

# Usporedba tehničko eksploatacijskih značajki automobila s obzirom na vrstu pogona i njihov utjecaj na okoliš

---

Deželjin, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:866314>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#) / [Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**USPOREDBA TEHNIČKO EKSPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI  
AUTOMOBILA S OBZIROM NA VRSTU POGONA I NJIHOV  
UTJECAJ NA OKOLIŠ**

Rijeka, srpanj 2023.

Marko Deželjin

0069084252

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**USPOREDBA TEHNIČKO EKSPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI  
AUTOMOBILA S OBZIROM NA VRSTU POGONA I NJIHOV  
UTJECAJ NA OKOLIŠ**

Mentor: doc. dr. sc. Dunja Legović

Rijeka, srpanj 2023.

Marko Deželjin

0069084252

Rijeka, 13. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za brodogradnju i inženjerstvo morske tehnologije**  
Predmet: **Zaštita okoliša**  
Grana: **2.16.01 inženjerstvo okoliša**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Marko Deželjin (0069084252)**  
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Zadatak: **USPOREDBA TEHNIČKO-EKSPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI AUTOMOBILA S  
OBZIROM NA VRSTU POGONA I NJIHOV UTJECAJ NA OKOLIŠ/  
COMPARISON OF THE TECHNICAL AND OPERATIONAL  
CHARACTERISTICS OF VEHICLES CONSIDERING THE TYPE OF DRIVE  
AND THEIR IMPACT ON THE ENVIRONMENT**

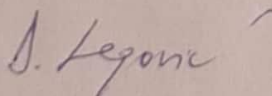
### Opis zadatka:

U radu je potrebno razlikovati različite vrste pogona koja se koriste za osobna vozila, te objasniti i analizirati njihove značajke. Odabrati vozilo koje se može proizvoditi u svim izvedbama, te na odabranom vozilu provesti usporedbu tehničko eksploatacijskih značajki. Uzeti u obzir proces proizvodnje, eksploatacije i održavanja, te pripadajuće troškove i utjecaj na okoliš. Osvrnuti se na prednosti i nedostatke svake izvedbe, te podatke prikazati na odgovarajući način. Pretpostaviti desetogodišnje razdoblje eksploatacije. Na temelju provedene analize odabrati najpovoljniju vrstu pogona s obzirom na odabrane uvjete i obrazložiti zaključak.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

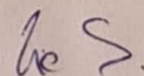
Mentor:



---

Doc. dr. sc. Dunja Legović

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:



---

Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad „Usporedba tehničko eksploatacijskih značajki automobila s obzirom na vrstu pogona i njihov utjecaj na okoliš“ prema dodijeljenom zadatku. Rad sam izradio implementacijom znanja stečenog na preddiplomskom studiju strojarstva, u sklopu kolegija „Zaštita okoliša“ pod mentorstvom doc. dr. sc. Dunje Legović. Osim stečenog znanja, koristio sam i literaturu čiji su izvori navedeni u radu.

Marko Deželjin

---

## *Zahvala*

*Zahvaljujem mentorici doc. dr. sc. Dunji Legović na pruženoj pomoći, prenesenom znanju i ukazanom povjerenju pri izradi završnog rada.*

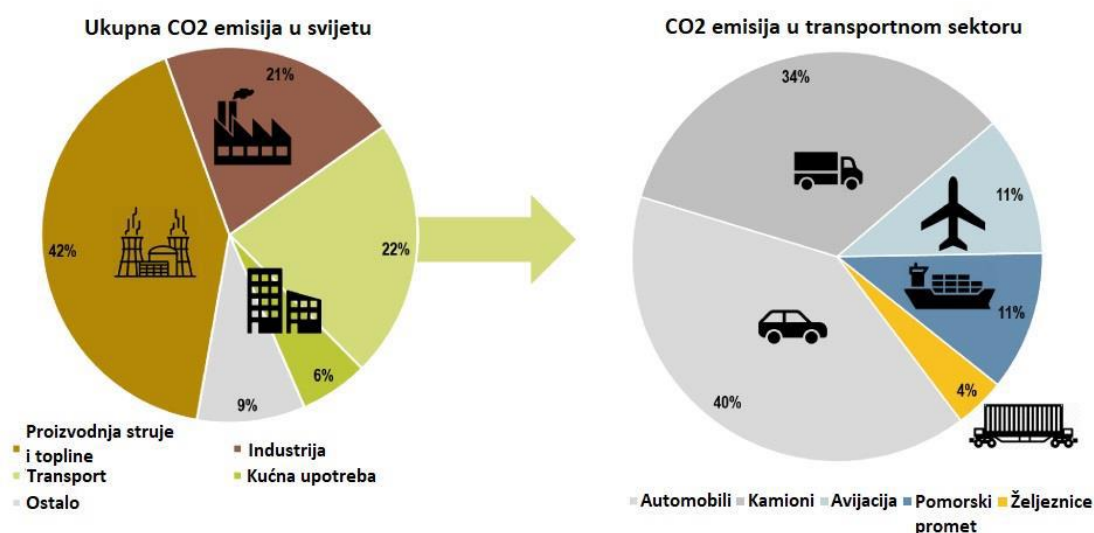
*Posebno zahvaljujem svojim roditeljima i prijateljima na pruženoj podršci i pomoći tijekom studiranja.*

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. AUTOMOBILI</b> .....	3
<b>2.1. Povijest automobila</b> .....	3
<b>2.1.1. Motor prvog automobila</b> .....	5
<b>2.1.2. Prvo putovanje automobilom</b> .....	6
<b>2.1.3. Daljnji razvoj automobilske industrije</b> .....	7
<b>2.2. Prvi automobil s električnim motorom</b> .....	8
<b>2.3. Prvi automobil s hibridnim motorom</b> .....	10
<b>2.4. Prvi automobil s dizelskim motorom</b> .....	13
<b>3. TEHNIČKO EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE AUTOMOBILA DANAŠNJICE</b> ..	15
<b>3.1. Utjecaj automobila na okoliš</b> .....	15
<b>3.1.1. Efekt staklenika</b> .....	17
<b>3.1.1.1. Problemi koji nastaju zbog efekta staklenika i stakleničkih plinova</b> .....	18
<b>3.1.2. Mali servisi</b> .....	19
<b>3.1.3. Veliki servisi</b> .....	20
<b>3.1.4. Neočekivani kvarovi</b> .....	21
<b>4. VRSTE MOTORA U AUTOMOBILIMA</b> .....	22
<b>4.1. Općenito o motorima s unutarnjim izgaranjem</b> .....	22
<b>5. USPOREDBA AUTOMOBILA RAZNIH POGONA</b> .....	30
<b>5.1.1. Golf VII 2.0 TDI</b> .....	32
<b>5.1.2. Golf VII 1.5 TSI</b> .....	34
<b>5.1.3. Golf VII GTE</b> .....	36
<b>5.1.3.1 Subvencioniranje hibridnih vozila</b> .....	38
<b>5.1.4. E-Golf VII</b> .....	39
<b>5.1.4.1. Subvencioniranje potpuno električnih vozila</b> .....	41
<b>5.2. ANALIZA REZULTATA</b> .....	42
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	46
<b>7. POPIS LITERATURE</b> .....	48
<b>8. POPIS SLIKA</b> .....	52
<b>9. POPIS TABLICA</b> .....	53
<b>10. POPIS KRATICA</b> .....	56

# 1. UVOD

Promet je gospodarska djelatnost koja se bavi prijevozom putnika te transportom raznih dobara uz pomoć prijevoznih sredstava. Ljudi su od pamtivijeka koristili razne oblike prijevoza poput kolica i kočija za prijevoz kopnenim putem te jedrenjaka za prijevoz morskim putevima u cilju širenja i poboljšanja povezanosti i trgovine. Promet možemo podijeliti u tri glavne kategorije: kopneni, vodni i zračni promet. U današnje vrijeme najrazvijeniji i najzastupljeniji je kopneni promet kojeg čine povezane ceste i željezničke pruge. Tehnološkim napretkom sve više se razvio i proširio sveukupni promet u svijetu. Automobili su postajali sve pristupačniji širom spektru ljudi čime je rasla i njihova zastupljenost. Vremenom je počela rasti svijest o prijetnjama koje predstavlja promet i njegovi sudionici. Promet čini oko 20% ukupnih emisija stakleničkih plinova što je vidljivo na slici 1.1., dok cestovni promet čini tri četvrtine tog udjela. [1]



Slika 1.1. Ukupna CO<sub>2</sub> emisija u svijetu [1]

Kako bi se smanjio utjecaj prometa na okoliš primjenjuju se razna rješenja poput ugradnje katalizatora i filtera krutih čestica, smanjenja mase vozila, smanjena radnog obujma motora, korištenja alternativnih goriva poput struje, bio goriva, vodika te reciklaža dijelova.

Uz enormno široku ponudu modela automobila i njihovih pogona, ljudi često postavljaju pitanje koji je automobil pogodan za njih te koji je najviše ekološki prihvatljiv izbor.



U ovom radu obraditi ćemo i usporediti različite vrste pogona u automobilu. Prema postavljenim kriterijima (cijena, održavanje, zagađenje, potrošnja) iskazati ćemo prednosti i nedostatke pojedinih varijanti kako bi ljudima olakšali izbor ekološki najprihvatljivijeg pogona u vozilu.

## 2. AUTOMOBILI

### 2.1. Povijest automobila

Za prijevoz ljudi i dobara kopnenim putem do pojave automobila i lokomotiva koristile su se kočije i zaprežna kola koja su vukle domaće životinje kao što su konji, mule ili volovi. Na slici 2.1. prikazana su zaprežna kola koja su vučena s dva konja. Kočije i kola su uglavnom služile za rute između nekoliko obližnjih sela i gradova jer je povlačenje kola predstavljalo veliki napor za životinje pa se rijetko njima odlazilo na dalja putovanja.



*Slika 2.1. Zaprežna kola [2]*

Upravo iz tih razloga postojala je potreba za razvojem novog vozila koje ne bi bilo pokretano pomoću životinja kako bi se olakšala putovanja i poboljšala povezanost. Automobili su cestovna vozila pogonjena motorom i namijenjena za prijevoz manjeg broja ljudi. Prvi automobil datira s kraja 19. stoljeća, točnije 1885. godine kada je njemački izumitelj Karl Benz proizveo prvi automobil koji za svoj pogon koristi motor s unutarnjim izgaranjem (dalje u tekstu: MSUI). [3]

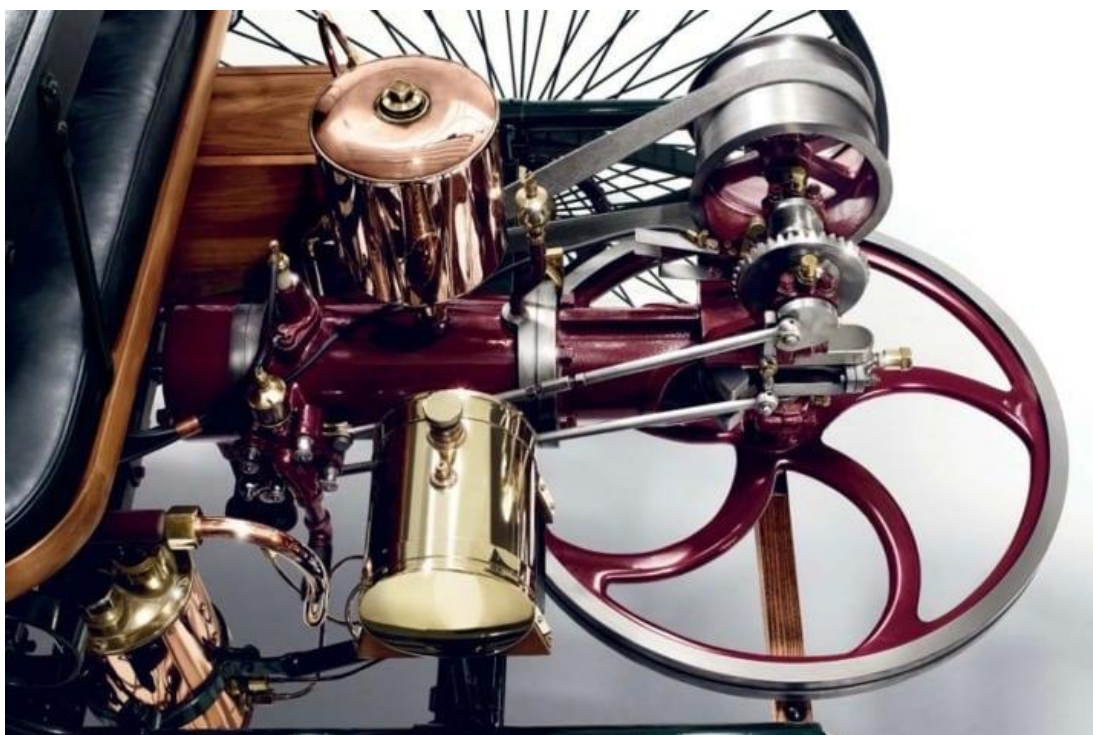
Karl Benz je svoj automobil nazvao "Benz Patent-Motorwagen" što u doslovnom prijevodu znači Benzov patentirani motorni automobil. Prvi automobil, vidljiv na slici 2.2, izgledao je kao pojednostavljena kočija s tri kotača na čijem je stražnjem dijelu bio ugrađen motor. [3]



*Slika 2.2. Benz Patent-Motorwagen – prvi automobil [3]*

## 2.1.1. Motor prvog automobila

Motor koji je ugrađen u prvom automobilu prikazan na slici 2.3. bio je jednocilindrični četverotaktni motor zapremine  $954\text{cm}^3$  koji je razvijao 0.55 kW odnosno 0.75 konjskih snaga pri 250 okretaja u minuti i mogao je postići brzinu od 16km/h. Bio je ugrađen vertikalno na stražnjem dijelu vozila na cjevastoj šasiji. Motor se palio ručnim zakretanjem zamašnjaka motora koji bi svojim okretanjem aktivirao visokonaponsko električno vibratorsko paljenje te tako proizveo iskrinu u svjećici i upalio motor. Motor je svojim radom okretao remenicu koja je remenom bila povezana s diferencijalom koji se nalazio ispod sjedišta automobila. Pomoću diferencijala se pokretala osovina na kojoj su se nalazila dva malena zupčanika lancem povezana s pogonskom osovinom. Motor je imao vodeno odnosno termo sifonsko hlađenje isparavanjem – cilindar motora bio je okružen vodom kojoj bi se zagrijavanjem smanjivala gustoća, zagrijana voda bi se potom počela dizati prema vrhu vodenog bloka stvarajući prirodan protok vode kroz rashladni sustav. Vruća voda bi potom prolazila kroz radijator gdje je ohlađena protokom zraka te bi povratnim vodom vraćala nazad u rashladni sustav kako bi se ponovio ciklus. Zanimljivo je da mnogi kasniji automobili, čak i luksuzni modeli poput Porschea 911, nisu imali vodeno već zračno hlađenje motora. [3]

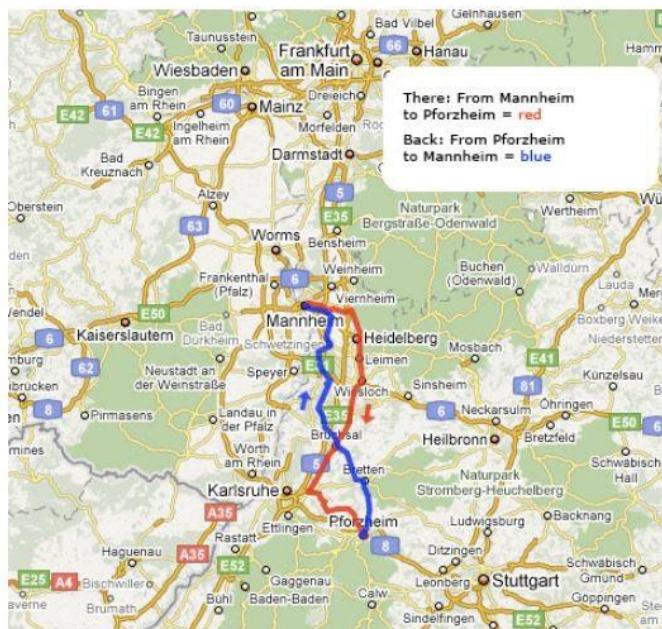


*Slika 2.3. Motor prvog automobila [4]*

## 2.1.2. Prvo putovanje automobilom

Bertha Benz, žena Karla Benza, odlučila je 12. kolovoza 1888. godine zajedno sa svoja dva sina Eugenom i Richardom bez znanja svoga muža otići na putovanje te tako isprobati prvi automobil. Bertha je tom prilikom željela posjetiti svoju majku u rodnom gradu Pforzheimu koji je bio udaljen devedesetak kilometara od Mannheima u kojem su tada živjeli. Prateći željezničku prugu, uz povremene stanke i obilaske okolnih mjesta Bertha i njezina dva sina nakon 15 sati vožnje stigli su u Pforzheim. Putovanje je prošlo bez poteškoća uz redovito održavanje vozila pomoću naftnog otapala kojeg su nabavljali u ljekarnama. Vrlo je brzo šira javnost saznala o Berthinom pothvatu što je uvelike utjecalo na sam razvoj tvrtke koja je, kasnije poznata kao Mercedes-Benz, bila najveća automobilska kompanija tog stoljeća. Ljudi su se sve više počinjali interesirati za automobile shvativši njihove velike prednosti i mogućnosti samim time poticali proizvođače na njihov razvoj i unaprjeđivanje. Danas se u čast putovanja Berthe Benz svako dvije godine održava parada starih automobila prateći originalnu putanju koja je postala memorijalna ruta od Mannheima preko Heidelberga do Pforzheima i natrag te je odobrena od njemačkih vlasti. Ruta Berthe Benz prikazana je na slici 2.4.. [3]

The route driven in 1888 as a new scenic route



Slika 2.4. Memorijalna ruta Berthe Benz [5]

### 2.1.3. Daljnji razvoj automobilske industrije

Nedugo nakon proizvodnje prvog automobila mnogi svjetski izumitelji poput Henryja Forda, Gottlieba Daimlera i Ransoma Oldsa počeli su sve više istraživati tu granu industrije kako bi unaprijedili i olakšali proizvodne tehnike te svojim inovacijama povećali proizvodnju i osmislili nove modele. Henry Ford u prosincu 1913. godine predstavlja revolucionarno otkriće: pokretnu traku za sastavljanje automobila koja je uvelike ubrzala proizvodnju automobila i povećala prodaju čineći automobile sve pristupačnijima prosječnoj osobi [6]. Tijekom Prvog svjetskog rata sve više je rasla potražnja za automobilima jer su se masovno koristili u vojne svrhe međutim taj se trend nastavio i nakon samog rata kada su ljudi ponovno imali sve više raspoloživih prihoda i mogli su si priuštiti automobile. 1920-te i 1930-te godine obilježila je nekolicina novih značajki automobila kao što su na primjer automatski mjenjač i hidraulične kočnice [7], [8]. Gospodarskim procvatom nakon Drugog svjetskog rata životni standard ljudi se značajno podigao, sve više je obitelji posjedovalo automobile što je proizvelo potrebu za izgradnju sustava autocesta zbog prekomjernih gužvi koje bi se stvarale na dotadašnjim lokalnim cestama. Već 1960-ih godina ljudi počinju shvaćati kako automobili zagađuju okoliš i okolni zrak i već se tada uvode kontrole emisija automobila. U to vrijeme proizvođači automobila počinju primjenjivati niz sigurnosnih značajki poput sigurnosnih pojaseva i zračnih jastuka kako bi putovanja automobilima bila što sigurnija i bezbrižnija.

## 2.2. Prvi automobil s električnim motorom

Škotski izumitelj Robert Anderson u periodu između 1832. i 1839. predstavio je prvu električnu kočiju. Njegova je kočija bila glomazna, međutim vrlo tiha s obzirom da je pokretana elektromotorom. Kočija je razvijala maksimalnu brzinu od 12 km/h, dok je njen domet bio samo 16 kilometara. Za skladištenje energije bile su zadužene nepunjive baterije i obzirom na jako mali domet korištena je samo u privatne svrhe, te nije stekla pažnju šire javnosti [9]. Napredak električnih automobila najviše je usporavala nepunjiva baterija. Francuski fizičar Gaston Planté 1859. godine izumio je olovnu bateriju koja se mogla puniti, iako nije bila dovoljno dobrih sposobnosti za ugrađivanje u električne automobile, postavila je temelje za daljnji napredak istih [9]. Prvi električni automobil za komercijalnu upotrebu, vidljiv na slici 2.5., 1893. izradio je francuski izumitelj Paul Pouchain. Njegov je automobil koristio je punjive baterije i mogao prevesti do 6 osoba brzinom od 16 km/h. [9]



*Slika 2.5. Električni automobil Paula Pouchaina [10]*

S vremenom se sve više znanstvenika širom svijeta počelo zanimati za električne automobile, tražeći inovacije koje bi popularizirale električni pogon u automobilima. Gaston de Chasseloup-Laubat i njegova žena Camille Jenatzy u proljeće 1899. vozili su svoj električni automobil nazvan „Jamais Contente” koji je imao oblik rakete, i postavili rekord u brzini automobila i kopnenih vozila tog doba.

Svojim su automobilom, čije ime u prijevodu znači „Nikad zadovoljan“, postigli brzinu od 105,88 km/h prvi puta u povijesti prošavši granicu od 100 km/h. Slika 2.6. prikazuje Gastona de Chasseloup-Laubata i njegovu ženu na paradi pobjede nakon što su zajedno oborili rekord u brzini kopnenih vozila. [9]

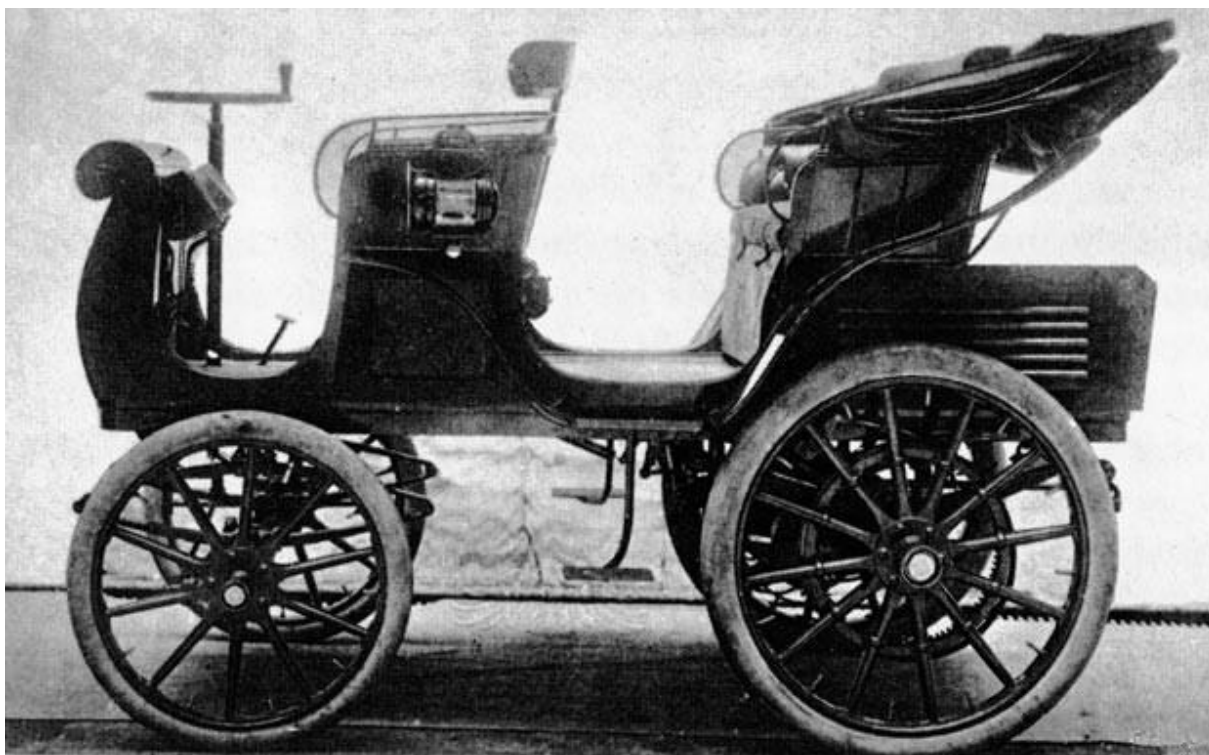


*Slika 2.6. Gaston de Chasseloup-Laubat i njegova žena Camille Jenatzy na paradi pobjede nakon postavljanja rekorda [9]*



### 2.3. Prvi automobil s hibridnim motorom

Austrijski automobilistički inženjer Ferdinand Porsche bio je uvelike zainteresiran za elektrifikaciju automobila, te je 1898. godine predstavio javnosti svoj prvi električni automobil pod nazivom Egger-Lohner C.2 Phaeton vidljiv na slici 2.7..



*Slika 2.7. Porscheov prvi automobil Egger-Lohner C.2 Phaeton bio je električan [12]*

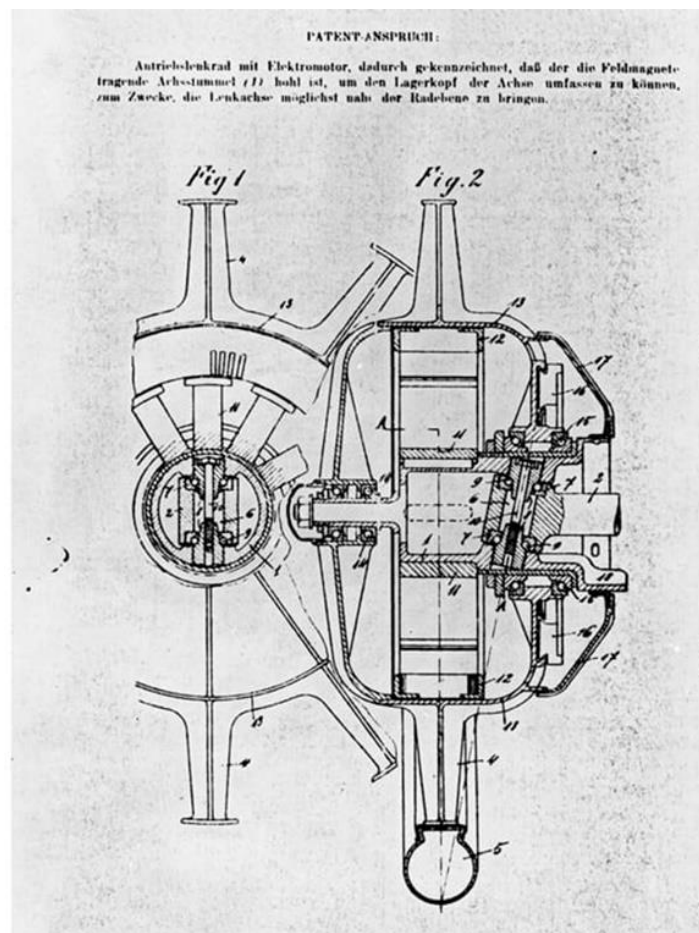
Egger-Lohner C.2 Phaeton pokretao je osmerokutni električni motor koji je sa svojih 5 konjskih snaga postizao brzinu od 35km/h uz doseg od 80km.

Osim električnog automobila, znajući da nije jedini koji ga je uspio napraviti, Ferdinand Porsche nije imao namjeru ostati ne zapamćen po nekoj inovaciji i samo dvije godine kasnije, 1901. dizajnirao je prvi hibridni automobil na svijetu nazvan „Semper Vivus" predložen na slici 2.8.. [11]

Na slici 2.9. možemo vidjeti poprečni presjek glavčina prednjih kotača koji su ujedno i elektromotori koji su pokretali vozilo.



Slika 2.8. *Semper Vivus* (hrv. zauvijek živ) – prvi hibridni automobil [13]



Slika 2.9. Elektromotori u glavčinama kotača na „*Semper Vivus*“ [11]

„Semper Vivus“, kasnije poznat pod nazivom Lohner-Porsche 'Mixte' imao je MSUI koji je putem generatora stvarao električnu energiju. Ta energija pokretala je električni motor u glavčini kotača te omogućavala kretanje vozila.

Gotovo cijelo jedno stoljeće Lohner-Porsche 'Mixte' ostao je posljednje elektrificirao vozilo kojeg je dizajnirao Porsche, te iako nije previše zainteresirao potrošače, proslavio se kao 25 godišnji inovator u automobilističkoj industriji.

Ferdinand Porsche 1931. godine osniva vlastitu tvrtku za proizvodnju automobila koja i dan danas slovi kao jedan od najboljih premium brendova.

Idući elektrificirani odnosno hibridni automobil iz Porschea predstavljen je 110 godina nakon „Semper Vivusa“, bio je to Porsche Cayenne S Hybrid iz 2010. godine vidljiv na slici 2.10.. Kao duhovni nasljednik svog pretka koristio je isti princip rada kao njegov prethodnik samo sa suvremenom tehnologijom, uz razliku da MSUI proizvodi električni naboj koji se u novom automobilu koristi za punjenje baterija umjesto za pogon kotača. [11]



*Slika 2.10. Porsche Cayenne S Hybrid iz 2010. godine [11]*

## 2.4. Prvi automobil s dizelskim motorom

Mercedes-Benz, tvrtka koja je nastala spajanjem tvrtke Karla Benza s kompanijom Gottlieba Daimlera, 1936. godine u Berlinu na međunarodnoj izložbi motocikala i automobila predstavila je automobil kojeg je pokretao dizelski motor – Mercedes Benz 260 D koji je prikazan na slici 2.7..



*Slika 2.11. Mercedes Benz 260 D [14]*

Kao osnova automobila koristila se šasija benzinskog automobila Mercedes Benza 200 kojoj je produžen međuosovinski razmak te je ugrađen dizelski motor OM 138. Osim same šasije, sam motor OM 138 bio je modificirani redni šestocilindrični motor koji se do tada koristio u gospodarskim vozilima. Novonastali četverocilindrični, 2,6 litreni motor razvijao je 33 kW odnosno 45 konjskih snaga pri 3200 o/min pritom koristeći Mercedes-Benzov predkomorni sustav i Bosch pumpu za ubrizgavanje koja je osiguravala brzu isporuku goriva. Model 260 D vrlo je brzo popularizirao tadašnje tržište zbog svoje odlične ekonomičnosti goriva – trošio je nešto iznad 9 litara dizela za razliku od svog suparnika Modela 200 s benzinskim motorom čija je potrošnja bila oko 13 litara. [14]

Ovaj automobil proizvodio se i u prostranoj Pullman izvedbi koja je imala šest sjedala, te s obzirom na nisku potrošnju dizela koji je tada koštao samo 17 Feninga (manje od polovice cijene benzina) bio je osobito popularan među taksistima. Od premijere modela 260 D, uz neprestani razvoj, Mercedes-Benz osobna vozila s dizelskim motorima postavljala su nove tehničke standarde na tržištu automobila. [14]

### **3. TEHNIČKO EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE AUTOMOBILA DANAŠNJICE**

#### **3.1. Utjecaj automobila na okoliš**

U samim počecima razvoja automobila ljudi se nisu mnogo obazirali na moguće posljedice koje automobilistička industrija uzrokuje okolišu. Nisu postojali nikakvi zakoni niti naputci koji bi ograničavali proizvođače te ih natjerali na preinake trenutnih i budućih vozila u svrhu smanjenja onečišćenja. Porastom broja automobila, najizraženije u velikim gradovima, zrak je postajao sve više zagađen zbog ispušnih plinova iz automobila uzrokujući bolesti dišnog sustava.

Kalifornijski istraživač Arie Jan Haagen-Smit ranih 1950-ih godina u Los Angelesu povezo je zagađenje zraka s automobilima nakon što je utvrdio da su onečišćenja iz prometa kriva za stvaranje smoga. Smog osim na ljudsko zdravlje, negativno utječe i na pojedine materijale kao što je na primjer guma koja se uz prisustvo smoga oštećuje. Tadašnji automobili su u prosjeku ispuštali nešto više od 8 grama ugljikovodika (HC) po kilometru, 2 i pol grama dušikovih oksida (NO<sub>x</sub>) po kilometru i 54 grama ugljikovog monoksida (CO) po kilometru, te s obzirom na enormne brojke bilo je potrebno što prije naći rješenje za njihovo smanjenje. [15]

Prvi zakon po pitanju emisija iz automobila donio je Američki kongres 1970. godine pod nazivom „Zakon o čistom zraku“ (eng. Clean Air Act) koji je zahtijevao 90-postotno smanjenje emisija novih automobila do 1975. godine. Osim samog zakona, tadašnji američki predsjednik Richard Nixon osniva Agenciju za zaštitu okoliša SAD-a „EPA“ (eng. Environmental Protection Agency) čija je odgovornost bila reguliranje onečišćenja prouzrokovanog motornim vozilima. Već u prvoj godini svog djelovanja EPA je započela testirati potrošnju goriva automobila, kamiona i ostalih prijevoznih sredstava što je bio prvi korak u informiranju potrošača o potrošnji njihovih vozila. Osim toga razvijeni su i ventili za recirkulaciju ispušnih plinova poznatiji kao EGR ventili koji su služili za povrat dijela ispušnih plinova motora natrag u komoru izgaranja kako bi se snizile vršne temperature izgaranja sa ciljem smanjenja dušikovih oksida NO<sub>x</sub>. Uz ugljikovodik, dušikove okside i ugljikov monoksid, EPA shvaća kakve opasnosti za ljudsko zdravlje i okoliš predstavlja olovo u ispušnim plinovima te po hitnom postupku izdaje propise koji nalažu postupno smanjivanje olova u benzinu [16]. Prvi katalizator predstavljen je 1975. godine čime se dramatično smanjila razina olova u okolišu smanjujući ugroženost ljudi i okoliša zbog utjecaja olova. [16]

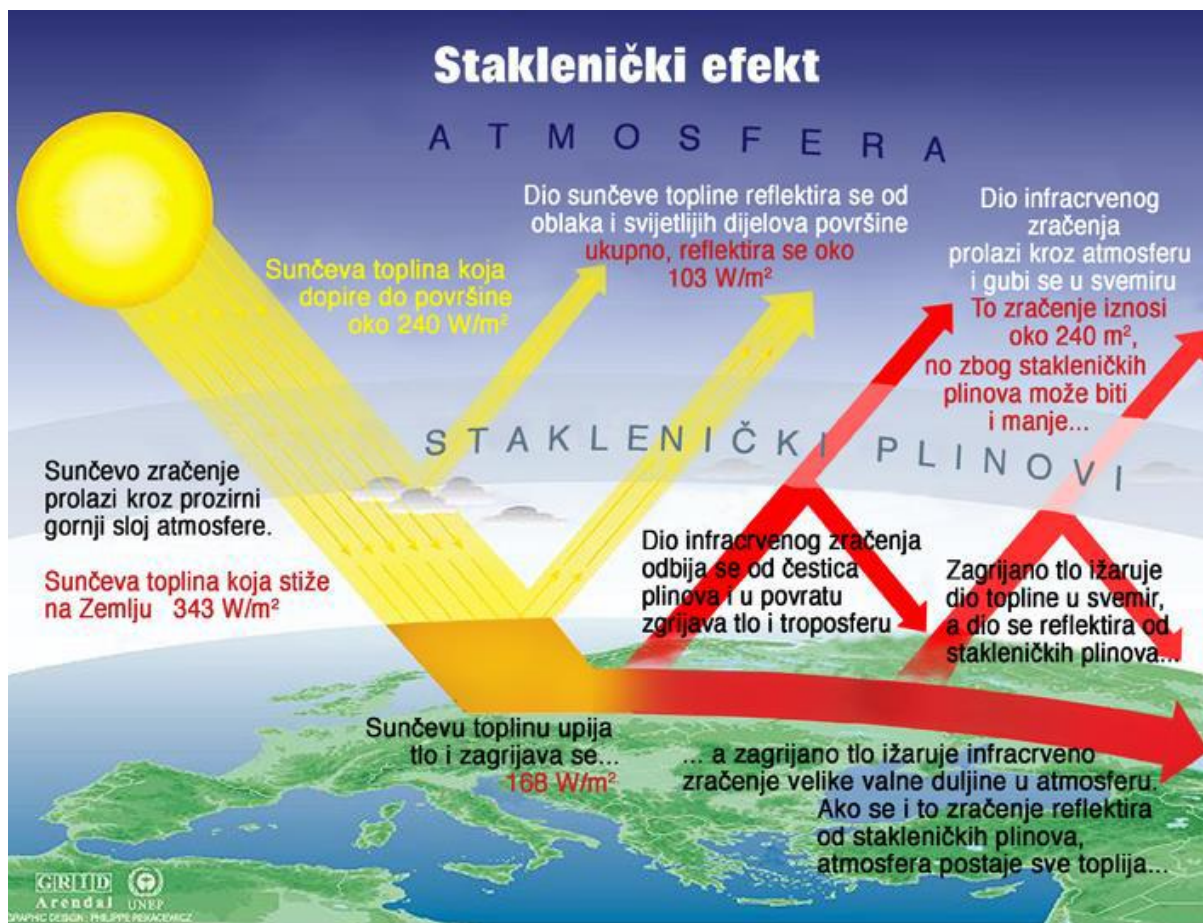
1970-ih godina i ostale države svijeta kao što su Japan i članice Europske unije započele su s razvojem mjera za očuvanje okoliša fokusirajući se najviše na automobile i srodna prijevozna sredstva.

Nažalost ispušni plinovi automobila nisu jedini zagađivači okoliša koji iz njih proizlaze. Uz ispušne plinove koji se ispuštaju direktno u atmosferu, na automobilima moramo svakih 2 do 4 godine zamijeniti i gume stvarajući pritom veliku količinu otpada.

Svaki automobil nakon nekog vremenskog perioda ili nakon što pređe određeni broj kilometara trebao bi biti servisiran, a osim samih servisa na automobilima javljaju i poneki kvarovi. Servisiranje automobila možemo podijeliti u tri glavne skupine: mali servisi, veliki servisi i neočekivani kvarovi.

### 3.1.1. Efekt staklenika

Efekt staklenika događa se kada se određeni plinovi - poznati kao staklenički plinovi - skupljaju u Zemljinoj atmosferi. Ovi plinovi, koji se prirodno pojavljuju u atmosferi, uključuju ugljikov dioksid, metan, dušikov oksid i fluorirane plinove ponekad poznate kao klorofluorougljici (CFC). [1]



Slika 3.1. Efekt staklenika [1]

Kao što je vidljivo na slici 3.1., staklenički plinovi propuštaju sunčevu svjetlost na površinu Zemlje, ali zadržavaju toplinu koja se odbija natrag u atmosferu. Na taj način djeluju poput izolacijskih staklenih stijenki staklenika. Efekt staklenika održava klimu na Zemlji ugodnom, odnosno pogodnom za život ljudi i milijuna drugih vrsta. Bez njega bi površinske temperature bile niže za oko 33 stupnja Celzijusa, a mnogi oblici života bi se smrzli. [1]



### **3.1.1.1. Problemi koji nastaju zbog efekta staklenika i stakleničkih plinova**

Od industrijske revolucije u kasnim 1700-ima i ranim 1800-ima, ljudi su ispuštali velike količine stakleničkih plinova u atmosferu, te je taj iznos u prošlom stoljeću vrtoglavo porastao. Između 1970. i 2004. emisije stakleničkih plinova porasle su 70 posto, dok i danas iz dana u dan samo nastavljaju rasti. Emisije ugljičnog dioksida, najvažnijeg i najzastupljenijeg stakleničkog plina, u tom su razdoblju porasle za oko 80 posto.

Većina ugljičnog dioksida koji ljudi ispuštaju u atmosferu dolazi izgaranjem fosilnih goriva kao što su nafta, ugljen i prirodni plin. Najveći potrošači fosilnih goriva su automobili, kamioni, vlakovi i zrakoplovi koji ih sagorijevaju i koriste za ostvarivanje kretanja, te mnoge elektrane koje također koriste fosilna goriva.

Drugi način na koji ljudi ispuštaju ugljični dioksid u atmosferu je sječa šuma. To se događa iz dva razloga: propadajući biljni materijal, uključujući drveće, oslobađa tone ugljičnog dioksida u atmosferu, dok usto živa stabla apsorbiraju ugljični dioksid, te njihovim smanjenjem plin ostaje u atmosferi. Kako je koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi izvan ravnoteže i kontrole, oni prijete izumiranju mnogih živih bića zbog nemogućnosti izdržavanja tolike zagađenosti zraka.

Sami staklenički plinovi uzrokuju respiratorne bolesti, poremećaje u opskrbi hranom, povećane požare i klimatske promjene koje osim rastućih prosječnih temperatura obuhvaćaju i ekstremne i neočekivane vremenske događaje, porast razine mora, promjenu populacija divljih životinja i staništa i niz drugih utjecaja. [1]

### 3.1.2. Mali servisi

Mali servisi na današnjim automobilima uglavnom se rade svakih godinu dana ili svakih 15.000 kilometara koje automobil napravi (što može biti i više puta godišnje). Ovaj servis podrazumijeva pregled važnijih dijelova automobila kao što su kočnice, remeni i tekućine, ali i zamjenu motornog ulja, filtera ulja, filtera zraka te nerijetko i zamjenu filtera klima uređaja u automobilu, te filtera goriva. Uzevši u obzir da svi automobili koriste minimalno jedan uljni filter i jedan filter zraka te u prosjeku 4 do 6 litara ulja iz motora možemo zaključiti da nakon samo jednog servisnog intervala ostaje značajna količina otpada. Na slici 3.2. vidljiv je proces ispuštanja starog motornog ulja iz motora. [17]



*Slika 3.2. Ispuštanje starog ulja iz motora kao dio malog servisa [17]*

U današnje vrijeme ulje i filteri se odvajaju i posebno sortiraju te šalju na reciklažu. Ulje se prvo mora dobro filtrirati kroz niz filtera kako bi iz njega odvojili sve nečistoće te se potom reciklira i pretvara u maziva, lož ulje te se kao takvo može koristiti u rafineriji i petrokemijskoj industriji. S druge strane filteri iz automobila moraju se kompletno rastaviti kako bi se sortirali na papirnate, plastične i metalne dijelove kako bi se kasnije lakše reciklirali.

### **3.1.3. Veliki servisi**

Veliki servisi, za razliku od malih, uglavnom ovise o načinu vožnje vlasnika automobila i sukladno tome raspon može biti od 80,000 do 200,000 kilometara na što utječi mnogi čimbenici kao na primjer: vremenski uvjeti gdje je automobil vožen, radi li se veći broj kilometara na dnevnoj bazi ili automobil dosta vremena stoji u garaži, koliko je vozač brz pri kretanju vozilom, te niz drugih čimbenika. U sklopu velikog servisa na autu se mijenja zupčasti remen, tračni remen, natezači i klizači te pumpa vode, a nerijetko se mijenjaju i svjećice te diskovi, kočione pločice i kočiono ulje. Kao i kod malih servisa, otpadni dijelovi se posebno odlažu i sortiraju kako bi se poslali na daljnju reciklažu. [18]

### 3.1.4. Neočekivani kvarovi

Za razliku od redovnih servisa na automobilima, često se mogu pojaviti i neočekivani kvarovi koji se u pravilu javljaju na autima s većom kilometražom, ne servisiranim ili na starijim autima. Neočekivani kvarovi se javiti na bilo kojem sklopu u automobilu – od raznih senzora, ležajeva, brtvi pa sve do osovina kotača. Takve kvarove možemo spriječiti redovitim servisiranjem i pregledima kompletnog vozila. Osim samih kvarova, često se zbog nepažnje ili nekog drugog razloga u prometu događaju prometne nesreće: od sitnih ogrebotina koje rješavamo ponovnim lakiranjem do totalnih šteta gdje cijena popravka premašuje vrijednost automobila. U slučajevima totalne štete automobili se koriste kao donori dijelova za druga vozila, dok se uništene komponente mogu reciklirati.



*Slika 3.3. Posljednja faza odvajanja dijelova automobila za reciklažu [19]*

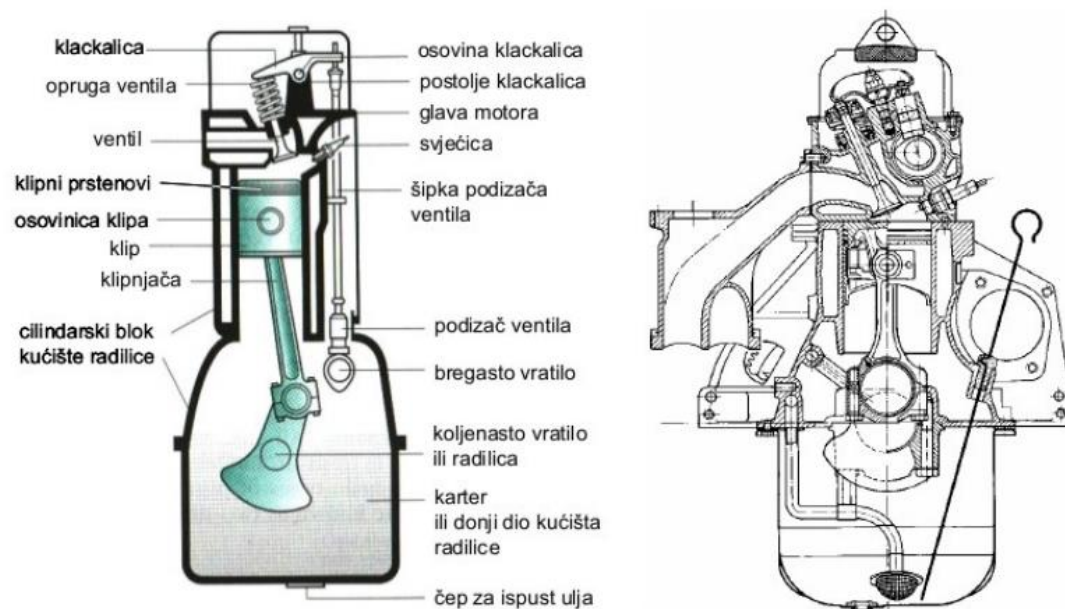
Na slici 3.3 prikazani su radnici koji sa pokretne trake sortiraju sitne otpadne dijelove automobila.

## 4. VRSTE MOTORA U AUTOMOBILIMA

### 4.1. Općenito o motorima s unutarnjim izgaranjem

Motori su toplinski strojevi koji mehanički rad proizvode diskontinuiranim procesom izgaranja goriva u komori izgaranja u kojoj se uslijed gibanja klipa zbiva promjena volumena. Glava cilindra zatvara gornji dio cilindra u kojem se giba klip te u kojem se događa proces izgaranja. Energija koja je oslobođena izgaranjem gorive smjese (smjese goriva i zraka) u komori izgaranja predaje se klipu gdje se linearno gibanje klipa pretvara u rotacijsko gibanje pogonskog vratila pomoću klipnog mehanizma kojeg čine koljenasto vratilo i klipnjača (ojnica). Nakon izgaranja gorive smjese, produkte izgaranja potrebno je izbaciti iz cilindra te ih nadomjestiti svježom smjesom, za što je zaslužan razvodni mehanizam. Razvodni mehanizam sastoji se od ventila, bregaste osovine, zupčanika s lancem koji pokreće bregastu osovinu, te podizača i šipke podizača ventila. Osim navedenih dijelova za pouzdan rad motora neizostavni su i sustavi poput sustava hlađenja te sustava podmazivanja. [20]

Jednostavan MSUI prikazan je na slici 4.1..



Slika 4.1. Model jednostavnog motora s unutarnjim izgaranjem [20]

MSUI mogu se podijeliti na razne načine kao što su: prema broju radnih taktova, prema broju cilindara, prema rasporedu cilindara, prema vrsti goriva, prema radnosti motora itd. Nama najvažnije podjele su prema broju radnih taktova i prema vrsti goriva.

#### **PODIJELA PREMA BROJU RADNIH TAKTOVA:**

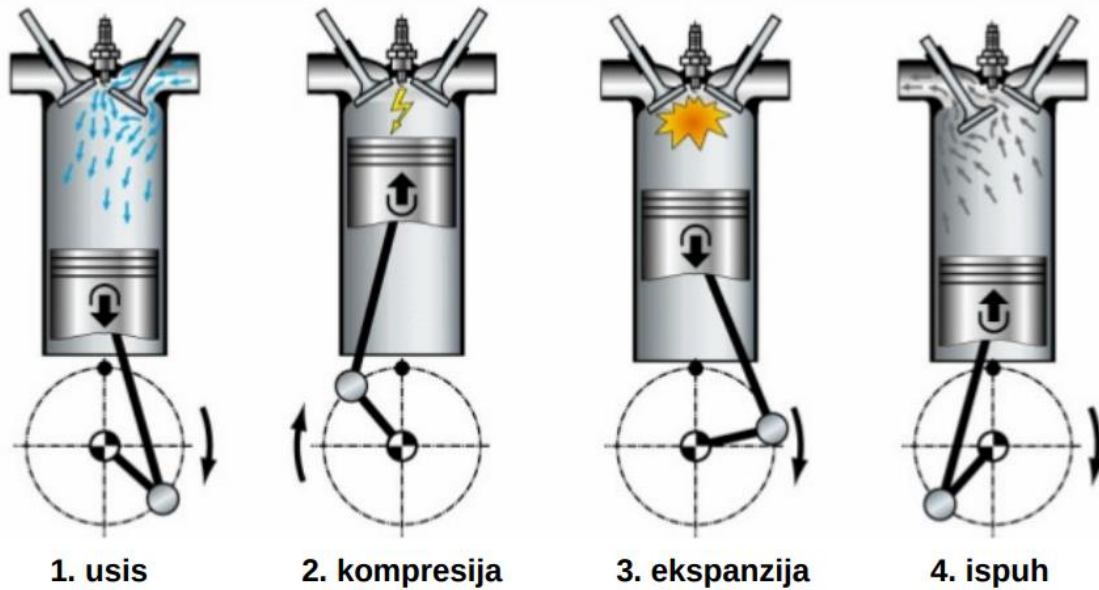
- Četverotaktni motori
- Dvotaktni motori

#### **ČETVEROTAKNI MOTORI:**

Ukupno trajanje procesa kod četverotaktnih motora iznosi 2 okretaja koljenastog vratila.

Razlikujemo četiri takta koja su prikazana i na slici 4.2.:

- **USIS:** klip se kreće iz gornje mrtve točke prema donjoj mrtvoj točki, u cilindru se uslijed podtlaka otvara usisni ventil kroz koji se uvlači svježa radna tvar – goriva smjesa ili samo zrak, gdje se miješa s produktima izgaranja koji su u komori izgaranja zaostali od prethodnog procesa. [20]
- **KOMPRESIJA:** kod kompresije se klip giba iz donje mrtve točke prema gornjoj mrtvoj točki i tako komprimira plinove u cilindru. Smjesi plinova u cilindru rastu temperatura i tlak. Izgaranje započinje netom prije nego što klip dođe u položaj gornje mrtve točke i traje sve dok klip ne prođe iza gornje mrtve točke, stoga izgaranje ne ubrajamo kao takt jer se klip tijekom izgaranja nalazi u okolini gornje mrtve točke. [20]
- **EKSPANZIJA:** plinovima izgaranja u cilindru uslijed dovođenja topline raste tlak i temperatura, plinovi ekspandiraju pomičući klip koji uz pomoć osovinice i klipnjače zakreće koljenasto vratilo te se tako kemijska energija goriva pretvara u mehanički rad na koljenastom vratilu koji je dalje iskoristiv za pogon automobila. [20]
- **ISPUH:** u posljednjem taktu klip se iz donje mrtve točke giba ka gornjoj mrtvoj točki istiskivajući pritom plinove izgaranja iz cilindra kroz otvoreni ispušni ventil. Kako bi motor imao visoki stupanj djelovanja potrebno je postići visoke temperature i tlakove koje ne bi bilo moguće ostvariti bez dobrog brtvljenja klipnih prstenova i ventila motora. [20]



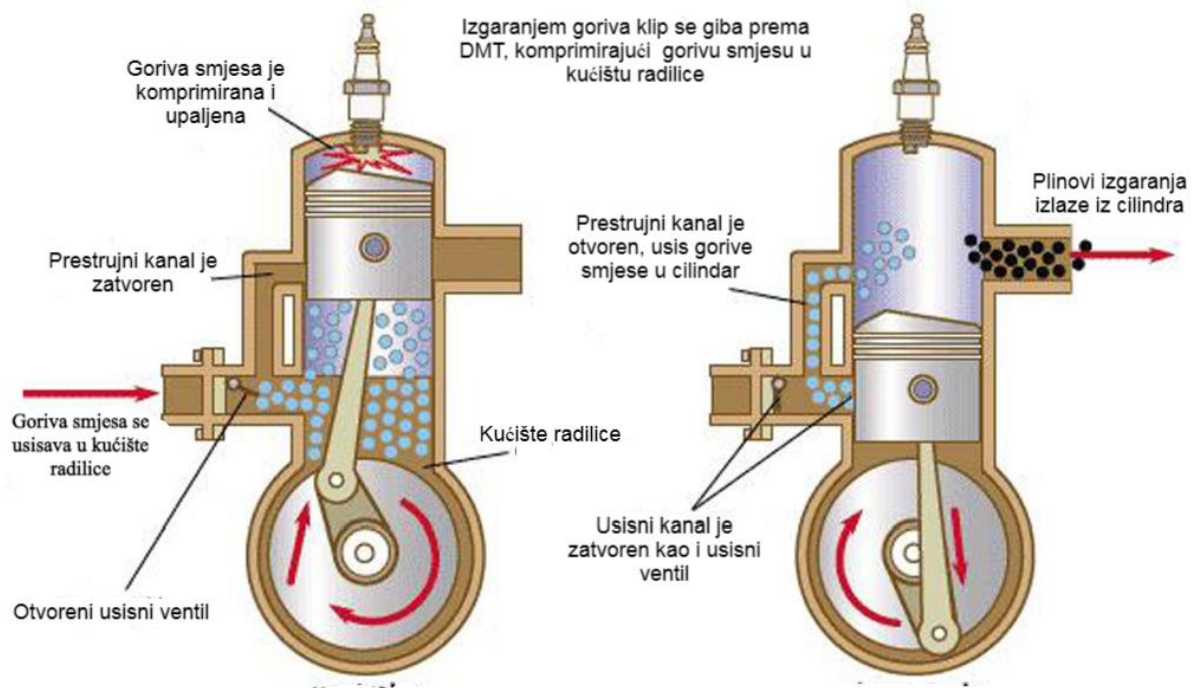
*Slika 4.2. Četiri faze četverotaktnih motora [20]*

#### **DVOTAKNI MOTORI:**

Ukupno trajanje procesa kod dvotaktnih motora iznosi 1 okretaj koljenastog vratila.

Razlikujemo dva takta vidljiva i na slici 4.3.:

- **IZMJENA RADNOG MEDIJA I KOMPRESIJA:** istovremeno se odvija usis svježe gorive smjese putem prestrujnih kanala i ispuh plinova izgaranja. Klip gibajući se prema gornjoj mrtvoj točki komprimira smjesu plinova. [20]
- **IZGARANJE I EKSPANZIJA:** nakon što je smjesa komprimirana iskra iz svjećice pali smjesu plinova u cilindru, te dolazi do izgaranja i ekspanzije gorive smjese. [20]



Slika 4.3. Rad dvotaktnih motora [20]

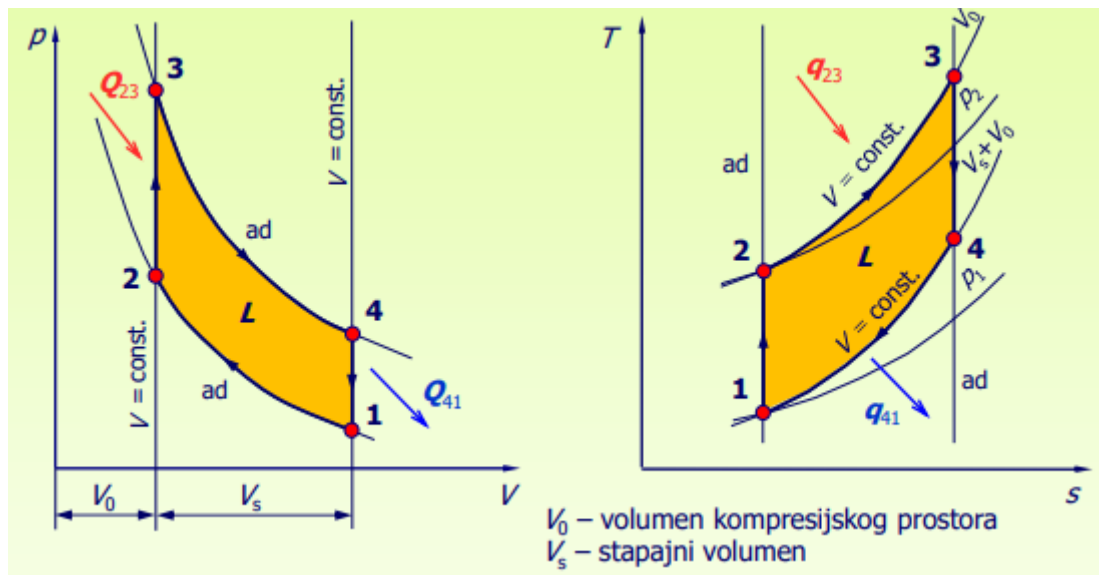
#### PODJELA PREMA VRSTI GORIVA:

- Benzinski motori
- Dizel motori

#### BENZINSKI MOTORI

Benzinski motori su vrsta klipnih MSUI koja rade po Ottovom termodinamičkom procesu koji se sastoji od 2 adijabate i 2 izohore. Ottov proces s prikazanim promjenama stanja prikazan je na slici 4.4. [21]





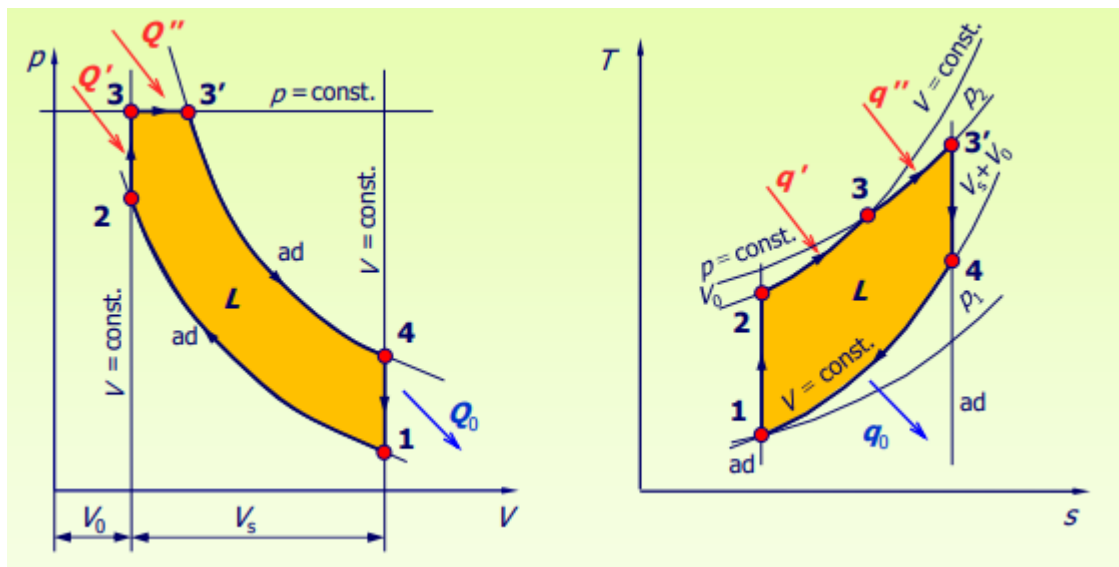
Slika 4.4. Ottov proces u  $pV$  i  $Ts$  dijagramu [21]

Ottov kružni proces započinje usisavanjem gorive smjese (smjese goriva i zraka) u cilindar motora. Od stanja 1 do stanja 2 odvija se adijabatska kompresija gorive smjese. Nakon kompresije, od stanja 2 do stanja 3 slijedi paljenje gorive smjese električnom iskrom te izgaranje uz konstantan volumen. Od točke 3 do točke 4 odvija se adijabatska ekspanzija plinova izgaranja, te na kraju imamo hlađenje plinova izgaranja uz konstantan volumen od stanja 4 do stanja 1, te ispuh iz cilindra van.

Kod benzinskih motora toplina se oslobađa izgaranjem smjese isparenog goriva i zraka. Paljenje gorive smjese plinova događa se u trenutku kada je klip blizu gornje mrtve točke i to pomoću električne iskre koju proizvede svjećica. Nakon vremena inkubacije koje traje nekoliko milisekundi, dolazi do brzog širenja fronte plamena koja se od samog mjesta paljenja širi koncentrično deformirajući se uslijed turbulentnog gibanja same smjese. Kako bi termodinamički stupanj djelovanja bio što veći, potrebna je što veća brzina fronte plamena. To se postiže kad je goriva smjesa lagano bogata, dok je brzina fronte plamena sama po sebi pospješena turbulencijama koje ju deformiraju povećavajući joj površinu. [21]

## DIZEL MOTORI

Klipni MSUI koji koriste dizel kao gorivo rade po Sabatheovom termodinamičkom procesu kojeg čine 2 adijabate, 2 izohore i 1 izobara. Sam proces prikazan je na slici 4.5..



Slika 4.5. Sabatheov kružni proces u  $pV$  i  $Ts$  dijagramima [21]

Na početku Sabatheovog kružnog procesa imamo usis i adijabatsku kompresiju čistog zraka od stanja 1 do stanja 2 uz porast temperature, te se pritom ubrizgava gorivo. Slijedi izgaranje gorive smjese koja dijelom izgara uz stalan volumen (od točke 2 do točke 3), a dijelom uz stalan tlak (od točke 3 do točke 3'). Nakon izgaranja odvija se adijabatska ekspanzija plinova izgaranja od stanja 3' do stanja 4 i na konačno hlađenje plinova izgaranja uz stalan volumen (od točke 4 do točke 1) te ispuh u atmosferu. [21]

Motorima koji koriste dizel kao gorivo proces izgaranja možemo podijeliti u 4 glavne faze:

- 1. Zakašnjenje paljenja:** kapljice ubrizganog goriva se raspadaju i isparavaju (fizičko zakašnjenje) nakon čega slijede prereakcije samoupaljenja za koje je isto potrebno određeno vremensko razdoblje (kemijsko zakašnjenje). [21]
- 2. Izgaranje homogene smjese:** smjesa koja je pripremljena u prethodnoj fazi sada naglo izgara. Toplina se oslobađa pri konstantnom volumenu što dovodi do naglog porasta tlaka. Ovakvim izgaranjem raste stupanj djelovanja motora, međutim dolazi do velikih opterećenja mehaničkih komponenti te grubog zvuka motora, stoga se zakašnjenje paljenja nastoji svesti na minimum. [21]

3. **Izgaranje heterogene smjese:** gorivo i zrak miješaju se tijekom reakcije ali i neposredno prije same reakcije. Kisik dolazi iz plina koji se nalazi u okolini kapljice goriva s čije površine dolaze pare goriva. Gorivo i zrak miješaju se difuzijom molekula. [21]
4. **Dogorijevanje:** posljednja faza odvija se nakon što završi ubrizgavanje goriva, te dolazi do izgaranja preostalog goriva [21]

Osim MSUI, u automobilima se koriste i elektromotori te hibridi – kombinacije MSUI i elektromotora.

## ELEKTROMOTOR

Elektromotor je električni stroj koji služi za pretvorbu električne energije iz baterije u mehanički rad. Elektromotori rade na principu magnetske indukcije – motori se sastoje od dva namota (rotora i statora) od kojih se jedan koristi kao radni namot a drugi kao uzbudni koji u pojedinim izvedbama može biti zamijenjen permanentnim magnetima.

Električne strojeve možemo podijeliti prema izvoru napajanja:

- Istosmjerni DC motori
- Izmjenični AC motori
- Koračni elektromotori

Izmjenični AC elektromotori za razliku od istosmjernih DC motora imaju manju masu, manje dimenzije, nižu cijenu, veću brzinu vrtnje, manji moment inercije, jeftiniji su i jednostavniji za održavanje, te imaju viši stupanj djelovanja (95% - 97% u odnosu na 85% do 89% kod istosmjernih DC motora). [22]

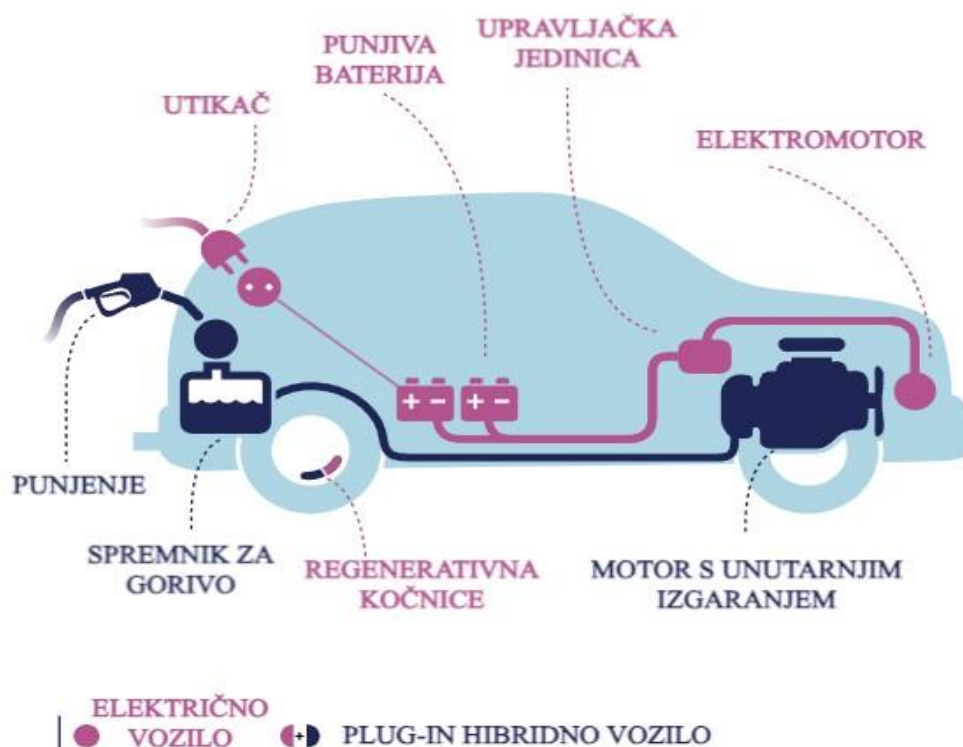
S druge strane prednost istosmjernih DC elektromotora je lakša i jeftinija upravljivost.

Važno je napomenuti kako električni automobili imaju znatno veću iskoristivost naspram vozila s MSUI. Elektromotor pretvori čak 80 % energije u mehanički rad, dok MSUI može efikasno pretvoriti samo 20%. Osim toga elektromotori su znatno tiši, imaju dulji vijek trajanja, te su jeftiniji za održavanje. [22]

## HIBRIDNO VOZILO (Plug-in)

Hibridna vozila za svoj pogon koriste kombinaciju MSUI (dizel ili benzin) i elektromotora. I jedan i drugi motor rade po već spomenutim principima. Zbog korištenja dva motora, automobil je opremljen i spremnikom za gorivo i baterijama za pogon MSUI.

Osnovne komponente plug-in hibridnog vozila vidljive su na slici 4.6..



Slika 4.6. Komponente plug-in hibridnih automobila [23]

Plug-in hibridi koriste elektromotor sve do potpunog pražnjenja baterija, te se na kratkim relacijama uopće ne koristi MSUI radi smanjenja emisija. Baterije se u plug-in hibridnom automobilu mogu puniti priključenjem na električnu mrežu (na punionicama ili na kućnoj utičnici) te se pune regenerativnim kočenjem u vožnji.

## 5. USPOREDBA AUTOMOBILA RAZNIH POGONA

Kako bi mogli lakše i točnije mogli usporediti drugačije vrste pogona u automobilima moramo to prikazati na modelu koji se proizvodio u svakoj mogućoj motornoj izvedbi. Kako ne postoji puno automobila u svim motornim izvedbama, odabrani model bit će Volkswagen Golf sedme generacije prikazan na slici 5.1., koji je prvi put proizveden 2012. godine. Golf je dolazio kao hatchback s tri ili s 5 vrata, te kao karavan verzija s pet vrata. Osim dobro poznatih volkswagenovih dizel motora, u golfa se ugrađivala i široka paleta benzinskih motora, dok je uz njih postojala i hibridna te potpuno elektrificirana izvedba. [24]



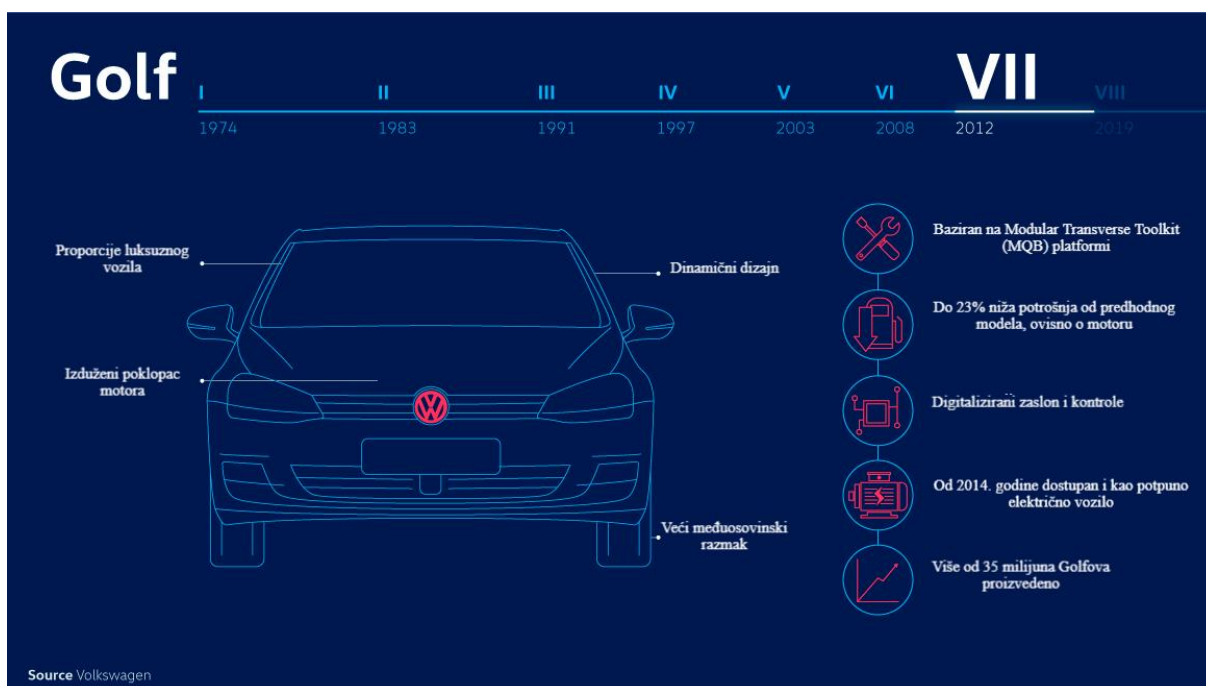
*Slika 5.1. Volkswagen Golf VII [24]*

Modeli motora koje ćemo usporediti su sljedeći: benzinski 1.5 TSI motor, dizelski 2.0 TDI motor, elektromotor, te 1.4 TSI + elektromotor kod hibrida. Usporedbu ćemo vršiti kroz desetogodišnje razdoblje te izdvojiti najisplativiju i najviše ekološki prihvatljivu izvedbu. Uzevši u obzir da prosječan automobil godišnje prijeđe 12.000 km, sveukupna prosječna kilometraža u usporednom razdoblju bit će 120.000 km.

U promatranom vremenskom periodu automobili će imati sveukupno 10 malih servisa, jedan veliki servis te zamjenu kočionih diskova i pločica na prednjoj i stražnjoj osovini, uz pretpostavku da promatrani automobili u tom periodu nisu imali neočekivanih kvarova. Također u promatranom periodu potrebno je automobilima 3 puta promijeniti gume, međutim kako se radi o jedno te istom automobilu s različitom vrstom pogona na svim vozilima mogu se koristiti iste vrste i dimenzije guma pa se taj trošak može i zanemariti.

Isto tako za izradu svake šasije utrošeno je jednako materijala, vremena i energije, dok s druge strane imamo poneke razlike u proizvodnji samih motora. Za dizelski i benzinski motor resursi uloženi u proizvodnju su podjednaki, dok se malo povećavaju za hibridni motor, te najviše rastu za električni motor. Kako bi električni motor mogao funkcionirati potrebna mu je električna energija koja je uskladištena u baterijama unutar automobila, te su upravo one razlog više cijene proizvodnje električnog vozila. Za proizvodnju baterija koriste se velike količine ruda poput litija, kobalta i nikla koje se nakon sakupljanja iz zemljine površine moraju obraditi kako bi se mogle dalje koristiti.

Pojedine inovativne karakteristike Golfa VII vidljive su na slici 5.2..



Slika 5.2. Inovativne značajke Golfa VII [25]

### 5.1.1. Golf VII 2.0 TDI

2.0 TDI prikazan na slici 5.3. je dizelski motor koji je prvi puta predstavljen još 2003. godine, a ugrađivan je u mnoštvo Volkswagenovih, Škodinih, Audijevih i Seatovih modela. Radi se o rednom motoru s četiri cilindra, zapremine 1.968 cm<sup>3</sup> koji je uparen s manualnim mjenjačem sa 6 brzina te koji razvija 110 kW i 340 Nm okretnog momenta. VW Golf VII s ovim motorom ima masu praznog vozila 1.291 kg. [27]



*Slika 5.3. Volkswagenov dizelski motor 2.0 TDI [33]*

Prema deklaraciji proizvođača 2.0 TDI u Golfu VII u kombiniranom režimu vožnje (vožnja po gradu i po otvorenoj cesti) ima potrošnju od 4.2 do 4.3 litre na 100 kilometara pritom ispuštajući od 109 do 111 g CO<sub>2</sub> po kilometru. [27]

Tablica 5.1. Održavanje 2.0 TDI motora

2.0 TDI	POTROŠNJA (litra)	CIJENA GORIVA (1,24€/litra)	EMISIJE CO <sub>2</sub> (g)	KOLIČINA ULJA ZA ZAMJENU (litra)	CIJENA MALOG SERVISA (€)	CIJENA VELIKOG SERVISA (€)
1 mjesec (1.000 km)	43	53,32 €	111.000	-	-	-
1 godina (12.000 km)	516	639,84 €	1.332.000	4,7	245	-
10 godina (120.000 km)	5.160	6.398,4 €	13.320.000	47	2.450	900

Početna cijena ovog vozila 2020. godine iznosila je 182.815,88 HRK što si preračunato u eure po fiksnom tečaju iznosi 24.263,83 EUR u Highline opremi, koja je ujedno i najbogatiji paket opreme kod VW Golfa VII. [26]

Iz tablice 5.1. vidljivo je da je 2.0 TDI motor kroz desetogodišnje razdoblje prosječno potrošio 5.160 litara goriva što bi prema cijenama iz 21. tjedna 2023. godine koštalo 6.398,40 EUR.

U sklopu malog servisa, svako godinu dana, potrebno je zamijeniti filter ulja, filter zraka, filter kabine, filter goriva, te samo ulje u motoru. Nakon svakog servisa od otpada ostaju 4 iskorištena i zaprljana filtera i 4,7 litara ulja koliko i stane u sam motor. U desetogodišnjem periodu ukupno imamo 40 filtera i 47 litara starog motornog ulja koje je potrebno pravilno sortirati kako bi se mogli poslati na reciklažu.

Cijena malog servisa ovog motora iznosi 245 EUR što je u ukupnom promatranom razdoblju 2.450 EUR. [31]

Kroz desetogodišnje razdoblje na automobilu je napravljen jedan veliki servis na kojem su zamijenjeni zupčasti remen, kočione pločice i diskovi na prednjoj te kočione pločice i diskovi na stražnjoj osovini vozila. Cijena velikog servisa ovog motora u ovlaštenom servisu iznosi 900 EUR. [31]

Sve zajedno u periodu od 10 godina VW Golf VII s 2.0 TDI motorom od 110 kW košta 34.012,23 EUR, i u tom periodu ispustiti će 13.320.000 grama ugljičnog dioksida CO<sub>2</sub> u atmosferu.



### 5.1.2. Golf VII 1.5 TSI

VW 1.5 TSI prikazan na slici 5.4. je benzinski motor prvi puta predstavljen 2012. godine u Golfu VII. Kao i kod dizelskog 2.0 TDI motora, 1.5 TSI je također redni motor s četiri cilindra zapremine 1.498 cm<sup>3</sup>. [28]



*Slika 5.4. VW 1.5 TSI benzinski motor [34]*

Ovaj motor u promatranom modelu vozila razvija 110 kW i 250 Nm okretnog momenta. Kao i kod dizel varijante, 1.5 TSI je također uparen sa 6 stupanjskim manualnim mjenjačem, međutim sam automobil s ovim motorom teži je za 29 kilograma od dizelske varijante, odnosno teži 1.320 kilograma. Prema deklaraciji proizvođača VW Golf s 1.5 TSI motorom u kombiniranom režimu vožnje, koji uključuje vožnju gradom i otvorenom cestom, troši između 5,2 i 5,4 litre na 100 prijeđenih kilometara. Uz veću potrošnju, uz ovaj motor vežu se i veće emisije CO<sub>2</sub> koje variraju od 119 do 123 grama po kilometru. [28]

Tablica 5.2. Održavanje 1.5 TSI motora

1.5 TSI	POTROŠNJA (litra)	CIJENA GORIVA (1.32€/litra)	EMISIJE CO2 (g)	KOLIČINA ULJA ZA ZAMJENU (litra)	CIJENA MALOG SERVISA (€)	CIJENA VELIKOG SERVISA (€)
1 mjesec (1.000 km)	54	71,28 €	123.000	-	-	-
1 godina (12.000 km)	648	855,36 €	1.476.000	4,3	190	-
10 godina (120.000 km)	6.480	8.553,6 €	14.760.000	43	1.900	1.035

Volkswagen Golf VII sa 1.5 TSI motorom od 110 kW 2020. godine koštao je 167.907,94 HRK odnosno 22.285,21 EUR također opremljen Highline paketom opreme. [26]

U tablici 5.2. prikazani su podaci o održavanju vozila, pri čemu možemo vidjeti kako je potrošnja goriva nešto viša od dizelske varijante automobila iste snage te iznosi 6.480 litara u promatranom razdoblju i košta 8.553,60 EUR po trenutnim tržišnim cijenama.

Jednom godišnje, na malom servisu, zamijenjene se filter ulja, filter zraka, filter kabine, filter goriva, te ulje u motoru. 1.5 TSI motor ima nešto manje motornog ulja, točnije 4,3 litre.

U periodu od 10 godina od servisa ostaje 40 filtera i 43 litre motornog ulja koji se nakon pravilnog sortiranja šalju na reciklažu.

Cijena pojedinačnog malog servisa iznosi 190 EUR, odnosno ukupno 1.900 EUR. [31]

U sklopu velikog servisa koji je u promatranom razdoblju odrađen jednom, zamjenjen je zupčasti remen, kočione pločice na obje osovine, kočioni diskovi na obje osovine, te svjećice pošto se radi o benzinskom motoru. Veliki servis košta 1.035 EUR za ovaj motor što je nešto više nego za dizelski motor. [31]

U promatranom periodu sveukupni troškovi sa VW Golfom VII 1.5 TSI 110 kW iznose 33.773,81 EUR.

Iz tablice 5.2. vidljivo je da 1.5 TSI motor u desetogodišnjem razdoblju u atmosferu ispusti 14.760.000 grama ugljičnog dioksida CO<sub>2</sub>.

### 5.1.3. Golf VII GTE

Golf VII GTE predstavljen je prvi puta 2014. godine. Riječ je o hibridnoj verziji VW Golfa VII koja za pokretanje osim benzinskog motora koristi i električni motor. U ovom automobilu nemamo 1.5 TSI već stariji model 1.4 TSI zapremine  $1.395 \text{ cm}^3$ . 1.4 TSI također je redni motor s četiri cilindra koji je uparen sa DSG automatskim mjenjačem sa 6 brzina, te isti samostalno razvija 110 kW i 250 Nm. [30]



*Slika 5.5. Motorni prostor Golfa VII GTE [35]*

Električni motor korišten u ovom automobilu razvija 75 kW i 330 Nm okretnog momenta. Zajedno sklop benzinskog i električnog motora vidljiv na slici 5.5. ima snagu od 150 kW i 350 Nm okretnog momenta. Ovom kombinacijom motora automobil ima potrošnju od samo 1,5 litre na 100 prijeđenih kilometara pritom ispuštajući samo 35 grama ugljikovog dioksida po kilometru. [30]

Kod ovog modela automobila osim spremnika goriva postoje i baterije koje napajaju elektromotor, što povećava ukupnu masu vozila 1.524 kilograma. [30]

Tablica 5.3. Održavanje hibridnog motora

HIBRID	POTROŠNJA GORIVA (litra)	CIJENA GORIVA (1.32€/litra)	EMISIJE CO2 (g)	KOLIČINA ULJA ZA ZAMJENU (litra)	CIJENA MALOG SERVISIA (€)	CIJENA VELIKOG SERVISIA (€)
1 mjesec (1.000 km)	15	19,80 €	35.000	-	-	-
1 godina (12.000 km)	180	237,60 €	420.000	4	220	-
10 godina (120.000 km)	1.800	2.376,00 €	4.200.000	40	2.200	938

Cijena hibridnog Volkswagen Golfa VII 2020. godine iznosila je 297.441,56 HRK odnosno 39.477,28 EUR u istom paketu opreme kao i dizelska i benzinska varijanta što je čak 77,15% više od benzinske, odnosno 62,73% više od dizelske varijante istog automobila. [26]

Usprkos višoj početnoj cijeni, iz tablice 5.3. možemo primijetiti kako hibridna izvedba Golfa VII ima dosta nižu ukupnu potrošnju goriva – samo 1.800 litara benzina u desetogodišnjem periodu, što ukupno iznosi 2.376 EUR. U ovom slučaju gdje automobil ima kombinaciju dvaju pogona ne uzimamo u obzir cijenu električne energije smatrajući da se ti automobili većinu vremena pune regenerativnim kočenjem i na besplatnim punionicama koje su još uvijek dostupne u raznim trgovačkim centrima i parkiralištima. Također kada bi se ti automobili koristili za duža putovanja, glavni dio puta automobil bi koristio samo MSUI.

Kod ovog automobila na malim servisima također imamo zamjenu četiri filtera: zraka, kabine, ulja i goriva, te zamjenu motornog ulja – 4 litre po servisu.

Od ovog automobila u promatranom periodu imamo 40 filtera i 40 litara starog ulja što je nešto manje od običnog benzinskog motora.

Cijene godišnjih servisa za ovaj automobil iznose 220 EUR, odnosno ukupno 2.200 EUR. [31]

Kako se kod Golfa GTE radi o kombinaciji benzinskog i električnog motora, u sklopu velikog servisa, uz zupčasti remen i kočione pločice i diskove na svim osovinama, vrši se zamjena i električnih svjećica kao i kod 1.5 TSI motora. Ukupna cijena velikog servisa iznosi 938 EUR, što je na pola puta između dizel motora i čistog benzinskog 1.5 TSI motora. [31]

Ukupni troškovi za VW Golfa VII GTE u promatranom desetogodišnjem periodu iznositi će 44.991,28 EUR, dok bi količina ispuštenog ugljičnog dioksida bila 3 i pol puta manja od benzinske i 3,17 puta manje od dizelske varijante, odnosno 4.200.000 grama CO<sub>2</sub>.

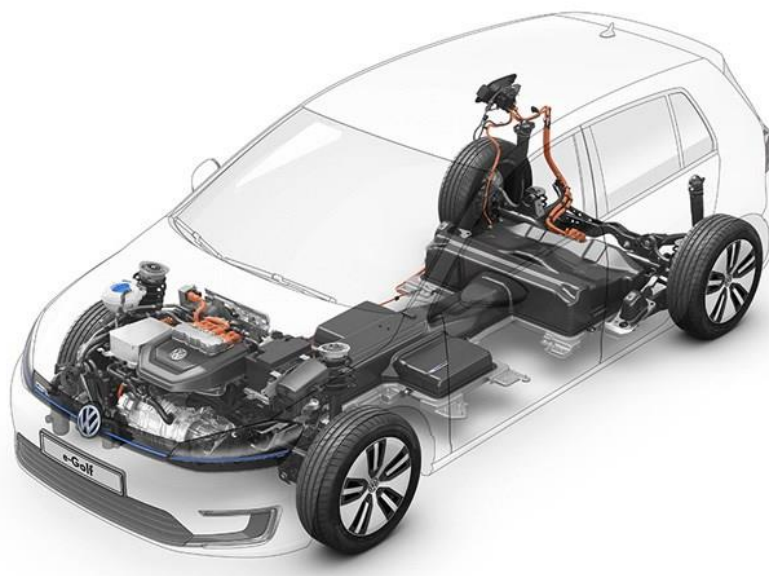
### **5.1.3.1 Subvencioniranje hibridnih vozila**

Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost Republike Hrvatske je 2022. godine osigurao nepovratna sredstva za kupnju plug-in hibridnih vozila. Kao fizička osoba bilo je moguće dobiti subvenciju do 40.000 HRK, odnosno 5.309 EUR. [37]

Uzmemo li u obzir da ostvarimo maksimalnu moguću subvenciju od države, ukupni iznos posjedovanja plug-in hibrida, VW Golfa GTE, smanjio bi se na konačnih 39.682,28 EUR.

#### 5.1.4. E-Golf VII

Kao što je svaka prethodna verzija Volkswagen Golfa bila jako popularna, što se vidi i po broju prodanih primjeraka koji je premašio 35 milijuna, Volkswagenovi inženjeri odlučili su napraviti i električnu verziju popularnog Golfa. VW e-Golf je potpuno elektrificirana verzija Golfa koja je prvi puta predstavljena 2014. godine.



*Slika 5.6. Elektromotor i baterije u e-Golfu [36]*

E-golf pogonjen je jednim elektromotorom koji je smješten na prednjem dijelu šasije te pokreće samo prednju osovinu vozila snagom od 85 kW i 270 Nm okretnog momenta. Motor je uparen s automatskim mjenjačem koji ima jednu brzinu za vožnju unaprijed i jednu brzinu za vožnju unatrag. Sam sklop elektromotora i baterija predočen je na slici 5.6.. Upravo iz razloga što je e-Golf pokretan od strane jednog elektromotora, potrebno je imati dovoljno baterija kako bi automobil imao dovoljan doseg, što uvelike povećava težinu vozila, te ga ujedno čini i najtežim od uspoređenih modela sa čak 1.585 kilograma. [29]

Baterije ugrađene u ovaj model automobila imaju kapacitet od 24,2 kWh pod naponom od 323 V što prema deklaraciji proizvođača omogućava doseg od 190 kilometara. Kada bi potrošnju električne energije preračunali u potrošnju goriva, automobil bi trošio 1,8 litara na 100 prijeđenih kilometara. [29]

Kao i sva ostala potpuno električna vozila e-Golf proizvodi 0 grama po kilometru CO<sub>2</sub> tijekom vožnje.

*Tablica 5.4. Održavanje elektromotora*

ELEKTROMOTOR	POTROŠNJA (kWh)	CIJENA GORIVA (0.46€/kWh)	EMISIJE CO <sub>2</sub> (g)	KOLIČINA ULJA ZA ZAMJENU (litra)	CIJENA MALOG SERVISA (€)	CIJENA VELIKOG SERVISA (€)
1 mjesec (1.000 km)	127	58,42 €	0	0	-	-
1 godina (12.000 km)	1.524	701,04 €	0	0	-	-
10 godina (120.000 km)	15.240	7.010,40 €	0	0	0	120

E-Golf krajem 2020. godine koštao je čak 301.658,63 HRK odnosno preračunato u eure 40.036,98 EUR što je za 79,62% više od benzinske varijante istog automobila. [26]

Održavanje električnog automobila uvelike se razlikuje od održavanja klasičnog automobila s MSUI – oni nemaju cilindre, klipove, ispušni sustav, filtere ulja, ulje u motoru, nemaju klasični mjenjač pa tako ni spojku, nemaju svjećice i niz drugih dijelova prisutnih kod automobila s MSUI. Kako električni automobili imaju znatno niži broj komponenti postižu veliku uštedu vremena i novca pri redovitim servisima.

VW E-Golf koristi trofazni sinkroni motor koji u sebi nema klizne kontakte koji se mogu potrošiti, sami elektromotori ne zahtijevaju apsolutno nikakvo održavanje. Međutim ima komponenti koje treba redovito i pravilno pregledati i servisirati, a to su kočnice, rashladni sustav motora, klima uređaj automobila i gume na vozilu. Kao i kod ostalih pogonskih varijanti gume možemo zanemariti pošto se radi o jedno te istom vozilu, kojem odgovaraju jednake dimenzije guma.

Kao i kod ostalih električnih automobila, kočioni sustav se koristi u svrhu regeneracije energije kočenja tj. energija kočenja odnosno kinetička energija pretvara se ponovno u energiju iskoristivu motoru – električnu energiju, i s toga se kočioni sustav u pravilu dvostruko sporije troši nego kod automobila s MSUI pa u promatranom periodu od 10 godina nećemo imati zamjenu kočionih pločica niti diskova.

Osim kočionog sustava važno je napomenuti da se u servisnim intervalima pregledava priključak za punjenje, kabelaške veze i samo stanje baterije. Vlasnik električnog vozila treba posebnu pažnju posvetiti samoj bateriji koja uglavnom ima vrijednost od 50% do 70% ukupne vrijednosti vozila, te bi njen kvar postalo neisplativo popravljati. U VW E-Golfu radi se o litij-ionskim baterijama koje se čuvaju na način da se napunjenost samih baterija održava iznad 20%. Također na "zdravlje" baterije utječe i sam način punjenja – baterije traju duže ako se pune do 80% napunjenosti umjesto do 100%, te će imati dulji životni vijek ako su punjene izmjeničnom strujom s kućne utičnice umjesto istosmjerne struje s brzih punionica.

Prvi mali servis na E-Golfu radi se nakon 30.000 kilometara i ne zahtjeva nikakvu zamjenu dijelova niti radove na automobilu, već samu inspekciju već spomenutih vitalnih dijelova. U promatranom razdoblju automobil podliježe 4 mala odnosno u ovom slučaju inspekcijaska servisa, čije iznose u ovom slučaju možemo zanemariti. [32]

Veliki servis na ovom automobilu radi se svakih 60.000 kilometara ili svake 3 godine ovisno o tome što prije prođe. U sklopu velikog servisa vrši se zamjena kočione tekućine što košta 40 EUR po servisu, odnosno u promatranom razdoblju ukupno 120 EUR. [31], [32]

Ukupna cijena posjedovanja i održavanja VW E-Golfa u periodu od 10 godina iznositi će 47.167,38 EUR.

#### **5.1.4.1. Subvencioniranje potpuno električnih vozila**

Kao i za hibridna vozila, Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost Republike Hrvatske je 2022. godine osigurao nepovratna sredstva za kupnju potpuno električnih vozila. Za potpuno električna vozila kao fizička osoba bilo je moguće dobiti subvenciju do 70.000 HRK, odnosno 9.290,6 EUR. [37]

U slučaju da kao fizička osoba dobijemo poticaj u iznosu od 9.290,6 EUR, te njime umanjili cijenu održavanja E-Golfa, ukupna konačna cijena bi bila 37.876,78 EUR.

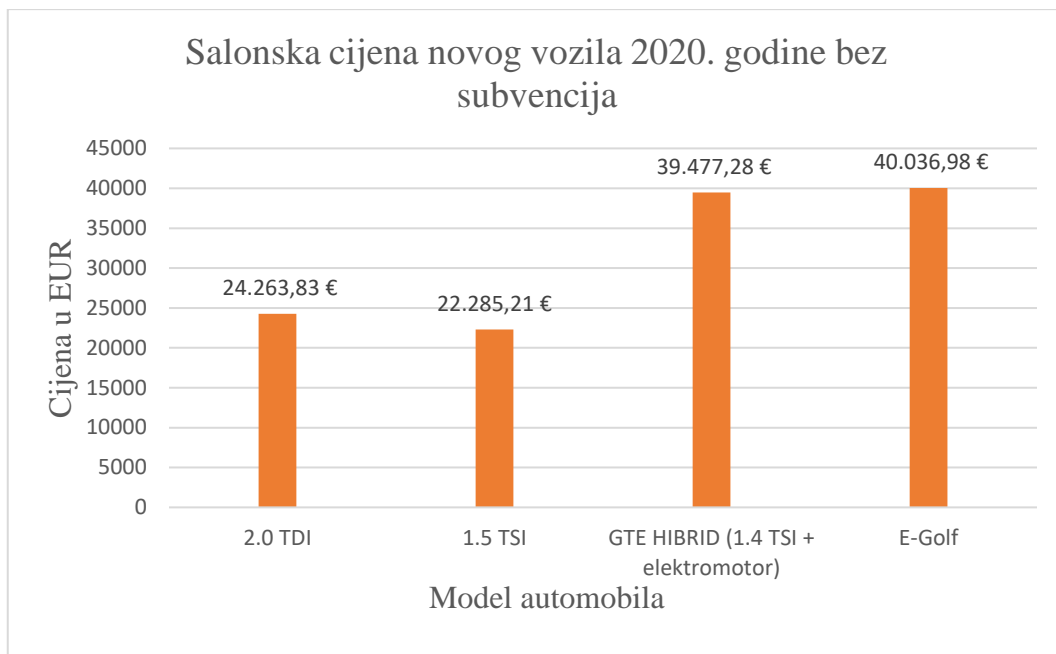


## 5.2. ANALIZA REZULTATA

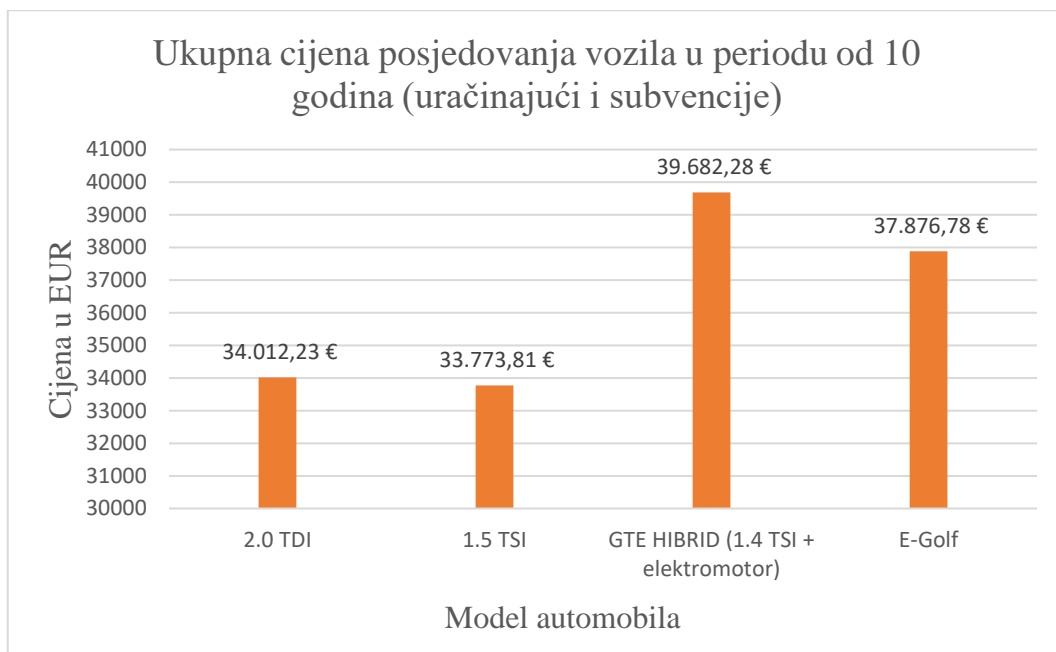
Na temelju podataka dobivenih u prethodnim potpoglavljima, rezultati se mogu prikazati u objedinjenoj tablici u nastavku:

*Tablica 5.5. Sveukupni rezultati usporedbe*

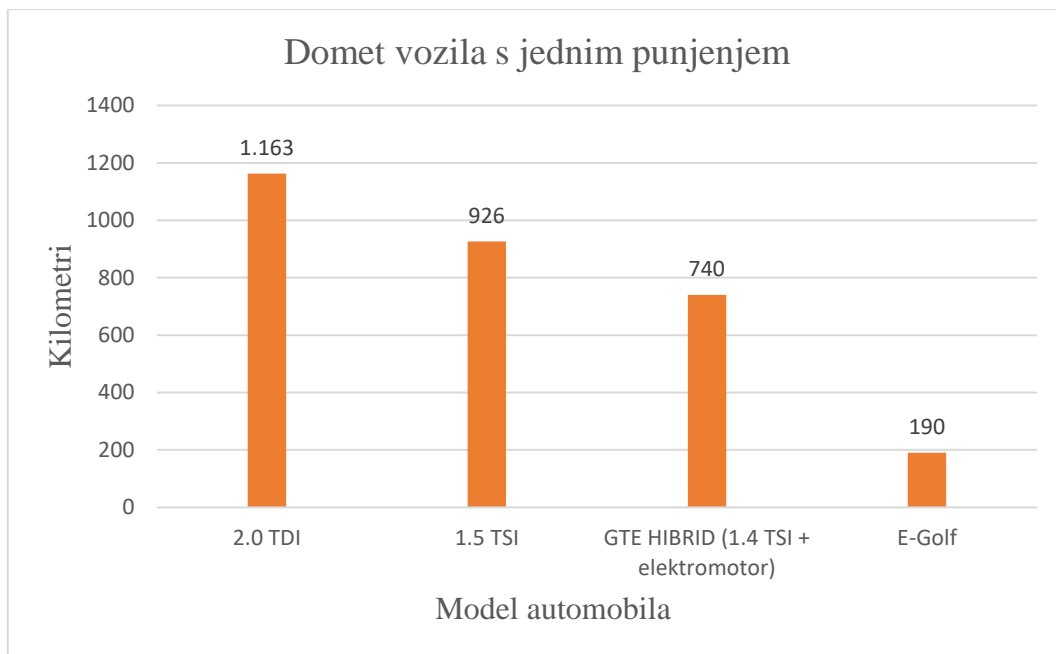
VW Golf VII	2.0 TDI	1.5 TSI	GTE HIBRID (1.4 TSI + elektromotor)	E-Golf
Salonska cijena novog vozila 2020. godine bez subvencija	24.263,83 EUR	22.285,21 EUR	39.477,28 EUR	40.036,98 EUR
Ukupna cijena posjedovanja vozila u periodu od 10 godina (uračunajući i subvencije)	34.012,23 EUR	33.773,81 EUR	39.682,28 EUR	37.876,78 EUR
Domet vozila s jednim punjenjem	1163 km	926 km	740 km	190 km
Godišnja potrošnja goriva	516 litara	648 litara	180 litara	1.524 kWh
Godišnje emisije CO <sub>2</sub>	1.332.000 grama	1.476.000 grama	420.000 grama	0 grama
Količina otpada nakon malog servisa	4,7 litara ulja i 4 filtera	4,3 litre ulja i 4 filtera	4 litre ulja i 4 filtera	-
Cijena malog servisa	245 EUR	190 EUR	220 EUR	-
Cijena velikog servisa	900 EUR	1.035 EUR	938 EUR	120 EUR



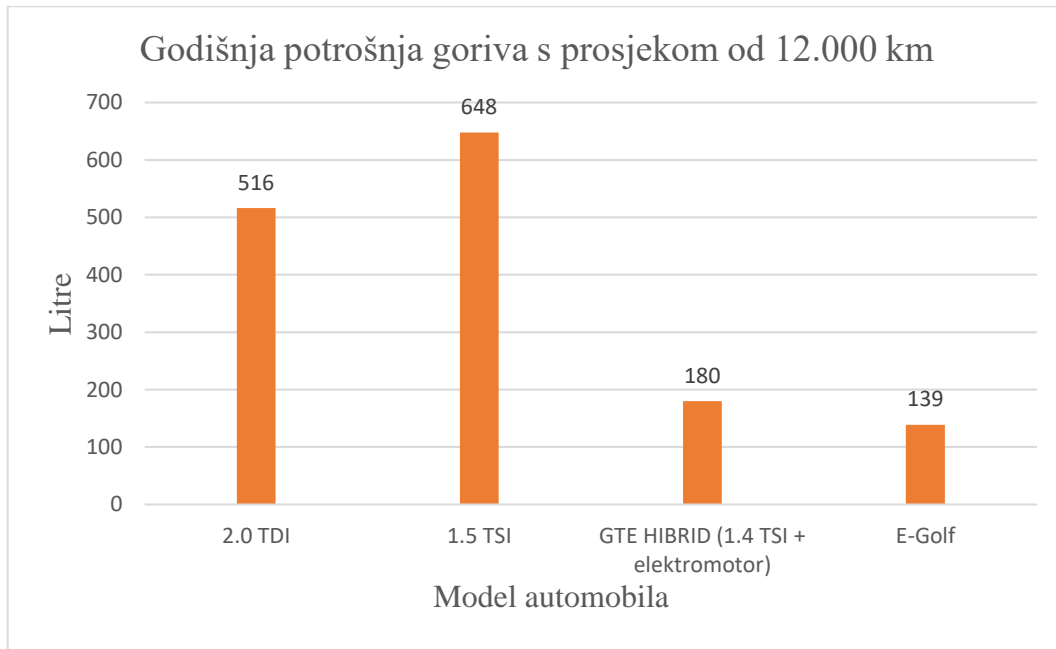
Slika 5.7. Salonska cijena novog vozila 2020. godine bez subvencija



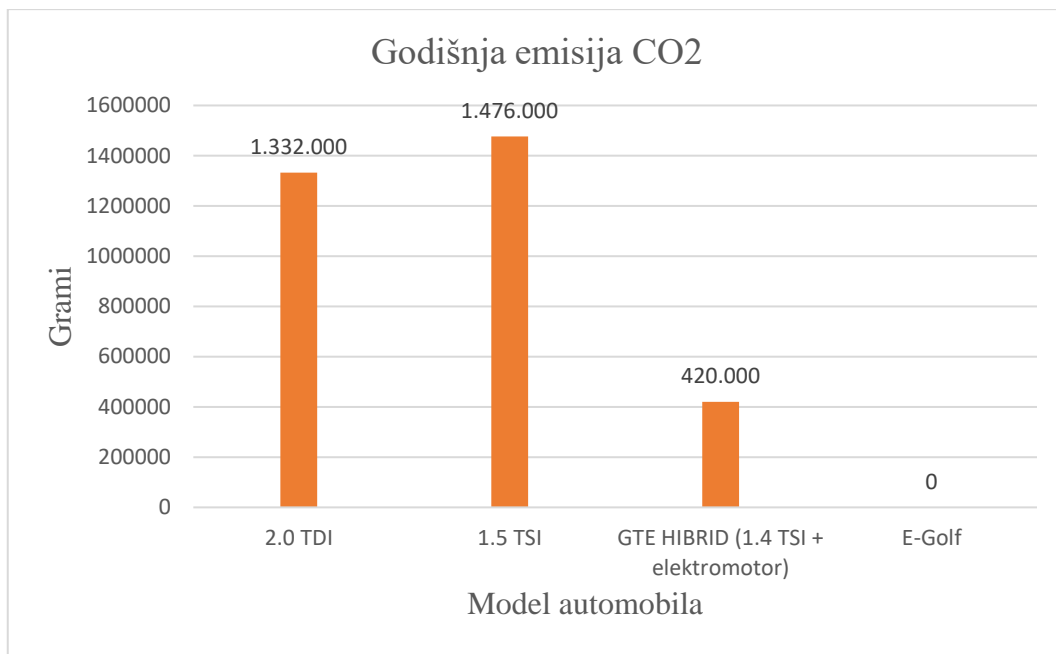
Slika 5.8. Ukupna cijena posjedovanja vozila u periodu od 10 godina (uračunajući i subvencije)



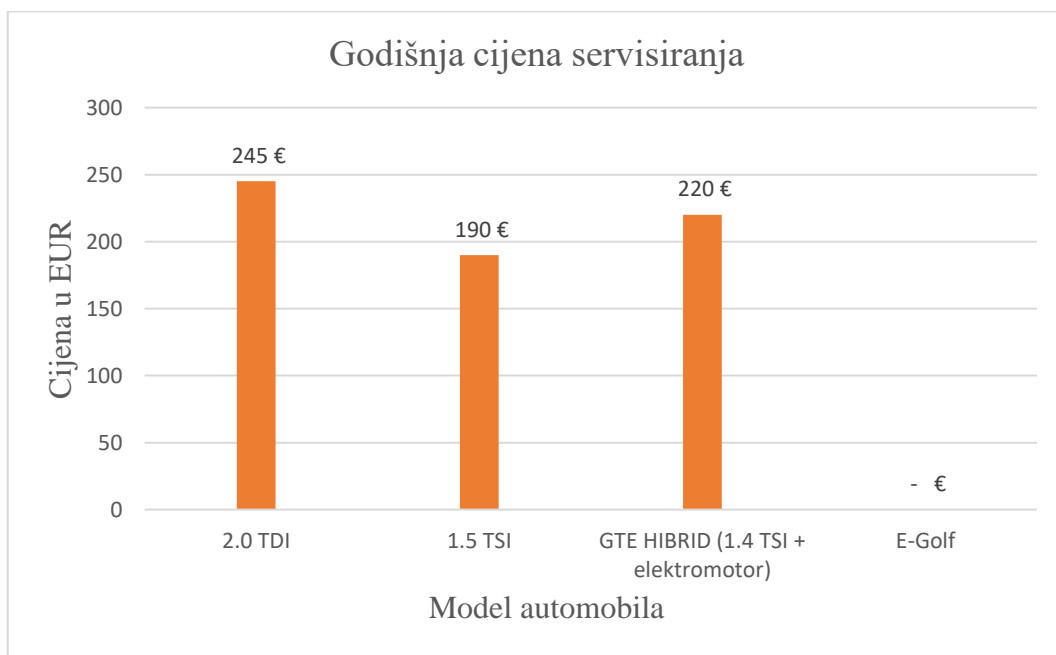
*Slika 5.9. Domet vozila s jednim punjenjem*



*Slika 5.10. Godišnja potrošnja goriva s prosjekom od 12.000 km*



*Slika 5.11. Godišnja emisija CO<sub>2</sub>*



*Slika 5.12. Godišnja cijena servisiranja*

## 6. ZAKLJUČAK

Usporedimo li navedene modele automobila, zanemariivši troškove tehničkih pregleda, poreza na cestovna motorna vozila i cestarine koji su približno jednaki za sve navedene modele automobila zbog sličnih snaga, možemo zaključiti kako je električni VW E-Golf u promatranom razdoblju pokazao najbolje rezultate što se tiče ekonomičnosti i zagađenja okoliša. Kao i sva električna vozila, E-Golf svojom vožnjom ne ispušta ugljični dioksid u atmosferu, zbog toga što u njegovom motoru nema nikakvog oblika sagorijevanja. Iako mu je ukupna cijena (kupnja i održavanje) malo veća od modela s 2.0 TDI motorom ( E-Golf je skuplji za 11,36%) i 1.5 TSI motorom (E-Golf je skuplji za 12,14%), subvencionirani VW E-Golf jeftiniji je od Golfa GTE za 4,55%. Potrebno mu je minimalno održavanje čime su smanjeni dodatni troškovi koje imaju ostali modeli. E-Golf ne ostavlja nakon servisa mnogo otpada – samo kočionu tekućinu, dok ostali modeli u 10 godina promijene sveukupno preko 40 filtera i oko 45 litara starog ulja koje je potrebno sortirati i reciklirati za ponovnu upotrebu. Mane električnih automobila su domet koji je kod E-Golfa u idealnim uvjetima 190 kilometara (što pojedinim kupcima igra veliku ulogu zbog čestih stajanja na putovanju), i same baterije koje imaju određeni životni vijek, te ih je nakon toga potrebno kompletno zamijeniti, a same koštaju 50-70% ukupne cijene vozila. Kapacitet baterija smanjuje se sa korištenjem, pogotovo nepravilnim korištenjem kao što je pražnjenje do 0% te prepunjanje, te im šteti i često korištenje brzih punjača.

Benzinski 1.5 TSI i dizelski 2.0 TDI automobili, kada se uračuna svo održavanje i potrošnja goriva, dolaze na približno istu cijenu – manje od 300 EUR cjenovne razlike, međutim s ekološke strane gledano, dizel 2.0 TDI motor ispusti u prosijeku 10% manje ugljikovog dioksida CO<sub>2</sub> u atmosferu zbog svoje niže prosječne potrošnje goriva.

Što se tiče hibridne verzije VW Golfa VII, koja je kada se uračuna i održavanje 4.55% skuplja od potpuno električnog vozila, ima najmanje ispuštenog CO<sub>2</sub> nakon električnog auta – 71,55% manje od 1.5 TSI benzina. Prednost nad električnim vozilom je sam domet, odnosno automobil nakon što potroši svu električnu energiju iz baterije počne voziti na MSUI, a nakon pražnjenja spremnika goriva, moguće ga je napuniti mnogo brže nego bateriju E-Golfa.

U današnje vrijeme imamo česte promjene zakona koji se vezuju uz razne značajke automobila kao što su na primjer emisije ispušnih plinova. Takve izmjene zakona usmjeravaju proizvođače na prerade svojih vozila. Sami proizvođači već godinama sve više razvijaju električne modele automobila, sa ciljem pronalaska idealne baterije s kojom se može prijeći što veći broj kilometara bez velikih gubitaka njenog kapaciteta. Uz električne automobile, ostalim modelima s MSUI izgaranjem trude se smanjiti radni volumen motora, samu potrošnju goriva, masu vozila, te broj cilindara i dijelova u motorima sa ciljem očuvanja okoliša.

## 7. POPIS LITERATURE

- [1] L. Kopajtić, M. Deželjin: „Utjecaj automobilske industrije na okoliš”, Zaštita okoliša 2022.
- [2] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Portal hrvatske tehničke baštine <https://tehnika.lzmk.hr/zaprezna-vozila/> ; 22.4.2023.
- [3] Mercedes-Benz: „The first automobile”; <https://group.mercedes-benz.com/company/tradition/company-history/1885-1886.html> ; 22.4.2023.
- [4] Reese Counts: „1886 Benz Patent Motorwagen First Drive Review”; <https://www.edmunds.com/car-news/1886-benz-patent-motorwagen-first-drive-review.html> ; 22.4.2023.
- [5] Bertha Benz Memorial Route; <http://www.bertha-benz.de/indexen.php?inhalt=home> ; 22.4.2023.
- [6] Ford: The moving assembly line and five-dollar; <https://corporate.ford.com/articles/history/moving-assembly-line.html>; 23.4.2023.
- [7] Brausen auto: Braking system and the history of it; <https://brausenauto.com/a-brief-history-of-braking-systems/#:~:text=In%201918%2C%20Malcolm%20Loughead%20invented,were%20incorporating%20hydraulic%20braking%20systems> ; 29.4.2023.
- [8] A Brief History of the Automatic Transmission; <https://www.mistertransmission.com/a-brief-history-of-the-automatic-transmission/> ; 29.4.2023.
- [9] Massimo Guarnieri: Looking back to electric cars <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6487583> ; 29.4.2023.
- [10] La Voix du Nord: Paul Pouchain <https://www.lavoixdunord.fr/853660/article/2020-08-20/paul-pouchain-cet-armentierois-qui-invente-la-premiere-voiture-electrique-en> ; 29.4.2023.
- [11] Porsche: Gamechanger: how Ferdinand Porsche designed the first-ever hybrid car <https://www.porsche.com/stories/innovation/gamechanger-how-ferdinand-porsche-designed-first-hybrid-car> ; 29.4.2023.

- [12] Autoservicepraxis: „Der Fall Porsche "P1": Stunde der Gutachter”  
<https://www.autoservicepraxis.de/automobile/artikel/der-fall-porsche-p1-stunde-der-gutachter-2501006> ; 29.4.2023.
- [13] Motortrend: „Prof. Ferdinand Porsche created the first hybrid car - Semper Vivus”  
<https://www.motortrend.com/news/epcp-1104-prof-ferdinand-porsche-first-hybrid-car-semper-vivus/> ; 29.4.2023.
- [14] Mercedes: „February 1936. the diesel engine celebrates its premiere in the passenger car”  
<https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/en/instance/ko/February-1936-the-diesel-engine-celebrates-its-premiere-in-the-passenger-car.xhtml?oid=9915149#prevId=7408522> ; 10.5.2023.
- [15] Peter Brimblecombe: „Arie Jan Haagen-Smit and the history of smog”, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, ECG Bulletin January 2012
- [16] United States Environmental Protection Agency: „Timeline of Major Accomplishments in Transportation, Air Pollution, and Climate Change” ; <https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change/timeline-major-accomplishments-transportation-air> ; 10.5.2023.
- [17] Autoservis Crnaić: „Mali i veliki servis auta – sve što trebate znati” ;  
<https://crnaic.hr/savjeti/mali-i-veliki-servis-auta/> ; 10.5.2023.
- [18] Vladimir Grujić, Mojvolan.com: „Sve o velikom servisu – kada se radi i zašto je važan” ;  
<https://www.mojvolan.com/sve-o-velikom-servisu-kada-se-radi-i-zasto-je-vazan/> ; 10.5.2023.
- [19] Poslovni dnevnik, Ivan Tominac: „Inovativnom tehnologijom recikliraju čak 98 posto automobila” ; <https://www.poslovni.hr/sci-tech/inovativnom-tehnologijom-recikliraju-cak-98-posto-automobila-353550> ; 10.5.2023.
- [20] prof. dr. sc. Tomislav Senčić: Toplinski strojevi i uređaji, 9. predavanje Klipni motori s unutarnjim izgaranjem; 2023.
- [21] prof. dr. sc. Anica Trp: Termodinamika 1, 11. predavanje Procesi s unutarnjim izgaranjem
- [22] M. Stojkov<sup>1,\*</sup>, D. Gašparović<sup>2</sup>, D. Pelin<sup>3</sup>, H. Glavaš<sup>3</sup>, K. Hornung<sup>4</sup>, N. Mikulandra<sup>5</sup>: Električni automobil - povijest razvoja i sastavni dijelovi, Electric Car - history and components
- [23] European Environment Agency: Electric vehicles in Europe, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016.



- [24] Volkswagen Newsroom: Innovation pure: Golf VII – since 2012; <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/40-years-of-golf-2666/innovation-pure-golf-vii-since-2012-2712> ; 18.5.2023.
- [25] Volkswagen AG: „The Glorious Seven” ; <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/10/the-glorious-seven.html> ; 18.5.2023
- [26] Republika Hrvatska, Ministarstvo financija, Carinska uprava: Prodajne cijene vozila AUDI, PORSCHE, SEAT, ŠKODA, VOLKSWAGEN 30.11.2020. ; <https://carina.gov.hr/2020/8636?trazi=1&=&page=3> ; 18.5.2023.
- [27] Autodata.net: 2017 Volkswagen Golf VII (facelift 2017) 2.0 TDI (150 Hp); <https://www.auto-data.net/en/volkswagen-golf-vii-facelift-2017-2.0-tdi-150hp-27723> ; 18.5.2023.
- [28] Autodata.net: 2017 Volkswagen Golf VII (facelift 2017) 1.5 TSI ACT (150 Hp); <https://www.auto-data.net/en/volkswagen-golf-vii-facelift-2017-1.5-tsi-act-150hp-36005> ; 18.5.2023.
- [29] Autodata.net: 2014 Volkswagen Golf VII (5-door) e-Golf 24.2 kWh (115 Hp); <https://www.auto-data.net/en/volkswagen-golf-vii-5-door-e-golf-24.2-kwh-115hp-44054> ;18.5.2023.
- [30] Autodata.net: Volkswagen Golf VII GTE 1.4 TSI (204 Hp) Plug-in Hybrid ; <https://www.autodata1.com/en/car/volkswagen/golf/golf-vii-gte-14-tsi-204-hp-plug-in-hybrid-dsg> ; 18.5.2023.
- [31] Neostar Hrvatska: Cijene usluga; <https://www.neostar.com/portal/service/index/home> ; 18.5.2023.
- [32] Volkswagen Austria: Elektroauto Service ; <https://www.volkswagen.at/service-zubehoer/volkswagen-service/elektroautos-in-der-werkstatt> ; 31.5.2023.
- [33] My Motorlist: Engine Volkswagen <https://mymotorlist.com/engines/volkswagen/ea288/dcxa/>; 31.5.2023.
- [34] Wards Auto: VW Working Toward U.S. Launch of Upgraded 1.5L TSI 4-Cyl. ; <https://www.wardsauto.com/engines/vw-working-toward-us-launch-upgraded-15l-tsi-4-cyl> ; 31.5.2023.

[35] Volkswagen Newsroom: Volkswagen Golf GTE; <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/images/detail/volkswagen-golf-gte-34262> ; 31.5.2023.

[36] Car magazine: VW e-Golf (2014) review; <https://www.carmagazine.co.uk/car-reviews/volkswagen/vw-e-golf-2014-review/> ; 31.5.2023.

[37] Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost - Sufinanciranje nabave energetski učinkovitijih vozila; <https://www.fzoeu.hr/hr/sufinanciranje-nabave-energetski-ucinkovitijih-vozila/7713> ; 4.6.2023.

## 8. POPIS SLIKA

Slika 1.1. Ukupna CO <sub>2</sub> emisija u svijetu .....	1
Slika 2.1. Zaprežna kola .....	3
Slika 2.2. Benz Patent-Motorwagen – prvi automobil .....	4
Slika 2.3. Motor prvog automobila .....	5
Slika 2.4. Memorijalna ruta Berthe Benz .....	6
Slika 2.5. Električni automobil Paula Pouchaina .....	8
Slika 2.6. Gaston de Chasseloup-Laubat i njegova žena Camille Jenatzy na paradi pobjede nakon postavljanja rekorda .....	9
Slika 2.7. Porscheov prvi automobil Egger-Lohner C.2 Phaeton bio je električan .....	10
Slika 2.8. Semper Vivus (hrv. zauvijek živ) – prvi hibridni automobil .....	11
Slika 2.9. Elektromotori u glavčinama kotača na „Semper Vivus“ .....	11
Slika 2.10. Porsche Cayenne S Hybrid iz 2010. godine .....	12
Slika 2.11. Mercedes Benz 260 D .....	13
Slika 3.1. Efekt staklenika .....	17
Slika 3.2. Ispuštanje starog ulja iz motora kao dio malog servisa .....	19
Slika 3.3. Posljednja faza odvajanja dijelova automobila za reciklažu .....	21
Slika 4.1. Model jednostavnog motora s unutarnjim izgaranjem .....	22
Slika 4.2. Četiri faze četverotaktnih motora .....	24
Slika 4.3. Rad dvotaktnih motora .....	25
Slika 4.4. Ottov proces u pV i Ts dijagramu .....	26
Slika 4.5. Sabatheov kružni proces u pV i Ts dijagramima .....	27
Slika 4.6. Komponente plug-in hibridnih automobila .....	29
Slika 5.1. Volkswagen Golf VII .....	30
Slika 5.2. Inovativne značajke Golfa VII .....	31
Slika 5.3. Volkswagenov dizelski motor 2.0 TDI .....	32
Slika 5.4. VW 1.5 TSI benzinski motor .....	34

Slika 5.5. Motorni prostor Golfa VII GTE .....	36
Slika 5.6. Elektromotor i baterije u e-Golfu .....	39
Slika 5.7. Salonska cijena novog vozila 2020. godine bez subvencija .....	43
Slika 5.8. Ukupna cijena posjedovanja vozila u periodu od 10 godina (uračunajući i subvencije) .....	43
Slika 5.9. Domet vozila s jednim punjenjem .....	44
Slika 5.10. Godišnja potrošnja goriva s prosjekom od 12.000 km.....	44
Slika 5.11. Godišnja emisija CO <sub>2</sub> .....	45
Slika 5.12. Godišnja cijena servisiranja .....	45

## **9. POPIS TABLICA**

Tablica 5.1. Održavanje 2.0 TDI motora .....	33
Tablica 5.2. Održavanje 1.5 TSI motora .....	35
Tablica 5.3. Održavanje hibridnog motora.....	37
Tablica 5.4. Održavanje elektromotora .....	40
Tablica 5.5. Sveukupni rezultati usporedbe .....	42

## SAŽETAK

Današnji život teško je zamisliti bez prijevoznih sredstava, ponajviše cestovnih vozila i automobila. Na globalnoj razini svaka šesta osoba posjeduje automobil, dok u Hrvatskoj kada podijelimo broj automobila i ljudi dobivamo podatak da svaka druga osoba u svom vlasništvu ima jedan automobil.

U radu se analizira povijesni razvoj automobila – od izuma prvog automobila te prvog duljeg putovanja istim do razvoja drugih varijanti pogonskih motora. Nakon predočavanja principa rada pojedinih vrsta motora korištenih u automobilima razmatra se utjecaj raznih varijanti pogonskih motora i goriva korištenih za njihov rad na okoliš i zdravlje pojedinaca, te stvaranje i zbrinjavanje otpada nastalog servisiranjem i održavanjem automobila. Kao primjer automobila za usporedbu parametara poput nabavne cijene, održavanja, punjenja, potrošnje i zagađenja korišten je Volkswagen Golf VII koji je proizveden u svim varijantama pogona: kao dizelski, benzinski, hibridni te električni automobil. Nakon iskazanih prednosti i nedostataka iznesena je zaključno najisplativija i najekonomičnija pogonska varijanta.

**KLJUČNE RIJEČI:** automobil, dizel, benzin, elektromotor, hibrid, potrošnja goriva, emisije CO<sub>2</sub>, Ottov proces, Sabatheov proces, VW Golf VII, subvencija

## **ABSTRACT**

It is hard to imagine today's life without any kind of transportation, mostly road vehicles and cars. On a global scale, every sixth person owns a car, while in Croatia when we divide the number of cars with the number of people we get an information that every second person owns one car.

The following text analyzes the historical development of cars - from the invention of the first car and the first long journey trip in it to the development of other variants of engines. After presenting the principles of operation of certain types of engines used in cars, we consider the influence of various types of engines and fuel used for their operation on the environment and the health of individuals, as well as the creation and disposal of waste generated by car servicing and maintenance. The Volkswagen Golf VII was used as an example of a car for comparing parameters such as purchase price, maintenance, fueling up, consumption and pollution, which was produced in all engine variations: as a diesel, petrol, hybrid and electric car. After the stated advantages and disadvantages, the most cost-effective and economical drive variant was finally presented.

**KEY WORDS:** car, diesel, benzin, electromotor, hybrid, fuel efficiency, CO<sub>2</sub> emissions, Otto process, Sabathe process, VW Golf VII, subvention

## 10. POPIS KRATICA

VW – Volkswagen

TDI – eng. Turbocharged Direct Injection

TSI – eng. Turbocharged Stratified Injection

Kg – kilogram

DSG – eng. Direct Shift Gearbox

MSUI – motor s unutarnjim izgaranjem

SAD – Sjedinjene Američke Države

EPA – agencija za zaštitu okoliša SAD-a (eng. Environmental Protection Agency)

EGR – ventil za recirkulaciju ispušnih plinova (eng. Exhaust Gas Recirculation)

kW – kilovat

Nm – newton metar