

# Analiza pogonskih značajki hibridnih cestovnih motornih vozila

---

Đuranović, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

*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:119:930430>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-18**



*Repository / Repozitorij:*

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



Zagreb, 18. ožujka 2019.

Zavod: **Zavod za cestovni promet**  
Predmet: **Cestovna prijevozna sredstva**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 5009

Pristupnik: **Matej Đuranović (0195031873)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Analiza pogonskih značajki hibridnih cestovnih motornih vozila**

### Opis zadatka:

U Završnom radu potrebno je analizirati glavne značajke vozila na hibridni pogon. Objasniti različite vrste hibridnih vozila te opisati njihov razvoj. Analizirati pogon hibridnih vozila i analizirati njihove tehničko - eksploatacijske karakteristike

Mentor:



---

doc. dr. sc. Željko Šarić

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

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

**Matej Đuranović**

**ANALIZA POGONSKIH ZNAČAJKI HIBRIDNIH**  
**CESTOVNIH MOTORNIH VOZILA**

**ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**ANALIZA POGONSKIH ZNAČAJKI HIBRIDNIH  
CESTOVNIH MOTORNIH VOZILA**

**ANALYSIS OF THE PROPULSION CHARACTERISTICS OF  
HYBRID ROAD MOTOR VEHICLES**

Mentor: doc. dr. sc. Željko Šarić

Student: Matej Đuranović

JMBAG:0195031873

Zagreb, rujan 2019.

## SAŽETAK:

Hibridno vozilo je vozilo koje za pokretanje motora koristi dva ili više izvora energije, za razliku od tradicionalnog automobila kod kojeg se koristi jedan izvor enerije. Kod hibridnih vozila koristi se kombinacija benzinskog ili dizelskog motora s unutarnjim izgaranjem i elektromotora. Električni pogon se koristi radi smanjenja emisije ugljikova dioksida ili želje za boljim performansama vozila. S obzirom na vezu mehaničkog i električnog dijela, hibridni pogonski sustavi mogu se podijeliti u tri skupine: serijski, paralelni i serijsko-paralelni. U ovome radu analiziraju se pogonske značajke hibridnih cestovnih motornih vozila te njihove tehničko-eksploatacijske karakteristike.

## KLJUČNE RIJEČI:

Hibridno vozilo; elektromotor; pogonske značajke

## SUMMARY:

A hybrid vehicle is a vehicle that uses two or more energy sources to start the engine, unlike a traditional car that uses one source of energy. Hybrid vehicles uses a combination of a gasoline or diesel internal combustion engine and an electric motor. Electric propulsion is used to reduce carbon dioxide emissions or to improve vehicle performance. Considering the connection between the mechanical and electrical parts, hybrid drive systems can be divided into three groups: serial, parallel and serial-parallel. This paper analyzes the propulsion characteristics of hybrid road motor vehicles and their technical and operational characteristics.

## KEY WORDS:

Hybrid vehicle; electric motor; propulsion characteristics

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2. RAZVOJ HIBRIDNIH CESTOVNIH MOTORNIH VOZILA</b>	<b>2</b>
2.1. Motori s vanjskim izgaranjem	2
2.2. Motori s unutarnjim izgaranjem	2
2.2.1. Princip rada dvotaktnog motora	4
2.2.2. Princip rada četverotaktnog motora	4
2.2.2.1. Princip rada benzinskog motora	6
2.2.2.2. Princip rada dizel motora	8
2.2.2.3. Princip rada motora s rotacijskim klipom	9
2.3. Razvoj hibridnih cestovnih motornih vozila	11
<b>3. VRSTE HIBRIDNIH CESTOVNIH MOTORNIH VOZILA</b>	<b>15</b>
3.1. Podjela s obzirom na vrstu goriva	15
3.1.1. Benzinska hibridna vozila	16
3.1.2. Dizelska hibridna vozila	17
3.2. Podjela s obzirom na vezu mehaničkog i električnog dijela	18
3.2.1. Serijski hibridni pogon	18
3.2.2. Paralelni hibridni pogon	20
3.2.3. Serijsko-paralelni hibridni pogon	21
3.3. Plug-in hibridi	22
<b>4. PRINCIP RADA HIBRIDNIH CESTOVNIH MOTORNIH VOZILA</b>	<b>25</b>
<b>5. EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE HIBRIDNIH CESTOVNIH MOTORNIH VOZILA</b>	<b>31</b>
5.1. Eksploatacijske značajke cestovnih motornih vozila	31
5.1.1. Dinamičnost vozila	31
5.1.2. Ekonomičnost vozila	32
5.1.3. Pouzdanost vozila	32
5.1.4. Kapacitet vozila	33
5.1.5. Udobnost korištenja vozila	33
5.1.6. Sigurnost korištenja vozila	34
5.1.7. Prohodnost vozila	34
5.1.8. Pogodnost konstrukcije vozila na održavanje	35

5.2. Analiza eksploatacijskih značajki na primjeru vozila Toyota Corolla	35
<b>6. ZAKLJUČAK</b>	<b>38</b>
<b>LITERATURA</b>	<b>39</b>
<b>POPIS KRATICA</b>	<b>41</b>
<b>POPIS SLIKA</b>	<b>42</b>
<b>POPIS TABLICA</b>	<b>43</b>

# 1. UVOD

Početak 20. stoljeća započela je masovna proizvodnja automobila koji za pokretanje koriste motor s unutarnjim izgaranjem. Nagli razvoj motorizacije u svijetu uvjetovao je ubrzani razvoj prometa, ali i spoznaju da ispušni plinovi koji nastaju izgaranjem goriva kod motora s unutarnjim izgaranjem štetno utječu na okoliš. Spoznaja o tim negativnim utjecajima koji zagađuju okolinu potaknula je proizvođače automobila da patentiraju vozilo koji će manje zagađivati okoliš. Tako se posljednjih godina sve više pojavljuju osobni automobili s hibridnim pogonom koji se sastoje od kombinacije benzinskog ili dizelskog motora i elektromotora. Hibrid dolazi od latinske riječi „hybrida“ što znači potomstvo od dvije biljke ili životinje različitih vrsta. Naslov završnog rada jest: Analiza pogonskih značajki hibridnih cestovnih motornih vozila. Rad je podijeljen u šest cjelina:

1. Uvod
2. Razvoj hibridnih cestovnih motornih vozila
3. Vrste hibridnih cestovnih motornih vozila
4. Princip rada hibridnih cestovnih motornih vozila
5. Eksploatacijske značajke hibridnih cestovnih motornih vozila
6. Zaključak

Nakon uvodnog dijela, u drugom poglavlju opisan je razvoj hibridnih cestovnih motornih vozila. Također je opisan princip rada motora s vanjskim i unutarnjim izgaranjem, te je objašnjeno kako četverotaktni benzinski i dizel motori funkcioniraju.

U trećem poglavlju opisane su vrste hibridnih cestovnih motornih vozila. S obzirom na vrstu goriva hibridna se vozila dijele na benzinska i dizelska motorna vozila. S obzirom na vezu mehaničkog i električnog dijela hibridna vozila dijele se na serijske, paralelne i serijsko-paralelne. Također opisana su Plug-In hibridna vozila.

Princip rada hibridnih cestovnih motornih vozila opisan je u četvrtom poglavlju.

U petom poglavlju opisane su eksploatacijske značajke cestovnih motornih vozila, te su uspoređene značajke Toyote Corolle na hibridni pogon i Toyote Corolle na benzinski pogon.



## **2. RAZVOJ HIBRIDNIH CESTOVNIH MOTORNIH VOZILA**

Hibridno vozilo je vozilo koje za pokretanje koristi elektromotor te motor s unutarnjim izgaranjem. U praksi se češće upotrebljava benzinski motor s unutarnjim izgaranjem. U ovom poglavlju opisan je rad motora s vanjskim i unutarnjim izgaranjem, te je opisan razvoj hibridnih vozila.

### **2.1. Motori s vanjskim izgaranjem**

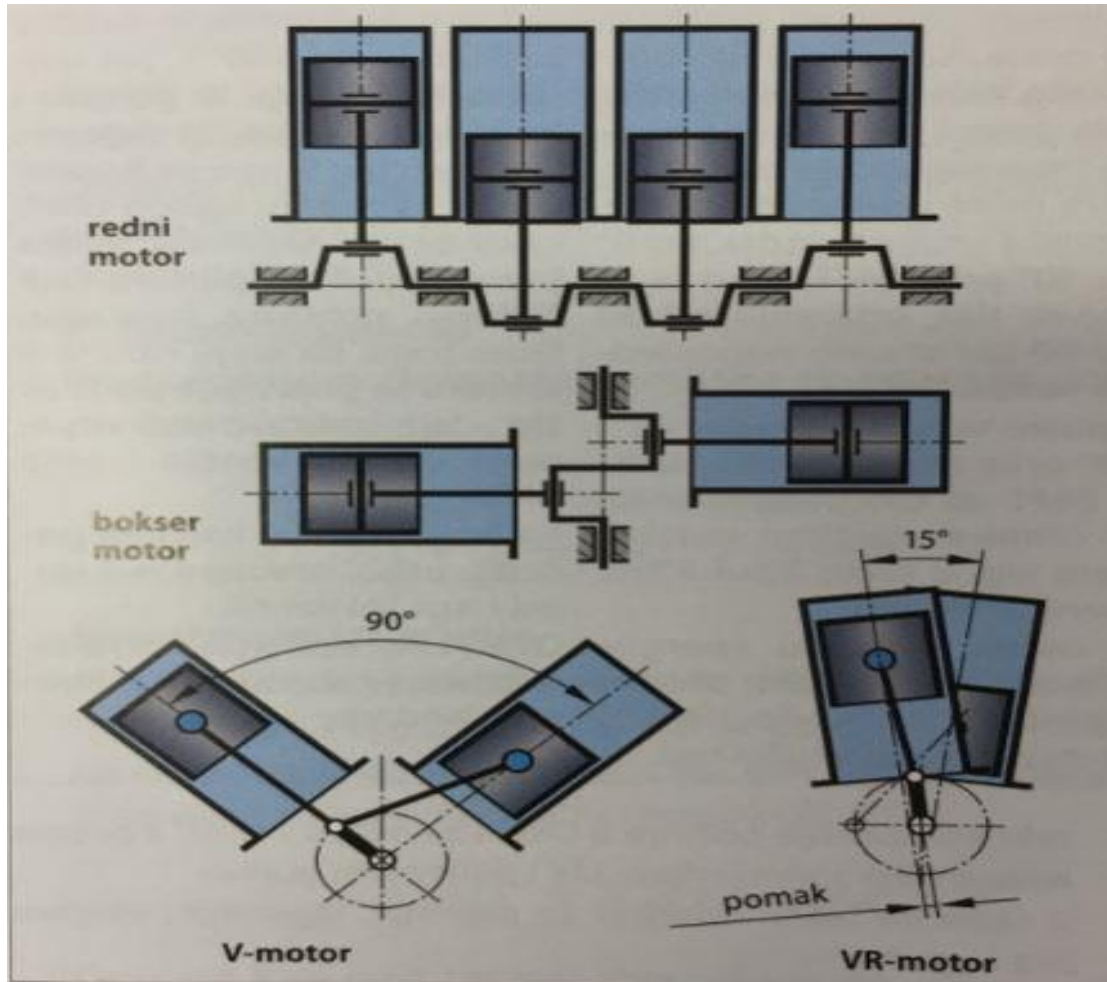
Prvi motor s vanjskim izgaranjem bio je Stirlingov motor. Stirlingov motor je toplinski motor koji se znatno razlikuje od motora s unutarnjim izgaranjem u suvremenim automobilima. Stirlingov motor radi kao klipni motor s vanjskim izgaranjem, odnosno s vanjskim dovodom topline, te ima zatvoren kružni proces. Izumio ga je Robert Stirling 1816. godine. Kao izvor topline koriste se bilo kakva goriva ili drugi izvori topline kao što su toplina termalnih izvora, toplina oslobođena nuklearnom reakcijom i dr.. Stirlingov motor može biti mnogo učinkovitiji od benzinskog ili dizel motora, ali danas se Stirlingovi motori koriste samo u nekim vrlo specijaliziranim postrojenjima, poput podmornica ili pomoćnih generatora snage za jahte, gdje je važan tihi rad. [3]

### **2.2. Motori s unutarnjim izgaranjem**

Konvencionalan pogon kod cestovnih motornih vozila, osim nekoliko iznimki, izveden je pomoću motora s unutarnjim izgaranjem. Motor s unutarnjim izgaranjem je u stvari toplinski stroj u kome se toplinska energija kemijski sadržana u gorivu procesom izgaranja pretvara u koristan mehanički rad. Naime, svaka materija sadrži veću ili manju količinu unutarnje energije koja je u stvari suma kinetičke i potencijalne energije, dakle suma energije gibanja i energije položaja pojedinih molekula. Međutim, i svaka molekula sadrži vrlo veliku količinu unutarnje energije koja je također suma energije gibanja i energije položaja pojedinih atoma. Kad dođe do kemijske reakcije, raspadaju se stare molekule te nastaju druge, nove, raznovrsne molekule pri čemu dolazi do oslobađanja jednog dijela naprijed navedene unutarnje kemijske energije.

Upravo ovaj proces kemijske reakcije tj. cijepanja starih i stvaranja novih molekula uz oslobađanje velike količine unutarnje kemijske energije odvija se u motorima s unutarnjim izgaranjem tokom procesa izgaranja goriva. [2]

Prema rasporedu cilindara (slika 2.1.) razlikujemo redne (R), V-motore, bokser i VR-motore. [1]



Slika 2.1. Podjela motora prema rasporedu cilindara

Izvor: [1]

Prilikom kružnog procesa dolazi do promjene volumena u cilindru, i dobiva se koristan mehanički rad. Ovakva ciklička promjena volumena, kod motora s unutrašnjim izgaranjem, postiže se pomoću klipnog mehanizma. Postoje i druge tehničke mogućnosti dobivanja cikličke promjene volumena kao npr. pomoću rotacionog klipa. Podjela motora s unutarnjim izgaranjem može se napraviti na više načina.

Podjela po temeljnoj konstrukciji je na klipne motore i plinske turbine. Podjela prema srednjoj stapnoj brzini ili hodnosti je na: sporohodne, srednjohodne i brzohodne.

Prema vrsti goriva i procesu koji se odvija u stapnim motorima djeli se na benzinske (Otto) motore i dizelske motore. Prema taktnosti stapnih motora mogu se podijeliti na dvotaktne i četverotaktne motore. [2]

### **2.2.1. Princip rada dvotaktnog motora**

Princip rada dvotaktnog motora sastoji se od četiri takta: usis, kompresija, ekspanzija i ispuh, odvija se u toku dva puna hoda klipa odnosno u toku dva takta, što znači da će se koljenasto vratilo dvotaktnog motora, u toku jednog ciklusa, okrenuti samo jednom, za razliku od četverotaktnog motora gdje su za provođenje jednog radnog ciklusa potrebna dva puna okreta koljenastog vratila. Glavna prednost dvotaktnog motora, u odnosu na četverotaktni motor, je jednostavnost njegove konstrukcije, a to znači i manja cijena. Naime, regulacija izmjene radnog medija kod dvotaktnog motora, provodi se uz pomoć klipa i odgovarajućih otvora na cilindru pa zbog toga dvotaktni motori nemaju ventile s pripadajućim složenim razvodnim mehanizmom. Isto tako, podmazivanje dvotaktnih motora provodi se uz pomoć ulja koje se dodaje radnom mediju zbog čega onda nije potreban složeni sustav za kružno podmazivanje pod tlakom.

Mane dvotaktnih motora su: veća emisija štetnih plinova (zbog lošije izmjene medija i izgorenog ulja za podmazivanje), troše više goriva, loše kočenje vozila motorom, veća potrošnja ulja za podmazivanje. Zbog toga se dvotaktni motori, zbog jednostavne, lagane i jeftine konstrukcije kao i mirnijeg rada koriste još samo kod manjih prijevoznih sredstava kao što su npr. bicikli s pomoćnim motorom, mopedi i motocikli. [2]

### **2.2.2. Princip rada četverotaktnog motora**

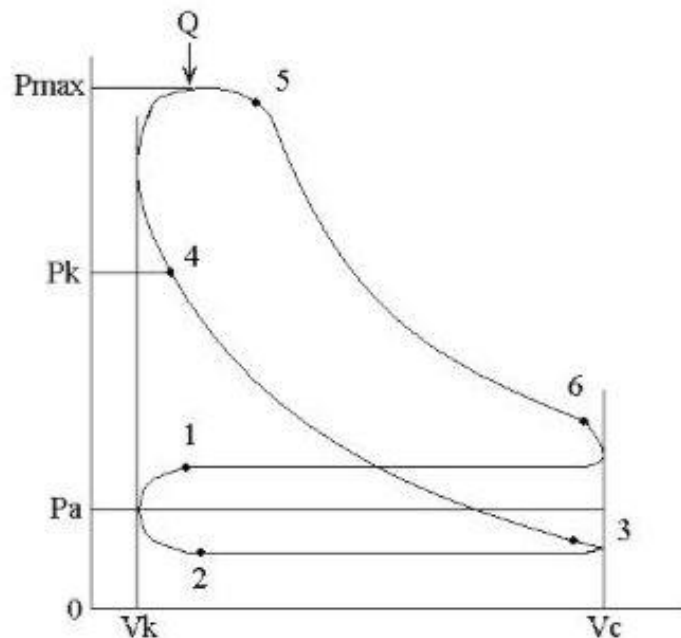
Za kružni proces u cilindru realnog motora potrebne su 4 radne operacije:

- operacija punjenja cilindra radnim medijem
- operacija kompresije radnog medija radi poboljšanja termičke iskoristivosti goriva
- operacija ekspanzije
- operacija pražnjenja cilindra od plinova izgaranja

Kod četverotaktnih motora za provođenje svake od opisanih radnih operacija potreban je po jedan takt tj. po jedan puni hod klipa motora. [2]

Prvi takt je usis zraka ili gorive smjese. Kretnjom klipa iz (VMT) (VMT – Vanjska Mrtva Točka) prema (UMT) (UMT – Unutarnja Mrtva Točka) otvara se usisni ventil koji se zatvara netom prije dolaska klipa u (UMT). Nakon toga dolazi drugi takt ili komprimiranje smjese. Kretnjom klipa iz (UMT) prema (VMT) klip komprimira smjesu koja se pali prije (VMT). Kod benzinskih motora smjesu zraka i benzina pali iskra svjećeice, a kod dizel motora gorivo se ubrizgava u cilindar u kojem je stlačeni zrak visoke temperature i ono se samo zapaljuje. Treći takt je ekspanzija koji je radni takt, a klip se giba iz (VMT) prema (UMT) eksplozijom nastalom zapaljivanjem smjese. Nešto prije (UMT) otvara se ispušni ventil i klip svojim gibanjem prema (VMT) istiskuje izgorenu smjesu izvan cilindra. Dolaskom klipa u (VMT) zatvara se ispušni ventil i završava ispušni takt, te proces počinje ispočetka. Budući da motori zbog gubitaka uslijed otvaranja ventila, prostrujavnja, gubitaka na stjenkama, vrtloženja i disocijacije ipak ne funkcioniraju u potpunosti u skladu sa teoretskim  $P - V$  dijagramom, na slici 2.2. je prikazan izgled stvarnog  $P - V$  dijagrama četverotaktnog motora koji prema označenim točkama prikazuje: [2]

- |                               |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1-otvaranje usisnog ventila   | 4-početak izgaranja          |
| 2-zatvaranje ispušnog ventila | 5-kraj izgaranja             |
| 3-zatvaranje usisnog ventila  | 6-otvaranje ispušnog ventila |

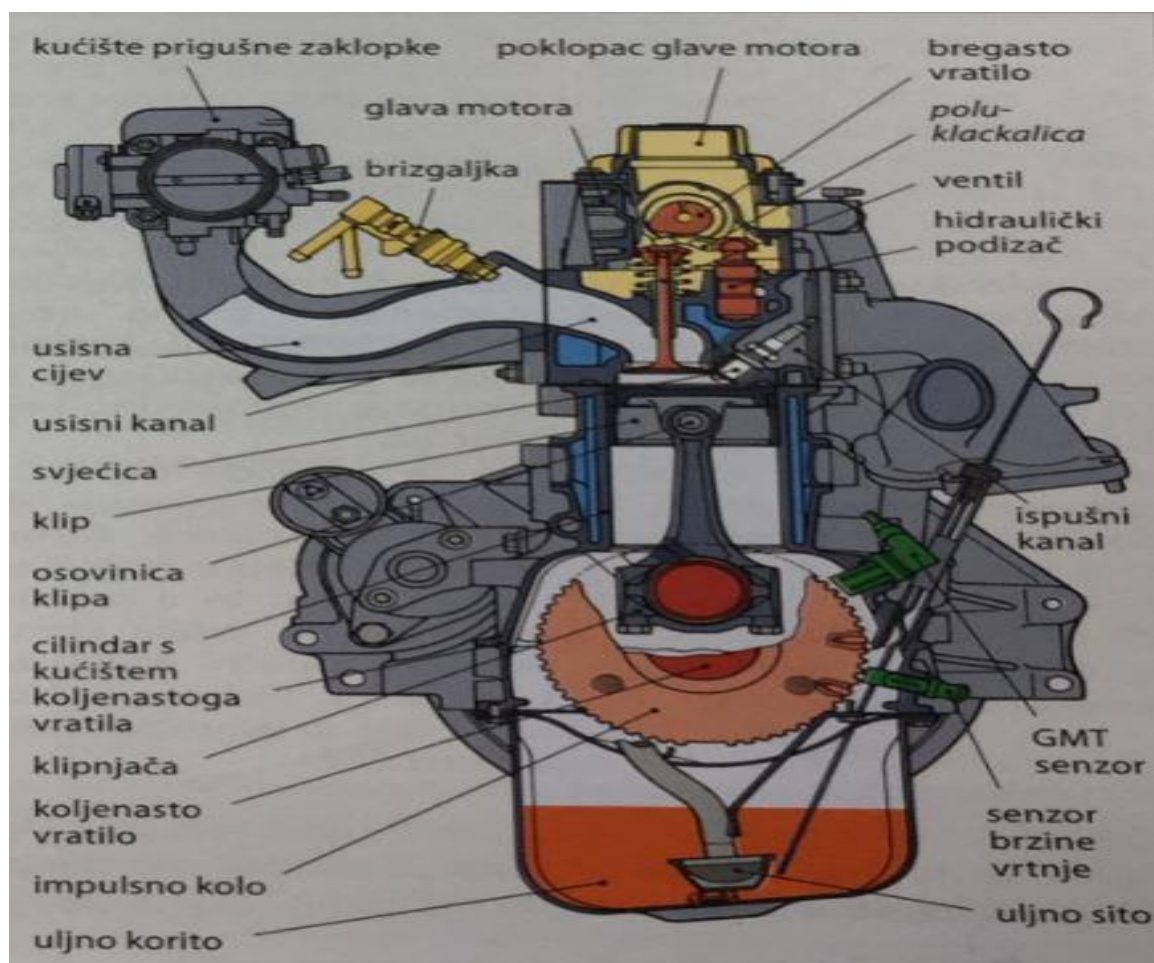


Slika 2.2. Stvarni  $P - V$  dijagram četverotaktnog motora

Izvor: [2]

### 2.2.2.1. Princip rada benzinskog motora

Benzinski motor radi na principu Otto procesa. Ime je dobio po njemačkom inženjeru Nikolausu Augustu Ottu koji je prvi otkrio princip rada takvih vrsta motora, pa se zbog toga benzinski motori nazivaju i Otto motorima. Kod benzinskih motora, smjesa zraka i goriva priprema se izvan cilindra motora te se u toku prvog takta usisava u cilindar motora. Konstrukcija s pripadajućim dijelovima četverotaktnog Otto motora prikazana je na slici 2.3.



Slika 2.3. Konstrukcija četverotaktnog Otto motora

Izvor: [1]

Princip rada četverotaktnog benzinskog motora može se podijeliti u četiri takta (slika 2.4.):

1. takt - Usis

U prvom taktu, klip se kreće od vanjske mrtve točke (VMT) prema unutarnjoj mrtvoj točki (UMT).

Pri čemu dolazi do povećanja volumena iznad klipa tako da se zbog toga u prostoru cilindra stvara podtlak tako da stvarni tlak u cilindru iznosi 0,7 - 0,95 bara. Usisni ventil je otvoren, ispušni ventil je zatvoren.

#### 2. takt – Kompresija

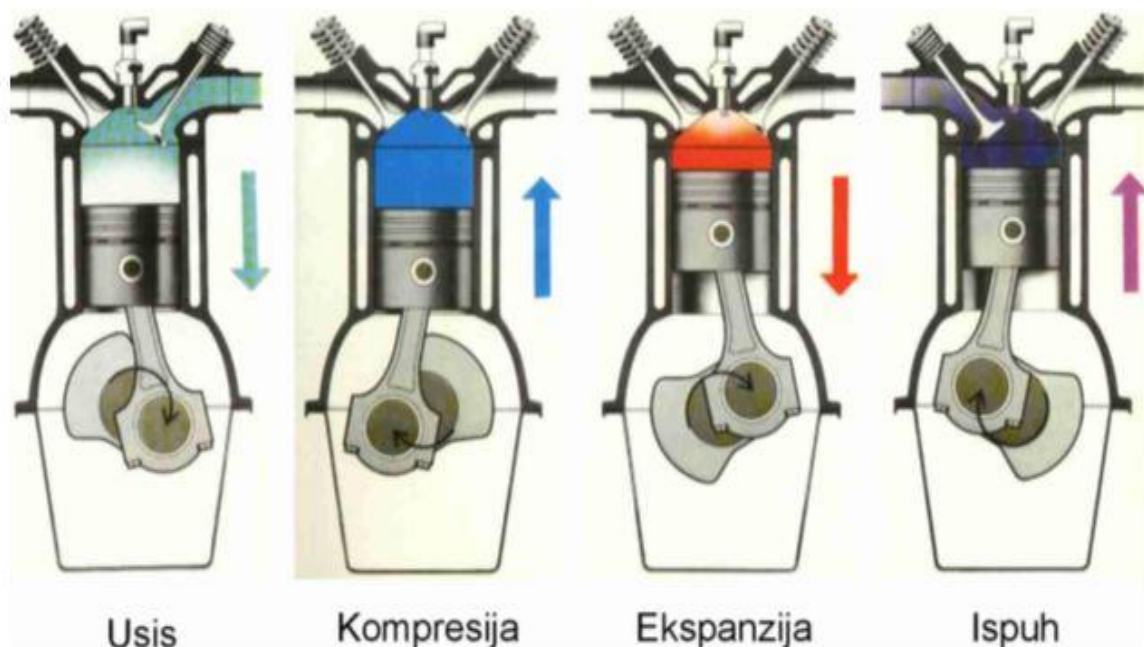
U taktu kompresije, klip se kreće od unutarnje mrtve točke (UMT) prema vanjskoj mrtvoj točki (VMT) i počinje smanjivati prostor cilindra motora iznad klipa. Oba ventila su zatvorena, i dolazi do stlačivanja radnog medija, odnosno smjese goriva i zraka.

#### 3. takt – Ekspanzija

Komprimirana smjesa goriva i zraka, neposredno prije nego što je klip ponovno došao u (VMT), pali se električnom visokonaponskom iskrom svjećice čime se postiže vrlo brzo izgaranje gorive smjese uz nagli porast tlaka i temperature plinova izgaranja. Oba ventila su zatvorena.

#### 4. takt – Ekspanzija

Neposredno prije nego što je klip, u taktu ekspanzije, došao ponovno u poziciju (UMT), otvara se ispušni ventil čime je omogućena potpuna ekspanzija plinova izgaranja koji sada velikom brzinom struje kroz otvoreni ispušni ventil iz cilindra. Klip se ponovo kreće od (UMT) prema (VMT) i istiskuje zaostale plinove izgaranja iz cilindra.



Slika 2.4. Princip rada četverotaktnog Otto motora

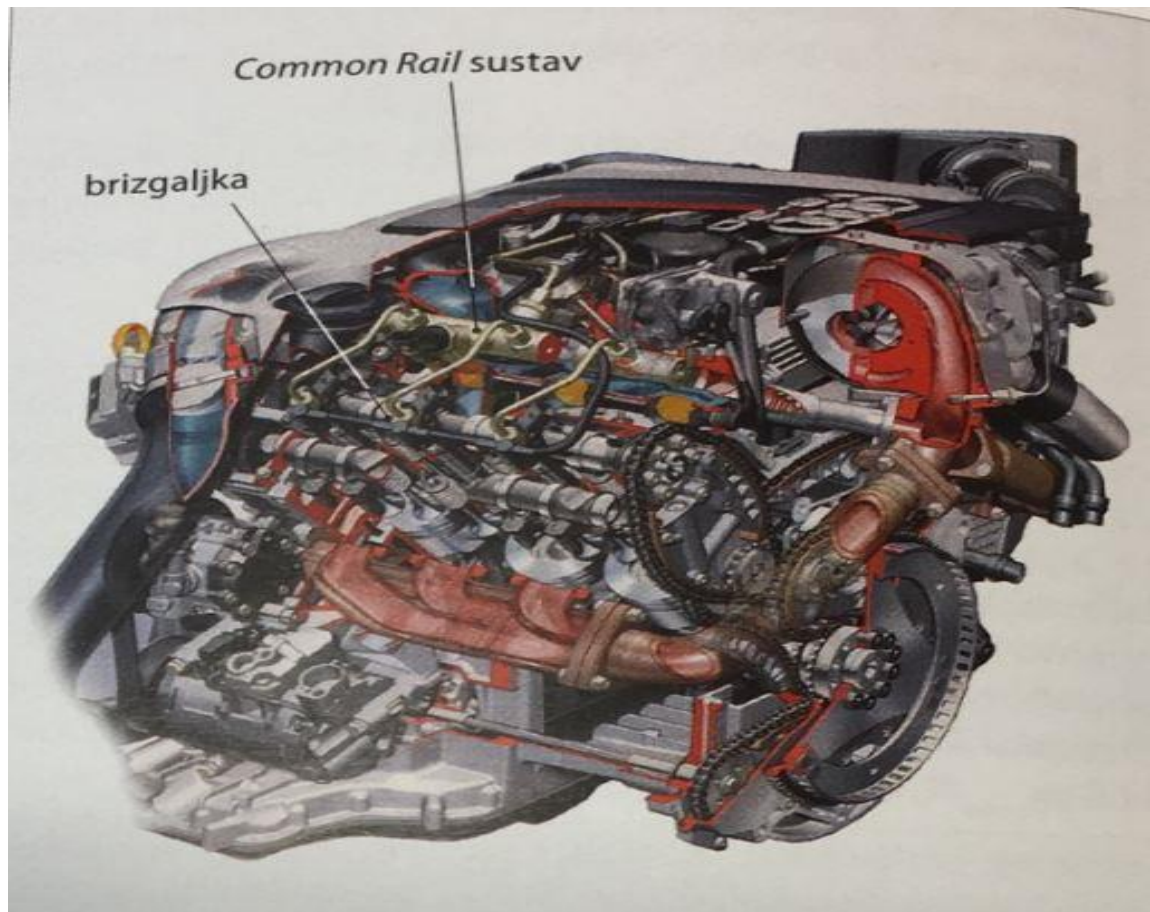
Izvor: [2]

### 2.2.2.2. Princip rada dizel motora

Današnji suvremeni dizel motori rade po principu Sabathe procesa. Kod klasičnog Diesel procesa, koji je dobio ime prema Rudolfu Dieselu, toplina se dovodi radnom mediju pri konstantnom tlaku, dok se kod suvremenog Diesel procesa jedan dio topline dovodi pri konstantnom volumenu a drugi dio pri konstantnom tlaku. Usporedimo li međusobno izraze za termičke stupnjeve djelovanja ova dva navedena procesa, onda ćemo vidjeti da je termički stupanj djelovanja suvremenog Diesel procesa veći od termičkog stupnja djelovanja klasičnog Diesel procesa.

Ovu činjenicu uočio je prvi Sabathe pa se zbog toga suvremeni Diesel proces često i naziva Sabathe procesom. Budući dakle da je termički stupanj djelovanja suvremenog Diesel procesa veći od klasičnog Diesel procesa, očito je da će kod suvremenog Diesel procesa dobiveni koristan mehanički rad biti veći, a potrošnja goriva manja. Zbog toga, svi današnji motori, kako je to već navedeno, rade na principu suvremenog Sabathe procesa. [2]

Kod dizelskih motora, za razliku od benzinskih motora, smjesa goriva i zraka priprema se u samom cilindru. Naime, dizel motor, usisava čisti zrak, koji se zatim kompresijom zagrijava na visoku temperaturu. U tako visoko ugrijani zrak ubrizga se raspršeno gorivo koje odmah ispari, miješa se sa zrakom i odmah dolazi do samozapaljenja. Zbog visokog stupnja kompresije, temperatura zraka na kraju takta kompresije viša je od temperature samozapaljenja. U osobna i laka gospodarska vozila ugrađuju se brzokretni Dieselovi motori s brzinama vrtnje do 5500 o/min. (slika 2.5.). Za pogon teških gospodarskih vozila primjenjuju se isključivo sporokretni Dieselovi motori s brzinama vrtnje do 2200 o/min. Dieselovi motori, u odnosu na Ottove motore, imaju i do 30 % nižu potrošnju goriva. Stupanj korisnosti može im dostići i 40%. [1]



Slika 2.5. Dieslov motor osobnog vozila

Izvor: [1]

### 2.2.2.3. Princip rada motora s rotacijskim klipom

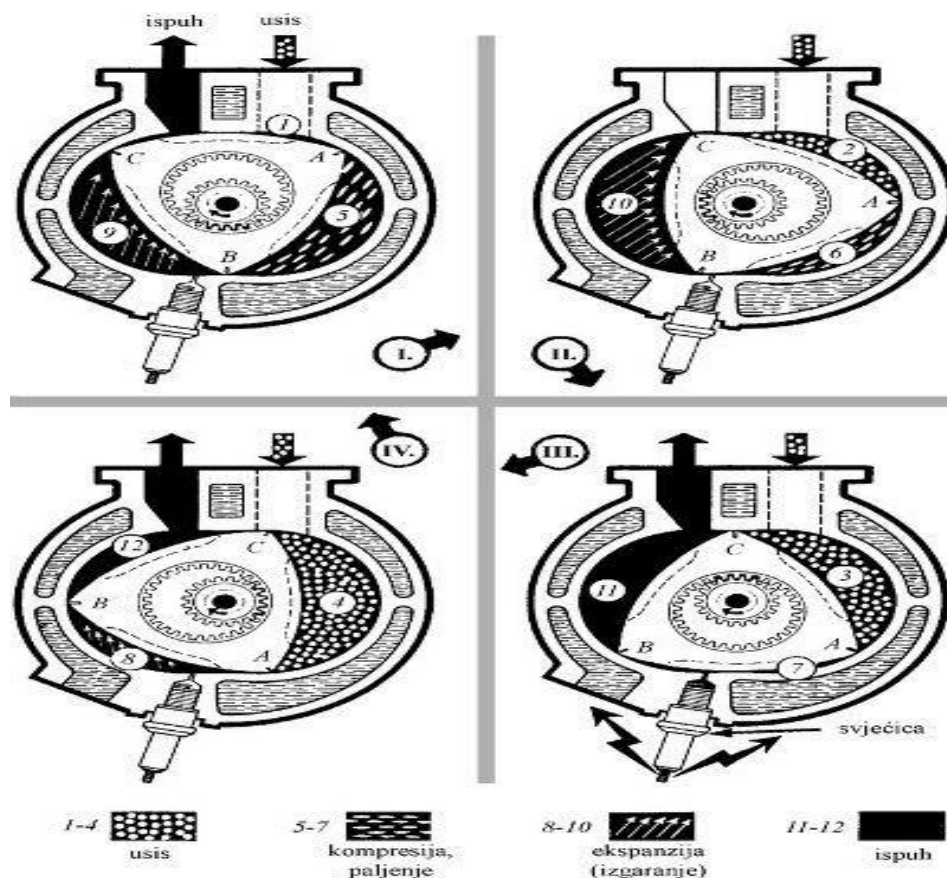
Motori s rotacijskim klipom još se nazivaju Wankel motori. Prvi puta je proizveden u tvornici NSU 1957. godine prema ideji Felixa Wankela prema kome se taj motor i danas često u praksi označuje. Kod ovog motora je Wankel pomoću posebnog oblika klipa i kućišta uspio postići potrebnu promjenu volumena za realizaciju četiriju operacija tj. operacije usisa, kompresije, ekspanzije i ispuha. [2]

Naime, kod benzinskih i Dieslovih motora s unutarnjim izgaranjem klip se pravocrtno giba unutar cilindra, a gibanje i snaga prenose se na pogonsko (koljenasto) vratilo s pomoću klipnoga mehanizma. Nasuprot tomu, kod Wankelova se motora trokutasti rotor, koji je u odnosu na kućište, uležišten ekscentrično, giba unutar ovalnoga kućišta (stator), dodirujući vrhovima njegovu unutarnju stijenku oblika .



Time unutar kućišta nastaju tri odvojene komore, a zahvaljujući složenom gibanju rotora, njihov se obujam stalno mijenja ovisno o položaju rotora, pa komore imaju istu ulogu kao i cilindri klipnih motora. Složeno gibanje rotora posljedica je njegove istodobne rotacije oko vlastite osi i gibanja oko osi vratila. Jednako kao i kod odgovarajućega benzinskoga motora, proces u Wankelovu motoru ima četiri takta: usis, kompresiju, ekspanziju i ispuh. U svakoj od triju komora istodobno se odvija jedan od taktova, ali s faznim pomakom, tako da se u jednom ciklusu gibanja (okreta) rotora obave tri puna četverotaktna procesa. U odnosu na druge motore s unutarnjim izgaranjem, Wankelov je motor kompaktniji, ima veliko specifično opterećenje radnog obujma cilindra, te tihi rad bez šumova i vibracija. Nedostatci su mu veliko termičko opterećenje u području svjećica, postizanje maksimalnoga zakretnoga momenta tek kod razmjerno velikoga broja okretaja, kraći vijek trajanja, problemi složenoga brtvljenja i nešto veća potrošnja goriva (do 16%). [16]

Na slici 2.6. prikazan je princip rada Wankelovog motora.

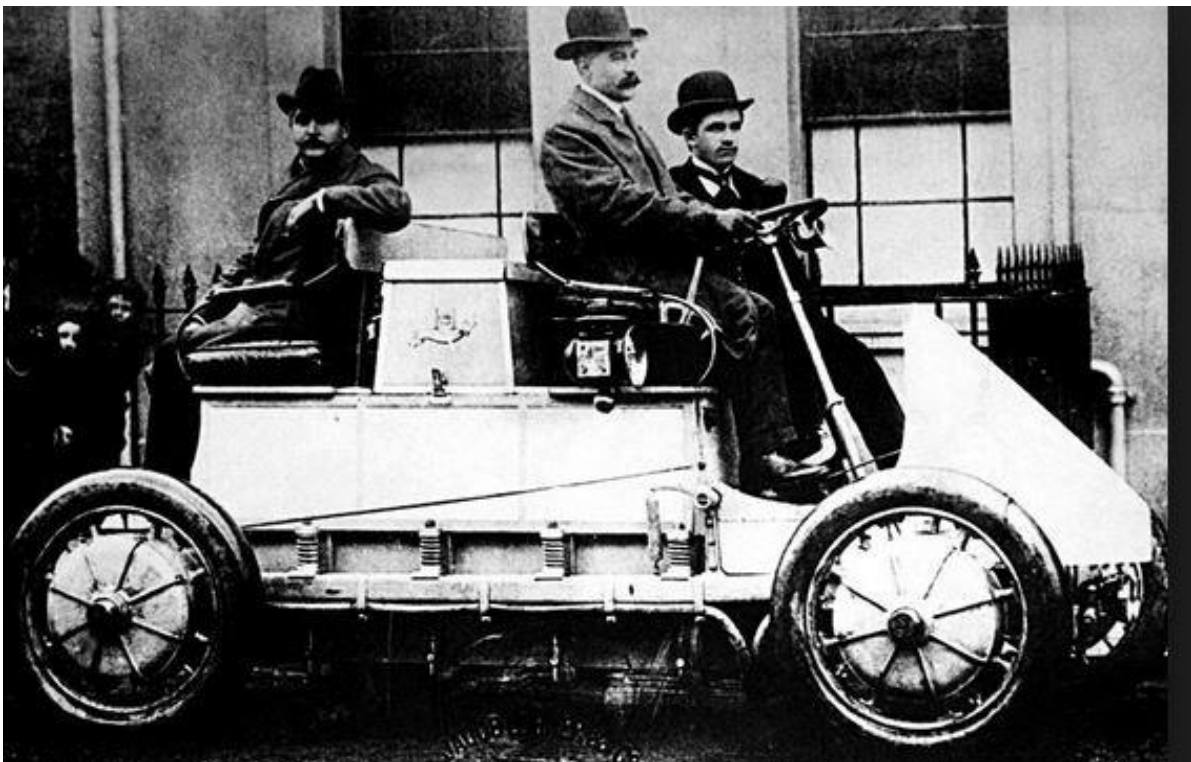


Slika 2.6. Princip rada Wankelovog motora

Izvor: [16]

### 2.3. Razvoj hibridnih cestovnih motornih vozila

Prva hibridna vozila napravljena su u zemljama koje danas nisu velesile automobilske industrije, Belgiji i Austriji. Jedno od prvih hibridnih vozila bio je Lohner-Porsche (slika 2.7.), konstrukcija Ferdinanda Porschea iz 1901. kao prvi hibrid, no mala belgijska tvrtka Pieper dvije je godine ranije predstavila svoj model. U normalnoj je vožnji benzinski motor samo punio baterije, a pri većim naprezanjima poput uspona oba su motora radila zajedno. Porsche je imao drugi koncept, umjesto pod sjedalom elektromotori su se nalazili u pogonskim kotačima. Problem velike mase baterija nije zadovoljavajuće riješen, te su se obje tvrtke posvetile prvenstveno kamionima i autobusima. Henri Pieper, izumitelj i tvorničar oružja njemačkih korijena iz Herstala u Belgiji već je 1895. počeo rad na hibridnom automobilu, kojeg će njegov sin Nicolas dovršiti 1899., dvije godine prije Porschea. Proizvodnja marke Pieper ipak je odlučila nastaviti proizvodnju i usavršavanje električnih i benzinskih modela. Hibridna tehnologija bila je prikladnija za kamione, koji su činili okosnicu produkcije, no do gašenja proizvodnje 1912. u ponudi su bili i osobni automobili. [5]



Slika 2.7. Lohner-Porsche, prvo hibridno vozilo

Izvor: [6]

Razvoj se preselio u SAD, gdje su automobilske kompanije iz Chicaga, ponudile prilično upotrebljive, no vrlo skupe hibridne automobile. Automobil Woods Dual Power je do 24 km/h vozio na struju, a onda bi se uključio Otto motor. Tvrtka Owen Magnetic je od 1915. do 1922. proizvela oko 700 luksuznih automobila, koji su zbog visoke cijene i iznimno kompliciranog održavanja ostali bez nasljednika. [5]

Automobilska hibridna tehnologija postala je široko rasprostranjena početkom 1990-ih. Prvo masovno proizvedeno hibridno vozilo bilo je Toyota Prius (slika 2.8.), patentirana u Japanu 1997., a slijedila je Honda Insight, predstavljena 1999. godine u Sjedinjenim Državama i Japanu. Prius je predstavljen u Europi, Sjevernoj Americi i ostatku svijeta 2000. godine. Prva generacija Toyote Prius ima potrošnju goriva od 4,5 l na 100 km. Honda Insight prve generacije s dvoje vrata ima potrošnju 3,9 L na 100 km pri gradskoj vožnji i 3,5 L na 100 km prilikom vožnje izvan grada. Iako Prius troši više goriva u gradskoj vožnji, on ima bolju iskoristivost jer u mirovanju i pri manjim brzinama kotači se pokreću električnim motorom. Benzinski motor se obično isključuje i ostaje isključen dok vozilo ne dostigne brzinu od 20 do 35 kilometara na sat. [7]



**Slika 2.8. Toyota Prius, prva generacija**

Izvor: [7]

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. Tijekom 1960-ih u SAD su nastali neki zanimljivi hibridni koncepti. AMC Amitron iz 1967. značajan je po patentu regenerativnog kočenja. Volkswagen je legendarni kombi T2 pretvorio u hibridno taksi vozilo, žrtvujući suvozačko sjedalo, prostor ispod klupe za putnike i dio prtljažnika za smještaj baterija - veličina i masa i dalje su bili veliki problem.

Sve je češći i koncept Plug-In hibridnih vozila koja se pune na vanjsku utičnicu, za razliku od običnih hibridnih motornih vozila koja nemaju mogućnost punjenja baterije preko vanjske utičnice. Plug-In vozila mogu se puniti u specijalnim punionicama ili preko obične struje za domaćinstva. Takav koncept je u redovnu prodaju pustio nepoznat kineski BYD auto. BMW i8 (slika 2.9.) najpoznatiji je predstavnik te nove generacije Plug-In hibrida, a po mnogima je riječ o zanimljivom konceptu koji predstavlja budućnost sportskih automobila. [5]



**Slika 2.9. BMW, model i8**

**Izvor: [5]**

Japan ima najveću flotu hibridnih električnih vozila na svijetu. Od ožujka 2018. godine posjeduju ukupno 7,51 milijuna hibrida registrirano u zemlji. Do 2010. predstavljala je oko 45% kumulativne globalne hibridne prodaje od njihovog početka 1997. godine. Nakon 18 godina od njihova predstavljanja na japanskom tržištu, godišnja prodaja hibrida prvi je put premašila milijun primjeraka u 2014. Kumulativnom prodajom od preko 4 milijuna hibrida do prosinca 2014. godine, Japan je nadmašio SAD kao najveće hibridno tržište na svijetu. To je ujedno bilo i prvi put da je osam glavnih japanskih proizvođača ponudilo hibridna motorna vozila u svojoj liniji

Do siječnja 2017. godine širom svijeta prodano je više od 12 milijuna hibridnih električnih vozila od početka masovne proizvodnje koja je počela 1997. Japan je na prvom mjestu, a slijede ga Sjedinjene Države s kumulativnom prodajom od preko 4 milijuna primjeraka, Europa s oko 1,5 milijuna, a ostatak svijeta s kombiniranom prodajom od preko 500 000 hibrida. [7]

### **3. VRSTE HIBRIDNIH CESTOVNIH MOTORNIH VOZILA**

Glavna podjela hibridnih cestovnih motornih vozila s obzirom na autonomnost električnog pogona je na djelomične i potpune hibride.

Djelomični hibrid koristi manju bateriju i kod djelomičnog hibrida elektromotor služi samo kao pomoć motoru s unutarnjim izgaranjem. Iako djelomična hibridna vozila nisu sposobna za električno pokretanje, a iako ne nude toliko značajnu uštedu goriva kao potpuni hibrid, mogu poboljšati performanse uz smanjenje potrošnje goriva. Kad je potrebna dodatna snaga, generator koristi pohranjenu električnu energiju kako bi primijenio moment na motor, pojačavajući svoj učinak bez sagorijevanja dodatnog goriva. Prilikom obilaska, benzinski motor okreće generator kako bi stvorio električnu energiju koja ponovno puni bateriju. U djelomičnom hibridu, benzinski motor može se isključiti i uštedjeti gorivo u većini situacija, primjerice spuštanjem niz brdo ili zaustavljanjem na semaforu. U djelomičnom hibridu dolazi do manje potrošnje goriva i poboljšanja snage u nižem stupnju od potpuno hibridnog vozila, ali uz puno nižu cijenu, jer su djelomična hibridna vozila manje komplicirana, koriste manje baterije i imaju manje složene komponente. [14]

Potpuni hibrid za razliku od djelomičnog ima mogućnost vožnje vozilom pogonjenim samo elektromotorom. U slučaju nestanka goriva, potpuni hibridi mogu nastaviti vožnju koristeći samo elektromotor, što kod djelomičnih hibrida nije moguće. Potpuni hibridi razvijaju znatno veću dodatnu snagu nego djelomični hibridi.

#### **3.1. Podjela s obzirom na vrstu goriva**

Hibridni automobili za pokretanje koriste elektromotor i benzinski ili dizelski motor s unutarnjim izgaranjem. Elektromotor se napaja električnom energijom iz baterija, dok se benzinski i dizelski motor napaja odgovarajućim gorivom.

### 3.1.1. Benzinska hibridna vozila

U suvremeno doba, najrasprostranjenija su hibridna vozila koja za pokretanje koriste benzin. To su uglavnom osobni automobili, a od novijih modela ističe se Toyota C-HR (slika 3.1.). Benzinska hibridna vozila sadrže sljedeće dijelove: [8]

- Benzinski motor - Hibridni automobil ima benzinski motor sličan onome koji se koristi na većini automobila. Međutim, motor na hibridu je manji i koristi napredne tehnologije za smanjenje emisije štetnih plinova i povećanje učinkovitosti.
- Spremnik goriva - Spremnik goriva u hibridu je uređaj za skladištenje energije benzinskog motora.
- Elektromotor - Elektromotor na hibridnom automobilu vrlo je sofisticiran. Napredna elektronika omogućuje mu da djeluje kao motor i kao generator. Po potrebi, može izvući energiju iz baterija kako bi ubrzao automobil. No djelujući kao generator, može usporiti automobil i vratiti energiju u baterije.
- Generator - Generator je sličan električnom motoru, ali djeluje samo za proizvodnju električne energije. Koristi se uglavnom na serijskim hibridima.
- Baterije - baterije u hibridnom automobilu su uređaji za pohranu energije za elektromotor. Za razliku od benzina u spremniku goriva, koji može pokretati samo benzinski motor, elektromotor na hibridnom automobilu može ubaciti energiju u baterije, kao i crpiti energiju iz njih.
- Prijenos - Prijenos na hibridnom automobilu obavlja istu osnovnu funkciju kao i prijenos na konvencionalnom automobilu. Neki hibridi, poput Honde Insight, imaju uobičajene prijenosnike. Drugi, poput Toyote Prius, imaju radikalno drugačije.



**Slika 3.1. Toyota C-HR, benzinsko hibridno vozilo**

**Izvor: [13]**

### **3.1.2. Dizelska hibridna vozila**

Dizelska hibridna vozila koriste se u znatno manjem broju nego što su to benzinska. Uglavnom se koriste za teretna i gospodarska vozila te autobuse, jer uvelike smanjuju potrošnju goriva i samim time manje zagađuju okoliš. Na sajmu automobila u Ženevi 2012. godine, Volkswagen je predstavio njihovo terensko konceptno vozilo koje je koristilo dizel-hibridni pogonski sklop (slika 3.2.).





**Slika 3.2. Volkswagen, konceptno hibridno vozilo s dizelskim pogonskim sklopom**

Izvor: [9]

### 3.2. Podjela s obzirom na vezu mehaničkog i električnog dijela

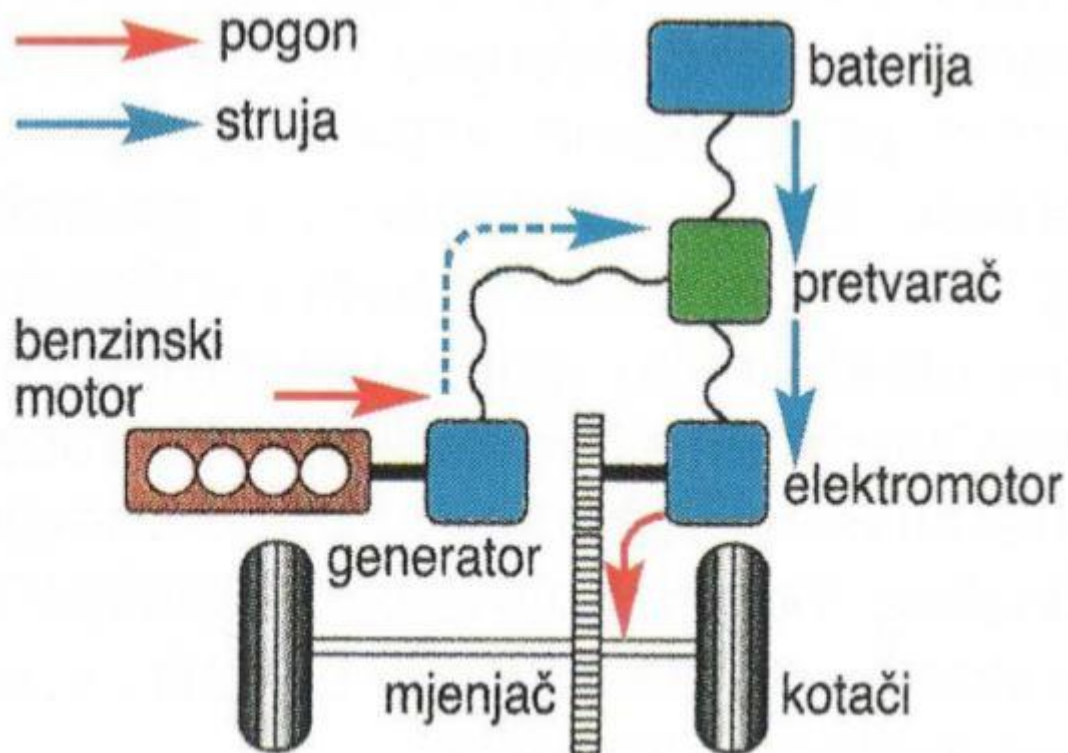
S obzirom na vezu mehaničkog i električnog dijela hibridna vozila dijele se na:

- Serijski hibridni pogon
- Paralelni hibridni pogon
- Serijsko-paralelni hibridni pogon

#### **3.2.1. Serijski hibridni pogon**

Kod serijskog hibridnog pogona (slika 3.3.), pogonske kotače uvijek pogoni elektromotor, koji ovisno o potrebama dobiva energiju od generatora ili baterija. Njime se vrši regulacija brzine automobila bez ikakve mehaničke veze s motorom s unutarnjim izgaranjem. Na taj se način uvelike smanjuje potrošnja goriva. Kako bi se povećao domet serijskog hibrida, motor s unutarnjim izgaranjem se uključuje po potrebi i preko generatora proizvodi električnu energiju kojom puni baterije.

Na taj način motoru s unutarnjim izgaranjem je omogućen rad u optimalnom radnom području s najmanjom potrošnjom goriva. Poboljšanje energetske učinkovitosti postiže se i time što se iskorištava energija kočenja, tako što elektromotor postaje generatorom kojega tjeraju kotači. Učinkovitost takvog pogona je ipak dijelom smanjena zbog gubitaka u pretvaranju mehaničke energije u električnu, te naknadnog pretvaranja električne energije iz baterija ponovno u mehaničku. Motor je obično manji u serijskom pogonu, jer mora udovoljiti samo određenim zahtjevima snage, baterija je općenito snažnija od one u paralelnim hibridima kako bi se osigurale preostale potrebe za napajanjem. Ova veća baterija i motor, zajedno s generatorom, povećavaju troškove vozila, čineći serijske hibride skupljima od paralelnih hibrida. [11]



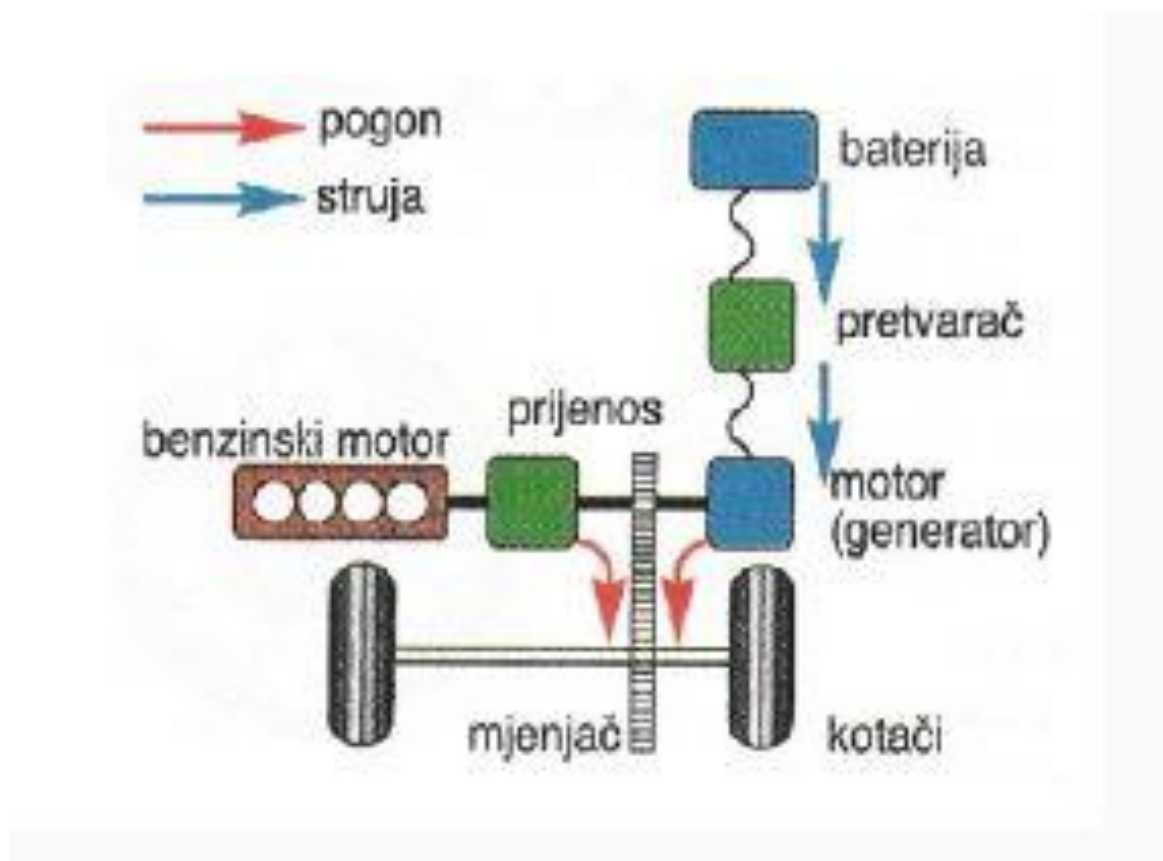
Slika 3.3. Serijski hibridni pogon

Izvor: [10]

### 3.2.2. Paralelni hibridni pogon

U vozilima s paralelnim hibridnim pogonom (slika 3.4.), motor i elektromotor rade u tandemu da bi stvorili snagu koja pokreće kotače. Paralelni hibridi često koriste manju bateriju nego serijski pogonski sklop, oslanjajući se na regenerativno kočenje kako bi ga ponovo napunili. Kad su zahtjevi za energijom niski, paralelni hibridi također koriste motor kao generator za dopunsko punjenje, slično kao alternator u uobičajenim automobilima.

Budući da je motor spojen izravno na kotače u paralelnim pogonskim sklopima, uklanja se neučinkovitost pretvaranja mehaničke snage u električnu energiju i natrag, povećavajući učinkovitost ovih hibrida na autocesti. Takva izvedba smanjuje, ali ne eliminira, iskoristivost elektromotora u gradskoj vožnji, zbog stalne potrebe rada motora s unutarnjim izgaranjem. [11]



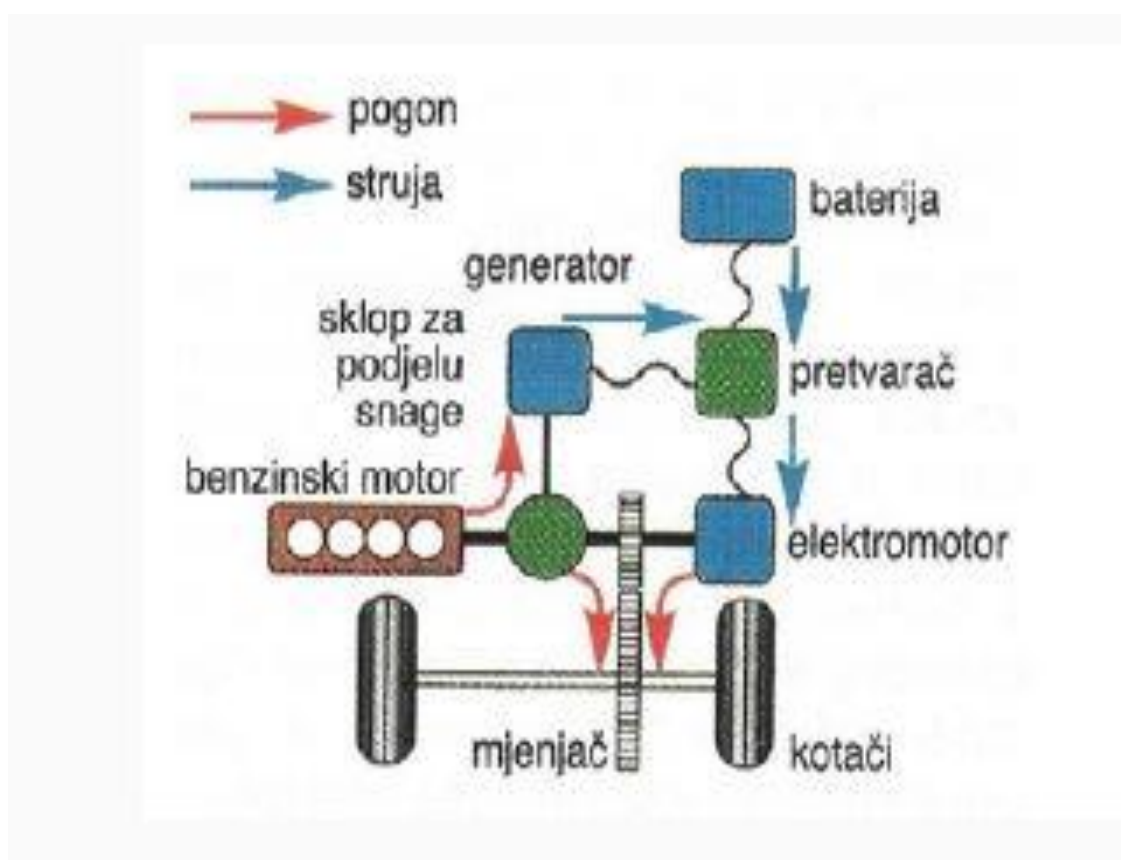
Slika 3.4. Paralelni hibridni pogon

Izvor: [10]

### 3.2.3. Serijsko-paralelni hibridni pogon

Serijsko–paralelni pogon (slika 3.5.) je kombinacija serijskog i paralelnog hibridnog pogona, te objedinjuje prednosti oba sustava. Tu benzinski motor i elektromotor sinkronizirano vrte kotače, a punjenje baterije prepušteno je generatoru koji se, po potrebi, spaja na pogon jednog ili drugog motora. Ovisno o uvjetima vožnje i kontroliranoj štednji energetske rezervi, vozilo se simultano kreće s jednim ili oba pogonska sklopa, pri čemu se baterije stalno dopunjuju. Ovisno o potrebi, u nekim uvjetima rada dominira benzinski motor, a drugim elektromotor. Posebni benzinski motor, snažni elektromotor i generator su mehanički povezani uz pomoć jednostavnog planetarnog reduktora i njima upravlja inteligentni sustav u računalu. Sustav tako uvijek osigurava odlične performanse sa najboljom mogućom iskoristivošću.

Ovaj sustav snosi veće troškove od čistog paralelnog hibrida jer za upravljanje dualnim sustavom zahtijeva generator, veći akumulator i više računске snage. Ipak, njegova učinkovitost znači da serijsko-paralelni pogonski sustav može biti bolji i trošiti manje goriva - nego samo serijski ili paralelni sustavi [11]

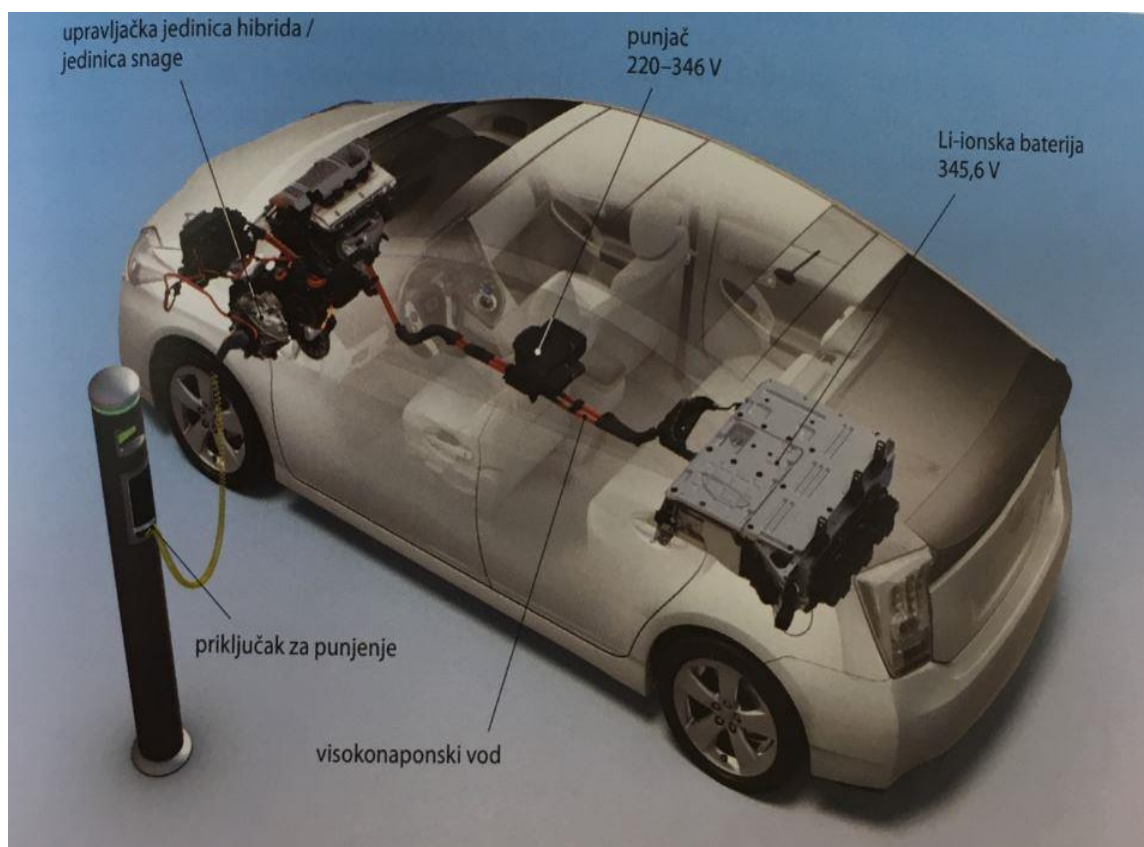


Slika 3.5. Serijsko-paralelni hibridni pogon

Izvor: [10]

### 3.3. Plug-In hibridi

Plug-In hibridno električno vozilo (PHEV – Plug-In Hybrid Electric Vehicle) hibridno je električno vozilo čija se baterija može napuniti priključivanjem u vanjski izvor električne energije, kao i pomoću ugrađenog motora i generatora. Na slici 3.6. prikazano je punjenje Plug-In hibridnog vozila, te su prikazani dijelovi Plug-In utičnog hibrida. Većina PHEV vozila su putnički automobili, ali postoje i PHEV verzije komercijalnih vozila i kombija, autobusa, vlakova, motorkotača, skutera i vojnih vozila.



Slika 3.6. Plug-In punjenje

Izvor: [1]

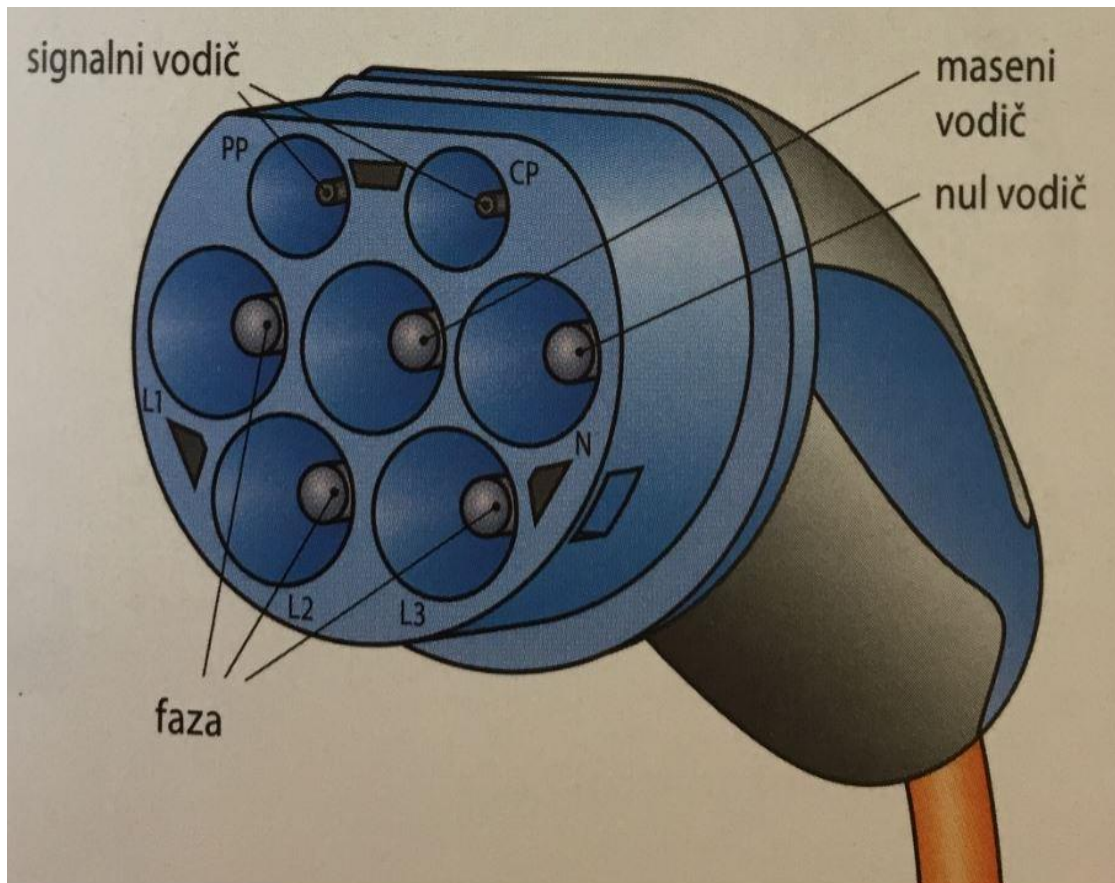
Plug-In hibridi imaju veće baterije nego klasični hibridi i predstavljaju prijelazni oblik između hibridnih i potpuno električnih vozila. Na slici 3.7. prikazan je izgled motora hibridnog motornog vozila, koji se sastoji od benzinskog motora i elektromotora.



**Slika 3.7. Izgled motora hibridnog vozila**

**Izvor: [13]**

Uobičajeni sustavi utikača predviđaju primjenu kako jednofaznog 230 V priključka, tako i 400 V trofaznog do 63 A struje punjenja. Punjenje vozila preko trofaznog priključka skraćuje vrijeme punjenja na 10% vremena pri jednofaznom punjenju. Sustav punjenja sadrži i potrebno komunikacijsko sučelje između stanice za punjenje i vozila zahvaljujući signalnim vodovima u utikaču. Na slici 3.8. prikazan je priključak za punjenje. [1]



Slika 3.8. Priključak za punjenje

Izvor: [1]

Utikački sustav opremljen je različitim sigurnosnim mjerama: [1]

- Aktiviranje blokada odvoženja: posebni strujni krug provjerava priključenost utikača punjenja, čime se sprječava nehотиčno čupanje priključenog voda za punjenje.
- Električna zaštita: zaseban strujni krug provjerava potpunu uključenost utikača. Napon punjenja pojavljuje se samo ako je utikač potpuno utisnut u svoje ležište.
- Zaštita od preopterećenja: električni otpori u utikačima punjenja kodiraju dopušteno područje primjene vodova za punjenje.
- Zaštita dijelova: vozilo prima informacije o jakosti struje koja je na raspolaganju sa stanice za punjenje i koju najveću jakost struje podržava vod punjenja. Također, provjerava ispravnost spojeva i zaštitnog voda te zabavljenost utične naprave.

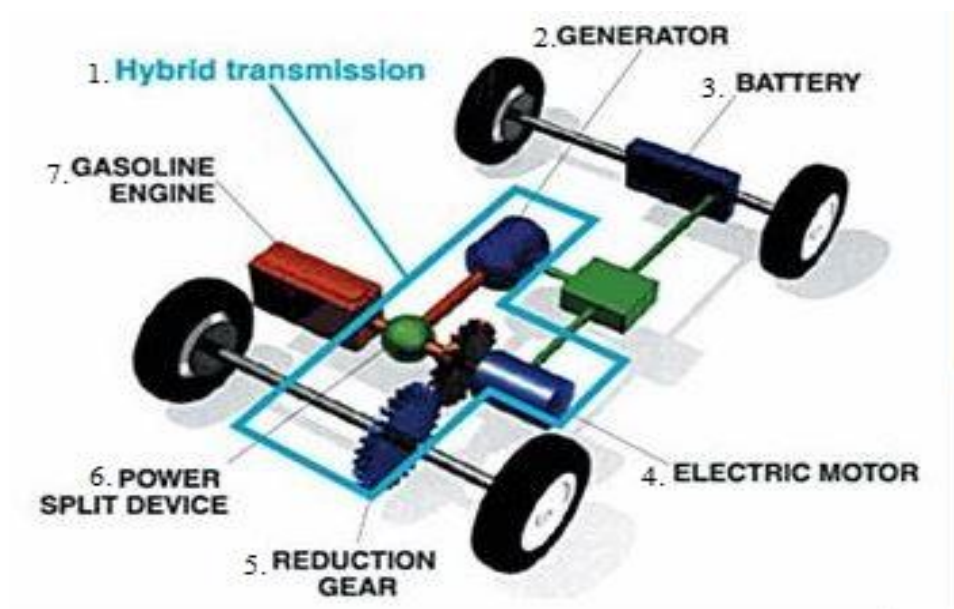
## 4. PRINCIP RADA HIBRIDNIH CESTOVNIH MOTORNIH VOZILA

Hibridno vozilo je vozilo koje koristi dva ili više izvora energije za pokretanje. Jedan izvor energije je elektromotor, dok se za drugi izvor energije koristi benzinski ili dizelski motor s unutarnjim izgaranjem. Električni pogon se koristi radi smanjenja emisije ugljikova dioksida ili želje za boljim performansama vozila. Prilikom velikih brzina i naglog ubrzavanja, radi motor s unutarnjim izgaranjem, dok elektromotor služi za pokretanje i sporiju gradsku vožnju.

Specifičnost hibridnih vozila je postojanje dodatnog izvora snage koji može funkcionirati kao glavni pogon, kao dodatna potisna sila ili zajednička snaga automobila. [12]

Na slici 4.1. prikazan je raspored komponenti hibridnog vozila: [12]

1. Hibridni prijenosni mehanizam
2. Generator
3. Baterija
4. Elektromotor
5. Reduktor
6. Uređaj za podjelu snage
7. Motor s unutarnjim izgaranjem



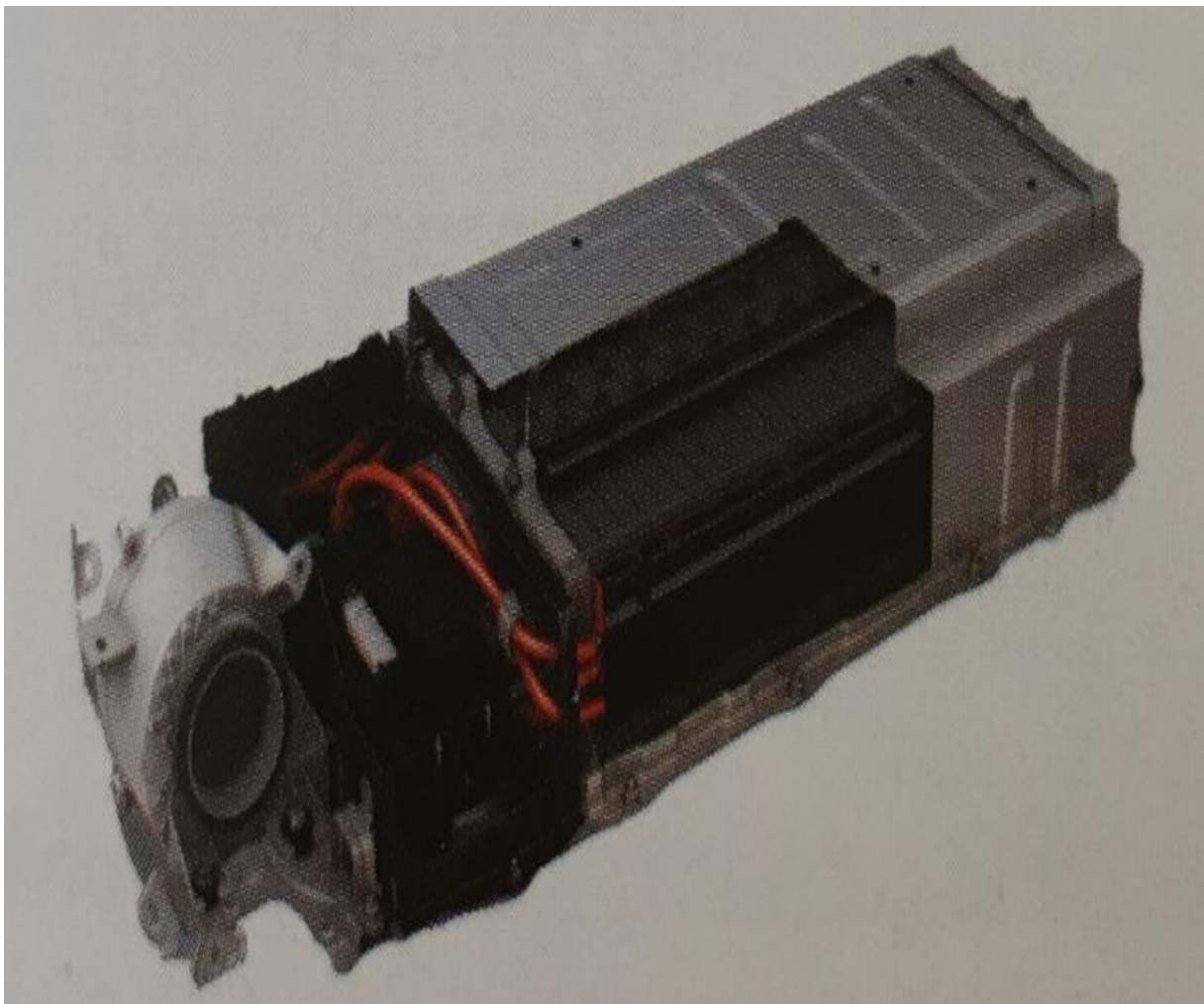
Slika 4.1. Raspored komponenti hibridnog vozila

Izvor: [12]



Elektromotor može biti spojen s glavnim motorom i smješten uzdužno ili poprečno iznad prednje osovine ili može biti smješten u kotačima automobila. Koliko kotača automobil ima toliko ima i elektromotora, i tako mu daje pogon na sve kotače.

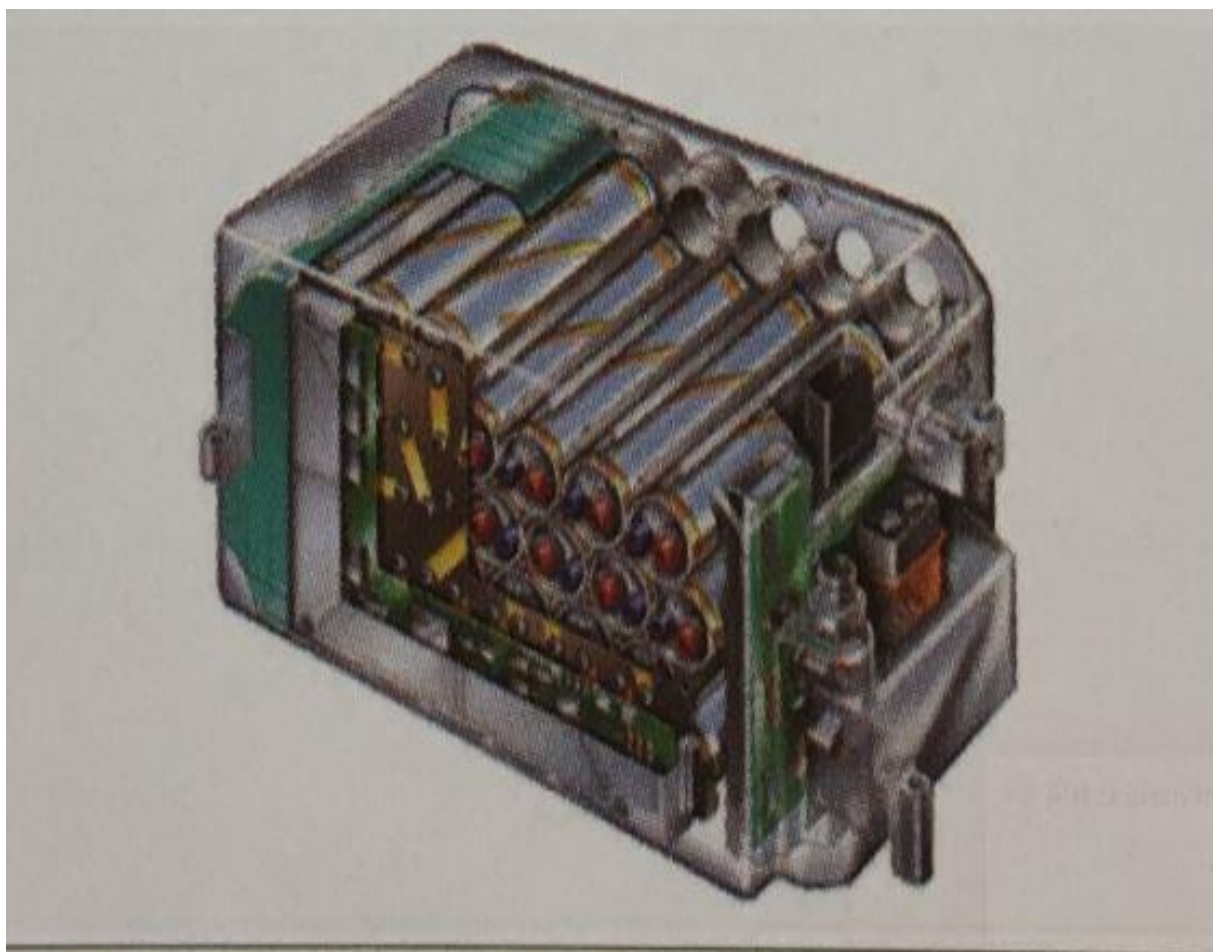
Za svoj rad elektromotor se napaja iz posebnih nikal-metal hidridnih (NI-MH) baterija (slika 4.2.) ili litij-ionskih (Li-Ion) baterija koje su smještene u stražnjem dijelu automobila. Nikal-metal baterija ima veću težinu u odnosu na litij-ionsku. Također, ima razmjerno niske troškove proizvodnje, te sadrži manje zahtjevan elektronički upravljački uređaj baterije, hlađenje i zaštitni pokrov. Posjeduje mogućnost izmjene neispravnih pojedinačnih članaka.



**Slika 4.2. Nikal-metal baterija (NI-MH)**

**Izvor: [1]**

Da bi baterije imale konstantan kapacitet potrebno ih je redovito puniti, a to se može ostvariti uz pomoć generatora ili gradske mreže. No pri tome je potrebno imati DC/AC pretvarač koji će istosmjernu struju u baterijama pretvoriti u izmjeničnu struju potrebnu za rad elektromotora. Na slici 4.3. prikazana je Litij-ionska baterija. Litij-ionska baterija u odnosu na nikal-metal bateriju, ima veću gustoću energije i snage. Ima veću korisnost i manje samopražnjenje. Negativne značajke ove baterije su osjetljivost pri niskim temperaturama, osjetljivost na prepunjavanje i duboko pražnjenje, te su osjetljive na mehanička oštećenja. [1]

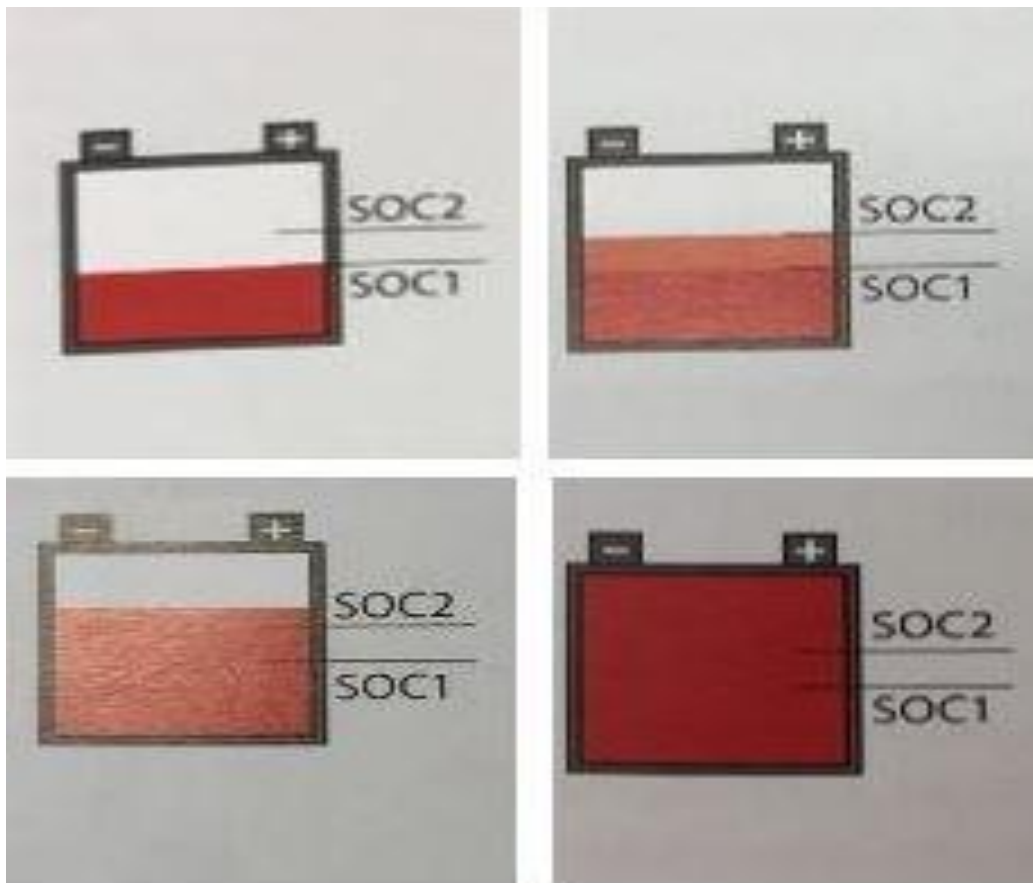


**Slika 4.3. Litij-ionska baterija (LI-Ion)**

Izvor: [1]

Inteligentna regulacija rada generatora definira za bateriju dva stanja napunjenosti (SOC- State of Charge). Na slici 4.4. prikazan je regulacijski proces u ovisnosti o stanju napunjenosti baterije: [1]

- Ispod stanja napunjenosti SOC1 baterija se nadopunjava u svim režimima rada motora (pogon vozila, kočenje motorom) i pri kočenju vozila.
- Ako je stanje napunjenosti baterije između SOC1 i SOC2, baterija se puni s povišenim naponom generatora u fazi kočenja motorom, odnosno kočenja vozila. U pogonskoj fazi motora, generator daje energiju samo za električnu mrežu vozila. Baterije se ne nadopunjavaju.
- Iznad SOC2 baterija se puni tijekom kočenja vozila i u fazi kočenja motorom. U pogonskoj fazi motora generator se potpuno rasterećuje. Mreža vozila dobiva električnu energiju isključivo s baterije.
- S povećanjem udjela broja faza kočenja motorom, stanje napunjenosti baterije može dosegnuti 100 %. Baterije se više ne nadopunjuju niti u jednoj fazi.



Slika 4.4. Inteligentni regulacijski procesi

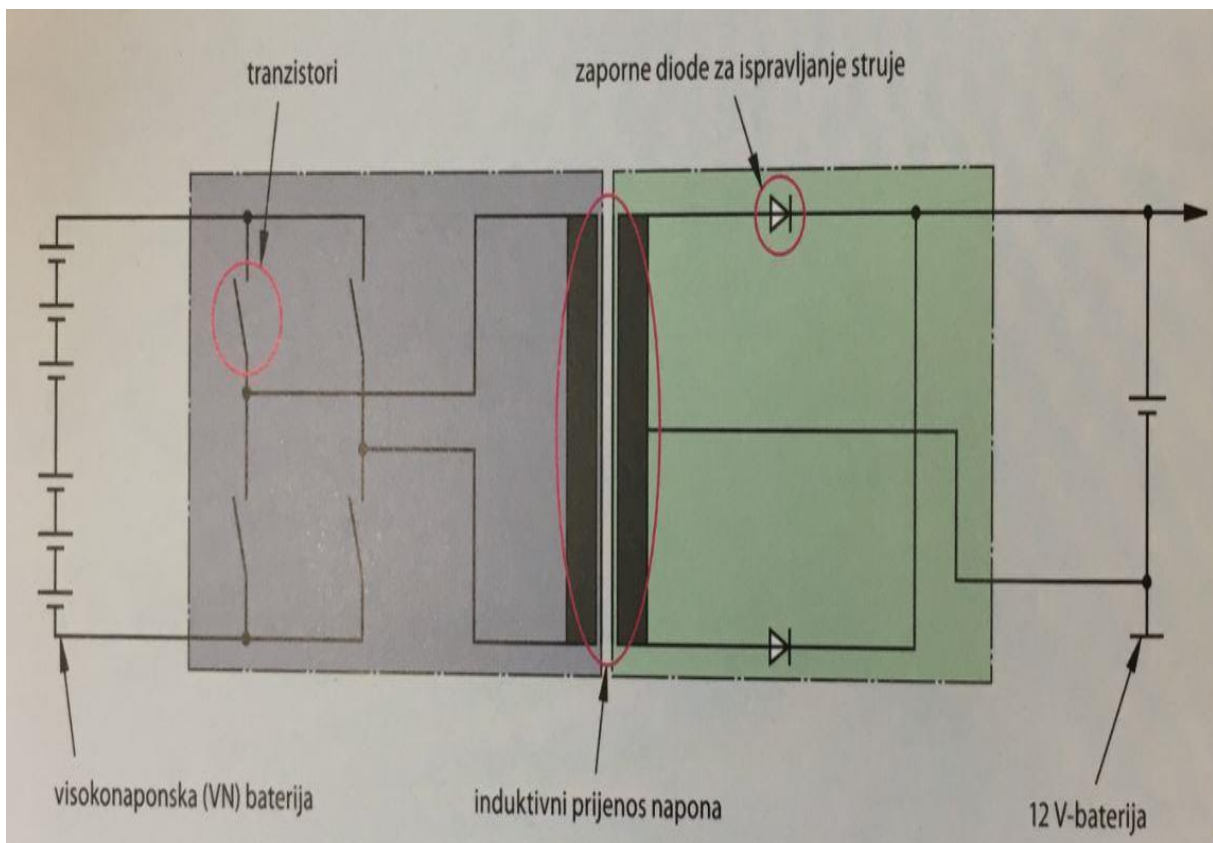
Izvor: [1]

Zadaci energetske elektronike hibridnog vozila su: [1]

- Pretvorba istosmjernog napona u izmjenični napon (ispravljanje, DC-AC) i izmjeničnog u istosmjerni (izmjenjivanje, AC-DC)
- Promjena istosmjerne naponske razine (DC-AC)
- Punjenje visokonaponske baterije

U hibridnom se vozilu električni uređaji napajaju različitim naponima, odnosno naponskim područjima: napon mreže vozila, npr. 12 V, napon visokonaponske baterije i agregata, npr. 201,6 V, napon pogonskih motora, npr. 650 V.

Napajanje 12 voltne mreže vozila izvedeno je preko visokonaponske baterije i pretvarača istosmjernog napona. Zbog sigurnosti, visokonaponska strana (VN baterija) galvanski je odvojena od 12 voltne mreže vozila preko pretvarača napona (slika 4.5.).



**Slika 4.5. Pretvarač napona**

Izvor: [1]

Ovisno o vrsti hibrida, elektromotor može raditi kao generator ili može biti ugrađen odvojeni generator koji puni baterije kada je uključen motor s unutarnjim izgaranjem. Pri tome generator funkcionira i kao elektropokretač odnosno anlaser. Isto tako baterije se mogu puniti prilikom kočenja vozila. Poznato je da se pri kočenju oslobađa velika količina kinetičke energije koja se kod hibridnih automobila posebnom elektromotornom kočnicom ili reverzibilnim radom generatora akumulira u električnu energiju i time puni baterije. Tako primjerice, za vožnju nizbrdicom od 20-ak minuta, baterija se napuni toliko da ima dodatnih 10 km dometa. Neki pak hibridni modeli imaju običnu utičnicu poput kućne koja se priključi u 220/120 voltni gradski napon čime se pune baterije. Kod hibrida s jednim ili dva elektromotora da bi se snaga prenijela na pogonske kotače potreban je poseban sklop planetarnih zupčanika ili spojki kojim su motor s unutrašnjim izgaranjem i elektromotor preko osovinskih reduktora spojeni na diferencijal. Takvi hibridi imaju remenski automatski mjenjač spojen na nosač planetarnih prijenosnika. Kod hibrida koji imaju elektromotore smještene zasebno u kotačima pogon je na sve (4x4) kotače i elektromotori u biti služe kao glavni pogon vozila. Pri tome benzinski motor pokreće generator čime se pokreće elektromotor i napajaju baterije. [12]

## 5. EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE HIBRIDNIH CESTOVNIH MOTORNIH VOZILA

Eksploatacija vozila izraz je za iskorištenje vozila u odnosu na njegov tehnički kapacitet propisan tehničkim priručnikom za održavanje. Eksploatacija se može pratiti opsegom prijevoza kao osnovnim mjerilom za praćenje stupnja iskorištenosti kapaciteta.

### 5.1. Eksploatacijske značajke cestovnih motornih vozila

Pod eksploatacijskim – tehničkim obilježjima podrazumijeva se niz međusobno povezanih karakteristika, od kojih zavisi pogodnost vozila za korištenje pod različitim uvjetima. Osnovne eksploatacijske – tehničke značajke su: dinamičnost, ekonomičnost, pouzdanost, vijek trajanja, kapacitet, kompleksna udobnost, sigurnost, prohodnost i pogodnost konstrukcije vozila za održavanje. [15]

#### 5.1.1. Dinamičnost vozila

Dinamičnost vozila predstavlja sposobnost prijevoza putnika i/ili tereta najvećom srednjom brzinom pri određenim uvjetima. Dinamičnost vozila prije svega ovisi o njegovim konstruktivnim svojstvima kao što su: snaga, zakretni moment motora, prijenosni odnosi u transmisiji, koeficijent korisnog djelovanja, ukupna masa vozila, primijenjeni pneumatici i aerodinamičnost vozila. Dinamičnost vozila zavisi i od aktivnih sigurnosnih elemenata, a to su: kočiona svojstva, upravljivost, stabilnost, vidljivost, signalizacija te prohodnost vozila.

Elementi dinamičnosti su i: specifična snaga, specifični zakretni moment i intenzitet kočenja.

Specifična snaga vozila je odnos neto snage motora i ukupne mase vozila, a vrijednost specifične snage vozila ovisi o njegovom tipu. Minimalne vrijednosti specifične snage za određeni tip vozila propisane su zakonom. Kod putničkih vozila specifična snaga je mnogo veća od minimalno dozvoljene, no to nije slučaj sa teretnim vozilima i vozilima sa prikolicom, čija je specifična snaga bliska minimalno dozvoljenoj.

Specifični zakretni moment predstavlja odnos maksimalno dozvoljenog zakretnog momenta i ukupne mase. Vrijednosti specifičnog zakretnog momenta motora koji se ugrađuje u vozilo, također su zakonom propisane. [4]

Veće vrijednosti specifične snage i specifičnog zakretnog momenta ukazuju na veću dinamičnost vozila, odnosno bolje vučno-brzinske karakteristike kao što su ubrzanje, mogućnost svladavanja uspona, maksimalna brzina itd.

Intenzitet kočenja je put kočenja koji vozilo prijeđe do potpunog zaustavljanja ili pri smanjenju brzine u određenom intervalu brzine. [15]

### **5.1.2. Ekonomičnost vozila**

Analiza ekonomičnosti izvodi se na analizi transportnog rada, tj. na analizi transporta određene količine robe ili broja putnika na određenoj relaciji. Na osnovi utrošenog pogonskog materijala, rezervnih dijelova i ljudskog rada na jedinici transportnog rada ocjenjuje se ekonomičnost vozila ili voznog parka. Potrošnja goriva jedan je od važnijih pokazatelja ekonomičnosti motornog vozila. Troškovi potrošnje goriva, kao direktni troškovi pri transportu robe i/ili putnika kao i pri izvođenju određenih radnji (traktori, radni strojevi, građevinski strojevi i sl.) predstavljaju trošak od čije vrijednosti zavisi ishod finansijskih rezultata. Sa povećavanjem nosivosti vozila dolazi do smanjenja goriva po jedinici rada. U faktore koji utječu na potrošnju goriva motornog vozila svrstavaju se oni koji ne zavise o konstrukciji vozila (klimatski uvjeti, kvaliteta goriva, vrsta puta, režimi korištenja održavanja, vještina upravljanja itd.) i oni koji zavise o konstrukciji motornih vozila (masa vozila, aerodinamičnost itd. )

Postoje tri mjere koje dovode do smanjenja potrošnje goriva: poboljšanje sistema motora, poboljšanje sistema transmisije, poboljšanja sistema karoserije.

Smanjenje mase vozila, aerodinamičnost otpora, otpora kotrljanja i transmisije pruža znatne mogućnosti za poboljšanje ekonomičnosti potrošnje goriva. Najveće smanjenje potrošnje goriva leži u pogonskom motoru jer se na današnjem stupnju razvoja motora i vozila samo 30% energije sadržane u gorivu troši na pokretanje vozila. Veliko značenje na potrošnju goriva ima i način vožnje vozača. [15]

### **5.1.3. Pouzdanost vozila**

Pouzdanost je jedan od osnovnih pokazatelja kvalitete vozila. Najčešće se izražava kao sposobnost vozila da zadrži eksploatacijska svojstva, u određenim granicama, pri određenim uvjetima korištenja tokom čitavog radnog vijeka. Troškovi korištenja vozila, u slučaju njegove male pouzdanosti, mogu biti, zbog povećanih troškova održavanja, mnogo veći od nabavne cijene vozila.

Nedovoljna pouzdanost glavnih dijelova vozila (kočnog i upravljačkog sistema) može dovesti do katastrofalnih posljedica. U tijeku razvoja vozila pouzdanost se utemeljuje projektom, ostvaruje proizvodnjom, a eksploatacijom potvrđuje. Tijekom razvoja vozila mora se voditi računa o konstruktivnim rješenjima agregata i sklopova, primijenjenim materijalima, načinu zaštite od različitih štetnih utjecaja, sistemu za podmazivanje agregata i sklopova, kao i o pogodnosti vozila za održavanje.

Osiguravanje pouzdanosti, tijekom proizvodnje, je u tijesnoj vezi sa kvalitetom dijelova koji se ugrađuju u vozilo, kontrolom kvalitete, kvalitetom ostvarene montaže i načinom ispitivanja novog vozila. Režimi korištenja vozila, kao i način održavanja vozila, imaju poseban utjecaj na pouzdanost a samim tim i vijek trajanja vozila. Najčešće korišten pokazatelj pouzdanosti je vijek trajanja vozila, koji se najčešće izražava preko broja prijeđenih kilometara ili broja radnih sati. [15]

#### **5.1.4. Kapacitet vozila**

Kapacitet vozila predstavlja najveću količinu tereta ili najveći broj putnika koji se može odjednom prevesti. Kapacitet je u tijesnoj vezi sa njegovim dimenzijama i čvrstoćom njegove konstrukcije kao i mogućnošću zadovoljenja zakonskih propisa. Masa prevezenog tereta ili broja prevezenih putnika u potpunosti definira kapacitet vozila. Kapacitet teretnih vozila izražava se u kilogramima, odnosno u kilogramima po metru kubnom, i koeficijentom iskorištenja mase. Kapacitet vozila za prijevoz putnika izražava se brojem mjesta za sjedenje u karoseriji vozila, ili stajanje kada su u pitanju autobusi za gradski promet. Za teretna vozila i specijalna vozila definiraju se i specifična površina prostora i specifična zapreminska nosivost. [15]

#### **5.1.5. Udobnost korištenja vozila**

Osnovni pokazatelji udobnosti vozila su: udobnost sjedišta za putnike i vozača, udobnost pri ulazu i izlazu iz vozila, pogodnost pri utovaru i istovaru tereta, udobnost pri upravljanju vozilom, odgovarajući ambijentalni uvjeti (klima, buka...) u prostoru za smještaj putnika i vozača. Primjenom hidrauličnih pneumatskih uređaja za aktiviranje kočnica, primjenom servo uređaja na upravljaču, ručnoj kočnici te kvačilu smanjuje se vrijednost potrebne sile za upravljanje vozilom. Vidljivost vozača određena je njegovim položajem, odnosno položajem sjedišta vozača u kabini, ostakljenim površinama, te konstrukcijom samog vozila. [15]



### **5.1.6. Sigurnost korištenja vozila**

Sigurnost vozila u prometu može se analizirati samo u okviru relacije vozač-vozilookružje. Vozilo pri vožnji mora u najmanjoj mjeri negativno utjecati na sudionike u prometu i okolini. Vozilo treba biti izgrađeno tako da u slučaju sudara maksimalno omogućuje zaštitu sudionika u prometu.

Parametri sigurnosti se uglavnom dijele u tri grupe: aktivni parametri sigurnosti, pasivni parametri sigurnosti, katalitički parametri sigurnosti.

U aktivne parametre sigurnosti se ubraja: preciznost upravljanja, zadovoljavajuće držanje pravca, lako održavanje pravca u krivinama, stabilnost, osjetljivost kočnica, držanje pravca pri kočenju, dobra manevarska sposobnost sa kratkim vremenom pretjecanja, mala osjetljivost na vjetar, dobro držanje smjera i pri lošoj podlozi, visoka vozna, radna i druga svojstva radi smanjenja umora prilikom vožnje, vidljivost i signalizacija vozila

Pasivni parametri sigurnosti su: sigurnost od deformacija putničkog prostora kod jakih nesreća, sprječavanje ispadanja vrata pri sudaru, sprječavanje komadanja staklenih površina u komadiće, mogućnost otvaranja vrata poslije sudara, sigurno postavljanje spremnika za gorivo, što je moguća niža sklonost opreme vozila samozapaljenju. [15]

### **5.1.7. Prohodnost vozila**

Prohodnost vozila predstavlja mogućnost kretanja po lošim prometnicama kao i mogućnost svladavanja različitih prepreka. Vozila veće prohodnosti imaju najčešće pogon na više osovina, specijalne pneumatike ili kombinaciju pneumatika i gusjenica.

Parametri preko kojih se može definirati prohodnost su: parametri vuče, vučna sila i sila prijanjanja, sposobnost svladavanja uspona, broj i veličina stupnja prijenosa u transmisiji, parametri koji direktno definiraju sposobnost vozila za svladavanje prepreka ( tvrda podloga sa jako izraženim neravninama, meka podloga, voda...), parametri gabarita i zakonska ograničenja. [15]

### 5.1.8. Pogodnost konstrukcije vozila na održavanje

Pogodnost konstrukcije za održavanje ocjenjuje se na osnovi vremena potrebnog za provođenje postupaka održavanja kao i na osnovu potrebnih aktivnosti i potrebnoj opremi za njegovo provođenje.

Pogodnost konstrukcije vozila za održavanje bliže određuju slijedeći parametri: broj mjesta predviđenih za podmazivanje i podešavanje, mogućnost uporabe odgovarajuće opreme za održavanje, mogućnost primjene odgovarajućih dijagnostičkih metoda, mogućnost primjene odgovarajuće tehnologije održavanja vozila. [15]

### 5.2. Analiza eksploatacijskih značajki na primjeru vozila Toyota Corolla

Toyota Corolla najprodavaniji je model automobila svih vremena. U zadnjih 50 godina prodano je preko 43 milijuna primjeraka diljem svijeta. Tako se od konstruktora očekuje da svaka nova generacija Corolle bude još bolja nego prethodna. Najnoviji model Corolle dostupan je s benzinskim motorom, te kombinacijom elektromotora i benzinskog motora. Na slici 5.1. prikazan je model Toyote Corolle koji je analiziran.



Slika 5.1. Toyota Corolla

Izvor: [13]

Toyota Corolla 1.2 l Turbo benzin M/D S Hatchback (M/D S – Multidrive S, Toyotin naziv za automatski CVT mjenjač) koristi benzinski motor i ima sljedeće specifikacije: [13]

- Potrošnja goriva: prilikom gradske vožnje potrošnja iznosi 6,1-7,2 litara na 100 km, dok se u vožnji izvan grada troši 4,8-5,1 litara na 100 km. Zapremnina spremnika za gorivo iznosi 50 litara
- Motor: oznaka motora je 8NR-FTS i sadrži 4 cilindra, u redu. Koristi elektronsko ubrizgavanje goriva. Zapremnina motora je 1197 kubnih centimetara. Najveća izlazna snaga motora je 116 KS, odnosno 85 kW. Najveći okretni moment iznosi 185/1500-4000 Nm/o/min.
- Performanse: najveća brzina iznosi 195 km/h. Ubrzanje od 0 do 100 km/h iznosi 10,8 s, koeficijent otpora zraka iznosi 0,31.
- Težina vozila: težina vozila spremnog za vožnju je od 1255 do 1410 kg.

U tablici 5.2. prikazani su podatci o potrošnji goriva te količini ugljikova dioksida za pojedine vrste motora Toyote Corolle.

**Tablica 5.2. Podaci o potrošnji goriva i količini CO<sub>2</sub>**

<b>UTJECAJ NA OKOLIŠ</b>	1,2 l Turbo benzin 6 R/M	1,2 l Turbo benzin M/D S	1,8 l hibrid e-CVT	2,0 Hybrid Dynamic Force e-CVT
<b>POTROŠNJA GORIVA</b>				
Gradska vožnja (l/100km)	7,0 – 7,2	6,1 – 7,2	3,2 – 3,5	3,4 – 3,6
Vožnja izvan grada (l/100km)	4,8 – 4,9	4,8 – 5,1	3,6 – 3,8	3,8 – 4,0
Zapremnina spremnika za gorivo (l)	50	50	43	43
<b>Ugljikov dioksid, CO<sub>2</sub></b>				
Gradska vožnja (g/km)	161 - 166	138 - 164	73 - 80	77 - 82
Vožnja izvan grada (g/km)	109 - 113	110 - 116	81 - 87	88 - 92

Izvor: [13]

Toyota Corolla 1.8 l hibrid e-CVT Hatchback (e-CVT-elektronički upravljani bezstupanjski mjenjač) (slika 5.3.) koristi kombinaciju elektromotora i benzinskog motora i ima sljedeće specifikacije: [13]

- Potrošnja goriva: u gradskoj vožnji potrošnja iznosi 3,2-3,5 litara na 100 km, a u otvorenoj vožnji troši 3,6-3,8 litara na 100 km. Zapremnina spremnika za gorivo iznosi 43 litara
- Motor: oznaka motora je 2ZR-FXE i sadrži 4 cilindra, u redu. Koristi elektronsko ubrizgavanje goriva. Zapremnina motora je 1798 kubnih centimetara. Najveća izlazna snaga motora je 98 KS, odnosno 72 kW. Najveći okretni moment iznosi 142/3600 Nm/o/min.
- Performanse: najveća brzina iznosi 180 km/h. Ubrzanje od 0 do 100 km/h iznosi 10,9 s, koeficijent otpora zraka iznosi 0,31.
- Težina vozila: težina vozila spremnog za vožnju od 1285 do 1400 kg.
- Prednji elektromotor: najveća snaga prednjeg elektromotora iznosi 37 kW, a najveći okretni moment prednjeg elektromotora iznosi 163 Nm.
- Baterija hibridnog vozila: tip baterije je EV-NLR09. Broj baterijskih modula iznosi 56, a kapacitet baterije je 3,6 Ah

U tablici 5.3. prikazani su podaci o specifikacijama motora, te performanse vozila

**Tablica 5.3. Specifikacije motora i performanse Toyote Corolle**

MOTOR	1,2 l Turbo benzin 6 R/M	1,2 l Turbo benzin M/D S	1,8 l hibrid e-CVT	2,0 Hybrid Dynamic Force e-CVT
Oznaka motora/broj cilindara/sustav ubrizgavanja goriva	8NR-FTS 4 cilindra Elektronsko ubrizgavanje	8NR-FTS 4 cilindra Elektronsko ubrizgavanje	2ZR-FXE 4 cilindra Elektronsko ubrizgavanje	M20A-FXS 4 cilindra Elektronsko ubrizgavanje
Zapremnina (cm <sup>3</sup> )	1197	1197	1798	1987
Najveća izlazna snaga (KS)/(kW)	116/85	116/85	98/72	153/112
Najveći okretni moment (Nm/o/min)	185/1500-4000	185/1500-4000	142/3600	190/4400-5200
Najveća brzina (km/h)	200	195	180	180
0 – 100 km/h (s)	10,3	10,8	10,9	7,9
Težina vozila (kg)	1240 - 1390	1255 - 1410	1285 - 1400	1340 - 1510

Izvor: [13]

## 6. ZAKLJUČAK

Hibridni automobili koriste dva izvora energije za pokretanje. Najčešće su to benzinski motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor. Hibridna vozila zato koriste automatske mjenjače, kako bi računalo u automobilu moglo uzeti enregije iz pojedinog motora onoliko koliko je potrebno.

Danas se sve više proizvode Plug-In hibridna motorna vozila, kod kojih se za razliku od običnih hibridnih vozila, baterija puni priključivanjem u vanjski izvor električne energije. Najveća razlika između ove dvije vrste hibrida je ta da Plug-In hibridi, u slučaju nestanka goriva, mogu i dalje nastaviti vožnju koristeći samo elektromotor. Kod običnih hibrida, u slučaju nestanka goriva, nebi bilo moguće nastaviti vožnju, te bi bilo potrebno vozilo odvesti u ovlaštenu servis kako bi se poništila greška kako bi se naknadno vozilo opet moglo pokrenuti. Zanimljivo je da se uz punjenje baterija preko generatora, baterije mogu puniti prilikom kočenja vozila, što je velika prednost kod Plug-In vozila. Primjerice za vožnju nizbrdicom od 20-ak minuta, baterija će dobiti 10 dodatnih kilometara dometa. Također, riješen je i problem punjenja elektromotora preko utičnice tako što se izgradio velik broj punionica za električna i hibridna vozila. Punionice se nalaze na parkinzima trgovačkih centara, supermarketa, pojedinim gradskim garažama, te naravno u vlastitom domu.

Iz ovog rada može se zaključiti da je glavna prednost hibridnih u odnosu na obična motorna vozila ta da im je potrošnja manja i da hibridna vozila znatno smanjuju emisije ugljikova dioksida, a samim time i zagađenje okoliša.

Danas je u uporabi još uvijek velik broj automobila s unutarnjim izgaranjem i to znatno utječe na zagađenje okoliša. Također smanjuju se zalihe goriva i s tog aspekta automobilske kompanije sve više razvijaju koncepte automobila koji za pokretanje koriste hibridni sustav. Stoga se može zaključiti da su hibridna i električna vozila sljedeći veliki korak u automobilskoj evoluciji.

## LITERATURA

[1] Ranogajec, D., Voloder, I., Tehnika motornih vozila, Pučko otvoreno učilište Zagreb, 2013. godine (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, 30.neubearbeitete Auflage 2013 Copyright 2013 (30th edition): Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH and Co.KG, 42781 HG Deutschland.)

[2] Šarić, Ž., Zovak, G., Skripta iz kolegija Cestovna prijevozna sredstva-motori s unutrašnjim ubrizgavanjem-nastavni materijal, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti, ožujak 2017.

[3] How stuff works. Preuzeto sa: <https://auto.howstuffworks.com/stirling-engine.htm>

[Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[4] Prom web portal. Preuzeto sa: <https://www.fpz.unizg.hr/prom/?p=3904>

[Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[5] Autoportal. Preuzeto sa:

[https://autoportal.hr/clanak/povijest\\_automobila\\_s\\_hibridnim\\_pogonom](https://autoportal.hr/clanak/povijest_automobila_s_hibridnim_pogonom)

[Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[6] Car keys. Preuzeto sa:

<https://web.archive.org/web/20120722081056/http://www.carkeys.co.uk/features/lohner-porsche-real-story> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[7] New York times. Preuzeto sa: <https://www.nytimes.com/2001/11/08/technology/how-it-works-a-tale-of-2-engines-how-hybrid-cars-tame-emissions.html?scp=1&sq=hybrid%20Toyota%20Prius%201997%20Honda%20Insight%201999&st=cse> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[8] How stuff works. Preuzeto sa: <https://auto.howstuffworks.com/hybrid-car2.htm>

[Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[9] Green car reports. Preuzeto sa:

[https://www.greencarreports.com/news/1084689\\_volkswagen-xl1-diesel-plug-in-gets-just-120-mpg-in-real-world-drive](https://www.greencarreports.com/news/1084689_volkswagen-xl1-diesel-plug-in-gets-just-120-mpg-in-real-world-drive) [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

- [10] Gornjogradska. Preuzeto sa: <http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/9-elektricna-i-hibridna-vozila/>  
[Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [11] Union of Concerned Scientists. Preuzeto sa: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/series-vs-parallel-drivetrains> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [12] Vidiauto. Preuzeto sa: <http://arhiva.vidiauto.com/autotech/hibridi/>  
[Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [13] Toyota. Preuzeto sa: <https://www.toyota.hr/> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [14] Auto trader. Preuzeto sa: <https://www.autotrader.ca/newsfeatures/20180410/types-of-electric-vehicles-explained/> [Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [15] Vdovic, K., Analiza eksploatacijskih značajki vozila na alternativni pogon, završni rad. Zagreb, Fakultet prometnih znanosti, 2015. Preuzeto sa:  
<https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A173>  
[Pristupljeno: kolovoz 2019.]
- [16] Enciklopedija. Preuzeto sa: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=65828>  
[Pristupljeno: kolovoz 2019.]

## **POPIS KRATICA**

VMT (Vanjska Mrtva Točka)

UMT (Unutarnja Mrtva Točka)

PHEV (Plug-In Hybrid Electric Vehicle) Plug-In hibridno električno vozilo

SOC (State Of Charge) Stanje napunjenosti

M/D S ( Multidrive S) Automatski CVT mjenjač

e-CVT (Elektronički upravljani bezstupanjski mjenjač)



## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Podjela motora prema rasporedu cilindara.....	4
Slika 2.2. Stvarni P – V dijagram četverotaktnog motora .....	5
Slika 2.3. Konstrukcija četverotaktnog Otto motora .....	6
Slika 2.4. Princip rada četverotaktnog Otto motora .....	7
Slika 2.5. Diesellov motor osobnog vozila .....	9
Slika 2.6. Princip rada Wankelovog motora.....	10
Slika 2.7. Lohner-Porsche, prvo hibridno vozilo.....	11
Slika 2.8. Toyota Prius, prva generacija .....	12
Slika 2.9. BMW, model i8 .....	13
Slika 3.1. Toyota C-HR, benzinsko hibridno vozilo .....	17
Slika 3.2. Volkswagen, konceptno hibridno vozilo s dizelskim pogonskim sklopom.....	18
Slika 3.3. Serijski hibridni pogon .....	19
Slika 3.4. Paralelni hibridni pogon .....	20
Slika 3.5. Serijsko-paralelni hibridni pogon .....	21
Slika 3.6. Plug-In punjenje .....	22
Slika 3.7. Izgled motora hibridnog vozila .....	23
Slika 3.8. Priključak za punjenje .....	24
Slika 4.1. Raspored komponenti hibridnog vozila .....	25
Slika 4.2. Nikal-metal baterija (NI-MH) .....	26
Slika 4.3. Litij-ionska baterija (LI-Ion) .....	27
Slika 4.4. Inteligentni regulacijski procesi.....	28
Slika 4.5. Pretvarač napona .....	29
Slika 5.1. Toyota Corolla .....	35

## **POPIS TABLICA**

Tablica 5.2. Podaci o potrošnji goriva i količini CO <sub>2</sub> .....	36
Tablica 5.3. Specifikacije motora i performanse Toyote Corolle.....	37



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada  
pod naslovom **Analiza pogonskih značajki hibridnih cestovnih motornih vozila**

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

U Zagrebu, 3.9.2019

Student/ica:

(potpis)