

Usporedba električnih, hibridnih i konvencionalnih pogonskih sustava u automobilima

Radman, Antun

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:577847>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-19**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**USPOREDBA ELEKTRIČNIH, HIBRIDNIH I
KONVENCIONALNIH POGONSKIH SUSTAVA U
AUTOMOBILIMA**

Završni rad

Antun Radman

Osijek, 2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P: Obrazac za ocjenu završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju**

Ime i prezime pristupnika:	Antun Radman
Studij, smjer:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. pristupnika, god.	5009, 27.07.2021.
JMBAG:	0165090215
Mentor:	izv. prof. dr. sc. Danijel Topić
Sumentor:	dr. sc. Dragan Vulin
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Usporedba električnih, hibridnih i konvencionalnih pogonskih sustava u automobilima
Znanstvena grana završnog rada:	Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada:	Tema rezervirana za: Antun Radman Sumentor s FERIT-a: Dragan Vulin Usporedba električnih, hibridnih i konvencionalnih pogonskih sustava u automobilima na temelju potrošnje energije, doseg, načina punjenja, ekonomske isplativosti, dinamičkih karakteristika vozila, načina održavanja te ekoloških normi. Zadatak završnog rada: Zadatak završnog rada je navesti temeljne karakteristike električnih, hibridnih i konvencionalnih pogonskih sustava u automobilima, uz povijesni pregled razvoja pojedinih sustava. Također, potrebno je usporediti pogonske sustave s obzirom na potrošnju energije, odnosno energetske
Datum prijedloga ocjene završnog rada od strane mentora:	18.09.2024.
Prijedlog ocjene završnog rada od strane mentora:	Izvrstan (5)
Datum potvrde ocjene završnog rada od strane Odbora:	25.09.2024.
Ocjena završnog rada nakon obrane:	Izvrstan (5)
Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio sveučilišni prijediplomski studij:	26.09.2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 26.09.2024.

Ime i prezime Pristupnika:	Antun Radman
Studij:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	5009, 27.07.2021.
Turnitin podudaranje [%]:	10

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Usporedba električnih, hibridnih i konvencionalnih pogonskih sustava u automobilima**

izrađen pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Danijel Topić

i sumentora dr. sc. Dragan Vulin

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak završnog rada	2
2. PREGLED LITERATURE – POVIJEST RAZVOJA AUTOMOBILSKIH POGONSKIH SUSTAVA	3
3. TEORIJSKE OSNOVE KONVENCIONALNIH, HIBRIDNIH I ELEKTRIČNIH POGONSKIH SUSTAVA U AUTOMOBILIMA	10
3.1. Konvencionalni pogonski sustavi.....	10
3.2. Hibridni pogonski sustavi.....	17
3.3. Električni pogonski sustavi.....	23
4. USPOREDBA PERFORMANSI, EKONOMIČNOSTI I TROŠKOVA VLASNIŠTVA	29
4.1. Usporedba na temelju potrošnje energije/goriva	29
4.2. Usporedba na temelju doseg.....	33
4.3. Usporedba na temelju načina punjenja.....	35
4.4. Usporedba na temelju ekonomske isplativosti.....	36
4.5. Usporedba na temelju dinamičkih karakteristika vozila.....	38
4.6. Usporedba na temelju načina održavanja	39
4.7. Usporedba na temelju ekoloških normi.....	41
4.8. Regulacije i poticaji	42
5. ZAKLJUČAK	43
LITERATURA	45
POPIS KRATICA	50
POPIS SLIKA	51
POPIS TABLICA	52
ZAHVALE	53
SAŽETAK	54
ABSTRACT	55

ŽIVOTOPIS.....	56
-----------------------	-----------

1. UVOD

Unazad posljednjih nekoliko desetljeća automobilska industrija prolazi kroz brojne promjene, najviše s naglaskom na smanjenje štetnih emisija i povećanje energetske učinkovitosti. Ključna promjena pronalazi se u različitim pogonskim sustavima koji pokreću vozila. Ta promjena, osim što je tehnološka, ujedno je ekonomska i ekološka. Motori s unutarnjim izgaranjem dominirali su tržištem više od 150 godina, ali u posljednje vrijeme suočavaju se s ozbiljnom konkurencijom, preciznije rečeno s električnim i hibridnim vozilima. Svaki od pogonskih sustava nudi prednosti i izazove.

Prvi motor s unutarnjim izgaranjem razvijen je 1858. od strane belgijskog inženjera Jean Josepha Lenoira [1]. Nakon nešto manje od 40 godina Rudolf Diesel je 23. veljače 1893. patentirao motor s unutarnjim izgaranjem [2]. Upravo takvi motori postali su dominantni na tržištu zbog jednostavnosti, učinkovitosti i niskih cijena proizvodnje. U početku se nije vodilo računa o emisijama u okoliš, ali zadnjih desetak godina sve su se više razvijali hibridni i električni pogonski sustavi kako je i došla naprednija tehnologija. Zbog toga su hibridni i električni automobili u jednom trenutku zavladaali tržištem te postali ključni u promjeni s konvencionalnih pogonskih sustava.

Svaki od pogonskih sustava je kompleksan i potrebno je detaljno razumijevanje kako koji funkcionira. Električni pogonski sustavi oslonjeni su na tehnologiju baterija poput litij-ionskih, istih baterija kao u pametnim telefonima, pružajući dug životni vijek i relativno visoku gustoću energije. Kod hibridnih pogonskih sustava kombinira se dio električnih i dio konvencionalnih pogonskih sustava, tj. koriste baterije i motore s unutarnjim izgaranjem. Elektromotor optimira potrošnju goriva i smanjuje emisije CO₂ u okoliš. Konvencionalni pogonski sustavi koji su tehnološki najnapredniji suočavaju se s ozbiljnim problemima u vidu emisije CO₂ i ekološke održivosti.

Kroz završni rad pružit će se detaljan pregled povijesti razvoja automobilskih pogonskih sustava, njihove teorijske osnove te opsežna usporedba na temelju performansi, ekonomičnosti i ekološke prihvatljivosti, kao i prednosti i nedostaci pojedinih pogonskih sustava.

1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak završnog rada je navesti temeljne karakteristike električnih, hibridnih i konvencionalnih pogonskih sustava u automobilima, uz povijesni pregled razvoja pojedinih sustava. Također, potrebno je usporediti pogonske sustave s obzirom na potrošnju energija, odnosno energetske učinkovitost, doseg s jednim punjenjem spremnika energije, način punjenja, ekonomsku isplativost, dinamičke karakteristike vozila, načine održavanja te ekološke norme.

2. PREGLED LITERATURE – POVIJEST RAZVOJA AUTOMOBILSKIH POGONSKIH SUSTAVA

Razvoj automobilskih pogonskih sustava ima dugu i bogatu povijest koja počinje krajem 19. stoljeća i još uvijek traje prateći najnoviju tehnologiju i promjene. Od parnih strojeva iz 18. stoljeća do modernih hibridnih i električnih vozila, svaki korak u razvoju automobilskih pogonskih sustava rađen je u nastojanju za poboljšanjem učinkovitosti, smanjenjem štetnih emisija u okoliš, unaprjeđenjem performansi i udovoljavanju društvenim potrebama.

Francuski inženjer Nicolas-Joseph Cugnot konstruirao je prvo samohodno parno vozilo 1769. godine. Vozilo je bilo namijenjeno za prijevoz vrlo teške opreme, poput topovskih cijevi. Njegovo vozilo imalo je i prednosti i nedostatke. Velika prednost bila je što je vozilo imalo dovoljno snage za vožnju te relativno jednostavnu konstrukciju. S druge strane, primjena vozila bila je vrlo ograničena zbog velikih dimenzija, potreba za dugim vremenom zagrijavanja i čestom potrebom za vodom. Također, vozilo je bilo vrlo nestabilno u slučaju neravnomjerne raspodjele tereta. Projekt je na kraju napušten.



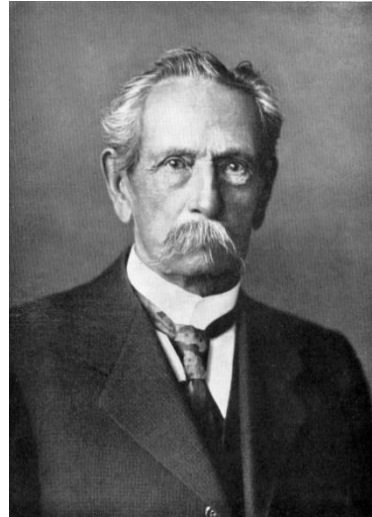
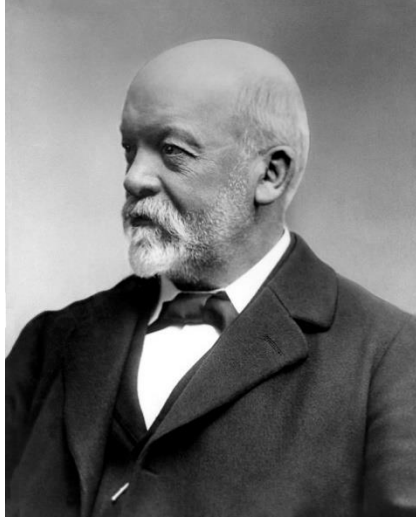
Slika 2.1. Replika Cugnotovog prvog samohodnog parnog vozila izložena u Musée des Arts et Métiers, Paris [3].

Krajem 19. stoljeća započinje prava revolucija u razvoju automobilskih pogonskih sustava s pojavom motora s unutarnjim izgaranjem. 1864. godine austrijski inženjer Siegfried Marcus kreirao je motor s jednim cilindrom koji je imao grubi rasplinjač [4]. Nekoliko godina kasnije dizajnirao je vozilo s kojim je nakratko jurio brzinom od 10 km/h. Nekolicina povjesničara smatra kako je upravo njegovo vozilo bilo pretečom modernih automobila jer je bilo prvo na svijetu pogonjeno vozilo s benzinskim motorom.

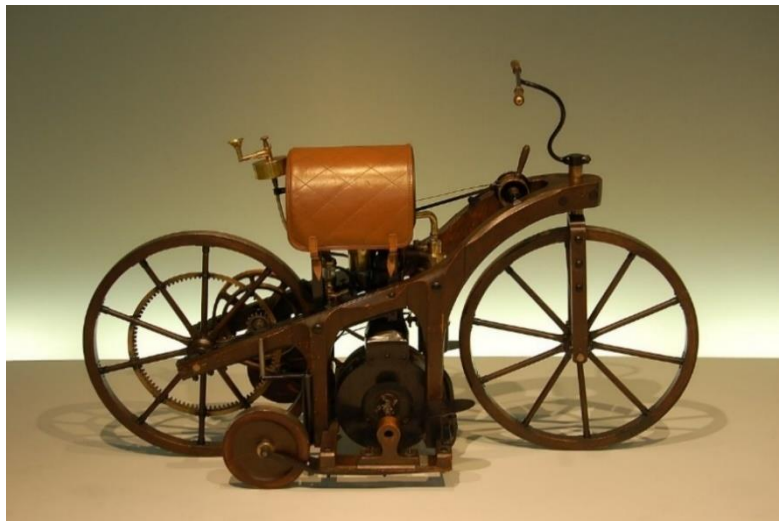


Slika 2.2. Siegfried Marcus (lijevo) [5] i Marcuswagen u Tehničkom muzeju u Beču (desno) [6].

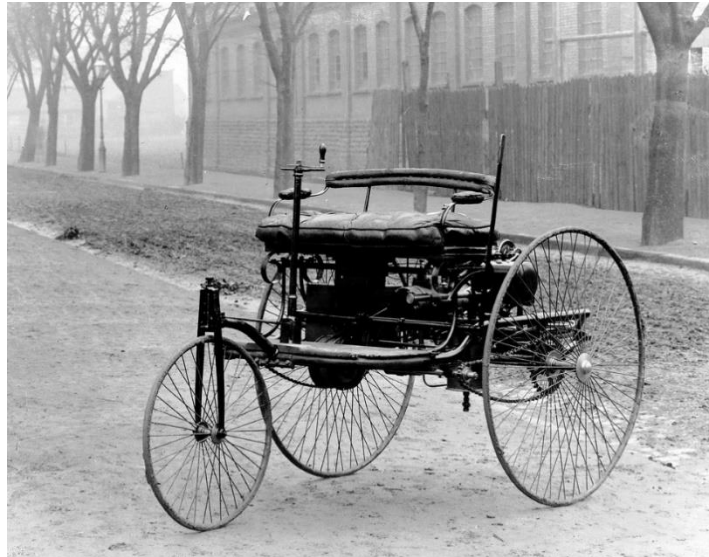
1876. godine Nicolaus August Otto izumio je i patentirao četverotaktni motor koji je poznat pod nazivom Otto ciklus. Iste godine izumljen je i prvi dvotaktni motor od strane Sir Dugalda Clerka. Glavna prekretnica dogodila se 1885. i 1886. godine kada su Gottlieb Daimler i Karl Benz uveli prve benzinske motore koji su vrlo brzo postali standard zbog učinkovitosti i kompaktnosti. 1885. godine Gottlieb Daimler je izumio prototip modernog benzinskog motora s okomitim cilindrom i benzinom koji se ubrizgava kroz karburator (prototip je patentiran 1887. godine). Napravio je vozilo na dva kotača koje je bilo pogonjeno njegovim motorom. Godinu dana kasnije napravio je i prvo motorno vozilo na četiri kotača. 29. siječnja 1886. Karl Benz prijavio je patent za svoje vozilo pokretano benzinskim motorom. Patent – broj 37435 (kasnije nazvan Benz Patent–Motorwagen) smatra se prvim modernim automobilom ikada napravljenim. Imao je 3 kotača, motor zapremnine 958 cm³, 0,8 HP i maksimalnu brzinu od 16 km/h. 1889. godine Daimler je napravio poboljšanu verziju četverotaktnog motora s ventilima i dva V–kosa cilindra. 1890. godine konstruiran je prvi četverocilindrični četverotaktni motor od strane Wilhelma Maybacha.



Slika 2.3. Gottlieb Daimler (lijevo) [7] i Carl Benz (desno) [8].

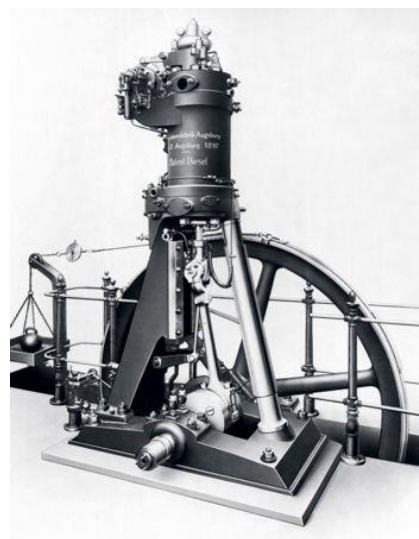
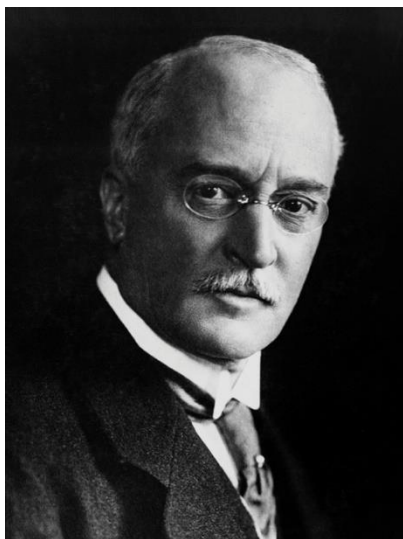


Slika 2.4. Replika Reitwagena u muzeju Mercedes-Benz [9].



Slika 2.5. Benz Patent–Motorwagen Nr. 1. [10].

Još jedna važna promjena dogodila se 1892. godine kada je njemački inženjer Rudolf Diesel patentirao prvi dizelski motor [11]. Njegov motor koristio je princip kompresije zraka za paljenje goriva. To je omogućilo veću učinkovitost u odnosu na benzinske motore. 1897. godine demonstriran je prvi radni prototip dizelskog motora. S obzirom da je dizelski motor imao manju potrošnju goriva, brzo je stekao popularnost te bio korišten u industriji i teškim strojevima poput brodova, lokomotiva i stacionarnih elektrana.



Slika 2.6. Rudolf Diesel (lijevo) i njegov testni motor 1897. (desno) [12].

U 20. stoljeću automobilska industrija nastavila se razvijati. Početkom stoljeća dogodila se značajna promjena. Uvedena je montažna traka u proizvodni proces koja je olakšala i uvelike ubrzala proizvodnju te smanjila troškove proizvodnje. 1908. godine Henry Ford predstavio je Model T, automobil koji je bio dostupan široj javnosti zbog inovativnih metoda masovne proizvodnje. Model T bio je opremljen četverocilindričnim benzinskim motorom te proizveden u više od 15 milijuna primjeraka, čime je uvelike olakšan život u tadašnje vrijeme. 1927. godine proizvodnja je prekinuta zbog nedostatke potražnje [13].



Slika 2.7. Henry Ford (lijevo) [14] i Ford Model T (desno) [15].

1950-ih godina uveden je turbopunjač čime je bila povećana snaga i učinkovitost. Brzo su pronašli primjenu u kamionima jer osim što su povećali snagu motora, ujedno su i smanjili potrošnju goriva što je za takva prijevozna sredstva bio ogroman napredak. Tijekom 1970-ih godina nastupila je naftna kriza. Kriza je potaknula razvoj ekonomičnijih motora, dok je istovremeno rastao interes za alternativne pogonske sustava kao što su hibridna i električna vozila. 1980-ih godina karburatore u vozilima zamijenilo je izravno ubrizgavanje goriva.

Prvo vozilo koje je napravljeno na hibridni pogon te koje je bilo masovno proizvedeno nastalo je 1997. godine. To vozilo je Toyota Prius, koje je koristilo benzinski motor s elektromotorom kako bi se smanjila potrošnja goriva.



Slika 2.8. Toyota Prius [16].

Ulaskom u 21. stoljeće, razvoj automobilskih pogona doživio je značajne promjene i inovacije. Promjene su bile usredotočene na smanjenje emisijskih plinova i povećanje energetske efikasnosti. 2003. godine osnovana je tvrtka Tesla Motors koja je započela razvoj električnih vozila. Tvrtka je predstavila model Tesla Roadster 2008. godine koji je mogao prijeći više od 320 km s jednim punjenjem.



Slika 2.9. Tesla Roadster 2008. [17].

S vremenom je poraslo tržište za električna vozila te je tehnologija baterija napredovala, pružajući veći doseg prijeđenih kilometara i kraće vrijeme punjenja. U posljednje vrijeme automobilska industrija okreće se izradi autonomnih vozila koja će koristiti napredne senzore i umjetnu inteligenciju za samostalnu vožnju. Sustavi su još uvijek u fazi testiranja i razvoja jer moraju biti iznimno pouzdani kako bi takvi automobili mogli samostalno upravljati prometnicama bez vozača. Ne smiju uzrokovati prometne nesreće ili oštećenja na vozilima jer bi to predstavljalo ozbiljan problem i za sigurnost na prometnicama i za same proizvođače. Pored svih pogonskih sustava navedenih do sada, automobilska industrija posvetila se i istraživanju te razvoju vodikovih gorivih ćelija. Vozila koja koriste ovu tehnologiju voze na vodik koristeći kemijsku reakciju između vodika i kisika za proizvodnju električne energije te pri tome od emisija imaju jedino vodu. Primjer takvog vozila je Toyota Mirai koja je prvi puta predstavljena krajem 2014. godine u Japanu [18]. Sustavi su još uvijek u fazi razvijanja, a postoji veliki potencijal za njih s obzirom da potencijalno nude nultu emisiju i vrlo kratko vrijeme punjenja.



Slika 2.10. Toyota Mirai [19].

3. TEORIJSKE OSNOVE KONVENCIONALNIH, HIBRIDNIH I ELEKTRIČNIH POGONSKIH SUSTAVA U AUTOMOBILIMA

Automobilski pogonski sustavi značajno su napredovali tijekom posljednjih desetljeća. Cilj razvoja pogonskih sustava je poboljšanje učinkovitosti, smanjenje emisije štetnih plinova i povećanje održivosti. Tržištem danas dominiraju tri glavna automobilska pogonska sustava: konvencionalni, hibridni i električni. Svaki od navedenih sustava ima svoje prednosti i izazove, ali i jedinstvene karakteristike što ih čini prikladnima za različite načine korištenja. Za razumijevanje principa rada pojedinog sustava, korištene tehnologije i temeljnih principa, potrebno je dublje poznavanje svakog sustava. Kroz sljedeće naslove detaljnije će se pojasniti pogonski sustavi koji se danas nalaze u vozilima.

3.1. Konvencionalni pogonski sustavi

Konvencionalni pogonski sustavi koriste motore s unutarnjim izgaranjem (ICE – eng. *Internal Combustion Engine*). Široko su prisutni na tržištu zbog dobro razvijene tehnologije. Postoje dvije vrste konvencionalnih pogonskih sustava: dizelski i benzinski pogonski sustavi. Oba navedena pogonska sustava rade po principu sagorijevanja fosilnih goriva koje proizvodi potrebnu energiju za pokretanje vozila. Iako konstantno napreduju i smanjuju štetne emisijske plinove, konvencionalni motori suočavaju se s izazovima u pogledu dostupnosti fosilnih goriva i okolišnih aspekata [20].

3.1.1. Osnove konvencionalnih pogonskih sustava

Motori s unutarnjim izgaranjem su temelj konvencionalnih pogonskih sustava. Dominiraju više od stoljeća automobilskom industrijom. Princip rada motora s unutarnjim izgaranjem temeljen je na sagorijevanju goriva unutar cilindara motora pretvaranjem kemijske energije goriva u mehaničku energiju. Ključne komponente motora s unutarnjim izgaranjem su cilindri, klipovi, ventili, radilica i sustavi za ubrizgavanje goriva.

Cilindri predstavljaju osnovne radne komore motora gdje se odvija proces sagorijevanja. Klip se nalazi unutar svakog cilindra te se kreće gore–dolje. Takav linearni pokret klipa pretvara se u rotacijski pokret radilice putem klipnjače. Broj cilindara varira ovisno o dizajnu, a motor može imati od jednog do šesnaest klipova, ovisno o snazi i namjeni samog vozila. Primjerice, VW Golf

7 i Lamborghini Aventador SVJ nemaju jednak broj klipova jer nisu predviđeni za iste namjene. Golf je predviđen kao obiteljski i štedljivi auto te zbog toga 2.0 TDI motor ima 4 klipa dok s druge strane Aventador SVJ ima V12 motor, 12 klipova i namijenjen je za stazu i utrke, nikako za gradsku vožnju ili nešto tome slično.



Slika 3.1. Prikaz klipa unutar cilindra [21].

Ventili su ključni za regulaciju ulaska goriva i zraka u cilindar te ispuštanje ispušnih plinova. Ulazni ventili omogućuju ulazak mješavine goriva i zraka. Ispušni ventili omogućuju izlazak ispušnih plinova koji nastaju nakon sagorijevanja. Svaki ventil se otvara i zatvara u precizno definiranim trenucima s ciljem optimizacije procesa sagorijevanja.



Slika 3.2. Prikaz ventila [22].

Radilica je glavno vratilo koje prenosi rotacijski pokret na pogonski sustav. Klipovi su s radilicom povezani preko klipnjače. Klipnjače pretvaraju linearni pokret klipova u rotacijski pokret radilice. Upravo taj rotacijski pokret prenosi se na kotače vozila putem diferencijala i mjenjača.



Slika 3.3. Prikaz radilice i klipnjače [23].

Ovisno o tipu motora, ubrizgavanje goriva može biti izvedeno na različite načine. Motori s karburatorima mješavinu goriva i zraka formiraju prije ulaska u cilindar. Suvremeni motori s izravnim ubrizgavanjem ubrizgavaju gorivo izravno u cilindar pod visokim tlakom što im omogućuje precizniju kontrolu smjese te efikasnije sagorijevanje.



Slika 3.4. Prikaz sustava za ubrizgavanje goriva [24].

3.1.2. Vrste goriva

Najčešće korištena goriva kod konvencionalnih pogonskih sustava su dizel i benzin. Osim navedena dva goriva, postoje još ukapljeni naftni plin, LPG, i stlačeni prirodni plin, CNG. Svako gorivo ima specifična svojstva i energetska gustoća te se primjenjuje u različitim situacijama.

Dizelsko gorivo je gušće i ima veću energetska učinkovitost u usporedbi s benzinom. Zbog svoje efikasnosti i male potrošnje nalazi široku primjenu, od malih gradskih automobila do teških vozila i vozila koje zahtijevaju visok okretni moment. Koriste princip kompresijskog paljenja gdje se gorivo ubrizgava u cilindar pod visokim tlakom i pali uslijed visoke temperature nastale kompresijom zraka.

Benzin je lako hlapljivo gorivo i jako zapaljivo pa je potrebna povećana pažnja prilikom rukovanja benzinskim gorivom, a posebice je potrebno izbjegavati bilo kakve izvore vatre ili iskre. Benzin se široko koristi u osobnim automobilima, bilo u malim gradskim vozilima poput VW Pola, bilo u sportskim automobilima poput Bugatti Chirona. Visoka oktanska vrijednost omogućuje dobro sagorijevanje i visoku efikasnost. Oktanska vrijednost označava otpornost na detonaciju što je ključno za optimalno sagorijevanje.

Ukapljeni naftni plin (LPG – eng. *Liquefied petroleum gas*) je mješavina butana i propana te se koristi kao alternativa benzinu. Ima čistije sagorijevanje i proizvodi manje emisija štetnih plinova. Ukapljeni naftni plin koristi se zbog jeftinije cijene u odnosu na benzin. Ovisno o državi gdje se vlasnik i vozilo nalaze, razlika između cijena ukapljenog naftnog plina i benzina može biti drastična. Primjerice, u Hrvatskoj je na benzinskoj postaji Crodux cijena litre ukapljenog naftnog plina 0,73 €, dok je cijena benzina Eurosuper 95 1,43 € po litri [25].

Eurosuper 95

Naftna tvrtka	Cijena
AdriaOil	1,43 €
Attendo centar (Dugo Selo)	1,43 €
Crodux Derivati (Petrol)	1,43 €
Ina	1,43 €
Lukoil	1,43 €
Mitea (Samobor)	1,42 €
Petrol	1,43 €
Shell	1,43 €
Tifon	1,43 €

Autoplin

Naftna tvrtka	Cijena
Mitea (Samobor)	0,65 €
Crodux Derivati (Petrol)	0,73 €
Ina	0,71 €
Lukoil	0,73 €
Petrol	0,73 €
Shell	0,75 €
Tifon	0,72 €

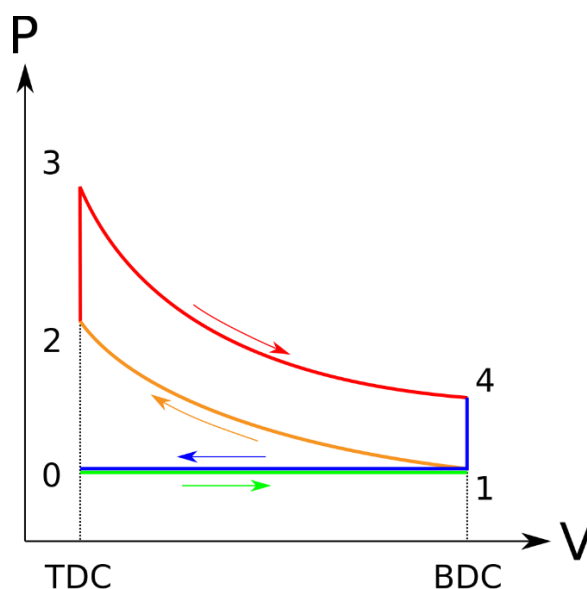
Slika 3.5. Usporedba cijene benzina (gore) i ukapljenog naftnog plina (dolje) dana 23.6.2024.

Komprimirani prirodni plin (CNG – eng. *Compressed natural gas*) je metan komprimiran do visokog pritiska. Koristi se kao ekološki prihvatljivije gorivo. Motori koji upotrebljavaju komprimirani prirodni plin proizvode manje CO₂ i NO_x emisija u usporedbi s dizelskim i benzinskim motorima. Komprimirani prirodni plin zbog plinovite prirode zahtijeva specijalizirane spremnike i infrastrukturu za punjenje. Honda Civic GX jedan je od automobila koji koristi komprimirani prirodni plin kao gorivo [26].

3.1.3. Otto ciklus i Diesel ciklus

Otto ciklus je termodinamički proces koji objašnjava transformaciju kemijske energije benzina u toplinsku energiju unutar motora s unutarnjim izgaranjem na paljenje svjećicom [27]. Uključuje niz promjena tlaka, temperature, volumena i izmjene topline čime se gorivo u konačnici pretvara u pokret. Ciklus se koristi kod dvotaktnog i četverotaktnog motora [20]. Otto ciklus opisan je kroz 6 procesa:

- ❖ Proces 0 – 1 masa zraka uvlači se u cilindar pri konstantnom tlaku.
- ❖ Proces 1 – 2 je adijabatska (izentropska) kompresija naboja dok se klip kreće od donje mrtve točke (BDC – eng. *Bottom dead center*) do gornje mrtve točke (TDC – eng. *Top dead center*).
- ❖ Proces 2 – 3 je prijenos topline stalnog volumena na radni plin iz vanjskog izvora dok je klip u gornjoj mrtvoj točki. Ovaj proces predstavlja paljenje snjese goriva i zraka i naknadno brzo sagorijevanje.
- ❖ Proces 3 – 4 je adijabatsko (izentropsko) širenje (pogonski udar).
- ❖ Proces 4 – 1 dovršava ciklus procesom konstantnog volumena u kojem se toplina odbija iz zraka dok je klip u donjoj mrtvoj točki.
- ❖ Proces 1 – 0 masa zraka ispušta se u atmosferu u procesu konstantnog tlaka.



Slika 3.6. Otto ciklus opisan gornjim tekstom [28].

Dieselov ciklus je prikaz procesa izgaranja koji se odvija u klipnom motoru s unutarnjim izgaranjem. Jedan je od najčešćih termodinamičkih ciklusa koji se nalaze u automobilskim motorima. Diesel motori smatraju se izravnom primjenom dizel ciklusa. Princip rada dizelskog ciklusa opisan je kroz 4 procesa.

Proces 1 – 2: Adijabatska kompresija.

- ❖ Ciklus počinje s taktom usisa, uvlačenjem svježeg zraka u cilindar dok se klip pomiče prema dolje. Klip se počinje kretati prema gore tijekom takta kompresije, zatvara se usisni ventil, a klip koji se podiže komprimira zrak adijabatski. Kompresija osim što povećava tlak, povećava i temperaturu zraka.

Proces 2 – 3: Grijanje pod stalnim pritiskom.

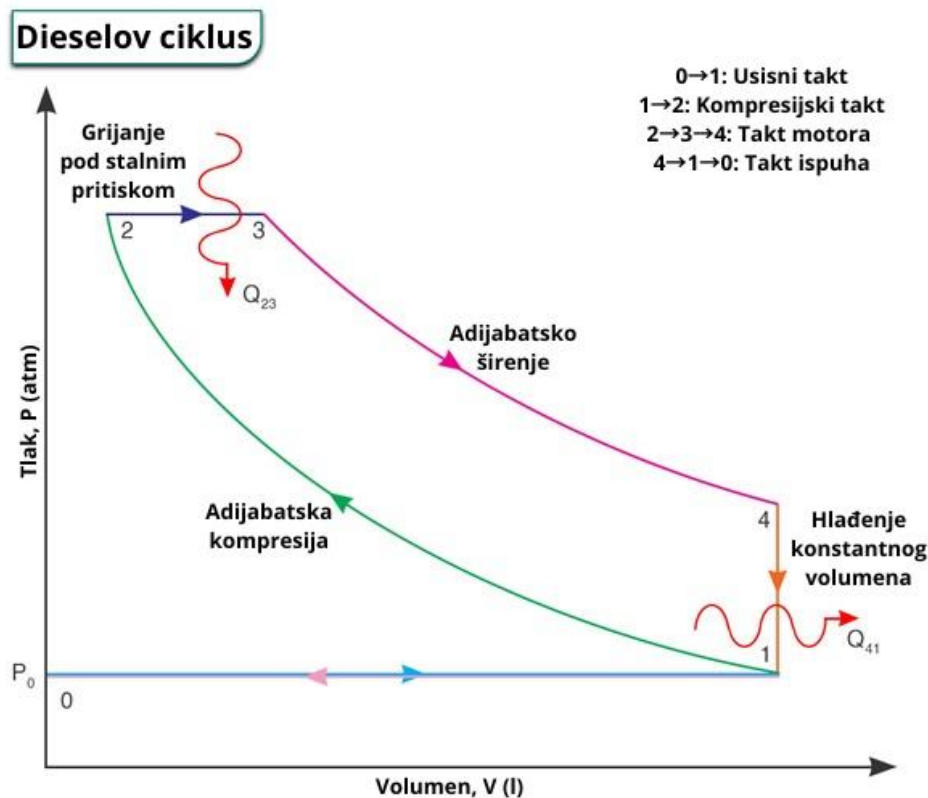
- ❖ Gorivo se ubrizgava u cilindar nakon što je zrak visoko komprimiran u točki 2. Toplina kompresije i uvođenje goriva dovode do spontanog paljenja zbog visoke temperature i tlaka. Gorivo gori pri približno konstantnom tlaku. Ova faza odgovara prvom dijelu takta snage, gdje vrući plinovi koji se šire guraju klip prema dolje.

Proces 3 – 4: Adijabatsko širenje.

- ❖ Tijekom trošenja goriva i širenja plinova izgaranja klip se nastavlja kretati prema dolje. Plinovi koji se šire vrše adijabatski rad na klipu, koji se pretvara u mehaničku energiju. Tlak i temperatura plinova se smanjuju kako rade.

Proces 4 – 1: Hlađenje s konstantnim volumenom.

- ❖ Nakon što se ispušni ventil otvori i klip se počne pomicati prema gore, izgorjeli plinovi se izbacuju iz cilindra. Cilindar je pun ispušnih plinova, a klip se pomiče natrag, komprimirajući te plinove. S obzirom da je ispušni ventil otvoren, nema promjena volumena tijekom ove faze, što dovodi do konstantnog hlađenja volumena. Temperatura i tlak dodatno padaju kako se plinovi hlade.



Slika 3.7. Dieselov proces opisan gornjim tekstom [29].

3.2. Hibridni pogonski sustavi

Hibridni pogonski sustavi kombiniraju elektromotor u kombinaciji s konvencionalnim motorima s unutarnjim izgaranjem. Na taj način maksimalno se koriste prednosti oba sustava. Hibridni pogonski sustavi imaju znatno manju potrošnju goriva i emisije štetnih plinova u usporedbi s klasičnim konvencionalnim sustavima zbog optimizacije rada motora i regenerativnog kočenja. Ovisno o izvedbi, postoji nekoliko različitih konfiguracija hibridnih sustava: paralelni, serijski i plug-in hibridi. Svaki ima različite stupnjeve elektrifikacije i načine rada.

3.2.1. Osnove hibridnih pogonskih sustava

Hibridna vozila (HEV – eng. *Hybrid electric vehicle*) predstavljaju napredni tip vozila zbog kombiniranja dva različita pogonska sustava: elektromotora i motora s unutarnjim izgaranjem. Kombinacijom ta dva pogonska sustava postignuta je veća efikasnost, znatno niža potrošnja goriva i smanjenje emisija štetnih plinova.

Ključne komponente hibridnih pogonskih sustava su sljedeće:

- ❖ Motor s unutarnjim izgaranjem: Konvencionalni motor koji kao gorivo koristi ili dizel ili benzin. Kod hibridnih pogonskih sustava motor s unutarnjim izgaranjem koristi se za pogon vozila pri većim brzinama, visokim okretajima ili kada je potrebna veća snaga.
- ❖ Elektromotor: Električni motor koristi energiju pohranjenu u baterijama vozila. Najefikasniji je pri nižim brzinama i u urbanim uvjetima vožnje s obzirom da tada vozilo ne prelazi velike brzine te se hibridno vozilo ponaša kao električno vozilo.
- ❖ Baterija: Akumulator koji pohranjuje električnu energiju. Takve baterije pune se tijekom vožnje procesom regenerativnog kočenja ili iz motora s unutarnjim izgaranjem.
- ❖ Pomoćna baterija: Niskonaponska pomoćna baterija daje električnu energiju za pokretanje vozila prije uključivanja glavne/pogonske baterije. Između ostalog, pomoćna baterija napaja dodatnu opremu vozila [30].
- ❖ Električni generator: Tijekom kočenja stvara električnu energiju iz rotirajućih kotača, prenoseći energiju natrag na pogonsku bateriju.
- ❖ Upravljački sustav: Elektronička vrsta sustava koja upravlja radom motora s unutarnjim izgaranjem i elektromotora te optimizacijom njihove upotrebe postiže maksimalnu efikasnost i performanse.
- ❖ Električni energetski pretvarač: Uređaj pretvara napon iz pogonske baterije u niži napon koji je potreban za rad dodatne opreme vozila i ponovno punjenje pomoćne baterije.

Radni princip hibridnih vozila ovisi o trenutnim uvjetima vožnje. Koriste se različiti načini rada.

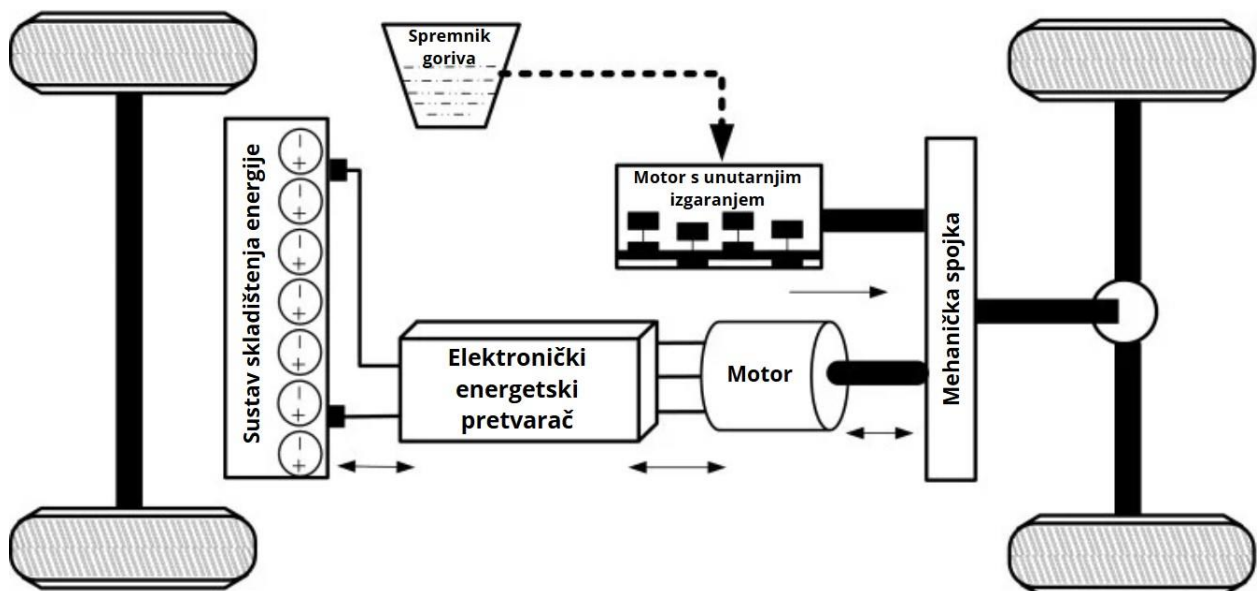
Prilikom pokretanja i vožnje na niskim okretajima, koristi se samo elektromotor. Najveća prednost elektromotora kod hibrida je u urbanim područjima, pogotovo u slučajevima kada su velike gužve. U takvim uvjetima motor s unutarnjim izgaranjem bi se stalno palio i gasio (ukoliko vozilo ima tvornički start–stop sustav) te bi potrošnja goriva bila vrlo velika. Osim što elektromotor štedi gorivo, također smanjuje emisije u okoliš te putnicama osigurava tihi rad, tj. rad elektromotora je vrlo tih dok su konvencionalni pogonski sustavi glasni, ovisno o vrsti motora. Tijekom normalne vožnje, upravljački sustav vozila kontinuirano optimira upotrebu motora s unutarnjim izgaranjem i elektromotora. Upravljanje se postiže kroz sofisticirani sustav upravljanja energijom koji nadzire brzinu vozila, uvjete vožnje, zahtjeve za snagom i stanje baterije. Motor s unutarnjim izgaranjem se koristi za konstantnu snagu, dok elektromotor može pružiti dodatnu snagu pri ubrzanju te povremeno pomagati kako bi se smanjila potrošnja goriva. Hibridna vozila koriste regenerativno

kočenje tijekom usporavanja i samog kočenja. Kinetička energija pretvara se u električnu energiju. Prednosti ovakve vrste kočenja su povrat energije i smanjeno trošenje kočnica.

3.2.2. Vrste hibridnih sustava

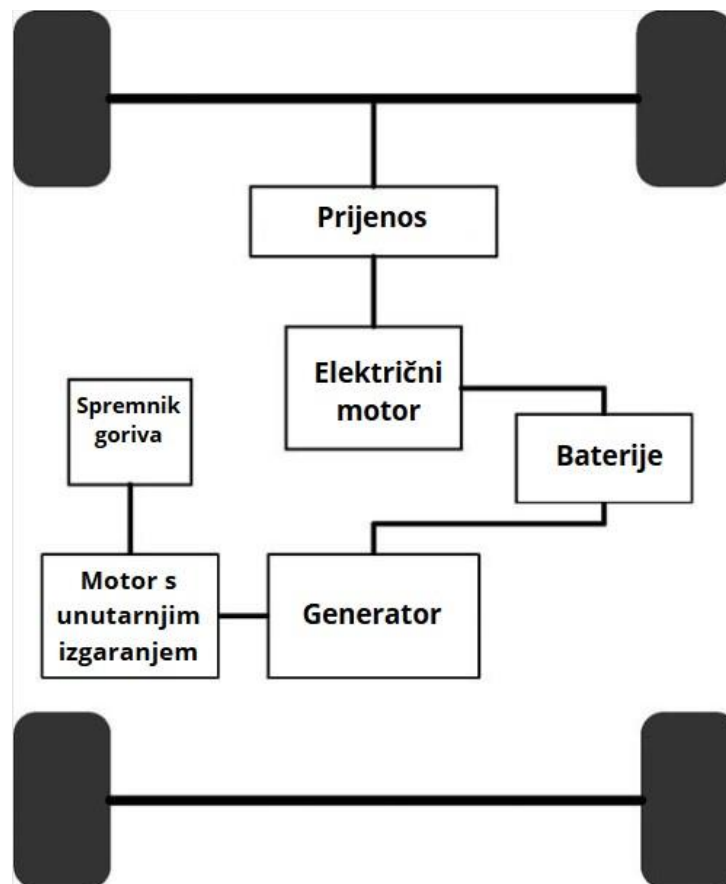
Postoji više vrsta hibridnih pogonskih sustava. Neki od njih su: paralelni hibridi, serijski hibridi i plug-in hibridi [20].

Paralelni hibridi jedan su od najčešćih tipova hibridnih vozila na tržištu. Kombiniraju klasičan motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor za pokretanje vozila [31]. Ovisno o načinu i uvjetima vožnje, vozilo može pokretati samo elektromotor ili motor s unutarnjim izgaranjem ili kombinacija oba motora. Prednost ovakvih hibrida je u isporuci snage. U urbanim uvjetima i u praznom hodu elektromotor pokreće vozilo i na taj način osigurava tih i učinkovit rad [32]. U uvjetima gdje je potrebno više snage, primjerice prilikom ubrzavanja ili vožnje autocestom, motor s unutarnjim izgaranjem pokreće vozilo samostalno ili u kombinaciji s elektromotorom. Također, imaju koristi od regenerativnog kočenja, procesa u kojemu se dobiva električna energija koja se pohranjuje u bateriju.



Slika 3.8. Paralelna arhitektura hibridnog vozila [31].

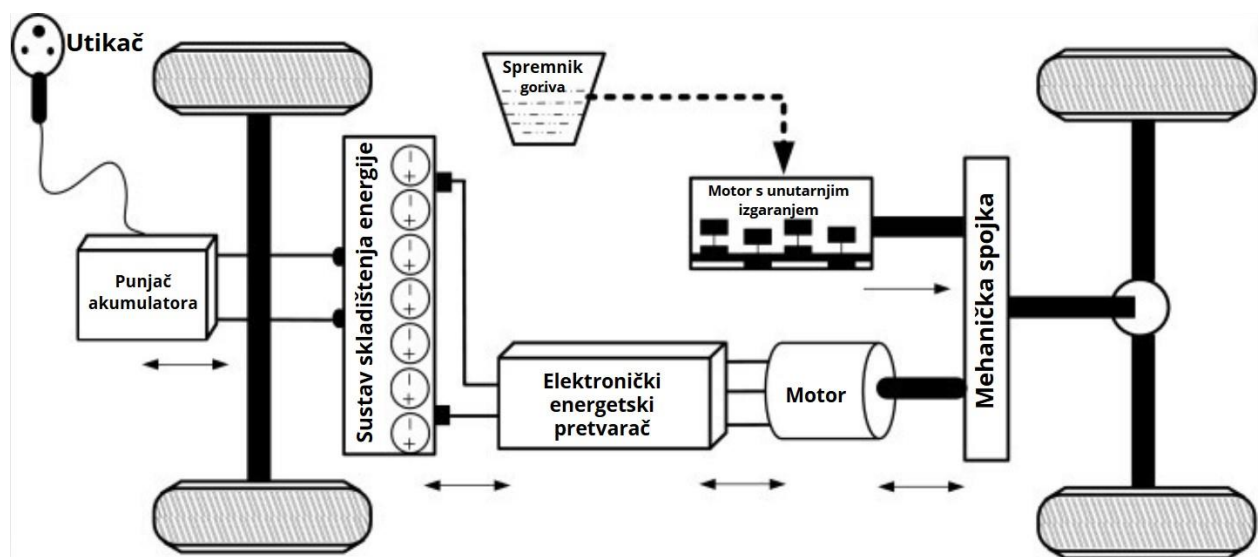
Serijski hibridi rade po nešto drugačijem principu u usporedbi s paralelnim hibridima. Kod serijskih hibrida motor s unutarnjim izgaranjem nije izravno spojen na kotače. Motor s unutarnjim izgaranjem djeluje kao generator za proizvodnju električne energije koja se koristi za napajanje elektromotora ili za ponovno punjenje baterije vozila. Električni motor nudi glatku i trenutnu isporuku snage što poboljšava iskustvo vožnje, pogotovo prilikom ubrzavanja [32]. Ključna prednost serijskih hibrida je u radu motora s unutarnjim izgaranjem na njegovoj najučinkovitijoj točki čime se poboljšava ukupna učinkovitost sustava i smanjuju emisije.



Slika 3.9. Serijska arhitektura hibridnog vozila [33].

Plug-in hibridna električna vozila (PHEV – eng. *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*) predstavljaju evoluciju u hibridnoj tehnologiji jer kombiniraju značajke paralelnih i serijskih hibrida s dodatnom sposobnošću punjenja baterija iz vanjskog izvora energije [34]. Zbog toga ovakva vrsta hibrida može raditi na električnom načinu rada na većim udaljenostima jer su opremljeni većim baterijama. Doseg može varirati ovisno o kapacitetu baterije. Neka vozila imaju doseg od čak 80

kilometara samo na električnu energiju. Kada se baterija isprazni, vozilo prelazi u hibridni način rada, kombinirajući motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor. Baterija se puni putem vanjskog izvora, na kućnoj utičnici ili javnoj punionici. Plug-in hibridna električna vozila pružaju vozačima iskustvo vožnje električnog vozila, dok u isto vrijeme posjeduju vozilo koje ima motor s unutarnjim izgaranjem ispod poklopca motora te u bilo kojem trenutku mogu se prebaciti na klasičan način vožnje. Zbog složenosti baterija i dodatne opreme za punjenje, cijena plug-in hibridnih električnih vozila veća je u odnosu na ostale hibride.



Slika 3.10. Arhitektura plug-in hibridnog vozila [34].

3.2.3. Tehnologija baterija i goriva

Ključnu ulogu kod hibridnih pogonskih sustava igraju baterijski sustavi koji osiguravaju efikasnost, performanse i brojne druge prednosti. Baterije hibridima osiguravaju smanjenu potrošnju goriva i štetne emisije plinova u okoliš. Za razliku od potpuno električnih vozila, hibridi se na električni pogon oslanjaju na kraćim udaljenostima, dok im je primarni motor i dalje motor s unutarnjim izgaranjem.

Najčešće korištene baterije kod hibrida su litij-ionske (Li-ion – eng. *Lithium-ion battery*) i nikal-metal hidridne baterije (NiMH – eng. *Nickel-metal hydride battery*) [35].

Litij-ionska baterija sastoji se od katode, anode, separatora, elektrolita i dva kolektora struje. Anoda i katoda pohranjuju litij. Elektrolit prenosi pozitivno nabijene litijeve ione od anode do

katode i obratno putem separatora. Kretanjem litijevih iona, stvaraju se slobodni elektroni u anodi koji stvaraju naboj na kolektoru pozitivne struje. Električna struja teče od kolektora struje kroz uređaj koji se napaja (mobitel, računalo, vozilo, itd.) do negativnog kolektora struje [36].

Nikal-metal hidridne baterije su vrsta punjivih baterija. Rade slično kao nepunjive alkalne baterije. Unutrašnjost nikal-metal hidridne baterije je smotana zavojnica. Pozitivna elektroda koristi nikal hidroksid, dok je negativna elektroda izrađena od legure koja apsorbira vodik [37].

Tablica 3.1. Usporedba Li-ion i NiMH baterija [38].

	Li-ion baterija	NiMH baterija
Kapacitet	3400 mAh	2400 mAh
Stopa samopražnjenja	Oko 3,5 % mjesečno	Čak do 50 % mjesečno
Životni vijek	Do 10 godina u normalnim uvjetima upotrebe	Do 5 godina ili manje
Raspon temperature rada	Između -20 °C i +60 °C	Između 0 °C i +40 °C
Prosječan napon	Ne ispod 3,2 V	1,2 V
Vrijeme punjenja	Između 3 i 5 sati, ovisno o kapacitetu	Između 8 i 12 sati, ovisno o kapacitetu
Cijena	Relativno skupe	Jeftinije, dostupne od 15 €

Iz tablice su vidljive prednosti i nedostaci pojedinih baterija. Li-ion baterije su bolje u pogledu više faktora te su zbog toga u većoj primjeni u automobilskoj industriji.

Tehnologija goriva slična je kao kod konvencionalnih pogonskih sustava, uz razliku što je potrošnja goriva manja kod hibrida zbog elektromotora te su ujedno i štetne emisije u okoliš manje.

3.2.4. Regenerativno kočenje

Regenerativno kočenje je mehanizam koji kinetičku energiju nastalu tijekom kočenja pretvara u električnu energiju koja puni visokonaponsku bateriju vozila [20]. Osim što usporava vozilo, regenerativno kočenje pomaže u korištenju konvencionalnih kočnica. Većina hibridnih i potpuno električnih vozila ima ugrađen ovaj sustav. S regenerativnim kočenjem, energija iz kotača koristi se za punjenje baterije. Kako bi se aktiviralo regenerativno kočenje, potrebno je maknuti nogu s

papučice gasa ili u nekim slučajevima pritisnuti papučicu kočnice [39]. Elektromotor, osim što djeluje kao električni generator, također pomaže usporiti vozilo. Na taj način kočenje je puno efikasnije, kočioni diskovi i obloge manje se troše u usporedbi s konvencionalnim pogonskim sustavima.

3.3. Električni pogonski sustavi

Električni pogonski sustavi temeljeni su na uporabi električne energije koja je pohranjena u baterijama za pogon elektromotora. Tehnologija električnih vozila nudi brojne prednosti, između ostalog i potencijalne nulte emisije ispušnih plinova tijekom vožnje [20]. Osim prednosti, električna vozila suočavaju se s brojnim izazovima, poput malog kapaciteta baterija, vremena punjenja, infrastrukture punionica, dosega s jednim punjenjem, itd. Budući da su električni pogonski sustavi relativno nova tehnologija, još uvijek prolaze kroz brojne faze razvoja i unaprjeđivanja.

3.3.1. Osnove električnih pogonskih sustava

Električna vozila (EV – eng. *Electric Vehicle*), koriste električni pogonski sustav, bez ikakvih povezanosti s motorima s unutarnjim izgaranjem. EV predstavljaju važan korak prema održivoj i ekološki prihvatljivoj mobilnosti. Ključne komponente električnih vozila su: elektromotori, baterije, elektronički energetske pretvarači, priključak za punjenje, kontroleri i ugrađeni punjač.

Elektromotori su srce električnih vozila jer pretvaraju električnu energiju iz baterija u mehaničku energiju koja je potrebna za pokretanje vozila. Mogu biti različitih vrsta. Najčešće upotrebljavani elektromotori su motori s trajnim magnetima i asinkroni motori. Velika prednost elektromotora je što osiguravaju tihi rad, imaju visoku efikasnost, trenutni okretni moment te se manje dijelova troši u usporedbi s motorima s unutarnjim izgaranjem.

Baterije su skladište električne energije kod električnih vozila. Najčešće upotrebljavane baterije su litij-ionske zbog njihove visoke energetske gustoće, dugačkog životnog vijeka trajanja, male težine, velikog radnog raspona temperature i brojnih drugih faktora. Sastoje se od velikog broja ćelija koji su povezani u seriju i paralelu, stvarajući visokonaponski sustav za pogon vozila na velike udaljenosti.

Elektronički energetska pretvarač je elektronički sklop koji pretvara izvor istosmjernje struje iz više razine napona u nižu razinu napona koja je potrebna za rad opreme automobile i punjenje pomoćne baterije.

Priključak za punjenje omogućuje vozilu povezivanje s vanjskim izvorom napajanja kako bi se napunio pogonski akumulator.

Kontroler je elektronički uređaj koji upravlja radom elektromotora. Regulira brzinu i snagu elektromotora optimizirajući potrošnju energije i performanse vozila. Imaju ključnu ulogu u osiguravanju glatkog upravljanja.

Ugrađeni punjač uzima dolaznu izmjeničnu struju koja se dovodi preko priključaka za punjenje i pretvara je u istosmjernu struju za punjenje pogonske baterije. Ugrađeni upravljač komunicira s opremom za punjenje te prati karakteristike baterije poput stanja napunjenosti tijekom punjenja, temperature, napona, struje, itd. [40].

Radni princip električnih vozila:

Električna vozila funkcioniraju po principu pretvaranja električne energije u mehanički rad. Pritiskom papučice gasa kontroler šalje signal bateriji kako bi isporučila električnu energiju elektromotoru. Elektromotor stvara okretni moment koji se prenosi na kotače vozila putem pogonskog sklopa. Sustav omogućuje trenutno ubrzavanje i visoku efikasnost s obzirom da elektromotori mogu raditi pri optimalnim uvjetima u širokom rasponu brzina. Tijekom kočenja električna vozila koriste regenerativno kočenje. Tim načinom vraćaju dio energije u bateriju. Elektromotor djeluje kao generator koji pretvara kinetičku energiju vozila u električnu energiju koja se pohranjuje u bateriji. Proces regenerativnog kočenja povećava ukupnu efikasnost vozila te produžuje njegov domet.

3.3.2. Vrste baterija

Baterije su ključna komponenta kod električnih vozila. Utječu na doseg, performanse i cijenu. Postoji nekoliko vrsta baterija koje se upotrebljavaju kod električnih vozila poput litij-ionskih, nikal-metal hidridnih, olovnih, ultrakondenzatora [41] i drugih. Svaka baterija ima svoje prednosti i nedostatke.

Litij-ionske baterije većinom se koriste zbog visoke energije po jedinici mase i volumena u odnosu na druge sustave za pohranu električne energije. Imaju visoki omjer snage i težine, visoku energetska učinkovitost, dobre performanse pri visokim temperaturama, dug životni vijek i niski postotak samopražnjenja. Većina komponenti ovih baterija može se reciklirati, ali troškovi oporave materijala su izazov za industriju. Istraživanja i razvoj ovih vrsta baterija su u tijeku s ciljem smanjenja relativno visoke cijene, produženja vijeka trajanja, korištenja manje kobalta, itd.

Nikal-metal hidridne baterije nude prihvatljivu specifičnu energiju i specifičnu snage. Imaju puno duži životni ciklus od olovnih baterija. Glavni izazovi ovih baterija su visoka cijena, visoka stopa samopražnjenja i potreba za kontrolom gubitka vodika.

Olovne baterije mogu biti dizajnirane kako bi imale veliku snage, jeftine su i sigurne te se mogu reciklirati. Niska specifična energija, loša izvedba pri niskim temperaturama te kratak životni ciklus smanjuju njihovu upotrebu. Između ostaloga, koriste se i za start-stop funkciju u vozilima i ICE motorima.

Ultrakondenzatori pohranjuju energiju u sučelju između elektroda. Povećanjem površine dielektrika i elektroda, povećava se i kapacitet skladištenja energije. Imaju nisku gustoću energije, ali vrlo visoku gustoću snage. Upravo zbog toga, mogu u vrlo kratkom vremenskom periodu isporučiti velike količine energije. Vozilima osiguravaju dodatnu snagu tijekom ubrzavanja, uspona i pomažu u povratu energije tijekom kočenja.

3.3.3. Kapacitet i energetska gustoća

Kapacitet baterije najčešće se izražava u ampersatima (Ah), miliampersatima (mAh) ili u kilovatsatima (kWh). Kapacitet baterija označava količinu električne energije koju pojedina baterija može pohraniti. Što je veći kapacitet baterije, to je i sami doseg veći, tj. vozilo može prijeći veću udaljenost bez potrebe za punjenjem. Naravno, ne znači nužno da što je veći kapacitet, to je i doseg veći. To ovisi o učinkovitosti vozila i načinu vožnje. Neće biti jednaka potrošnja energije pri brzini od 50 km/h i 250 km/h.

Energetska gustoća mjeri se u vatsatima po kilogramu (Wh/kg), a predstavlja količinu energije koju baterija može pohraniti u odnosu na masu [42]. Veća energetska gustoća predstavlja i veću pohranu energije bez značajnije promjene mase vozila. To je vrlo važno jer se time smanjuje masa električnih vozila, a ujedno se povećava doseg i efikasnost [43].

3.3.4. Punjenje i infrastruktura

Punjenje električnih vozila i infrastruktura važni su faktori za prihvaćanje i širenje električnih vozila na tržištu. Ukoliko u nekoj državi, tj. gradu/mjestu postoji samo jedna punionica za električna vozila, vrlo je mala vjerojatnost da će se ljudi odlučiti za kupovinu takve vrste vozila jer nije jednako brzo napuniti električno vozilo do kraja i vozilo koje ima dizelski/benzinski motor. Ukoliko u gradu/mjestu ima više punionica, puno je veća vjerojatnost da će se ljudi okrenuti električnim vozilima jer će imati veći izbor gdje otići i ostaviti vozilo da se napuni do kraja.

Postoje tri metode punjenja, a podijeljene su prema snazi punjača na punionici [44].

Punjači razine 1. Punjači ove razine koriste standardnu zidnu utičnicu od 230 V te omogućuju sporo punjenje baterije. Najkorisniji su u privatnim kućama gdje se vozilo može puniti preko noći. S obzirom da je ova metoda punjenja vrlo spora, može potrajati i do 20 sati kako bi se vozilo napunilo u potpunosti. Veliki nedostatak ovakvog punjenja je što može uzrokovati pregrijavanje punjača i izazvati požar na instalacijama.

Stanice razine 2. Povećavaju napon od 220 V do 480 V i izlaze na tri razine: 7 kW (1 faza), 11 kW (3 faze) i 22 kW (3 faze) [53] za potpuno punjenje za oko 8 sati. Brzina punjenja čini ih idealnima za primjenu za noćno punjenje kod kuće. Ovakve punionice osim što se nalaze kod kuće, moguće ih je još pronaći u javnim garažama, poslovnim prostorima i hotelima. Bez odgovarajućeg utikača nije moguće koristiti ovakve punionice te je tada potrebno instalirati utičnicu od 230 V ili kućnu stanicu za punjenje vozila.

DC stanice za brzo punjenje razine 3. DC stanice isporučuju najviše energije, a mogu napuniti bateriju električnog vozila do 80 % kapaciteta u roku od 30 do 60 minuta, ovisno o kapacitetu baterije i snazi stanice (50–350 kWh). Koriste se visokonaponski sustavi od 400 V ili više. S obzirom da su ovakve punionice vrlo skupe za instalaciju, nalaze se na strateškim lokacijama te omogućuju brzo punjenje tijekom dugih putovanja.

Infrastruktura punionica:

Bez razvoja infrastrukture punionica ne bi bilo ni širenja električnih vozila. Ranije je u tekstu spomenuto da nije jednako kada u jednom gradu/mjestu ima samo jedna punionica za električna vozila ili kada ih ima puno više. Upravo zbog toga je važno raditi na razvoju punionica za električna vozila. Uspostavljanjem mreže punionica na privatnim lokacijama, poput dvorišta pred kućom, javnim mjestima, poslovnim lokacijama i duž glavnih cestovnih pravaca omogućuje se

vozačima praktičan pristup energiji potrebnoj za punjenje njihovih električnih vozila. Postoje javne punionice, kućne punionice i brze punionice na autocestama.

Javne punionice:

- ❖ Nalaze se na parkiralištima, trgovačkim centrima, garažama i drugim javnim mjestima. Omogućuju vozačima punjenje vozila za vrijeme obavljanja dnevnih obveza.

Kućne punionice:

- ❖ Dosta vlasnika električnih vozila odlučuje se za instalaciju vlastite punionice kod kuće kako bi omogućili praktično noćno punjenje vozila. Kućne punionice omogućuju brže punjenje vozila u usporedbi s klasičnom kućnom utičnicom.

Brze punionice na autocestama:

- ❖ Vozačima na dugim putovanjima omogućuju brzo punjenje vozila. Ovakve punionice postavljaju se na strateškim lokacijama duž glavnih cestovnih pravaca.

3.3.5. Životni vijek i održavanje baterija

Životni vijek baterija u električnim vozilima ključan je čimbenik za ukupne troškove vlasništva i održavanje vozila. Postoji nekoliko faktora koji utječu na trajanje baterija te strategije koje mogu pomoći u produljenju vijeka trajanja.

Faktori koji utječu na životni vijek baterija su ciklus punjenja i pražnjenja, brzo punjenje i temperatura.

Ciklus punjenja i pražnjenja:

- ❖ Baterije imaju ograničen broj ciklusa punjenja i pražnjenja prije početka gubitka kapaciteta. Svaki put kada se baterija potpuno napuni i isprazni, smanji se ukupni kapacitet. Korištenje baterije unutar optimalnog raspona napunjenosti, između 20 i 80 %, može produžiti vijek trajanja.

Brzo punjenje:

- ❖ Česta uporaba brzih punionica može ubrzati degradaciju baterije zbog visoke struje punjenja. Sporije punjenje može biti bolje za vijek baterije i pomoći u njenom očuvanju.

Temperatura:

- ❖ Visoke temperature ubrzavaju degradaciju. Optimalni radni uvjeti za baterije su umjereni temperaturni rasponi. Hlađenjem ili grijanjem baterija, može se pomoći u održavanju optimalne temperature i produženju vijeka trajanja.

Strategije koje produžuju vijek trajanja baterija su kontrola temperature, upravljanje napunjenosti i izbjegavanje prekomjernog punjenja i pražnjenja.

Kontrola temperature:

- ❖ Ugrađeni sustavi za hlađenje i grijanje mogu održavati bateriju na optimalnoj temperaturi, smanjujući rizik od pregrijavanja ili pothlađivanja.

Upravljanje napunjenosti:

- ❖ Održavanje baterije unutar optimalnog raspona napunjenosti može produžiti vijek trajanja. Većina električnih vozila ima ugrađene sustave za upravljanje baterijom koji optimiziraju punjenje i pražnjenje.

Izbjegavanje prekomjernog punjenja i pražnjenja:

- ❖ Izbjegavanje punjenja do 100 % i pražnjenja do 0 % može smanjiti opterećenje na bateriju i produžiti njen vijek trajanja.

Održavanje baterija u električnim vozilima uključuje redovite provjere stanja baterije i njene kapacitete. Servisiranje baterijskog sustava i ažuriranje softvera za upravljanje baterijom također može pomoći u optimizaciji performansi i produženju vijeka trajanja.

4. USPOREDBA PERFORMANSI, EKONOMIČNOSTI I TROŠKOVA VLASNIŠTVA

Za usporedbu svih karakteristika, koristit će se VW Golf 7 kao primjer, s obzirom da je navedeni auto moguće pronaći sa svim pogonskim sustavima - dizel, benzin, hibrid i električni. Između ostalog, navedeno vozilo je u širokoj primjeni te je cijenom relativno pristupačno. Rabljene primjerke Golfa 7 moguće je pronaći već od 7.000,00 €, ovisno o samoj izvedbi vozila, prijedenoj kilometraži, stanju vozila, itd. Kroz navedene podnaslove pružit će se detaljan uvid u usporedbu na temelju raznih performansi i ostalih karakteristika vozila.

4.1. Usporedba na temelju potrošnje energije/goriva

Jedan od ključnih faktora prilikom kupovine novog ili rabljenog vozila, osim njegove cijene je potrošnja goriva ili energije. Vrlo je bitno da vozilo ima što manju potrošnju goriva/energije jer cijene goriva konstantno variraju. Zbog toga se dosta ljudi odlučuje za što manje motore u vozilima, poput rednog četverocilindraša ili čak trocilindraša. U sljedećoj tablici bit će prikazane usporedbe VW Golfa 7 GTD, GTI, GTE i e-Golf na temelju potrošnje goriva/energije uz osnovne informacije o svakom vozilu.

Tablica 4.1. Osnovi podaci o Golfu 7 GTD, GTI, GTE i e-Golfu.

	VW Golf 7 2.0 GTD [45]	VW Golf 7 2.0 GTI [46]	VW Golf 7 1.4 GTE [47]	VW Golf 7 e-Golf [48]
Vrsta motora	Dizelski	Benzinski	Hibridni	Električni
Obujam motora [cm³]	1968	1984	1395	Električni motor
Godina proizvodnje	2018.	2018.	2018.	2018.
Snaga motora [kW]	135	169	150	100
Okretni moment [Nm]	380	350	350	270
Vrsta mjenjača	7–stupanjski DSG	6–stupanjski DSG	6–stupanjski DSG	Automatski s jednom brzinom
Maksimalna brzina [km/h]	230	246	222	140
Ubrzanje 0–100 km/h [s]	7.5	6.2	7.6	10.4
Prosječna potrošnja:	4,5 l/100 km	6,3 l/100 km	3,6 l/100 km + 7,7 kWh/100 km	12,7 kWh/100 km
CO₂ emisije [g/km]	124	148	40	0
Kapacitet spremnika goriva/baterije	50 l	50l	40 l + 8,70 kWh	24,2 kWh
Standard emisije	Euro VI	Euro VI	Euro VI	459/2012
Doseg [km]	1111	793	880	190
Vrijeme punjenja	Između 5 i 8 minuta	Između 5 i 8 minuta	Između 3 i 5 minuta za gorivo Između 4 i 5 sati za baterije	Od 1 do 13 sati
Cijena	~ 21.000,00 €	~ 25.000,00 €	~ 19.000,00 €	~ 17.000,00 €

Podaci u tablici izdani su od strane proizvođača, tj. Volkswagena za novo vozilo. S obzirom da je od 2018. prošlo šest godina, stvarni podaci (potrošnja, doseg) mogu se malo razlikovati. Za potrebe računice i usporedbe koji je Golf najefikasniji koristit će se podaci iz tablice. Također, navedena je prosječna potrošnja goriva i energije, ali ta potrošnja varira ovisno o uvjetima i načinu vožnje. Tako će npr. Golf 7 GTI u uvjetima gradske vožnje trošiti i do 8,1 l/100 km, dok će GTD trošiti 5,5 l/100 km. Prema trenutnim cijenama goriva, zaključno s datumom 26. lipnja 2024., litra benzina Eurosuper 100 na Crodux benzinskoj postaji iznosi 1,86 €, dok litra premium eurodizela na istoj postaji iznosi 1,83 € [25].

Eurosuper 100

Naftna tvrtka	Cijena
Crodux Derivati (Petrol)	1,86 €
Ina	1,88 €
Petrol	1,86 €
Shell	1,859 €
Tifon	1,89 €

Premium eurodizel (class, ECTO)

Naftna tvrtka	Cijena
AdriaOil	1,83 €
Crodux Derivati (Petrol)	1,83 €
Ina	1,83 €
Lukoil	1,47 €
Petrol	1,83 €
Shell	1,809 €
Tifon	1,84 €

Slika 4.1. Prikaz cijena benzina (gore) i dizela (dolje) dana 26. lipnja 2024.

Cijene na punionicama električnih vozila kreću se od 0,22 €/kWh na brzim AC punjačima pa sve do 0,85 €/kWh na brzim DC punjačima [49]. Prema prosječnoj potrošnji navedenoj unutar Tablice 4.1., pojedini Golf na prvih 100 kilometara potrošit će sljedeći iznos novca:

Tablica 4.2. Usporedba potrošnje novca nakon pređenih 100 kilometara.

	Golf GTD	Golf GTI	Golf GTE	e-Golf
Potrošnja novca (€) nakon 100 km	4,5 l * 1.83 €/l = 8,235 €	6,3 l * 1.86 €/l = 11,718 €	3,6 l * 1,86 €/l + 7,7 kWh * 0,30 €/kWh = 9,006 €	12,7 kWh * 0,30 €/kWh = 3,81 €

Iz Tablice 4.2. je vidljivo da je nakon prvih 100 km najisplativije voziti e-Golf, zatim Golf GTD, GTE, dok je Golf GTI najskuplji po pitanju potrošnje novca. Uzeta je vrijednost punjenja električnom energijom u iznosu od 0,30 € po kWh.

Tablica 4.3. Usporedba potrošnje novca nakon 50.000 pređenih kilometara.

	Golf GTD	Golf GTI	Golf GTE	e-Golf
Potrošnja novca (€) nakon 50.000 km	4,5 l/100 km * 1,83 €/l * 500 = 4.117,50 €	6,3 l/100 km * 1,86 €/l * 500 = 5.859,00 €	3,6 l/100 km * 1,86 €/l * 500 + 7.7 kWh/100 km * 0,30€/kWh * 500 = 4.503,00 €	12,7 kWh/100 km * 0,30 €/kWh * 500 = 1.905,00 €

Prema rezultatima Tablice 4.3., vidljivo je kako je najjeftinije voziti na struju, dok je cijena troška vožnje hibrida malo veća u odnosu na vožnju na dizel. Vožnja na čisti benzin je najskuplja. Međutim, postavlja se pitanje koliko je zaista isplativo voziti na struju. Dizelski motor može, u teoriji, prijeći više od 1.100 kilometara bez zaustavljanja. Također, benzinski i hibridni motori mogu prijeći put veće udaljenosti bez zaustavljanja, tj. bez potrebe za gorivom/izvorom energije

(793 kilometra Golf GTI i 880 kilometara Golf GTE). Kod električnog motora priča je drugačija. Primjerice, putuje se od Osijeka do Biograda na Moru na godišnji odmor. Udaljenost između navedenih mjesta iznosi 588 kilometara. Ovisno o početnom i konačnom odredištu, ukupna udaljenost može se razlikovati za +/- 10 kilometara. U idealnim uvjetima, put bi trajao 5 sati i 13 minuta. Tijekom sezone kada su gužve na autocesti, put traje i do 7 sati, ovisno o količini prometa na pojedinim dionicama autoceste, vremenu i danu u tjednu kada se krene na put. E-Golf ima maksimalni doseg od 190 kilometara. Na autocesti doseg je puno manji, između 120 i 130 kilometara. To znači da bi auto trebalo puniti minimalno 5 puta. Ukoliko bi se auto punio brzim punjačem, svako punjenje trajalo bi oko sat vremena. Kada se zbroji vrijeme putovanja i punjenja, dolazi se do idealnih 10 sati putovanja te se postavlja pitanje je li uopće isplativo odlaziti na takav put s električnim Golfom.

4.2. Usporedba na temelju dosega

U Tablici 4.1. navedene su potrošnje goriva i energije u idealnim uvjetima za svaki pojedini Golf. Naravno, u stvarnosti te se brojke mogu uvelike razlikovati. Uvijek se može dogoditi neka vrsta zastoja u prometu zbog čega će i potrošnja vozila postati veća. Kod nekih vozila tada će potrošnja porasti i do 50 % u odnosu na potrošnju koju je potvrdio proizvođač. Osim toga, na potrošnju goriva/energije utječe i starost vozila, način vožnje te kako je vozilo bilo održavano. Što je veća potrošnja goriva/energije, to će vozilo imati manji doseg te će češće morati stajati na benzinske postaje/punionice. Sljedeća tablica pokazuje potrošnju goriva/energije u različitim uvjetima vožnje.

Tablica 4.4. Usporedba potrošnje goriva u različitim uvjetima vožnje.

Potrošnja goriva ili energije:	Golf GTD	Golf GTI	Golf GTE	e–Golf
Kombinirano	4,5 l/100 km	6,3 l/100 km	3,6 l/100 km + 7,7 kWh/100 km	15 kWh/100 km
U gradu	5,5 l/100 km	8,1 č/100 km	3,5 l/100 km + 22 kWh/100 km	13 kWh /100 km
Na otvorenoj cesti	4,0 l/100 km	5,3 l/100 km	5,0 l/100 km + 18 kWh/100 km	18 kWh/100 km
Kapacitet spremnika goriva/energije	50 l	50 l	40 l + 8,70 kWh	24,2 kWh

Iz Tablice 4.4. vidljivo je koliko iznosi potrošnja goriva/energije svakog pojedinog Golfa. Sukladno tome, sada se može izračunati doseg svakog Golfa. Rezultati će biti prikazani u Tablici 4.5.

Tablica 4.5. Doseg pojedinog Golfa na temelju različite potrošnje goriva.

Doseg [km]:	Golf GTD	Golf GTI	Golf GTE	e–Golf
Kombinirano	1111	793	1224	161
U gradu	909	617	1182	186
Na otvorenoj cesti	1250	943	848	134

Prema rezultatima Tablice 4.5., vidljivo je da kombiniranom vožnjom Golf GTE ima najveći doseg u usporedbi s ostalim Golfovima. Također, i u urbanim uvjetima GTE ima najveći doseg. Po pitanju potrošnje goriva na otvorenoj cesti, GTD ima najveći doseg jer su VW–ovi dizelski motori

izuzetno kvalitetno napravljeni te na najbolji mogući način optimiziraju potrošnju goriva. Upravo zbog toga dizelski modeli VW-a imaju najveći doseg na otvorenoj cesti. E-Golf ima najmanji doseg od svih zbog malog kapaciteta baterije. Svi rezultati u tablici dobiveni su za idealne uvjete, bez da se auto mora zaustavljati, kočiti ili ubrzavati, tj. vozilo se kreće konstantnom brzinom. U stvarnosti, brojke su manje, pogotovo ako se u obzir uzmu gužve koje često budu na prometnicama. Osim gužve, na potrošnju, tj. doseg utječe i temperatura, tako da će vozila u zimskim mjesecima imati veću potrošnju u odnosu na ljetne.

4.3. Usporedba na temelju načina punjenja

Dizelski i benzinski automobili pune se na benzinskim postajama, hibridni automobili gorivo pune također na benzinskim postajama, dok energiju/struju moraju puniti na punionicama kao i električni automobili. Infrastruktura za električna vozila još uvijek nije toliko razvijena kao što je slučaj kod dizelskih/benzinskih vozila. Benzinske postaje moguće je pronaći u većini mjesta unutar Republike Hrvatske, dok punionice za električna vozila nije moguće. One se nalaze u većim mjestima te na odmorštima na autocesti, tj. na dobroj strateškoj lokaciji.



Slika 4.2. Infrastruktura električnih punionica u Hrvatskoj [50].

Punjenje goriva na benzinskim postajama nije dugotrajan postupak te ovisi samo o kapacitetu spremnika goriva. Prosječno vrijeme punjenja je između 5 i 10 minuta. Prednost benzinskih postaja je u jako dobro razvijenoj infrastrukturi i širokoj dostupnosti. Primjerice, u Osijeku je moguće pronaći više od 20 benzinskih postaja. Široka rasprostranjenost omogućuje punjenje goriva u kratkom vremenu, s obzirom da većina benzinskih postaja ima kapacitet od četiri ili više crpki spremnih za korištenje u bilo kojem trenutku. Vrlo je mala vjerojatnost da će u isto vrijeme biti zauzete sve crpke na benzinskoj postaji. Kod električnih i hibridnih vozila potrebno je otići na punionicu za električna vozila. Unutar Osijeka ima 18 javno dostupnih punionica za električna vozila, svaka s mogućnošću punjenja dva vozila u isto vrijeme. Kod ovog slučaja puno je veća vjerojatnost da će barem jedno, ako ne i oba mjesta biti zauzeta s drugim vozilima. Brzina punjenja hibridnih i električnog vozila ovisi o kapacitetu baterije i o vrsti punjača koja se koristi, tako da se auto u teoriji može napuniti i za 30–ak minuta. Korištenjem standardne kuće utičnice (230 V), punjenje će trajati između 8 i 12 sati, na zidnom sustavu (240 V, 7,2 kW) 4 do 6 sati, dok će na brzim DC punjačima (50 kW+) trajati između 30 i 60 minuta. Međutim, realnije je očekivati da će punjenje trajati nekoliko sati. Osim toga, u obzir treba uzeti i potencijalno čekanje u redu za punionicu koje također može potrajati nekoliko sati. Na temelju navedenih činjenica, dizeli i benzinci imaju veliku prednost jer budu puni za manje od 10 minuta.

4.4. Usporedba na temelju ekonomske isplativosti

Spomenuto je već da se rabljeni primjerak Golf 7 može kupiti i za 7.000,00 €. To su ipak prve verzije Golf 7 koje su izašle na tržište 2012. godine, prešli su dosta kilometara te imaju najosnovniji paket opreme. Kada bi se realnije gledalo i kupovalo Golf 7 s pristojnom opremom i razumno m kilometražom (do 200.000 kilometara), cijena bi iznosila između 9.000,00 € i 10.000,00 €. S obzirom da su u Tablici 4.1. navedeni Golf 7 svi 2018. godište, sljedeća usporedba bit će izvršena za to godište.

Tablica 4.6. Usporedba cijena novog i rabljenog Golfa 2018. godište.

	Golf GTD	Golf GTI	Golf GTE	e-Golf
Cijena novog [51]	264.030,19 HRK 35.042,83 €	257.049,56 HRK 34.116,34 €	304.909,88 HRK 40.468,50 €	298.770,75 HRK 39.653,69 €
Cijena rabljenog	~ 21.000,00 €	~ 25.000,00 €	~ 19.000,00 €	~ 17.000,00 €
Gubitak vrijednosti	~ 40 %	~ 26 %	~ 53 %	~ 57%

Iz Tablice 4.6., vidljive su cijene pojedinih modela kada je Golf bio novi i danas, nakon šest godina. 2018. godine, kada su ovi automobili proizvedeni, najskuplji je bio Golf GTE, a najjeftiniji Golf GTI. Danas je situacija drugačija, e-Golf je najjeftiniji, dok je Golf GTI najskuplji. Vidljivo je da je e-Golf izgubio najviše na vrijednosti, gotovo 60 %. Golf GTI najmanje je izgubio na vrijednosti, što je potpuno očekivano s obzirom da GTI nudi dobre performanse. Također, ne smiju se zaboraviti troškovi goriva/struje koje vozilo potroši. Neka se sa svakim vozilom godišnje napravi 15.000 kilometara.

Tablica 4.7. Potrošnja izražena u € nakon 15.000 kilometara.

	Golf GTD	Golf GTI	Golf GTE	e-Golf
Cijena goriva/energije	1,83 €/l	1,86 €/l	1,86 €/l 0,30 €/kWh	0,30 €/kWh
Prijeđena kilometraža	15.000 km	15.000 km	15.000 km	15.000 km
Prosječna potrošnja goriva/energije	4,5 l/100 km	6,3 l/100 km	3,6 l/100 km + 7,7 kWh/100 km	12,7 kWh/100 km
Izračun potrošnje novca	1,83 €/l * 4,5 l/100 km * 150	1,86 €/l * 6,3 l/100km * 150	1,86 €/l * 3,6 l/100 km * 150 + 0,30 €/kWh * 7,7 kWh/100 km * 150	0,30 €/kWh * 12,7 kWh/100 km * 150
Ukupan iznos	1.235,25 €	1.757,70 €	1.350,90 €	571,50 €

Prema Tablici 4.7., vidljivo je kako je nakon 15.000 pređenih kilometara najisplativija varijanta voziti e-Golf, a najskuplje Golf GTI. Dizelski Golf je drugi po isplativosti jer mu nije velika potrošnja, dok je Golf GTE između GTD-a i GTI-a. Gornja tablica vrijedila bi samo u slučaju kada bi cijena goriva/energija bila fiksna i kada se potrošnja automobila ne bi mijenjala, već bi cijelo vrijeme bila konstantna kao što je navedeno u tablici. U stvarnosti, ništa od toga nije tako. Cijene goriva variraju svaka dva tjedna, potrošnja vozila ovisi o uvjetima vožnje, načinu vožnje, te stanju vozila. U svakom slučaju, e-Golf je najisplativiji po pitanju potrošenog novca na gorivo/energiju, ali ako se u obzir uzme vrijeme potrebno za punjenje i učestalost punjenja, tada baš i ne dolazi u obzir. Ukoliko se, primjerice, uzme u obzir da e-Golf napravi idealnih 200 km bez potrebe za punjenjem, na 15.000 km potrebno ga je puniti 75 puta. Svako punjenje neka traje 3 sata, što je ukupno 225 sati samo na punjenje vozila. U usporedbi, Golf GTI prijeđe 790 kilometara te ga je pri tome potrebno napuniti 19 puta. Svako punjenje neka traje po 10 minuta, što znači da se ukupno potroši 190 minuta, tj. 3 sata i 10 minuta, što je 70 puta manje nego kod e-Golfa.

4.5. Usporedba na temelju dinamičkih karakteristika vozila

Pod dinamičke karakteristike vozila ubrajaju se ubrzanje 0–100 km/h, maksimalna brzina, snaga motora, okretni moment, ukupna masa vozila te brojni drugi faktori. Sljedeća tablica prikazat će neke dinamičke karakteristike pojedinog Golfa.

Tablica 4.8. Dinamičke karakteristike Golfa GTD, GTI, GTE i e-Golfa.

	Golf GTD	Golf GTI	Golf GTE	e-Golf
Snaga motora [kW]	135	169	150	100
Okretni moment [Nm]	380	350	350	270
Maksimalna brzina [km/h]	230	246	222	140
Ubrzanje 0–100 km/h [s]	7,5	6,2	7,6	10,4
Ukupna masa vozila [kg]	1377	1398	1520	1485
Dimenzije pneumatika	225/45 R17	225/45 R17	225/45 R17	195/65 R16
Vrsta mjenjača	7–stupanjski DSG	6–stupanjski DSG	6–stupanjski DSG	Automatski s jednom brzinom
Pogon	prednji	prednji	prednji	prednji

Usporedbom svih modela, vidljivo je da pojedini Golf nudi specifične prednosti. Golf GTD nudi najveći okretni moment i najlakši je, Golf GTI ima najviše snage, najveću maksimalnu brzinu te najbolje ubrzanje. Golf GTE ima gotovo jednako ubrzanje kao Golf GTD, međutim najteži je u usporedbi s ostalim modelima. E-Golf ima najlošije dinamičke karakteristike, ali cijelo vrijeme tijekom vožnje osigurava putnicima tihi način vožnje s obzirom da se električna vozila gotovo ni ne čuju. Ima nultu emisiju štetnih plinova tijekom vožnje što mu daje veliku prednost.

4.6. Usporedba na temelju načina održavanja

Svaki automobil potrebno je nakon određenog vremena odvesti na servis. Neki servisi rade se češće, dok se neki servisi trebaju napraviti jednom u nekoliko godina, tj. ovise o prijeđenoj kilometraži. Kod Golfa 7, prema preporuci proizvođača i ovlaštenih servisa, mali servis potrebno je raditi svakih 15.000 kilometara, dok se veliki servis radi na 210.000 kilometara. Diskovi i

pločice mijenjaju se između 50.000 i 100.000 kilometara, pneumatici svakih 20.000 do 40.000 kilometara, itd. Sljedeća tablica prikazuje pojedine troškove održavanja Golfovih modela.

Tablica 4.9. Usporedba troškova održavanja pojedinog Golfa.

	Golf GTD	Golf GTI	Golf GTE	e-Golf
Mali servis	300 €	300 €	250 €	x
Veliki servis	410 €	600 €	500 €	200 €
Zamjena zupčastog remena	1.200,00 €	x	x	x
Zamjena kočionih diskova i pločica	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	1.500,00 €
Zamjena kočione tekućine	70 €	70 €	70 €	70 €
Zamjena ulja u mjenjaču	450 €	450 €	450 €	x
Zamjena motora/baterija	20.000,00 €	19.000,00 €	14.000,00 € benzinski motor 18.000,00 € elektromotor 20.000,00 € baterije Po modulu 2.500,00 €	12.000,00 € elektromotor 36.000,00 € baterije Po modulu 2.500,00 €
Produljenje registracije [52]	264,83 €	267,63 €	248,98 €	152,84 €
Prijepis vlasništva [52]	475,78 €	588,66 €	525,58 €	359,58 €

Izvor podataka u tablici: Remix d.o.o.

Prema Tablici 4.9., vidljivo je kako je za održavanje najskuplji Golf GTD zbog potrebe mijenjanja zupčastog remena i ostalih servisa. Najjeftiniji za održavanje je e-Golf jer nema klasičan motor i ostale popratne dijelove. Cijena održavanja Golfa GTI i GTE je slična - GTI je za 100 € skuplji. Također, u tablici su navedeni troškovi izmjene motora/baterija ukoliko se dogodi takva vrsta kvara na vozilu. Uočava se kako je zamjena motora Golfa GTD i GTI slična po cijeni, dok je kod GTE i e-Golfa malo drugačije. GTE kombinira benzinski i elektromotor. U slučaju zamjene motora, trošak će iznositi 14.000,00 €, za elektromotor bit će potrebno izdvojiti dodatnih 18.000,00 €, dok će za zamjenu baterija biti potrebno dodati još 20.000,00 € ili 2.500,00 € po modulu baterije. Za zamjenu elektromotora na e-Golfu potrebno je izdvojiti 12.000,00 €, za zamjenu baterije 36.000,00 € ili 2.500,00 € po modulu baterije. E-Golf ima ukupno 27 modula baterije, a u slučaju pojedinačnog mijenjanja modula iznos lako može premašiti zamjenu svih baterija. Ukoliko se zanemari zamjena motora/baterija, tada je e-Golf najjeftiniji po pitanju održavanja, dok je GTD najskuplji. Međutim, nakon određenog broja kilometara, bit će potrebno izmijeniti baterije te će tada e-Golf biti najskuplji. U obzir treba uzeti i troškove registracije vozila. Vidljivo je kako najmanji trošak registracije ima e-Golf, dok je najskuplji GTI. Osim troška registracije, tu je još i trošak police osiguranja te, po želji vlasnika, kasko osiguranje, tako da troškovi mogu varirati. Prijepis vlasništva obavlja se u slučaju prodaje vozila, pri čemu je također e-Golf najjeftiniji, dok je GTI najskuplji zbog godišta i snage motora.

4.7. Usporedba na temelju ekoloških normi

Dizelski motori poznati su po višim emisijama Nox i čestica u usporedbi s benzinskim motorima. Moderni dizelski sustavi imaju napredne sustave za kontrolu emisija. Navedeni sustavi značajno smanjuju štetne emisije. CO₂ emisije su manje kod dizela nego kod benzinaca, međutim izazov predstavljaju emisije Nox i čestice. Benzinski motori imaju niže emisije Nox i čestica u usporedbi s dizelskim motorima, ali zato imaju veće emisije CO₂ zbog manje učinkovitosti. Koriste manje složene sustave za kontrolu emisija što ih čini jednostavnijima, ali i manje učinkovitim. Hibridna vozila zbog kombinacije konvencionalnog motora s elektromotorom imaju vrlo niske emisije CO₂, Nox i čestica. U urbanim uvjetima rade na električnom načinu te tada uopće nemaju emisije. Električna vozila ne emitiraju štetne plinove tijekom vožnje. Međutim, emisije CO₂ i drugih zagađivača ovise o načinu proizvodnje električne energije koja se koristi za punjenje baterija. Prema Tablici 4.1., vidljivo je da najveću emisiju CO₂ ima Golf GTI (148 g/km), nakon njega Golf GTD (124 g/km), Golf GTE (40 g/km) dok e-Golf nema nikakve emisije.

4.8. Regulacije i poticaji

Zbog zakonodavnih okvira, dizeli, benzinci i hibridi podložni su strogim Euro VI normama koje reguliraju emisije Nox i čestica. Postoje gradovi u Europi koji imaju zone s niskim emisijama gdje je ulazak vozilima koja ne ispunjavaju najnovije standarde ograničen. Električni automobili zbog nulte emisije tijekom vožnje oslobođeni su emisijskih normi vezanih za ispušne plinove. Upravo zbog toga električna vozila dobivaju najznačajnije financijske poticaje, uključujući subvencije, porezne olakšice i niže troškove registracije vozila te poticaj za instalaciju kućnih punionica i razvoj javne infrastrukture za punjenje. Hibridi također imaju značajne financijske poticaje, ali naglasak je ipak na zelenoj energiji, tj. na električnim autima. Između ostalog, električna vozila imaju u ponudi doživotno besplatno punjenje, poput Tesle, besplatno ili povlašteno parkiranje te pristup posebnim trakama. Također, u planu su i izgradnja cesta koje će biti u mogućnosti puniti električna vozila tijekom vožnje. To bi uvelike pomoglo električnim vozilima jer bi na taj način imali puno veći doseg te bi se tada vjerojatno više koristili i prodavali na tržištu. Ovo je još uvijek samo koncept, nije do kraja razvijeno jer to neće biti jeftin projekt., Trebat će i sagledati puno drugih faktora, poput broja električnih vozila koja prolaze autocestom, koliko će koštati cjelokupni projekt, kolika će biti isplativost, itd.

5. ZAKLJUČAK

Konvencionalni, hibridni i električni pogonski sustavi u automobilima su tri glavna smjera u razvoju automobilske tehnologije. Svaki pojedini sustav ima svoje prednosti i nedostatke. Njihovom usporedbom omogućeno je bolje razumijevanje trenutnih trendova i budućih mogućnosti na tržištu automobila.

Konvencionalni pogonski sustavi dominiraju tržištem zbog dugogodišnje prisutnosti, vrlo razvijene infrastrukture i nižih početnih troškova, poput početne cijene vozila. Zbog sve strožih regulacija emisija i poticanja svijesti o ekološkim pitanjima, ovi sustavi postaju manje atraktivni. Zbog toga automobilska industrija ulaže napore u poboljšanje učinkovitosti i smanjenja emisija štetnih plinova konvencionalnih vozila. Koliko će to i hoće li biti održivo nije izvjesno, ali napretkom električnih vozila i mogućnostima koja nude sve više opada dominacija konvencionalnih vozila. S godinama konvencionalni pogonski sustavi gube na vrijednosti, ali ni blizu kao električni i hibridni automobili.

Hibridni pogonski sustavi su kombinacija konvencionalnih i električnih pogonskih sustava te nude prednosti oba sustava. Kombinacijom ovih sustava vozila imaju znatno manju potrošnju goriva i emisije štetnih plinova te u isto vrijeme imaju veći doseg i fleksibilnost u usporedbi s električnim vozilima. Vlasnicima pružaju dva moguća načina rada, električni i konvencionalni. Tim putem vlasnici ovih vozila imaju uvid u prednosti i nedostatke električnih vozila u slučaju da se odluče prebaciti na potpuno električno vozilo. Prema istraživanju u ovom radu, prikazano je da je hibridni Golf GTE bio najskuplji 2018. godine, dok je danas izgubio više od pola svoje vrijednosti.

Električni pogonski sustavi pokazali su se najprihvatljivijima po pitanju ekologije. Velika prednost ovih vozila je što uključuju nultu emisiju tijekom vožnje. Također, puno je jeftinije voziti na potpuno električnom načinu, nego npr. na benzin što je i prikazano rezultatima u radu. Osim navedenih prednosti, kupovina električnih vozila poticana je subvencijama. Nedostatci ovih vozila su što još uvijek imaju relativno mali doseg, dugo vrijeme punjenja, nedovoljno razvijena infrastruktura za punjenje te veliki troškovi zamjene baterija na vozilu (kod e-Golfa, prema dostupnim podacima, zamjena baterija košta više nego što sam auto vrijedi). Nedostatci ovih vozila bit će vrlo vjerojatno riješeni razvojem tehnologije u budućnosti i širenjem mreža punionica.

Uzimajući u obzir sve navedeno, postoji velika mogućnost da će u budućnosti električna vozila u potpunosti zamijeniti konvencionalna pa možda čak i hibridna vozila. Razlozi tome su sljedeći:

1. Ekološka održivost – nulta emisija štetnih plinova tijekom vožnje, tihi način vožnje i paljenja.
2. Regulacije i poticaji – širom svijeta uvode se sve strože mjere po pitanju emisija štetnih plinova te nude značajni financijski poticaji za kupovinu električnih vozila.
3. Tehnološki napredak – u budućnosti tehnologije baterija će napredovati, samim time i električnim vozilima bit će omogućen veći doseg i puno kraće vrijeme punjenja.
4. Razvoj infrastrukture – s obzirom da je ovaj korak ključan u širenju popularnosti električnih vozila, brojni gradovi odlučuju se na izgradnju punionica za električna vozila.
5. Smanjenje troškova – budući da će tehnologija napredovati, samim time će i troškovi održavanja električnih vozila postati manji te će dijelovi za njih biti puno dostupniji. Također, početna cijena tada će biti manja te će i izmjena baterija biti znatno jeftinija.

Električna vozila neće moći u potpunosti preuzeti dominaciju tržištem, već će prolaziti kroz razne procese tranzicije. Jednostavno je nemoguće u potpunosti izbaciti konvencionalne pogonske sustave koji su na tržištu više od stoljeća te su ljudi dobro upoznati s njihovim prednostima i nedostacima. Možda će kroz nekih 20–ak godina električna vozila biti značajnije zastupljena na tržištu, ali to će ovisiti o brzini razvoja njihove tehnologije i odlukama koje će biti donesene. Također, hibridna vozila igrat će značajnu ulogu u međufazi. Konvencionalna vozila koristit će se i dalje, pogotovo u područjima gdje je infrastruktura za punjenje električnih vozila slabo razvijena.

LITERATURA

- [1] D. Milić–Jakovlić, „Na današnji dan razvijen je prvi motor s unutarnjim izgaranjem“ [online], Dnevno HR, 2019., dostupno na: <https://www.dnevno.hr/magazin/zanimljivosti/na-danasnji-dan-razvijen-je-prvi-motor-s-unutarnjim-izgaranjem-1268866/> [21. svibnja 2024.]
- [2] D. Milić–Jakovlić, „Prije 127 godina Rudolf Diesel patentirao najvažniji motor s unutarnjim izgaranjem u povijesti“ [online], Glas Istre, 2020., dostupno na: <https://www.glasistre.hr/automoto/prije-127-godina-rudolf-diesel-patentirao-najvazniji-motor-s-unutarnjimizgaranjem-u-povijesti-623541> [21. svibnja 2024.]
- [3] Wikipedia, „Joseph Cugnot's 1770 Fardier à Vapeur, Musée des arts et métiers, Paris 2015.jpg“ [online], Wikipedia, 2024., dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Joseph_Cugnot%27s_1770_Fardier_%C3%A0_Vapeur,_Mus%C3%A9_des_arts_et_m%C3%A9tiers,_Paris_2015.jpg [22. svibnja 2024.]
- [4] M. Bellis, „The History of Cars“ [online], ThoughtCo., 2024., dostupno na: <https://www.thoughtco.com/who-invented-the-car-4059932> [22. svibnja 2024.]
- [5] Wikipedia, „Marcus sitzend.jpg“ [online], Wikipedia, 2024., dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Marcus_sitzend.jpg [22. svibnja 2024.]
- [6] Wikipedia, „TMW Marcuswagen links 2018-07-21.jpg“ [online], Wikipedia, 2024., dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/File:TMW_Marcuswagen_links_2018-07-21.jpg [22. svibnja 2024.]
- [7] Wikipedia, „Gottlieb Daimler 1890S2.jpg“ [online], Wikipedia, 2024., dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gottlieb_Daimler_1890s2.jpg [23. svibnja 2024.]
- [8] Wikipedia, „Carl Benz.jpg“ [online], Wikipedia, 2024., dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Carl_Benz.png [23. svibnja 2024.]
- [9] Wikipedia, „Daimler Reitwagen.JPG“ [online], Wikipedia, 2024., dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Daimler_Reitwagen.JPG [23. svibnja 2024.]
- [10] Wikipedia, „1885Benz.jpg“ [online], Wikipedia, 2024., dostupno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:1885Benz.jpg> [23. svibnja 2024.]
- [11] The Editors of Encyclopaedia Britannica, „Rudolf Diesel“ [online], Britannica, 2023., dostupno na: <https://www.britannica.com/biography/Rudolf-Diesel> [23. svibnja 2024.]

- [12] H. Jääskeläinen, „Early History of the Diesel Engine“ [online], DieselNet, 2019., dostupno na: https://dieselnet.com/tech/diesel_history.php [23. svibnja 2024.]
- [13] Wikipedia, „Ford Model T“ [online], Wikipedia, 2024., dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Ford_Model_T [23. svibnja 2024.]
- [14] Wikipedia, „Henry ford 1919.jpg“ [online], Wikipedia, 2024., dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Henry_ford_1919.jpg [23. svibnja 2024.]
- [15] History.com Editors, „Model T“ [online], History, 2024., dostupno na: <https://www.history.com/topics/inventions/model-t> [23. svibnja 2024.]
- [16] Toyota, „Toyota Launches the Revolutionary PRIUS Hybrid Passenger Vehicle“ [online], Toyota, 1997., dostupno na: <https://global.toyota/en/detail/7905316> [23. svibnja 2024.]
- [17] J. Zurschmeide, „2008 Tesla Roadster“ [online], Sports Car Market, 2018., dostupno na: <https://www.sportscarmarket.com/profile/2008-tesla-roadster> [23. svibnja 2024.]
- [18] autoklub.hr, „Vozili smo novu Toyotu Mirai: Napredak je tu, no vodik je kod nas još uvijek SF“ [online], Jutarnji list, 2022., dostupno na: <https://www.jutarnji.hr/autoklub/aktualno/vozili-smo-novu-toyotu-mirai-napredak-je-tu-no-vodik-je-kod-nas-jos-uvijek-sf-15196757> [23. svibnja 2024.]
- [19] R. Baldwin, „View Photos of the 2021 Toyota Mirai“ [online], Car and Driver, 2020., dostupno na: <https://www.caranddriver.com/photos/g34979916/2021-toyota-mirai-drive-gallery/?slide=12> [23. svibnja 2024.]
- [20] M. Ehsani, Y. Gao, S. E. Gay, A. Emadi, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, CRC Press, Florida, 2005.
- [21] The Editors of Encyclopaedia Britannica, „piston and cylinder“ [online], Britannica, 2018., dostupno na: <https://www.britannica.com/technology/piston-and-cylinder> [23. lipnja 2024.]
- [22] EATON, „Engine valves“ [online], EATON, dostupno na: <https://www.eaton.com/za/en-gb/catalog/engine-valvetrain/engine-valves.html> [23. lipnja 2024.]
- [23] amazon, „Engine Crankshaft Connecting Rod Kit w/Crankshaft Connecting Rod Tile Fits for 2-Series 3-Series 4-Series 5-Series X1 X3 X4 N20 2.0 Engine Aftermarker Parts, Replace OER 11217640165 N20B20A“ [online], amazon, dostupno na:

<https://www.amazon.com/DAYSORE-Crankshaft-Connecting-Aftermarket-11217640165/dp/B0B6VLP5FL> [23. lipnja 2024.]

[24] 2CARPROS, „How fuel injection systems work“ [online], 2CARPROS, dostupno na: <https://www.2carpros.com/articles/how-fuel-injection-systems-work> [23. lipnja 2024.]

[25] <https://www.cijenegoriva.info/> [23. lipnja 2024.]

[26] Wikipedia, „Honda Civic GX“ [online], Wikipedia, 2024., dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Honda_Civic_GX [23. lipnja 2024.]

[27] testbook, „Otto Cycle: Learn Principle, P-v & Q-t-s Diagram, Advantages, Disadvantages, Applications, & Examples here“ [online], testbook, 2023., dostupno na: <https://testbook.com/mechanical-engineering/otto-cycle-process-diagram> [23. lipnja 2024.]

[28] Wikipedia, „P-V Otto cycle.svg“ [online], Wikipedia, 2024., dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/File:P-V_Otto_cycle.svg [23. lipnja 2024.]

[29] ScienceFacts.net, „Diesel Cycle“ [online], ScienceFacts.net, 2023., dostupno na: <https://www.sciencefacts.net/diesel-cycle.html> [23. lipnja 2024.]

[30] Energy.gov, „How Do Hybrid Electric Cars Work?“ [online], Energy.gov, dostupno na: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work> [24. lipnja 2024.]

[31] B. A. Adu-Gyamfi, C. Good, „Parallel Hybrid Configuration“ [online], ScienceDirect, 2022., dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/parallel-hybrid-configuration> [24. lipnja 2024.]

[32] J. Voelcker, „What's the Difference between a Parallel and a Series Hybrid, and Does It Matter to Buyers“ [online], Car and Driver, 2024., dostupno na: <https://www.caranddriver.com/features/a46275944/series-hybrid-vs-parallel-hybrid-explained/> [24. lipnja 2024.]

[33] G. Canbolar, „Series hybrid configuration“ [online], ResearchGate, 2019., dostupno na: https://www.researchgate.net/figure/Series-hybrid-configuration_fig1_330799747 [24. lipnja 2024.]

[34] S. Jain, L. Kumar, „Plug-in Hybrid Electric Vehicle“ [online], ScienceDirect, 2018., dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/plug-in-hybrid-electric-vehicle> [24. lipnja 2024.] tekst i slika

- [35] A. Valler, „Hybrid Car Batteries: The Ultimate Guide for 2024“ [online], Exclusively Hybrid, 2023., dostupno na: <https://exclusivelyhybrid.com/hybrid-battery-guide/> [24. lipnja 2024.]
- [36] S. Minos, „How Lithium-ion Batteries Work“ [online], Energy.gov, 2023., dostupno na: <https://www.energy.gov/energysaver/articles/how-lithium-ion-batteries-work> [25. lipnja 2024.]
- [37] GGSONG, „The Basics Of NiMH Batteries“ [online], EPR, 2022., dostupno na: <https://ept-battery.com/blog/the-basics-of-nimh-batteries> [25. lipnja 2024.]
- [38] TYCORUN, „Comparing Li-ion vs Ni-MH battery which is better choice“ [online], TYCORUN, 2022., dostupno na: <https://www.tycorun.com/blogs/news/comparing-li-ion-vs-ni-mh-battery-which-is-better-choice> [25. lipnja 2024.]
- [39] TIRES PLUS, „What is regenerative braking?“ [online], TIRES PLUS, 2022., dostupno na: <https://www.tiresplus.com/blog/brakes/what-is-regenerative-braking-in-electric-vehicles/#> [25. lipnja 2024.]
- [40] Energy.gov, „How Do All-Electric Cars Work?“ [online], Energy.gov, dostupno na: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work> [25. lipnja 2024.]
- [41] Energy.gov, „Batteries for Electric Vehicles?“ [online], Energy.gov, dostupno na: <https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-batteries> [25. lipnja 2024.]
- [42] F. M. Nizam Uddin Khan, M.G. Rasul, A. S. M. Sayem, N. Mandal, „Maximizing energy density of lithium-ion batteries for electric vehicles: A critical review“ [online], ScienceDirect, 2023., dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723012118> [25. lipnja 2024.]
- [43] <https://thundersaidenergy.com/downloads/lithium-ion-batteries-energy-density/> [25. lipnja 2024.]
- [44] J. Bogna, E. Dreibelbis, „EV 101: How Do Electric Cars Work“ [online], PC MAG, 2024., dostupno na: <https://www.pcmag.com/how-to/ev-101-how-do-electric-cars-work> [25. lipnja 2024.], ovo je korišteno za sve 3 razine/vrste punionica
- [45] ultimateSPECS, „Volkswagen Golf 7 GTD 2.0 TDI 184 HP DSG 6 Speeds Specs“ [online], ultimateSPECS, dostupno na: <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Volkswagen/67900/Volkswagen-Golf-7-GTD-20-TDI-184HP-DSG-6-Speeds.html> [26. lipnja 2024.]

- [46] ultimateSPECS, „Volkswagen Golf 7 GTI 2.0 TSI 220 HP DSG 6 Speeds Specs“ [online], ultimateSPECS, dostupno na: <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Volkswagen/74248/Volkswagen-Golf-7-GTI-20-TSI-220HP-DSG-6-Speeds.html> [26. lipnja 2024.]
- [47] ultimateSPECS, „Volkswagen Golf 7 e-Golf Specs“ [online], ultimateSPECS, dostupno na: <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Volkswagen/126116/Volkswagen-Golf-7-e-Golf.html> [26. lipnja 2024.]
- [48] <https://www.volkswagen-newsroom.com/en> [26. lipnja 2024.] PDF DOKUMENT
- [49] P.K., „Cijene punjenja električnih vozila (ažurirano za 2024.)“ [online], Postani vozač, 2024., dostupno na: <https://postanivozac.com/blog/cijene-punjenja-elektricnih-vozila> [26. lipnja 2024.]
- [50] ELEN HEP, [online], ELEN, dostupno na: <https://elen.hep.hr/> [27. lipnja 2024.]
- [51] Republika Hrvatska, Ministarstvo financija Carinska uprava, „Cjenik – 01.05.2018.“ [online], Republika Hrvatska, Ministarstvo financija Carinska uprava, 2018., dostupno na: <https://carina.gov.hr/posebni-porez-na-motorna-vozila-3650/informativni-kalkulator-zaizracunppmv-a/prodajne-cijene-od-01-07-2013/audi-porsche-seat-skoda-volkswagencupra/2018-6845/6845> [27. lipnja 2024.]
- [52] HAK, „Informativni kalkulator za izračun naknada“ [online], HAK, dostupno na: <https://www.hak.hr/vozila/tehnicki-pregledi/kalkulator/> [29. lipnja 2024.]
- [53] Greenc, „Serija M Type 2 EV stanica za punjenje“ [online], Greenc, dostupno na: <https://greenc-ev.com/hr/proizvoda/serija-m-tip-2-ev-stanica-za-punjenje/> [7. kolovoza 2024.]

POPIS KRATICA

CO ₂	Ugljikov (IV) oksid, ugljikov dioksid
km/h	Kilometara na sat
cm ³	Kubičnih centimetara (cubic centimetres)
HP	Konjskih snaga (horsepower)
ICE	Motori s unutarnjim izgaranjem (Internal Combustion Engine)
LPG	Ukapljeni naftni plin (Liquefied petroleum gas)
CNG	Stlačeni prirodni plin (Compressed natural gas)
NO _x	Dušikov oksid (Nitrogen oxides)
BDC	Donja mrtva točka (Bottom dead center)
TDC	Gornja mrtva točka (Top dead centre)
HEV	Hibridno električno vozilo (Hybrid electric vehicle)
PHEV	Plug-in hibridna električna vozila (Plug-in hybrid electric vehicle)
Li-ion	Litij-ionska baterija (Lithium-ion battery)
NiMH	Nikl-metal hidridna baterija (Nickel-metal hydride battery)
mAh	Miliamper sat (Miliamp hour)
V	Volt
EV	Električna vozila (Electric vehicle)
Ah	Ampersati (Ampere-hour)
kWh	Kilovatsat (Kilowatt hour)
Wh/kg	Watt –sat po kilogramu (Watt –hour per kilogram)
kW	Kilovat (Kilowatt)
Nm	Njutn–metar (Newton–meter)
DSG	Izravni mjenjač (Direct Shift Gearbox)
g/km	Grams po kilometru (Grams per kilometre)

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Replika Cugnotovog prvog samohodnog parnog vozila izložena u Musée des Arts et Métiers, Paris [3].	3
Slika 2.2. Siegfried Marcus (lijevo) [5] i Marcuswagen u Tehničkom muzeju u Beču (desno) [6].	4
Slika 2.3. Gottlieb Daimler (lijevo) [7] i Carl Benz (desno) [8].	5
Slika 2.4. Replika Reitwagena u muzeju Mercedes–Benz [9].	5
Slika 2.5. Benz Patent–Motorwagen Nr. 1. [10].	6
Slika 2.6. Rudolf Diesel (lijevo) i njegov testni motor 1897. (desno) [12].	6
Slika 2.7. Henry Ford (lijevo) [14] i Ford Model T (desno) [15].	7
Slika 2.8. Toyota Prius [16].	8
Slika 2.9. Tesla Roadster 2008. [17].	8
Slika 2.10. Toyota Mirai [19].	9
Slika 3.1. Prikaz klipa unutar cilindra [21].	11
Slika 3.2. Prikaz ventila [22].	11
Slika 3.3. Prikaz radilice i klipnjače [23].	12
Slika 3.4. Prikaz sustava za ubrizgavanje goriva [24].	12
Slika 3.5. Usporedba cijene benzina (gore) i ukapljenog naftnog plina (dolje) dana 23.6.2024. .	14
Slika 3.6. Otto ciklus opisan gornjim tekstom [28].	15
Slika 3.7. Diesellov proces opisan gornjim tekstom [29].	17
Slika 3.8. Paralelna arhitektura hibridnog vozila [31].	19
Slika 3.9. Serijska arhitektura hibridnog vozila [33].	20
Slika 3.10. Arhitektura plug–in hibridnog vozila [34].	21
Slika 4.1. Prikaz cijena benzina (gore) i dizela (dolje) dana 26. lipnja 2024. .	31
Slika 4.2. Infrastruktura električnih punionica u Hrvatskoj [50].	35

POPIS TABLICA

Tablica 3.1. Usporedba Li-ion i NiMH baterija [38].	22
Tablica 4.1. Osnovi podaci o Golfu 7 GTD, GTI, GTE i e-Golfu.....	30
Tablica 4.2. Usporedba potrošnje novca nakon pređenih 100 kilometara.	32
Tablica 4.3. Usporedba potrošnje novca nakon 50.000 pređenih kilometara.	32
Tablica 4.4. Usporedba potrošnje goriva u različitim uvjetima vožnje.....	34
Tablica 4.5. Doseg pojedinog Golfa na temelju različite potrošnje goriva.	34
Tablica 4.6. Usporedba cijena novog i rabljenog Golfa 2018. godište.	37
Tablica 4.7. Potrošnja izražena u € nakon 15.000 kilometara.....	37
Tablica 4.8. Dinamičke karakteristike Golfa GTD, GTI, GTE i e-Golfa.....	39
Tablica 4.9. Usporedba troškova održavanja pojedinog Golfa.	40

ZAHVALE

Ovim putem želim izraziti iskrenu zahvalnost svima koji su mi pružili podršku i pomoć tijekom izrade ovog završnog rada.

Prije svega, želim zahvaliti svom mentoru, izv. prof. dr. sc. Danijelu Topiću, i sumentoru, dr. sc. Draganu Vulinu, na stručnom vodstvu i vrijednim savjetima. Vaša podrška i motivacija bili su ključni u svakom koraku ovog procesa. Hvala vam što ste uvijek bili dostupni za sva moja pitanja i što ste mi pomogli da razvijem svoje ideje na najbolji mogući način.

Posebnu zahvalu upućujem tvrtki Remix d.o.o., direktoru Tvrtku Sebenjiju i voditelju postprodaje Denisu Čosiću, na pruženim detaljnim i potrebnim informacijama o troškovima održavanja pojedinog Golfa. Hvala vam što ste mi omogućili pristup potrebnim podacima u svrhu izrade završnog rada.

Zahvaljujem i svom prijatelju Mislavu Čačiću iz tvrtke RT Detailing na njegovoj dragocjenoj pomoći oko procjene potrošnje goriva i energije Golfa GTE. Vaša podrška i stručnost su mi mnogo značili i neizmjereno sam zahvalan na tome.

Na kraju, želim zahvaliti svojoj obitelji i prijateljima na bezuvjetnoj podršci i razumijevanju tijekom cijelog mog obrazovanja.

Hvala svima od srca.

SAŽETAK

Svrha završnog rada bila je usporediti i analizirati tri vrste pogonskih sustava koji su danas prisutni u automobilima, konvencionalni, hibridni i električni. Kroz rad detaljno je istražena povijest razvoja, počevši od prvih parnih vozila do današnjih naprednih električnih vozila, teorijske osnove svakog pojedinog pogonskog sustava sa sažetim opisom rada, prednostima i nedostacima sustava. Poseban naglasak bio je na ekološkim, ekonomskim elementima i performansama navedenih pogonskih sustava.

Kroz istraživanje pokazano je da električni automobili nude prednosti po pitanju nulte emisije štetnih plinova, ali suočavaju se s izazovima poput doseg i infrastrukture za punjenje. Hibridna vozila su blagi prijelaz na električna vozila jer kombiniraju konvencionalne i električne pogonske sustave. Tim načinom smanjuju potrošnju goriva i emisije štetnih plinova, ali su skuplji i složeniji za održavanje. Konvencionalni automobili još uvijek su dominantni na tržištu zbog dobro razvijene infrastrukture i nižih početnih cijena, ali suočavaju se s problemima po pitanju emisija plinova i negativnog utjecaja na okoliš.

Usporedba je obuhvatila brojne elemente, poput potrošnje energije/goriva, doseg, načina punjenja, ekonomske isplativosti, itd. Nakon svih provedenih usporedbi, dolazi se do zaključka da hibridni i električni sustavi predstavljaju budućnost, dok će konvencionalni pogonski sustavi i dalje biti prisutni, posebice u područjima sa slabo razvijenom infrastrukturom za električna vozila. Važno je istaknuti da će hibridi igrati ključnu ulogu u prijelaznom razdoblju s konvencionalnih na električna vozila.

Ključne riječi: automobili, električni, hibridni, pogonski sustavi, usporedba

ABSTRACT

Comparison of Electric, Hybrid and Conventional Drives in Automobiles

The purpose of the final work was to compare and analyze 3 types of drive systems that are present in cars today, conventional, hybrid and electric drive systems. Throughout the work, the history is researched in detail, starting from the first steam vehicles to today's advanced electric vehicles, the theoretical basis of each individual drive system is developed with a concise description of the operation, advantages and disadvantages of the system. Special emphasis was placed on the ecological, economic elements and performance of the aforementioned drive systems.

Research has shown that electric cars offer advantages in terms of zero emissions, but face challenges such as range and charging infrastructure. Hybrid vehicles are a gentle transition to electric vehicles as they combine conventional and electric drive systems. In this way, they reduce fuel consumption and emissions of harmful gases, but they are more expensive and more complex to maintain. Conventional cars are still dominant in the market due to well-developed infrastructure and lower entry-level prices, but they face problems in terms of gas emissions and negative impact on the environment.

The comparison included numerous elements, such as energy/fuel consumption, range, charging method, economic profitability, etc. After all the comparisons, the conclusion is reached that hybrid and electric systems represent the future, while conventional drive systems will continue to be present, especially in areas with poorly developed infrastructure for electric vehicles. It is important to point out that hybrids will play a key role in the transition period from conventional to electric vehicles.

Keywords: cars, comparison, drive systems, electric, hybrid

ŽIVOTOPIS

Antun Radman rođen je 1. kolovoza 2002. u Osijeku. Pohađao je Osnovnu školu Svete Ane u Osijeku. Nakon završetka osnovne škole, 2017. godine, upisuje III. gimnaziju Osijek. Svoje obrazovanje nastavlja na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek gdje 2021. godine upisuje sveučilišni preddiplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija. Na drugoj godini opredjeljuje se za izborni blok Komunikacije i informatika.

Antun Radman