



Srednja šola za storitvene dejavnosti in logistiko

VPLIV VENTILA EGR IN FILTRA DPF NA SESTAVO IZPUŠNIH PLINOV PRI DIESELSKIH MOTORJIH

RAZISKOVALNA NALOGA

Avtorji:

Lužar Sebastjan, 2. B4

Tit Živkovič, 2. B4

Tjan Podergajs, 2. B4

Mentor:

Matic Turnšek, univ. dipl. inž. elektrotehnike

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, marec 2024

POVZETEK

V raziskovalni nalogi bo predstavljeno delovanje sistemov za obdelavo izpušnih plinov, s poudarkom na obdelavi izpušnih plinov pri dieselskih motorjih. Osredotočili se bomo na dve glavni komponenti za obdelavi izpušnih plinov pri dieselskih motorjih in to sta ventil za recirkulacijo izpušnih plinov (EGR) ter filter trdih »sajastih« delcev (DPF).

Raziskovalno delo bo temeljilo na hipotezah o delovanju in vplivu elementov za obdelavo izpušnih plinov, na sestavo in količino izpustov v okolje. Najprej bomo teoretično obravnavali vsako komponento posebej, nato pa še z meritvami v delavnicah naše šole potrdili ali ovrgli predpostavljene hipoteze.

ABSTRACT

The research paper will present the operation of exhaust gas treatment systems, with an emphasis on exhaust gas treatment in diesel engines. We will focus on the two main exhaust gas treatment components in diesel engines, namely the Exhaust Gas Recirculation (EGR) valve and the DPF (DPF).

The research work will be based on hypotheses about the operation and influence of elements for the treatment of exhaust gases, on the composition and amount of emissions into the environment. First, we will theoretically treat each component separately, and then we will confirm or refute the assumed hypotheses with measurements in the workshops of our school.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	NAMEN IN CILJI RAZISKOVALNE NALOGE.....	1
1.2	POSTAVITEV HIPOTEZ	2
2	TEORETIČNI DEL.....	3
2.1	KATALITIČNI PRETVORNIK	3
2.1.1	Zgradba katalitičnega pretvornika.....	3
2.1.2	Namestitev katalitičnega pretvornika.....	4
2.1.3	Dve stopenjski katalitični pretvornik	4
2.1.4	Tri stopenjski katalitični pretvornik	5
2.2	VENTIL ZA RECIRKULACIJO IZPUŠNIH PLINOV EGR	6
2.2.1	EGR VENTIL PRI MOTORJIH NA SVEČKO IN DIESELSKIH MOTORJIH 6	
2.3	FILTER TRDIH DELCEV DPF	8
2.3.1	Različne vrste DPF filtrov	8
2.3.2	Vzdrževanje DPF filtra.....	9
3	ANKETA	11
3.1	ANALIZA ANKETE	11
4	EKSPERIMENTALNI DEL	19
4.1	MERITEV 1: EGR VENTIL ODPRT, DPF FILTER PRISOTEN.....	21
4.2	MERITEV 2: EGR VENTIL ZAPRT, DPF FILTER PRISOTEN	22
4.3	MERITEV 3: EGR VENTIL ODPRT, DPF FILTER ODSOTEN	23
4.4	MERITEV 4: EGR VENTIL ZAPRT, DPF FILTER ODSOTEN.....	24
5	RAZPRAVA	25
5.1	OVREDNOTENJE HIPOTEZ	26
6	ZAKLJUČEK.....	27
7	VIRI IN LITERATURA	28
8	PRILOGE	29

8.1 PRILOGA 1: ANKETA	29
-----------------------------	----

KAZALO SLIK

Slika 1: Katalitični pretvornik	3
Slika 2: EGR ventil	6
Slika 3: DPF filter	8
Slika 4: Merilni vmesnik za merjenje trdih delcev v izpustu	20
Slika 5: Merilni vmesnik za merjenje sestave izpušnih plinov	20
Slika 6: Meritev NO _x , EGR_ON, DPF_ON	21
Slika 7: Meritev trdih delcev, EGR_ON, DPF_ON	21
Slika 8: Meritev NO _x , EGR_OFF, DPF_ON	22
Slika 9: Meritev trdih delcev, EGR_OFF, DPF_ON	22
Slika 10: Meritev NO _x , DPF_OFF, EGR_ON	23
Slika 11: Meritev trdih delcev, DPF_OFF, EGR_ON	23
Slika 12: Meritev NO _x , DPF_OFF, EGR_OFF	24
Slika 13: Meritev trdih delcev, DPF_OFF, EGR_OFF	24

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Predstavljeno razmerje odgovorov na prvo vprašanje ankete	12
Grafikon 2: Predstavljeno razmerje odgovorov na drugo vprašanje ankete	13
Grafikon 3: Predstavljeno razmerje odgovorov na tretje vprašanje	14
Grafikon 4: Predstavljeno razmerje odgovorov na četrto vprašanje	15
Grafikon 5: Predstavljeno razmerje odgovorov na peto vprašanje	16
Grafikon 6: Predstavljeno razmerje odgovorov na šesto vprašanje	17
Grafikon 7: Predstavljeno razmerje odgovorov na sedmo vprašanje	18

1 UVOD

Izpusti motorjev z notranjim zgorevanjem v sodobnih avtomobil so podvrženi precejšnji obdelavi preden jih izpustimo v ozračje. Vedno bolj si države sveta prizadevajo, da bi vozila bila čim bolj prijazna okolju, tako da bi v ozračje izpustilo čim manj škodljivih plinov. Plini, ki jih povzroča motor z notranjim zgorevanjem so v večini stranski produkt zgorevanja neosvinčenega bencina ali dieselskega goriva. Poznamo tudi motorje z notranjim zgorevanjem na različne plinske sisteme, vendar prevladujejo še vedno bencinski in dieselski. Le ti plini, ki nastajajo pri zgorevanju bencina ali diesela niso prisotni v naravi v takšnih količinah in obliki, zato si države sveta prizadevajo, da bi bilo teh izpustov čim manj. V ta namen motorji z notranjim zgorevanjem uporabljajo različne sisteme za obdelavo izpušnih plinov. To so: katalitični pretvornik, ventil za recirkulacijo izpušnih plinov EGR ter pri dieselskih motorjih še filter trdih delcev DPF. V evropski uniji so sprejeli razne ekološke standarde (EU norma), v katere se uvrščajo vozila z notranjim izgorevanjem. Ekološka norma predpisuje mejne vrednosti določenih plinov pri izpustih vozila, na podlagi meritev, pa se vozilo ustrezno razvrsti glede na predpisane vrednosti norme.

1.1 NAMEN IN CILJI RAZISKOVALNE NALOGE

Namen naše raziskovalne naloge je, da bomo z raziskavo delovanja sistemov za obdelavo izpušnih plinov ugotovili, kakšna je vloga teh sistemov, kako delujejo in kakšen je njihov vpliv na sestavo izpušnih plinov. Sestavili bomo anketo, s katero želimo preveriti poznavanje uporabnikov motornih vozil o samem delovanju in pomembnosti sistemov za obdelavo izpušnih plinov pri delovanju motorja z notranjim zgorevanjem.

Cilj naloge je z dejanskimi meritvami preveriti, kako vpliva dejanski sistem za obdelavo izpušnih plinov na končne izpuste vozila v okolje, s tem pa potrditi ali ovreči predpostavljene hipoteze.

1.2 POSTAVITEV HIPOTEZ

Pri načrtovanju naloge smo si postavili nekaj hipotez, ki jih bi želeli s praktičnim raziskovalnim delom potrditi ali ovreči.

Pri raziskovalnem delu smo se osredotočili izključno na dva sistema za obdelavo izpušnih plinov. To sta ventil EGR in filter DPF. Katalitični pretvornik bomo obravnavali samo teoretično, ker je njegova uporaba že zelo dolgo prisotna ter so manipulacije z njim manj verjetne s strani uporabnikov vozil, kot pa manipulacije ventila EGR in filtra DPF.

Hipoteza 1: Delovanje EGR ventila vpliva na količino proizvedenih trdih delcev pri dieselskih motorjih.

Hipoteza 2: Filter DPF vpliva na količino proizvedenih NO_x plinov pri dieselskih motorjih.

Hipoteza 3: Ventil EGR nima vpliva na količino proizvedenih NO_x ali drugih plinov pri dieselskih motorjih.

Hipoteza 4: Filter DPF je nepotreben, saj bistveno ne pripomore h »čistejšim«
izpustom dieselskega motorja z notranjim zgorevanjem.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 KATALITIČNI PRETVORNIK

Katalizator je naprava za uravnavanje emisij izpušnih plinov, ki pretvarja strupene pline in onesnaževala v izpušnih plinih motorja z notranjim zgorevanjem v manj strupena onesnaževala s kataliziranjem redoks reakcije. Katalizatorji se običajno uporabljajo pri motorjih z notranjim zgorevanjem, ki jih poganja bencin ali dizel, vključno z motorji na retko gorivo, včasih pa tudi pri grelnikih in pečeh na kerozin.¹



Slika 1: Katalitični pretvornik

2.1.1 Zgradba katalitičnega pretvornika

Pri avtomobilskih katalizatorjih je jedro običajno keramični monolit, ki ima strukturo satja (običajno kvadratno, ne šestkotno).

Substrat je strukturiran tako, da proizvaja veliko površino.

Pralni plašč je nosilec za katalitske materiale in se uporablja za razprševanje materialov po veliki površini. Aluminijev oksid, titanov dioksid, silicijev dioksid, npr. lahko uporabimo koloidni silicijev dioksid ali mešanico silicijevega dioksida in aluminijevega oksida. Katalitični materiali so suspendirani v pralnem premazu pred nanosom na jedro. Materiali za pralni premaz

¹ Povzeto po: https://en.wikipedia.org/wiki/Catalytic_converter, dostop: 8.1.2024

so izbrani tako, da tvorijo hrapavo, nepravilno površino, ki poveča površino v primerjavi z gladko površino gole podlage.

Ceria ali ceria-circonia. Ti oksidi se večinoma dodajajo kot promotorji shranjevanja kisika.

Sam katalizator je največkrat mešanica plemenitih kovin, večinoma iz skupine platine. Platina je najaktivnejši katalizator in se pogosto uporablja, vendar ni primerna za vse aplikacije zaradi neželenih dodatnih reakcij in zgodovinsko visokih stroškov. Paladij in rodij sta še dve uporabljeni plemeniti kovini, čeprav je od februarja 2023 platina postala najcenejša kovina iz skupine platine. Rodij se uporablja kot redukcijski katalizator, paladij kot oksidacijski katalizator, platina pa se uporablja tako za redukcijo kot za oksidacijo.

V primeru okvare se katalizator lahko reciklira v odpad. V pretvorniku se ekstrahirajo plemenite kovine, vključno s platino, paladijem in rodijem.¹

2.1.2 Namestitev katalitičnega pretvornika

Za učinkovito delovanje katalizatorjev je potrebna temperatura 400 °C (750 °F). Zato jih namestimo čim bližje motorju ali pa enega ali več manjših katalizatorjev (znanih kot »predmačke«) namestimo takoj za izpušnim kolektorjem.

2.1.3 Dve stopenjski katalitični pretvornik

Dvosmerni (ali "oksidacijski", včasih imenovan "oksi-mačji") katalizator ima dve istočasni nalogi:

Oksidacija ogljikovega monoksida v ogljikov dioksid: $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$

Oksidacija ogljikovodikov (nezgorelo in delno zgorelo gorivo) v ogljikov dioksid in vodo:
 $\text{C}_x\text{H}_{2x+2} + [(3x+1)/2]\text{O}_2 \rightarrow x\text{CO}_2 + (x+1)\text{H}_2\text{O}$ (reakcija zgorevanja)

Ta vrsta katalizatorja se pogosto uporablja pri dizelskih motorjih za zmanjšanje emisij ogljikovodikov in ogljikovega monoksida. Zaradi njihove nezmožnosti nadzora dušikovih oksidov so proizvajalci za kratek čas vgradili sisteme dvojnega katalizatorja z rodijevim/platinastim katalizatorjem za zmanjšanje NO_x pred zračno črpalko, ki je privedla do razvoja tri stopenjskega pretvornika.

2.1.4 Tri stopenjski katalitični pretvornik

Tro stopenjski katalizatorji imajo dodatno prednost nadzora emisij dušikovega oksida (NO) in dušikovega dioksida (NO₂) (oba skupaj skrajšano z NO_x in ju ne smemo zamenjevati z dušikovim oksidom (N₂O)). Vrste NO_x so predhodniki kislega dežja in smoga.

Redukcijski in oksidacijski katalizatorji so običajno v skupnem ohišju; v nekaterih primerih pa so lahko nameščeni ločeno. Tri stopenjski katalizator ima tri sočasne naloge:

Redukcija dušikovih oksidov v dušik (N₂):

- $C + 2NO_2 \rightarrow CO_2 + 2NO$
- $CO + NO \rightarrow CO_2 + \frac{1}{2}N_2$
- $2CO + NO_2 \rightarrow 2CO_2 + \frac{1}{2}N_2$
- $H_2 + NO \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}N_2$

Oksidacija ogljika, ogljikovodikov in ogljikovega monoksida v ogljikov dioksid:

- $C + O_2 \rightarrow CO_2$
- $CO + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO_2$
- $aC_xH_y + bO_2 \rightarrow cCO_2 + dH_2O \quad a, b, c, d, x, y \in \mathbb{Z}$

Za motorje na kompresijski vžig (tj. dizelske) je najpogosteje uporabljen katalizator dizelski oksidacijski katalizator (DOC). DOC vsebujejo paladij in/ali platino na aluminijevem oksidu. Ta katalizator pretvarja trdne delce (PM), ogljikovodike in ogljikov monoksid v ogljikov dioksid in vodo. Ti pretvorniki pogosto delujejo z 90-odstotno učinkovitostjo, s čimer skoraj odpravijo vonj po dizelskem gorivu in pomagajo zmanjšati vidne delce. Ti katalizatorji so neučinkoviti za NO_x, zato se emisije NO_x iz dizelskih motorjev nadzorujejo z recirkulacijo izpušnih plinov (EGR).

2.2 VENTIL ZA RECIRKULACIJO IZPUŠNIH PLINOV EGR

Recirkulacija izpušnega plina (ang. **Exhaust Gas Recirculation - EGR**) je tehnologija, ki zmanjšuje emisije dušikovih oksidov - NO_x pri bencinskih in dizelskih motorjih. Deluje tako, da pošlje del izpušnih plinov nazaj cilinder (zgorevalno komoro). Pri bencinski motorjih ta inertni izpuh izpodrine nekaj zgorevalne snovi. Pri dizelskih pa izpodrine nekaj odvečnega kisika. NO_x se pojavi, ko je mešanica dušika in kisika izpostavljena visoki temperaturi. Nižja v zgorevalni komori tako zmanjša NO_x emisije, s tem se sicer malo zmanjša izkoristek motorja. Večina modernih motorjev uporablja za doseganje emisijskih standardov tehnologijo EGR. Novejši motorji na direktni vbrizg imajo zaradi večjih temperatur zgorevanja večje emisije NO_x kot npr. uplinjač ali pa starejši dizli na indirektni vbrizg. Zato so potrebne rešitve, kot je EGR ali pa katalizator. Starejši motorji niso uporabljali EGR.²



Slika 2: EGR ventil

2.2.1 EGR ventil pri motorjih na svečko in dieselskih motorjih

Izpuh zmanjša temperaturo plamena v zgorevalni komori. V tipičnem bencinskem motorju, se okrog 5-15% izpuha dovede v vstopi zrak. Največja količina je omejena, preveč izpuha bi onemogočilo pravilno zgorevanje in povzročilo nepravilne vžige. EGR upočasni zgorevanje, to se kompenzira tako, da svečka prej vžge mešanico.

² Povzeto po: https://sl.wikipedia.org/wiki/Recirkulacija_izpušnega_plina, dostop: 8.1.2024

Pravilna uporaba EGR lahko celo poveča izkoristek bencinskega motorja:

- **Zmanjšanje izgube na ventilu:** Dodaten inertni izpuh pomeni, da se za isto moč poveča pretok delovne snovi, ventil so mora bolj odpreti s čimer se poveča vstopni tlak, kar zmanjša izgube
- **Zmanjšana izguba toplote:** Nižje zgorevalne temperature ne samo zmanjšajo NOx formacij, ampak tudi zmanjšajo izgube termalne energije na stene zgorevalne komore, več toplote se porabi za proizvodnjo mehanskega dela med ekspanzijo
- **Zmanjšana kemična disociacija** Ta efekt je sicer manjši v primerjavi s prvima dvema EGR preko naslednjih mehanizmov zmanjša izkoristek:
- **znižan adiabatni eksponent.** Mešanica brez izpuha ima višji adiabatni eksponent, zato EGR zmanjša izkoristek

EGR se po navadi ne uporablja pri visokih močeh, ker bi zmanjšal največjo moč. Prav tako se ne uporablja pri prostem teku, ker bi povzročil nepravilno zgorevanje. EGR tudi pomaga hladiti izpušne ventile in jim s tem poveča življenjsko dobo.

Ventil EGR se lahko s časom umaže, lahko se jih počisti ali pa zamenja, če so pokvarjeni.

Ker so dizelski motorji za vžig goriva odvisni od toplote stiskanja, se bistveno razlikujejo od motorjev na svečko. Fizikalni proces zgorevanja dizelskega goriva je takšen, da do najbolj popolnega zgorevanja pride pri najvišjih temperaturah. Na žalost se proizvodnja dušikovih oksidov (NOx) pri visokih temperaturah poveča. Cilj EGR je torej zmanjšati proizvodnjo NOx z znižanjem temperatur zgorevanja.

V sodobnih dizelskih motorjih je plin EGR običajno hlajen s toplotnim izmenjevalnikom, da se omogoči vnos večje mase recirkuliranega plina. Vendar obstajajo nehlajeni modeli EGR; te se pogosto imenujejo recirkulacija vročih plinov (HGR).

Za razliko od motorjev na prisilni vžig dizelski motorji niso omejeni s potrebo po neprekinjenem žarišču plamena. Poleg tega, ker dizelski motorji vedno delujejo s presežkom zraka, imajo (v smislu zmanjšanega izpusta NOx) koristi od stopenj EGR do 50 %. Vendar pa je 50-odstotna stopnja EGR primerna le, ko dizelski motor miruje, saj je sicer takrat velik presežek zraka.

2.3 FILTER TRDIH DELCEV DPF

Filter trdnih delcev (DPF) je naprava, namenjena odstranjevanju trdnih delcev ali saj iz izpušnih plinov dizelskega motorja.



Slika 3: DPF filter

Dizelski motorji proizvajajo različne delce med zgorevanjem mešanice goriva in zraka zaradi nepopolnega zgorevanja. Sestava delcev se zelo razlikuje glede na vrsto motorja, starost in specifikacijo emisij, ki naj bi jih motor izpolnjeval.

Dizelski delci, ki nastanejo zaradi nepopolnega zgorevanja dizelskega goriva, proizvajajo delce saj (črni ogljik). Ti delci vključujejo drobne nanodelce - manjše od enega mikrometra (en mikron). Saje in drugi delci iz dizelskih motorjev poslabšujejo onesnaženost zraka s trdimi delci in so škodljivi za zdravje. Novi filtri trdnih delcev lahko zajamejo od 30 % do več kot 95 % škodljivih saj. Z optimalnim filtrom trdnih delcev (DPF) se lahko emisije saj zmanjšajo na 0,001 g/km ali manj.

Na nastanek teh delcev vpliva tudi kakovost goriva. Na primer, dizelsko gorivo z visoko vsebnostjo žvepla proizvede več delcev. Gorivo z nizko vsebnostjo žvepla proizvaja manj delcev in omogoča uporabo filtrov za delce. Tudi tlak vbrizga dizelskega goriva vpliva na nastanek drobnih delcev.

2.3.1 Različne vrste DPF filtrov

Za razliko od katalizatorja, ki je pretočna naprava, DPF zadrži večje delce izpušnih plinov tako, da prisili plin, da teče skozi filter; vendar DPF ne zadrži majhnih delcev. DPF-ji, ki ne zahtevajo

vzdrževanja, oksidirajo ali sežgejo večje delce, dokler niso dovolj majhni, da gredo skozi filter, čeprav se delci pogosto "zlepijo" skupaj v DPF-ju, kar zmanjša skupno število delcev in skupno maso. Na trgu obstajajo različne tehnologije filtrov za dizelske delce. Vsak je zasnovan glede na podobne zahteve:

- Fina filtracija
- Najmanjši padec tlaka
- Poceni
- Primernost za množično proizvodnjo
- Trajnost izdelka

Vrste DPF filtrov so :

- Stenski pretočni filtri iz kordierita
- Stenski pretočni filtri iz silicijevega karbida
- Filtri iz keramičnih vlaken
- Pretočni filtri iz kovinskih vlaken
- Delni filtri

2.3.2 Vzdrževanje DPF filtra

Filtri zahtevajo več vzdrževanja kot katalizatorji. Saje, stranski produkt porabe olja pri običajnem delovanju motorja, se nabirajo v filtru, ker se ne morejo pretvoriti v plin in preiti skozi stene filtra. To poveča tlak pred filtrom.

Filtri DPF gredo skozi postopek regeneracije, ki odstrani saje in zniža tlak v filtru. Obstajajo tri vrste regeneracije: pasivna, aktivna in prisilna. Pasivna regeneracija običajno poteka med vožnjo, ko obremenitev motorja in vozni cikel vozila ustvarita dovolj visoke temperature za regeneracijo saj, ki se kopičijo na stenah DPF. Aktivna regeneracija se zgodi, ko je vozilo v uporabi, ko nizka obremenitev motorja in nižje temperature izpušnih plinov zavirajo naravno prisotno pasivno regeneracijo. Senzorji pred in za DPF (ali senzor diferenčnega tlaka) zagotavljajo odčitke, ki sprožijo odmerjeno dodajanje goriva v tok izpušnih plinov. Obstajata dva načina za vbrizgavanje goriva, in sicer vbrizgavanje navzdol neposredno v tok izpušnih plinov, za turbinskim motorjem ali vbrizgavanje goriva v valje motorja ob izpušnem taktu. Ta

mešanica goriva in izpušnih plinov gre skozi dizelski oksidacijski katalizator (DOC), ki ustvarja dovolj visoke temperature, da izgorijo nakopičene saje. Ko se padec tlaka v DPF zniža na izračunano vrednost, se postopek konča, dokler se kopičenje saj ponovno ne nabere. To dobro deluje pri vozilih, ki prevozijo daljše razdalje z malo postanki, v primerjavi s tistimi, ki opravljajo kratke vožnje s številnimi speljevanji in postanki. Če filter razvije prevelik pritisk, je treba uporabiti zadnjo vrsto regeneracije - prisilno regeneracijo. To je mogoče doseči na dva načina. Upravljaivec vozila lahko sproži regeneracijo prek stikala na armaturni plošči. Za začetek tega postopka so potrebne različne signalne zapore, kot so aktivirana parkirna zavora, menjalnik v nevtralnem položaju, temperatura hladilne tekočine motorja in odsotnost kod napak, povezanih z motorjem (odvisno od OEM in aplikacije). Ko kopičenje saj doseže raven, ki lahko škoduje motorju ali izpušnemu sistemu, rešitev vključuje servisno delavnico z uporabo računalniškega programa za ročno regeneracijo DPF.

Ko pride do regeneracije, se saje spremenijo v pline in pepel, od katerih nekaj ostane v filtru. To bo povečalo omejitev skozi filter in lahko povzroči blokado. Voznik prejme opozorila, preden omejitev filtra povzroči težave z voznimi sposobnostmi ali poškodbe motorja ali filtra. Redno vzdrževanje filtra je nujno za odstranjevanje nakopičenega pepela, bodisi s čiščenjem ali zamenjavo filtra.³

³ Povzeto po: https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_particulate_filter, dostop 8.1.2024

3 ANKETA

3.1 ANALIZA ANKETE

Anketo, ki je bila anonimna, smo izvedli preko spleta. Ustvarili smo jo s pomočjo orodja MS Forms. Anketo je rešilo 60 vprašanih.

Anketa je bila sestavljena iz sedmih vprašanj. Anketo smo naslovlili predvsem na ljudi, ki imajo vozniški izpit vsaj ene kategorije vozil z notranjim zgorevanjem. Vprašanja so bila zastavljena tako, da je bil nanje možen le en odgovor, katerega je anketiranec izbral iz seznama možnih odgovorov. V anketi nas je zanimalo predvsem poznavanje obdelave izpušnih plinov ter kakšno je njihovo mnenje o prispevku teh sistemov h čistejšim izpuhom vozila.

Vprašanje 1: Ali menite, da so osebni avtomobili glavni onesnaževalci ozračja?

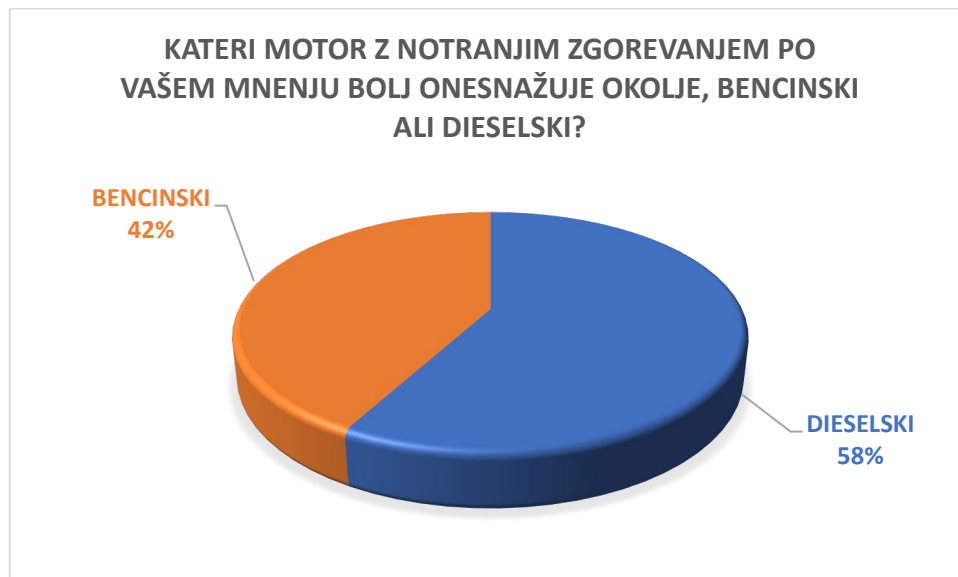
Pri prvem vprašanju ankete, nas je zanimalo, ali ljudje menijo da so avtomobili glavni onesnaževalci okolja. Sicer nismo specificirali kakšne onesnaževalce smo imeli v mislih, ampak ko pomislimo na onesnaževanje vozil imamo najverjetneje v mislih onesnaževanje z izpušnimi plini, zato je menimo da se odgovori nanašajo predvsem na to problematiko. Kar 70% vprašanih je odgovorilo, da se jim avtomobili ne zdijo glavni onesnaževalci okolja. Verjetno je razlog za takšen rezultat to, da so vozila z motorji z notranjim zgorevanjem vse bolj ekološki, in vidijo večji potencial za onesnaževanje okolja v drugje.



Grafikon 1: Predstavljeno razmerje odgovorov na prvo vprašanje ankete

Vprašanje 2: Kateri motor z notranjim zgorevanjem po vašem mnenju bolj onesnažuje okolje, bencinski ali dieselski?

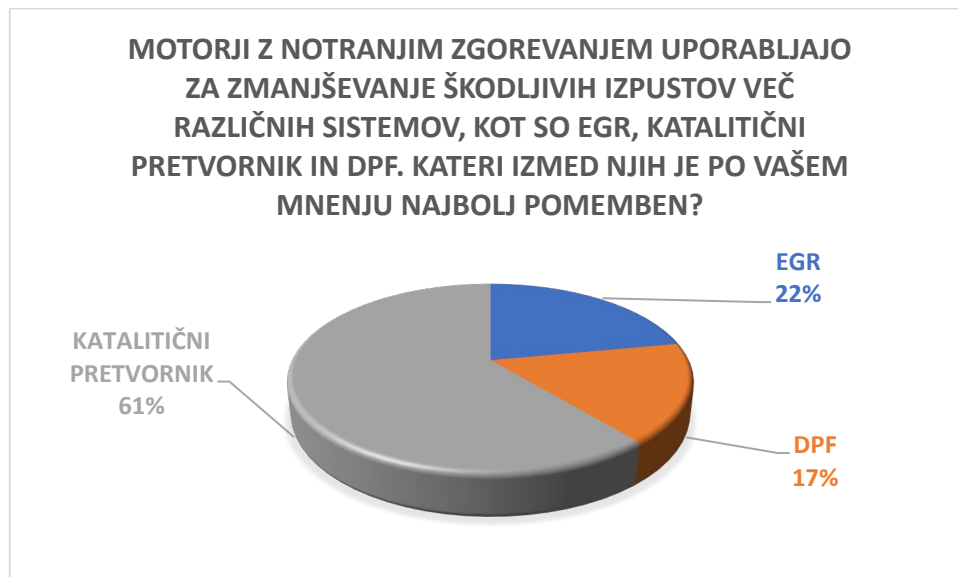
Z drugim vprašanjem ankete smo želeli izvedeti kaj ljudje menijo o dieselskih in bencinskih motorjih. Kateri izmed njih je po njihovem mnenju bolj problematičen za okolje, in večina odgovorov je pripadla dieselskemu motorju. Sicer odstotek ni tako izstopajoč. Lahko bi rekli, da sta odgovora bila skoraj enakovredna z manjšim odklonom v stran dieselskega motorja. Pričakovali smo izrazitejši odklon v tej smeri, saj države dieselski motor ukinjajo hitreje kot bencinske, zato je predvidevali, da je dieselski motor večji onesnaževalec in bi lahko prejel večji odstotek glasov, pa vendar vprašani niso tako izrazito podprli te ideje.



Grafikon 2: Predstavljeno razmerje odgovorov na drugo vprašanje ankete

Vprašanje 3: Motorji z notranjim zgorevanjem uporabljajo za zmanjševanje škodljivih izpustov več različnih sistemov, kot so EGR, katalitični pretvornik in DPF. Kateri izmed njih je po vašem mnenju najbolj pomemben?

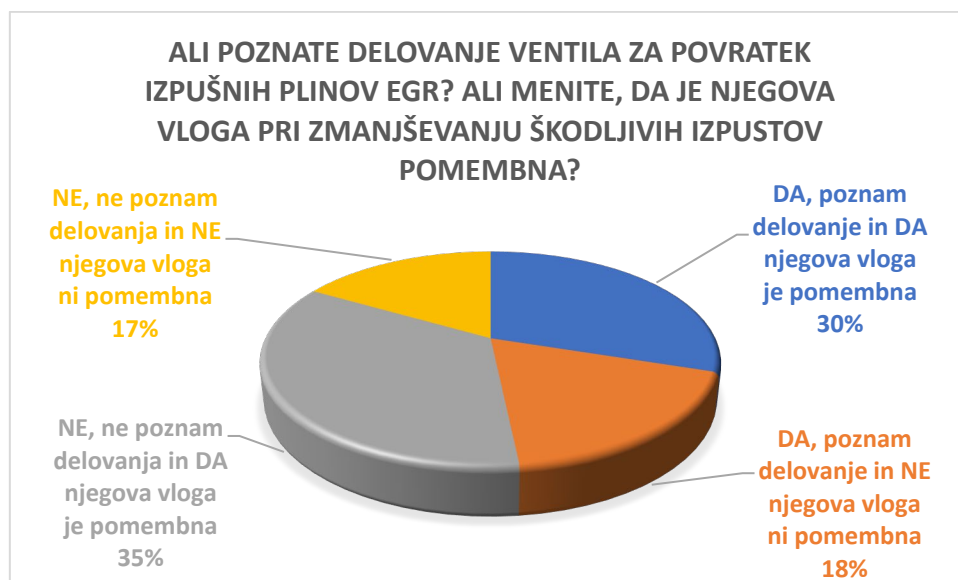
S tretjim vprašanjem smo želeli konkretno opredeliti in izvedeti kateri izmed sistemov za zmanjševanje škodljivih izpustov je po mnenju vprašanih najbolj pomemben. Na voljo so bili trije odgovori s tremi najbolj razširjenimi sistemi, izbrali pa so lahko le en odgovor. Največ glasov je prejel katalitični pretvornik. Rezultat nas ni presenetil, saj smo skozi teoretično raziskavo bili mnenja, da je zelo pomemben del pri obravnavi izpušnih plinov, saj s kemijsko spremembo plinov le te pretvori v manj nevarne za ljudi in okolje.



Grafikon 3: Predstavljeno razmerje odgovorov na tretje vprašanje

Vprašanje 4: Ali poznate delovanje ventila za povratek izpušnih plinov EGR? Ali menite, da je njegova vloga pri zmanjševanju škodljivih izpustov pomembna?

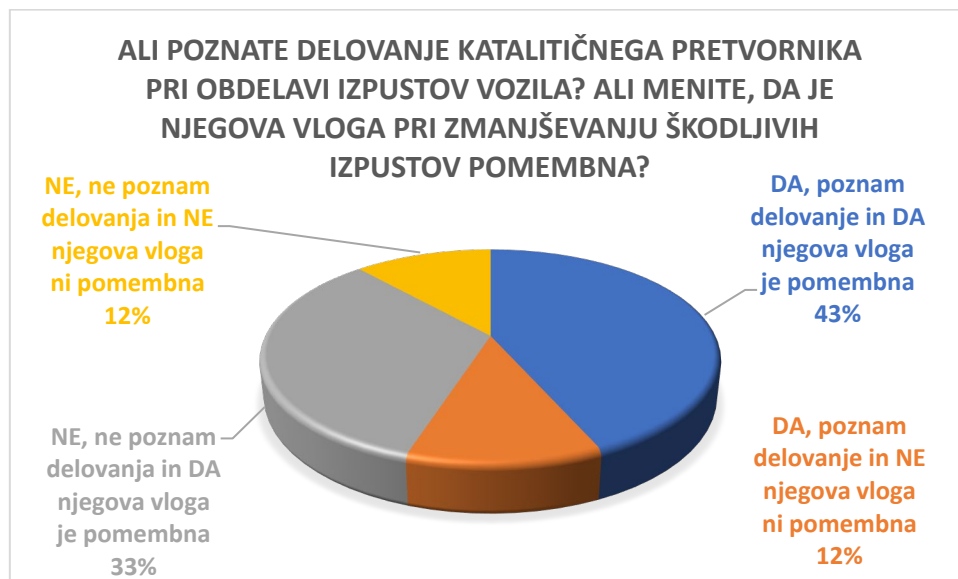
V nadaljevanju ankete smo s tremi vprašanji želeli preveriti ali vprašani sploh poznajo sisteme za obdelavo izpušnih plinov. Namreč poznavanje delovanja sistemov, vpliva tudi na odgovore na prejšnja vprašanja, saj le tako lahko izraziš svoje mnenje s premislekom o pomembnosti teh sistemov. Najprej nas je zanimalo ali vprašani poznajo delovanje ventila EGR. Največji delež je prejel odgovor, da delovanja sicer ne poznajo ampak se jim zdi njegova vloga pri obdelavi izpušnih plinov pomembna. Drugi največji odstotek odgovorov pa je prejel odgovor, da vprašani poznajo delovanje in se jim tudi vloga EGR ventila zdi pomembna. Veseli nas, da se je manjši delež vprašanih odločilo za tista dva odgovora, ki sta vsebovala odgovor, da se jim zdi vloga EGR ventila nepomembna.



Grafikon 4: Predstavljeno razmerje odgovorov na četrto vprašanje

Vprašanje 5: Ali poznate delovanje katalitičnega pretvornika pri obdelavi izpustov vozila? Ali menite, da je njegova vloga pri zmanjševanju škodljivih izpustov pomembna?

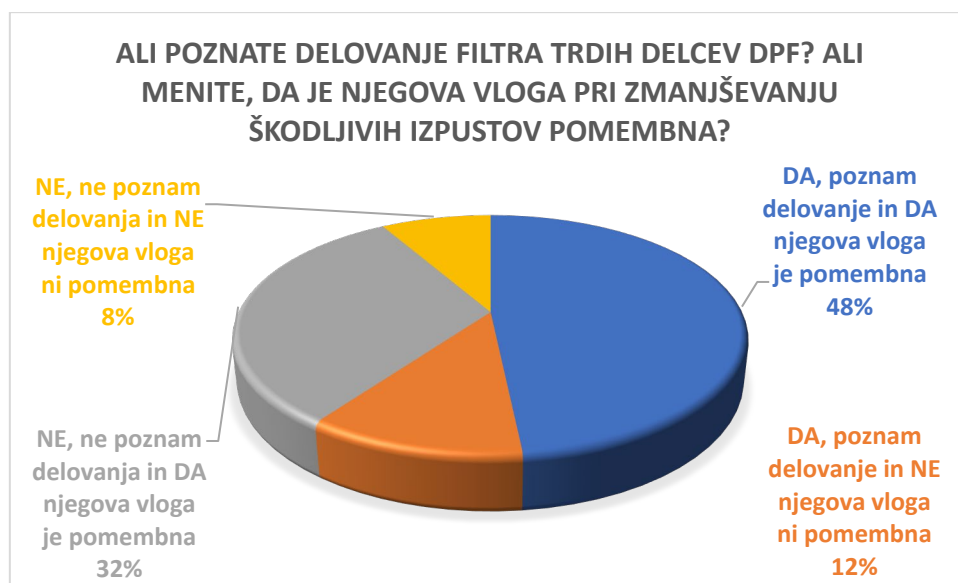
Pri petem vprašanju ankete nas je zanimalo ali ljudje poznajo delovanje katalitičnega pretvornika in ali se jim zdi njegova uporaba pomembna za obdelavo izpušnih plinov. Pričakovano sta prejela odgovora, ki sta vsebovala delni odgovor, da se jim zdi uporaba pomembna, največ glasov. Tokrat pa je tudi večina odgovorila, da celo pozna delovanje katalitičnega pretvornika. Verjetno tudi zato, ker je katalitični pretvornik že zelo dolgo uporabljen pri motorjih z notranjim zgorevanjem in ljudje bolje poznajo delovanje le tega. Podobno kot pri prejšnjem odgovoru sta odgovora, ki sta vsebovala delni odgovor, da vloga katalitičnega pretvornika ni pomembna, sta prejela podoben odstotek glasov.



Grafikon 5: Predstavljeno razmerje odgovorov na peto vprašanje

Vprašanje 6: Ali poznate delovanje filtra trdih delcev DPF? Ali menite, da je njegova vloga pri zmanjševanju škodljivih izpustov pomembna?

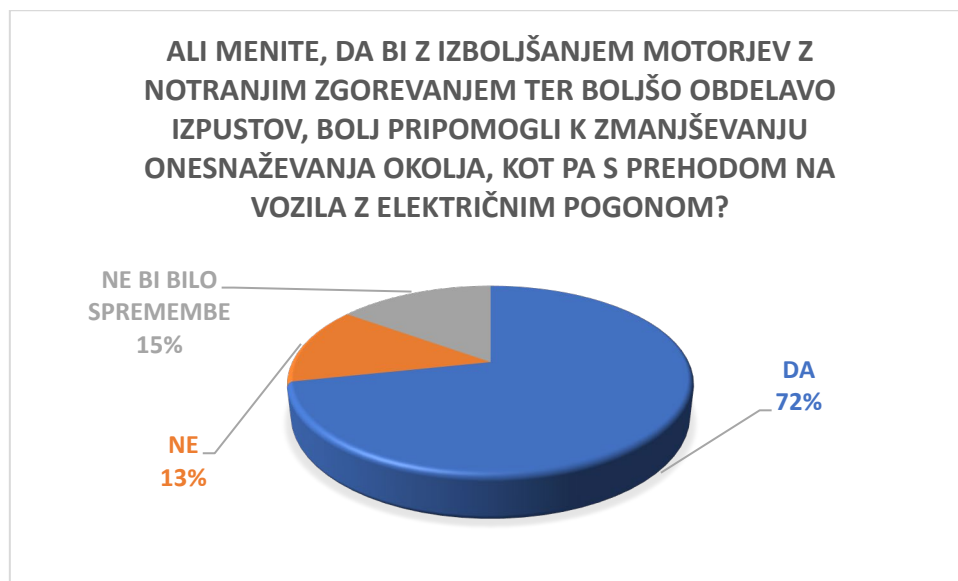
Kot zadnji sistem za obdelavo izpušnih plinov smo izpostavili filter trdih delcev DPF. Ta se uporablja pri dieselskih motorjih. Največji in izstopajoč odstotek je prejel odgovor, da vprašani poznajo njegovo delovanje in se jim zdi tudi njegova uporaba pomembna. Zelo malo odstotek glasov pa sta prejela odgovora, ki trdita, da je uporaba DPF-ja nepomembna. Zanimivo se nam zdi, saj se kot avtoserviserji srečujemo s strankami, ki imajo veliko in večkrat težave s tem filtrom, da je kljub temu rezultat odgovorov na to vprašanje takšen.



Grafikon 6: Predstavljeno razmerje odgovorov na šesto vprašanje

Vprašanje 7: Ali menite, da bi z izboljšanjem motorjev z notranjim zgorevanjem ter boljšo obdelavo izpuštov, bolj pripomogli k zmanjšanju onesnaževanja okolja, kot pa s preходом na vozila z električnim pogonom?

Z zadnjim vprašanjem ankete pa smo želeli izvedeti mnenje ljudi o preklopu vozil z notranjim zgorevanjem na sodobnejša električna vozila. Z vprašanjem nismo želeli aplicirati kateri izmed pogonskih sklopov se jim zdi bolj ekološki, ampak smo želeli izvedeti, da če bi avtomobilska industrija več truda namenila razvoju »čistejših« in varčnejših motorjev z notranjim zgorevanjem, če bi po njihovem mnenju to bolj pripomoglo k zmanjšanju onesnaževanja okolja. Največji delež kar 72 odstotkov meni, da bi bilo bolje, če bi avtomobili z notranjim zgorevanjem postali čistejši, kot pa da bi jih »zamenjali« z električnimi vozili. 15 odstotkov vprašanih pa meni, da spremembe ne bi bilo. Ti najbrž vidijo glavni razlog za onesnaževanja okolja drugje, ali pa so mnenja, da električna vozila pri svoji življenjski dobi od proizvodnje do razgradnje v enaki meri onesnažujejo okolje kot vozila z motorji z notranjim zgorevanjem.



Grafikon 7: Predstavljeno razmerje odgovorov na sedmo vprašanje

4 EKSPERIMENTALNI DEL

Pri ekperimentalnem delu raziskovalne naloge, smo želeli raziskati kakšen vpliv imajo prej obravnavani sistemi na sestavo in količino izpušnih plinov. Za testno vozilo smo izbrali Citroen Picasso 1.6 Hdi FAP letnik 2013. Razlog za izbor takšnega vozila je bil predvsem tehnične narave, namreč filter trdih delcev je bilo za nas tehnično najlažje odstraniti pri tem tipu vozila in motorja. Glede na to, da je katalitični pretvornik danes v prav skoraj vsakem vozilu, ki se vozi v prometu, in da je njegova vloga kemijska pretvorba izpušnih plinov, smo le tega izpustili iz meritev in ga vedno upoštevali kot pravilno delujočega. Namreč tudi uporabljeni merilci merijo količino izpustov in sestavo plinov po tej katalitični pretvorbi in bi z odstranitvijo le tega povzročili, da bi motor proizvajal pline, ki pa jih z merilniki sploh ne bi mogli izmeriti in so tako takšne meritve nesmiselne.

Izvedli smo štiri meritve izpušnih plinov, s katerimi smo želeli raziskati kašen vpliv imata prestala dva sistema za obdelavo izpušnih plinov na same izpuste vozila. Meritve smo izvajali pri ogretem motorju na delovno temperaturo in v kontroliranem okolju v šolskih delavnicah. Meritve smo lahko izvajali stacionarno, tako da smo izločili druge vplive okolja na meritve. V delavnicah je bila zunanja temperatura konstantna, prav tako ni bilo veternege upora. Na takšen način smo tudi izločili vpliv podlage in obremenitve motorja, kateri bi tudi lahko vplival na izmerjene vrednosti.

Meritve smo izvajali z merilniki TEXA s podporo z računalniškim programom, kateri prikazuje vrednosti. Poleg teh smo hkrati uporabljali tester za vozila Bosch, ki nam je v realnem času preko vmesnika OBD v vozilu prikazoval odprtost ventila EGR in ostale parametre po naših željah. V programu ESItronic Bosch, pa smo preverili podatke o normiranih izpustih za naše testno vozilo, kot tudi limite izpušnih plinov, ki so še primerni pri uporabi testnega vozila.



Slika 4: Merilni vmesnik za merjenje trdih delcev v izpustu



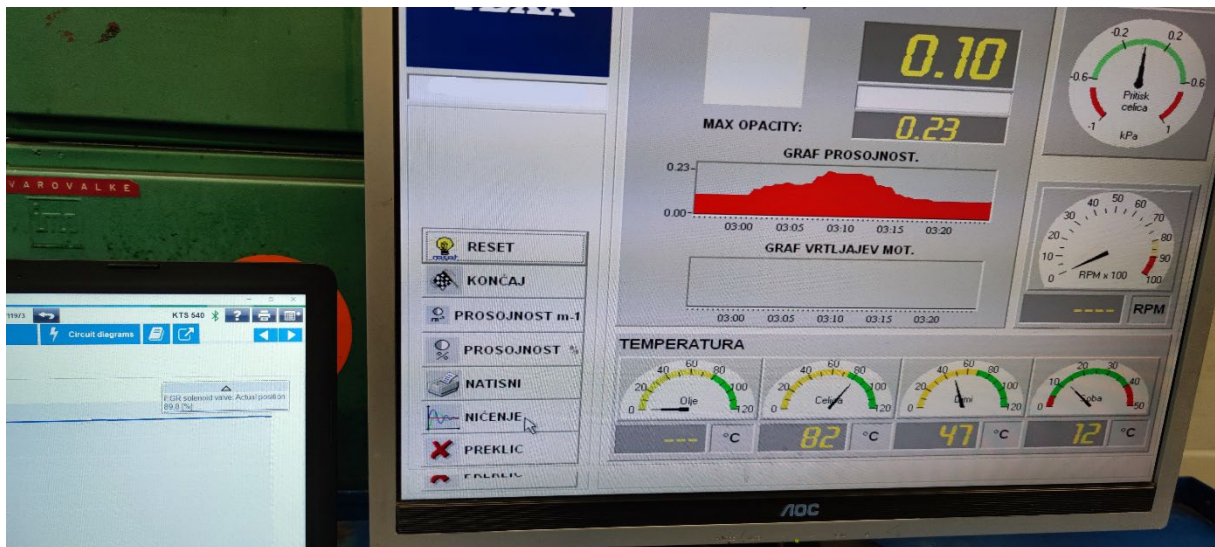
Slika 5: Merilni vmesnik za merjenje sestave izpušnih plinov

4.1 MERITEV 1: EGR VENTIL ODPRT, DPF FILTER PRISOTEN

Pri prvi meritvi smo spremljali kakšni so izpusti plinov in trdih delcev, kadar je EGR ventil odprt in je DPF filter prisoten v izpušnem sistemu. Izmerili smo, da v tem primeru znaša količina plinov NO_x, okoli 12 p.p.m. , količina trdih delcev pa okoli 0,10 m⁻¹ %. Izmerjene vrednosti so nihale za dve do tri merilne vrednosti v pozitivno ali negativno smer.



Slika 6: Meritev NO_x, EGR_ON, DPF_ON



Slika 7: Meritev trdih delcev, EGR_ON, DPF_ON

4.2 MERITEV 2: EGR VENTIL ZAPRT, DPF FILTER PRISOTEN

Pri drugi meritvi smo EGR ventil zaprli in opazovali vrednosti izpušnih plinov ter količino trdih delcev pri izpuhu vozila. DPF filter je v tem primeru tudi bil prisoten v izpušnem sistemu. Opazovane vrednosti izpustov NO_x so bile okoli 83 p.p.m., ter količina trdih delcev okoli 0,16 m⁻¹ %.



Slika 8: Meritev NO_x, EGR_OFF, DPF_ON



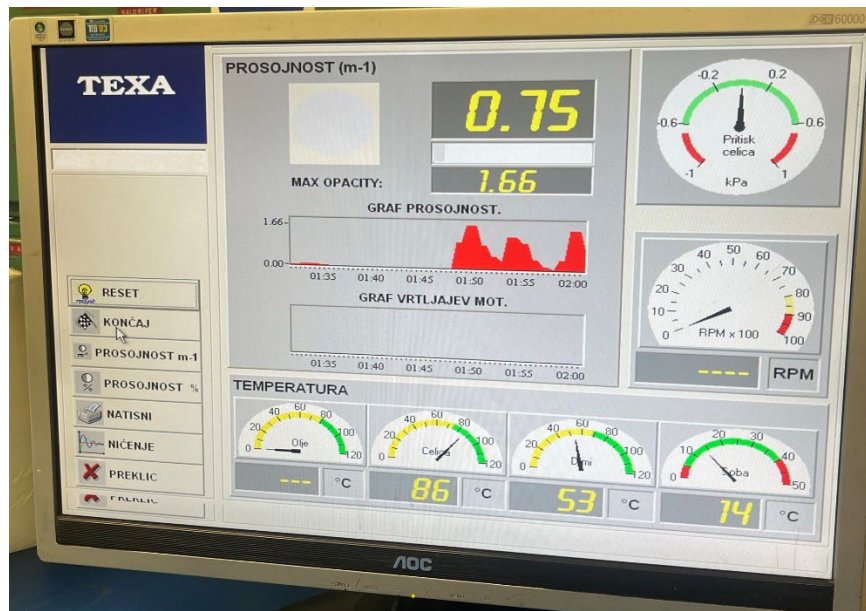
Slika 9: Meritev trdih delcev, EGR_OFF, DPF_ON

4.3 MERITEV 3: EGR VENTIL ODPRT, DPF FILTER ODSOTEN

Pri tretji meritvi smo ponovno odprli ventil EGR, DPF filter pa smo odstranili iz vozila ter ga nadomestili z izpraznjeno izpušno cevjo. Zopet smo opazovali dve ključne meritve na katere vplivata ta dva sistema. Izmerjena vrednost NO_x v takšni konfiguraciji sistemov je bila okoli 14 p.p.m., vrednost trdih delcev pa je poskočila na okoli $0,75\text{m}^{-1}\%$.



Slika 10: Meritev NO_x , DPF_OFF, EGR_ON



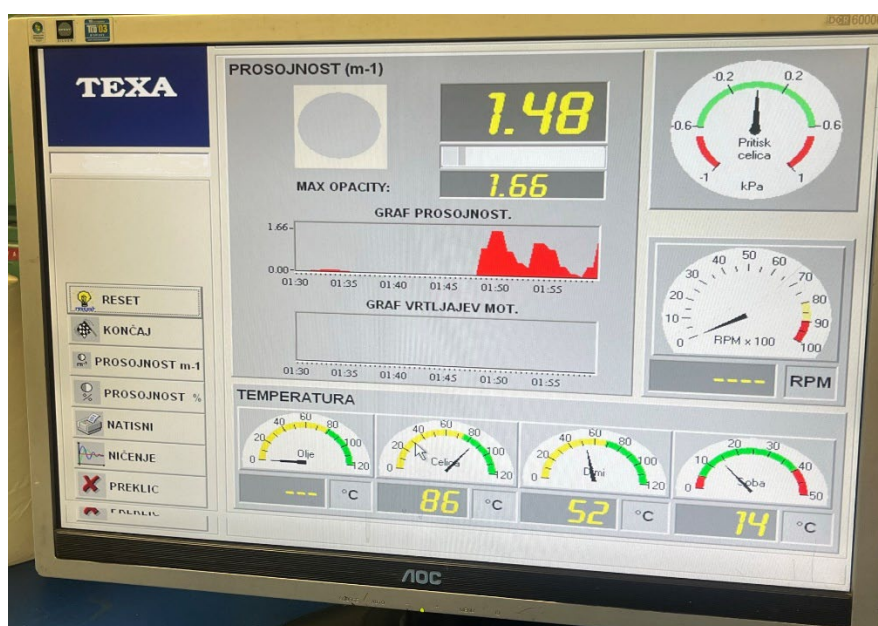
Slika 11: Meritev trdih delcev, DPF_OFF, EGR_ON

4.4 MERITEV 4: EGR VENTIL ZAPRT, DPF FILTER ODSOTEN

Pri zadnji meritvi pa smo ventil EGR zaprli, prav tako pa ni bil v sistemu prisoten filter DPF. V tem primeru je za obdelavo izpušnih plinov skrbel le katalitični pretvornik, katerega funkcijo pa smo že opisali prej v raziskovalni nalogi. Izmerjena vrednost izpustov NO_x je bila okoli 80 p.p.m., medtem ko je izmerjeno število trdih delcev poskočilo izven dovoljene vrednosti EU norme, in skoraj 3x več od homologirane vrednosti izpusta trdih delcev za to vozila na okoli 1,48 m⁻¹ %.



Slika 12: Meritev NO_x, DPF_OFF, EGR_OFF



Slika 13: Meritev trdih delcev, DPF_OFF, EGR_OFF

5 RAZPRAVA

V raziskovalni nalogi smo raziskovali, kako spreminjanje sistemov za obdelavo izpušnih plinov vpliva na količino izpustov vozila z dieselskim motorjem z notranjim zgorevanjem.

V eksperimentalnem delu, smo spremljali predvsem dve ključni meritvi. To sta količina proizvedenih trdih delcev ter količina dušikovih oksidov. Te dve količini smo izbrali za opazovanje zato, ker sta neposredno povezani z dvema sistemoma, katerima smo spreminjali vrednosti. DPF filter direktno vpliva na količino trdih delcev, medtem ko delovanje ventila EGR neposredno vpliva na količino proizvedenih dušikovih oksidov. Z meritvami smo potrdili, da imata oba sistema dejanski neposreden vpliv na opazovane merjene vrednosti. Kadar je bil EGR ventil odprt, se je količina dušikovih oksidov zmanjšala in obratno, kadar je bil EGR ventil zaprt in ni omogočal povratka izpušnih plinov, pa so se vrednosti NO_x-ov povečale.

Enako je bilo z uporabo filtra DPF z vplivom na količino trdih delcev v izpustu. Torej kadar je bil filter DPF prisoten v sistemu je bila količina trdih delcev v izpustu majhna in obratno velika, kadar filtra ni bilo v sistemu.

Najbolj z zanimanjem smo opazovali meritve pri variacijah odprtosti ventila EGR in prisotnosti filtra DPF. Želeli smo izvedeti, ali imata sistema tudi medsebojni vpliv, torej da bi DPF filter vplival na količino proizvedenih dušikovih oksidov in ali odprt EGR tudi pripomore k zmanjšanju količine trdih delcev v izpuhu. Ugotovili smo, da filter DPF ne vpliva na količino dušikovih oksidov, saj so bile izmerjene vrednosti podobne pri uporabi filtra DPF ali ne. Zanimivo pa je, da uporaba EGR ventila (torej odprtje) povzroči dodaten padec izmerjenih trdih delcev v izpuhu. To je sicer za pričakovati, saj del izpušnih plinov vrne v izgorevalno komoro, kjer so podvrženi ponovnemu izgorevanju in najverjetneje s tem tudi zato zmanjšanju količine trdih delcev. Tako se je izkazalo pri obeh meritvah s prisotnim filtrom DPF in brez filtra. Če primerjamo rezultate ankete z dobljenimi rezultati meritve, lahko ugotovimo, da vprašani menijo, da sta ta dva sistema pomembna pri obdelavi izpušnih plinov, naše meritve pa to tudi potrjujejo. Na vprašanje kateri izmed sistemov je najbolj pomemben, je največ glasov dobil katalitični pretvornik, med sistemoma, ki smo jih pa merili, pa so vprašani v 22% izbrali ventil EGR in 17% filter trdih delcev. Z meritvami smo potrdili, da je vpliv EGR-a na izpušne pline pomembnejši, saj neposredno vpliva na količino dušikovih oksidov, hkrati pa ima tudi vpliv na količino trdih delcev, medtem ko filter DPF vpliva bolj kot ne samo na količino trdih delcev.

5.1 OVREDNOTENJE HIPOTEZ

HIPOTEZA 1: Delovanje EGR ventila vpliva na količino proizvedenih trdih delcev pri dieselskih motorjih.

Prvo hipotezo lahko skoraj v celoti potrdimo, saj smo z meritvami ugotovili, da se pri odprtju ventila EGR količina trdih delcev zmanjša in obratno pri zaprtju ventila, kadar je ponovna uporaba izpušnih plinov v zgorevalni komori onemogočena, vrednosti trdih delcev narastejo.

HIPOTEZA 2: Filter DPF vpliva na količino proizvedenih NO_x plinov pri dieselskih motorjih.

To hipotezo lahko skoraj v celoti ovržemo. Izmerjene vrednosti NO_x-ov so bile primerljive kadar je bil prisoten ali odsoten DPF. Torej filter DPF nima velikega neposrednega vpliva na količino dušikovih oksidov.

HIPOTEZA 3: Ventil EGR nima vpliva na količino proizvedenih NO_x ali drugih plinov pri dieselskih motorjih.

To hipotezo lahko v celoti ovržemo, saj smo že pri teoretični raziskavi spoznali, da je uporaba EGR primarno izključno namenjena zmanjševanju dušikovih oksidov. Meritve pri odprtem ventilu EGR in tako omogočeni recirkulaciji izpušnih plinov so nam prikazale, da so se vrednosti dušikovih oksidov v tem primeru zmanjšale.

HIPOTEZA 4: Filter DPF je nepotreben, saj bistveno ne pripomore h »čistejšim« izpustom dieselskega motorja z notranjim zgorevanjem.

To hipotezo smo prav tako v celoti ovrgli, saj filter DPF znatno pripomore k zmanjšanju proizvedenih trdih delcev, ki bi v nasprotnem primeru bili izpuščeni v okolje in bi s tem poslabševali in nasičevali naše ozračje. Tako bi veliko presežena vrednost trdih delcev v zraku neposredno vplivala na zdravje ljudi in posledično tudi ostalih organizmov.

6 ZAKLJUČEK

Raziskovali smo, kako različni sistemi za obdelavo izpušnih plinov vplivajo na sestavo ter količino izpušnih plinov.

Za testno vozilo smo izbrali vozilo z dieselskim motorjem, saj pri dieselskih motorjih poleg ostalih plinov nastajajo tudi trdi delci, ki se smatrajo za najbolj problematične onesnaževalca okolja pri avtomobilih. Z meritvami smo želeli preveriti, kako vplivajo različni sistemi na sestavo izpušnih plinov in tudi kakšen je njihov medsebojni vpliv. Najbolj nas je zanimala količina proizvedenih trdih delcev in pa proizvedena količina dušikovih oksidov. Ostalih plinov nismo opazovali, saj so elementi, ki smo jih spreminjali in opazovali direktno povezani z dušikovimi oksidi in trdimi delci v izpustu. Pri teoretičnem raziskovanju smo ugotovili, da EGR ventil vpliva primarno na dušikove okside, medtem ko za regulacijo trdih delcev pri vozilih z dieselskim motorjem uporabljamo DPF filter. Z anketnim vprašalnikom smo izvedeli, da se ljudje v večji meri zavedamo, da so vsi sistemi za obdelavo izpušnih plinov pomembni, ne glede na to, ali delovanje samih sistemov poznamo ali ne. V eksperimentalnem delu pa smo z meritvami potrdili ali ovrgli naše hipoteze, ki so se nanašale predvsem na obravnavo dušikovih oksidov in proizvedenih trdih delcev. Ugotovili smo, da sta oba sistema ventil EGR in filter DPF zelo pomembna pri obdelavi izpušnih plinov. Zanimivo je pa to, da EGR sicer s svojim delovanjem direktno vpliva na količino dušikovih oksidov, posredno pa tudi na proizvodnjo trdih delcev. Zaznali smo, da so trdi delci pri odprtem EGR ventilu bili manjši v obeh primerih, če smo ali pa nismo uporabili DPF filtra. Medtem ko DPF filter pa ni imel znatnega vpliva na količino dušikovih oksidov pri izpustu.

Raziskava nam je pokazala, da so sistemi namenjeni obdelavi izpušnih plinov v vozilu zelo pomembni, saj s svojim delovanjem znatno pripomorejo k čistejšim izpustom vozila z motorjem z notranjim zgorevanjem. Velikokrat ljudje zaradi težav s temi sistemi preprosto le te odstranijo in programske od kodirajo, vendar se ne zavedajo, da s takšnim ravnanjem ne le da je njihovo vozilo tehnično neustrezno, ampak tudi škodljivo za okolje in organizme v njem. Zato je smotrno sisteme vzdrževati in popravljati ob morebitni okvari, saj bomo tako vsi kanček pripomogli k zmanjšanju nevarnih izpustov vozil z motorji z notranjim zgorevanjem.

7 VIRI IN LITERATURA

1. MOTORNO vozilo. 29. prenovljena izd., 1. natis. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije. 2011.
2. KATALITIČNI PRETVORNIK. [Online]. [Citirano 8. jan. 2024; 20.21]. Dostopno na spletnem naslovu: https://en.wikipedia.org/wiki/Catalytic_converter
3. VENTIL EGR. [Online]. [Citirano 8. jan. 2024; 20.48]. Dostopno na spletnem naslovu: https://sl.wikipedia.org/wiki/Recirkulacija_izpušnega_plina
4. FILTER DPF. [Online]. [Citirano 8. jan. 2024; 21.05]. Dostopno na spletnem naslovu: https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_particulate_filter
5. SLIKA 1 – KATALITIČNI PRETVORNIK. [Online]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://naroci-revijo.si/kako-skrbeti-za-izpusni-sistem-in-katalizator/>
6. SLIKA 2 – EGR VENTIL. [Online]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://www.skruvat.no/EGR-Ventil-P872071.aspx>
7. SLIKA 3 – DPF filter. [Online]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://avtostop.si/2021/nasveti/kaj-je-dpf-filter/>
8. SLIKA 4 DO 13 – MERITVE PRI EKSPERIMENTALNEM DELU. Osebni arhiv

8 PRILOGE

8.1 PRILOGA 1: ANKETA

1. Ali menite, da so osebni avtomobili glavni onesnaževalci ozračja?
 - Da.
 - Ne.
2. Kateri motor z notranjim zgorevanjem po vašem mnenju bolj onesnažuje okolje, bencinski ali dieselski?
 - Dieselski.
 - Bencinski
3. Motorji z notranjim zgorevanjem uporabljajo za zmanjševanje škodljivih izpustov več različnih sistemov, kot so EGR, katalitični pretvornik in DPF. Kateri izmed njih je po vašem mnenju najbolj pomemben?
 - EGR.
 - DPF.
 - Katalitični pretvornik
4. Ali poznate delovanje ventila za povratek izpušnih plinov EGR? Ali menite, da je njegova vloga pri zmanjševanju škodljivih izpustov pomembna?
 - DA, poznam delovanje in DA njegova vloga je pomembna
 - DA, poznam delovanje in NE njegova vloga ni pomembna
 - NE, ne poznam delovanja in DA njegova vloga je pomembna
 - NE, ne poznam delovanja in NE njegova vloga ni pomembna
5. Ali poznate delovanje katalitičnega pretvornika pri obdelavi izpustov vozila? Ali menite, da je njegova vloga pri zmanjševanju škodljivih izpustov pomembna?
 - DA, poznam delovanje in DA njegova vloga je pomembna
 - DA, poznam delovanje in NE njegova vloga ni pomembna
 - NE, ne poznam delovanja in DA njegova vloga je pomembna
 - NE, ne poznam delovanja in NE njegova vloga ni pomembna
6. Ali poznate delovanje filtra trdih delcev DPF? Ali menite, da je njegova vloga pri zmanjševanju škodljivih izpustov pomembna?
 - DA, poznam delovanje in DA njegova vloga je pomembna
 - DA, poznam delovanje in NE njegova vloga ni pomembna
 - NE, ne poznam delovanja in DA njegova vloga je pomembna
 - NE, ne poznam delovanja in NE njegova vloga ni pomembna
7. Ali menite, da bi z izboljšanjem motorjev z notranjim zgorevanjem ter boljšo obdelavo izpustov, bolj pripomogli k zmanjševanju onesnaževanja okolja, kot pa s prehodom na vozila z električnim pogonom?
 - Da.
 - Ne.
 - Ne bi bilo spremembe