

# Usporedba potrošnje goriva i emisija automobila

---

Lacković, Nikola

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:190:467023>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**USPOREDBA POTROŠNJE GORIVA I EMISIJA AUTOMOBILA**

Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Senčić

Rijeka, srpanj 2024.

Nikola Lacković  
0069083692

Ja, Nikola Lacković, student Tehničkog fakulteta u Rijeci, broj indeksa 0069083692, ovim putem potvrđujem da sam završni rad pod naslovom "Usporedba potrošnje goriva i emisija automobila" izradio/la samostalno.

Sve informacije i ideje koje su preuzete iz literature ili drugih izvora su pravilno citirane i navedene u popisu literature, u skladu sa akademskim standardima i etičkim normama.

---

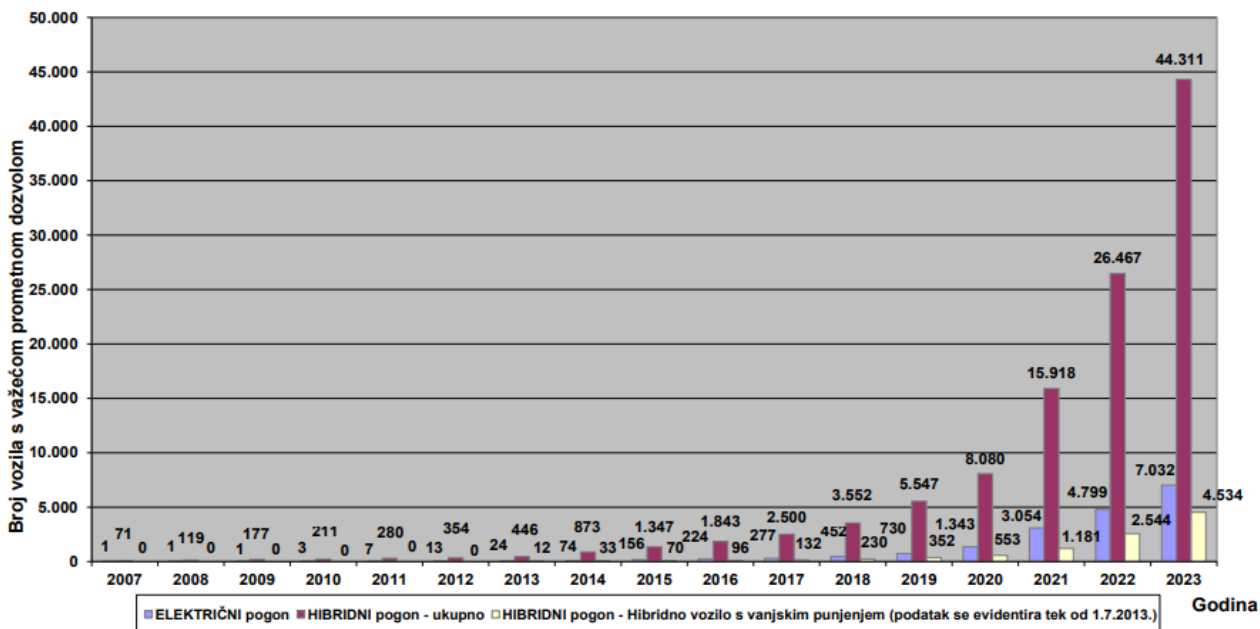
Potpis studenta

# SADRŽAJ

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| SADRŽAJ .....                            | 5  |
| 1. UVOD .....                            | 6  |
| 2. POGONSKI SUSTAVI VW GOLF-A .....      | 8  |
| 3. ADVISOR SOFTWARE.....                 | 12 |
| 3.1 Sučelje .....                        | 13 |
| 4. SIMULACIJE.....                       | 15 |
| 4.1 Gradska dionica.....                 | 16 |
| 4.2 Međugradska dionica .....            | 19 |
| 5. UTJECAJNI FAKTORI.....                | 22 |
| 5.1 Zagrijanost motora .....             | 22 |
| 5.2 Sustav obrade ispušnih plinova ..... | 24 |
| 5.3 Sustav prijenosa snage .....         | 25 |
| 6. ZAKLJUČAK .....                       | 26 |
| 7. LITERATURA.....                       | 27 |
| 8. SAŽETAK.....                          | 28 |
| 9. ABSTRACT .....                        | 29 |

# 1. UVOD

Automobili su u posljednjih stotinjak godina postali dio svakodnevnice milijuna ljudi diljem svijeta omogućujući im mobilnost kako na kratkim gradskim relacijama tako i na dužim putovanjima. S povećanjem broja automobila na cestama i sve većom sviješću o ekološkim pitanjima pitanje potrošnje goriva i emisija štetnih plinova postaje sve važnije. Unatoč značajnom rastu broja registriranih automobila na električni i hibridni pogon posljednjih godina, vidljivom na slici 1.1, takvi automobili su i dalje veoma rijetki na cestama u usporedbi s onima na benzinski i dizelski pogon [1].



Slika 1.1. Broj registriranih električnih i hibridnih vozila u RH

Prema podacima Centra za vozila Hrvatske za 2023. godinu udio registriranih hibridnih i električnih automobila iznosi manje od 2,5%, dok udio automobila na benzinski i dizelski pogon iznosi preko 38% odnosno gotovo 56% u slučaju dizelskih automobila [1]. Podaci o registriranim osobnim automobilima su prikazani u Tablici 1.1

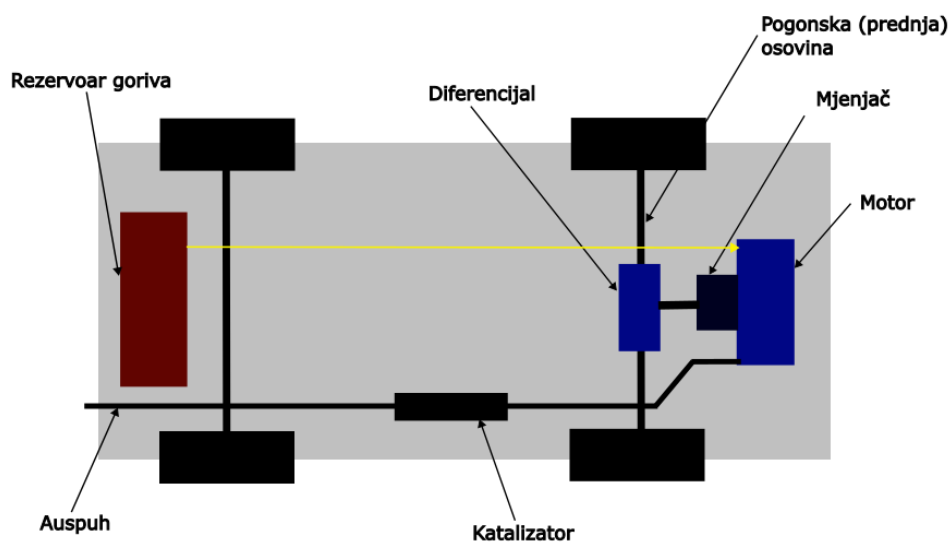
Tablica 1.1. Broj registriranih osobnih automobila u RH prema vrsti pogona

| Benzin  | Benzin-LPG | Benzin-NG | Diesel    | El. energija | Hibrid | Hibrid s vanjskim punjenjem |           |
|---------|------------|-----------|-----------|--------------|--------|-----------------------------|-----------|
| 721.788 | 58.174     | 280       | 1.053.206 | 7.032        | 39.777 | 4.534                       | 1.884.791 |
| 38,30%  | 3,09%      | 0,01%     | 55,88%    | 0,37%        | 2,11%  | 0,24%                       | 100%      |

Kao posljedica strožih ekoloških zahtjeva i sve veće dostupnosti i padu cijena baterija brojni proizvođači ulažu u razvoj hibridnih i električnih motora za svoje automobile. Elektrifikacija i razvoj računala doveli su i do veoma brzog razvoja naprednog sustava pomoći vozaču (ADAS) što uključuje upozorenja od potencijalnih sudara, upozorenja o napuštanju prometne trake, senzore parkiranja i mnoge druge sustave pomoći. Daljnjim unaprjeđenjem ADAS sustava dolazimo do potpune autonomnosti vozila koja još nije u primjeni, ali se u narednim godinama očekuju prvi potpuno autonomni automobili namijenjeni široj javnosti [2]. Usporedno s razvojem električnih automobila imamo i razvoj automobila na alternativna goriva. Najčešće korištena alternativna goriva su biogoriva koja u potpunosti mogu zamijeniti benzin i dizel bez potrebnih modifikacija motora. Rjeđe vidimo automobile pogonjene vodikovim gorivim ćelijama koji koriste vodik za proizvodnju električne energije, a kao produkt korištenja vodika imamo običnu vodu. Glavni problemi automobila pogonjenih fosilnim gorivom su neizbježne emisije stakleničkih plinova koje za posljedicu imaju porast globalne temperature i zagađenje zraka. Trend prestanka korištenja dizelskih i benzinskih motora i prelazak na vozila na električni pogon je usporen zbog problema koji prate električne automobile. Naime trenutne baterije još uvijek imaju relativno mali kapacitet, veliku masu i sporo punjenje. Uz sporo punjenje sama infrastruktura za punjenje nije dovoljno razvijena što dodatno usporava rast broja vozila na električni pogon. Cilj ovog rada je usporediti različite pogone automobila VW Golf te izvršiti usporedbu potrošnje goriva i emisije ispušnih plinova na gradskoj i međugradskoj dionici. Pri tome ćemo obratiti pozornost na utjecaj raznih faktora koji potencijalno utječu na potrošnju goriva i količinu ispušnih plinova.

## 2. POGONSKI SUSTAVI VW GOLF-A

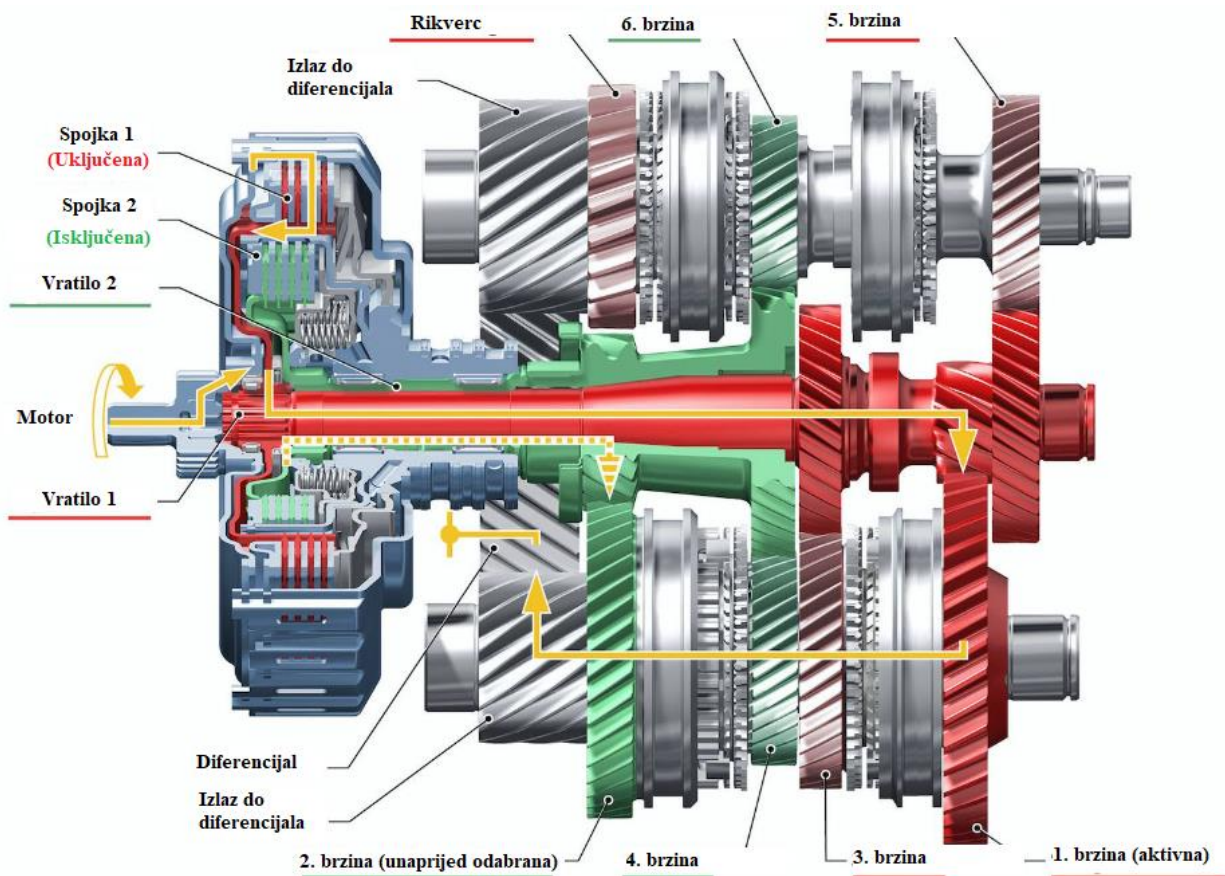
VW Golf je jedan od najpopularnijih automobila u Hrvatskoj i u svijetu. Predstavljen je 1974. godine i od tada do danas se proizvodio u 8 generacija. Većina VW Golf automobila ima pogon na prednje kotače. Tijekom povijesti samo nekoliko modela je dolazilo pogonom na sva 4 kotača, najpoznatiji od njih je Golf R koji koristi 4MOTION sustav pogona. Kroz svojih osam generacija VW je predstavio razne pogonske sustave. Počevši od standardnih dizelskih i benzinskih motora skromne snage pa sve do suvremenih motora, visoke učinkovitosti i niskih CO<sub>2</sub> emisija, i razvojem hibridnih i električnih pogona. VW je u prvoj generaciji Golfa nudio 4 motora, najslabiji je bio benzinski 1,1 koji je razvijao snagu od 50 KS, dok je najsnažniji benzinski motor bio četverocilindrični 1,5 snage 70 KS, također je u ponudi bio i dizelski 1,6 snage 54 KS [3]. Razvojem tehnologije i potrebe za snažnijim i pouzdanijim motorom dolazimo do jednog od najpopularnijih dizelskih motora koje je VW proizvodio, a to je 1,9 TDI, shematski prikazan na slici 2.1. Ovaj motor razvijen je krajem 1990-ih godina. Koristi turbo-dizelsku tehnologiju odnosno turbo punjač koji koristi ispušne plinove za pogon kompresora. Kompresor služi za povećavanje količine zraka koji ulazi u motor i time omogućuje bolje izgaranje goriva, veću snagu i učinkovitost. Da bi se dodatno povećala učinkovitost i snaga koristimo i hladnjak (eng. intercooler) koji hladi zrak prije ulaska u motor. Kao i gotovo svi VW motori i ovaj koristi direktno ubrizgavanje (eng. direct injection) goriva u cilindar. Posljedica direktnog ubrizgavanja goriva je bolje raspršenje i sagorijevanje goriva, niže emisije ugljikovih spojeva i preciznije upravljanje izgaranjem u odnosu na druge sustave ubrizgavanja goriva.



Slika 2.1. Shematski prikaz pogonskog automobila s konvencionalnim pogonom

Postoji nekoliko verzija 1,9 TDI motora koji se razlikuju po snazi. Tako osnovna, najslabija verzija, koja je ujedno i jedna od najpopularnijih, je ona sa 90 KS i okretnim momentom od 210 Nm. Najsnaznija verzija je imala 150 KS i 320 Nm okretnog momenta [3]. Uz nisku potrošnju goriva i relativno niske emisije CO<sub>2</sub> bio je čest izbor kupaca. Za kombiniranu vožnju potrošnja iznosi od 4,9 l/100km do 5,5 l/100km, dok su emisije CO<sub>2</sub> bile u rasponu od 130 do 150 g/km, ovisno o verziji i snazi motora. Za prijenos snage motora na kotače najčešće se koristio 5-stupanjski ručni prijenos. U verzijama Golfa V i VI bio je dostupan i 6-stupanjski ručni mjenjač. Dodatni stupanj prijenosa je donio nižu potrošnju goriva pri većim brzinama i bolje iskorištavanje snage i momenta motora pri nižim brzinama. Uz ručni mjenjač u upotrebi su bili i tiptronic automatski mjenjači sa četiri, u slučaju Golfa IV, te opcije s 5 i 6 brzina za Golf IV i V. 1,9 TDI zajedno sa brojnim drugim motorima bio je dio "Dieselgate" skandala ("Volkswagen emissions scandal"). Otkriven je 2015. godine i uključivao je manipulaciju emisijama u svrhu zadovoljavanja strogih standarda. VW je ugradio software koji je prepoznao kada se vršilo testiranje na automobilu i prilagodio rad motora za smanjenje emisija dušikovih oksida. Posljedice "Dieselgate" skandala su bile povlačenje velikog broja VW automobila, isplate višemilijunskih kazni i kompenzacija kupcima te pad vrijednosti i reputacije VW grupacije [4]. Unatoč tome afera je donijela i pozitivne promjene u automobilsku industriju kao što su pojačan nadzor i regulacije nad emisijama vozila, povećana svijest o emisijama štetnih plinova iz automobila. "Dieselgate" je također doveo do veće investiranja u razvoj motora sa nižim emisijama stakleničkih plinova te razvoju hibridnih i električnih motora kao alternative dizelskim i benzinskim motorima. VW je nastavio razvijati motore s unutrašnjim izgaranjem te je razvio još efikasnije i ekološki prihvatljivije motore. Jedan od takvih je i 1,4 TSI motor. To je turbo benzinski motor s direktnim ubrizgavanjem. Prvi Golf u koji je bio ugrađen bio je Golf 6. generacije te se nastavio koristiti i u Golfu 7. generacije. Postoji nekoliko različitih verzija tog motora čija snaga varira od 122 do 160 KS, dok je okretni moment između 200 i 250 Nm. Prema navodima proizvođača CO<sub>2</sub> emisije iznose između 116 i 139 g/km. Deklarirana potrošnja goriva je između 6,5 i 8 litara na 100 kilometara u gradskoj vožnji, na otvorenoj cesti se potrošnja spušta na 4,3 do 5,5 l/100km što ga čini vrlo ekonomičnim za vožnju u svim uvjetima. Prijenos snage se vrši pomoću ručnog mjenjača sa 6 brzina ili automatskog DSG mjenjača sa 7 brzina. DSG punog naziva "Direct-Shift Gearbox" često nazvan i "dual-clutch" mjenjač vrsta je automatskog mjenjača koji, kao što mu i sam naziv govori, se sastoji od dvije spojke i dva vratila prikazanom na slici 2.2.

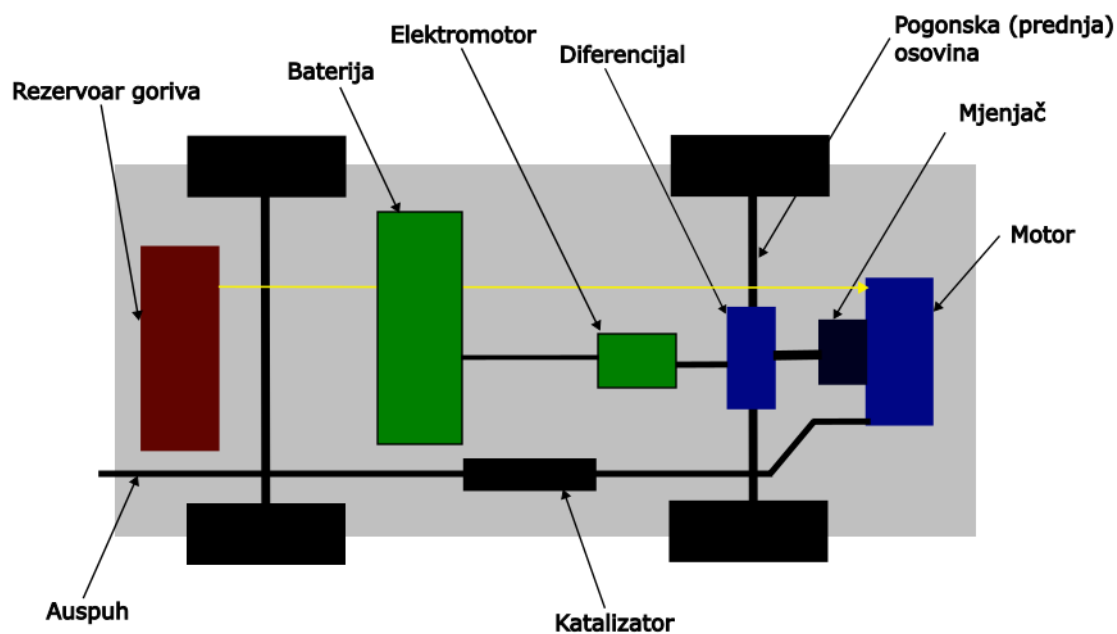




Slika 2.2. Prikaz DSG mjenjača

Jedna spojka je zadužena za se koristi za neparne brzine dok se druga koristi samo za parne brzine. Dva vratila su spojena na zajedničko vratilo koje prenosi snagu diferencijalu. Na slici 2.2 vidimo primjer DSG mjenjača kada je vozilo u prvoj brzini [5]. U ovom trenutku druga brzina je unaprijed odabrana, no zbog položaja spojki, spojka 1 je uključena dok je spojka 2 isključena, snaga se prenosi preko vratila i spojke 1. Zbog unaprijed odabranog sljedećeg stupnja prijenosa za promjena brzine se obavlja uključivanjem spojke 2 i otpuštanjem spojke 1. Na taj način imamo brzu i neprimjetnu promjenu brzine, za prijelaz iz jedne u drugu brzinu potrebno je samo 8 milisekundi. Nakon otpuštanja spojke 1 unaprijed se bira sljedeći stupanj prijenosa kako bi se nastavilo glatko i brzo mijenjanje brzina sve najviše brzine. Još jedan značajan motor koji se ugrađuje u VW Golf je i 2,0 TDI motor. To je dizelski motor koji zahvaljujući direktnom ubrizgavanju i turbopunjaču razvija snagu od 110 do 150 KS, između 300 i 360 Nm okretnog momenta uz deklariranu potrošnju goriva od 5 l/100km u gradskoj vožnji i samo 3,7-4 l prilikom vožnje autocestom. Emisije CO<sub>2</sub> su nešto niže u usporedbi s benzinskim 1,4 TSI motoru te iznose između 106 i 129 g/km. Od 2019., odnosno od početka proizvodnje Golfa

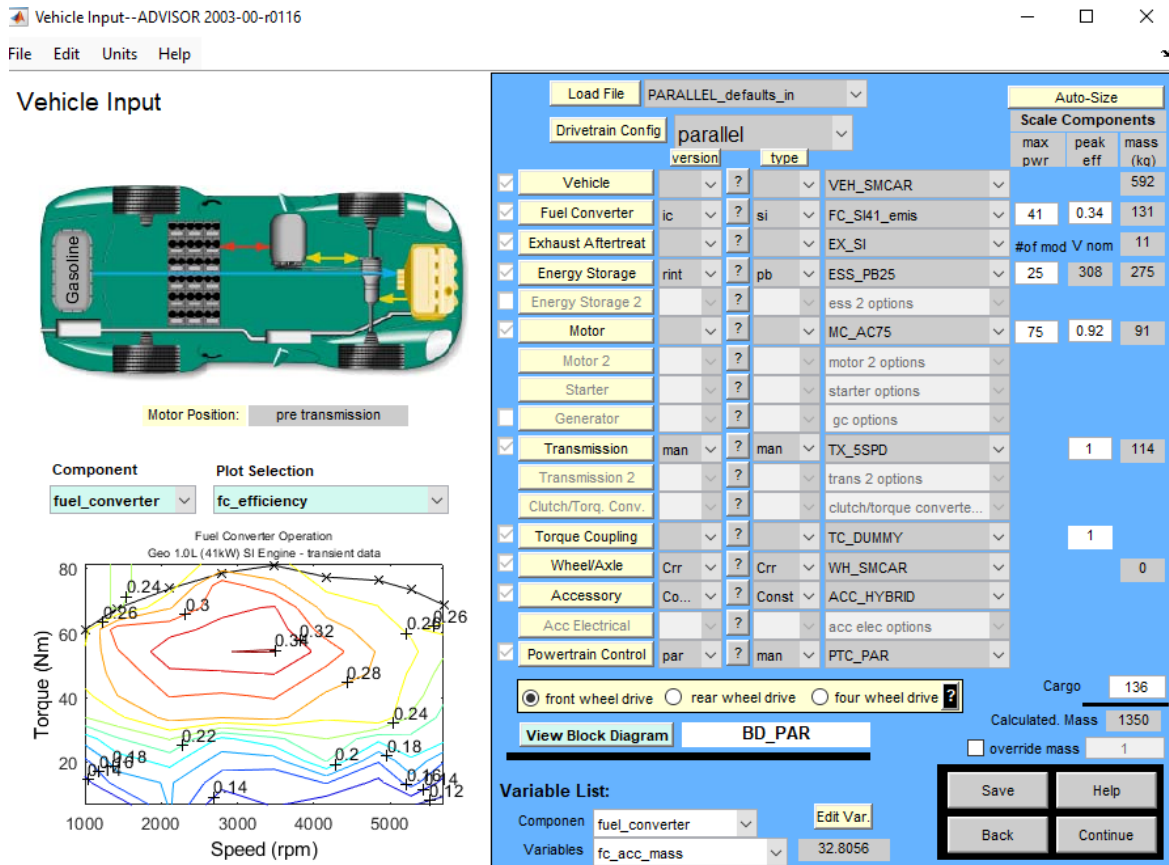
VIII, VW nudi i hibridne motore. To su benzinski motori sa 3 ili 4 cilindra zapremnine od 1 do 1,5 l koji koriste i električni motor kako bi smanjili potrošnju goriva. Koristeći električni motor potrošnja je smanjena za oko 0,4 l/100km u usporedbi s benzinskim motorima. VW nudi hibridne verzije snage od 110 do 150 KS, uz okretno momente od 200 do 250 Nm. Shematski prikaz hibridnog pogonskog sustava je prikazan na slici 2.3. Potrošnja je između 5,1 i 6,1 l/100km u gradskim sredinama i između 3,8 i 4,1 l/100km u vožnji autocestama, a CO<sub>2</sub> emisije su između 98 i 111 g/km.



Slika 2.3. Shematski prikaz pogonskog sustava hibridnog automobila

### 3. ADVISOR SOFTWARE

Simulacija potrošnje goriva napravljena je koristeći računalni software ADVISOR punog naziva "Advanced Vehicle Simulator". To je besplatan, napredni simulator vozila, skup modela, podataka i skripti za korištenje s Matlabom i Simulinkom, sučelje ADVISOR-a je vidljivo na slici 3.1. Razvoj je započeo 1994. godine od strane Nacionalnog laboratorija za obnovljive izvore energije Sjedinjenih Američkih Država (National Renewable Energy Laboratory - NREL). Dizajniran je za brzu analizu performansi i uštede goriva konvencionalnih, električnih i hibridnih vozila. ADVISOR također pruža okosnicu za detaljnu simulaciju i analizu korisnički definiranih komponenti pogonskog sklopa, početnu točku verificiranih podataka o vozilu i algoritama iz kojih se može u potpunosti iskoristiti fleksibilnost modeliranja Simulink-a i analitička snaga MATLAB-a [6]. ADVISOR koristi osnovnu fiziku i izmjerene performanse komponenti za modeliranje postojećih ili budućih vozila. ADVISOR obično predviđa potrošnju goriva, emisije iz ispušne cijevi, performanse ubrzanja i sposobnost uspona.

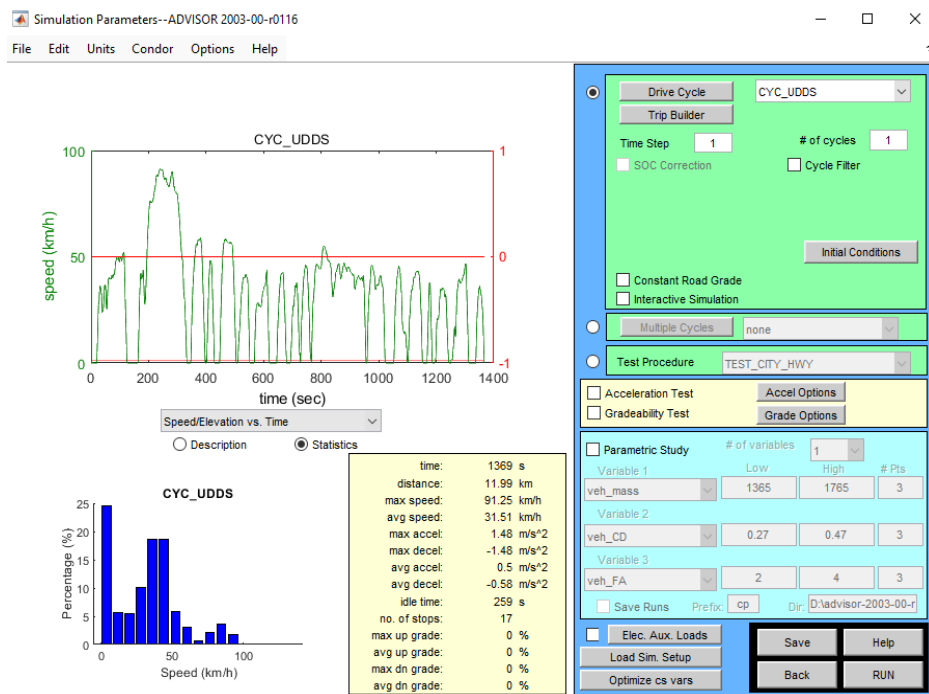


Slika 3.1. Sučelje za odabir karakteristika vozila

Korišten je modularni pristup, što omogućuje korisnicima da kombiniraju različite komponente (motore, mjenjače, baterije, odabir pogonskih kotača i mnoge druge). Podržava različite vrste vozila, uključujući i teretna vozila te autobuse, što ga čini svestranim alatom za simulacije u automobilskoj industriji.

### 3.1. Sučelje

Sučelje se sastoji od 3 osnovna prozora. U prvom prozoru prikazanom na slici 3.1. u gornjem lijevom kutu se nalazi shematski prikaz odabranog pogonskog sustava. Ispod shematskog prikaza je grafički prikaz u kojemu možemo vidjeti razne parametre pojedinih komponenti koje se odabiru iz padajućeg izbornika. Na desnoj strani se nalazi velik broj padajućih izbornika kojima definiramo vozilo. Na dnu izbornika se nalazi "Variable list" pomoću kojeg možemo detaljnije definirati parametre vozila kao što su zapremnina motora, međuosovinski razmak, koeficijent otpora i brojne druge opcije. Pritiskom na tipku "Continue" dolazimo do drugog prozora prikazanog na slici 3.2. u kojemu biramo dionicu vožnje na kojoj će se vršiti simulacija.



Slika 3.2. Prozor za odabir uvjeta vožnje u ADVISORu

Na desnoj strani iz padajućeg izbornika biramo jedan od predefiniраниh ciklusa vožnje ili dodajemo vlastiti ciklus vožnje. Također možemo definirati i početne uvjete poput temperatura zraka, motora ili katalizatora. Na lijevoj strani se nalazi grafički prikaz i informacije o odabranom ciklusu vožnje.

pritiskom na tipku "RUN" pokrećemo simulaciju i nakon kratkog vremena se otvara i treći prozor. U trećem prozoru se nalaze rezultati simulacije prikazanom na slici 3.3. Moguće je odabrati velik broj grafičkih prikaza rezultata simulacija raznih sustava vozila. S desne strane se nalazi izbornik pomoću kojeg mijenjamo grafičke prikaze, informacije o potrošnji goriva, emisije štetnih plinova i test ubrzanja.



Slika 3.3. Rezultati simulacije u ADVISORu

## 4. SIMULACIJE

Za simulaciju vožnje u različitim uvjetima odabrana su sljedeća tri motora. Benzinski 1,5 TSI koji razvija snagu od 130 KS, dizelski 2,0 TDI sa 150 KS i mild-hibrid 1,5 eTSI + električni motor koji zajedno isporučuju 150 KS. Ovi odabrani motori dolaze kao opcije u Golfu VIII generacije. Za prijenos snage odabrat ćemo ručni mjenjač sa 6 stupnjeva za benzinski, te automatski DSG sa 7 brzina za automobile s dizelskim i hibridnim motorom. U tablici 4.1 su prikazanje osnovne karakteristike pogonskih sustava koje ćemo simulirati.

Tablica 4.1. Karakteristike pogonskih sustava

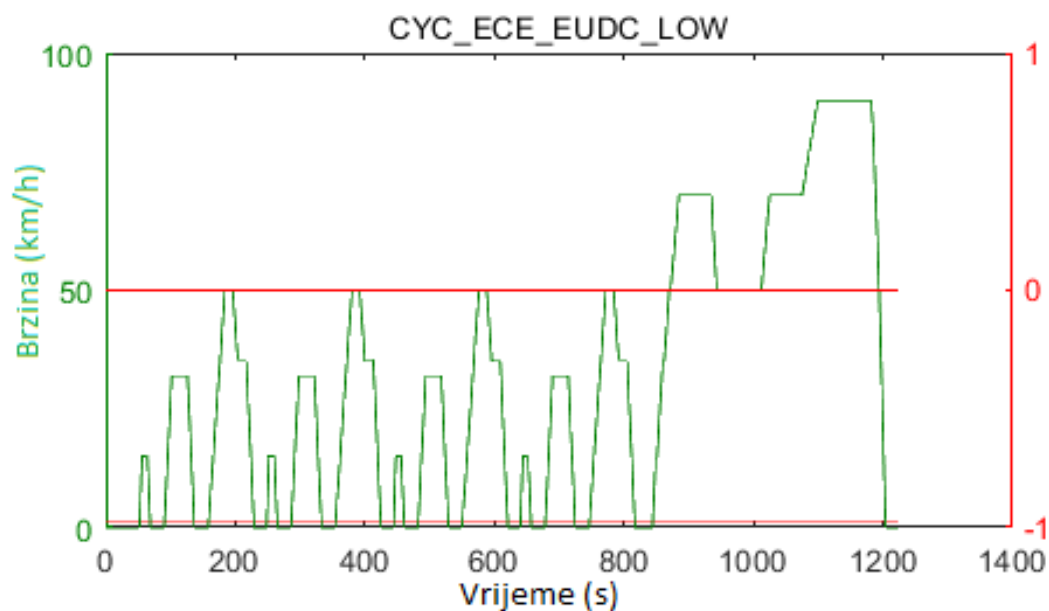
| Motor                                    | 2,0 L TDI            | 1,5 L TSI       | 1,5 L eTSI           |
|------------------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| Vrsta goriva                             | Dizel                | Benzin          | Hibrid               |
| Snaga                                    | 150KS / 110 kW       | 130KS / 96 kW   | 150 KS / 110 kW      |
| Okretni moment                           | 360 Nm               | 200 Nm          | 250 Nm               |
| Masa                                     | 1390 kg              | 1339 kg         | 1387 kg              |
| Deklarirana kombinirana potrošnja goriva | 4,5 l/100km          | 5,4 l/100km     | 4,4 l/100km          |
| Deklarirana emisija CO <sub>2</sub>      | 117 g/km             | 122 g/km        | 100 g/km             |
| Mjenjač                                  | Automatski, 7 brzina | Ručni, 6 brzina | Automatski, 7 brzina |

Pošto program ADVISOR ne računa emisije CO<sub>2</sub> potrebno ih je odrediti. Prema online kalkulatoru izgaranjem jedne litre benzina nastaje 2,32kg CO<sub>2</sub>, a izgaranjem jedne litre dizela 2,62 kg CO<sub>2</sub> [8]. Prilikom odabira parametara odabrali smo koeficijent otpora od 0,275, međuosovinski razmak od 2635 mm i odabrana je opcija "front wheel drive" za sve automobile. Prilikom odabira mjenjača umjesto automatskog sa 7 brzina odabiremo "TX\_AUTO4" i promijenimo varijablu "gb\_gears\_num" sa 4 na 5. Time dobivamo rezultate za automatski mjenjač sa 5 brzina. Zbog ograničenosti softwarea nismo u mogućnosti koristiti veći broj brzina bez promjene samog koda. Za 2,0 TDI motor odabiremo "FC\_CI67\_emis" motor te podesimo zapremninu i snagu na vrijednosti navedene u tablici. Za 1,5 TSI motor odabiremo "FC\_SI63\_emis" te podesimo parametre snage i zapremnine. Odabrani mjenjač je "TX\_5SPD\_SI" i potrebno je promijeniti varijablu "gb\_gears\_num" sa 5 na 6 kako bi dobili ručni mjenjač sa 6 brzina. Kod simulacije hibrida kao "Drivetrain config" odabiremo "Parallel", motor

identičan kao kod simulacije benzinskog motora, za "Energy storage" odabiremo "ESS\_LI7\_temp" i električni motor "MC\_AC75". Postavke mjenjača su identične kao i kod simulacije dizelskog motora.

#### 4.1. Gradska dionica

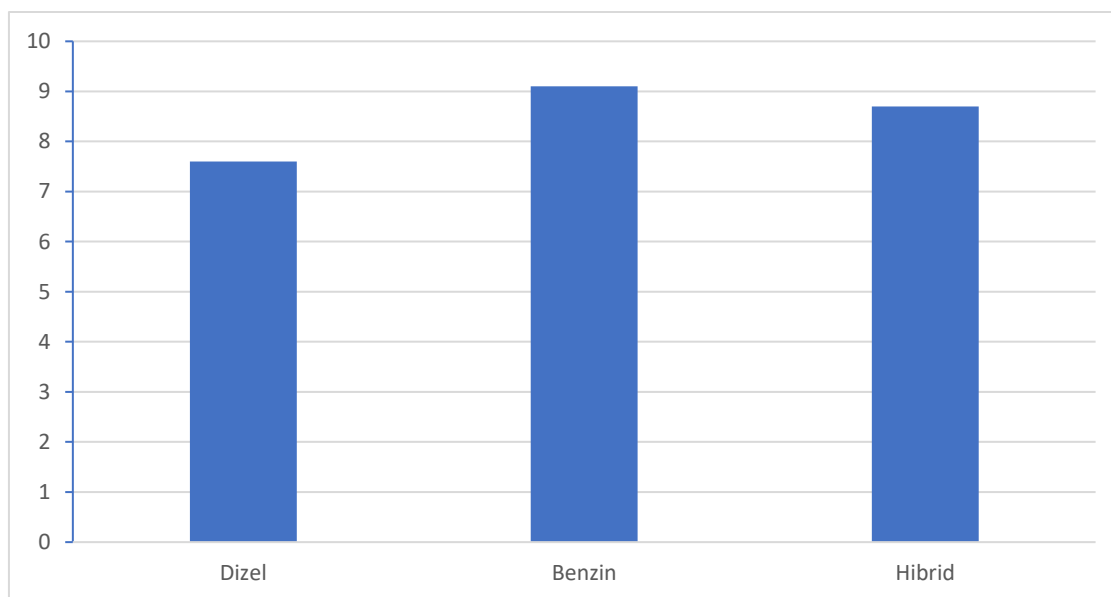
Za simulaciju gradske dionice koristili smo predložak voznog ciklusa "CYC\_ECE\_EUDC\_LOW". Profil brzina je prikazan na slici 4.1.



Slika 4.1. Profil brzine ciklusa gradske vožnje korištenom u simulacijama

Sastoji se od četiri identična ciklusa koji se sastoje od više sporih ubrzavanja i vožnji konstantom brzinom. Završni dio profila brzine predstavlja kratku vožnju izvan gradskog središta te dolazak do završne destinacije. Ovaj profil brzina je standardiziran NEDC ciklus vožnje sa preinakom, to jest manjom brzinom vožnje, u posljednjem dijelu ciklusa. Slika 4.2. prikazuje simuliranu potrošnju goriva u gradskoj vožnji [7]. Vidljivo je da najnižu potrošnju goriva ima automobil s dizelskim motorom koja je iznosila 7,6 l/100km, slijedi ga hibridni sa 8,7 l/100km, dok najveću potrošnju ima automobil s benzinskim motorom 9,1 l/100km. To predstavlja uštedu od 0,4 litre goriva na 100

kilometara između hibridnog i benzinskog pogona. U tablici 4.2 i na slici 4.3 je prikazana usporedba emisije štetnih plinova za gradsku vožnju.



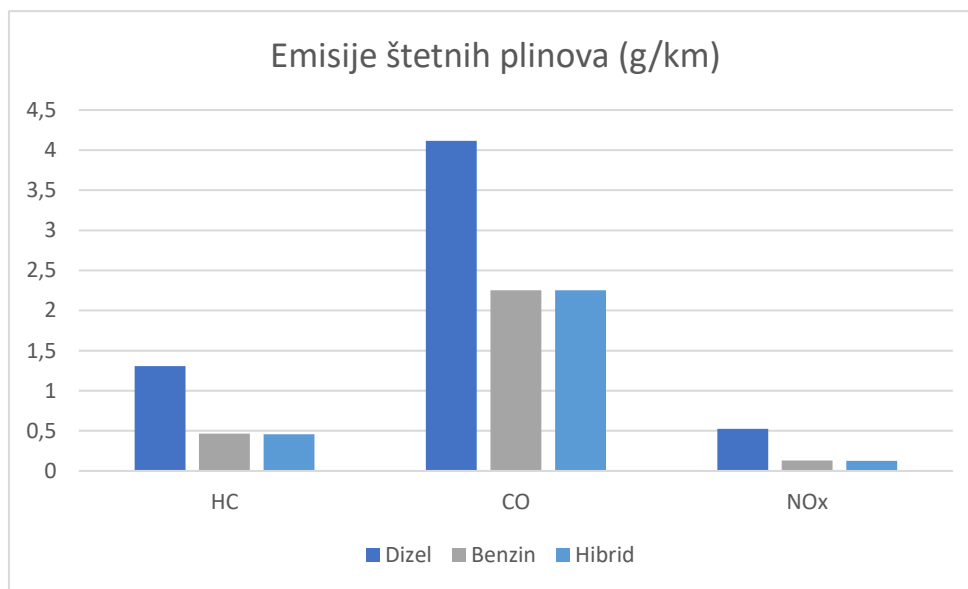
Slika 4.2. Simulirana potrošnja goriva u gradu (l/100km)

Prema simulaciji dizelski motor je nepovoljniji što se tiče neizgorenih ugljikovodika jer su vrijednosti na odabranoj dionici iznosile 1,308 g HC/km za automobil s dizelskim motorom, a za benzinski i hibridni 0,466 g HC/km i 0,459 g HC/km. Jednaki zaključak donosimo i za emisije ugljičnog monoksida i NO<sub>x</sub>-a. Benzinski i dizelski motor su imali jednake emisije od 2,251 g CO/km, dok su emisije ugljičnog monoksida dizelskog motora iznosile 4,117 g CO/km. Emisije dušikovih oksida su iznosile 0,13 g NO<sub>x</sub>/km i 0,125 g NO<sub>x</sub>/km za benzinski i hibridni motor. Dizelski motor je na simuliranoj dionici ispustio četiri puta više dušikovih oksida sa 0,526 g NO<sub>x</sub>/km. Jedino područje simulacije, što se tiče emisija ispušnih plinova, gdje je dizelski motor povoljniji je emisija CO<sub>2</sub>. Razlike emisija CO<sub>2</sub> su veoma male, dizelski motor je u prosjeku emitirao 199 g CO<sub>2</sub>/km, hibridni motor je emitirao samo 3 g CO<sub>2</sub>/km više od dizelskog, a benzinski motor je imao najveću emisiju sa 211 g CO<sub>2</sub>/km. Prikaz emisija štetnih plinova simulirane gradske vožnje vidljiv je na slici 4.3.



Tablica 4.2. Usporedba emisije štetnih plinova za gradsku vožnju

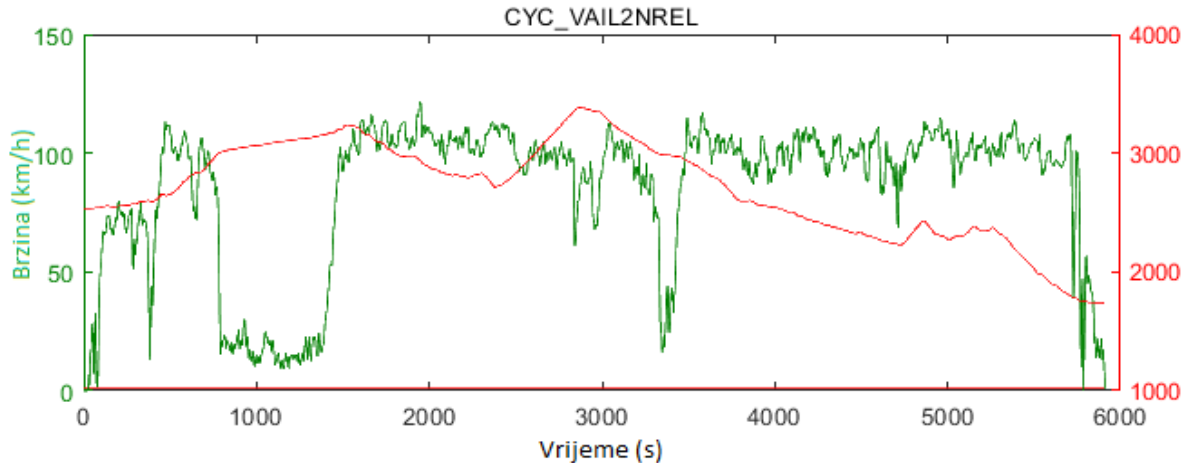
|                            | Dizel | Benzin | Hibrid |
|----------------------------|-------|--------|--------|
| Potrošnja goriva (l/100km) | 7,6   | 9,1    | 8,7    |
| HC (g/km)                  | 1,308 | 0,466  | 0,459  |
| CO (g/km)                  | 4,117 | 2,251  | 2,251  |
| NOx (g/km)                 | 0,526 | 0,13   | 0,125  |
| PM (g/km)                  | 0,092 | 0      | 0      |
| CO2 (g/km)                 | 199   | 211    | 202    |



Slika 4.3. Usporedba emisije štetnih plinova za gradsku vožnju

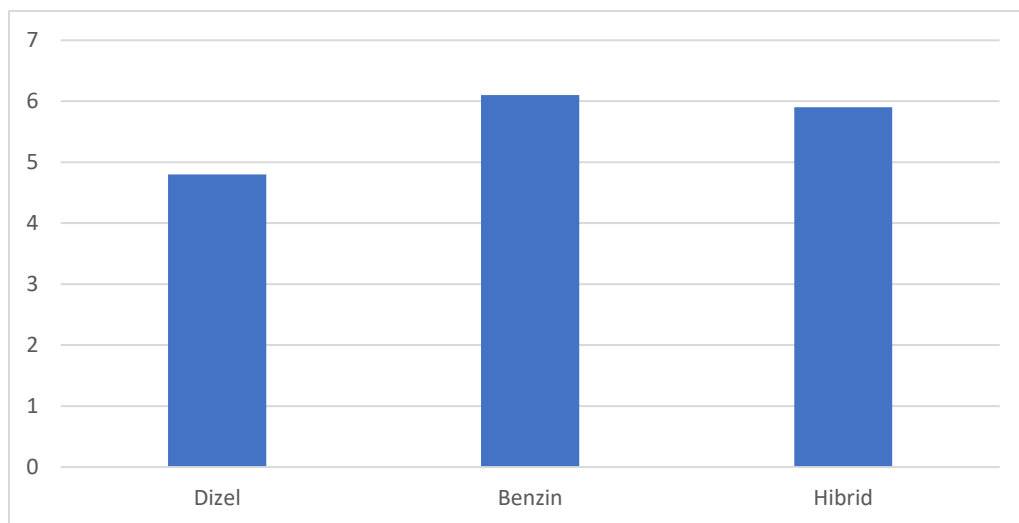
## 4.2. Međugradska dionica

Za simulaciju međugradske dionice koristili smo predložak "CYC\_VAIL2NREL". Profil brzina i nadmorske visine vidljiv je na slici 4.4. Profil brzina se sastoji od nekoliko značajnih ubrzavanja i usporavanja koje odgovaraju promjenama brzine prilikom ulaska na autocestu odnosno



Slika 4.4. Profil brzine i nadmorske visine za simulaciju međugradske vožnje

usporavanjima uzrokovanim nepredvidivim događajima u prometu. Prosječna brzina iznosi 85 km/h dok maksimalna iznosi 122 km/h, ovaj profil brzina odgovara vožnji autocestom između dva grada uz promjene u nadmorskoj visini prikazane crvenom bojom. Simulirana potrošnja goriva vidljiva je na grafu. Dizelski motor je imao najnižu potrošnju od 4,8 l/100km. Slijedi automobil pokretan hibridnim pogonom sa 5,9 l/100km, a benzinski motor je imao najveću potrošnju od 6,1 l/100km. Grafički prikaz ovih rezultata je prikazan na slici 4.5.



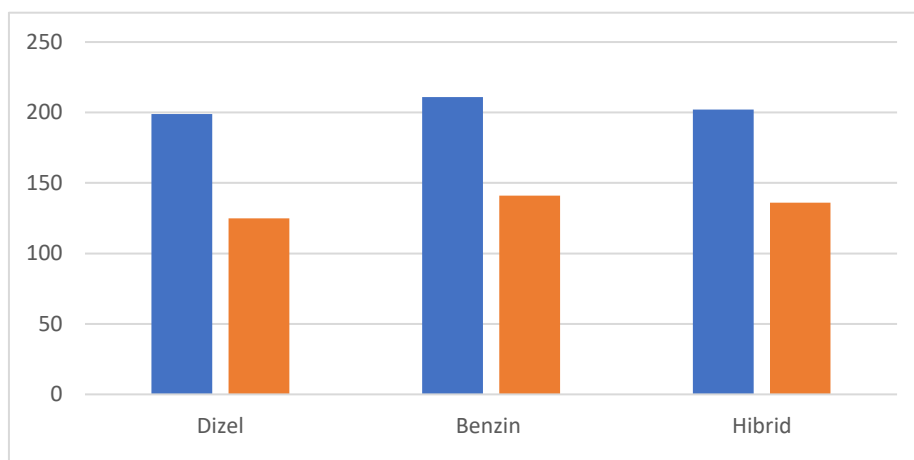
Slika 4.5 Simulirana potrošnja goriva na međugradsjoj dionici (l/100km)

U tablici 4.3. su prikazani rezultati simulacije potrošnje goriva, emisije štetnih plinova i izračunate vrijednosti emisija CO<sub>2</sub>

Tablica 4.3. Rezultati simulacije potrošnje goriva

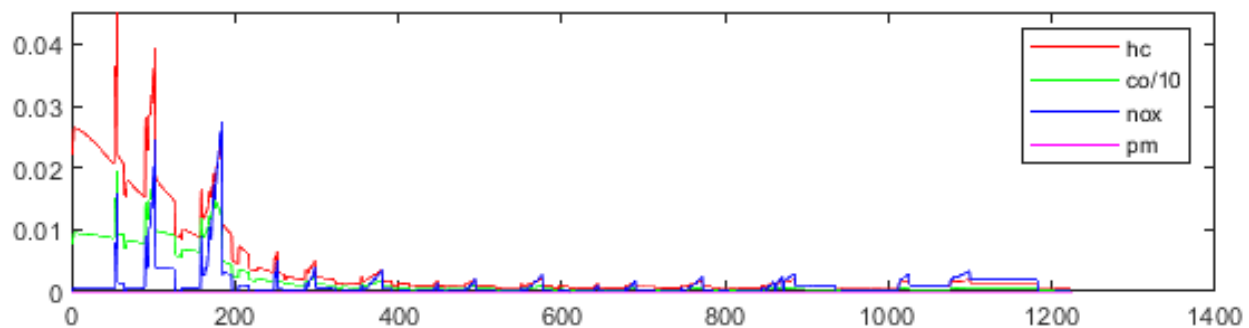
|                        | Dizel | Benzin | Hibrid |
|------------------------|-------|--------|--------|
| Potrošnja (l/100km)    | 4,8   | 6,1    | 5,9    |
| HC (g/km)              | 0,096 | 0,091  | 0,09   |
| CO (g/km)              | 0,348 | 0,361  | 0,361  |
| NOx (g/km)             | 0,597 | 0,1    | 0,094  |
| PM (g/km)              | 0,025 | 0      | 0      |
| CO <sub>2</sub> (g/km) | 125   | 141    | 136    |

Prema simulaciji dizelski motor je imao najveće emisije neizgorenih ugljikovodika, prosječne emisije su iznosile 0,096 g HC/km za dizelski motor, a za benzinski i hibridni su gotovo jednake sa 0,091 g HC/km i 0,09 g HC/km. Dizelski motor je imao 4% niže prosječne emisije ugljičnog monoksida sa 0,348 g CO/km dok su automobili na benzinski i hibridni pogon izjednačeni sa 0,361 g CO/km. Kao i kod gradske vožnje najveća je razlika u emisijama dušikovih oksida. Dizelski motor je emitira gotovo šest puta više dušikovih oksida od benzinskog i hibridnog automobila. Prosječna emisija dušikovih oksida iz dizelskog motora je iznosila 0,597 g NOx/km, benzinski motor je imao prosječnu emisiju od 0,1 g NOx/km, a najmanje dušikovih oksida je emitirao automobil s hibridnim pogonom s 0,094 g NOx/km. Prosječne emisije CO<sub>2</sub> su značajno niže u usporedbi s gradskom vožnjom što je grafički prikazano na slici 4.6.



Slika 4.6. Emisije CO<sub>2</sub> (g/km) na gradskoj i međugradskoj dionici

Dizelski motor je na simuliranoj međugradskoj dionici emitirao najmanje ugljičnog dioksida od 125 g CO<sub>2</sub>/km. Emisija ugljičnog dioksida iz automobila na hibridni pogon je iznosila 136 g CO<sub>2</sub>/km, dok je najviše CO<sub>2</sub> emisija imao motor s benzinskim pogonom u iznosu od 141 g CO<sub>2</sub>/km. Na slici 4.7. je vidljivo da se većina emisija štetnih plinova benzinskog motora stvara na početku voznog ciklusa kada motor i katalizator nisu postigli radnu temperaturu



Slika 4.7. Emisije štetnih plinova automobila s benzinskim motorom

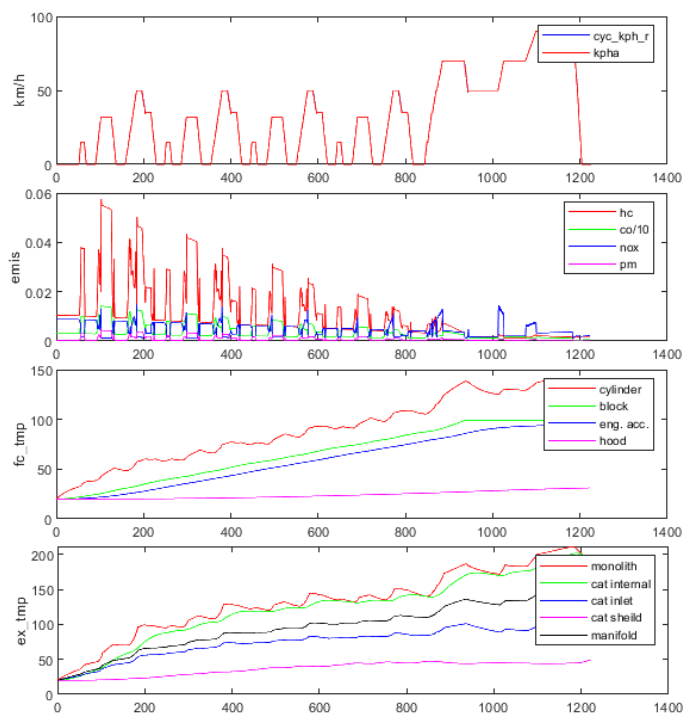
## 5. UTJECAJNI FAKTORI

Na emisije štetnih plinova i potrošnju goriva utječu brojni faktori koje možemo podijeliti u nekoliko kategorija: tehnički faktori, radni uvjeti i okolišni faktori. Pod tehničke faktore ubrajamo motor i sustave pogona, sustav prijenosa snage i sustav obrade ispušnih plinova. Dizelski, benzinski i hibridni motori imaju različite potrošnje goriva i emisije. U pravilu dizelski motori troše manje goriva, no zbog visokih tlakova nastalih kao posljedica visoke kompresije imaju više emisije dušikovih oksida. Način prijenosa snage također utječe na potrošnju. Moderni automatski mjenjači s velikim brojem brzina mogu poboljšati potrošnju jer lakše održavaju motor unutar optimalnog područja okretaja od ručnih mjenjača s manje stupnjeva prijenosa. Sustavi obrade ispušnih plinova uvelike utječu na emisije plinova iz automobila. U radne uvjete ubrajamo vozačke uvjete te cestovne uvjete. Vožnja većim brzinama povećava otpor zraka te samim time i potrošnju automobila. Nagla i česta ubrzanja i usporavanja također pridonose povećanju potrošnje. Gradska vožnja u usporedbi s vožnjom autocestom povećava potrošnju goriva zbog čestih zaustavljanja i promjena brzine. Okolišni faktori poput temperature zraka i vjetra isto tako utječu na potrošnju goriva. Motor troši više goriva dok ne postigne radnu temperaturu, a jak vjetar povećava otpor zraka koji isto tako povećava potrošnju.

### 5.1. Zagrijanost motora

Na slici 5.1. su prikazani rezultati simulacije gradske vožnje dizelskog motora. Gornji graf na slici prikazuje ovisnost brzine o vremenu, na drugom grafu su prikazane emisije u ovisnosti o vremenu, treći graf prikazuje temperaturu motora dok je na posljednjem prikazana temperatura katalizatora. Vidljivo je kako se emisije neizgorenih ugljikovodika smanjuju sa porastom temperature motora i katalizatora iako se vožnja u prvih 850 sekundi odvijala na jednakim ciklusima. Kada je motor hladan dio goriva se potrošni na zagrijavanje motora kako bi se temperatura podigla na optimalnu temperaturu za rad motora. Povrh toga hladan motor emitira znatno više neizgorenih ugljikovodika i ugljičnog monoksida jer izgaranje nije potpuno. Vrijednosti u tablici 5.1. prikazuju rezultate simulacija dizelskog, benzinskog i hibridnog motora tijekom gradske vožnje. Dok se u tablici 5.2. nalaze vrijednosti dobivene ADVISOR simulacijom međugradske vožnje. Dio tablice prikazuje vrijednosti kada je temperatura motora bila jednaka temperaturi zraka od 20°C, dio tablice označen sa

"topli" prikazuje vrijednosti potrošnje goriva i emisija kada su motor i katalizator bili zagrijani na optimalnu radnu temperaturu.



Slika 5.1. Rezultati simulacije gradske vožnje dizelskog motora

Tablica 5.1. Rezultati simulacija dizelskog, benzinskog i hibridnog motora tijekom gradske vožnje

|                     | Dizel  |       | Benzin |       | Hibrid |       |
|---------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                     | Hladni | Topli | Hladni | Topli | Hladni | Topli |
| Potrošnja (l/100km) | 7,6    | 7,1   | 9,1    | 8,8   | 8,7    | 7,2   |
| HC (g/km)           | 1,308  | 0,152 | 0,466  | 0,084 | 0,459  | 0,082 |
| CO (g/km)           | 4,117  | 0,923 | 2,251  | 0,294 | 2,251  | 0,314 |
| NOx (g/km)          | 0,526  | 0,327 | 0,13   | 0,058 | 0,125  | 0,06  |
| PM (g/km)           | 0,092  | 0,022 | 0      | 0     | 0      | 0     |
| CO2 (g/km)          | 199    | 186   | 211    | 204   | 202    | 167   |

Tablica 5.2. Rezultati simulacija dizelskog, benzinskog i hibridnog motora tijekom međugradske vožnje

|                     | Dizel  |       | Benzin |       | Hibrid |       |
|---------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                     | Hladni | Topli | Hladni | Topli | Hladni | Topli |
| Potrošnja (l/100km) | 4,8    | 4,8   | 6,1    | 6,1   | 5,9    | 5,9   |
| HC (g/km)           | 0,096  | 0,041 | 0,091  | 0,057 | 0,09   | 0,055 |
| CO (g/km)           | 0,348  | 0,21  | 0,361  | 0,196 | 0,361  | 0,19  |
| NOx (g/km)          | 0,597  | 0,599 | 0,1    | 0,084 | 0,094  | 0,077 |
| PM (g/km)           | 0,025  | 0,022 | 0      | 0     | 0      | 0     |
| CO2 (g/km)          | 125    | 125   | 141    | 141   | 136    | 136   |

## 5.2. Sustav obrade ispušnih plinova

Sustav obrade ispušnih plinova ključan je za smanjenje emisija štetnih tvari. Katalizator smanjuje emisije štetnih plinova na način da pretvaraju štetne tvari kao što su ugljični monoksid, neizgorene ugljikovodike i dušične okside u manje štetne tvari poput ugljičnog dioksida, dušika i vodene pare. Tablica 5.3 prikazuje rezultate simulacije za dizelski motor u gradskoj vožnji bez katalizatora, sa zagrijanim motorom, te situacije kada je korišten katalizator na radnoj temperaturi i u posljednjem stupcu situaciju kada su temperature motora i katalizatora bile jednake vanjskoj temperaturi od 20°C.

Tablica 5.3. Rezultati simulacije gradske vožnje automobila s dizelskim motorom

|                        | Bez katalizatora | Katalizator | Katalizator (hladan) |
|------------------------|------------------|-------------|----------------------|
| Potrošnja (l/100km)    | 7,1              | 7,1         | 7,6                  |
| HC (g/km)              | 0,242            | 0,152       | 1,308                |
| CO (g/km)              | 1,981            | 0,923       | 4,117                |
| NOx (g/km)             | 0,436            | 0,327       | 0,526                |
| PM (g/km)              | 0,027            | 0,022       | 0,092                |
| CO <sub>2</sub> (g/km) | 186              | 186         | 199                  |

Vidljivo je da prilikom korištenja katalizatora ima značajno manje neizgorenih ugljikovodika, 0,152 g HC/km, i ugljičnog monoksida 0,923 g CO/km u usporedbi sa simulacijom bez katalizatora kada su vrijednosti iznosile 0,242 g HC/km i 1,981 g CO/km. Uz to vidljivo je i da kada su katalizator i motor hladni imamo znatno veće emisije štetnih planova što dodatno potvrđuje tvrdnju da je potrebno dovesti katalizator na radnu temperaturu kako bi efektivno djelovao. Filtar čestica odnosno DPF filter ima ulogu uklanjanja čestica čađe iz ispušnih plinova dizelskih motora. Rade na principu filtriranja i sakupljanja čestica unutar strukture filtra. Mana DPF filtra se očituje ukoliko dođe do začepjenja. Ako se često vozi na kratkim udaljenostima i pri niskim brzinama filter se može napuniti česticama te to dovodi do povećanog otpora ispušnih plinova i povećane potrošnje goriva. Kada se filter napuni česticama potrebno ga je očistiti. Taj proces se odvija regeneracija i najčešće se izvodi pasivno, prilikom vožnje većim brzinama temperatura ispušnih plinova je dovoljno velika da dovede do spontanog spaljivanja čestica i čišćenjem samog filtra. Kod benzinskih motora se koristi trostruki katalizator (TWC-Three-way catalyst) koje istovremeno smanjuje emisije ugljičnog monoksida,

neizgorenih ugljikovodika i dušičnih oksida. Za optimalan rad TWC-a potrebno je osigurati stehiometrijsku smjesu goriva to jest da se gorivu dovede točno onoliko kisika koliko je potrebno za izgaranje goriva te da radi na predviđenoj radnoj temperaturi. Glavni problemi TWC-a su skupa cijena zbog plemenitih metala koji se nalaze u katalizatoru i osjetljivost na kontaminacije nastale nečistoćama u gorivu.

### **5.3. Sustav prijenosa snage**

Sustavi prijenosa snage imaju zadaću prenijeti snagu motora na kotače vozila. Glavne komponente ovog sustava su mjenjač, pogonska osovina i diferencijal. U prošlosti je ručni mjenjač bio učinkovitiji od automatskih jer ima manje energetske gubitke te je vozač mogao bolje optimizirati promjenu brzina. U današnje vrijeme su automobili opremljeni brojnim sensorima koji osiguravaju da se vozilo nalazi u optimalnoj brzini s obzirom na uvjete vožnje. Uz to suvremeni automatski mjenjači imaju veći broj brzina od ručnih što im omogućuje da motor provodi više vremena u optimalnom rasponu okretaju u odnosu na vozila s ručnim mjenjačem. DSG sa velikim brojem brzina i dvije spojke kombinira učinkovitost ručnog mjenjača i udobnost automatskog. Zbog tih razloga se sve češće pojavljuje u automobilima. U pravilu su automatski mjenjači, zbog kompleksnije izrade, teži od ručnih mjenjača i to ima negativni utjecaj na potrošnju goriva. Uz to mana automatskih mjenjača je hidrauličku pretvarač momenta za prijenos snage koji su relativno teški i imaju velike gubitke u usporedbi s ručnim mjenjačem.



## 6. ZAKLJUČAK

U radu je provedena analiza potrošnje goriva i emisije štetnih plinova. Koristeći računalni program ADVISOR provedene su simulacije automobila VW Golf s dizelskim, benzinskim i hibridnim pogonom na gradskoj i međugradskoj dionici, te je napravljena analiza dobivenih rezultata čime je ostvaren cilj rada. Iz dobivenih rezultata zaključujemo da dizelski motor ima 20% nižu potrošnju na gradskoj i međugradskoj dionici u usporedbi sa benzinskim i hibridnim motorom. Unatoč nižoj potrošnji goriva dizelski motor ima znatno veće emisije štetnih plinova u odnosu na benzinski i hibridni motor. Naročito je očita razlika u emisijama NO<sub>x</sub>-a uzrokovana visokom kompresijom u dizelskom motoru. Najveći dio emisija tijekom vožnje nastaje prilikom pokretanja kada motor i katalizator nisu postigli radnu temperaturu. Primjetna je i razlika između deklarirane potrošnje goriva i emisija CO<sub>2</sub> i rezultata dobivenih simulacijama vožnje na međugradskoj dionici gdje je potrošnja goriva, a tako i emisija CO<sub>2</sub> veća od deklariranih vrijednosti. Hibridni motori pružaju bolju alternativu od benzinskih i dizelskih motora zbog nižih emisija i nižoj potrošnji posebno izraženoj prilikom gradskih vožnji sa puno stajanja. Zagrijanost motora i obrada ispušnih plinova utječu na potrošnju i emisije štetnih plinova te je potrebno osigurati da motor i dijelovi zaslužni za obradu ispušnih plinova rade na optimalnim temperaturama.

## 7. LITERATURA

- [1] Centar za vozila Hrvatske, s Interneta, <https://www.cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/>, 27.6.2024.
- [2] Lasić, I.: "Rimčev robotaksi: veliki projekt ili znanstvena fantastika?", s Interneta, <https://www.dw.com/hr/rimčev-robotaksi-projekt-u-punom-zamahu-ili-znanstvena-fantastika/a-65886136>, 27.6.2024.
- [3] Volkswagen Golf 5 Doors, s Interneta, <https://www.autoevolution.com/volkswagen/golf-5-doors/>, 27.6.2024.
- [4] "Volkswagen emissions scandal", s Interneta, [https://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen\\_emissions\\_scandal](https://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_emissions_scandal), 27.6.2024.
- [5] Wenbourne, A.: "Computer Controlled DSG Transmission", s Interneta, <https://selmec.org.uk/articles/12-computer-controlled-dsg-transmission>, 27.6.2024.
- [6] Wipke, K. i dr.: "Advisor 2.0: A Second Generation Advanced Vehicle Simulator for System Analysis", National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 1999.
- [7] Mock, P. i dr.: "Discrepancies between typeapproval and "real-world" fuelconsumption and CO2 values", ICCT, 2012-2, travanj 2021.
- [8] Kalkulator emisija CO2, s Interneta, [https://www.sucic.info/voz/voz\\_co2.php](https://www.sucic.info/voz/voz_co2.php), 5.7.2024.
- [9] VW, "Clean and cultivated: the 2.0 TDI engine with new Euro 6d emission standard", s Interneta, <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/clean-and-cultivated-the-20-tdi-engine-with-new-euro-6d-emission-standard-6721>, 5.7.2024.
- [10] Falchetta, G.; Noussan, M.: "Electric vehicle charging network in Europe: An accessibility and deployment trends analysis, Transportation Research Part D: Transport and Environment", Vol. 94, 2021.
- [11] Bagameri, N., i dr.: "Comparative analysis of automatic transmission and manual transmission behaviour on the worldwide harmonized light duty test cycle", Technical University of Cluj-Napoca, 2018.
- [12] M. L. Anderson: "Engine Temperature Effects on Fuel Efficiency and Emissions", Journal of Automotive Engineering, vol. 142, no. 8, pp. 25-35, 2022.
- [13] Duffy E., James: "Modern Automotive Technology, 8th Edition", The Goodheart-Willcox Company, United States of America, 2014

## 8. SAŽETAK

U današnjem svijetu, gdje se sve više naglašava potreba za zaštitom okoliša, emisije i potrošnja goriva automobila predstavljaju veliki utjecaj na okoliš. Ovaj rad istražuje veze između emisija štetnih plinova i potrošnje goriva u različitim vrstama automobila i voznim ciklusima. Provedena je simulacija emisija štetnih plinova i potrošnje goriva pomoću programa ADVISOR na dvije dionice. Napravljena je usporedba potrošnje goriva i emisija štetnih plinova za automobile na dizelski, benzinski i hibridni pogon te utjecaj zagrijanosti motora na potrošnju i emisije. Dobiveni rezultati su pokazali da najnižu potrošnju ima automobil na dizelski pogon, najniže emisije u gradskoj vožnji ima automobil s hibridnim pogonom, dok su rezultati emisije na međugradskoj dionici ujednačeni. Dizelski motor ima najveće emisije štetnih plinova na gradskoj dionici te znatno veće emisije dušikovih oksida u usporedbi s benzinskim i hibridnim motorom. Vrlo velik utjecaj na emisije štetnih plinova ima zagrijanost motora i katalizatora koji postaje djelotvoran tek nakon postizanja radne temperature.

**Ključne riječi:** ADVISOR simulacije; emisije štetnih plinova; potrošnja goriva; dizel motori; benzin motori; hibridni motori

## 9. ABSTRACT

In today's world, where the need to protect the environment is increasingly emphasized, the emissions and fuel consumption of cars represent a major impact on the environment. This paper investigates the relationships between emissions and fuel consumption in different car types and driving cycles. The simulation of harmful gas emissions and fuel consumption was carried out using the ADVISOR program on two drive cycles. A comparison of fuel consumption and emissions of harmful gases was made for cars with diesel, gasoline and hybrid drive, as well as the influence of engine heating on consumption and emissions. The obtained results showed that the diesel-powered car has the lowest consumption, the hybrid-powered car has the lowest emissions in city driving, while the emission results on the intercity section are uniform. The diesel engine has the highest emissions of harmful gases in the city section and significantly higher emissions of nitrogen oxides compared to gasoline and hybrid engines. The heating of the engine and the catalyst, which becomes effective only after reaching the operating temperature, has a very large influence on the emissions of harmful gases.

**Key words:** ADVISOR simulations; emissions of harmful gases; fuel consumption; diesel engines; gasoline engines; hybrid engines