DMT) i gornju (u daljnjem tekstu GMT) mrtvu točku. Takt je hod klipa od jedne do druge mrtve točke. Kod četverotaktnog otto-motora radni proces odvija se unutar četiri takta. U ta četiri takta radilica napravi dva, a bregasto vratilo (dalje: bregasta) jedan puni okretaj. Za svaki okretaj radilice klip napravi dva hoda od jedne do druge mrtve točke.
Bitno je uočiti razliku pojmova takt i proces:

- takt kompresije počinje u DMT-u i završava s GMT-om, a proces kompresije počinje zatvaranjem usisnih ventila i završava paljenjem goriva;
- u radnom taktu odvijaju se: paljenje, izgaranje, ekspanzija i ispuh. Paljenje pocinje već u taktu kompresije;
- takt ispuha kraći je od procesa ispuha;
- takt usisa kraći je od procesa usisa [1].

Prvi takt - Usis

Tijekom prvog takta otvoren je usisni ventil. Gibanjem klipa od GMT-a prema DMT-u, povečava se radni prostor, a zbog otpora u usisnoj grani, tlak u cilindru niži je od tlaka okoline za 0,1- 0,3 bara. Kako je tlak u cilindrima niži od atmosferskog, to se zrak usisava u usisne cijevi. Smjesa goriva i zraka stvara se ili u usisnoj cijevi, ili unutar samog cilindra (GDI - motori). Da bi se cilindar što više napunio, te postigla čim veća snaga motora, usisni ventili otvaraju se čak i do 45° prije GMT-a, a zatvaraju tek 35° nakon DMT-a. Ispušni ventili u ovom taktu uglavnom su zatvoreni [1].

Drugi takt - Kompresija

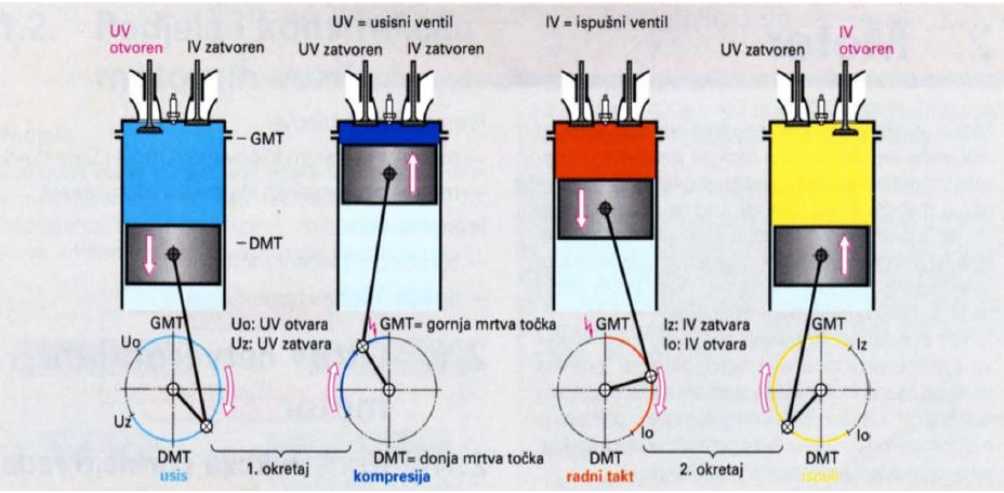
Takt kompresije započinje hodom klipa od DMT-a prema GMT-u, pri čemu se radni prostor smanjuje, što vodi porastu tlaka i temperature (na kraju kompresije između 400 - 500 ^{o}C, tlak i do 18 bara). Tlačenje smjese povisuje toplinski stupanj iskoristivosti, tj. dobiva se veća snaga uz manju potrošnju goriva. Osim toga, neisparene čestice goriva u ovom taktu isparavaju i miješaju se sa zrakom, a u sljedećem taktu smjesa izgara brzo i potpuno. Zbog konačnog vremena paljenja (vrijeme potrebno da bi se gorivo zapalilo nakon preskakanja iskre), goriva smjesa pali se u taktu kompresije, 0 - 40° prije GMT-a. Ispušni ventili zatvoreni su tijekom cijelog takta, dok se usisni zatvaraju nakon DMT-a [1].

Treći takt - Radni takt

Nakon paljenja počinje izgaranje, tlak i temperatura naglo rastu (30 - 60 bara tik nakon GMT-a, do 2700 ^{O}C). Izgaranje goriva odvija se samo na prvom dijelu hoda klipa prema DMT-a (40 - 60° zakreta radilice), dok na drugom dijelu vreli plinovi ekspandiraju potiskujući klip. Ovo je jedini takt u kojem se dobiva korisni rad. Paljenje mora uslijediti u pravom trenutku kako bi maksimalni tlak bio što bliže GMT-u, a bez negativnih posljedica. Time se postiže minimalna potrošnja goriva uz maksimalnu snagu. Ispušni ventili otvaraju se 40 - 90° prije nego što klip dođe u DMT, pa dio plinova izlazi iz cilindra vlastitim tlakom. Time se gubi nešto korisnog rada, ali zato klip u taktu ispuha ima manji protutlak, a to znači puno veću uštedu (motor ima veću snagu). U radnom taktu energija vrelih plinova (toplina) pretvara se u mehanički rad [1].

Četvrti takt - Ispuh

Ispušni plinovi iz cilindra potiskuju se kretanjem klipa od DMT-a prema GMT-u. Na kraju radnog takta ispušni plinovi imaju 3 - 5 bara i do 900 ^{O}C, pa prolazeći preko ispušnih ventila još uvijek ekspandiraju i ulaze u ispušni vod brzinom zvuka, što im daje veliku inerciju. Stoga se ispusni ventili zatvaraju i do 22° nakon GMT-a, kako bi se iskoristila velika brzina ispušnih plinova radi čišćenja izgarnog prostora. Osim toga, na kraju ispuha u cilindru se pojavljuje podtlak, što daje mogućnost otvaranja usisnih ventila i prije GMT-a. Na kraju ispuha kao i na početku usisa, otvoreni su i usisni i ispušni ventili. Ovim tzv. prekrivanjem ventila povisuje se koeficijent punjenja cilindara [1].



Slika 3. Taktovi motora s unutrašnjim izgaranjem [1]

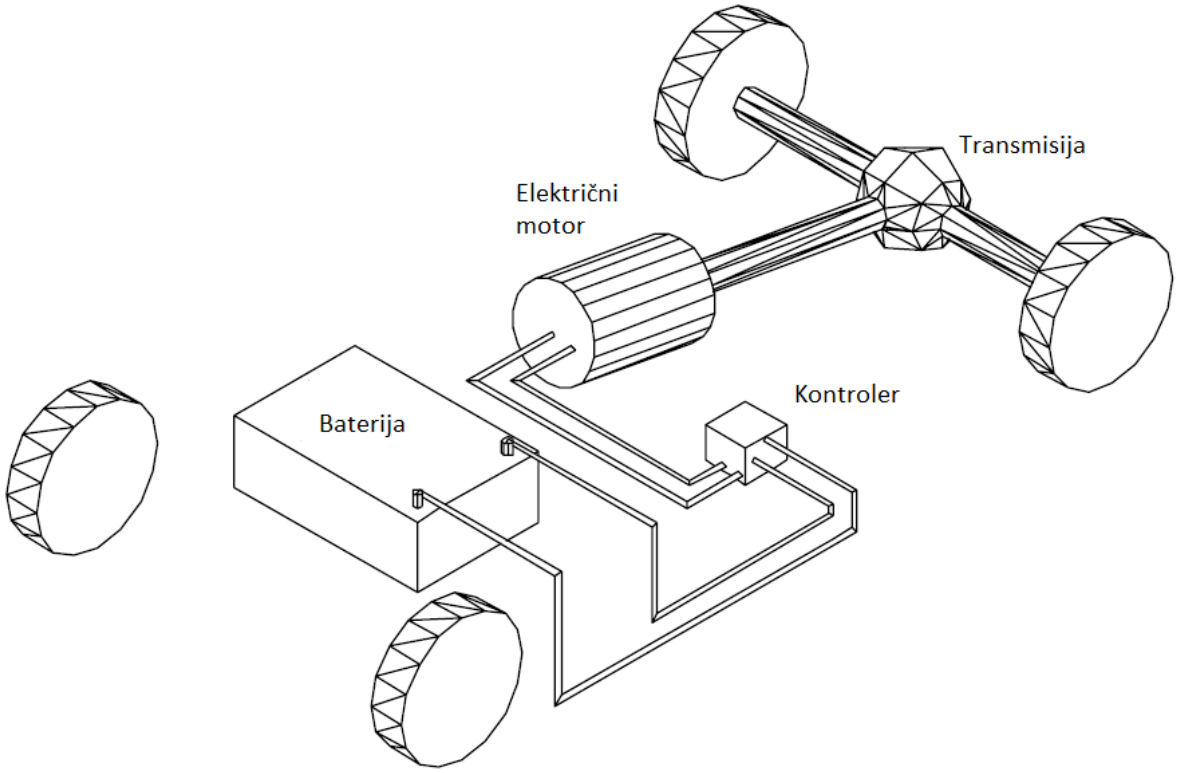
3. Princip rada vozila na električni pogon

Električni automobil je automobil koji se pokreće elektromotorom, koristeći električnu energiju pohranjenu u akumulatoru, ili drugim uređajima za pohranu energije.

Trenutno u svijetu postoji nekoliko različitih vrsta električnih vozila, koje možemo predstaviti kao sljedeće. Prva vrsta električnih vozila su električna vozila s punjivim baterijama. Druga vrsta su hibridna električna vozila, to jest vrsta električnih vozila koja ćemo u bližoj budućnosti najčešće susretati u prometu od svih vrsta električnih vozila. Ona kombiniraju baterije i motor s unutrašnjim izgaranjem. Treći tip vozila su vozila koja koriste neku vrstu goriva za pogonjenje generatora električne energije na vozilu. Kao što su gorive ćelije koje služe za efikasnije stvaranje električne energije. Četvrti tip vozila su vozila koja direktno uzimaju električnu energiju iz strujnog voda kao što su tramvaji i trolejbusevi [2].

Koncept električnog vozila je relativno jednostavan, kao što je i prikazano na slici 4. Vozilo se sastoji od električne baterije za spremanje energije, električnog motora te kontrolera, jedinice za upravljanje sustavima. Kontroler regulira količinu i snagu električne energije poslanu u motor, te samim time i brzinu vozila u kretanju prema naprijed i nazad. Obično su takva vozila opremljena i regenerativnim kočenjem, točnije nekim oblikom rekuperacije energije te usput sami taj sustav pospješuje i potpomaže kočenje. Također neke naprednije varijante kontrolera omogućuju regenerativno kočenje i kod vožnje prema naprijed i kod vožnje prema nazad. Jedan od najvažnijih elemenata električnog vozila je sama baterija koja služi za spremanje energije. Baterija se obično puni iz glavne električne mreže preko utičnice [2]. Kao jedinica za spremanje energije uglavnom se koristi baterija Lithium Ion izvedbe.

Energija iz baterije zatim odlazi prema jedinici za upravljane sustavima. Ta jedinica ima zadaću da, održava razinu energije jednolikom, ne dozvoljana oscilacije u protoku i jačini energije. Također ta jedinica odlučuje koliko je snage potrebno motoru da vozilo obavi određeni zadatak. U većini slučajeva jednica za upravljanje služi i kao pretvarač, pretvara istosmjernu u izmjeničnu struju ili prilagođava jakost struje jer obično baterije i motor rade na različitoj jakosti struje. Nakon što električna energija prođe kontroler odlazi u jedinicu za pokretanje, točnije električni motor, koji tada pretvara predanu električnu energiju u mehaničku energiju i pomoću te energije pokreće vozilo. Elektromotori imaju visoke vrijednosti okretnog momenta preko cijelog spektra okretaja motora. Zbog toga u večini slučajeva nije potrebna ugradnja mjenjačke kutije, što automobile čini lakšima, jedostavnijima i jeftinijima za održavanje. Uz visoki okretni moment, učinkovitost elektromotora znatno prelazi učinkovitost uobičajenih motora s unutrašnjim izgaranjem. Učinkovitost elektromotora se kreće preko devedeset posto dok se vrijednost najučinkovitijih motora s unutrašnjim izgaranjem kreće do trideset posto.



Slika 4. Shema električnog vozila [2]

Na slici 4. prikazana je shema električnog vozila i njegovi osnovni dijelovi. Počevši od lijevog na desno, prvo je na slici prikazana baterija, točnije sustav za pohranu energije. Nakon toga slijede električni kablovi koji spajaju bateriju s kontrolerom, jedinicom za upravljanjem dostave električne energije. Kontroler je dalje kablovima spojen na električni motor koji se može koristiti i kao generator energije kada vozilo koči. Električni motor je nakon toga direktno spojen na pogonsku osovinu putem neke vrste transmisije ili direkno preko hidrodinamičkog pretvarača momenta.

3.1. Baterije električnih vozila

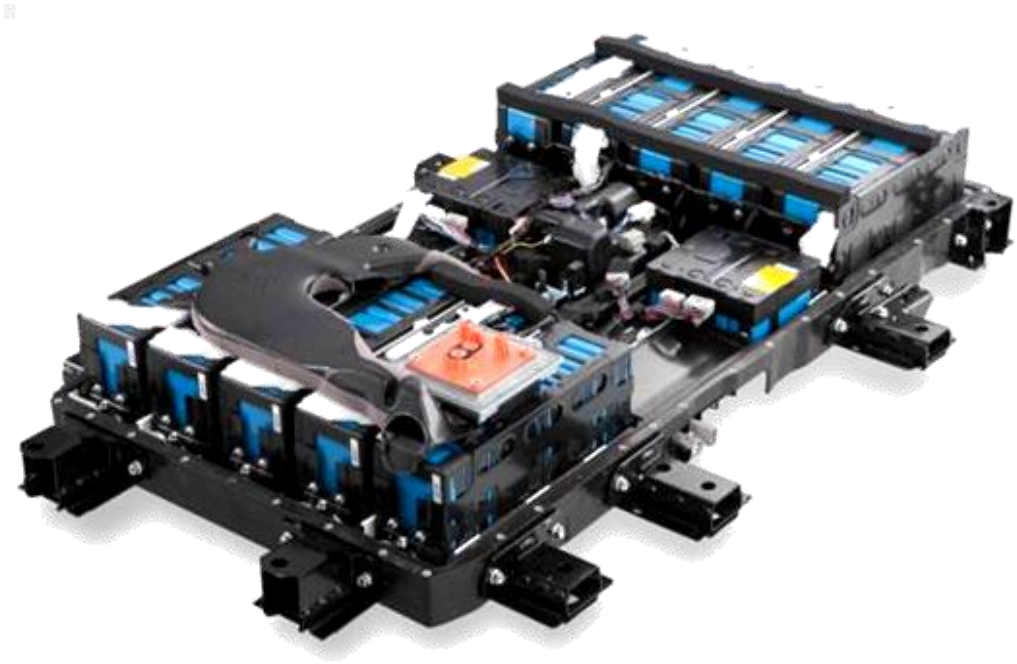
Za potrebe spremanja energije u električnim vozilima dugo su se koristili olovni akumulatori te su njihovi nedostaci, zajedno sa visokom cijenom bilo kakve alternative ograničavali mogućnost razvitka električnih vozila. Prosječno vozilo, koje bi koristilo ovakav način spremanja energije, trebalo bi baterije kapaciteta 40 kilovatsati da bi omogućilo doseg od 300 kilometara te bi takve baterije težile preko 1500 kilograma.

Potaknuti cijenama nafte i zagađenjem okoliša znanstvenici su počeli intenzivnije razvijati baterijske sustave te su time otvorili mogućnost proizvodenje vozila pokretanog isključivo električnom energijom. Najpodobniji su se pokazali sustavi Lithium ionskih (Slika 5.) i Nikal-metal-hibridnih baterija. Potrebne karakteristike bilo kojeg sustava spremanja energije su niska cijena, dugi vijek trajanja (preko tisuću ciklusa punjenja), niska razina samopražnjenja (ispod pet posto kroz mjesec dana) te jednostavno održavanje. Pogonske baterije, prilikom korištenja, funkcioniraju u dosta teškim uvjetima. Moraju moći podnjeti široki raspon temperature (od -30° do +60° stupnjeva celzijusa), udarce, trešnju te krivo korištenje. Također mala težina cijelog sustava je iznimno potrebna za električna i hibridna vozila jer se za pokretanje velike mase troši izrazito puno energije [3].

Trakcijske baterije, baterije koje pokreću električno vozilo, spadaju u grupu baterija "dubokog ciklusa" jer se prazne do gotovo 80 posto svog kapaciteta prije novog punjenja. Nasuprot tome imamo starter baterije koje se nikad ne prazne više od 20 posto. Zbog svojih karakteristika i kapaciteta baterije dubokog ciklusa imaju i druge primjene: spremanje električne energije dobivene solarnim kolektorima, pogon opreme instrumenata na terenu, za uređaje za neprekidno napajanje (opskrba energijom u slučaju nestanka električne energije u elektroenergetskoj mreži) i drugo. Dok starter baterije uglavnom služe za startno pokretanje motora s unutrašnjim izgaranjem ili rasvjetu, trakcijske baterije su namijenjene za pohranjivanje određene električne energije u određenom vremenu [4].

Još jedan dodatni problem baterijskih sustava je degradacija njihovog kapaciteta kroz vijek trajanja , čime se smanjuje i doseg vožnje. Baterija je tako napravljena i testirana kako bi izdržala uobičajeno korištenje vozila. Kao i kod občnih lithium-ion baterija, kapacitet baterije ovisi o uvjetima korištenja te načinu punjena. Nagla ubrazanja i kočenje, iznimne vrućine, potpuno pražnjenje neadekvatno punjenje i slično uzrokuju smanjenje kapaciteta baterija kroz neko vrijeme.

Za minimaliziranje gubitka kapaciteta te reduciranje kvarova baterija postoje neka pravila. Kod uobičajenog korištenja, preporuka je normalno punjenje kućnom strujom. Kod čestog korištenja brzih punjača, svaka dva tjedna trebalo bi normalnim punjenjem napuniti bateriju do kraja. Ne treba dopunjavati bateriju kad je skroz puna. Treba izbjegavati naglo ubrzanje ili kočenje, te treba izbjegavati ostavljanje vozila na suncu.



Slika 5. Pogonska baterija električnog vozila [5]

3.2. Infrastruktura i punjenje električnih vozila

Kao izvor električne energije najčešće se koriste litij-ionske baterije o čijem kapacitetu ovisi autonomnost kretanja električnog vozila, a već danas su skladišni kapaciteti baterija komercijalnih vozila dovoljni da mogu pokriti dnevne potrebe prosječnog korisnika. Proizvođači električnih baterija najavljuju intenzivno povećanje kapaciteta baterija u skoroj budućnosti te se očekuje autonomnost kretanja do 350 kilometara s jednim punjenjem baterija. Očekivano trajanje baterija procjenjuje se na oko sedam do deset godina.

Za razliku od svih ostalih alternativnih goriva, električna vozila zahtijevaju znatno manja ulaganja i napore u razvoj infrastrukture za njihovo punjenje (Slika 2.). Naime, električna energija je dostupna svugdje. U odnosu na postojeći raspored i zastupljenost klasičnih benzinskih postaja za konvencionalna vozila, gustoća zastupljenosti punionica za električna vozila na razini urbanih područja biti će znatno veća.

Problem kod punjenja električnih vozila je u tome što je to znatno duži proces koji može trajati i do tri sata na punionicama kakve su karakteristične za instalaciju u urbanim sredinama (poput javnih parkinga, garaža, trgovačkih centara, kino dvorana, logističkih centara, i dr.). Zbog toga će se u budućnosti za potrebe nadopunjavanja električnih vozila s električnom energijom trebati osigurati znatno veći broj elektro punionica.

Tehnološka dostignuća današnjice omogućavaju punjenje električnog vozila jednakom, pa čak i većom brzinom u odnosu na konvencionalna vozila putem punionica na principu zamjene baterija. Točnije, kada bi vozilo došlo na punionicu, baterija iz tog vozila izvadila bi se i zamjenila punom. S obzirom na njihovu specifičnost, takve punionice zahtijevaju širi konsenzus svjetske automobilske industrije te je za očekivati da će se njihovo moguće masovno korištenje početi odvijati tek iza 2020. godine [6].

U posljednje vrijeme su razvijene i punionice za brzo punjenje putem kojeg se baterije električnih vozila mogu napuniti u roku od 30 minuta. Snage takvih punionica znatno su veće od snage obične kućne punionice, a u distribucijskoj mreži spajaju se na trofaznu razinu napona od 400 volti. Većina punionica podešnih za instalaciju na javnim gradskim površinama i u garažama omogućava srednju brzinu punjenja u trajanju do 3 sata. Takve punionice moguće je spojiti na trofazni priključak 230 volti i 16 ampera, čija se snaga kreće do 11 kilovata [6].

Za očekivati je da će dio vlasnika vozila koji posjeduju vlastite garaže električna vozila puniti kod kuće putem kućnih punionica, koje omogućavaju punjenje baterije vozila u trajanju od 6 do 8 sati. Kućne punionice spajaju se na standardni jednofazni kućni priključak 230V/16 A, čija se snaga kreće od 2,3 do 3,7 kW [6].



Slika 6. Primjer punionice električniih vozila [5]

3.3. Prednosti i nedostaci električnih vozila u prometu

Električni automobili nisu bez mana iako imaju znatne prednosti pred dizelašima ili benzincima. Tehnologija razvitka električnih vozila je u naglom usponu pa se ključne karakteristke takvih vozila poput dosega i dinamičkih svojstava mjenjaju gotovo svakodnevno.

Prednosti električnih vozila se najviše odnose na njihovu efikasnost, čistoću samih vozila te povoljnu cijenu korištenja. Također su prednosti električnih vozila i sljedeće:

1. Električna vozila imaju puno veću učinkovitost od konvencionalnih vozila.
2. Električna struja je sve prisutna i lako se može doći do nje. Automobil se možete puniti kod kuće i na poslu. Sve što treba je povući kabel i utaknuti ga u utičnicu.
3. Električna vozila su gotovo bešumna, što je danas u doba velikog zagađenja bukom od izrazite važnosti.
4. Nema emisija štetnih stakleničkih plinova iz električnih vozila. Što uzrokuje manjom razinom smoga u gradovima i boljom brigom za okoliš.
5. Električni automobili su mnogo lakši za popravak i sastavljanje, imaju mnogo manje pokretnih dijelova pa to zahtjeva manje vremena za održavanje i manja je mogućnost mehaničkog kvara.
6. Ukupno gledano, električni automobili zahtijevaju manje održavanje, što na kraju znači uštedu.
7. Ovisno o državi, čak možete imati i porezne olakšice kod kupnje električnog automobila. Isto se može reći i za cijene osiguranja automobila, koje potencijalno mogu biti niže.
8. Iako elektrane koje proizvode struju koju će koristiti takvi automobili i dalje zagađuju, takvo zagađenje je mnogo lakše kontrolirati nego ono koje nastaje zbog plinova iz automobila na unutarnje izgaranje [7].

Nedostaci električnih vozila se uglavnom baziraju na nedostacima baterije i same infrastrukture, točnije nedostaci su sljedeći:

1. Kratki doseg zbog kapaciteta baterija. Jedno punjenje baterije može trajati od 160 km do 400 km, ovisno o modelu automobila.
2. Punjenje traje od 2,5 do 8 sati, ovisno o modelu. Dužina punjenja varira o jačini struje kojom se vozilo puni.
3. Trenutno još je broj električnih punionica, odnosno "električnih" stanica, nedovoljan za komercijalizaciju električnih vozila, što znači da će se automobili većinom puniti samo kod kuće ili na poslu.
4. Skup popravak ukoliko dođe do kvara baterije
5. Povećana potrošnja elekrične energije [7].

4. Princip rada hibridnih i plug-in hibridnih vozila

Sam naziv hibridno vozilo označava vozilo koje koristi dva različita izvora snage koji se nalaze na samom vozilu. U ovim slučaju hibridno vozilo znači kombinaciju električnog i motora s unutrašnjim izgaranjem. Hibridna vozila možemo podjeliti na dva tipa vozila: hibridna vozila (HEV) i plug-in hibridna vozila (PHEV).

Najkorisniji način eksploatacije hibridnog vozila je kombinacija motora s unutrašnjim izgaranjem i električnih motora koji konstantno povećavaju iskoristivost tog pogonskog sustava. Motor s unutrašnjim izgaranjem reducira negativne karakteristke koje se javljaju kod elektromotora pri velikom broju okretaja, točnije pri velikim brzinama i trenutnom velikom potrebom za isporučivanje snage kao na primjer kod naglih ubrzanja. Trenutno se vozila izrađuju na način da oko pedeset posto snage isporučuje motor s unutrašnjim izgaranjem dok se preostala potrebna snaga dobiva iz elektromotora i baterija, koristeći motor s unutrašnjim izgaranjem kao generator za punjenje baterija kada on nije potreban za pokretanje vozila. Koristeći modernu tehnologiju i elektroničko upravljanje svim sustavima motora, njegova brzina vrtnje i okretni moment mogu biti u potpunosti kontrolirani tako da se minimizira emisija štetnih plinova i potrošnja goriva. Osnovni način rada u hibridnim vozilima je da se pusti motor s unutrašnjim izgaranjem da radi u relativno jakom režimu rada ili da ne radi uopće, budući da se tako maksimizira učinkovitost motora s unutrašnjim izgaranjem [2].

Kod paralelnog hibridnog sustava jedan od značajnijih pokazatelja učinkovitosti bi bio “stupanj hibridizacije [SH]”, to jest postotak snage samog elektromotora u odnosu na postotak snage cjelokupnog sustava.

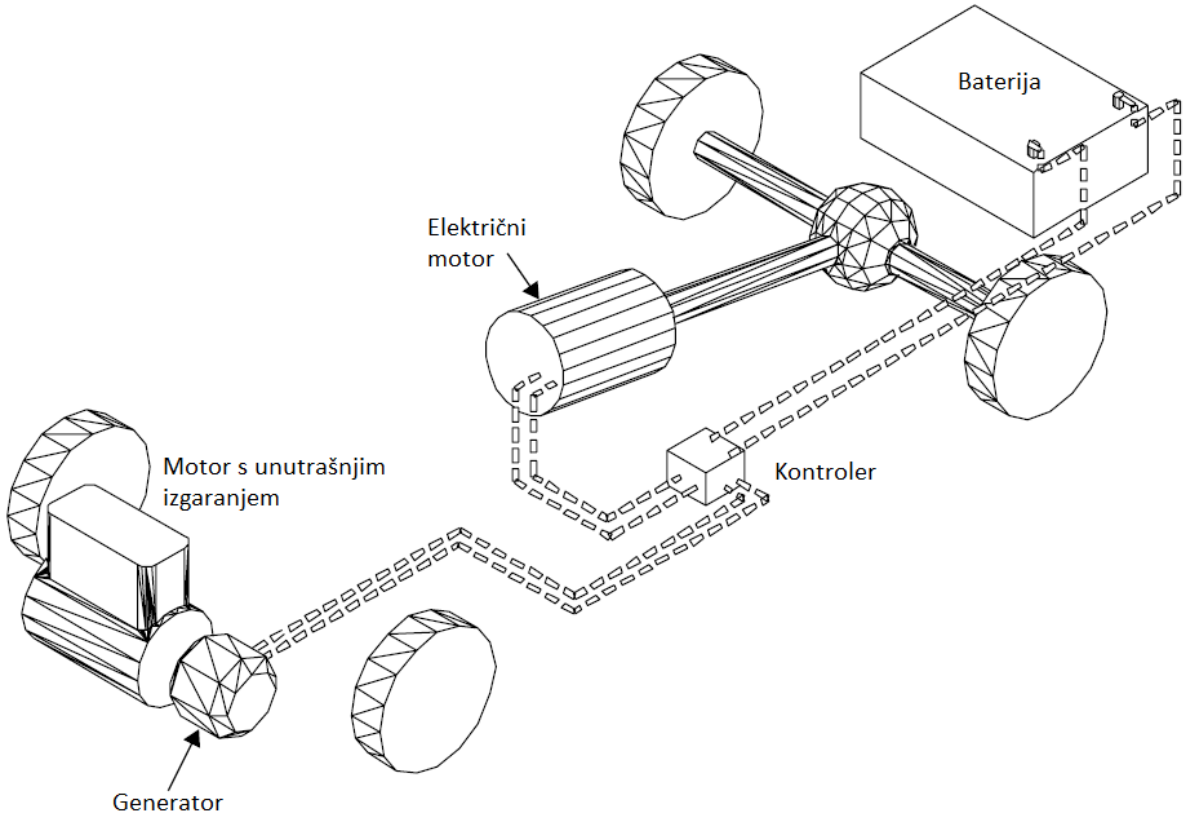
SH = snaga električnog motora/(snaga električnog motora + snaga motora s unutrašnjim izgaranjem)

Sa višim stupnjem hibridizacije, povećava se mogućnost ugradnje manjeg i štedljivijeg motora s unutrašnjim izgaranjem, također takav motor može raditi na višim okretajima i s većim stupnjem iskorištenja njegovih kapaciteta kroz vrijeme njegovog korištenja [2].

4.1. Hibridna vozila

Hibridna vozila konvencionalna su vozila kod kojih se dodavanjem elektromotora i baterija skromnog kapaciteta (načešće NiCd) dio otpadne kinetičke energije preko sustava rekuperativnog kočenja vraća natrag u pogonski sustav i povećava iskoristivost inače konvencionalnog pogona. Ugrađane baterije se ne mogu puniti iz vanjskog izvora, odnosno električne mreže.

Kod nekih vrsta kao što su plug-in hibridna vozila motor s unutrašnjim izgaranjem se koristi kao generator električne energije, koja tada pokreće električni motor. Višak energije se sprema u bateriju te se koristi kako bi se poboljšale karakteristike motora kod ubrzanja. Postoje tri vrste hibridnih vozila, serijski i paralelni hibridi te plug in varijanta:

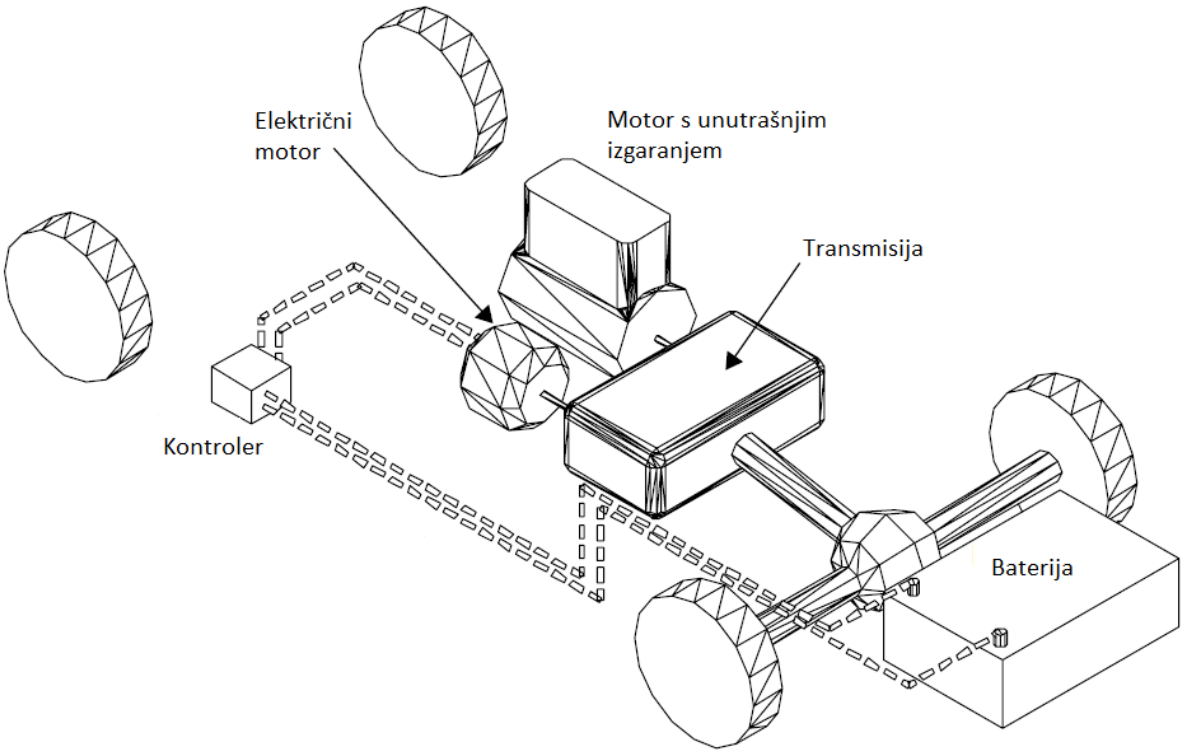


Slika 7. Shema serijskog hibridnog vozila [2]

Na slici 7. prikazana je shema serijskog hibridnog vozila i njegovi sastavni element. Na slici, od lijeva na desno, prvo se uočava motor s unutrašnjim izgaranjem, potom generator koji je direktno vezan na taj motor s unutrašnjim izgaranjem. Generator se električnim kablovima spaja na kontroler koji upravlja isporukom električne energije prema električnom motoru. Na kontroler se, također, sa desne strane spaja baterija. Sa gornje strane na kontroler je spojen električni motor, koji kao i kod električnih vozila može služiti kao generator električne energije dok vozilo koči.

1) Serijski hibrid je potpuno električno pokretano vozilo, elektromotor u potpunosti pokreće vozilo dok motor s unutrašnjim izgaranjem isključivo služi kao generator električne energije. Takva izvedenica hibridnog vozila, jednako kao i u potpunosti električno vozilo, nema potrebu za bilo kakvom izvedenicom mjenjača. Također na serijske hibride nekad se referira kao na električna vozila s produženim dosegom. Ovaj sustav često se viđa u dizel električnim lokomotivama. Također, budući da je motor s unutrašnjim izgaranjem potpuno odvojen od pogonske osovine, on kao generator može raditi na optimalnom broju okretaja, povečavajući tako svoju efikasnost. Zbog ovog tipa sustava, obično se u vozilima može koristiti puno manji i slabiji motor budući da on radi isključivo u najboljem rasponu okretaja za taj motor [2].

2) Paralelni hibrid je vozilo koje koristi motor s unutrašnjim izgaranjem u kombinaciji s električnim motorom za pokretanje vozila. Također, paralelno hibridno vozilo, koristi automatski mjenjač kako bi uskladio rad električnog i motora s unutrašnjim izgaranjem. Neke varijante koriste i planetarni prijenosnik te direktno spajaju električni i motor s unutrašnjim izgaranjem na pogonsku ili jednu od pogonskih osovina. Takvo vozilo može koristiti samo električnu energiju za pokretanje vozila, ili može koristiti samo motor s unutrašnjim izgranjem za pokretanje vozila. Točnije može koristiti samo električnu energiju ili samo fosilno gorivo za pokretanje vozila. Također može funkcionirati kao kombinacija oba sustava. Budući da paralelni hibrid može koristiti regenerativno kočenje i sami motor s unutrašnjim izgaranjem kao generatore električne energije, potrebna je baterija manjeg kapaciteta na samom vozilu što smanjuje cijenu i težinu cijelog sustava [2].



Slika 8. Shema paralelnog hibrida [2]

Na slici 8. prikazana je shema paralelnog hibridnog vozila sa sastavnim dijelovima. S lijeva na desno, prvo se nalazi kontroler koji spaja električni motor i baterije. Potom s lijeve strane vidimo sami električni motor i motor s unutrašnjim izgaranjem koji su direktno spojeni na transmisiju koja potom prenosi okretni moment na pogonsku osovinu.

3) Plug-in hibridno električno vozilo (PHEV) slično je paralelnom hibridnom vozilu samo što koristi veće baterije koje se mogu puniti električnom energijom direktno iz naponske mreže. Motor s unutrašnjim izgaranjem može služiti za povećanje dosega kao generator ili može služiti za pokretanje vozila. Sve vrste hibridnih vozila koriste regenerativno kočenje kao dodatni izvor energije koje povečava efektivnost samog vozila koristeći energiju koja bi inače bila ne iskorištena te se njome nadopunjava baterija [8].

4.2. Plug-in hibridna vozila

Plug-in hibridna električna vozila (PHEV), plug-in vozila ili plug-in hibridi su hibridna električna vozila koja koriste nadopunjive baterije za pohranjivanje energije potrebne za kretanje, a mogu se u potpunosti nadopuniti priključvivanjem vozila na vanjski izvor električne energije (npr. normalna kućna električna utičnica). PHEV posjeduje karakteristike konvencionalnog hibridnog električnog vozila, koristeći električni motor i motor s unutrašnjim izgaranjem te karakteristike potpuno električnog vozila, koristeći električni priključak pomoću kojeg se može spojiti na naponsku mrežu. Većina PHEV vozila na cesti danas su putnička vozila, ali također postoje i PHEV varijante komercijalnih vozila te kombija, buseva, vlakova, motora, skutera i naročito vojnih vozila [9].

Trošak električne energije za pokretanje električnih vozila i plug-in hibrida u električnom modu vožnje procjenjen je na četvrtinu troška pokretanja relevantnih vozila istih karakteristika s motorom s unutrašnjim izgaranjem. Usporedivo s konvencionalnim vozilima, PHEV i električna vozila smanjuju lokalno zagađenje zraka i ovisnost o naftnim derivatima, što je u vrijeme novo nastale naftne krize i astronomskih cijena nafte izrazito povoljna karakteristika. Također uporabom električnih vozila i njihovih raznih varijanti znatno se smanjuje ispuh svih stakleničkih plinova koji dovode do efekta staklenika i globalnog zatopljenja [5].

Ako usporedimo PHEV vozila sa konvencionalnim vozilima, problem smanjenog dosega vožnje ne postoji. Taj problem koji se percipira kao najveći problem električnih vozila rješen je kombinacijom dva različita motora. Prilikom vožnje gradom i općenito vožnje manjim brzinama do 120 km/h vozilo koristi snagu spremnjenu u pogonskim baterijama i sa tom energijom pokreće vozilo. Time dobivamo nekoliko vrlo važnih karakteristika vozila, bešumno se kreće što se u napučenim gradskim avenijama prepunim buke odražava u značajnom smanjenju zagađenja bukom i povećanju kvalitete života, te vozilo ne emitira nikake štetne plinove u najzagađenije i najkritičnije dijelove grada, ponovo povećavajući kvalitetu života građana [5].

Kada potreba za snagom premaši kapacitete koji su mogući zbog korištenja baterija, tada se u vozilu pali motor s unutrašnjim izgaranjem te on ovisno o načinu rada (paralelni ili hibridni) puni baterije ili pokreće vozilo. Kada motor puni baterije, budući da on tada radi na konstantnom i niskom broju okretaja, emisije štetnih plinova i potrošnja goriva svedeni su na minimum. PHEV vozila u kombiniranoj vožnji, kada su pokretani kombinirano električnim sklopom i motorom s unutrašnjim izgaranjem, troše trećinu goriva koja je potreba sličnim konvencionalnim vozilima za isti zadatak, na konkretnom primjeru potrošnja jednog reprezentativnog PHEV vozila[1] kreće se oko 1.8 litara goriva na 100 kilometara puta [9].

[1] Mitsubishi Outlander PHEV, prvo plug-in hibridno SUV vozilo na svijetu

4.3. Prednosti i nedostaci hibridnih i plug-in hibridnih vozila

Plug-in hibridna vozila, po svojim tehničkim karakteristikama, smještena su između električnih i konvencionalnih vozila. Zbog kombinacije dva različita sustava neke njihove prednosti i mane su identične izvornim sustavima.

Prednosti hibridnih i plug-in hidridnih vozila su sljedeći:

1. Manja potrošnja nego kod konvencionalnih vozila.
2. Ekološki prihvatljiviji od konvencionalnih vozila zbog manje emisije štetnih plinova.
3. Ovisno o državi, postoje određene porezne olakšice kod kupnje hibridnog automobila. Također cijene osiguranja i registracije su niže.
4. Zbog manje goriva potrebnog za pokretanje hibridnog vozila, smanjuju ovisnost o naftnim derivatima, što pomaže u snižavanju cijene derivata.
5. Rekuperacija energije kod kočenja.
6. Zbog dizanja cijene naftnih derivata, hibridna vozila imaju višu preprodajnu cijenu kao rabljena, točnije duže drže vrijednost [10].

Nedostaci hibridnih i plug-in hidridnih vozila uglavnom se vežu uz kompleksnost samih sustava te uz njihovu cijenu, točnije nedostaci su:

1. Manja snaga vozila. Iako je kombinirana snaga električnog i konvencionalnog motora je impresivna, vozilo obično koristi samo jedan od ta dva izvora.
2. Viša prodajna cijena od konvencionalnih vozila.
3. Veća težina i smanjen kapacitet unutrašnjosti zbog baterijskoh sustava.
4. Slabija upravljivost zbog veće težine.
5. Mogućnost veće cijene održavanja zbog kompleksnosti sustava.
6. Struja visokog napona se nalazi na vozilu [10].

5. Princip rada vozila na vodik

Vozilo na vodik je vozilo koje koristi vodik kao pogonsko gorivo. Pretvarači energije na takvim vozilima koriste energiju vodika i pretvaraju ga u mehaničku energiju na jedan od dva načina. Prvi način je korišetenje vodika direktno u motorima s unutrašnjim izgaranjem, a drugi je korištenje reakcije vodika i kisika u gorivim ćelijama za proizvodnju električne energije.

5.1. Vodikova vozila sa unutrašnjim izgaranjem

Vozila s vodikovim motrorima s unutrašnjim izgaranjem razliku se od automobila s vodikovim gorivim ćelijama. Motori s unutrašnjim izgaranjem vodika imaju gotovo identičnu konsrukciju kao vozila koja koriste naftne derivate, točnije ne razlikuju se puno od klasičnih motora s unutanjim izgaranjem koji se pogone fosilnim gorivima. Vodikovi motori koriste vodik na isti način kao što obični motori koriste fosilna goriva. Vodik se dovodi do komore s klipom i tamo se pali, dok se eksplozija koristi za guranje klipa vakum koji nastane nakon eksplozije koristi se za privlačenje klipa.

Vozila opremljena motorom s unutrašnjim izgaranjem koje koriste vodik kao gorivo predstavljaju sličnu alternativu kao i vodikova vozila s gorivim ćelijama, to jest smanjuju ovisnost o fosilnim gorivima, te imaju znatno sniženu emisiju štetnih plinova. Ovakav tip vozila može se gledati kao korak koji bi premostio prepreke između trenutne situacije i moguće buduće vodikove ekonomije [11].

Vodikova vozila s unutrašnjim izgaranjem većinom se svrstavaju u sredinu između efikasnije varijante vodikovih vozila s gorivim ćelijama i standarnih vozila s unutrašnjim izgaranjem [10].

Također, vodikova vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem još uvijek su većinom samo prototipovi, izuzev BMW-ove serije 7. Unatoč tome, kompanije koje se bave istraživanjem ovakve vrste pogona (ponajprije BMW i Ford) ostvarile su znatan uspijeh te postoji šansa za komercijalizaciju ovakvih vozila kroz par godina [11].

5.2. Vodikova vozila s gorivim ćelijama

Gorive ćelije i motori s unutrašnjim izgaranjem imaju jednu sličnost, oboje koriste gorivo koje je spremljeno izvan samog pretvarača u spremniku na vozilu. Za razliku od kontroliranih kemijskih reakcija u baterijama i gorivim ćelijama, sagorjevanje naftnih derivata se odvija u seriji nekontroliranih kemijskih reakcija koje proizvode mnoge neželjene nusprodukte. Dušikovi oksidi, suporovi oksidi i razne čestice su samo neki od neželjenih produkata sagorjevanja koji negativno utječu na okoliš [12].

Nekontrolirano sagorijevanje naftnih derivata ima još jednu negativnu stranu, smanjuje efikasnost pretvorbe energije u motoru iz kemijske u mehaničku. Konvencionalni motor s unutrašnjim izgaranjem koristi manje od dvadeset posto za koristan rad, što znači da je preko osamdeset posto goriva neiskorišteno. Suprotnosti tome, goriva ćelija pretvara preko šezdeset posto energije iz vodika u koristan, mehanički rad. Samim time se nameče zaključak da je električno vozilo s gorivim ćelijama potencijalno tri puta učinkovitije od konvencionalnog motora s unutrašnjim izgaranjem i to postiže bez gotovo ikakvih zagađenja.

Električna vozila koja koriste gorive ćelije uspjevaju iskoristiti prednosti i motora s unutrašnjim izgaranjem i baterija u električnim vozilima. Prednosti korištenja ovakvog tipa motora je u tome što je potrebno malo sredstava da bi se vozila na fosilna goriva preradila na vodik.

Vozila sa pogonom na gorive ćelije (gorivi članci) rade tako što stvaraju električnu energiju u kemijskoj reakciji gorenja vodika i kisika iz atmosfere u gorivoj ćeliji. Gorivi članci su naprave koje pretvaraju kemijsku u električnu energiju. Razlikuju se od baterija po tome što se proces pretvorbe odvija sve dotle dok se u članak dovode gorivo i oksidirajuće sredstvo, dok je baterija napravljena s ograničenom količinom kemikalija, te je ispražnjena kada sve kemikalije izreagiraju.

Goriva ćelija je uređaj koji generira električnu energiju kroz kemijske reakcije. Svaka goriva ćelija ima dvije elektrode, jednu pozitivnu i jednu negativnu, koje se nazivaju katoda i anoda. Na njima se odvija reakcija koja generira električnu energiju [13].

U svakoj gorivoj ćeliji također se nalazi elektrolit i katalizator koji ubrzava kemijske reakcije na elektrodama. Elektrolit je tanka membrana izrađena od posebnog polimerskog sloja i samo protoni mogu proći kroz njega te je njegova uloga da prenosi nabijene čestice s jedne elektrode na drugu [13].

Vodik je samo po sebi izvrsno gorivo, ali gorive ćelije za svoj rad zahtjevaju i prisustvo kisika. Jedna od glavnih pozitivnih karakteristika gorivih ćelija je da proizvode električnu energije s iznimno malo štetnih nusproizvoda. Velika većina vodika i kisika koji se koriste za generiranje električne energije u konačnici reagiraju međusobno i stvaraju u potpunosti bezopasan nusproizvod, vodu [13].

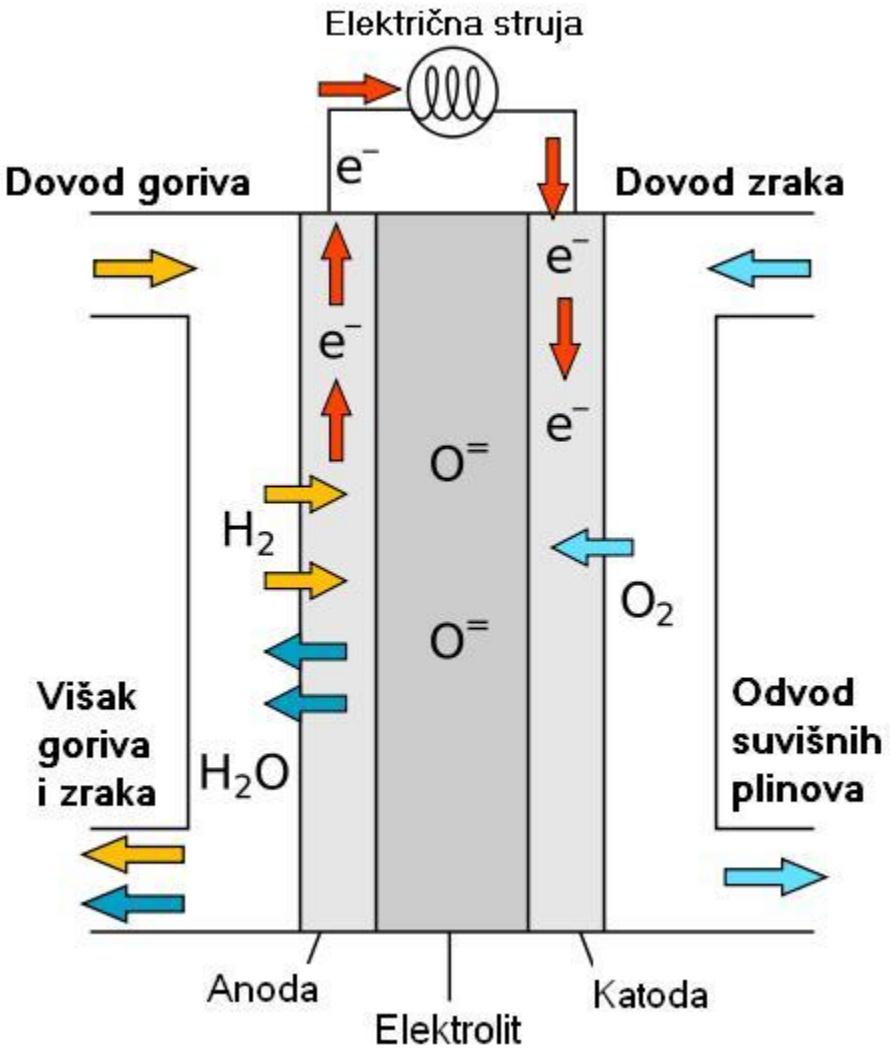
Samo jedna goriva ćelija proizvodi relativno malu količinu istosmjerne struje (DC). U praksi, veći broj gorivih ćelija se slaže zajedno te one tvore skup, ali je princip rada, tj. generiranje električne energije identičano radilo se o ćeliji ili skupu ćelija [13]. Zadaća gorive ćelije je generiranje električne energije koja može biti usmjerena izvan same ćelije za neki određeni rad, kao što je u ovom slučaju pokretanje električnog motora [14].

Kemijska reakcija koja stvara električnu energiju ključni je dio rada gorive ćelije. Postoje više vrsta gorivih ćelija te postoje neke razlike između njih ali u globalu je princip isti. Vodikovi atomi ulaze u gorivu ćeliju prema anodi gdje se uz pomoć kemijske reakcije odvaja elektron iz atoma vodika. Ti atomi vodika se u tom procesu ioniziraju te postaju pozitivno nabijeni. Negativno nabijeni elektroni, koji su odvojeni na anodi, tvore električnu struju koja onda vrši potrebni rad [14].

Kisik ulazi u gorivu ćeliju sa strane katode te se tamo kombinira s elektronima koji se vraćaju iz strujnog kruga i vodikovim ionima koji su prošli kroz elektrolit s anode. Elektrolit ovdje ima ključnu ulogu. On mora dopustiti prolaz samo određenih iona između katode i anode. Ako bi došlo do prolaza slobodnih elektrona ili bilo kojih drugih čestica, oni bi poremetili odvijanje potrebne kemijske reakcije [14].

U bilo kojoj vrsti gorive ćelije, reakcija vodika i kisika tvori vodu. Dokle god se dodaje novo gorivo u sustav, goriva ćelija je u mogućnosti stvarati električnu energiju. Još jedna velika prednost gorivih ćelija je u tome što one stvaraju električnu energiju putem kemijske reakcije, umjesto izgaranjem te njih ne ograničavaju zakoni termodinamike na isti način na koji su ograničeni motori s unutrašnjim izgaranjem. Zbog toga su gorive ćelije učinkovitije u izvlačenju energije iz goriva. Toplina koja se oslobađa prilikom rada gorive ćelije može se iskoristiti i upotrijebiti za generiranje energije, čime se dodatno povećava efikasnost cijelog sustava [14]. Način funkcioniranja gorive ćelije prikazan je na slici 9.. Iako je ovdje riječ o jednom jedostavnom modelu, ovaj bazični način funkcionirana gorive ćelije je referentan za sve vrste, bez obzira na gorivo i kompleksnost same ćelije.

Goriva ćelija funkcionira na sličan način kao punjiva baterija. Gorive ćelije i baterije su uređaji koji generiraju električnu energiju kroz kemijske reakcije. Te kemijske reakcije u baterijama i gorivim ćelijama su u potpunosti kontrolirane i ne emitiraju gotovo nikakve štetne nusprodukte. Razlika između te dvije tehnologije leži u načinu spremanja goriva. Baterije pretvaraju točno određeno spremljenu količinu kemijskih spojeva u električnu energiju. Kemijski spojevi koji se troše u procesu eksploatacije baterije regeneriraju se prilikom punjenja baterije. Potpuno suprotno od toga, goriva ćelija pretvara kemijske spojeve koji su spremljeni izvan same ćelije u električnu energiju. Kemijski spoj koji tvori električnu energiju je vodik koji je spremnjen u spremniku na samom vozilu [12].



Slika 9. Način rada gorive ćelije [15]

Vozila s gorivim ćelijama imaju znatno veći doseg i niže vrijeme punjenja u odnosu na usporediva električna vozila, također vodikova vozila su u mogućnosti prijeći najveći broj kilometara u odnosu na iskorištenu količinu goriva. Druga strana je u tome što je samo mali broj vodikovih vozila dostupan na tržištu, te nisu uopće dostupni kao rabljena vozila. Slično tome je i infrastruktura za punjenje vodikom koja je praktički nepostojeća izvan Kalifornije. Generalni konsenzus u stručnim krugovima je taj da se mora proširititi infrastruktura za punjenje vodikovih vozila te da bi tek onda moglo doći do povećanja broja vodikovih vozila u prometu što iziskuje velike početne troškove za komercijalizaciju takvog tipa vozila [16].

Vodik se može proizvoditi na nekoliko različitih načina koji variraju od rasplinjavanja ugljena, reformiranja prirodnog plina, elektrolize koristeći solarnu energiju ili energiju vjetra pa sve do direktne disolacije u nuklearnim reakcijama. Koristeći vodik za pokredatenje vozila dobiven iz navedenih izvora rezultira ili vrlo malom ili nultom emisijom ugljičnog dioksida. To otvara mogućnost pogonjenja većine prometnog sektora na energiji koja je dobivena iz resurasa s minimalnim udjelom ugljika, uvelike pomažući reduciranju emisije štetnih plinova i ovisnosti o naftnim derivatima [11].

Razumjevanje osnovnih tehnologija koje pokreću vozila je prvi korak za usporedbu različitih tipova vozila. Električna vozila, vodikova vozila s gorivim ćelijama te vozila s unutrašnjim izgaranjem su pogonjena na potpuno različit način, s potpuno različitim tehnologijama:

- Električna vozila pogonjena su energijom iz punjivih baterija
- Vozila s gorivim ćelijama primarno ovise o tim gorivim ćelijama i reakcijama unutar njih
- Vozila s unutrašnjim izgaranjem direktno izgaraju goriva [12]

Svako od tih tipova vozima ima svoje prednosti i mane, te se znatno razlikuju po svojoj konstrukciji. U sljedećem poglavlju prikazana je komparativna analiza tih vrsta pogona i kritički osvrt na svaku od njih.

5.3. Prednosti i nedostaci vodikovih vozila

Vozila koja koriste vodik su najslabije razvijeni sustav od svih koje ovaj rad razmatra. Zbog toga još uvijek pate od nekih „dječjih bolesti“ koje bi masovnom proizvodnjom bile znatno reducirane. Sustav vozila na vodik, preko gorivih ćelija ili kao motor s unutrašnjim izgaranjem ima osnovni nedostatak u proizvodnji samog goriva, točnije vodika. Poboljšanjem načina i energetske učinkoviosti tog procesa znatno bi smanjio nedostatke takvog tipa vozila.

Prednosti vozila koja koriste vodik, u gorivim ćelijama ili u motorima s unutrašnjim izgaranjem su sljedeće:

1. Obilje dostupnog goriva, točnije vodik koji je najrasprostranjeniji element u svemiru.
2. Visoka učinkovitost gorivih ćelija u odnosu na konvencionalne motore.
3. Vodikova vozila su gotovo bešumna, što je danas u doba velikog zagađenja bukom od izrazite važnosti.
4. Jedina emisija iz samog vozila je čista voda.
5. Jedostavnost održavanja zbog manjeg broja djelova nego kod konvencionalnih vozila.
6. Životni vijek gorivih ćelija je znatno duži nego kod baterija.
7. Smanjena ovisnost o fosilnom gorivima [17].

Nedostaci vodikovih vozila kao što je već spomenuto najviše se odnose na cijenu i nepostojeću infrastrukturu. Nedostaci su sljedeći:

1. Visoka cijena i energetske potrebe za proizvodnju samog goriva.
2. Visoka cijena samog vozila.
3. Nedostatak infrastrukture za punjenje vodikovih vozila.
4. Eksplozivnost i zapaljivost samog vodika.
5. Potreba za visoko tlačnim spremnicima vodika na samim vozilima.
6. Postojanje visokog napona na vozilima zbog baterija [17].

6. Komparativna analiza alternativnih pogona za cestovna vozila

Komparativna analiza vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem, električnih vozila i vodikovih vozila s gorivim ćelijama temelji se na istraživanju sveučilišta u Michiganu, s njihovog istraživalačkog instituta za promet. Naziv samog istraživanja je: „The relative merits of battery electric and fuel cell vehicles“ [18], točnije prednosti električnih vozila i vozila s gorivim ćelijama. Istraživanje je provedeno u veljači 2016. godine pa su podaci i više nego relevantni. Analiza je temeljena na trenutnim modelima i trenutnom stanju na tržištu, uzimajući u obzir i vozila modelske godine 2016. Također vizualno su predstavljeni najbolji i najlošiji sustavi prema odabranom kriteriju. Budući da se analiza vrši prema američkim standardima i na američkom tržištu, agencije koje provode analize su pod nadzorom vlasti unutar savezne države.

U sljedećem poglavlju razmotrit će se usporedno sve navedene vrste pogona. Uzevši prosjek iz svih kategorija, vozila s unutrašnjim izgaranjem, električna vozila i vodikova vozila s gorivim ćelijama. Uzimamo vozila s gorivim ćelijama jer one predstavljaju veći odmak od vodikovih motora s unutrašnjim izgaranjem i razlike su vidljivije, te se implementacija te vrste tehnologije čini kao bolja opcija. Hibridna vozila se po svojim specifikacijama nameću točno između konvencionalnih i električnih vozila. Ovisi samo u kakvoj su izvedbi i koliki je postotak hibridizacije. Prema postotku hibridizacije određuje se da li su bliže konvencionalnim ili električnim vozilima po svojstvima.

U tablici je pomoću fusnota označen raspon i ciljana skupina kriterija. Fusnuta sedam u tablici označava 2016. modelsku godinu vozila, dok fusnota 8 označava da je podatak izveden iz istraživanja GREET 2015, koristeći osnovne postavke putničkih vozila modelske godine 2015.. Fusnota devet označava da je podatak dobiven iz istraživalačkog programa vlade SAD-a, AFDC-a. Također u tablici su označene vrijednosti na sljedeći način zeleno = najbolje, žuto = srednje, crveno = najgore [18].

Tablica 1. Usporedba vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem (ICE), baterijskih električnh vozila (BEV) i vozila s gorivim ćelijama (FCV)

Kriterij	Trenutni ICE	Električni (BEV)	Gorive ćelije (FCV)
Vrsta goriva	Benzin/Dizel	Električna energija	Vodik
Broj dostupnih modela vozila[7]	287	13	3
Prosjećna potrošnja goriva[7]	10 l / 100 km	2.2 l / 100 km	4 l / 100 km
Raspon potrošnje goriva[7]	4.7 - 20 l / 100 km	2 - 2.8 l / 100 km	3.5 - 4.7 l / 100 km
Učinkovitost po pređenom putu	0.10 $	0.04 $	0.09 $
"*Well-to-wheels*" emisija (g/mi)[8]	356 - 409	214	260 - 364
"*Well-to-wheels*" potrošnja goriva (BTU/mi)[8]	3791 - 4359	54	27 - 67
Doseg (prosjek)[7]	672 km	177 km	465 km
Doseg (min - max)[7]	450 - 1000 km	99 - 413 km	400 - 500 km
Vrijeme za nadopunu	5 min	20 - 30 min (DC punjač) 3.5 - 12 h (AC punjač)	5 - 30 min
Visoki napon	Ne	Da	Da
Visoki tlak	Ne	Ne	Da
Dostupnost kvalificiranih mehaničara	Da	Ograničeno	Ograničeno
Dostupnost kvalificiranih osoba za hitne slučajeve	Da	Da	Ograničeno
Održavanje vozila[9]	-	Niža cijena održavanja od konvencionalnih vozila; moguća zamjena baterije kroz životni ciklus vozila	Niža cijena održavanja od konvencionalnih vozila; Visokotlačni spremnik zahtjeva češće inspekcije i održavanje

Izvor: [18]

Prva bitna stvar kod potrošača je izbor i raspon modela na tržištu jer on uvjetuje bolju cijenu, bolju kvalitetu i bolje prilagođeno vozilo osobnim potrebama potrošača. U ovoj kategoriji znatnu prednost imaju vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem jer se trenutno nalazi oko 300 različitih modela koji su dostupni za kupnju. Sljedeća po brojnosti su električna vozila kojih trenutno na tržištu ima 13 različitih modela, ne uključujući hibridna vozila. Sve veće automobilske marke su počele u svoju gamu proizvoda uvrštavati ekološka, električna ili hibridna vozila pa se njihov broj znatno povećao kroz prošlih par godina. Iako mnogi proizvođači istražuju i opciju gorivih ćelija u komercijalnim vozilima, trenutno ih je samo 3 dostupno na tržištu. Zbog malog broja modela na raspolaganju i još nepostojeće infrastrukture za nadopunjavanje vodika, barem u Hrvatskoj, vozila s gorivim ćelijama imaju znatan nedostatak već u početnoj fazi razmatranja kod potrošača.

Sljedeće područje usporedbe je prosječna potrošnja vozila. Ovo je jedno od najbitnijih pokazatelja efikasnosti ugrađenog sklopa i trenutnih mogućnosti određenog tipa vozila. Obzirom da električna i vodikova vozila ne koriste naftne derivate za pokretanje svojim motora, dolazi se do prvog problema kod uspordbe. Zbog toga uzeti će se prosječna potrošnja električne energije kod električnih vozila i prosječna potrošnja vodika u gorivim ćelijama te ih pretvoriti u ekvivalent potrošnje vozila s unutrašnjim izgaranjem, točnije koliko bi u prosjeku takva vozila trošila benzina na stotinu kilometara. U obzir se uzimaju samo vozila proizvodnje 2016. godine, te će se gledati mješovita vožnja uključujući i gradsku i izvangradsku vožnju, točnije otvorenu cestu gdje standardna vozila s unutrašnjim izgaranjem imaju određenu prednost zbog ugrađenih mjenjača. Prosječna potrošnja vozila s unutrašnjim izgaranjem se kreće oko 10 litara na 100 kilometara, što je znatno niže nego kod starijih modela jer se svi proizvođači okreću efikasnijim i manjim motorima koji smanjuju karbonski otisak takvih vozila. Kada se pretvori potrošnja električnih vozila u beznin, dolazimo do brojke od 2.2 litre na 100 kilometara, što je 5 puta niže od usporedivog vozila s unutrašnjim izgaranjem. Također ovdje treba uzeti u obzir i mogućnost regenerativnog kočenja kod takvih vozila što im dodatno povećava efikasnost. Vodikova vozila s gorivim ćelijama imaju potrošnju od 4 litre na 100 kilometara pa ih to svrstava u sredinu ove usporedbe. Njihova potrošnja je znatno veća od usporedivih električnih vozila, ali također i više nego duplo manja od vozila s unutrašnjim izgaranjem. Ovdje dolazi u obzir i sama cijena vodika, ali to je pokriveno u sljedećem kriteriju.

Budući da se kod vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem radi o velikom rasponu vozila, uvršten je i podatak od najmanje do najveće prosjećne potrošnje koji iznosi od najmanjih prosječnih 4.7 litara na 100 kilometara kod najnovijih konstrukcija motora kao što su Volkswagenovi dizelski najnoviji agregati ili Mitsubishijev MIVEC benzinski motori. Također zbog velikog broja SUV vozila u prometu treba se uzeti u obzir i druga krajnost potrošnje koja se kreće do 20 litara na 100 kilimetara.

Kod električnih vozila i vozila s gorivim ćelijama ta odstupanja su znatno manja što zbog manjeg broja modela, što zbog sve rastuće suradnje proizvođača kod konstruiranja novih modela pa se oni u pogonskom smislu previše ne razlikuju. Kod električnih vozila raspon potrošnje se kreće od ispod 2 litre pa do 2.8 litara na 100 km kod Teslinog X modela. Vozila s gorivim ćelijama se kreću od 3.5 litara do 4.7 litara na 100 kilometara te se ponovo svrstavaju u sredinu između konvencionalnih i električnih vozila.

Sljedeće područje gleda cijenu određenog derivata ili energije po pređenoj udaljenosti puta. Budući da je ovo istraživanje proizvedeno od strane američkog prometnog istraživačkog instituta Michigan, sljedeće veličine su u imperijalnom sustavu mjera[2]. Također treba uzeti u obzir da je cijena benzinskog goriva znatno niža od cijene vodika. U ovom segmentu uspoređuje se sama cijena korištenja takvog vozila. Proces eksploatacije naftnih derivata je toliko dobro usavršen da je njegova cijena izrazito niska ako se promotri potpuni logistički proces koji stoji iza cijelog susava. Na suprotnoj strani toga su električna i vozila s gorivim ćelijama čija infrastruktura još nije ni blizu razvijena, zbog toga u nekoj bližoj budućnosti očekujemo promjenu ovog segmenta kada se razviju bolje metode elektrolize vodika ili kada se poveća količina električne energije koja se dobiva iz obnovljivih izvora energije.

Trenutna cijena po udaljenosti kretanja vozila s unutrašnjim izgaranjem je 0.10$, dok je kod električnih vozila to znatno niže 0.04$, a kod gorivih ćelija cijena se opet penje na 0.09$ po prijeđenom putu. Iako se razlika između vodikovih vozila i klasičnih vozila čini izrazito mala, kada se uzme u obzir veličina prometnog tržišta od milijarde vozila dolazi se do znatnih razlika. Ovdje se ponovo električna vozila nameću kao najbolja opcija, koja je i više nego dvostruko jeftinija za korištenje, ostavljajući daleko iza sebe i konvencionalna vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem i vozila s gorivim ćelijama.

Kada se govori o emisiji štetnih plinova nekog vozila, treba se uzeti u obzir i emisija plinova koja je emitirana u samoj proizvodnji određenog vozila. Prema ovoj statistici još ne postoje vozila nulte emisije štetnih plinova. Upravo to nam pokazuje sljedeći wells-to-wheels kriterij. Wells-to-wheels prevedeno na Hrvatski znači od izvora do kotača, točnije, ovaj kriterij uzima u obzir i emisije štetnih plinova koje se generiraju kroz produkciju i kroz distribuciju goriva. Pomoću ovog kriterija moguće je pratiti emisiju štetnih plinova vozila kroz cjelokupni životni ciklus, od materijala i energije potrebnih za proizvodnju goriva pa sve do direktnih emisija iz samih vozila. Zbog ovog kriterija puno je lakše usporediti električna i vodikova vozila s konvencionalnim vozilima s motorom s unutrašnjim izgaranjem. Na primjer, električna vozila sama po sebi ne emitiraju nikakve štetne plinove, ali sama električna energija koja ih pokreće dobivena je uz nusprodukt emisije određene količine štetnih plinova. Kriterij wells-to-wheels prati emisiju štetnih plinova u dvije faze: od izvora do crpke i od crpke do same emisije vozila.

[2] 1 milja = 1.609 kilometara

Prva faza počine s dobavljanjem sirovina za samo gorivo, preko same produkcije goriva i završava s gorivom dostupnim na samoj crpki za nadopunjavanje. U drugoj fazi se razmatra samo korištenje vozila. *Well-to-wheel* kriterij se može gledati kroz dva pokazatelja, prvi bi bio emisija štetnih plinova emitiranih na određenoj udaljenosti prijeđenog puta proizvodnog procesa, dok bi drugi bio utrošak energije, to jest naftnih derivata, na istom prijeđenom putu. Oba kriterija su izrazito korisni pokazatelji učinkovitosti i efikasnosti cijelog sustava proizvodnje i distribucije. Prvi od dva dijela *well-to-wheel* kriterija, kao što je već spomenuto je emisija štetnih plinova po pređenom putu vozila i taj kriterij ponovo pokazuje vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem kao najgoru opciju jer ona opet imaju izrazito negativne rezultate usporedivo sa električnim i hibridnim vozilima. Vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem u prosjeku emitiraju od 356 do 409 grama ugljičnog dioksida po prijeđenoj udaljenosti, dok je to kod električnih vozila 214 grama, a kod vozila s gorovim ćelijama od 260 do 364 grama. Budući da se većina današnje električne energije većinom dobiva iz fosilnih goriva poput ugljena, očekuje se znatan pad vrijednosti ovog kriterija u bližoj budućnosti jer se i proizvođači električne energije sve više okreču prema obnovljivim izvorima kao što su solarna energija, energija vjetra i hidroenergija. Također fotonaponske ćelije koje se koriste za pretvarnje sunčeve energije u električnu energiju imaju izraziti potencijal za napredak i povećanje korisnosti.

Drugi *well-to-wheel* kriterij govori o utrošenoj energiji, to jest utrošenoj količini naftnih derivata prema prijeđenoj udaljenosti. Mjerna jedinica koja se ovdje koristi je BTU/mi. BTU je oznaka za British termal unit, točnije jedinica koja pokazuje količinu rada jednaku 1055 joula. Količina utrošene energije po prijeđenoj udaljenosti za motor s unutrašnjim izgaranjem je od 3791 do 4359 jedinica, dok je za električna vozila samo 54. Možda iznenađujući podatak da vozila s gorovim ćelijama imaju još niži utrošak energije od električnih vozila, točnije od 27 do 67 jedinica. To se na prvu čini kao iznenađenje, ali se razmatranjem efikasnosti same gorive ćelije i električnog motora, dobivaju se upravo te brojke. U ovom kriteriju se otkriva razina rastrošnosti tipičnog procesa dobivanja naftnih derivata i neefikasnosti motora s unutrašnjim izgaranjem.

Unatoč svim ovim nedostacima, klasična vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem imaju i nekih određenih prednosti. Kroz preko stotinu godina konstantnog razvijanja i usavršavanja samih vozila i infrastrukture postignuti su znatni rezultati. Električna vozila te još više vozila s gorivim ćelijama se intenzivno razvijaju tek kroz zadnjih par godina, točnije na razini kao konvencionalna vozila pa je već i sama mogućnost usporedbe izrazito dobar znak kvalitete takvih sustava. Kroz sljedeće kriterije pokazuje se umreženost i kompatibilnost konvencionalnih vozila u današnji životni standard i ti kriteriji služe alternativnim vrstama pogona kao cilj i usmjerenje za napredak.

Prvi od tih kriterija je prosječni doseg vozila. To je izrazito bitan kriterij kada niste u mogućnosti nadopunjavati vozilo na konvencionalnim crpkama. Prosječni doseg vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem je 672 kilometra, što rijetko tko od potrošača iskorištava, ali je bitan uvijet kod odabira vozila. Doseg električnih vozila kao i vrijeme punjenja su njihova dva najveća nedostatka. Prosjećni doseg današnjeg električnog vozila je 177 kilometara, što je za gradsku vožnju i pokrivanje dnevnih potreba više nego dovoljno, ali ograničava mogućnost putovanja jer su izrazito vezani za moguća mjesta punjenja. Kod vozila s gorivim ćelijama doseg je nešto veći, točnije 465 kilometara što bi uz dostatnu infrastrukturu bilo više nego dovoljno za svačije potrebe. Također vozila s gorivim ćelijama nisu ograničena veličinom baterije kao električna vozila nego veličinom spremnika goriva kao i klasična vozila.

Sljedeći kriterij je minimalan i maksimalan doseg kroz paletu ponuđenih vozila na tržištu, što ponovo ne predstavlja problem za klasična vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem jer se on kreće od minimalno petstotinjak kilometara pa sve do preko tisuću kilometara. Kod električnih vozila je drugačija situacija. Budući da je doseg električnog vozila direktno ograničen kapacitetom baterije, koja je najskuplji i najteži dio samog vozila, mnogi su proizvođači radi zadržavanja cjenovne konkurentnosti proizveli vozila s malim kapacitetom baterija te samim time i kraćim dosegom. Električna vozila mogu imati i veći doseg kao što pokazuje Tesla Motors. Doseg njihovih modela, ovisno o načinu vožnje, kreće se između 300 i 400 kilometara, ali treba uzeti u obzir da su takva vozila skuplja i u nedostatku brzih punjača, punjenje vozila na kućnoj utičnici može trajati i do 48 sati. Doseg električnih vozila se kreće od stotinjak pa sve do 400 kilometara za već spomenutu Teslu. Kod vozila s gorivim ćelijama situacija je slična onoj s konvencionalnim vozilima, točnije doseg takvih vozila je ponajviše ograničen infrastrukturom punjenja jer sama vozila imaju dovoljan doseg za sve potrebe potrošača. On se kreće od 400 do 500 kilometara.

Kao što je već navedeno, jedan od glavnih problema električnih vozila je sama nadopuna baterije. Dok se klasična vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem nadopune za svega par minuta na benzinskoj postaji, električna vozila uz brze punjače, koji se cijenovno kreću kao i sami automobili, napune se za najbrže pola sata. Dok uz konvencionalni, spori način punjenja koji je bolji za ispravnost i rad baterije, punjenje traje minimalno od 4 do 8 sati. Za vozila s gorivim ćelijama ponovo vrijedi ista stvar kao i za konvencionalna vozila. Točnije njih je samo potrebno nadopuniti, a postupak ne traje puno duže nego kod konvencionalnih vozila, od 5 pa maksimalno do 30 minuta. Ovdje ponovo problem predstavlja nepostojeća infrastruktura, ali sama vozila ne predstavljaju problem.

Još jedna prednost vozila s unutrašnjim izgaranjem je ta da kod njih nema opasnosti od visokog napona ili pritiska. Za održavanje i popravak električnih i hibridnih vozila potrebna je edukacija tehničara. Također zbog navedenog visokog napona kod i električnih i vozila s gorivim ćelijama, te visokog tlaka kod vodikovih vozila postoji veća opasnost kod samog popravka. Za električna vozila nužno je i postojanje baterijskog centra, gdje se popravljaju i odlažu baterije. Osim samih mehaničara, potreban je i edukacija osoba odgovornih za hitne slučajeve poput vatrogasaca ili djelatnika hitne pomoći, jer u slučaju neizbježne nesreće postupak je drugačiji nego kod konvencionalnih vozila.

Dok električna, hibridna i vozila s gorivim ćelijama imaju svoje nedostatke što se tiče održavanja i popravaka, oni također imaju i neke prednosti. Primjerice kod električnih vozila motor se sastoji od samo 2 dijela, rotora i statora, nije potrebna ugradnja transmisije niti spojke, cijelog sustava nauljavalja i slično. Cijela cijena održavanja električnog vozila je znatno niža od održavanja konvencionalnog vozila. Jedino što bi moglo predstavljati problem je zamjena baterije nakon njezinog životnog ciklusa. Iako su i tu proizvođači već pronašli neka rješenja poput segmentiranih baterija gdje se mjenja samo jedan od desetak segmenata koji se pokvario i kojem je pao kapacitet što znatno smanjuje troškove. Kod vozila s gorivim ćelijama također je održavanje jeftinije nego kod konvencionalnih vozila, samo što se kod njih mora povećati broj pregleda na sustavu za stlačivanje vodika.

Ovo su samo neki od kriterija na koje treba obratiti pažnju prilikom usporedbe ovakvih vozila, ali i oni već pokazuju prednosti i nedostatke svog tipa vozila. Na primjer vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem su u skoro svim tehničkim aspektima zaostala i alternativa nudi puno efikasnija i bolja rješenja. Također i trenutna situacija s naftom, točnije mogućnosti pomanjkanja iste i neizbježnim rastom cijena nas tjera na promjene, a te promjene su i ekološko prihvatljivije i za čovjeka i za prirodu. Potreban je dodatni financijski napor ako želimo stvoriti neku vrstu vodikove ekonomije pa i da vozila koja koriste vodik kao gorivo postanu komercijalno i cjenovno prihvatljiva. Dok kod električih vozila imamo samu infrastrukturu relativno prilagođenu problem predstavljaju kapacitet i duljina punjenja baterija. Ipak, prema istraživajnu prometnog instituta na sveučilištu Michigan, električna vozila se pokazuju kao bolja alternativa nego vozila s gorivom ćelijom, pobjeđujući i vozila s gorivim ćelijama i konvencionalna vozila u važnim kreiterijima kao što su potrošnja energije, ekološki otisak i cijena po prijeđenom putu.

7. Zaključak

U ovom radu pokazano je da postoje razne alternative konvencionalnim vozilima i svaka od njih ima svoje određene prednosti. Zajedničko im je to da su sve alternative učinkovitije od motora s unutrašnjim izgaranjem, da troše manje energije za pokretanje vozila i da pritom emitiraju znatno manje štenih plinova i čestica. Također pokazano je i da cjenovno nisu toliko nedostupna. Pogotovo ako se uzme u obzir ušteda po prijeđenom putu. Motor s unutrašnjim izgaranjem, prema električnom motoru ili gorivoj ćeliji, izgleda kao relikvija iz prošlosti, ostatak koji puno troši i zagađuje, ali iako su sve te tehnologije postojale i pri počecima prometa pitanje je zbog čega prometom i danas vladaju motori s unutrašnjim izgaranjem.

Temeljem provedene analize, te usporedbom baterijskih električnih vozila i vozila s gorivim ćelijama, pokazano je da električna vozila daleko nadilaze vozila s gorivim ćelijama u svim bitnim segmentima kao što su potrošnja energije, emisija stakleničkih plinova te cijena po pređenom putu. Doseg, koji je najveći nedostatak električnih vozila, ubrzo će se razvitkom novih sustava baterija znatno poboljšati pa će električna i plug-in hibridna vozila postati još isplativija. Ali budućnost električnih, hibridnih i vodikovih vozila se još tek treba ispisati.

Također, neosporiva je činjenica, da trenutno postoji izrazita potreba za vozilima koja su ekološki prihvatljiva. Većina tehnologija koja je potrebna za produkciju i razvoj takvih vozila danas je još uvijek izrazito skupa, ali cijena zbog sve većeg broja zahtjeva pada već zadnjih deset godina. Taj trend u konačnici omogućava sve bolji i kvalitetniji novi proizvod te daljnji razvitak sada već običnih, a ne alternativnih vrsta pogona. Promjenom pogona prometnog sustava prema obnovljivom, efikasnijem, prirodi prihvatljivijem alternativnom pogonskom sustavu je samo pitanje trenutka, a ne daleka budućnost.

8. Literatura

[1] Vajdon, V.: *Tehnika motornih vozila*, Hrvatska obrtnička komora: Pučko otvoreno učilište, Zagreb, 2004.

[2] Larminie, J., Lowry, J.: Electric Vehicle Tehnology Explaned, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, Zapadni Sussex, 2003.

[3] URL: http://www.mpoweruk.com/traction.htm, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[4] URL: http://www.fris.hr/proizvodnja-akumulatora/industrijski-akumulatori/27-trakcijske-baterije.html, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[5] Kondić, B: E-mobilnost u lokalnoj zajednici, izlaganje na Međunarodnoj konferenciji o elektromobilnosti u jugoistočnoj europi; 12. Studenog 2015, Zagreb, Hrvatska.

[6] URL: http://www.solarno.hr/katalog/proizvod/TEKST6/elektricna-vozila-stanice-za-punjenje, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[7] URL: http://eauti.com/prednosti-i-nedostaci-elektrienih-automobila/, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[8] URL: http://www.electroauto.com/info/pollmyth.shtml, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[9] Geringer, B., Hofmann, P.: *Alternative Antrieb,* Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik, Beč, 2015.

[10] URL: http://www.conserve-energy-future.com/advantages-and-disadvantages-of-hybrid-cars.php, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[11] URL: http://environment.yale.edu/gillingham/hydrogenICE.pdf, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[12] URL: http://www.driveclean.ca.gov/Search_and_Explore/Technologies_and_Fuel_Types/Hydrogen_Fuel_Cell.php, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[13] URL: http://americanhistory.si.edu/fuelcells/basics.htm, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[14] URL: http://www.explainthatstuff.com/fuelcells.html, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[15] URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/Shema_SOFC.JPG, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[16] URL: http://www.treehugger.com/cars/are-hydrogen-fuel-cell-cars-realistic-option-compared-battery-electric-vehicles.html, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[17] URL: http://www.conserve-energy-future.com/Advantages_Disadvantages_ HydrogrnEnergy.php, (Pristupljeno kolovoz 2016.)

[18] Schoettle, B., Sivak, M.: The Relative Merits of Battery-Electric Vehicles and Fuel-Cell Vehicles, Transport Research Institute, Michigan, 2016.

Popis slika

Slika 1. Razdioba elemenata motornog vozila.....3

Slika 2. Motor s unutrašnjim izgaranjem.....5

Slika 3. Taktovi motora s unutrašnjim izgaranjem 7

Slika 4. Shema električnog vozila.....9

Slika 5. Pogonska baterija električnog vozila.....11

Slika 6. Primjer punionice električniih vozila.....13

Slika 7. Shema serijskog hibridnog vozila.....18

Slika 8. Shema paralelnog hibrida.....19

Slika 9. Način rada gorive ćelije.....25

Popis tablica

Tablica 1. Usporedba vozila s motorom s unutrašnjim izgaranjem (ICE), baterijskih električnh vozila (BEV) i vozila s gorivim ćelijama(FCV).....29

Popis kratica

DMT Donja mrtva točka

GMT Gornja mrtva točka

GDI (Gasoline direct injection) izravno ubrizgavanje goriva

HEV (Hybrid electric vehicle) hibridno električno vozilo

PHEV (Pluh-in hybrid electric vehicle) plug in hibridno električno vozilo

SH Stupanj hibridizacije

NiCd Nikal kadmij

DC (Direct current) istosmjerna struja

AC (Alternating current) izmjenična struja

ICE (Internal combustion engine) motor s unutrašnjim izgaranjem

BEV (Battery electric vehicle) baterijsko električno vozilo

FVC (Fuel cell vehicle) vozilo s gorivim ćelijama

BTU (British thermal unit) britanska termalna jedinica

AFDC (Aid to Families with Dependent Children) pomoć za obitelji s djecom

MIVEC (Mitsubishi Innovative Valve timing Electronic system) elektronički sustav rada ventila

Prilozi

METAPODACI

Naslov rada: Analiza tehničko eksploatacijskih značajki vozila na alternativni pogon

Student: Luka Međurečan

Mentor: dr. sc. Željko Šarić

Naslov na drugom jeziku (engleski): Analysis of Technical Exploatation Features of Alternative Fuel Vehicles

Povjerenstvo za obranu:

- prof. dr. sc. Goran Zovak predsjednik
- dr. sc. Željko Šarić mentor
- mr. sc. Ivo Jurić član
- izv. prof. dr. sc. Ljupko Šimunović zamjena

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Zavod za gradski promet

Vrsta studija: Sveučilišni

Studij: Promet

Datum obrane završnog rada: 13. rujna 2016.

Napomena: pod datum obrane završnog rada navodi se prvi definirani datum roka obrane.

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 **Analiza tehničko eksploatacijskih značajki vozila na alternativni pogon** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 05.09.2016

(potpis)