

# Analiza eksploatacijskih značajki cestovnih vozila na hibridni pogon

---

**Džambo, Antonija**

**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:119:054929>

*Rights / Prava:* [In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-19**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Antonija Džambo**

**ANALIZA EKSPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI CESTOVNIH VOZLA NA HIBRIDNI  
POGON**

**ZAVRŠNI RAD**

**ZAGREB, rujana, 2016.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**ANALIZA EKSPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI CETOVNIH VOZILA NA HIBRIDNI  
POGON**

**EXPLOITATION ANALYSIS OF FEATURES FOR VEHICLES ON HYBRID  
DRIVE SYSTEM**

Mentor: Prof. dr. sc. Goran Zovak

Student: Antonija Džambo, 0135232592

**ZAGREB, rujan, 2016.**

## Sažetak

Hibridno vozilo je vozilo koje se sastoji od dizelskog ili benzinskog motora s unutarnjim izgaranjem i elektromotora gdje se motor s unutarnjim izgaranjem napaja odgovarajućim gorivom dok se elektromotor napaja električnom energijom iz akumulatora. S obzirom na pogon, hibridna vozila se mogu podijeliti na serijski, paralelni i serijsko-paralelni hibridni pogon. Kod vrsta hibridnih vozila posebno se ističu „plug in“ hibridna vozila koji imaju mogućnost punjenja električnom strujom izravno iz utičnice. Cilj ovoga je analizirati eksploatacijske značajke cestovnih vozila na hibridni pogon.

KLJUČNE RIJEČI: hibridno vozilo, elektromotor, „plug in“ hibridna vozila

## Summary

A hybrid vehicle is a vehicle which consists of a internal combustion diesel or petrol engine and the electric motor – where the internal combustion engine is powered by the corresponding fuel and the electric motor is powered by the electric energy from the battery (accumulator). Considering the drive, hybrid vehicles can be classified as: series, parallel and power split or series-parallel hybrid drive. When talking about the types of the hybrid vehicles, the *plug-in* hybrid vehicles stand out in particular since they have the option of being charged with the electric energy directly from the plug (socket). The goal of this is to analyze the exploitative features of hybrid drive road vehicles.

KEYWORDS: hybrid vehicle, electric motor, „plug-in“ hybrid vehicles

## SADRŽAJ:

|          |                                                                |    |
|----------|----------------------------------------------------------------|----|
| 1.       | UVOD .....                                                     | 2  |
| 2.       | POVIJESNI RAZVOJ HIBRIDNIH CESTOVNIH VOZILA.....               | 2  |
| 3.       | VRSTE HIBRIDNIH VOZILA.....                                    | 7  |
| 3.1.     | Podjela s obzirom na vezu mehaničkog i električnog dijela..... | 7  |
| 3.1.1.   | Serijski hibridni pogon .....                                  | 7  |
| 3.1.2.   | Paralelni hibridni pogon .....                                 | 9  |
| 3.1.3.   | Serijsko-paralelni hibridni pogon .....                        | 11 |
| 3.2.     | Podjela s obzirom na vrste goriva .....                        | 12 |
| 3.2.1.   | Benzinska hibridna vozila .....                                | 12 |
| 3.2.2.   | Dizelska hibridna vozila .....                                 | 13 |
| 3.2.3.   | Hibridna vozila s alternativnim gorivima .....                 | 13 |
| 3.2.3.1. | Biodizel .....                                                 | 14 |
| 3.2.3.2. | Etanol i metanol .....                                         | 14 |
| 3.2.3.3. | Stlačeni prirodni plin.....                                    | 15 |
| 3.2.3.4. | Ukapljeni naftni plin .....                                    | 16 |
| 3.2.4.   | Hibridna vozila s gorivim ćelijama .....                       | 16 |
| 3.3.     | Podjela s obzirom na autonomnost električnog pogona .....      | 17 |
| 3.3.1.   | Sustav „start-stop“ .....                                      | 18 |
| 3.3.2.   | Regenerativno kočenje.....                                     | 18 |
| 3.3.3.   | Dodatni pogon i smanjenje obujma .....                         | 18 |
| 3.3.4.   | Pogon isključivo elektromotorom .....                          | 19 |
| 3.4.     | „Plug in“ hibridna vozila.....                                 | 19 |
| 3.4.1.   | Sustav napajanja „plug in“ vozila.....                         | 21 |
| 3.4.2.   | Režimi rada.....                                               | 22 |
| 3.4.3.   | Spremanje električne energije .....                            | 23 |
| 4.       | PRINCIP RADA HIBRIDNIH CESTOVNIH VOZILA .....                  | 24 |
| 5.       | EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE HIBRIDNIH CESTOVNIH VOZILA.....       | 26 |
| 5.2.     | Obujam motora.....                                             | 26 |
| 5.2.     | Snaga i okretni moment.....                                    | 27 |
| 5.3.     | Najveća brzina vozila .....                                    | 27 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 5.4. Karakteristike ubrzanja.....                          | 28 |
| 5.5. Baterije .....                                        | 29 |
| 6. PREDNOSTI I NEDOSTATCI HIBRIDNIH CESTOVNIH VOZILA ..... | 32 |
| 6.1. Prednosti hibridnih cestovnih vozila .....            | 32 |
| 6.1.1. Ekologija .....                                     | 32 |
| 6.1.2. Troškovi.....                                       | 32 |
| 6.1.3. Potrošnja goriva.....                               | 33 |
| 6.1.4. Niži porez .....                                    | 33 |
| 6.1.5. Pouzdanost.....                                     | 33 |
| 6.1.6. Tiha vožnja .....                                   | 34 |
| 6.2. Nedostatci hibridnih cestovnih vozila .....           | 34 |
| 6.2.1. Težina vozila .....                                 | 34 |
| 6.2.2. Osjetljivost na hladnoću .....                      | 34 |
| 7. ZAKLJUČAK .....                                         | 35 |
| LITERATURA.....                                            | 36 |
| Popis kratica .....                                        | 38 |
| Popis slika .....                                          | 39 |
| Popis grafikona .....                                      | 40 |

## 1. UVOD

Hibrid dolazi od latinske riječi „hybrida“ što izvorno označava potomstvo od dvije životinje ili biljke različitih rasa, pasmina, sorti, vrsta ili rodova. Hibridno vozilo je vozilo koje se sastoji od dizelskog ili benzinskog motora s unutarnjim izgaranjem elektromotora gdje se motor s unutarnjim izgaranjem napaja odgovarajućim gorivom dok se elektromotor napaja električnom energijom iz akumulatora.

Cilj završnog rada je analizirati eksploatacijske značajke cestovnih vozila na hibridni pogon. Rad je podijeljen na 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Povijesni razvoj hibridnih cestovnih vozila
3. Vrste hibridnih vozila
4. Princip rada hibridnih cestovnih vozila
5. Eksploatacijske značajke hibridnih cestovnih vozila
6. Prednosti i nedostaci hibridnih cestovnih vozila
7. Zaključak

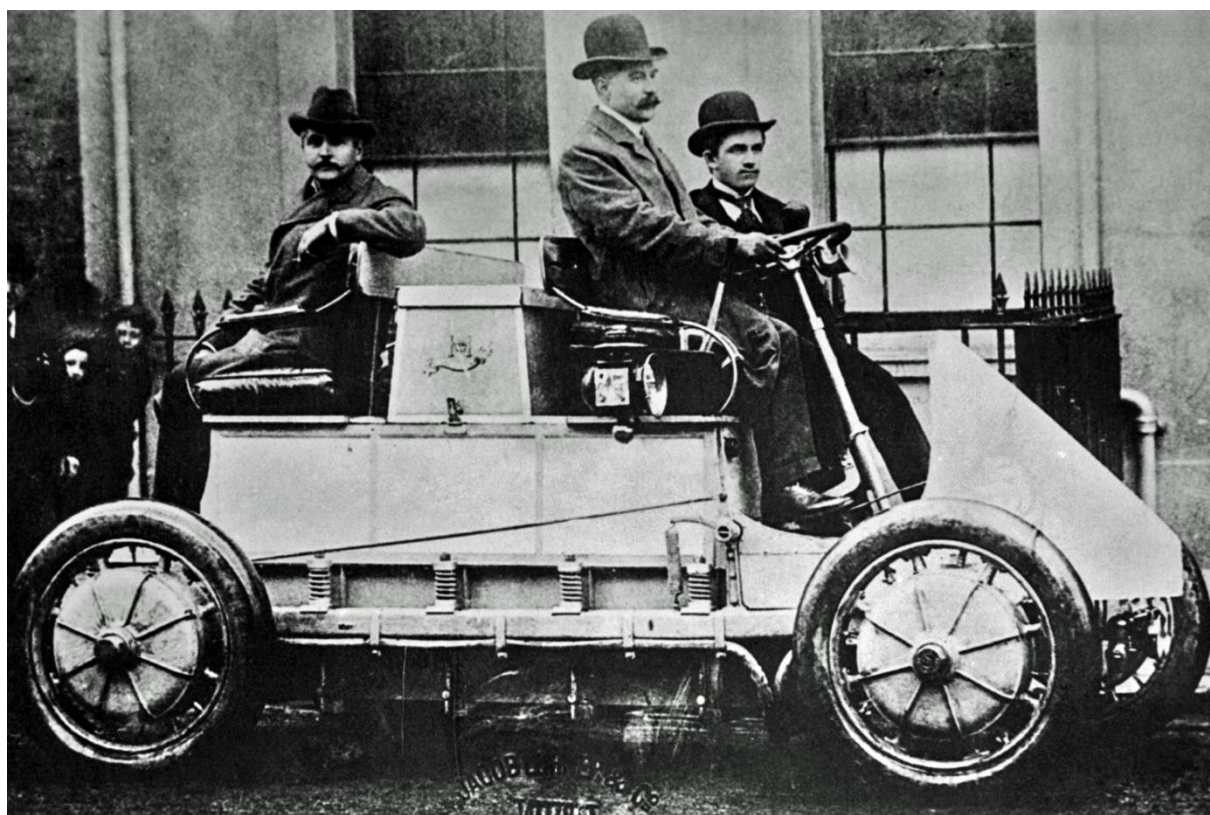
U drugom poglavlju prikazan je povijesni razvoj hibridnih cestovnih vozila. Hibridno vozilo patentirano je krajem 19.-og stoljeća, ali njegov je razvoj započeo krajem 20.-og stoljeća kada je problem postala nafta jer je cijena sve više rasla te su velike emisije CO<sub>2</sub> utjecale na klimu, odnosno globalno zatopljenje. Prvi hibrid je Lohner-Porsche kojeg je konstruirao Ferdinand Porsche još 1901. godine.

U trećem poglavlju i četvrtom poglavlju nabrojane su i objašnjene vrste hibridnih vozila te je opisan način rada hibridnih cestovnih vozila. Prva vrsta hibridnih cestovnih vozila dijeli se s obzirom na pogon, a to su serijski, paralelni i serijsko-paralelni hibridni pogon. S obzirom na vrste goriva mogu biti benzinska ili dizelska hibridna vozila. Također, postoji elektromotor pogonjen na gorive ćelije, a ne smiju se zaboraviti niti „plug in“ hibridna vozila koji imaju mogućnost punjenja električnom strujom izravno iz utičnice.

U petom poglavlju analizirane su eksploatacijske značajke hibridnih cestovnih vozila, a u šestom poglavlju navedene su i objašnjene prednosti i nedostaci cestovnih hibridnih vozila.

## 2. POVIJESNI RAZVOJ HIBRIDNIH CESTOVNIH VOZILA

Kao prvi hibrid navodi se Lohner-Porsche, prikazan na slici 1, koja je jedna od prvih konstrukcija Ferdinanda Porschea iz 1901. godine, no belgijska tvrtka Pieper dvije je godine ranije predstavila svoj model. U normalnoj je vožnji benzinski motor samo punio baterije, dok su pri većim opterećenjima kao što su usponi oba motora radila istovremeno. Kod Porsche-a je bio drugačiji koncept. Elektromotori su se umjesto pod sjedalom nalazili u pogonskim kotačima. Obje tvrtke su se posvetile prvenstveno kamionima i autobusima zbog toga što problem s velikom masom baterije nije riješen.



**Slika 1.** Lohner-Porsche, prvo hibridno vozilo, [1]

Henry Pieper je 1895. godine počeo raditi na hibridnom automobilu, a njegov rad dovršio je sin Nicolas 1899. godine, dvije godine prije Porsche-a. Proizvodnja marke Pieper ipak je ostala vjerna električnim i benzinskim modelima, no po Pieperovim patentima 1906. počinje rad nove marke, dosta zbunjujuće nazvane Auto-Mixte, premda nije imala veze s Lohner-Porscheovim također hibridnim modelom naziva Mixte [7].

Auto-Mixte je proizveo razmjerno malo automobila, uz probleme s masom i cijenom, a od 1911. prodavani su pod brendom Pescatore, sve dok ih nije preuzela poznatija tvrtka Imperia [8]. Ferdinand Porsche je 1900. godine konstruirao električni automobil, s elektromotorima u prednjim kotačima, a iste godine uslijedio je i trkaći model 1.8 tona baterija i elektromotorima u svim kotačima. To je bio prvi model s pogonom i kočnicama u sva četiri kotača.

Godine 1901. stigao je hibridni model Semper Vivus („Uvijek živ“), prikazan na slici 2, koji je imao dva benzinska i dva električna motora, a koncept je zadržan i u serijskom modelu Mixte koji se radio sve do 1905. godine.



**Slika 2.** Semper Vivus, [9]

Nakon toga, razvoj je preseljen u SAD. Tamo su Woods Motor Vehicle Company iz Chicaga i Owen Magnetic ponudili skupe hibridne automobile. Woods Dual Power je bio kombinacija elektromotora i benzinskog motora gdje je do 24 km/h vozio na struju, a nakon toga uključio bi se Otto motor. Fascinantan patent elektromagnetske transmisije Justusa B. Eltza zamijenio je zamašnjak benzinskog motora generatorom i magnetom, te uz pomoć elektromotora pokretao kotače [8].

Henry Ford je proizveo model T u veoma velikoj količini pa se zbog toga, diljem svijeta, razvila infrastruktura pratećih aktivnosti i usluga za benzinske automobile. Sva ostala

vozila postala su preskupa, zastarjela i prekomplikirana i zbog toga se postupno prekida razvoj hibridnih vozila. Iznimka je "The 1921. Owen Magnetic Model 60 Touring" koji je koristio benzinski motor u pokretanju generatora električne energije koja se isporučuje električnim motorima montiranim na svakom stražnjem kotaču [8]. Zatim se hibridna vozila nisu pojavljivala do 50-ih godina 20. stoljeća.

Zatim se 1951. godine pojavljuje francuski Arbel s 4-clindarskim motorom koji je pogonio četiri elektromotora, smještena u kotačima. Arbel je imao samo jednu pedal, koja je morala biti pritisnuta kako vozilo ne bi kočilo.

Od sredine 1960-ih u razvoj se uključuju i veliki proizvođači, a ključni rezultat toga je sustav regenerativnog kočenja, patentiran i predstavljen 1967. u Amitronu, prototipu korporacije American Motors. Pet godina kasnije, General Motors je predstavio XP-512H, a zatim 1969. XP-883. AMC Amitron iz 1967. značajan je po patentu regenerativnog kočenja [8]. Poznata marka Volkswagen je kombi T2 pretvorio u hibridno taksi vozilo.

Godine 1997., Audi, koji je prikazan na slici 3, je uspio prodati samo oko 100 primjeraka modela Duo jer je odabrao pogrešan pristup hibridnog pogona u automobilu koji je tada izgledao jednako tradicionalno pogonjenim inačicama.



**Slika 3.** Audi Duo, [10]

Godine 1999., Prius i Honda Insight su izgledali potpuno drugačije od svih drugih na tržištu jer su japanci shvatili da novu tehnologiju moraju promovirati. Honda Insight, koja je uvedena u SAD-u godine je bilo hibridno vozilo s jako niskim emisijama s ugrađenim kompaktnim električnim motor. Regenerativnim sustavom, kočenjem puni baterije nikal-metal hibrida. Honda je počela proizvodnju pogona na prirodni plin za model Civic GX 1998. godine. Motor je bio četvero-cilindarski benzinski motor obujma 1700 ccm, te je bio tradicionalne konstrukcije sa malim izmjenama koji će se pokretati na prirodni plin [5].

U studenom 2000. godine, tvrtka Daimler - Chrysler je predstavila svojih pet vozila na gorive ćelije pogonjene metanolom. Od gorivih ćelija je 50 posto učinkovitija od prethodnog modela. U studenom 2000. godine Volkswagen je predstavio Bora HyMotion, poznat kao Jetta TDI u Sjedinjenim Državama. Ona ima ugrađen motor na gorive ćelije koji radi na tekući vodik sa samo nusproizvodom koji se pokreće na vodenu paru. Spremnik za skladištenje vodika ima kapacitet od pedeset litara, koja je jednaka dvanaest litara benzina za rasponu od oko 350 km. Volkswagen nastavlja dalje razvoj ovog proizvoda. Na sajmu automobila u Detroitu u siječnju 2002. godine, General Motors predstavlja svoj prototip vozila Autonomy , prikazan na slici 4, pokretan gorivim ćelijama. Novost su bile gorive ćelije od samo 15 cm debljine. Tek 2001. godine, Toyota Prius je predstavila limuzinu na tržištu Sjedinjenih Država sa pet sjedala kompaktni s četvero-cilindarskim benzinskim motorom obujma 1500 ccm i električni motor sa 275-voltnim nikal-metal hibridnim baterijama. Tek je u 2004. godini model postigao uspjeh u prodaji, tako da je između 2004. - 2009. godine Prius postao najpoznatiji hibridni model na tržištu [5].



**Slika 4.** General Motors-Autonomy, [29]

Hibridna vozila koja u kombinaciji sa elektromotorom imaju dizelski motor dosta su kasnila, no ipak stigla. Danas ga u ponudi imaju Volkswagen, Volvo, Peugeot, Mercedes-Benz, a i ostale marke su skoro tu. Suvremeni hiperautomobili kao sto su La Ferrari, McLaren P1 i Koenigsegg Regera imaju hibridni pogon.



**Slika 5.** Ferrari, model 599 GTB s KERS-om, [11]

Godine 2010., Ferrari je predstavio eksperimentalnu inačicu modela 599 GTB s KERS-om, vidljiv na slici 5, koji se upotrebljava i kod Formule 1, a Mazda je od 2011. godine u serijske modele ugradila inačicu nazvanu ELOOP.

KERS (engl. Kinetic Energy Recovery System) je sustav za obnavljanje kinetičke energije koja se gubila tijekom utrke. Prilikom kočenja, dolazi do stvaranja kinetičke energije. Upravo tu energiju KERS "hvata" i sprema za kasnije korištenje. U praksi energiju je moguće koristiti na dva načina: baterijski ili direktno. Kod baterijskog pristupa, energija koja se skuplja sprema se u spremnik (bateriju) i koristi po potrebi. Za razliku od prvog načina direktni funkcionira upravo suprotno-energija se koristi konstantno, no na sam zamašnjak se spaja isključivo po potrebi [25].

ELOOP je prvi regenerativni sustav kočenja u putničkim vozilima koji koristi kondenzatore za skladištenje električne energije. Kinetička energija, koja nastaje pri kočenju, kod ovog sustava pretvara se uz pomoć generatora u električnu energiju, a ona se zatim koristi za pokretanje elektro-potrošača poput klima uređaja. Na taj način smanjuje se opterećenje motora i utječe se na smanjenje potrošnje goriva [24].

### **3. VRSTE HIBRIDNIH VOZILA**

Hibridni pogon osobnih automobila sastoji se od benzinskog ili dizelskog motora te dodatnog elektromotora. Benzinski ili dizelski motori napajaju se odgovarajućim gorivom iz spremnika dok se elektromotor napaja električnom energijom iz akumulatora.

#### **3.1. Podjela s obzirom na vezu mehaničkog i električnog dijela**

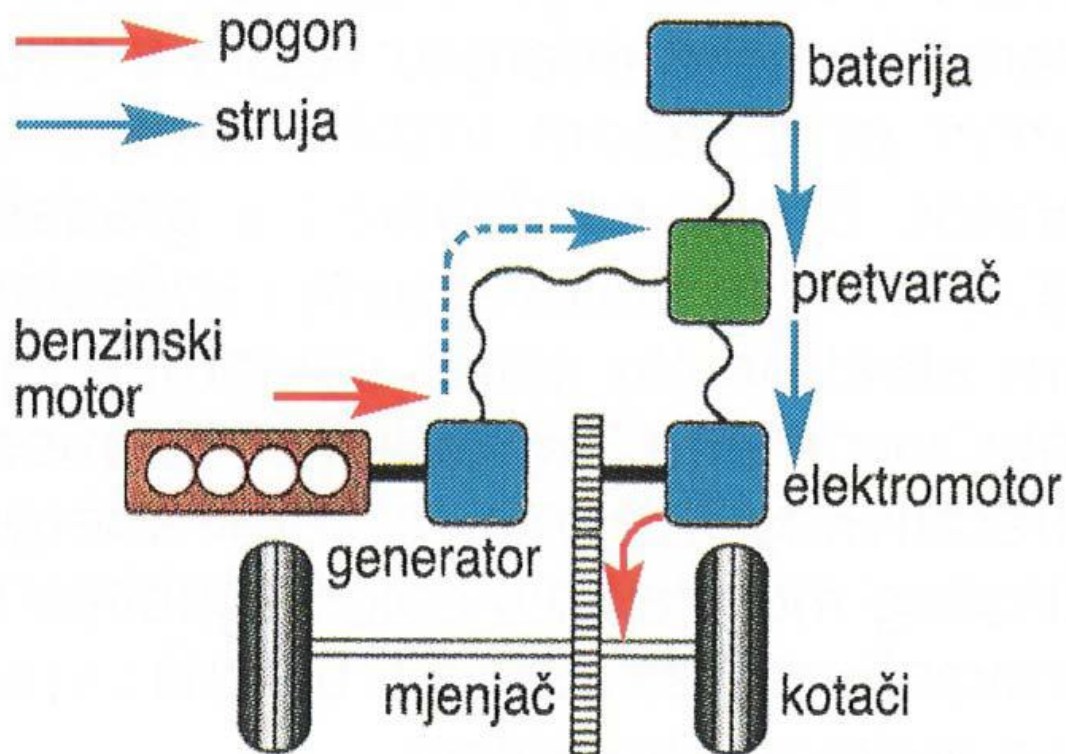
S obzirom na vezu mehaničkog i električnog dijela hibridna električna vozila dijele se na [1]:

1. Serijski hibridni pogon
2. Paralelni hibridni pogon
3. Serijsko – paralelni hibridni pogon

##### **3.1.1. Serijski hibridni pogon**

Serijski hibridni pogon radi tako da motor sa unutarnjim izgaranjem ne pokreće automobil direktno već je spojen kao generator, bilo da se puni baterija ili pokreće sam elektromotor, koji pak pokreće cijelo vozilo [3]. Motor pokreće poseban generator kojim se vučni motor opskrbljuje sa električnom energijom i dopunjuje akumulator. Reguliranje brzine se ostvaruje električnim motorom.

Postojanje akumulatora i električnog motora omogućuje se reverzibilno-motorno kočenje čime se povećava efikasnost vozila. U takvom sustavu motor s unutarnjim izgaranjem pogoni električni generator umjesto da izravno pogoni kotače [3]. Kada su opterećenja velika, elektromotor crpi snagu iz baterija i generatora. Kod ovakvih slučajeva nije potrebna transmisija, a u slučaju da postoji, jednostavnija je nego kod paralelne izvedbe jer je elektromotor učinkovitiji pri širem rasponu opterećenja dajući konstantan moment pa je tako motor s unutarnjim izgaranjem obično manji nego kod paralelne izvedbe jer je potreban samo pri prosječnim opterećenjima. Serijska izvedba je skuplja od paralelne zbog većih i jačih baterija te zbog dodatnog generatora. Zbog svoje jednostavne izrade, jednostavne strukture i jednostavnom upravljanja pogonom, serijski hibridni pogon se najčešće koristi kod velikih teških vozila kao što su autobusi, vojna vozila, lokomotive i sl. Na slici 6, prikazan je serijski hibridni pogon.



**Slika 6.** Serijski hibridni pogon, [2]

Prednosti serijskog hibridnog pogona su [5]:

1. Nema mehaničkih veza između motora i pogona kotača. Prema tome, motor se može potencijalno kretati u bilo kojem trenutku na njegovu brzinu okretnog momenta (snage). Ova istaknuta prednost, s naprednom kontrolom toka snage, pruža motoru mogućnosti da može uvijek biti iskorišten unutar svoje najveće učinkovitosti. Učinkovitosti i emisije motora u tom uskom području može biti dodatno poboljšana nekim posebnim dizajnom i tehnologijom nadzora, što je puno lakše nego u cijelim operativnim primjenama. Nadalje, mehanička razdvajanja motora iz pogonskog kotača omogućavaju korištenje visokobrzinskih motora, gdje je teško izravno pokrenuti kotače putem mehaničke veze, kao što su plinske turbine ili napajanja koje imaju polagane dinamičke reakcije (npr. Stirlingov motor i sl.).
2. Budući da električni motori imaju moment profil brzine koji je vrlo blizu idealnim za vuču, vlak pogon možda neće trebati prijenos sa više stupnjeva prijenosa. Prema tome, dva motora mogu se koristiti zajedno u jednom pokretu gdje mehanički

diferencijal može biti izbačen. U takvoj konfiguraciji, na brzini i okretnom momentu od svakog kotača može se neovisno kontrolirati. Također vrijedi i s pogonom na sva četiri kotača, koja se najčešće primjenjuju u vozilima za teške terene.

3. Strategija upravljanja pogona može biti jednostavan, u odnosu na druge konfiguracije, zbog potpuno mehaničkog razdvajanja između motora i kotača.

Nedostatci serijskog hibridnog pogona [5]:

1. Energija iz motora mijenja svoj oblik gdje do pogonskih kotača mora doći dva puta (mehanička u električnu u generatoru i električna na mehaničku za vuču motora). Neučinkovitosti generatora i vučnih motora može prouzročiti značajne gubitke.
2. Generator daje dodatnu masu i cijenu.
3. Budući da motor vuče je jedini izvor pogona vozila, ona mora biti velika kako bi proizvela dovoljno energije za optimalne karakteristike vozila u pogledu ubrzanja i promjenu stupnja prijenosa.

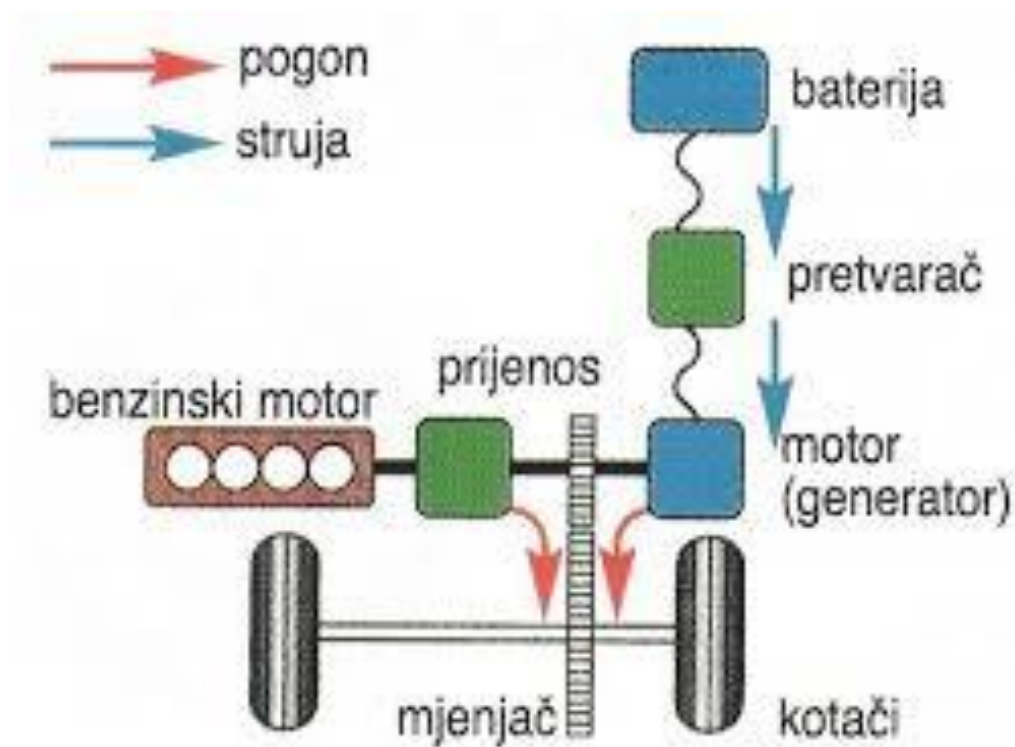
### **3.1.2. Paralelni hibridni pogon**

Kod paralelnog hibridnog pogona, za razliku od serijskog hibridnog pogona, između motora s unutarnjim izgaranjem i kotača postoji mehanička veza pa motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor mogu raditi istodobno, ali i odvojeno.

Motor s unutarnjim izgaranjem radi u optimalnom području rada gdje elektromotor radi kao generator i dopunjava baterije kada je za kretanje vozila potrebna manja snaga od snage motora s unutarnjim izgaranjem. No, ako je potrebno više energije, motor s unutarnjim izgaranjem može služiti kao generator za dodatno punjenje.

Kako je u ovoj konfiguraciji motor direktno spojen s kotačima što se vidi na slici 7, eliminiraju se gubici pretvaranja mehaničke energije u električnu i obrnuto, što čini ove hibridne pogone poprilično iskoristivim na brzim cestama i autocestama. S druge strane,

ovakva izvedba smanjuje iskoristivost u gradskoj vožnji zbog stalne potrebe za zahtjevima u širokom području rada motora s unutarnjim izgaranjem [1].



**Slika 7.** Paralelni hibridni pogon, [2]

Prednosti paralelnog hibridnog pogona su [5]:

1. Motor i električni motor direktno omogućuju moment za pogon kotača i nema konvergencije oblika energije, tako da gubitak energije može biti manji.
2. To je kompaktno, jer nema potrebe za ugradnju dodatnog generatora i vučnog motora zato jer je manja nego u serijskoj verziji.

Nedostatci paralelnog hibridnog pogona [5]:

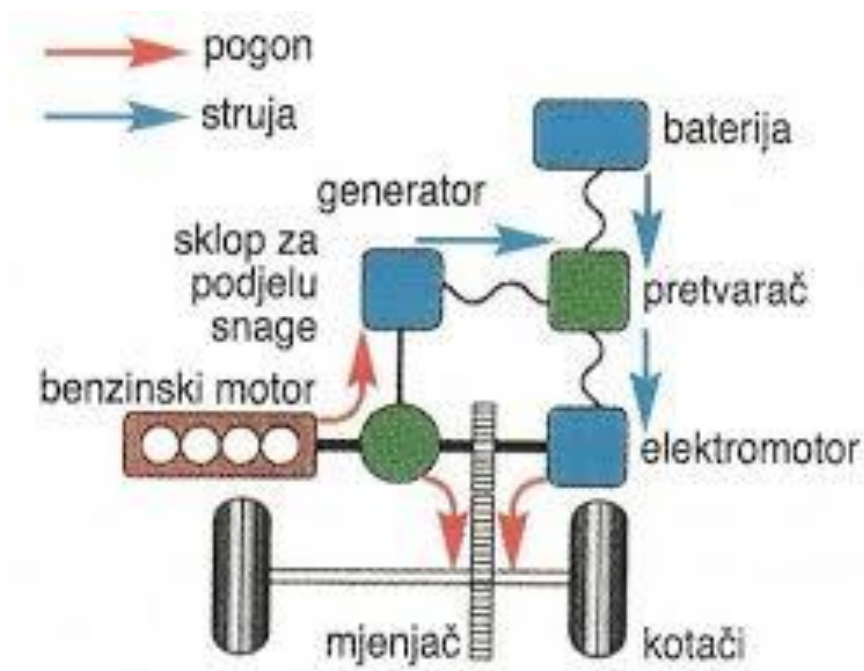
1. Njegov glavni nedostatak je mehanička veza između motora i pogonskog kotača, jer tada operativni motor ne može biti fiksiran sa određenom brzinom i određenim momentom.
2. Drugi nedostatak može biti složena struktura i kontrola. Općenito, mehanička spojka sastoji se od momenta spojke i brzine momenta. U spojki koja ima moment,

mehanička spojka dodaje moment od motora s unutrašnjim izgaranjem i motor zajedno donosi ukupni moment na pogon kotača. Motor i okretni moment motora može biti samostalan pod kontrolom. No, brzina motora, motor, a i vozilo su međusobno povezani s fiksnim odnosom i ne može samostalno biti pod kontrolom zbog ograničenja snage zaštite. Slično tome, u brzini spojke, brzina motora i motor zajedno sa svim momentima su međusobno povezani i ne mogu samostalno kontrolirati.

### 3.1.3. Serijsko-paralelni hibridni pogon

Serijsko-paralelni hibridni pogon je kombinacija, serijskog i paralelnog pogona. Tim pogonom se postiže najveća učinkovitost zbog toga što oni objedinjuju prednosti i serijskog i paralelnog pogona. Međutim, za razliku od paralelne konfiguracije, zahtjeva dodatni elektromotor te planetarni prijenosnik što ovu konfiguraciju čini kompliciranijom.

Planetarni prijenosnik, koji se još naziva i djeliteľ snage, koristi se za odvajanje brzine motora s unutarnjim izgaranjem od brzine na kotačima vozila. Kod toga pogona elektromotor i benzinski motor istodobno vrte kotače. Generator puni bateriju i, po potrebi, spaja na pogon jednog ili drugog motora. Unatoč kompliciranosti zbog planetarnog prijenosnika, sve se više upotrebljava kod cestovnih vozila. Na slici 8, prikazan je serijsko-paralelni hibridni pogon.



**Slika 8.** Serijsko-paralelni hibridni pogon, [2]

### 3.2. Podjela s obzirom na vrste goriva

S obzirom na vrste goriva, hibridna vozila mogu biti:

1. Benzinska hibridna vozila
2. Dizelska hibridna vozila
3. Hibridna vozila s alternativnim gorivima
4. Hibridna vozila s gorivnim člancima

#### 3.2.1. Benzinska hibridna vozila

Trenutno su benzinska hibridna vozila najzastupljenija. Kao izvor energije koriste konvencionalni benzinski motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotorom. Najviše se primjenjuje u osobnim automobilima. Proizvode ga Honda, Mercedes, BMW, Renault, Ford, Chevrolet i mnogi drugi. Na slici 9, prikazan je primjer hibridnog vozila s benzinskim motorom.



**Slika 9.** Hibridni Prius s benzinskim motorom, [26]

### 3.2.2. Dizelska hibridna vozila

Najviše su zastupljeni kod gospodarskih vozila te teretnih automobila i autobusa jer značajno smanjuju potrošnju goriva i emisiju ispušnih plinova, a kombinacija su dizelskih motora s unutarnjim izgaranjem i elektromotora.

Smanjenje potrošnje postižu „manjim“ motorima, motorima s manjim volumenom sa značajno manjim masama i potrošnjom, a dodatnu snagu postižu elektromotorom. Značajnu primjenu pronašli su u željezničkom prometu gdje se koriste dizel-električne lokomotive [1].

Na slici 10, prikazan je Peugeot 3008 Hybrid Crossover, čiji elektromotor radi u kombinaciji s dizelskim motorom s unutarnjim izgaranjem.



**Slika 10.** Peugeot 3008 Hybrid Crossover, [30]

### 3.2.3. Hibridna vozila s alternativnim gorivima

Najčešća alternativna goriva su:

1. Biodizel
2. Etanol i metanol
3. Stlačeni prirodni plin (CNG)
4. Ukapljeni naftni plin (UNP)

### **3.2.3.1. Biodizel**

Biodizel se proizvodi iz biljnih ulja i životinjske masti. Može se koristiti samostalno ili se mješati s dizelskim gorivom. U koncentracijama mješavina do 20% biodizela koristi se u klasičnim dizelskim motorima bez ikakvih ili s vrlo malim preinakama na samom motoru. U većini visokotlačnih pumpi može se upotrebljavati, a kod najnovijih izvedbi s „common rail“ motorima koji rade s vrlo visokim tlakovima, mora se voditi briga da se upotrebljavaju u određenim omjerima mješavine prema točnim uputama proizvođača, najčešće do 20% biodizela. Zbog svojih kemijskih karakteristika koje su različite u odnosu na dizelsko gorivo, otapaju gumene brtve i crijeva od prirodnih materijala koja su se koristila kod starijih vozila [1].

### **3.2.3.2. Etanol i metanol**

Glavna prednost korištenja metanola i etanola kao alternativnih goriva u automobilske industriji jest to što se mogu proizvoditi iz izvora koji su skoro ravnomjerno raspoređeni po svijetu, za razliku od sirove nafte. Također, sirovine su iz obnovljivih izvora, metanol se dobiva iz prirodnog plina i ugljena, a etanol fermentacijom poljoprivrednih proizvoda. Etanol se najčešće dobiva hidratacijom etilena ili fermentacijom biomase kao npr. šećer iz šećerne trske. Trenutno u svijetu najveću potrošnju etanola kao goriva ima Brazil. Proizvode ga fermentacijom šećerne trske, pa iako njegova proizvodnja nije jeftina upotrebljuje se jer se smanjuju troškovi uvoza sirove nafte, a izbjegava se i ovisnost o njenom uvozu. Gorivo koje se prodaje u Brazilu u sebi sadrži oko 5% vode te se može koristiti kao gorivo u većini novijih automobila koji se prodaju na brazilskom tržištu [1].

Još jedna prednost korištenja metanola i etanola kao goriva je što se može postići niža emisija ugljikovodika te manji utjecaj na stvaranje smoga. Nedostatak im je što imaju manju energetske vrijednosti od benzinskog i dizelskog goriva. I etanol i metanol imaju odličnu otpornost na detonacije i čisto izgaraju. Koriste se kod trkaćih automobila. Visoki oktanski broj omogućava veće stupnjeve kompresije, a svojstvo da izgaraju u bogatim smjesama zajedno sa svojstvom visoke latentne topline isparavanja omogućava dobivanje više snage nego s benzinom [1].

### 3.2.3.3. Stlačeni prirodni plin

Stlačeni prirodni plin je smjesa plinova u kojoj najveći udio ima metan s manjim udjelima etana, propana i butana, a osim ugljikovodika u njemu se nalaze i ugljikov dioksid, vodik, helij i druge pare. Koristi ga se kao gorivo pregradnjom vozila s klasičnim motorima s unutarnjim izgaranjem, a za sama vozila koristi se često izraz „be-fuel“ vozila, odnosno vozila koja mogu koristiti dvije vrste goriva [1].

Nedostatak je što zahtjeva više prostora za pohranu plina nego kod klasičnih motora s unutarnjim izgaranjem pa kod pregradnji vozila obično zauzima dodatno mjesto u prtljažniku [1]. Problem je i trenutna infrastruktura punilišta pa se ne ugrađuje baš često u vozila. Iako, u Zagrebu ih svakodnevno možemo vidjeti u javnom gradskom prijevozu, koji ima 80-etak autobusa pogonjenih na prirodni plin. Jedan od takvih prikazan je na slici 11.



**Slika 11.** Autobus pogonjen stlačenim prirodnim plinom, [12]

#### **3.2.3.4. Ukapljeni naftni plin**

Ukapljeni naftni plin proizvodi se iz prirodnog plina i sirove nafte, nije otrovan, niti ima boju, a ni miris pa mu se pri proizvodnji dodaje miris kako bi se mogla prepoznati njegova prisutnost. Koristi ga se kao gorivo u motorima s unutarnjim izgaranjem za pogon osobnih i teretnih automobila, raznih radnih strojeva i sl.

Sprema se u spremnicima pod radnim tlakovima od 4 do 7 bara, a ispitni tlak za spremnike je 30 bara [1]. Najčešće se koristi u kombinaciji s benzinskim motorima dok se kod dizelskih motora koristi kao dodatno gorivo.

Prednost mu je što osim ugradnje plinske instalacije za dodatnu opskrbu benzinskog motora gorivom nije potrebna nikakva dodatna pregradnja postojećeg motora, a moguće je pokretati motor na plin ili na benzin [1].

#### **3.2.4. Hibridna vozila s gorivim ćelijama**

Kao izvor snage upotrebljavaju vodik koji elektrokemijskom reakcijom proizvodi električnu energiju koja pokreće elektromotor koji zatim pokreće vozilo. Zbog čistog ispuha je veoma poželjan za uporabu u automobilske industriji.

Među konvencionalne tehnologije proizvodnje vodika postoji proizvodnja vodika katalitička oksidacija ugljikovodika, proizvodnja iz rafinerijskih plinova i metanola, parcijalna oksidacija teških ugljikovodika i ugljena te elektroliza vode [13]. Predmet istraživanja je dobivanje vodika elektrolizom korištenjem obnovljivih izvora energije kao što su solarne i vjetroelektrane, koje bi uz male troškove osigurale energiju za razdvajanje vode na vodik i kisik [1].

No, pored toga, postoje problemi sa proizvodnjom i skladištenjem vodika koji su glavna prepreka njihove šire uporabe. Rezultat toga je i nerazvijena infrastruktura punilišta te manja ulaganja u razvoj tehnologije gorivih ćelija. Zbog svih tih problema, ulaganja u ovakvu vrstu vozila stagniraju jer se većina sredstava usmjerava u razvoj električnih vozila za masovnu proizvodnju.

Na slici 12, prikazan je Mercedes B klasa F – CELL koji pored gorivih ćelija ima i elektromotor sa 100kW/136KS i 290 Nm te litijum-ionske baterije. Maksimalna brzina mu je 170 km/h, a ubrzanje do 100 km/h traje 11,4 sekunde.



**Slika 12.** Mercedes B klasa F - CELL, [14]

### **3.3. Podjela s obzirom na autonomnost električnog pogona**

S obzirom da sva vozila nisu ista, mogući su različiti stupnjevi hibridizacije. Tako se s obzirom na autonomnost električnoga pogona, hibridi dijele na djelomične (engl. mild hybrid) i potpune (engl. full hybrid).

Potpuni hibrid je po definiciji onaj kojem je omogućena vožnja vozilom pogonjenim samo elektromotorom. U tom slučaju elektromotor ima u pravilu barem jednu trećinu snage motora s unutarnjim izgaranjem [15].

Kod djelomičnog hibrida elektromotor služi samo kao pomoć motoru s unutarnjim izgaranjem. Stoga je djelomični hibrid i znatno jeftiniji, ali kako je dodatna snaga koju on razvija manja, i ušteda goriva je manja [15].

Postoji pet osnovnih načina hibridizacije [1]:

1. Sposobnost brzog gašenja i paljenja motora, sustav stop&go (sustav „start-stop“)
2. Regenerativno kočenje
3. Dodatni pogon
4. Mogućnost pogona samo s elektromotorom (Full hybrid)
5. Punjenje baterija korištenjem električne energije iz električne mreže (Plug-in hybrid)

### **3.3.1. Sustav „start-stop“**

Sustav „start-stop“ predstavlja mehanizam koji u automobilu, kada stoji, ugasi motor s unutarnjim izgaranjem da bi štedio gorivo. Kod dobrih konstrukcija motor će se upaliti za manje vremena nego što je potrebno nego da se pomakne noga s kočnice na papučicu gasa. Međutim, kod hibridnih pogona ova funkcija se ostvaruje sustavima s elektromotorom koji rade na naponima preko 100V, dok se kod konvencionalnih vozila koriste poboljšani starteri pod naponima od 12V ili 24V uobičajenog naziva integrirani starter-generatori [1].

### **3.3.2. Regenerativno kočenje**

Za smanjenje brzine ili zaustavljanje konvencionalnih automobila koriste se kočnice koje kinetičku energiju pretvaraju u toplinsku ternjem između izvršnih kočnih elemenata. Međutim, na taj način nepovratno se gubi energija. Da bi se kinetička energija pretvorila u korisnu energiju koristi se regenerativno kočenje kada se elektromotor koristi za djelomično kočenje, a pri tome motor radi kao generator te proizvedenu električnu energiju pohranjuje u bateriju koja se kasnije može koristiti. Na ovaj način smanjuje se potrošnja goriva, no da bi se ovaj sustav mogao koristiti potrebno je imati dovoljno jak elektromotor koji radi na dovoljno visokim naponima zbog učinkovitog spremanja energije kočenja. Također, automobil mora imati bateriju dovoljnog kapaciteta da bi se ova energija spremila do ponovne uporabe [1].

### **3.3.3. Dodatni pogon i smanjenje obujma**

Osnovna definicija hibridnog automobila je korištenje dva izvora energije s kojim se pokreće vozilo, a rezultat toga je da elektromotor pomaže motoru s unutarnjim izgaranjem da savlada zahtjeve za pogon. Automobil ispunjava ovaj uvjet samo ako ima elektromotor i baterije dovoljno snažne da pomognu automobilu ubrzati. Ova sposobnost smanjuje zahtjeve

koji se odnose na konvencionalni motor, odnosno omogućava korištenje manjih motora s unutarnjim izgaranjem održavajući iste vozne karakteristike kao kod većih motora. Ovo smanjenje motora može se postići korištenjem fizički manjih motora, motora s manjim brojem cilindara ili manjim obujmom ili se može postići boljim procesom izgaranja. Npr. Toyota i Ford koriste motor istog obujma u svojim različitim hibridnim sustavima, ali koriste Atkinsonov proces da bi povećali iskoristivost motora u odnosu na konvencionalnu izvedbu. Atkinsonov proces je tehnika u kojoj su kraći usisni takt i takt kompresije od takta ekspanzije i takta ispuha kod četverotaktnog motora. Ovakva izvedba smanjuje snagu motora, ali povećava ukupnu iskoristivost motora [1].

#### **3.3.4. Pogon isključivo elektromotorom**

Kod hibridnih vozila tehnologija pogona isključivo elektromotorom koji se napaja baterijom dovodi do izražaja sve prednosti elektropogona. Ovaj korak odvaja potpuno hibridne automobile kao što su Toyota Prius i Ford Escape Hybrid od djelomično hibridnih automobila. To je i razlog zašto vlasnici ovih vozila ponekad ne prepoznaju da su im vozila upaljena jer energiju daje samo tiha baterija za razliku od buke motora s unutarnjim izgaranjem. Prednost potpuno hibridnih sustava omogućuje vozilima više vremena raditi u područjima u kojima je bolja iskoristivost motora. Pri manjim brzinama elektromotor pokreće vozilo dok pri većim brzinama pogon preuzima motor s unutarnjim izgaranjem.

### **3.4. „Plug in“ hibridna vozila**

„Plug in“ hibridna vozila imaju karakteristike klasičnih hibridnih vozila s elektromotorom kao jednim pogonskim elementom i motor s unutarnjim izgaranjem kao drugim, ali također i karakteristike električnih vozila koji električnu energiju za pogon motora uzimaju iz vanjskog izvora, obično iz električne mreže preko zidne utičnice, te ju spremaju u bateriju da bi se mogla kasnije koristiti [1]. Na slici 13, prikazano je kako izgleda punjenje „plug in“ hibridnog vozila na utičnicu.



**Slika 13.** Punjenje PHV, [16]

„Plug in“ hibridna vozila su povoljna za one koji stalno putuju na manjim udaljenostima jer na taj način mogu djelomično ili čak potpuno izbjeći korištenje motora s unutarnjim izgaranjem. „Plug in“ hibridna vozila se klasificiraju i prema udaljenosti koju mogu prijeći snagom same baterije pa ih se označava kao PHV-20 ili PHV-32 što znači da mogu prijeći 20 milja odnosno 32 kilometra bez korištenja motora s unutarnjim izgaranjem [1]. Izgled motora prikazan je na slici 14.



**Slika 14.** Izgled motora, [17]

Kao i kod klasičnih hibridnih vozila, postoje tri vrste osnovnih tipova pogona „plug in“ hibridnih vozila, a to su:

1. Serijski pogon
2. Paralelni pogon
3. Serijsko-paralelni pogon

#### **3.4.1. Sustav napajanja „plug in“ vozila**

Mreža električne energije je izmjenična dok su baterije istosmjerni uređaji, stoga da bi se baterije mogle puniti potrebno je koristiti istosmjerni punjač. Punjači postavljeni na vozilu osiguravaju da će se punjenje moći obaviti bilo gdje gdje postoji izvor napajanja, a nedostatak njihove ugradnje na vozilo je što zauzimaju mjesto i povećaju masu, a snaga punjenja im je ograničena zbog njihove mase i dimenzija [1]. Vanjski punjači mogu biti dugi koliko je

potrebno i postavlja ih se tamo gdje će biti najveća potreba za njima kao što je garaža. S određenim vodičima ovi punjači mogu raditi s većim snagama i puno brže puniti baterije.

Prednost ovih vozila je što se mogu puniti na kućnoj utičnici jer se baterija automobila može puniti tijekom noći kada je cijena električne energije najjeftinija.

### 3.4.2. Režimi rada

Neovisno o tome radi li se o serijskom, paralelnom ili serijsko-paralelnom pogonu, „plug in“ hibridni pogoni mogu raditi u dva režima, a to su:

1. Režim pražnjenja – rad na bateriji kao jedinom izvoru
2. Režim rada – koristi dva izvora energije, bateriju i motor s unutarnjim izgaranjem

Kombinacija ova dva režima se naziva mješoviti režim.

Režim pražnjenja (engl. Charge depleting) dopušta skroz napunjenom „plug in“ hibridnom vozilu raditi isključivo na struju sve dok je baterija na predodređenom stupnju punjenja. Kod nekih pogona, kada vozač traži ubrzanje, kako bi se omogućilo postizanje toga, pali se motor. Nakon što se isprazni na unaprijed određeni stupanj, pali se motor s unutarnjim izgaranjem ili gorive ćelije.



**Slika 15.** Odabir režima rada kod PHV, [18]

Režimi rada različiti su kod pojedinih vozila. Na slici 15, prikazana su tri režima koja vozač može odabrati kod Volva V60 „plug in“ hibrida, a to su pure, hybrid ili power. U Pure modu, automobil za pogon koristi samo električni motor koliko je god to moguće. Ukoliko je baterija dopunjena elektricitetom iz obnovljivih izvora, moguća je autonomija kretanja od 50 km sa nultom emisijom [18]. Vijek baterije ovisi o različitim uvjetima kao što su teren, klima i stil vožnje.

Standardni mod u kojem se automobil nalazi pri svakom pokretanju je Hybrid. Kod njega dizelski i električni motor surađuju, kako bi ponudili optimalanost između užitka u vožnji i efikasnosti. Emisija ugljikovog dioksida iznosi tek 49 g/km, što odgovara prosječnoj potrošnji dizelskog goriva od tek 1,9 litara na 100 pređenih kilometara. Ukupna autonomija kretanja iznosi 1200 km [18].

U Power modu, dizelski i električni motor zbrajaju snagu ( $215 + 70$  KS) i obrtni moment ( $440 + 200$  Nm), što rezultira odličnim mogućnostima, poput ubrzanja do 100 km/h za 6,9 sekundi.

Mješoviti režim se koristi kod vozila koja bez pomoći motora s unutarnjim izgaranjem ne mogu zadržati veće brzine. Mješoviti režim opisuje način vožnje u kojem se koriste oba navedena režima. Vozilo u mješovitom režimu može određeni broj kilometara raditi u režimu pražnjenja, nakon toga prijeći na mješoviti režim u kojem koristi elektropogon i pogon motora s unutarnjim izgaranjem, te se ponovno vratiti u režim pražnjenja dok ne iskoristi preostalu energiju baterije.

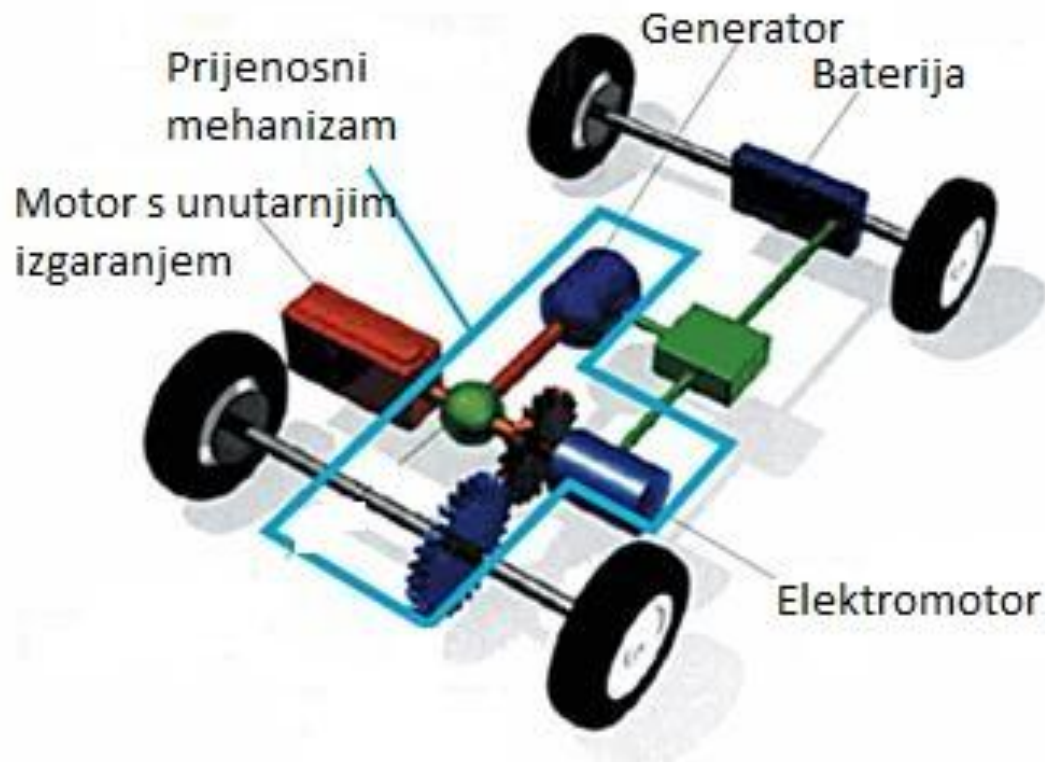
### **3.4.3. Spremanje električne energije**

„Plug in“ hibridna vozila zahtijevaju baterije koje se stalno u potpunosti pune i prazne. No, treba imati u vidu da broj ciklusa punjenja i pražnjenja utječe na trajnost baterije pa im je zbog toga vijek trajanja kraći nego kod hibridnih vozila. Razvoj baterija boljih karakteristika, dužeg vijeka trajanja, većeg kapaciteta, smanjene mase s manjom cijenom i većom sigurnosti predmet su današnjih ubrzanih istraživanja [1].

#### 4. PRINCIP RADA HIBRIDNIH CESTOVNIH VOZILA

Hibridno vozilo je vozilo koje kombinira benzinski ili dizelski motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor. Osnovne komponente hibridnog vozila, prikazane na slici 16, su:

1. Motor s unutarnjim izgaranjem
2. Elektromotor
3. Generator
4. Baterije
5. Prijenosni mehanizam



**Slika 16.** Osnovne komponente hibridnog vozila, [2]

Kod hibridnih vozila, u sporijim gradskim vožnjama radi elektromotor, a kada se kreće i naglo ubrzava, uglavnom, radi motor s unutarnjim izgaranjem.

Elektromotori mogu biti spojeni s glavnim motorom i smješteni iznad prednje osovine ili u kotačima automobila. Pod kotačima automobila podrazumijeva se to da se

postavi onoliko elektromotora, koliko ima kotača dajući na taj način pogon na sve kotače. Kako bi elektromotor mogao raditi, koristi baterije koje su smještene u stražnjem dijelu automobila.

Baterije iz kojih se napaja elektromotor mogu biti nikal-metal hibrid ili litij-ionska baterija. No, da bi se to moglo ostvariti potrebno je imati DC-AC inverter odnosno pretvarač koji istosmjernu struju u baterijama pretvara u izmjeničnu struju koja je potrebna za rad elektromotora. Radni napon koji je potreban da bi elektromotor mogao raditi iznosi 500 do 650 V. Baterije je potrebno redovito puniti kako bi baterije imale konstantan kapacitet. One se mogu puniti pomoću generatora ili gradske mreže.

Ovisno o vozilu, elektromotor, čak može i raditi kao generator ili može biti urađen odvojeni generator koji bi punio baterije kada je uključen motor s unutarnjim izgaranjem. Pri tome generator funkcionira i kao anlaser. Osim generatora i gradske mreže, baterije se mogu puniti i prilikom kočenja vozila. To se ostvaruje na način da se prilikom kočenja oslobađa velika količina kinetičke energije koja se posebnom elektromotornom kočnicom ili reverzibilnim radom generatora akumulira u električnu energiju i na taj način puni baterije. Neki se modeli čak mogu puniti i na običnu utičnicu koja se priključi u 220/120 voltni gradski napon čime se pune baterije. Također, postoje i hibridni trolejbusi koji se pune u vožnji preko gradske mreže.

Kako bi se mogla prenijeti snaga na pogonske kotače, kod hibridnih vozila koji imaju jedan ili dva elektromotora potreban je poseban sklop planetarnih zupčanika ili spojki kojim su motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor, preko osovinskih reduktora, spojeni na diferencijal. Takvi hibridi imaju remenski (CVT) automatski mjenjač spojen na nosač planetarnih prijenosnika [19]. Kod hibridnih vozila, u kojih su elektromotori smješteni u kotačima i tako imaju pogon na sve četiri kotača, elektromotori služe kao glavni pogon vozilu, dok motor s unutarnjim izgaranjem pokreće generator, čime se pokreće elektromotor i napajaju baterije.

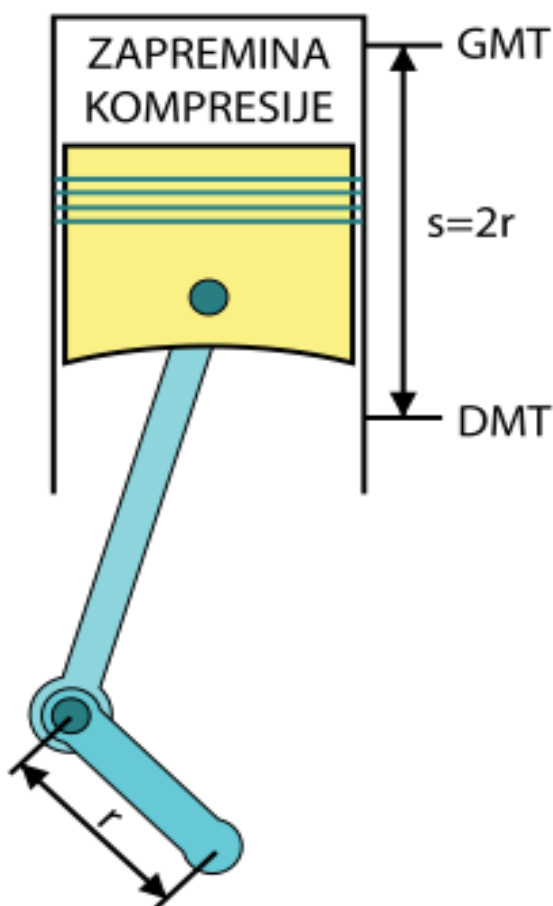
U praksi, poseban elektronički sklop sa upravljačkim procesorom upravlja režimom rada hibrida te zasebnim ili zajedničkim radom pojedinih motora [19]. Dakle, kada se udruže elektromotor i motor s unutarnjim izgaranjem, postiže se veliki okretni moment koji je dostupan već od 0 okretaja, zahvaljujući elektromotoru.

## 5. EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE HIBRIDNIH CESTOVNIH VOZILA

Pod eksploatacijskim značajkama podrazumijeva se niz međusobno povezanih karakteristika, od kojih zavisi pogodnost vozila za korištenje pod različitim uvjetima.

### 5.2. Obujam motora

Obujam motora je umnožak obujma jednog cilindra i broja cilindara. Izražava se u kubilnim centimetrima. Postoje dva karakteristična položaja klipa u kojima se vrši promjena smjera kretanja klipa. Ta dva položaja nazivaju se gornja i donja mrtva točka te je u tim točkama brzina klipa jednaka nuli. Gornja i donja mrtva točka prikazane su na slici 17.



**Slika 17.** Prikaz donje i gornje mrtve točke, [20]

Kada je klip u donjoj mrtvoj točki zapremina iznad klipa ima maksimalnu vrijednost i naziva se ukupna zapremina cilindra. Krajnji gornji položaj naziva se gornja mrtva točka. U

tom položaju klipa, zapremnina iznad njega je minimalna i naziva se kompresiona zapremnina. Kretanje klipa od jedne do druge mrtve točke naziva se hod klipa.

Ukupna, dakle maksimalna zapremnina radnog prostora računa se:

$$V_{\max} = V_u = V_h + V_c \quad (1)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

$V_{\max} = V_u$  - ukupna (maksimalna) zapremnina

$V_h$  - udaljenost između gornje i donje mrtve točke

$V_c$  – kompresiona zapremnina

## 5.2. Snaga i okretni moment

Okretni moment se odnosi na količinu rada koju motor može izvršiti, dok konjske snage definiraju koliko brzo ta snaga može biti isporučena [21]. Mjerna jedinica okretnog momenta je Njutn-metar (Nm), a snage kilovat (kW) ili konjska snaga (ks).

Okretni moment je moment koji mjeri količinu sile koja je potrebna za okrenuti objekt. Točnije, budući da se kod nas radi o vozilima, okretni moment mjeri koliko je okretne sile dostupno na koljenatom vratilu u bilo kojem rasponu okretaja motora.

Snaga je mjera koja pokazuje koliko brzo motor može vršiti taj isti okretni moment u nekom vremenu. Dakle, što je više snage i okretnog momenta, ubrzanje će se brže vršiti.

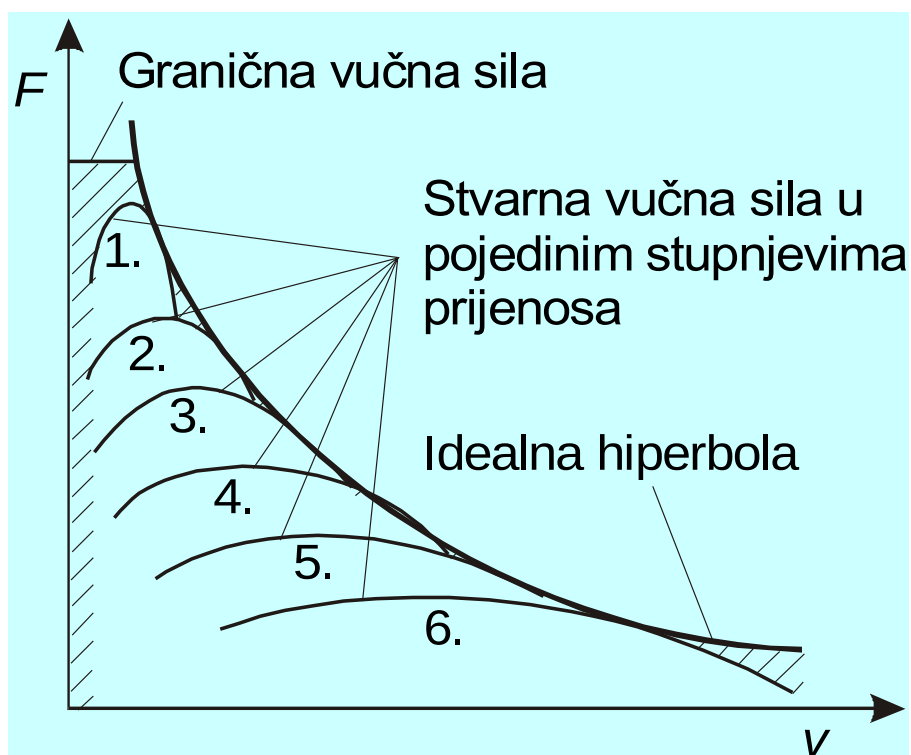
## 5.3. Najveća brzina vozila

Najveća brzina vozila je definirana kao konstantna brzina kretanja da vozilo može razviti s punim opterećenjem izvora energije (pun gas od motora ili punu snagu motora) na ravnom putu. Najveća brzina vozila je određena ravnotežom između vučne sile vozila i otpora ili najveće brzine iz izvora snage i prijenosnih omjera prijenosa [5].

Za neka vozila ne postoji veza između krivulje snage i krivulje otpora, zbog velikog izvora snage ili velikog prijenosnog omjera, pa se onda najveća brzina ne može odrediti iz najveće brzine izvora snage.

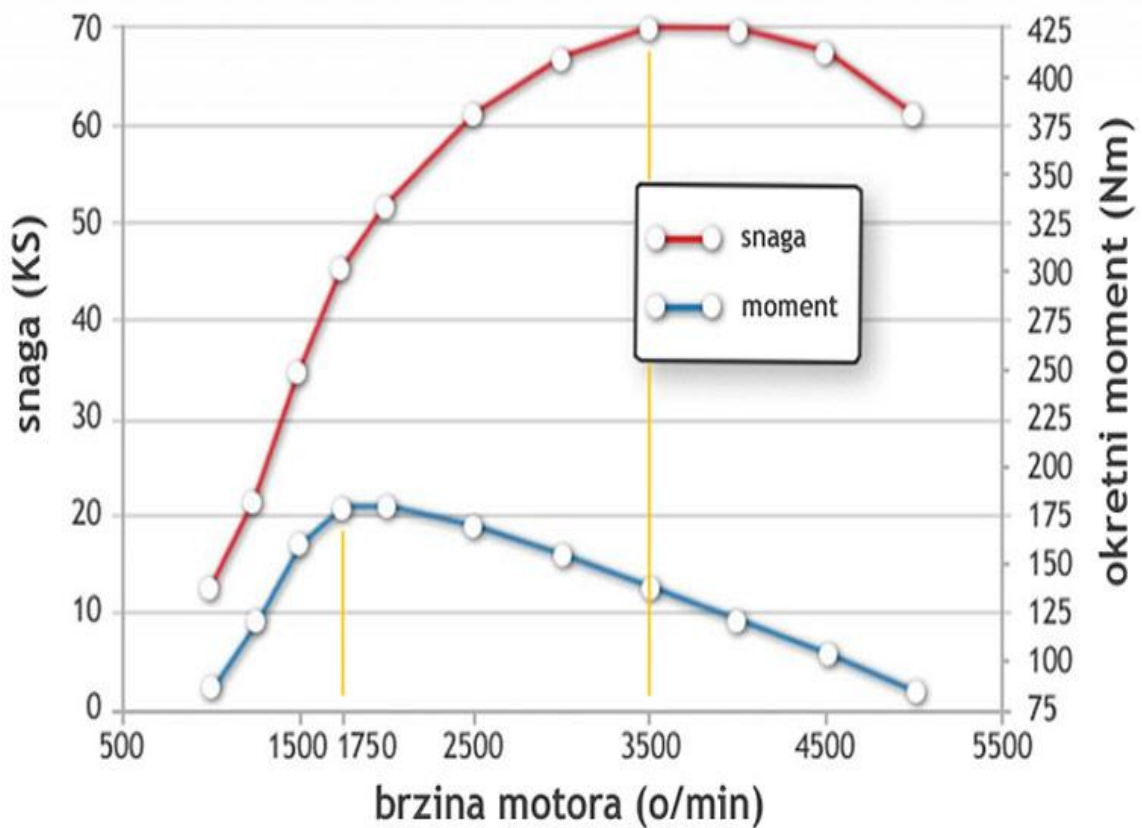
## 5.4. Karakteristike ubrzanja

Karakteristike ubrzanja vozila se obično opisuje svojim vremenom ubrzanja i prijeđene udaljenosti od nulte brzine do nekih visokih brzina (recimo od nula do 96 km/h ili 60 mp/h) na ravnom terenu [5].



**Grafikon 1.** Vučna značajka vozila s 6 stupnjeva, [28]

Iz prikazanog grafikona 1, vidljivo je kako su vučna sila ( $F$ ) i brzina kretanja vozila ( $v$ ) međusobno obrnuto proporcionalne veličine što znači da će pri određenoj snazi motora, ako je potrebna vučna sila velika, brzina kretanja vozila morati biti mala, i obrnuto, pri velikoj brzini kretanja vozila vučna sila će biti mala.



**Grafikon 2.** Omjer snage i okretnog momenta, [22]

Iz grafikona 2, moguće je zaključiti da npr. okretni moment pri 3500 o/min i snazi od 70 ks iznosi 140 Nm. Isto tako, iz okretnog momenta i brzine motora, može se dobiti snaga.

## 5.5. Baterije

Postoji nekoliko vrste baterija, a neke od njih su:

1. Litijum-ionske baterije
2. Nikal-metal baterije
3. Napredne baterije s kiselinom i olovom
4. Baterije od natrija i sumpora
5. Baterija od natrijevog klorida

Najčešće se upotrebljavaju prve dvije vrste, dakle litijum-ionske baterije i nikal-metal bateije.

Baterije visokih energija se posebno javljaju kod sustava litij-ionskih ćelija. Time se ističe razvoj visokih napona ćelija opisanih kod Nissanovih i Sonyjevih stručnjaka, gdje su dobiveni relativno mali broj ćelija potrebni za boljim upravljanjem baterija. Točno otkrivanje mjesto punjenja baterije temelji se mogućnost na mjerenju napona [5].

U razvoju sustava baterija, kontroleri ćelija i kontroleri baterije rade zajedno za izračunavanje snage baterije, a preostali kapacitet prenose rezultate na sustav kontrole nad vozilom. Punjenje strujnih krugova također su pod kontrolom na osnovi ćelije prema ćeliji. Najveće karakteristike životnog vijeka baterija električnog vozila su jednako važni kao i razina gustoće energije. Svaki modul sustava baterija ima termistor za otkrivanje temperature i regulator signal za aktiviranje ventilatora po potrebi [5].

U Nissanu su izvijestili da se lansiranje modela Ultra EV 1999. godine sa litij-ionskim baterijama, može prijeći 120 milja (192 km) puta između punjenja. Čak i daljni razvoj u budućnost litij-polimernih baterija može biti sposoban za savladavanje 300 milja (520 km) puta između raspona punjenja [5].

Nikal-metal baterija je u svojim specifikacijama napredna u odnosu na primjenu u vozilima, gdje s posebnim energijama razvija veće snage i za 20-ak %. Nekomprimirani vodik je uzet od metalnih legura i njegova energija je zatim pražnjena elektrokemijskom oksidacijom [5].

Troškovi sirovina su još uvijek relativno visoke cijene, ali njegova nadmoć u odnosu na baterije sa olovom i kiselinom je vjerojatna da će osigurati svoje mjesto kao niži trošak dodatnog sustava kontrole od onih sa natrijem i sumporom [5]. Litij-ionska baterija prikazana je na slici 19.



**Slika 18.** Litij-ionska baterija, [25]

Specifična energija je 50-60 Wh/kg, s gustoćom energije 150-210 Wh/l i maksimalne snage više od 300 W/kg. Od 80% vremena punjenja je 15 minuta i može održati više od 2000 ciklusa punjenja i pražnjenja. Energetski skladištena legura vodika je negativna elektroda, a nikal hidroksid je pozitivna elektroda. Optimalna konstrukcija bi imala masu oko 300 kg, a kapacitet od 15 kWh, sa veremenom od 2000 ciklusa pražnjenja. Za autobuse, Varta u suradnji s Neoplanom je osmislila mobilni uređaj za punjenje, koji će omogućiti vremensko punjenje između stajališta. Ovo uklanja potrebu fiksnih mjesta, te omogućavanjem punjenja baterija se mijenjaju vozači autobusa u nekoliko minuta. Ispitivanja su pokazala da autobus koji pokriva dnevne ukupne udaljenosti od 75 milja (120 km) na tri milje (5,2 km) duge rute treba zaustaviti na autobusnoj stanici nakon osam putovanja [5].

## **6. PREDNOSTI I NEDOSTATCI HIBRIDNIH CESTOVNIH VOZILA**

Hibridni automobili kombiniraju elektromotor i benzinski motor kako bi se vozilu dala maksimalna snaga i efikasnost, a kako bi se istovremeno smanjila emisija ispušnih plinova i smanjila potrošnja goriva.

### **6.1. Prednosti hibridnih cestovnih vozila**

Neke od prednosti hibridnih cestovnih vozila su:

1. Ekologija
2. Troškovi
3. Potrošnja goriva
4. Niži porez
5. Pouzdanost
6. Tiha vožnja

#### **6.1.1. Ekologija**

Većina ljudi, pri vožnji automobila, ne razmišlja o zagađivanju okoliša, niti o tome da posjedovanjem hibrida doprinose veoma važnoj stavci koja se veže za promet, a to je ekologija. Ekologija podrazumijeva smanjenu potrošnju goriva, manju potražnju za gorivom kako će broj hibridnih vozila s vremenom rasti i manje emisije štetnih plinova. Ekologija je veoma važan faktor koji opravdava kupnju hibridnog vozila.

#### **6.1.2. Troškovi**

Zbog skupocjene tehnologije izrade baterije i naprednog hibridnog sklopa, hibridna vozila su skuplja od konvencionalnih. Iako postoje pohvalni primjeri gdje je hibridni model gotovo cjenovno izjednačen s dizelom, u većini slučajeva se više plaća za hibrid. No, kroz uštedu goriva i troškova pri registraciji u godinama posjedovanja vozila (više kombinirane snage iz manjeg obujma motora), velika je vjerojatnost da će se u konačnici kupovina hibrida isplatiti.

### **6.1.3. Potrošnja goriva**

Hibridna vozila za pokretanje koriste električnu energiju, dakle kod malih brzina dok kod velikih brzina koristi unutarnje izgaranje. Njihova potrošnja goriva je i do dva puta manja nego kod klasičnih vozila te omogućavaju uštedu gotovo 50% goriva. Dakle, potrošnja goriva je negdje oko 4 litre na 100 kilometara [23]. Uz to, pri kupnji hibridnog vozila, dobije se knjiga koja uči vozače kako voziti da bi potrošnja bila što manja.

### **6.1.4. Niži porez**

Neke države daju porezne olakšice za kupnju hibridnog vozila [23]. Taj popust vezan je za ispuh CO<sub>2</sub> u zrak. Dakle, što vozilo manje ispušta CO<sub>2</sub> u zrak, to je manji porez. To je uvedeno kako bi se potakla kupovina hibridnih vozila. U Republici Hrvatskoj poticaji iznose do 40% vrijednosti vozila, odnosno maksimalno 70000 kuna, za kupnju električnih vozila, do 50000 kuna za hibridna „plug-in“ vozila, a do 30000 kuna za hibridna vozila [31].

### **6.1.5. Pouzdanost**

Više elektronike, dva motora i baterija, elementi koje hrvatski mentalitet nerijetko procjeni kvarljivima. Elektronika je uvijek bila najveći problem, krivac za najčešće kvarove, no danas se koriste računalni softveri koji se nadograđuju skidanjem potrebnih zakrpa i njihovim instaliranjem. Stoga, vozilo nije potrebno rasklapati kako bi se došlo do nekog odredišta. Softveri koji upravljaju radom hibridnog sustava dovedeni su do savršenstva tokom godina razvoja ovih vozila.

Dva motora, jedan je provjereni s unutarnjim izgaranjem, kojeg može servisirati svaki ovlašteni servis marke u pitanju, a drugi je elektromotor s jednim pokretnim dijelom (rotorom), koji inače slovi kao najpouzdaniji mehanički sklop na svijetu.

Baterija najčešće dolazi s garancijom od 8 do 10 godina, te nije predviđena zamjena baterije u tom periodu. Najčešće se radi o metal-hibridnim baterijama, a mogu se pronaći i litij-ionske baterije, veći sklopovi istih baterija koje inače koristite u svojim prijenosnim računalima ili mobitelima.

### **6.1.6. Tiha vožnja**

Budući da su hibridna vozila jako tiha, može se puno više zvukova čuti iz okoline nego iz motora hibridnih vozila. Takav dojam ostavlja učinkovita hibridna tehnologija.

## **6.2. Nedostatci hibridnih cestovnih vozila**

Kao i u svemu, osim prednosti, postoje i mane, a neke od njih su:

1. Težina vozila
2. Teško podnose hladnoću

### **6.2.1. Težina vozila**

Hibridna cestovna vozila su puno teža od konvencionalnih vozila. Njihovoj težini doprinosi baterija koja se montira što niže kako bi se očuvao centar vozila gravitacije. Zbog toga vozila mogu biti jako niska što može predstavljati problem ukoliko se auto vozi po naseljima gdje ceste nisu baš prilagođene takvim vozilima.

### **6.2.2. Osjetljivost na hladnoću**

Hladno vrijeme je najveći problem hibridnih vozila. Istraživanja su pokazala da hibridna vozila, tokom zime, mogu preći skoro duplo manje kilometara nego obično. Stoga, vozači hibridnih vozila moraju naročito voditi računa o tome koliko su im baterije napunjene, prije nego što krenu na put. Osim tog problema, postoji opasnost od smrzavanja utičnice koja se koristi za dopunjavanje baterije kod pojedinih vozila. Taj problem moguće je riješiti tako da se na priključak, prilikom punjenja baterija, postavi termofor sa zagrijanom vodom. No, takvo što se inače ne preporučuje jer postoji opasnost od kratkog spoja.

## 7. ZAKLJUČAK

Hibridni pogon je kombinacija dva pogona, elektromotora i benzinskog motora koji rade sinkronizirano, pritom vozač ne mora brinuti o odabiru bilo kojeg motora. Istraživanja govore o tome kako se izvori fosilnih goriva smanjuju, stoga je potrebno što više raditi na hibridnim i električnim vozilima, kako bi osigurali budućnost.

Iz ovog završnog rada uvideno je da iza riječi hibrid stoji više mogućih značenja. Takva vozila dijele se na hibridna vozila i „plug in“ hibridna vozila. Glavna razlika je u tome što hibridni motor potpomaže rad konvencionalnog motora, dok je kod „plug in“ hibridnih vozila obrnuto. Hibridna vozila su danas postala veoma popularna zbog toga što imaju manju emisiju štetnih plinova koji puno manje zagađuju okoliš, troše značajno manje goriva, a uz to sve izgledaju odlično.

Iz priloženog se može vidjeti kako su hibridna vozila dobro rješenje zbog zagađenja okoliša i nestašce goriva koji su postali velika prijetnja. Osim što će hibridna vozila smanjiti zagađenje okoliša i potrošnju goriva, olakšat će i samom vlasniku vozila jer je niži porez na motorna vozila zbog niskih CO<sub>2</sub> emisija, imaju mogućnost dobiti poticaj prilikom kupnje, osiguranje je povoljnije jer se obračunava za snagu benzinskog motora, ali ne i za snagu elektromotora i još puno toga.

Dakle, može se zaključiti da su hibridna vozila zasigurno slijedeći korak u evoluciji automobilske industrije. Na vrhu tog procesa nalaze se električni automobili, dok se na samom dnu nalaze motoru s unutarnjim izgaranjem.

## LITERATURA

Knjige, doktorske disertacije, članci i prezentacije:

1. Dorotić, I.: Hibridna vozila, Centar za vozila Hrvatske, 2012.
2. Dubić, K.: Skladištenje električne energije kod hibridnih električnih vozila, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2010.
3. Štrkalj, Z.: Primjena električnog i hibridnog pogona u automobilima, Stručni studij prometa, Veleučilište u Šibeniku, Šibenik, 2015.
4. Cipek, M.: Usporedba različitih struktura hibridnih vozila, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2009.
5. Gudan, J.: Analiza eksploatacijskih karakteristika hibridnih cestovnih vozila, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2011.
6. Emadi, A., Ehsani, M., Gao, Y.: Modern Electric, Hibryd Electric, And Fuel Cell Vehicles – Fundamentals, Theory and Design, CRC Press, 2010.

Internetski izvori:

7. [http://www.autoportal.hr/clanak/prva\\_tvornica\\_koja\\_je\\_radila\\_iskljucivo\\_hibride](http://www.autoportal.hr/clanak/prva_tvornica_koja_je_radila_iskljucivo_hibride) (pristupljeno: kolovoz 2016.)
8. [http://autoportal.hr/clanak/povijest\\_automobila\\_s\\_hibridnim\\_pogonom](http://autoportal.hr/clanak/povijest_automobila_s_hibridnim_pogonom) (pristupljeno: kolovoz 2016.)
9. <http://press.porsche.com/news/release.php?id=642> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
10. [http://www.audi.in/sea/brand/in/experience/design\\_studies/q7\\_hybrid\\_concept.html#tab/Hybridhistorie](http://www.audi.in/sea/brand/in/experience/design_studies/q7_hybrid_concept.html#tab/Hybridhistorie) (pristupljeno: kolovoz 2016.)
11. [https://en.wikipedia.org/wiki/Ferrari\\_599\\_GTB\\_Fiorano](https://en.wikipedia.org/wiki/Ferrari_599_GTB_Fiorano) (pristupljeno: kolovoz 2016.)
12. <http://www.kvarnernews.hr/tag/autotrolej/> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
13. [https://bib.irb.hr/datoteka/53519.EE2000frankovic\\_et\\_al.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/53519.EE2000frankovic_et_al.pdf) (pristupljeno: kolovoz 2016.)
14. <http://auto.blog.rs/blog/auto/noviteti/2009/08/28/mercedes-b-klasa-f-cell> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
15. [http://www.galaksija.hr/tekst/Hibridni\\_automobil/1130](http://www.galaksija.hr/tekst/Hibridni_automobil/1130) (pristupljeno: kolovoz 2016.)
16. <http://sobel.rs/novosti/e-vozila/> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

17. <http://www.vidiauto.com/Testovi/Testirali-smo/Toyota-Prius-1-8-VVT-i-HSD-Sol-TEST> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
18. <http://turbomagazin.com/tehnologija/volvo-v60-plug-in-hybrid-tri-automobila-u-jednom/> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
19. <http://arhiva.vidiauto.com/autotech/hibridi/> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
20. [https://bs.wikipedia.org/wiki/Donja\\_mrtva\\_ta%C4%8Dka7](https://bs.wikipedia.org/wiki/Donja_mrtva_ta%C4%8Dka7) (pristupljeno: kolovoz 2016.)
21. <http://www.fpz.unizg.hr/prom/?p=3904> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
22. <http://www.autonet.hr/snaga-i-moment> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
23. <http://www.autobytel.com/hybrid-cars/car-buying-guides/9-benefits-of-hybrid-cars-120071/> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
24. <http://www.b92.net/mobilni/automobili/567472> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
25. <http://www.hrsport.net/vijesti/368604/automoto-formula-1/sto-je-to-kers/> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
26. <https://www.toyota.hr/world-of-toyota/articles-news-events/the-prius-story.json> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
27. <http://www.racunalniske-novice.com/novice/dogodki-in-obvestila/litij-ionska-baterija-z-dvajsetletno-zivljenjsko-dobo.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
28. [www.fpz.hr](http://www.fpz.hr) (pristupljeno: kolovoz 2016.)
29. <http://www.madle.org/ems02.htm> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
30. <http://blog.caranddriver.com/peugeot-to-debut-diesel-hybrid-crossover-at-paris-auto-show/> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
31. <http://www.mzoip.hr/hr/ministarstvo/vijesti/od-23-rujna-novi-poticaji-za-kupnju-elektricnih-i-hibridnih-vozila.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

## **Popis kratica**

KERS (Kinetic Energy Recovery System) sustav za obnavljanje kinetičke energij

CNG stlačeni prirodni plin

UNP ukapljeni naftni plin

## Popis slika

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1. Lohner-Porsche, prvo hibridno vozilo .....        | 2  |
| Slika 2. Semper Vivus .....                                | 3  |
| Slika 3. Audi Duo .....                                    | 4  |
| Slika 4. General Motors-Autonomy .....                     | 5  |
| Slika 5. Ferrari, model 599 GTB s KERS-om.....             | 6  |
| Slika 6. Serijski hibridni pogon.....                      | 8  |
| Slika 7. Paralelni hibridni pogon.....                     | 10 |
| Slika 8. Serijsko - paralelni hibridni pogon.....          | 11 |
| Slika 9. Hibridni Prius s benzinskim motorom .....         | 12 |
| Slika 10. Peugeot 3008 Hybrid Crossover .....              | 13 |
| Slika 11. Autobus pogonjen stlačenim prirodnim plinom..... | 15 |
| Slika 12. Mercedes B klasa F - CELL.....                   | 17 |
| Slika 13. Punjenje PHV .....                               | 20 |
| Slika 14. Izgled motora .....                              | 21 |
| Slika 15. Odabir režima rada kod PHV .....                 | 22 |
| Slika 16. Osnovne komponente hibridnog vozila .....        | 24 |
| Slika 17. Prikaz donje i gornje mrtve točke .....          | 26 |
| Slika 19. Litij-ionska baterija .....                      | 31 |

## **Popis grafikona**

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Grafikon 1. Vučna značajka vozila s 6 stupnjeva..... | 28 |
| Grafikon 2. Omjer snage i okretnog momenta .....     | 29 |