



B&B  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija  
Program: Strojništvo  
Modul: Orodjarstvo

## **RAZVOJ DIZELKEGA MOTORJA IN NJEVOVA PRIHODNOST**

Mentor: mag. Viktor Jemec, uni.dipl.inž.str.  
Lektorica: Petra Arula, prof. slov. in soc.

Kandidat: Zoran Bohinjc

Kranj, januar 2026

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju mag. Viktorju Jemcu za podporo in pomoč pri nalogi.

Zahvaljujem se tudi lektorici Petri Arula, ki je mojo diplomsko nalogo pregledala.

Predvsem pa se zahvaljujem staršema in družini, ki so me podpirali pri študiju.

## **IZJAVA**

Študent Zoran Bohinjc izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Viktorja Jemca.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole in v institucionalnem oz. nacionalnem repozitoriju (COBISS).

Dne \_\_\_\_\_

Podpis: \_\_\_\_\_

## **POVZETEK**

Leta 1908 je v tovarni Ford, ki je bila v lasti Henryja Forda, s tekočega traku pripeljal prvi serijski model Ford T. Začelo se je obdobje serijske proizvodnje vozil. Po najnovejših ocenah je danes na cestah približno 1,644 milijarde vozil, od teh je skoraj 60 milijonov električnih.

Vozila z motorji na notranje izgorevanje znatno prispevajo k onesnaževanju ozračja, kar močno vpliva na zdravje ljudi, predvsem v mestih. Proizvajalci so bili skozi leta primorani razvijati in izboljševati sisteme, s katerimi so občutno zmanjšali negativni vpliv na zdravje in počutje ljudi.

Z uvedbo dodatnih sistemov za čiščenje izpušnih plinov in njihovo izboljšavo skozi čas, predvsem na izpušnem sistemu, so vozila postala čistejša kot kadarkoli prej. Zahteve po čim manjšem negativnem vplivu so vedno strožje, zato je Evropa sprejela smernice, po katerih naj bi do leta 2035 prenehali izdelovati vozila z notranjim izgorevanjem. Z uvedbo alternativnih goriv bi lahko dodatno zmanjšali onesnaževanje in po mojem mnenju bi taka vozila lahko še vedno proizvajali in uporabljali.

## **KLJUČNE BESEDE**

- izpušni sistem
- DOC, oksidacijski katalitični pretvornik
- SC
- R, sistem selektivne katalitične redukcije
- EGR, sistem vračanja izpušnih plinov
- alternativna goriva

## **ABSTRACT**

In 1908, the first mass-produced Ford Model T rolled off the assembly line at the Ford factory, owned by Henry Ford. This marked the beginning of the era of mass vehicle production. According to the latest estimates, there are currently around 1.644 billion vehicles on the road, nearly 60 million of which are electric.

Internal combustion engine (ICE) vehicles significantly contribute to air pollution, which has a major impact on human health - especially in urban areas. Over the years, manufacturers have been compelled to develop and improve systems that substantially reduce the negative effects on people's health and well-being.

With the introduction and continuous improvement of exhaust gas cleaning systems - particularly those integrated into the exhaust system - vehicles have become cleaner than ever before. However, regulations aimed at minimizing environmental impact are becoming increasingly stringent. As a result, the European Union has adopted guidelines to phase out the production of internal combustion engine vehicles by 2035 in pursuit of carbon neutrality.

The use of alternative fuels could further reduce pollution and in my opinion, such vehicles could still be produced and used in the future.

## **KEYWORDS**

- exhaust system
- DOC, Diesel Oxidation Catalyst
- SCR, Selective Catalytic Reduction system
- EGR, Exhaust Gas Recirculation system
- alternative fuels

## KAZALO

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge.....	1
1.3	Predpostavke in omejitve.....	1
1.4	Metode dela .....	2
<b>2</b>	<b>ZGODOVINA</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ZGRADBA IN DELOVANJE DIZELSKEGA MOTORJA</b> .....	<b>5</b>
3.1	Zgradba dizelskega motorja.....	5
3.2	Delovanje dizelskega motorja .....	7
3.2.1	Dizlov krožni proces .....	7
3.2.1.1	Izobarno vsesavanje zraka .....	7
3.2.1.2	Izentropna kompresija zraka .....	8
3.2.1.3	Vbrizg goriva – izobarno zgorevanje.....	8
3.2.1.4	Izentropna ekspanzija – pridobljeno delo.....	9
3.2.1.5	Izohorni izpuh.....	9
3.2.1.6	Izobarni iztisk zgorelih plinov .....	10
3.2.2	Delovni takti sodobnega dizelskega motorja.....	10
3.2.2.1	Takt – sesanje .....	11
3.2.2.2	Takt – stiskanje .....	12
3.2.2.3	Takt – Delovni gib.....	13
3.2.2.4	Izpušni gib .....	14
3.2.3	Načini vbrizgavanja .....	15
3.2.3.1	Posredni: v deljeni zgorevalni prostor .....	16
3.2.3.2	Neposredni: v nedeljeni zgorevalni prostor .....	17
<b>4</b>	<b>EURO EMISIJSKI STANDARDI</b> .....	<b>18</b>
4.1	Produkti zgorevanja v valju dizelskega motorja .....	19
4.2	Delež novih avtomobilov v EU .....	20
4.3	Delež novih tovornih vozil v 2024 .....	20
<b>5</b>	<b>IZBOLJŠAVE MOTORJA SKOZI ČAS</b> .....	<b>21</b>
5.1	Sistemi za vbrizgavanje goriva .....	21
5.1.1	Razvoj.....	21
5.1.2	Napredni sistemi vbrizgavanja goriva .....	22
5.1.2.1	Sistem črpalka-šoba .....	22
5.1.2.2	Vbrizgavanje goriva s skupnim vodom – Common Rail .....	23
5.1.2.3	Visokotlačna črpalka Bosch CP4 .....	26
<b>5.2</b>	<b>Sistem za obdelavo izpušnih plinov</b> .....	<b>29</b>
5.2.1	Izpušni sistem EURO 6 .....	29
5.2.1.1	EGR .....	30
5.2.1.2	Oksidacijski in hranilni katalitični pretvornik .....	38
5.2.1.3	Filter trdnih delcev – DPF .....	40
5.2.1.4	Selektivna katalitična redukcija (SCR) .....	49

<b>6</b>	<b>VRSTE ALTERNATIVNIH GORIV, PRIMERNIH ZA DIZELSKO MOTORJE ..</b>	<b>53</b>
6.1	Biogoriva 1. generacije – Biodizel .....	54
6.2	Biogoriva 2. generacije - Obnovljivi dizel (HVO).....	55
6.3	Emulgirana goriva (npr. Aquafuel, emulzije voda-dizel) .....	56
6.4	Dodatki in izboljšani dizel (Gdiesel) .....	56
6.5	Napredna biogoriva (HTL bio olja).....	56
6.6	Sintetična goriva (XTL).....	57
6.7	Praksa in izzivi pri uvajanju alternativnih goriv .....	58
6.7.1	BMW AG .....	58
6.7.2	VOLKSWAGEN GROUP (VW, AUDI, ŠKODA, SEAT ...) .....	59
6.7.3	RENAULT (VKLJUČNO Z NISSAN, DACIA, PSA).....	60
6.7.4	MERCEDES-BENZ (DAIMLER).....	60
6.7.5	VOLVO .....	60
6.7.6	TOYOTA (Hilux, Land Cruiser, Proace).....	61
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>62</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURA IN VIRI.....</b>	<b>64</b>

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Patent, centrifugalnega regulatorja .....	3
Slika 2: Dizelski motor .....	6
Slika 3: Izobarno vsesavanje zraka .....	7
Slika 4: Izentropna kompresija zraka .....	8
Slika 5: Vbrizg goriva – izobarno zgorevanje .....	8
Slika 6: Izentropna ekspanzija– pridobljeno delo .....	9
Slika 7: Izohorni izpuh .....	9
Slika 8: Izobarni iztisk zgorelih plinov .....	10
Slika 9: Sesalni gib .....	11
Slika 10: Kompresijski gib.....	12
Slika 11: Delovni gib.....	13
Slika 12: Izpušni gib .....	14
Slika 13: Kompresijsko razmerje .....	15
Slika 14: Posredni način vbrizgavanja .....	16
Slika 15: Neposredni način vbrizgavanja goriva .....	17
Slika 16: Emisijski standardi za avtomobile z dizelskim motorjem .....	18
Slika 17: Delež posameznih spojin ob zgorevanju goriva v dizelskem motorju .....	19
Slika 18: Delež novih avtomobilov v EU glede na vir energije v EU .....	20
Slika 19: Delež novih gospodarskih vozil glede na vir energije v EU v letu 2024 ....	20
Slika 20: Šoba in trup šobe.....	21
Slika 21: Injektor za vbrizg goriva .....	22
Slika 22: Sistem skupnega voda z dvojno regulacijo .....	25
Slika 23: Odprta vbrizgalna šoba z elektromagnetnim ventilom .....	25
Slika 24: Prerez visokotlačne črpalke .....	27
Slika 25: Visokotlačna črpalka Bosch CP4 .....	28
Slika 26: Poškodovan valjček in odmikač .....	29
Slika 27: Izpušni sistem.....	29
Slika 28: Visokotlačni in nizkotlačni EGR.....	32
Slika 29: Nepravilno delovanje aktuatorja EGR .....	33
Slika 30: Preizkus z ročno podtlačno črpalko.....	34
Slika 31: Preizkus električnega dela ventila EGR .....	34
Slika 32: EGR.....	35
Slika 33: Očiščena podtlačna loputa.....	36
Slika 34: Hladilnik izpušnih plinov pred in po čiščenju .....	36
Slika 35: ventil EGR pred in po čiščenju .....	37
Slika 36: Očiščen sistem EGR z novimi tesnili.....	37
Slika 37: Katalitični pretvornik.....	39
Slika 38: Graf učinkovitosti pretvorbe CO in HC .....	39
Slika 39: Puščanje olja na gredi.....	41
Slika 40: Monolitna zgradba filtra DPF.....	42
Slika 41: Zamašen filter DPF .....	43

Slika 42: Tok izpušnih plinov skozi filter DPF.....	44
Slika 43: Padec tlaka glede na masni pretok plinov in njihovo temperaturo .....	45
Slika 44: Filter DPF z zaznavalom diferenčnega tlaka .....	45
Slika 45: Oksidacija saj z NO <sub>2</sub> in O <sub>2</sub> .....	46
Slika 46: Vpliv naknadno vbrizganega goriva na dvig temperature .....	48
Slika 47: Vbrizg goriva v izpušni zbiralnik .....	48
Slika 48: AdBlue sistem.....	51
Slika 49: Delovanje Selektivne katalitične redukcije.....	52

---

## KRATICE IN AKRONIMI

**WLTP:** Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure – Laboratorijski preizkusni postopek za merjenje porabe goriva in emisij CO<sub>2</sub>

**ECV:** Electric Convenience Vehicle – Električna vozila

**EGR:** Exhaust Gas Recirculation – Recirkulacija izpušnega plina

**DOC:** Diesel Oxidation Catalyst – Oksidacijski in hranilni katalitični pretvornik.

**DPF:** Diesel Particulate Filter – Filter trdnih delcev

**SCR:** Selective Catalytic Reduction – Sistem selektivne katalitične redukcije

**FAME:** Fatty Acid Methyl Esters – Biodizel

**HVO:** Hydrogenated vegetable oil – Parafinsko gorivo

---

# 1 UVOD

## 1.1 Predstavitev problema

Hiter razvoj prometa v zadnjih desetletjih je pripomogel k vse večji mobilnosti, vendar pa je to povzročilo znatno povečanje onesnaženosti zraka. Motorna vozila z notranjim izgorevanjem z izpusti, ki so posledica izgorevanja fosilnih goriv, pomembno prispevajo k onesnaženosti okolja. V ozračje sproščajo različne škodljive snovi, ki predstavljajo tveganje za zdravje ljudi.

Dizelski motor velja za najbolj učinkovit motor z notranjim izgorevanjem. Pri delovanju se izločajo trdni delci in plini, ki negativno vplivajo na naše zdravje in okolje. Z namenom zmanjšanja emisij so bile sprejete evropske smernice, ki proizvajalcem nalagajo vedno strožje zahteve glede količine izpustov motorjev z notranjim izgorevanjem. Z nenehnim razvojem so proizvajalci morali zadostiti zahtevam glede izpustov emisij. V prihodnosti je obstoj dizelskega motorja odvisen tudi od razvoja alternativnih goriv.

## 1.2 Cilji naloge

Namen naloge je predstaviti delovanje motorja z notranjim izgorevanjem in njegov razvoj skozi zgodovino. Za doseganje zmanjšanja emisij so bile potrebne nenehne izboljšave, ki jih bom opisal v tej nalogi.

Kot rezultat naloge bi izpostavil napredek v razvoju in doseganje okoljskih standardov, ki bodo lahko zagotovili nadaljnji obstoj te vrste motorja.

## 1.3 Predpostavke in omejitve

Kljub stalnemu razvoju dizelskega motorja je pri doseganju standardov, ki jih določa EU in so vedno strožji, težko napovedati, kakšna bo prihodnost motorja. V primeru uspešne uvedbe alternativnih goriv lahko predpostavimo, da bodo vozila z notranjim izgorevanjem še naprej v prodaji tudi po letu 2035. Stroški proizvodnje alternativnih goriv so zaenkrat visoki, zato je širša uporaba trenutno omejena. V interesu proizvajalcev vozil je obstanek in nadaljnja uporaba motorja, saj trenutna avtomobilska industrija zagotavlja veliko število delovnih mest.

Pri obravnavanju motorja sem imel na voljo dovolj obstoječih virov, pri raziskovanju alternativnih goriv pa sem gradivo pridobil iz posameznih poročil.

## 1.4 Metode dela

Z uporabo teoretične raziskovalne metode sem zbral obstoječe teorije in ugotovitve o delovanju motorja in nadgradnjah oziroma izboljšavah, ki so bile potrebne za doseganje okoljskih standardov. Proizvajalci so bili primorani uvesti izboljšave z namenom doseganja le-teh, posledično se je poleg izpustov zmanjšala tudi poraba goriva. Uporabil sem tudi praktično metodo dela, s katero sem v domači delavnici prikazal stanje in problem motorja v vozilu po večletnem delovanju.

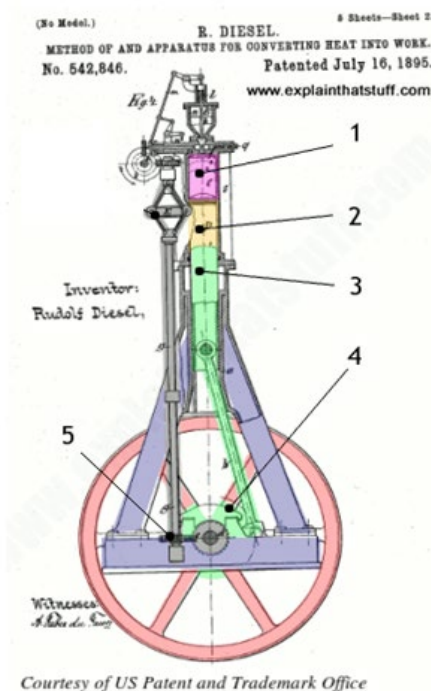
V nalogi sem predstavil tudi trenutno znane predhodne raziskave o uporabi HVO- in e-goriv.

## 2 ZGODOVINA

Dizelski motor imenujemo tudi motor s kompresijskim vžigom. Ideja izumitelja Rudolfa Diesla je bila oblikovati motor, ki ima večji izkoristek kot takrat priljubljeni parni stroj. Tako je leta 1892 pri patentnem uradu v Berlinu prijavil patent za motor, pri katerem se je premogov prah zaradi toplote, ki je nastala s kompresijo, tudi vžgal. Dizelski motor omogoča večji termični izkoristek. Ima višje kompresijsko razmerje kot navadni bencinski motorji in rezultat je bolj gospodarna izraba goriva. Prvi preizkus dizelskega motorja je bil neuspešen, zato je bila potrebna serija izboljšav, ki je pripeljala do uspešnega zagona leta 1897. Vendar je bil novi motor težek, tehtal je približno 4,5 tone in je bil visok 3 metre, zato tega motorja še ni bilo možno uporabljati za cestna motorna vozila. Deloval je na poceni težko kurilno olje, ki je ostanek predelovalnega procesa surove nafte. Izkoristek motorja je bil 26,2 % in je predstavljal velik napredek v primerjavi s parnim motorjem, katerega učinkovitost je 10 %. Današnji dizelski motorji imajo zaradi razvoja skozi čas boljši izkoristek, ki dosega tudi do 43 %. Z nadaljnjimi izboljšavami na področju vbrizgavanja goriva in tvorjenja mešanice pa so motor začeli uporabljati predvsem za ladijski pogon, ki ni imel nobene alternative. Izkoristek motorja izrazimo z razmerjem med koristnim delom (W) in vložnim delom (E).

Legenda:

- 1 Valj
- 2 Bat
- 3 Ojnica
- 4 Gred
- 5 Zobniški prenos



Slika 1: Patent, centrifugalnega regulatorja  
(Vir: Explainthatstuff portal, 2024)<sup>1</sup>

Drugi pomembni mejniki v razvoju motorja:

- I. 1905 – predstavljen je bil prvi turbopolnilnik in hladilnik stisnjenega zraka za dizelske motorje;
- I. 1909 – patentiran je bil zgorevalni postopek s predkomoro, ki je omogočal razvoj dizelskega motorja do te mere, da ga je bilo možno vgraditi v osebna vozila;
- I. 1910 – predstavljena je bila uspešno delujoča šoba za vbrizg goriva;
- I. 1936 – Mercedes-Benz je predstavil prvo osebno vozilo na dizelski pogon;
- I. 1960 – dizel je postal prevladujoč pogonski agregat na področju tovornih vozil;
  - I.1964 – Daimler-Benz je namesto zgorevalnega prostora s predkomoro začel uporabljati direktni vbrizg goriva;
- I. 1970 – predstavljen je bil EGR-ventila izpušnih plinov, v Evropi je postal obvezen sestavni del vozil;
- I. 1976 – začel se je razvoj vbrizgavanja goriva po principu skupnega voda – common rail;
- I. 1992 – 1. julija je stopil v veljavo emisijski standard EURO 1;
- I. 1993 – prvi dizelski motor za osebno vozilo s štirimi ventili na valj;
- I. 2000 – Peugeot je prestavil filter trdih delcev, DPF filter;
- I. 2008 – Volkswagen je prestavil katalizator za potniška vozila z dizelskim motorjem;
- I. 2015 – Dieselgate. Nemški proizvajalec vozil Volkswagen je priznal, da je goljufal na okoljskih testih. Motorje je opremil s posebno programsko opremo, ki je zaznala fazo testiranja in v tem primeru znižala škodljive izpuste motorja. Ta prelomnica je še dodatno pospešila prehod na električno mobilnost, s katero želimo zmanjšati ogljični odtis, ki pa zaradi različnih vzrokov še ne bo v celoti zamenjala motorja z notranjim izgorevanjem. Tako lahko dizelska vozila predstavljajo zmanjšan ogljični odtis na osnovi svoje manjše porabe.

---

<sup>1</sup> V seznamu virov: *portal explainthatstuff, Diesel engines, Chris Woodford. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova: <https://www.explainthatstuff.com/diesel-engines.html>. Navedena letnica 2024 je vezana na zadnjo spremembo v zapisu.*

## **3 ZGRADBA IN DELOVANJE DIZELKEGA MOTORJA**

### **3.1 Zgradba dizelskega motorja**

Pri dizelskem motorju so zaradi višjega tlaka v valju motorja potrebni močnejši sestavni deli. Obremenitve motorja so višje, kompresijsko razmerje je višje kot pri bencinskem motorju. Prvotno so bili motorji posledično precej težji od bencinskih, danes pa so zaradi napredka v materialih le malenkost težji.

Osnovno delovanje motorja se od samega začetka ni spremenilo, izboljšali pa so se sestavni deli motorja, ki so pripomogli k večji učinkovitosti in manjši porabi goriva.

Zaradi čim manjšega vpliva na okolje in zdravje ljudi pa proizvajalci vozil namenijo velik poudarek čiščenju emisij, ki nastanejo v zgorevalni komori pri delovanju motorja in se skozi izpušni sistem izločajo v okolje. Le tako – s čim manjšim negativnim vplivom na okolje – se bo motor z notranjim izgorevanjem lahko še uporabljal. Posledično so bili skozi razvoj motorju dodani različni elementi, ki so omogočili nadaljnjo uporabo, saj so morali proizvajalci zadostiti normam glede škodljivih izpustov.

Legenda:

- 1 Injektor
- 2 Odmična gred
- 3 Bat
- 4 Ventil
- 5 Zgorevalni prostor
- 6 Kompresijski prostor
- 7 Glavna gred
- 8 Tlačni polnilnik na izpušne pline
- 9 Katalizator in DPF
- 10 Veriga omogoča prenos dela, ki ga opravi glavna gred na odmično gred



*Slika 2: Dizelski motor*  
(Vir: Theengineer portal, 2016) <sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> V seznamu virov: portal theengineer, Renault solves unwanted engine noise and vibration using Maple. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova: <https://www.theengineer.co.uk/content/product/renault-solves-unwanted-engine-noise-and-vibration-using-maple/>). Navedena letnica 2016 je vezana na zadnjo spremembo v zapisu.

## 3.2 Delovanje dizelskega motorja

### 3.2.1 Dizlov krožni proces

Krožni procesi so sklenjeni procesi, pri katerih se delovno sredstvo vrača v začetno stanje. Delo se opravlja v neprekinjenem zaporedju. Dizlov krožni proces nosi ime po nemškem inženirju Rudolfu Dizlu. Pri motorjih z notranjim zgorevanjem je zelo pomemben termodinamični izkoristek krožnega procesa. Gre za razmerje med pridobljenim delom in porabljeno oziroma dovedeno toploto.

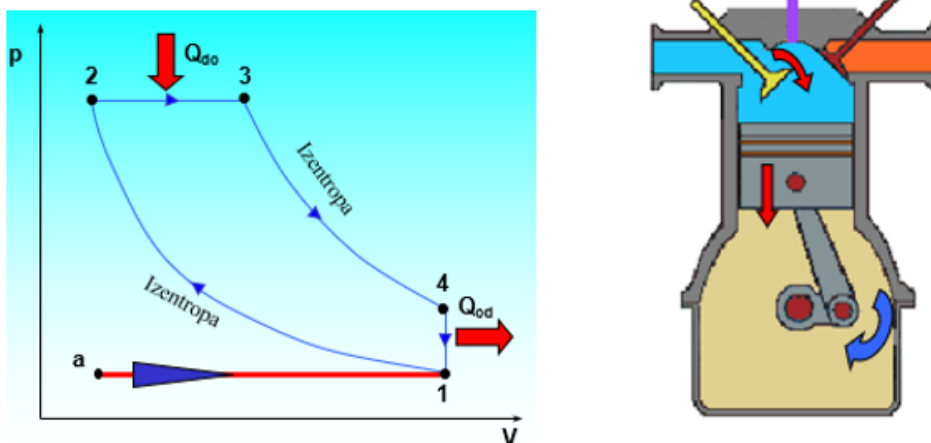
$$\eta_t = \frac{W_0}{Q_{do}}$$

Dizelski motorji so zaradi višjega kompresijskega razmerja in drugačnega načina zgorevanja termodinamično učinkovitejši od bencinskih.

Faze krožnega procesa:

#### 3.2.1.1 Izobarno vsesavanje zraka

V tej fazi se ob odprtem izpušnem ventilu bat pomika navzdol. Zrak vstopa v valj pri konstantnem tlaku, volumen narašča. Tlak v valju ostaja skoraj nespremenjen.

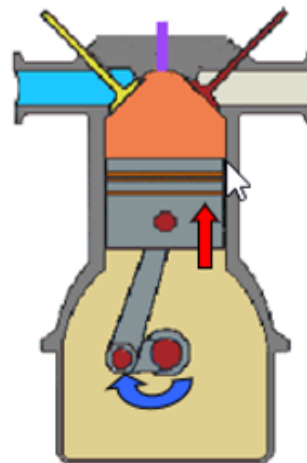
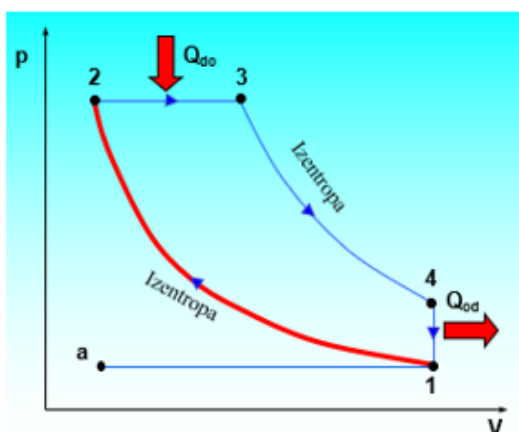


Slika 3: Izobarno vsesavanje zraka  
(Vir: elektronske prosojnice za energetiko, 2025)<sup>3</sup>

<sup>3, 4, 5, 6, 7, 8</sup> V seznamu virov: Lukič, U. et.al. Termodinamični krožni procesi v toplotnih pogonskih strojih. Elektronske prosojnice za energetiko. Velenje; Šolski center Velenje, poklicna in tehniška strojna šola. Pridobljeno 15. 8. 2025

### 3.2.1.2 Izentropna kompresija zraka

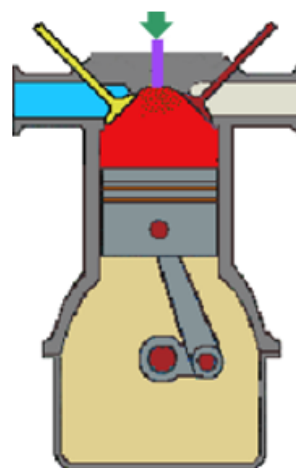
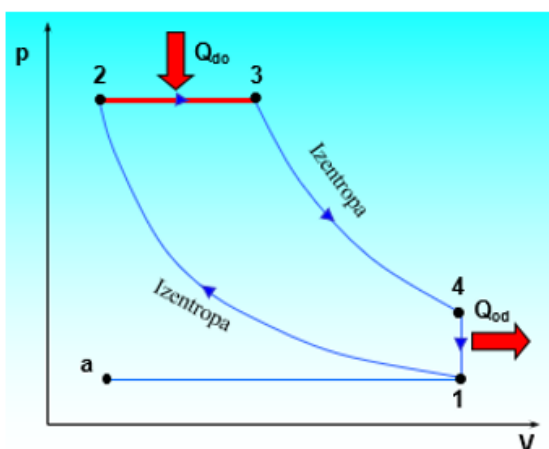
Bat se pomika navzgor, oba ventila sta zaprta. V tej fazi se zrak izentropno, brez izmenjave toplote, stisne. Tlak in temperatura zraka narasteta, kar omogoča samovžig goriva.



Slika 4: Izentropna kompresija zraka  
(Vir: elektronske prosojnice za energetiko, 2025)<sup>4</sup>

### 3.2.1.3 Vbrizg goriva – izobarno zgorevanje

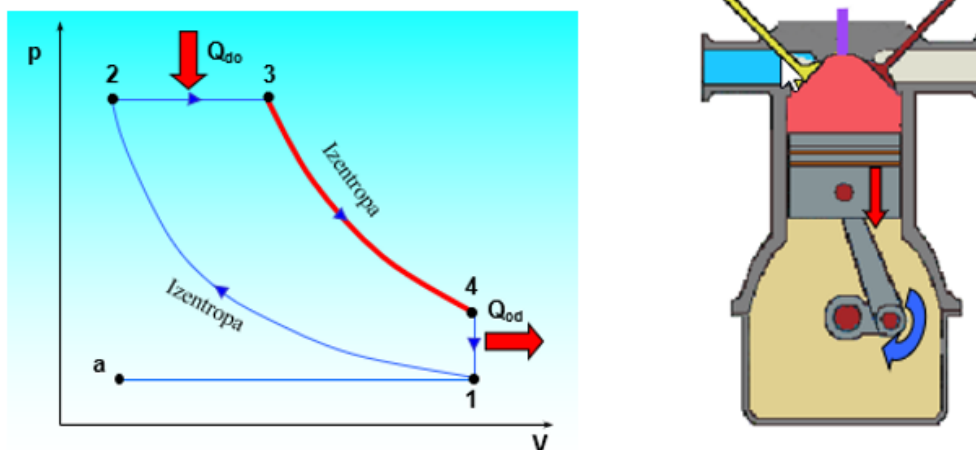
Ko je bat skoraj na vrhu, se v valj vbrizga gorivo. Zaradi vročega zraka se gorivo samodejno vžge, pride do močnega povišanja temperature. Bat potuje navzdol, volumen se povečuje, tlak ostaja nespremenjen. V tej fazi se dovede toplota.



Slika 5: Vbrizg goriva – izobarno zgorevanje  
(Vir: elektronske prosojnice za energetiko, 2025)<sup>5</sup>

## 3.2.1.4 Izentropna ekspanzija – pridobljeno delo

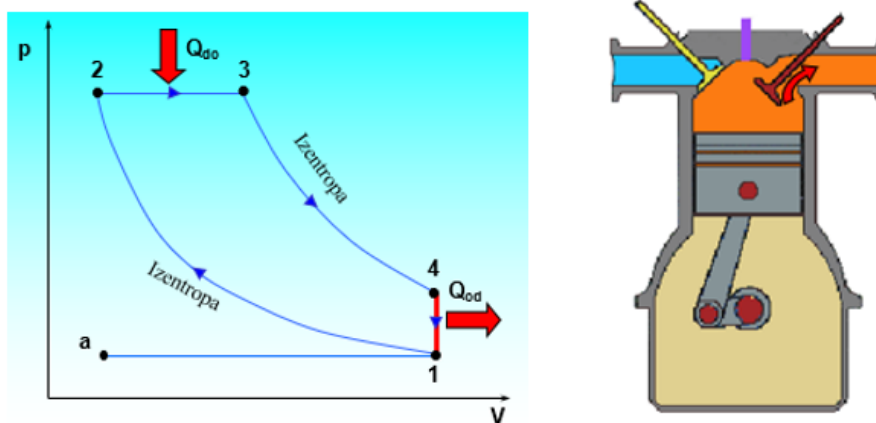
Bat se pomika navzdol. Ta faza se imenuje delovni takt. Plin se širi izentropno, brez izmenjave toplote. Volumen narašča, tlak in temperatura padata. V tej fazi motor proizvaja uporabno energijo.



Slika 6: Izentropna ekspanzija – pridobljeno delo  
(Vir: elektronske prosojnice za energetiko, 2025)<sup>6</sup>

## 3.2.1.5 Izohorni izpuh

Izpušni ventil se odpre, ko bat doseže dno. Tlak se pri konstantnem volumnu hitro zmanjša in je približno enak atmosferskemu. Neporabljena toplota se odvede.

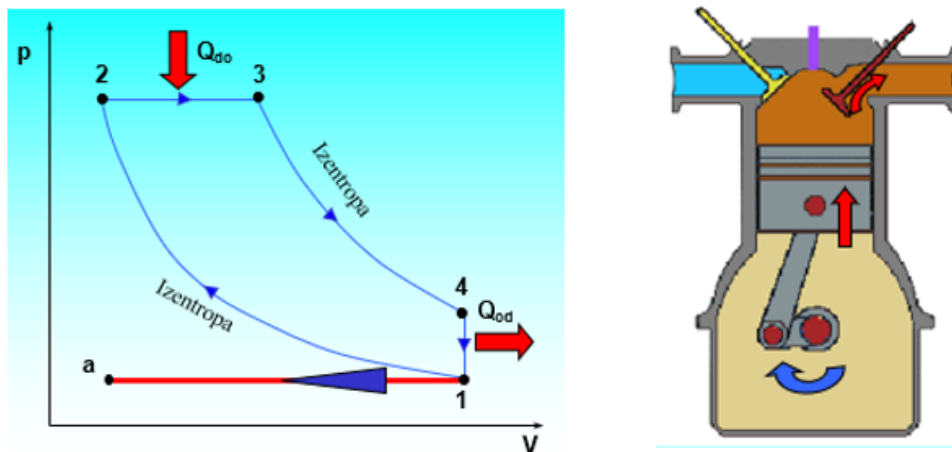


Vir: elektronske prosojnice za energetiko, 2025)<sup>7</sup>

Slika 7: Izohorni izpuh

### 3.2.1.6 Izobarni iztisk zgorelih plinov

Ob pomikanju bata navzgor ostaja izpušni ventil odprt. Plini pri konstantnem tlaku iztekajo iz valja. Tako je valj pripravljen na nov vsesalni takt.



Slika 8: Izobarni iztisk zgorelih plinov  
(Vir: elektronske prosojnice za energetiko, 2025)<sup>8</sup>

### 3.2.2 Delovni takti sodobnega dizelskega motorja

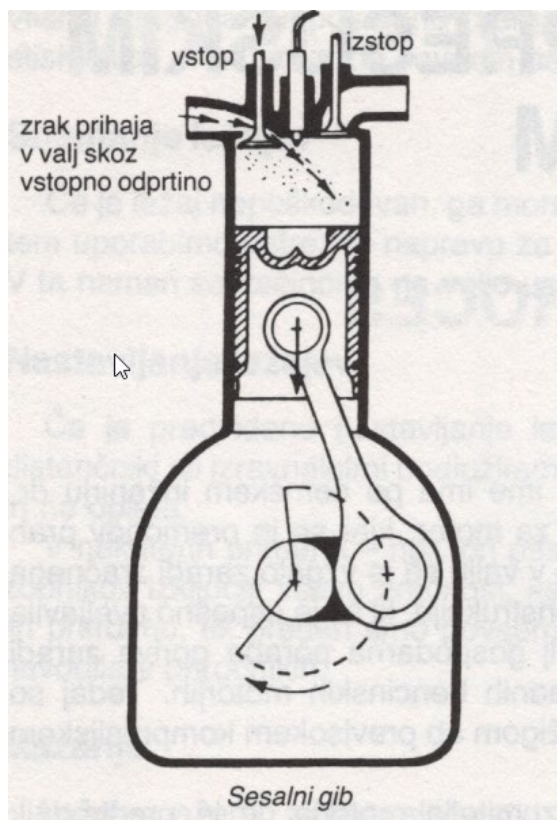
Dizelski motor je motor s premočrtnim gibanjem batov in deluje po principu samovžiga. Za celoten delovni proces so potrebni dva polna obrata ročične gredi in en obrat odmične gredi. Pri prenosu dela iz bata na glavno gred pride do izgub, ki so posledica trenja, ki nastane med glavno in odmično gredjo zaradi prenosa preko verige ali zobatega jermena, trenja v ležajih, zaradi trenja med valji in bati – batnimi obroči. Izgube povzročata tudi trenje pri odpiranju in zapiranju ventilov.

Vsesani zrak se močno komprimira, pri tem se zelo segreje, tako da se vbrizgano gorivo vžge samo. V primerjavi z bencinskim motorjem ustvarja večji vrtilni moment. Deluje s presežkom zraka, v zrak teče manj nezgorelih ogljikovodikov, manjši so izpusti ogljikovega monoksida in ogljikovega dioksida.

Delovni proces zajema štiri takte, ki jih bomo opisali v nadaljevanju.

### 3.2.2.1 Takt – sesanje

V fazi polnitve se bat pomika navzdol, od ZML<sup>9</sup> proti SML<sup>10</sup>. Sesalni ventil se odpre že pred ZML bata, ko poteka v faza izpuha, ko je odprt izpušni ventil. Zgoreli plini iz predhodnega izpušnega takta ustvarjajo podtlak, zaradi česar se zrak vsesa še pred potovanjem bata navzdol. Sesalni in izpušni ventil sta odprta istočasno, to imenujemo prekrivanje ventilov. Pri potovanju bata navzdol se prostornina v valju poveča, kar povzroči zmanjšanje tlaka v valju. Tlak v valju je manjši od tlaka okolice, zaradi razlike tlakov priteka zrak v sesalni sistem, valj. Vsesani zrak prejema toploto z ventilov, stene valja in bata. Čas odpiranja in zapiranja ventilov je odvisen od obremenitve, števila vrtljajev motorja, tako da se danes uporabljajo sistemi prilagodljivega odpiranja ventilov.



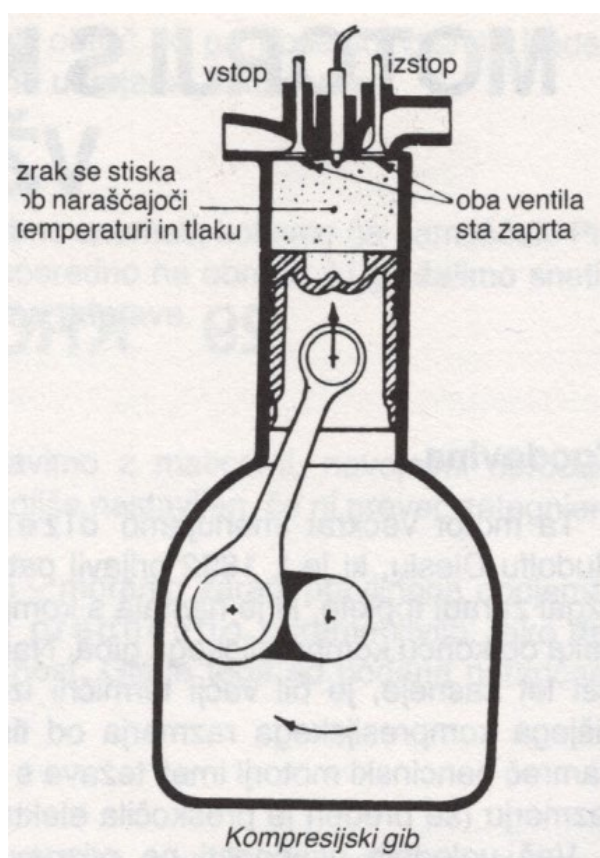
Slika 9: Sesalni gib  
(Vir: A. W. Hillier, 1994)

<sup>9</sup>- ZML; zgornja mrtva lega, <sup>10</sup>- SML; spodnja mrtva lega

### 3.2.2.2 Takt – stiskanje

Bat potuje navzgor, pri tem se vsesani zrak stiska in segreva. Stisnjen zrak doseže temperaturo od 700 do 900 °C, tlak, ki pri tem nastane, pa znaša od 30 do 65 barov. Vrednost kompresijskega razmerja je med 14 in 24. Proti koncu procesa stiskanja, ko je kot ročične gredi od 20 do 30° od ZML, se v valj vbrizga fino razpršeno gorivo. Konec vbrizgavanja goriva traja do 2° od ZML. Pri dizelskih motorjih se glavna količina goriva vbrizga šele, ko je že prišlo do vžiga prvega dela goriva.

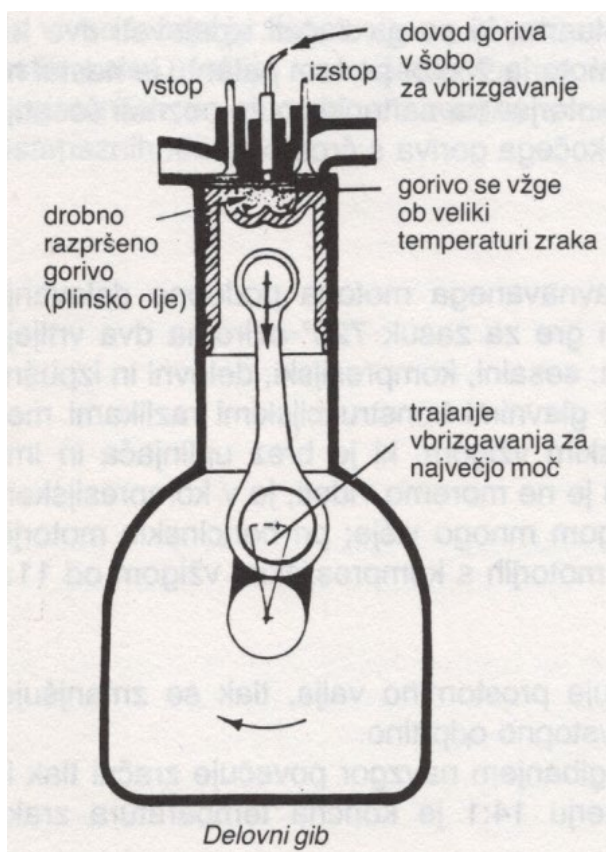
Čas od začetka vbrizga goriva pa do vžiga imenujemo zakasnitev vžiga in znaša okrog 1/1000 sekunde. Čas vžiga je odvisen od fine razpršenosti goriva ter od sposobnosti vžiga goriva. Merilo sposobnosti vžiga je cetansko število.



Slika 10: Kompresijski gib  
(Vir: A.W Hillier, 1994)

### 3.2.2.3 Takt – Delovni gib

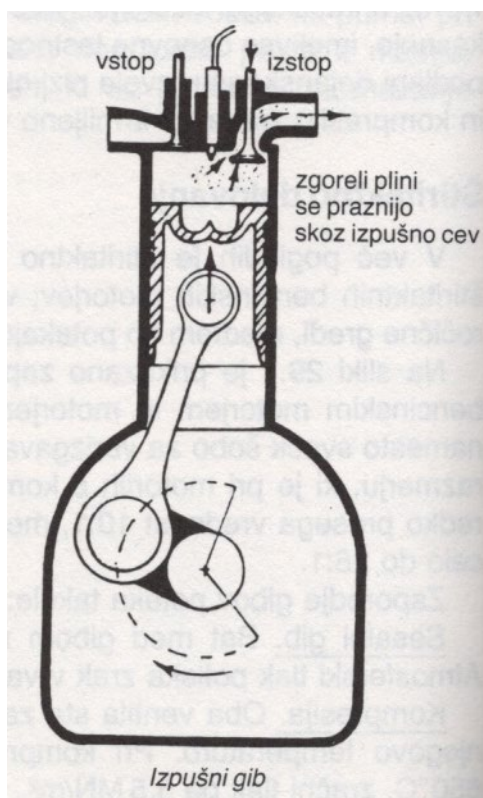
Delovni takt je sestavljen iz zgorevanja in ekspanzije. Gorivo se po vbrizgu pri visoki temperaturi upari in se pomeša z zrakom. Celotnega vbrizganega goriva ni možno enakomerno razpršiti po celotnem volumnu zgorevanja, zato se pri procesu ves zrak ne pomeša z gorivom, temveč ostane presežek zraka, ki ni sodeloval v procesu zgorevanja. Motorji s kompresijskim vžigom torej delujejo s presežkom zraka. Po vžigu goriva zgorevalni tlak potisne bat navzdol, pri tem nastane tlak od 65 do 90 barov. Moč motorja uravnavamo s trajanjem vbrizgavanja oziroma z vbrizgano količino goriva ter s količino dovedenega zraka – gostoto zraka, na katero lahko vplivamo s prisilnim polnjenjem. V tem taktu se torej nastala toplota, ki nastane iz kemične energije, ki je vezana v gorivu, pretvori v mehansko delo.



Slika 11: Delovni gib  
(Vir: A. W. Hillier, 1994)

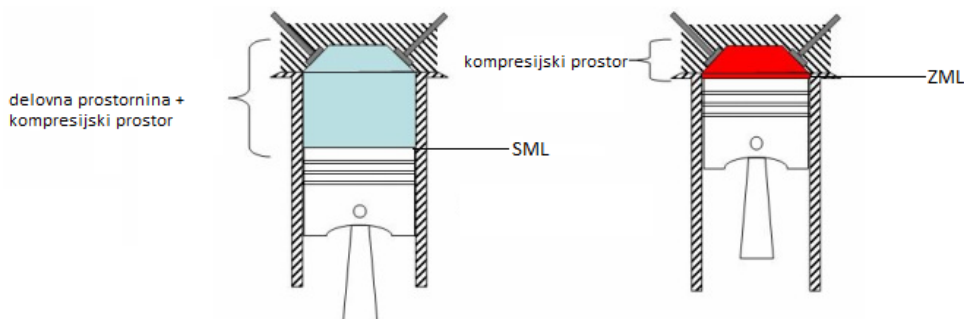
### 3.2.2.4 Izpušni gib

Ob koncu delovnega giba bata, preden bat doseže SML, se odpre izpušni ventil. V tem trenutku je tlak v izpušnem sistemu nižji kot v valju in plini začnejo iztekati iz valja. Prav tako se izpušni ventil zapre šele po tem, ko je bat v ZML. Bat med svojo potjo navzgor potisne izpušne pline v izpušno napravo. Proti koncu gibanju bata proti ZML je istočasno odprt tudi sesalni ventil. To povzroči, da zrak, ki priteka v valj, istočasno izpodriva tudi izpušne pline. Slaba stran prekrivanja ventilov pa je, da lahko sveža polnitev uhaja v izpušni sistem in obratno. Ko bat opravi svojo pot navzgor, je pripravljen na nov krožni proces. Izhodni izpušni plini imajo temperaturo od 550 do 750 °C.



*Slika 12: Izpušni gib*  
(Vir: A. W. Hillier, 1994)

## Kompresijsko razmerje



Slika 13: Kompresijsko razmerje  
(Vir: Onlycars portal, 2024)<sup>11</sup>

ZML – zgornja mrtva lega. V tem položaju je bat na najvišji točki.

SML – spodnja mrtva lega. V tem položaju je bat na najnižji točki.

Kompresijsko razmerje dobimo, če primerjamo prostornino nad batom pred stiskanjem, torej delovni in kompresijski prostor, s prostorom po stiskanju – kompresijskim prostorom.

### Cetansko število

Cetansko število nam pove, kolikšna je nagnjenost določenega ogljikovodika k samovžigu. Vrednost je lahko od 0 do 100. Cetan je ogljikovodik, ki se zelo rad vžge, uporabljamo ga pri določitvi cetanskega števila, njegova vrednost je 100. Ogljikovodik z vrednostjo 0, torej z najmanjšo sposobnostjo vžiga, pa je alfa-metilnaftalen.

### 3.2.3 Načini vbrizgavanja

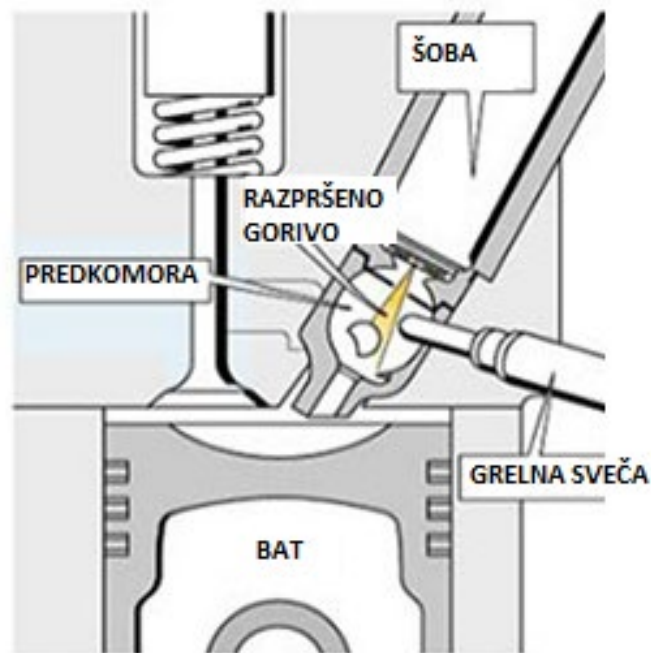
Naloga šobe je, da vbrizgava gorivo v zgorevalni prostor pod čim večjim tlakom. S tem dosežemo večjo homogenost mešanice med gorivom in zrakom, pomembno pa je tudi čim bolj zmanjšati kapljevost goriva, ki nastane pri vbrizgavanju v zgorevalni prostor. Večji tlak vbrizgavanja pomeni tudi manjšo porabo goriva, kakor tudi manj emisij, dosežemo pa večjo moč in navor motorja.

Pri vbrizgavanju goriva v zgorevalni prostor poznamo dva načina, posrednega in neposrednega.

<sup>11</sup> V seznamu virov: portal onlycars, *Premium vs Regular Unleaded: Understanding the Difference*, Nick Ainge Roy. Pridobljeno 2. 3. 2025 z naslova: <https://www.onlycars.com.au/news/premium-vs-regular-unleaded>). Navedena letnica 2024 je vezana na zadnjo spremembo v zapisu.

### 3.2.3.1 Posredni: v deljeni zgorevalni prostor

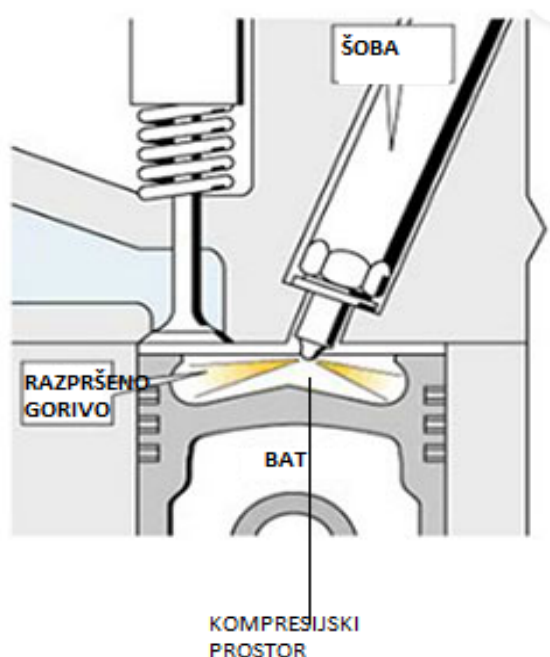
Pri stiskanju se zrak stisne v deljeni zgorevalni prostor. Po vbrizgu goriva ga večina ostane na stenah komore, del pa se pomeša z zrakom. Zmes se vžge, kar povzroči, da se upari tudi ostalo gorivo, ki je bilo odloženo na stenah komore. Tlak, ki nastane pri zgorevanju v predkomori, potisne nezgorelo zmes v valj skozi pretočne kanale, kjer zgori preostala zmes. Pri tem načinu imamo večjo porabo goriva, mehkejši tek motorja, potrebna je naprava za hladni zagon.



Slika 14: Posredni način vbrizgavanja  
(Vir: Injectionpumps portal, 2025)<sup>12</sup>

### 3.2.3.2 Neposredni: v nedeljeni zgorevalni prostor

Pri tem postopku se gorivo vbrizga direktno v zgorevalni prostor. Določa ga oblika vdolbine, ki ima obliko črke omega. Pomembno je, da je površina kompresijskega prostora čim manjša, saj se s tem zagotovijo čim manjše toplotne izgube, poleg tega pa to prinaša tudi lažji zagon hladnega motorja. Tak motor navadno ne potrebuje grelne sveče, vendar je vgrajena zaradi zmanjšanja emisij ob hladnem zagonu. Glede na zunanjo temperaturo se krmili tudi čas in temperatura delovanja. Danes vsa osebna vozila uporabljajo tak način vbrizgavanja, saj omogoča boljši izkoristek, manjšo porabo goriva in lažji hladni zagon.



Slika 15: Neposredni način vbrizgavanja goriva  
(Vir: Injectionpumps portal, 2025)<sup>13</sup>

<sup>12,13</sup> V seznamu virov: portal injectionpumps, Diesel injection pumps, Diesel injectors – Operation and failure. Pridobljeno 3. 3. 2025 z naslova: <https://injectionpumps.co.uk/diesel-injectors-operation-and-failure/>. Navedena letnica 2025 je vezana na datum dostopa, na spletni strani ni bilo mogoče ugotoviti datuma zadnje spremembe.

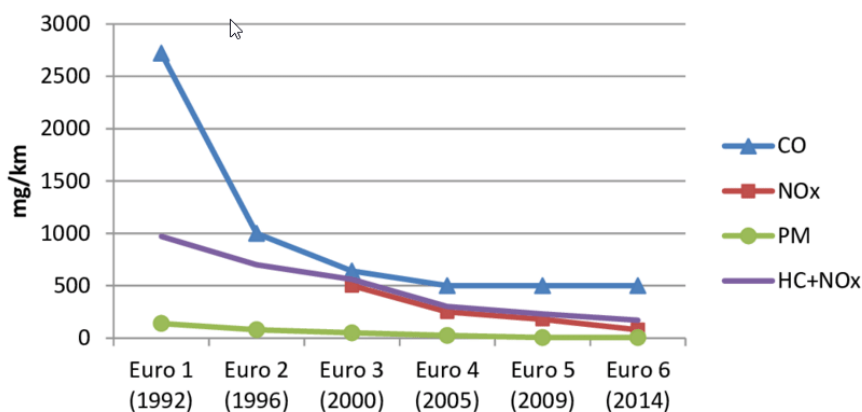
## 4 EURO EMISIJSKI STANDARDI

Emisijski standardi urejajo oziroma nalagajo proizvajalcem motornih vozil omejitve pri izpustu škodljivih snovi v okolje. Predvsem je cilj zmanjšati raven škodljivih izpustov, kot so:

- dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>)
- ogljikov monoksid (CO)
- ogljikovodiki (HC)
- delci (PM)

Prvi predpisi o emisijah segajo v leto 1970, šele januarja 1993 pa je stopil v veljavo standard EURO 1 za osebna vozila, ko so katalizatorji postali obvezni sestavni del vozila. Ti standardi imajo pozitiven učinek na zmanjšanje emisij, saj se je delež ogljikovega monoksida v izpušnih plinih zmanjšal za 82 %, delež dušikovih oksidov od leta 2001 za 84 %, emisije trdnih delcev pa od leta 1993 za 96 %.

Trenutno je v uporabi standard EURO 6, ki je začel veljati leta 2014, v pripravi pa je že standard EURO 7, ki bo v primeru avtomobilov in kombiniranih vozil ohranil mejne vrednosti iz standarda EURO 6. Strožje zahteve bodo prizadele predvsem težka vozila, kot so tovorna vozila in avtobusi. Novost standarda EURO 7 so emisije, ki niso povezane z izpušnimi plini, temveč z zavornim prahom in delci pnevmatik.

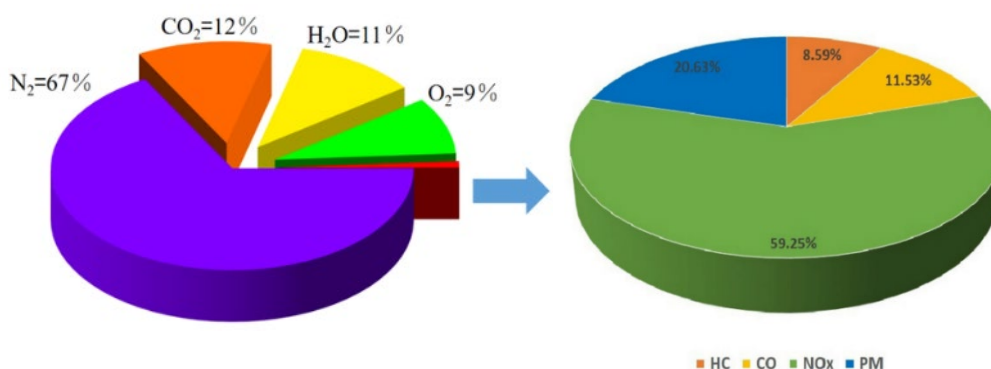


Slika 16: Emisijski standardi za avtomobile z dizelskim motorjem  
(Vir: Researchgate portal, 2013)<sup>14</sup>

Evropska unija z novimi emisijskimi standardi prispeva k čistejšemu okolju, vendar pa morajo za doseg tega cilja proizvajalci razvijati in v vozila vgrajevati najsodobnejšo tehnologijo, ki bo lahko zadostila zahtevam standardov. Napredni sistemi povečujejo stroške proizvodnje vozil, saj so danes izpušni sistemi, pa tudi sistemi za vbrizgavanje goriva, kjer se učinkovitost izrabe goriva začne, zelo kompleksni. Posledica tega so dražja vozila, vsekakor pa bo za lastnika z vidika stroškov lahko tudi velik izziv vzdrževanje vozila.

## 4.1 Produkti zgorevanja v valju dizelskega motorja

Doseganje popolnega zgorevanja ogljikovodikov, pri katerem bi nastala voda ( $H_2O$ ) in ogljikov dioksid ( $CO_2$ ) brez stranskih produktov, v valjih motorja ne moremo doseči, zato pri tem nastanejo dušikovi oksidi ( $NO_x$ ), ogljikov monoksid ( $CO$ ), ogljikov dioksid ( $CO_2$ ), drobni trdni delci ( $PM$ ) in neizgoreli ogljikovodiki ( $HC$ ). Emisijske zahteve proizvajalcem nalagajo zelo stroge pogoje, zato sodobni dizelski motorji ob ustreznem vzdrževanju v ozračje spustijo zelo malo škodljivih snovi. Skupni delež škodljivih izpustov je na levem diagramu označen z rdečo.



Slika 17: Delež posameznih spojin ob zgorevanju goriva v dizelskem motorju  
(Vir: Dieselnet portal, 2024)<sup>15</sup>

Skozi leta uvajanja standardov je postal dizelski motor zelo kompleksen. Danes se vse bolj uveljavljajo hibridna in električna vozila. Vendar pa bodo dizelska vozila še nekaj časa v uporabi, zato je pomembno, da so zasnovana tako, da čim manj negativno vplivajo na okolje in zdravje ljudi.

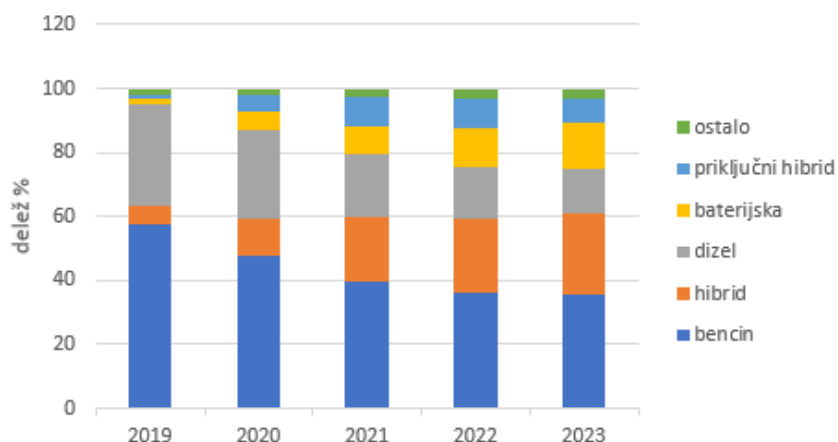
V nadaljevanju bom predstavil delovanje oziroma obdelavo izpušnih plinov po trenutno veljavnem standardu EURO 6.

Delež ECV (električna polnilna vozila) vozil se povečuje, določen tržni delež pa še vedno predstavljajo dizelska vozila. Na področju gospodarskih vozil pa večinski tržni delež še vedno predstavljajo vozila z dizelskimi agregati, zato je pomembno, da imajo ta vozila čim manjši negativni vpliv na okolje in zdravje ljudi.

<sup>14</sup> V seznamu virov: portal ResearchGate, Pathways to low carbon transport in the EU- from possibility to reality (2013). Report of the ceps task force on transport and climate change. ResearchGate GmbH. Pridobljeno 3. 3. 2025 z naslova: [https://www.researchgate.net/publication/283122032\\_Pathways\\_to\\_Low\\_Carbon\\_Transport\\_in\\_the\\_EU\\_-\\_From\\_Possibility\\_to\\_Reality](https://www.researchgate.net/publication/283122032_Pathways_to_Low_Carbon_Transport_in_the_EU_-_From_Possibility_to_Reality)

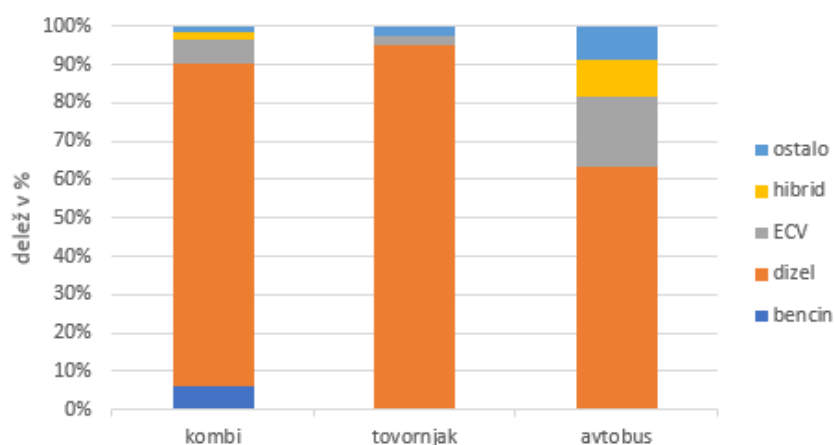
<sup>15</sup> V seznamu virov: portal Dieselnet, What Are Engine Emissions, Majewski W. A. Pridobljeno 14. 2. 2025 z naslova: <https://dieselnet.com/tech/emissions.php>. Navedena letnica 2024 je vezana na datum zadnje spremembe.

## 4.2 Delež novih avtomobilov v EU



Slika 18: Delež novih avtomobilov v EU glede na vir energije v EU (Vir: Acea.auto portal, 2024)<sup>16</sup>

## 4.3 Delež novih tovornih vozil v 2024



Slika 19: Delež novih gospodarskih vozil glede na vir energije v EU v letu 2024 (Vir: Acea.auto portal, 2024)<sup>17</sup>

<sup>16</sup>V seznamu virov: portal acea, New EU car sales by power source. Pridobljeno 14. 2. 2025 z naslova: <https://www.acea.auto/figure/fuel-types-of-new-passenger-cars-in-eu/> Navedena letnica 2024 je vezana na datum zadnje spremembe.

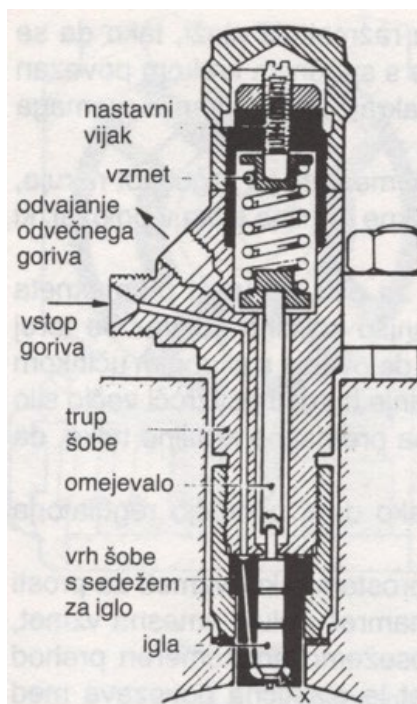
<sup>17</sup>V seznamu virov: portal acea, New commercial vehicle registrations: vans +8.3%, trucks - 6.3%, buses +9.2%. Pridobljeno 14. 2. 2025 z naslova: <https://www.acea.auto/cv-registrations/new-commercial-vehicle-registrations-vans-8-3-trucks-6-3-buses-9-2-in-2024/> Navedena letnica 2025 je vezana na datum zadnje spremembe.

## 5 IZBOLJŠAVE MOTORJA SKOZI ČAS

### 5.1 Sistemi za vbrizgavanje goriva

#### 5.1.1 Razvoj

Starejši dizelski motorji so uporabljali sisteme, pri katerih so črpalke lahko zagotavljale tlake od 150 do 250 barov. Uporabljale so se šobe z več izvrtinami, ki so omogočile drobno razpršeno gorivo. V motorjih z neposrednim vbrizgavanjem goriva so se uporabljale šobe s štirimi izvrtinami. Šobe so bile mehansko krmiljene, kar je omogočalo en vbrizg v ciklu. Dolžino vbrizga ni bilo možno časovno prilagoditi in tudi tlak je bil za učinkovito razprševanje goriva premajhen. Motorji s takšnim načinom vbrizga so bili bolj glasni, večje so bile emisije izpušnih plinov, manj učinkovita je bila tudi poraba goriva. Sistem je bil usklajen s tlakom črpalke. Ko tlak naraste na določeno vrednost, se igla odpre in ostane odprta, dokler se tlak ne zniža.



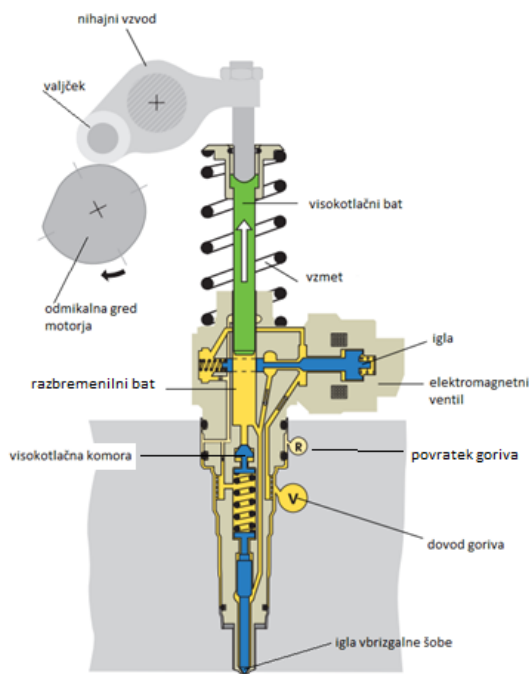
Slika 20: Šoba in trup šobe  
(Vir: A. W. Hillier, 1994)

## 5.1.2 Napredni sistemi vbrizgavanja goriva

### 5.1.2.1 Sistem črpalka-šoba

Vse večje zahteve po zmanjšanju emisij so prispevale k nenehnim izboljšavam tudi na področju sistema vbrizgavanja goriva.

Leta 1998 je Volkswagen v svojih vozilih začel uporabljati sistem črpalka-šoba proizvajalca Boscha. Ta sistem omogoča tlake do 2000 barov. Vsak valj ima v glavi motorja vgrajen element, ki je sestavljen iz tlačnega in razpršilnega elementa. Dovod goriva poteka s pomočjo rotacijske črpalke, ki je nameščena na glavi motorja in dovaja gorivo pod nizkim tlakom. Odmikna gred preko nihajnega vzvoda aktivira tlačni element, količina vbrizganega goriva pa je kontrolirana s pomočjo elektromagnetnega ventila ali piezzo elementa. Ko elektromagnetni ventil ni napajan z električnim tokom, je igla odprta in gorivo lahko doteka v visokotlačno komoro. Ko ventil upravlja elektronska krmilna enota, se ta zapre in bat ob pomiku navzdol ustvari tlak, igla vbrizgalne šobe, se dvigne in gorivo se razprši v kompresijski prostor. Količino vbrizganega goriva krmili motorni računalnik na osnovi podatkov o količini zraka, tlaka turbopolnilnika in temperature motorja. Kontrolna enota pridobi podatke na podlagi senzorjev na motorju. Prednosti sistema so zmanjšanje škodljivih snovi pri zgorevanju, manjša specifična poraba goriva in možnost predhodnega vbrizgavanja. Sistem črpalka-šoba pa je sčasoma izpodrinil danes uveljavljeni sistem skupnega voda.



Slika 21: Injektor za vbrizg goriva  
(Vir: Antigrip portal, 2025)<sup>18</sup>

### 5.1.2.2 Vbrizgavanje goriva s skupnim vodom – Common Rail

Vbrizgavanje goriva s skupnim vodom je najbolj učinkovit sistem, ki se danes uporablja v dizelskih motorjih. Omogoča učinkovito in natančno vbrizgavanje goriva. Način vbrizgavanja in visoki tlaki omogočajo učinkovito zmanjšanje emisij, manjšo porabo goriva in obenem zagotavljajo večjo moč motorja. Z današnjo tehnologijo tlaki v skupnem vodu med obremenitvijo motorja dosežejo do 2500 barov, kar omogoča, da fino razpršeno gorivo tvori z zrakom homogeno mešanico. Tak tlak je potreben pri najvišjih obremenitvah in vrtilnih frekvencah motorja, saj je v kratkem času treba vbrizgati veliko količino goriva. To omogočajo najsodobnejše radialno-batne črpalke, za učinkovito razprševanje goriva v zgorevalno komoro pa se uporabljajo piezzo injektorji, ki so v primerjavi z injektorji, ki so krmiljeni z elektromagnetnim ventilom, veliko hitrejši. Omogočajo do deset vbrizgov v enem zgorevalnem ciklu. Večkratni manjši vbrizgi omogočajo boljši nadzor nad procesom zgorevanja. To omogoča bolj popolno zgorevanje, posledično se zmanjša tvorba saj in škodljivih izpustov. Največji izziv dizelskih motorjev je zmanjšanje onesnaževal v največji možni meri, predvsem NO<sub>x</sub>-dušikovih oksidov in trdih delcev. Z vbrizgom goriva v točno določenih časovnih intervalih in s točno odmerjeno količino goriva lahko dosežemo optimalni zgorevalni proces in tako zmanjšamo škodljive izpuste.

S pilotnimi vbrizgi goriva lahko dosežemo nadzorovano gorenje, s tem dosežemo znižanje visokih temperatur, ki prispevajo k nastanku dušikovih oksidov.

V primerjavi s starejšimi motorji, ki so imeli samo po en vbrizg goriva v ciklu in so bili zelo hrupni, tak sistem omogoča tudi veliko bolj tih tek motorja, saj tako zmanjšamo konice tlaka, ki nastanejo pri delovanju. Kljub večkratnim vbrizgom pa se zmanjša tudi poraba goriva.

Sistem je v osnovi sestavljen iz treh delov:

- nizekotlačnega toka goriva, ki ga sestavljajo rezervoar za gorivo, nizekotlačna črpalka za gorivo s filtrom in pripadajoči cevovodi;
- visokotlačnega dela, sestavljenega iz šob za vbrizgavanje goriva, visokotlačne tlačilke z vodi in skupnega tlačnega voda oziroma zbiralnika;
- elektronske krmilne naprave, ki jo sestavlja krmilna enota, povezana s senzorji, sestavljajo jo še elektromagnetni ventili ali piezzo moduli v šobah za vbrizgavanje, senzor tlaka v skupnem vodu ter tlačni regulacijski ventil.

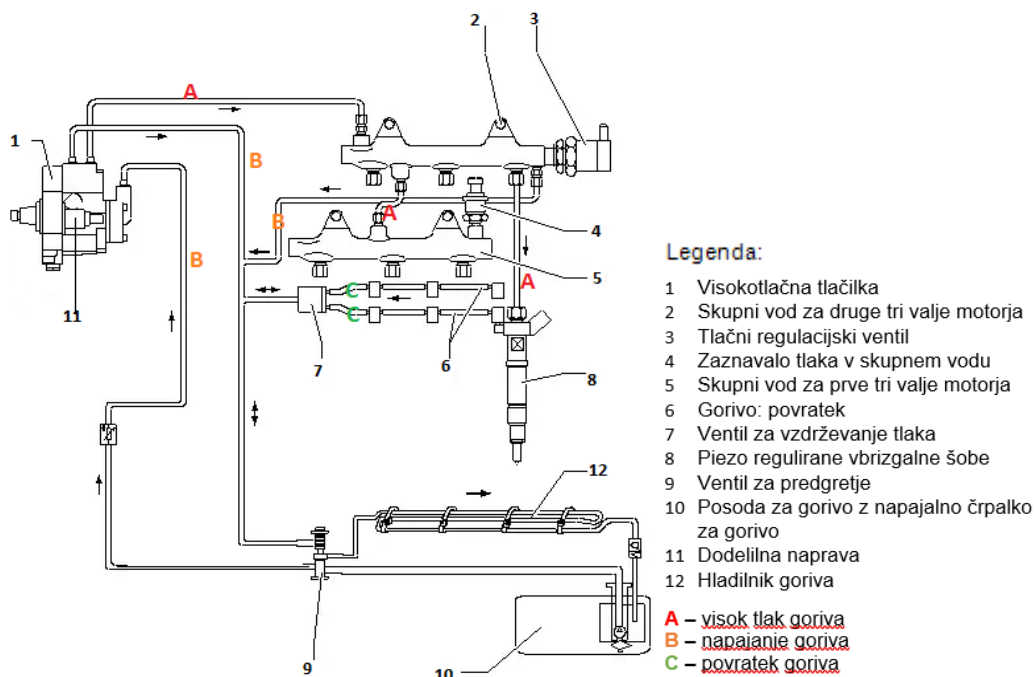
---

<sup>18</sup> V seznamu virov: *Avtomehanika Arčon. Sistem črpalka-šoba Pridobljeno 7. 3. 2025 z naslova: <https://www.antigrip.eu/bosch-diesel-servis/crpalka-soba/>*  
*Navedena letnica 2025 je vezana na datum dostopa, na spletni strani ni bilo mogoče ugotoviti datuma zadnje spremembe.*

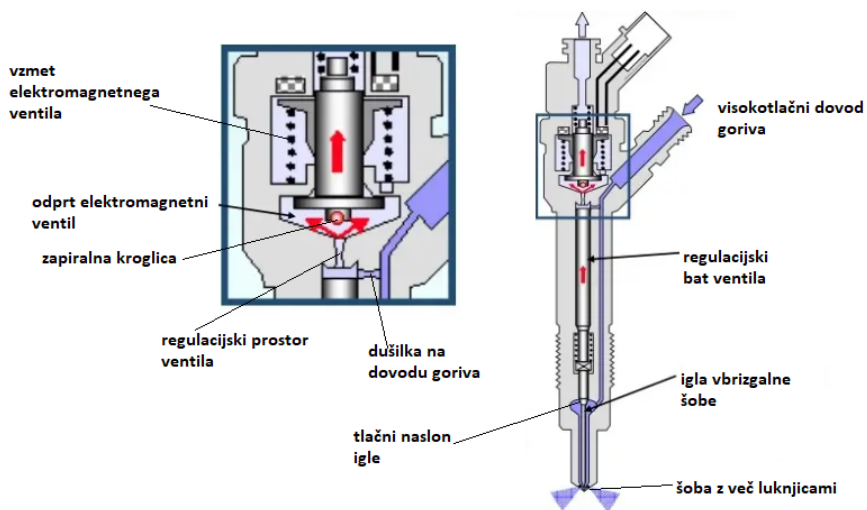
Na sliki na naslednji strani je prikazan sistem skupnega voda z dvojno regulacijo. Električna črpalka iz posode za gorivo preko grelne naprave, kjer se gorivo segreje in skozi filter goriva dovaja gorivo v visokotlačno tlačilko. Pri zagonu motorja se aktivira samo visokotlačni regulacijski ventil na visokotlačni strani sistema. Naloga tega elektromagnetnega ventila je vzdrževanje konstantnega tlaka goriva v skupnem vodu. V primeru okvare ventila motor ne deluje, saj so tlaki v motorju prenizki. Ob delni obremenitvi motorja krmiljenje goriva poteka z dodelilno napravo, ki je pritrjena na črpalko, in z visokotlačnim regulacijskim ventilom. Dodelilna naprava je odprta, ko skozi črpalko ne teče gorivo. Z aktivacijo preko električnega signala iz krmilne enote pa se spremeni dotok goriva v črpalko. V področju zmernih in visokih obremenitev gorivo odmerja samo dodelilna naprava. Gorivo iz visokotlačne tlačilke potuje po visokotlačnem vodu do zbiralnika oziroma skupnega voda, nato pa preko kovinskih cevi do vbrizgalnih šob.

Tlak v skupnem vodu ob prostem teku znaša okrog 300 barov, ko pa motor deluje na višjih obratih in je obremenjen, pa tlak v najnovejših sistemih znaša do 2500 barov. Kontrola tlaka poteka preko tlačnega senzorja, ki tlačni signal pretvori v napetostni signal in ga posreduje elektronski krmilni enoti, ki krmili regulacijski ventil in s tem vzdržuje stalen tlak v vodu. Pretočna količina v skupnem vodu je dovolj velika, da je omogočeno delovanje šob brez nihanj tlaka. Krmilna enota na podlagi vrtilne frekvence motorja in obremenitve s pošiljanjem električnih signalov piezo injektorju določi število in časovni potek vbrizgov v ciklu in s tem količino potrebnega goriva za vbrizg. Pri tem upošteva tudi podatke, ki jih prejme od preostalih zaznaval, nameščenih na motorju. Parametri vbrizgavanja so vnaprej shranjeni v krmilni enoti. Pogoji za pravilno delovanje piezo šob je nespremenjen tlak na povratnem vodu med šobami in ventilom za vzdrževanje tlaka in znaša 10 barov. Ta tlak nastane, ko visokotlačna tlačilka na vodu za napajanje ob zagonu motorja dovede gorivo do piezo injektorjev preko ventila za vzdrževanje tlaka. Tlačni zadrževalni ventil je naprava, v kateri sta združena dva ventila. Ob zagonu motorja omogoča nizkotlačni del ventila pretok goriva do injektorjev, ko pa motor že deluje in teče gorivo od šob nazaj proti ventilu, pa visokotlačni del ventila omogoča vzdrževanje tlaka 10 barov.

Višek goriva se iz injektorjev in napajalnega dela visokotlačne črpalke preko hladilnika goriva vrne v posodo za gorivo.



Slika 22: Sistem skupnega voda z dvojno regulacijo  
 (Vir: ETKA portal, 2025)<sup>19</sup>



Slika 23: Odprta vbrizgalna šoba z elektromagnetnim ventilom  
 (Vir: Brainkart portal, 2025)<sup>20</sup>

<sup>19</sup> V seznamu virov: Volkswagen (2025), ETKA, katalog za iskanje rezervnih delov (offline) Navedena letnica 2025 je vezana na datum dostopa, v katalogu ni bilo mogoče ugotoviti datuma zadnje spremembe

Skozi visokotlačni dovod se gorivo dovaja v regulacijski prostor elektromagnetnega ventila in prostor vbrizgalne igle. Odvodna odprtina je zaprta z zapiralno kroglico, prav tako deluje tlak goriva na zgornji del regulacijskega bata. Sila, ki deluje na bat, je večja od sile, ki deluje na tlačni naslon igle, zato ostaja šoba zaprta. Ko iz krmilne enote šoba prejme električni signal, se v tuljavi inducira napetost in elektromagnetni ventil se odpre. Iz regulacijskega prostora izteče več goriva, kot ga šoba prejme skozi dušeni dovod goriva. Tlak goriva na tlačnem naslonu igle tako dvigne bat in pride do vbrizga goriva.

#### 5.1.2.3 Visokotlačna črpalka Bosch CP4

Večina dizelskih vozil danes uporablja radialno batno črpalko proizvajalca Bosch. Zadnja generacija sistema uporablja eno- in dvobatne črpalke, ki so bile razvite zaradi potrebe po zmanjšanju emisij. Te črpalke omogočajo enakomernejše oskrbovanje valjev z gorivom, vse vbrizgovalne šobe se odpirajo pri enakem tlaku, kar dosežemo z istočasnim in istosmernim pomikanjem batov črpalke in motorja. Tako je zagotovljena optimalna in enakomerna oskrba valjev z gorivom. Prav tako so z novimi črpalkami doseženi tudi višji tlaki v visokotlačnem delu.

Predhodna črpalka CP3 je prav tako radialno batna črpalka, pri kateri pogonska os preko ekscentrične gredi poganja tri tlačilne bate. Črpalka ima več sestavnih delov kot črpalka naslednje generacije, več je tudi gibljivih delov, tako da je stroškovno manj učinkovita. Ohišje črpalke je večje in težje, saj so visokotlačni tokokrogi znotraj ohišja, ki mora zdržati vse obremenitve.

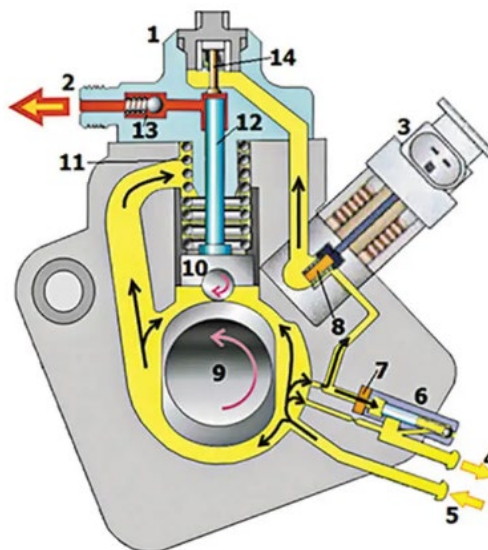
Delovanje poteka v dveh fazah.

Visokotlačna črpalka CP4 je v primerjavi z njeno predhodnico lažja, ima manj sestavnih delov in je manj kompleksna. Ohišje je iz aluminija, saj je črpalka zasnovana tako, da je celotno območje visokega tlaka znotraj valjev, ki pa so iz jekla. Iz jekla je tudi pokrov črpalke, na katerem je izpustni protipovratni ventil, ki preprečuje, da bi se gorivo vrnilo v nizkotlačni tokokrog.

V prvi fazi nizkotlačna črpalka dovaja gorivo skozi sesalni ventil visokotlačne črpalke, ki se odpre, ko je presežen tlak odpiranja sesalnega ventila, ventil za izpust je zaprt. V tej fazi se tlačni bat pomika navzdol in prazen prostor se zapolni z gorivom. Sledi druga faza, v kateri se po pomiku bata v spodnjo lego sesalni ventil zapre in bat se pomika navzgor in tlači gorivo. Izstopni ventil se odpre, ko tlak v komori preseže tlak v skupnem vodu in gorivo preko kovinske cevi steče v skupni vod. Vzmet poskrbi, da se bat vrne v spodnjo lego po vsakem kompresijskem hodu.

Legenda:

- 1 – pokrov
- 2 – priključek na skupni vod
- 3 – aktuator za odmerjanje goriva
- 4 – povratni vod
- 5 – dotok goriva
- 6 – prelivni ventil
- 7 – fini filter
- 8 – fini filter
- 9 – pogonska gred z odmikali
- 10 – valjček
- 11 – vzmet bata
- 12 – bat
- 13 – ventil za izpust
- 14 – sesalni ventil



Slika 24: Prerez visokotlačne črpalke  
(Vir: Duramaxdiesels portal, 2018)<sup>21</sup>

<sup>20</sup> V seznamu virov: Brainkart.com. Common Rail Diesel Fuel Systems. Pridobljeno 7. 3. 2025 z naslova: [https://www.brainkart.com/article/Common-Rail-Diesel-Fuel-Systems\\_6330/](https://www.brainkart.com/article/Common-Rail-Diesel-Fuel-Systems_6330/). Navedena letnica 2025 je vezana na datum dostopa, na spletnem mestu ni bilo mogoče ugotoviti datuma zadnje spremembe.

<sup>21</sup> V seznamu virov: duramaxdiesels.com. Forum (2018). Pridobljeno 6. 3. 2025 z naslova: <https://www.duramaxdiesels.com/forum/threads/cp4-fca-screen-from-exergy.76203/page-3>. Navedena letnica 2018 je vezana na datum zadnje spremembe.



## Legenda:

- 1 – pokrov
- 2 – priključek na skupni vod
- 3 – aktuator za odmerjanje goriva
- 4 – pogonska gred
- 5 – odmikalo
- 6 – visokotlačni valj
- 7 – vzmet
- 8 – visokotlačni bat
- 9 – sesalni ventil
- 10 – ventil za izpust

Slika 25: Visokotlačna črpalka Bosch CP4  
(Vir: Bosch-mobility portal, 2025)<sup>22</sup>

Za zagotavljanje brezhibnega delovanja črpalke je potrebno stalno mazanje gibljivih delov, ki poteka s plinskim oljem. V primeru neustreznega mazanja pride to trajne okvare črpalke, največkrat pa do okvare celotnega nizkotlačnega in visokotlačnega sistema goriva. Potrebna je zamenjava celotnega sistema, kar lahko pomeni zelo velik strošek popravila.

Do okvare lahko pride zaradi različnih vzrokov, kot so neustrezno gorivo, ki ne zagotavlja mazanja delov črpalke. Razlog je tudi nepravilni postopek pri menjavi filtra za gorivo, saj je treba pred zagonom z diagnostičnim orodjem odstraniti zrak iz sistema in zagotoviti, da se filter napolni z gorivom. Prisotnost zraka preprečuje učinkovitost mazanja. Pomembno je tudi pravilno delovanje nizkotlačne črpalke za gorivo, ki zagotavlja dovolj veliko količino goriva za nemoteno delovanje črpalke. Pri vrtenju pogonske gredi odmikač na gredi preko valjčka potiska tlačni bat navzgor. V kolikor ni zadostnega mazanja, pride do prevelikega trenja, valj se lahko zatika, lahko pride do zasuka valjčka v izvrtini za 90 stopinj. Nastanek kovinskih delcev povzroči odpoved delovanja sistema skupnega voda.

<sup>22</sup> V seznamu virov: Bosch-mobility, Servotwin electro-hydraulic steering system. Pridobljeno 5. 3. 2025 z naslova: <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/steering/servotwin/>. Navedena letnica 2025 je vezana na datum dostopa, v katalogu ni bilo mogoče ugotoviti datuma zadnje spremembe.

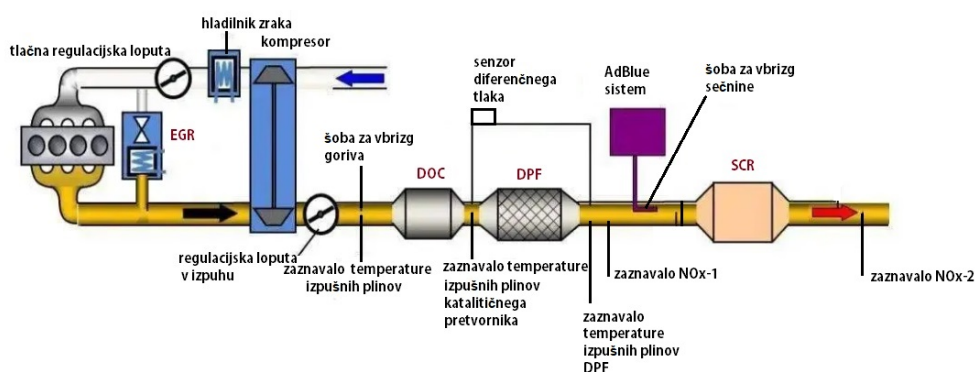


Slika 26: Poškodovan valjček in odmikač  
(Vir: Dieselworldmag portal, 2021)<sup>23</sup>

## 5.2 Sistem za obdelavo izpušnih plinov

### 5.2.1 Izpušni sistem EURO 6

Ključna komponenta današnjih motornih vozil so sodobni izpušni sistemi, ki imajo poleg funkcije odvajanja izpušnih plinov pomembno vlogo pri čiščenju izpušnih plinov, ki vsebujejo škodljive snovi. Izpušni sistemi so se zaradi okoljskih zahtev razvili v zelo kompleksne sklope. Ključno pri preučevanju vpliva različnih vrst goriv na okolje je razumevanje zgradbe in delovanja sodobnega izpušnega sistema.



Slika 27: Izpušni sistem  
(Vir: Bestpacking portal, 2024)<sup>24</sup>

<sup>23</sup> V seznamu virov: Dieselworldmag, Diesel world. CP4.2 High-pressure Fuel Pump, McGlothlin M. (2021). Pridobljeno 5. 3. 2025 z naslova: <https://www.dieselworldmag.com/diesel-technology/cp4-2-fuel-pump/> Navedena letnica 2021 je vezana na datum zadnje spremembe.

Ključne naprave za obdelavo izpušnih plinov so:

- **EGR** (Exhaust Gas Recirculation): sistem za vračanje dela izpušnih plinov v valj motorja za zmanjšanje dušikovih oksidov (NO<sub>x</sub>).
- **DOC** (Diesel Oxidation Catalyst): oksidacijski in hranilni katalitični pretvornik. Oksidacijski katalitični pretvornik oksidira ogljikov monoksid (CO) v ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) in neizgorele ogljikovodike (HC) v spojine, kot sta CO<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>O, in s tem zmanjšuje obremenitev okolja s škodljivimi spojinami. Za redukcijo dušikovih oksidov (NO<sub>x</sub>) je potreben še poseben hranilni katalitični pretvornik, v katerem se po določenem času reducira NO<sub>x</sub>.
- **DPF** (Diesel Particulate Filter): filter trdnih delcev zajema in shranjuje trdne saje, ki nastanejo kot posledica nepopolnega zgorevanja.
- **SCR** (Selective Catalytic Reduction): sistem selektivne katalitične redukcije zmanjšuje emisije dušikovih oksidov (NO<sub>x</sub>) in jih pretvori v dušik in vodno paro.  
Sistem je opremljen tudi s tipali za temperaturo tlaka, ki posredujejo podatke motornemu računalniku za pravilno delovanje.

#### 5.2.1.1 EGR

Zmanjšanje škodljivih izpustov v izpušnih plinih dizelskih motorjev lahko poleg uporabe sodobne črpalke za vbrizg goriva dosežemo tudi s povratnim vodenjem plinov v valj motorja na motorju pred izhodom izpušnih plinov v izpušno cev ali na izpušni cevi za DPF-filtrom. To je tehnika, s katero nadzorujemo stopnjo emisij NO<sub>x</sub> in se uporablja v vseh vrstah dizelskih motorjev, tako v osebnih kot tovornih vozilih. EGR-ventil se vgrajuje v dizelske motorje že od standarda EURO3 naprej.

NO<sub>x</sub> nastajajo, ko sta dušik in kisik izpostavljeni visoki temperaturi. Zato je treba zmanjšati temperaturo v valju, kar dosežemo z vodenjem ohlajenih izpušnih plinov v valj.

Merilec pretoka zračne gmote zazna zmanjšan pretok sveže vsesanega zraka zaradi povratnega vodenja izpušnih plinov v sesalni kolektor in tako prilagodi količino svežega zraka z nastavitvijo tlačne regulacijske lopute. S tem zmanjšamo količino kisika v valju, posledično pa dosežemo tudi manjšo temperaturo zmesi ob vžigu. Izpušni plini so inertni in ne reagirajo z zmesjo ob vžigu ter tako ne prispevajo k sproščanju toplote. Zaradi tega procesa pa se zmanjša moč motorja. Slaba stran je tudi nastanek sajastih oblog na ventilu EGR, kar lahko povzroči njegovo okvaro. Poleg tega pa se tudi v hladilniku EGR in sesalnem kolektorju na stenah naberejo obloge saj, ki sčasoma lahko vplivajo na delovanje motorja zaradi zmanjšane pretoka zmesi kot tudi oviranja delovanja loput na sesalnem kolektorju. Pri sodobnih dizelskih motorjih je zamenjava komponent lahko velik finančni strošek za lastnika vozila.

Z zmanjšanjem temperatur v valju lahko dosežemo zmanjšanje izpustov do 60 %, delež izpušnih plinov v primerjavi s celotnim tokom pa lahko doseže tudi do 45 %, vendar pa je smiselni delež plinov v celotni polnitvi do 30 %, saj se ob prevelikem

odstotku izpušnih plinov poveča delež CO in HC, poleg tega se poveča tudi poraba goriva.

V sodobnih motorjih se uporablja zunanje vodenje izpušnih plinov.

- **Pri visokotlačnem načinu EGR** izpušni plini potujejo iz izpušnega kolektorja, preden vstopijo v plinsko turbino, v razdelilnik pred hladilnikom EGR, kjer je pri določenih sistemih nameščena loputa, ki je krmiljena z podtlakom in omogoča obvod vročih plinov pred vstopom v hladilnik. Obvod vročih plinov se uporablja zlasti pri hladnem zagonu motorja in tako pripomore k skrajšanju segrevanja motorja.

Pri delni obremenitvi motorja je prisoten največji delež izpušnih plinov, do 40 %. Če motor želi doseči polno obremenitev, mora biti dotok izpušnih plinov prekinjen, tlačna regulacijska loputa pa je takrat polno odprta.

- **Pri nizkotlačnem načinu EGR** poteka zajem izpušnih plinov za turbo puhalom in filtrom DPF. Plini se ohladijo v nizkotlačnem hladilniku in se dovedejo v sesalno cev pred kompresorjem. Lopatice kompresorja so v tem primeru toplotno zelo obremenjene. Prednost sistema so hladnejši izpušni plini, pa tudi tok plinov iz izpušnega kolektorja na lopatice turbine je nespremenjen, kar izboljša delovanje motorja. Pri motorju EURO 6 se uporablja kombinacija obeh sistemov.

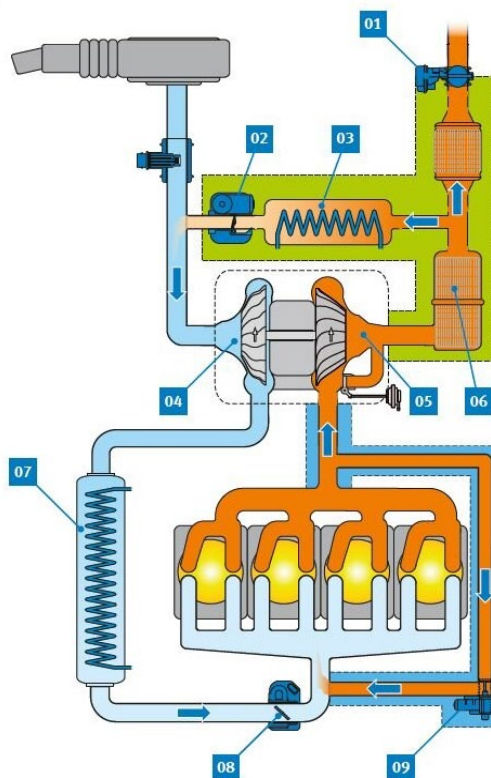
---

<sup>24</sup> V seznamu virov: Pingxiang Bestn Chemical Packing Co., Ltd. (2024) *The application of DOC, DPF, SCR, ASC, POC, EGR*. Pridobljeno 5. 3. 2025 z naslova: <https://www.bestnpacking.com/news/the-application-of-docdpfscrascpocegr/> Navedena letnica 2024 je vezana na datum zadnje spremembe.

Glede na odvzem izpušnih plinov ločimo visokotlačni in nizkotlačni način EGR.  
Kombinirani sistem recirkulacije izpušnih plinov

Legenda:

- 1– loputa izpušnih plinov
- 2– nizekotlačni ventil EGR
- 3– nizekotlačni hladilnik EGR
- 4– kompresor
- 5– turbina
- 6– filter DPF
- 7– hladilnik zraka
- 8– tlačna regulacijska loputa
- 9– visokotlačni egr

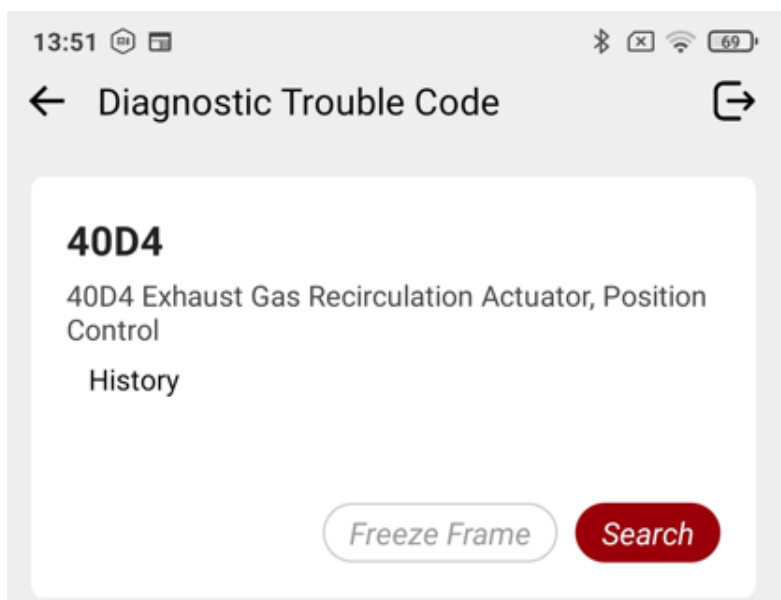


Slika 28: Visokotlačni in nizekotlačni EGR  
(Vir: Ms-motorservice portal, 2025)<sup>25</sup>

<sup>25</sup> V seznamu virov: BF Engine Parts L.C. High-pressure / low-pressure exhaust gas recirculation What is the difference? Pridobljeno 23. 3. 2025 z naslova: <https://www.ms-motorservice.com/trbfep/en/technipedia/high-pressure-low-pressure-exhaust-gas-recirculation>. Navedena letnica 2025 je vezana na datum dostopa, v katalogu ni bilo mogoče ugotoviti datuma zadnje spremembe.

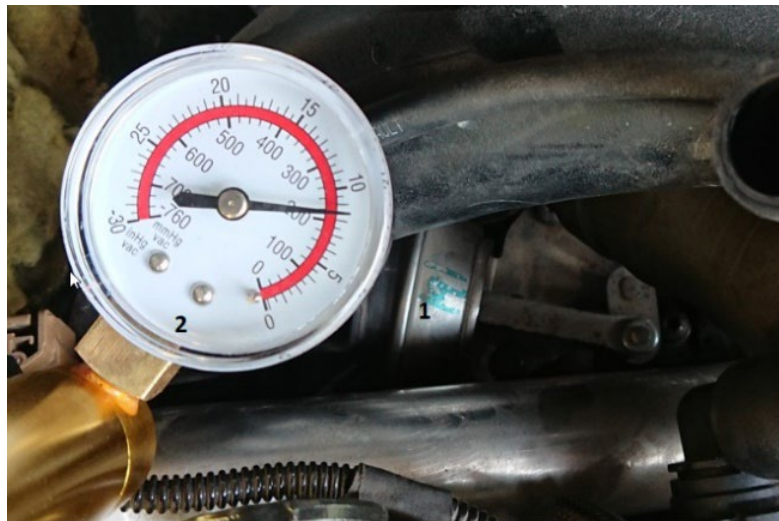
## Visokotlačni sistem EGR KIA Carens in primer njegove obnove

Z diagnostičnim orodjem Thinkdiag je bilo ugotovljeno nepravilno delovanje oziroma težava s položajem aktuatorja EGR. Z demontažo in s čiščenjem celotnega sklopa je bila napaka odpravljena in po vgradnji je sistem ponovno deloval brezhibno.



*Slika 29: Nepravilno delovanje aktuatorja EGR  
(Lastni vir)*

Okvara na sistemu EGR pri dizelskih motorjih je zelo pogosta. Vzrok je odlaganje saj, ki potujejo iz izpušnega sistema preko EGR v valj motorja. Na nastanek okvare delno lahko vplivamo z načinom vožnje. Kratke relacije in vožnja pri nizkih obratih povzročijo, da se na notranjem delu hitreje naberejo obloge in tako povzročijo zatikanje bata na aktuatorju, kar lahko privede do odpovedi delovanja električnega dela. Možna je tudi okvara podtlačne lopute, ki tok izpušnih plinov preusmeri mimo hladilnika. V primeru okvare se del zamenja z novim. Menjava predstavlja znaten strošek, zato je smiselna obnova. Poleg čiščenja je potreben tudi test podtlačnega dela in elektronskega dela EGR.



*Slika 30: Preizkus z ročno podtlačno črpalko  
(Lastni vir)*

Pri preizkusu z ročno podtlačno črpalko (2) sem ugotovil, da se membrana na podtlačnem ventilu (1) premika in ostane v položaju, ko je dosežen podtlak. Delovanje ventila je pravilno.



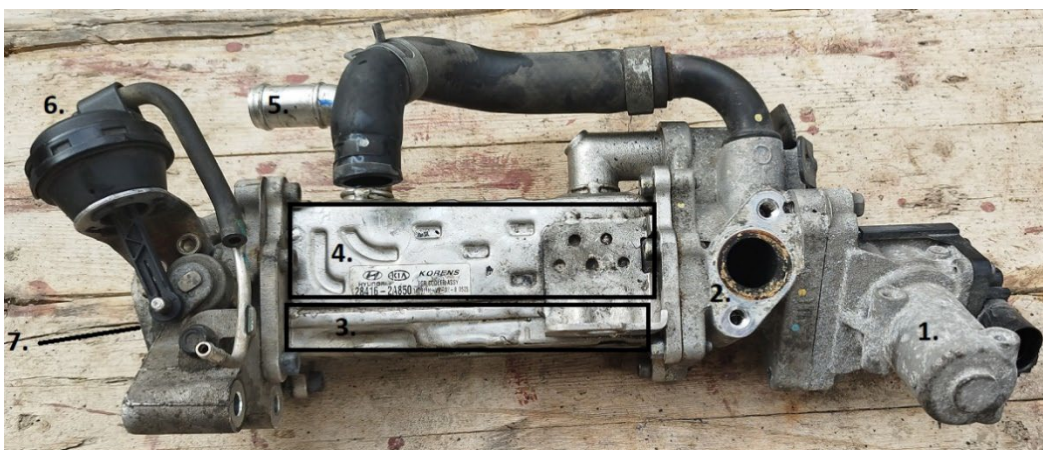
*Slika 31: Preizkus električnega dela ventila EGR  
(Lastni vir)*

Preprost preizkus električnega dela EGR sem opravil z pomočjo 12 V baterije, ki sem jo z žicami priključil na električni priključek ventila. Ob tem se je bat ventila pomaknil navzven. Ob zamenjavi polaritete se je bat pomaknil v prvotni položaj. Ventil deluje pravilno.

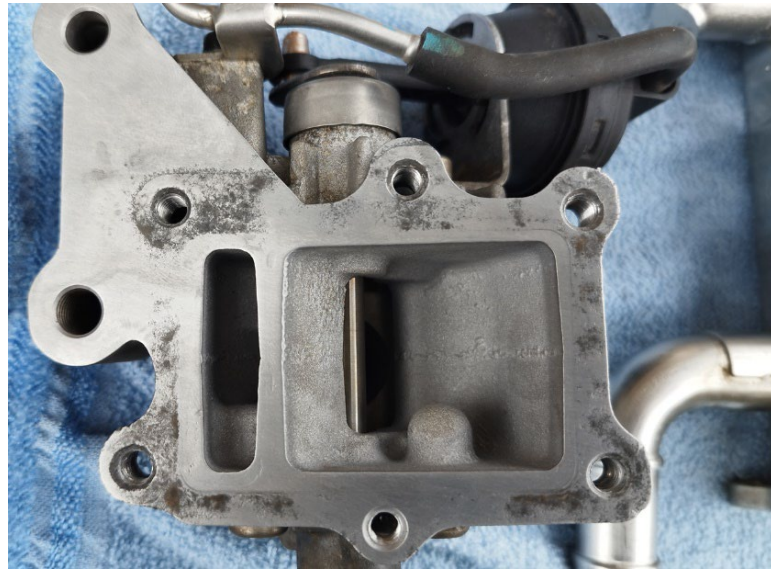
Po demontaži dela iz vozila sem razstavil EGR. Za odstranitev saj je bilo treba dele predhodno potopiti v tekočino za odstranjevanje saj, sledilo je mehansko čiščenje in odstranjevanje saj.

### Visokotlačni sistem EGR KIA Carens

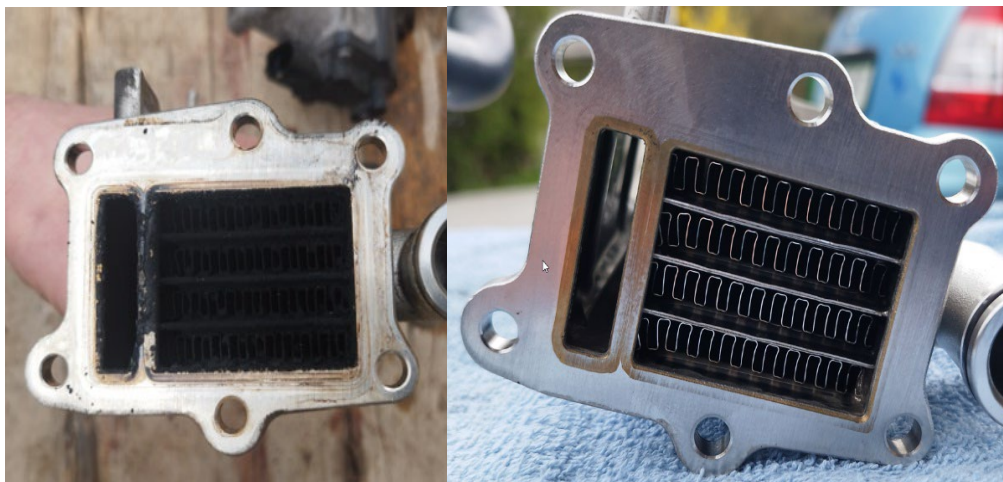
1. ventil EGR
2. odvod plinov v sesalni kolektor
3. obvod izpušnih plinov
4. hladilnik
5. dovod hladilne tekočine
6. podtlačna loputa za usmerjanje plinov v komoro št. 3
7. dovod izpušnih plinov iz zbiralnika izpušnih plinov



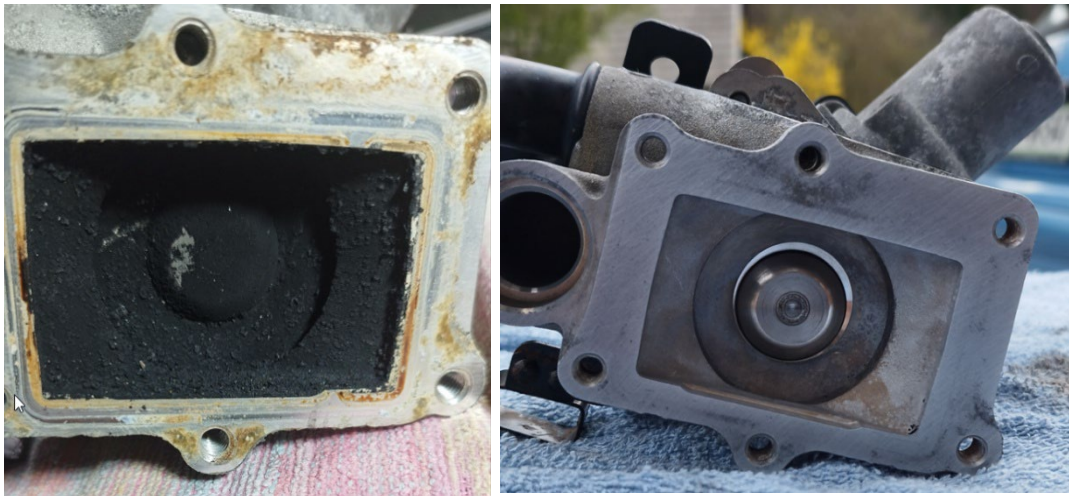
Slika 32: EGR  
(Lastni vir)



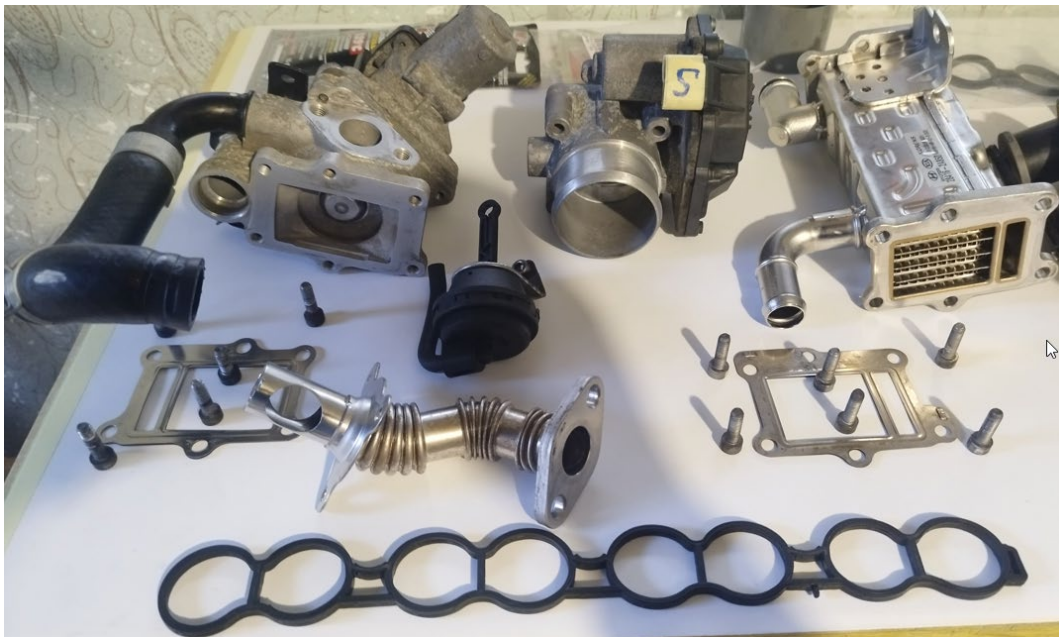
*Slika 33: Očiščena podtlačna loputa  
(Lastni vir)*



*Slika 34: Hladilnik izpušnih plinov pred in po čiščenju  
(Lastni vir)*



*Slika 35: ventil EGR pred in po čiščenju  
(Lastni vir)*



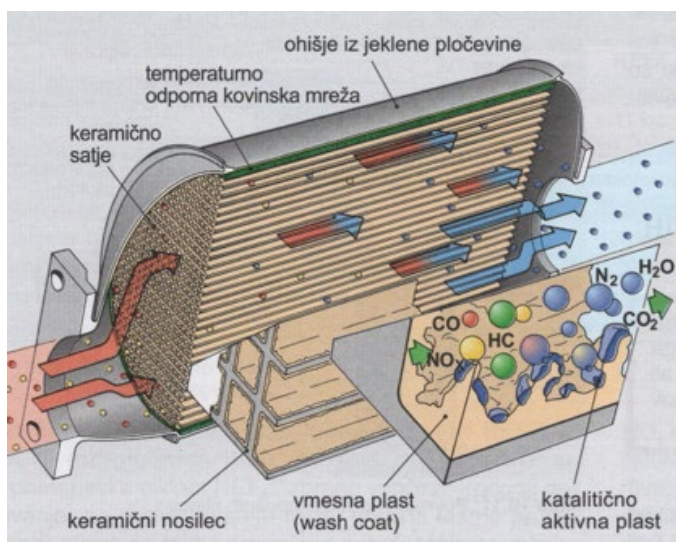
*Slika 36: Očiščen sistem EGR z novimi tesnili  
(Lastni vir)*

### 5.2.1.2 Oksidacijski in hranilni katalitični pretvornik

Katalizator je po zgradbi povsem podoben katalitičnemu pretvorniku v Ottovih motorjih. Gre za odprto monolitno zgradbo brez funkcije filtriranja, kot je filter DPF. Narejen je iz keramične ali kovinske sredice, prevlečene s plemenitimi kovinami, kot sta platina in paladij. Ko škodljivi plini prehajajo skozi katalizator, se škodljive snovi oksidirajo v manj škodljive snovi. Oksidacija poteka s kisikom, ki je prisoten v izpušnih plinih. Delež kisika v celotnih izpušnih plinih znaša od 5 do 15 %. Nahaja se na začetku izpušne cevi pred DPF in predstavlja prvi korak v celotnem čiščenju izpušnih plinov.

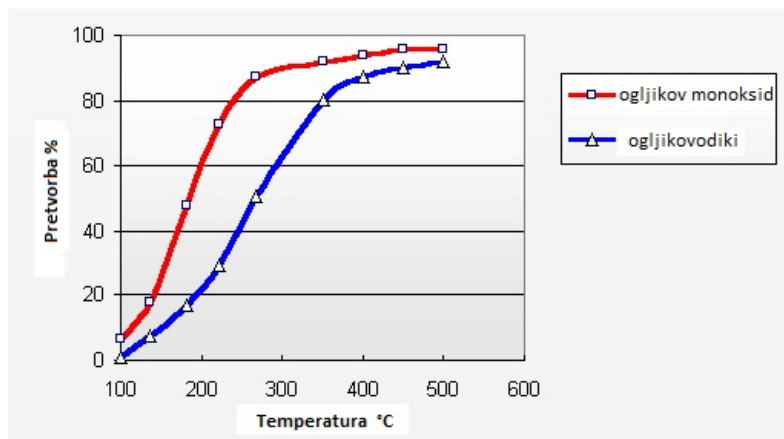
Naloge katalitičnega pretvornika:

- Oksidacijski katalitični pretvornik učinkovito vzpodbuja oksidacijo ogljikovega monoksida (CO), ogljikovodikov (HC) ter topnih delcev (SOF) v dizelskem izpuhu z namenom zmanjšanja emisij. Ogljikov monoksid se oksidira v ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), ogljikovodiki se oksidirajo v H<sub>2</sub>O in CO<sub>2</sub>. Pri oksidaciji se ustvarja eksotermna toplota za aktivno regeneracijo filtra DPF.
- pomembno vlogo ima tudi pri oksidaciji dušikovega monoksida (NO) v dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>), kar pomembno vpliva na pasivno regeneracijo filtra DPF. V hranilnem katalitičnem pretvorniku se NO<sub>x</sub> odlaga na stene. Ko se pretvornik zasiči, se NO<sub>x</sub> reducira v dušik (N) in vodo (H<sub>2</sub>O). Za motorje z večjo delovno prostornino je potreben dodaten katalitični pretvornik SCR, ki poskrbi za razgradnjo dušikovih oksidov.
- Oksidacijski katalitični pretvornik z oksidacijo prašnih delcev, ki so sestavljeni iz ogljikovodikov, prispeva k zmanjšanju delcev za 15 od 30 %.
- Opremljen je s temperaturnima tipaloma, ki merita temperaturo vhodnih in izhodnih plinov.
- Tipalo pred DOC poda vstopno temperaturo izpušnih plinov, kar vpliva na učinkovitost delovanja katalizatorja. Ta podatek je zelo pomemben, saj bi previsoka temperatura izpušnih plinov lahko le-tega poškodovala. S podatkom, ki ga tipalo posreduje motornemu računalniku, lahko določimo stopnjo učinkovitosti delovanja katalizatorja.
- Tipalo za katalizatorjem nam poda oceno učinkovitosti oksidacije, saj se temperatura po njej običajno dvigne. Ta podatek o temperaturi je pomemben za učinkovito regeneracijo v DPF. Če je izhodna temperatura višja od vhodne, pomeni, da oksidacija poteka uspešno.



Slika 37: Katalitični pretvornik  
(Vir: Fischer, 2022)

Na spodnjem grafu je prikazan proces učinkovitosti pretvorbe sodobnega dizelskega oksidacijskega katalizatorja pri različnih temperaturah. Učinkovitost narašča z višanjem delovne temperature katalizatorja. Za začetek delovanja je potrebna minimalna temperatura 200 °C. Pri višjih temperaturah pa je učinkovitost lahko tudi 90 %.



Slika 38: Graf učinkovitosti pretvorbe CO in HC  
(Vir: Nettinc portal, 2025)<sup>26</sup>

<sup>26</sup> V seznamu virov: Nett Technologies Inc. What Is a Diesel Oxidation Catalyst? Pridobljeno 23. 3. 2025 z naslova: <https://www.nettinc.com/information/emissions-faq/what-is-a-diesel-oxidation-catalyst>. Navedena letnica 2025 je vezana na datum dostopa, na spletni strani ni bilo mogoče ugotoviti datuma zadnje spremembe.

### 5.2.1.3 Filter trdnih delcev – DPF

Filter DPF je naprava, ki je nameščena v izpušni sistem za turbinskim polnilnikom in v večini primerov za dizelskim oksidacijskim katalizatorjem. Glavna naloga sta zajem in shranjevanje sajastih delcev, ki nastajajo pri zgorevanju dizelskega goriva. Uporablja se v motorjih Euro 5 in Euro 6. Za pravilno delovanje filtra je zelo pomembno pravilno vzdrževanje vozila.

V nekaterih evropskih državah že veljajo predpisi, ki pri preverjanju izpušnih plinov preverjajo tudi količino trdnih delcev. Nova regulativa bi lahko na tehničnih pregledih povzročila zavrnitev od 50 do 80 % vozil. Vsa ta vozila bi potrebovala zamenjavo filtra DPF.

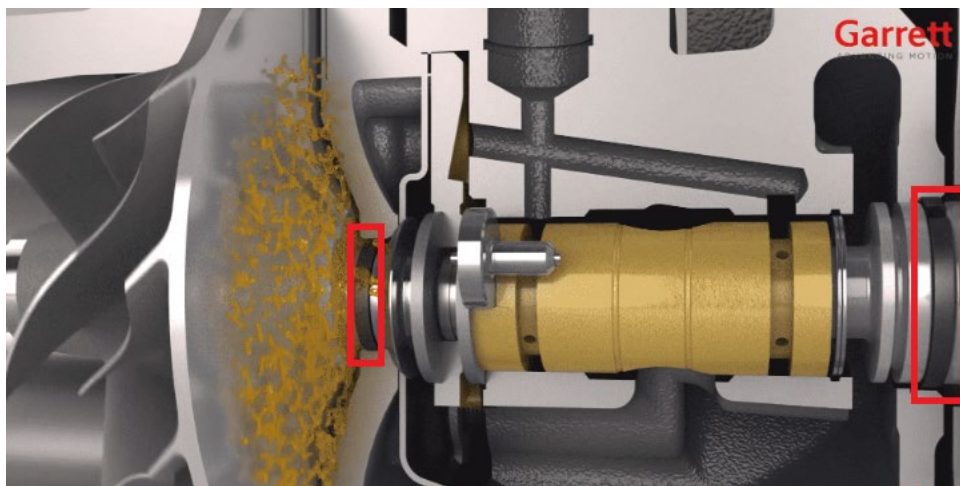
Štetje trdnih delcev oziroma saj je pomembno, ker predstavlja eno od najbolj nevarnih onesnaževal pri dizelskih motorjih. Z analizo trdnih delcev je mogoče ugotoviti, da so poleg čistih saj prisotni tudi pepel ter organski materiali, ki izvirajo iz olj in dizelskega goriva. V izpuhu je bila z analizo ugotovljena prisotnost 3-nitrobenzatrona, to je snovi, ki povzroča nastanek pljučnega raka. Okvarjen filter trdnih delcev zelo poveča delež škodljivih izpustov, zato je zelo pomembno, da sistem, s katerim preprečimo izstop saj in primesi iz izpušnega sistema, deluje učinkovito.

Ko je stopnja zamašenosti filtra dovolj visoka, se sproži samodejna regeneracija, s pomočjo katere pride do sežiga saj. Saje se v periodičnih intervalih med 700 do 1400 kilometri sežejo v ogljikov dioksid. Lahko se zgodi, da se regeneracija ne izvede zaradi prevelike količine saj v filtru. Nepravilno delovanje filtra in s tem zmanjšan pretok plinov lahko povzroči zmanjšano moč motorja in večjo porabo goriva, v nekaterih primerih pa tudi trajno okvaro motorja. Za nastanek čim manjšega števila trdnih delcev je pomembno brezhibno delovanje motorja, ki se začne pri učinkovitem vbrizgu goriva v valj motorja. Sodobni sistem za dovod goriva deluje pod čim višjim tlakom, s čimer omogočimo injektorjem za vbrizg goriva čim boljšo atomizacijo goriva. Drobnost razpršeno gorivo omogoča bolj homogeno mešanico z zrakom. S tem zelo zmanjšamo nastanek onesnaževal. Vseeno pa do popolnega izgorevanja ne pride, saj v valju ob vbrizgu goriva nastanejo lokalna področja s presežkom goriva. Večje kot so kapljice goriva, večje je lokalno področje s pomanjkanjem kisika in delež molekul nepopolnega zgorelega goriva se poveča, s tem pa se poveča tudi nastanek saj.

Na neustrezno delovanje filtra vpliva tudi:

- nepravilno delovanje ventila EGR – vpliv sistema EGR je povezan s količino saj, ki nastanejo pri zgorevanju motorja. Sčasoma se na ventil nabere večja količina saj, ki onemogoča pravilno delovanje, lahko pa tudi odpoved ventila EGR. Stalno odprt ventil zniža temperaturo v valju in posledično nastane več saj, kar pomeni večjo obremenitev za filter in večje število regeneracij, lahko pa tudi zamašitev filtra.

- nepravilno delovanje oziroma okvara turbopolnilnika – na gredi turbopolnilnika, ki je zatesnjena na zunanjih straneh, lahko pride zaradi obrabe gredi do prevelikih toleranc in do puščanja olja. Olje prehaja v kompresorski del, kjer skupaj z zrakom preide v valj, na drugi strani pa skozi turbinski del prehaja v izpušni sistem skozi filter. S tem se kontaminira sredica filtra DPF, kar onemogoča kakovostno regeneracijo.



*Slika 39: Puščanje olja na gredi*  
(Vir: Garrettmotion portal, 2025)<sup>27</sup>

- Poškodbe sesalnih in tlačnih cevi okrog turbopolnilnika – pri nepravilnem delovanju pride do neustreznega razmerja med gorivom in zrakom, zaradi česar nastajajo saje. Merilec pretoka zraka ob vstopu izmeri količino vsesanega zraka in podatek posreduje krmilni enoti. Če so cevi poškodovane, je količina zraka drugačna, kar povzroči sajavost.
- Zelo pomembna je pravilna izbira motornega olja. Olje je treba uporabljati po navodilih proizvajalca. Tako olje pomaga zmanjšati obloge v filtru. Uporaba neustreznega olja zaradi dodatkov, kot sta žveplo in fosfor, omogoča nastajanje pepela. Pepel predstavlja negorljivi del trdnih delcev in predstavlja delež od 0,5 do 1,0 %. Dolgoročno vpliva na zamašitev filtra.
- Poškodba katalitičnega pretvornika – katalizator je postavljen pred filtrom DPF. Zamašenost katalizatorja ovira pretok izpušnih plinov, zato se zmanjša učinek regeneracije filtra. Nepravilno delovanje lahko povzroči nepravilno delujoč motor, pri katerem lahko puščanje hladilne tekočine ali olja s prehajanjem v izpušni sistem izniči njegovo delovanje.

- Mašenje DPF zaradi negorljivih trdnih delcev – pepela, ki se sicer po zaporednih regeneracijah kopiči relativno počasi, vendar sčasoma povzroči zamašitev filtra.

### Zgradba in delovanje filtra DPF

Filter trdnih delcev je sestavljen iz satastega jedra, ki je narejeno iz silicijevega karbida, katerega lastnosti so, da lahko prenese zelo visoke temperature. Lahko se ga oblikuje v ustrezno porozno strukturo. Pri regeneraciji ob zgorevanju saj nastanejo zelo visoke temperature, silicijev karbid pa je toplotno zelo dobro prevoden, kar omogoča enakomerno porazdelitev toplote po filtru. S tem se zmanjšuje možnost za nastanek razpok zaradi toplotnih šokov.

Emisijski standardi so zelo strogi, za njihovo izpolnjevanje se največ uporablja monolitna izvedba s stenskim pretokom, ki se je izkazala tudi za najbolj učinkovito. Ta izvedba omogoča visoko učinkovitost filtracije, nizek padec tlaka in visoko vzdržljivost.



Slika 40: Monolitna zgradba filtra DPF  
(Vir: Otomatic portal, 2025)<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> V seznamu virov: Garrett Motion Inc., *The Turbocharger Oil and Gas Sealing System*. Rolle. Pridobljeno 15. 1. 2025 z naslova: <https://www.garrettmotion.com/knowledge-center-category/turbo-replacement/the-turbocharger-oil-and-gas-sealing-system/>. Navedena letnica 2025 je vezana na datum dostopa, na spletni strani ni bilo mogoče ugotoviti datuma zadnje spremembe.

<sup>28</sup> V seznamu virov: Otomatic Smolec, *DPF structure*. Andrychów. Pridobljeno 15. 1. 2025 z naslova: <https://www.otomatic.co.uk/dpf-structure/>. Navedena letnica 2025 je vezana na datum dostopa, na spletni strani ni bilo mogoče ugotoviti datuma zadnje spremembe.

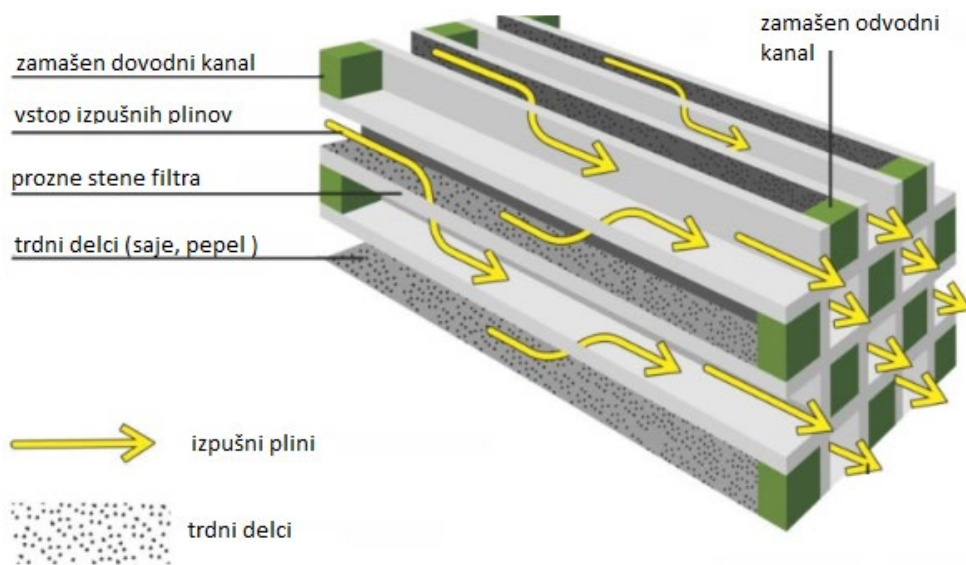


*Slika 41: Zamašen filter DPF*  
(Vir: Dpfaustralia portal, 2019)<sup>29</sup>

Kanali so po celotnem filtru oblikovani kvadratno ali šestrobno. Pretočni kanali so izmenično zaprti, zato mora tok plinov potovati skozi porozne stene filtra. Ta proces se imenuje nalaganje saj. Delci se postopoma nalagajo na stene in sčasoma povzročajo zamašitev in s tem onemogočajo prehod plinom skozi filter. Protitlak se poveča, z njim pa tudi poraba goriva, zmanjša pa se moč motorja. Takrat je treba filter regenerirati. Kopičenje saj ni enakomerno porazdeljeno skozi celoten filter. Migracijska sila, ki nastane med filtracijo saj, povzroči največje kopičenje teh na koncu monolita filtra, najmanjša količina saj pa se kopiči na območju blizu vhoda v DPF.

---

<sup>29</sup> V seznamu virov: DPF Sales Australia, *What causes DPF failure?* Pridobljeno 23. 3. 2025 z naslova: <https://www.dpfaustralia.com.au/what-causes-dpf-failure/> Navedena letnica 2019 je vezana na datum zadnje spremembe.

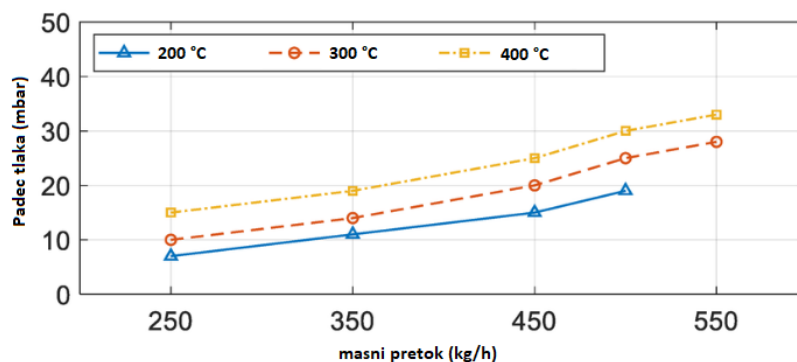


Slika 42: Tok izpušnih plinov skozi filter DPF  
(Vir: Otomatic portal, 2025)<sup>30</sup>

---

<sup>30</sup> V seznamu virov: Otomatic Smolec, DPF structure. Andrychów. Pridobljeno 15. 1. 2025 z naslova: <https://www.otomatic.co.uk/dpf-structure/>. Navedena letnica 2025 je vezana na datum dostopa, na spletni strani ni bilo mogoče ugotoviti datuma zadnje spremembe.

Zaradi nalaganja saj v filtru izpušni plini vedno težje prehajajo skozi stene filtra. Zato je ta del izpušnega sistema opremljen z zaznavalom diferenčnega tlaka, ki preko votlih kovinskih cevi zaznava tlak na obeh delih filtra, meri torej razliko v tlaku med vhomom in izhodom. Podatek nam pove, koliko upora imajo izpušni plini skozi filter. Ko pride do prevelikega padca tlaka, motorni računalnik izvede fazo regeneracije. Na spodnji tabeli vidimo padec tlaka v pravilno delujočem DPF glede na masni pretok plinov pri različnih temperaturah. Test je bil opravljen na dizelskem motorju Hyundai D6Da.



Slika 43: Padec tlaka glede na masni pretok plinov in njihovo temperaturo  
(Vir: ResearchGate portal, 2022)<sup>31</sup>



Slika 44: Filter DPF z zaznavalom diferenčnega tlaka  
(Vir: Diva portal, 2022)<sup>32</sup>

<sup>31</sup> V seznamu virov: ResearchGate GmbH, Modeling Differential Pressure of Diesel Particulate Filters in Marine Engines (J. J., B. M., S. Y. A., H. K.). Pridobljeno dne 3. 3. 2025 z naslova: [https://www.researchgate.net/publication/360771925\\_Modeling\\_Differential\\_Pressure\\_of\\_Diesel\\_Partuculate\\_Filters\\_in\\_Marine\\_Engines](https://www.researchgate.net/publication/360771925_Modeling_Differential_Pressure_of_Diesel_Partuculate_Filters_in_Marine_Engines). Navedena letnica 2022 je vezana na datum zadnje spremembe.

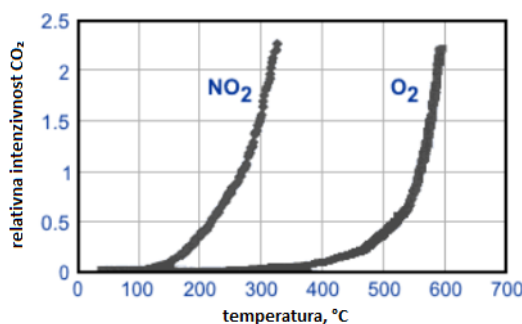
Regeneracija DPF omogoča sežig saj oziroma tistega ogljika, ki zapušča motor v trdni obliki. Oksidacijo lahko dosežemo z zvišanjem temperature izpušnih plinov nad 600 °C, ali pa z znižanjem vnetišča delcev.

Znižanje temperature vžiga lahko dosežemo z dodatki železovih spojin gorivu. S tem lahko znižamo temperaturo vžiga na 450 do 500 °C. Regeneracija lahko poteka pasivno ali aktivno.

- **Pasivna regeneracija**

Pri tem načinu igra zelo pomembno vlogo oksidacijski katalitični pretvornik, ki pri procesu obdelave izpušnih plinov dušikov monoksid (NO) oksidira in tako nastane dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>). Stopnjo oksidacije saj je mogoče povečati, če za ta proces uporabimo oksidant, ki je bolj aktiven kot kisik. Dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>) hitreje oksidira delce saj kot kisik, postopek oksidacije se lahko odvija že pri 250 °C, medtem ko je pri oksidaciji z O<sub>2</sub> potrebna temperatura, ki je višja od 600 °C.

Ta način oksidacije je zelo pomemben, saj zgorevanje ogljika lahko poteka med običajnim delovanjem motorja. Zmanjšanje števila aktivnih regeneracij vpliva na manjšo porabo goriva, manjše toplotne obremenitve in staranje izpušnega sistema ter v nekaterih primerih preprečevanje redčenja mazalnega olja. Iz spodnjega diagrama lahko ugotovimo, da je ob prisotnosti NO<sub>2</sub> oksidacija saj možna pri veliko nižjih temperaturah.



Slika 45: Oksidacija saj z NO<sub>2</sub> in O<sub>2</sub>  
(Vir: ResearchGate portal, 2021)<sup>33</sup>

<sup>32</sup> V seznamu virov: SHETH M. (2022). Predictive model for continuous optimization of DPF service interval based on economic trade-off. Stockholm.KTH Royal institute of technology. Pridobljeno 14. 2. 2025 z naslova: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1707916/FULLTEXT01.pdf>. Navedena letnica 2022 je vezana na datum zadnje spremembe.

<sup>33</sup> V seznamu virov: ResearchGate GmbH, Oxidation of PM by oxygen and nitrogen dioxide [13]. Pridobljeno 3. 3. 2025 z naslova: [https://www.researchgate.net/figure/Oxidation-of-PM-by-oxygen-and-nitrogen-dioxide-13\\_fig1\\_357202771](https://www.researchgate.net/figure/Oxidation-of-PM-by-oxygen-and-nitrogen-dioxide-13_fig1_357202771). Navedena letnica 2021 je vezana na datum zadnje spremembe.

- **Aktivna regeneracija**

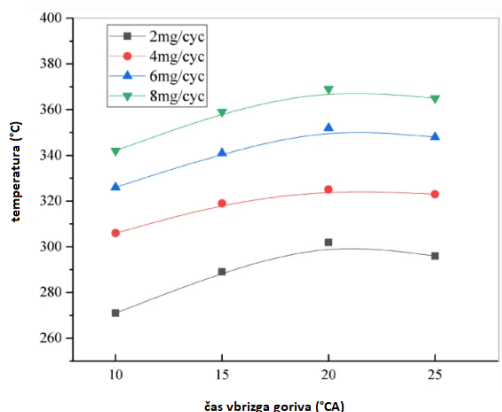
Učinkovitost pasivne regeneracije je lahko nezadostna, predvsem zaradi kratkih voženj, zato je v teh primerih potrebna aktivna regeneracija. Pri tem načinu regeneracije se gorivo vbrizga naknadno. Ob tem se sprosti toplota, naknadno vbrizgano gorivo se razgradi na molekule ogljikovodikov, ki se oksidirajo v oksidacijskem katalitičnem pretvorniku. Pri postopku oksidacije se sprosti toplota, ki doseže temperaturo 600 °C. Pri tej temperaturi se v prisotnosti kisika v izpušnih plinih saje, ki jih zadrži DPF, oksidirajo.

Najpogostejša načina za izvedbo aktivne regeneracije sta dodatno vbrizgavanje goriva v zgorevalni prostor in vbrizganje goriva v izpušni zbiralnik za motorjem.

1. **Pri dodatnem vbrizgavanju goriva v zgorevalni prostor** ob končanem delovnem taktu lahko zaradi neuspešno izvedene regeneracije prihaja do prehajanja goriva med batom in steno valja v posodo za olje na dnu motorja. Razredčeno motorno olje ima slabše mazalne sposobnosti, kar lahko privede do okvare motorja.

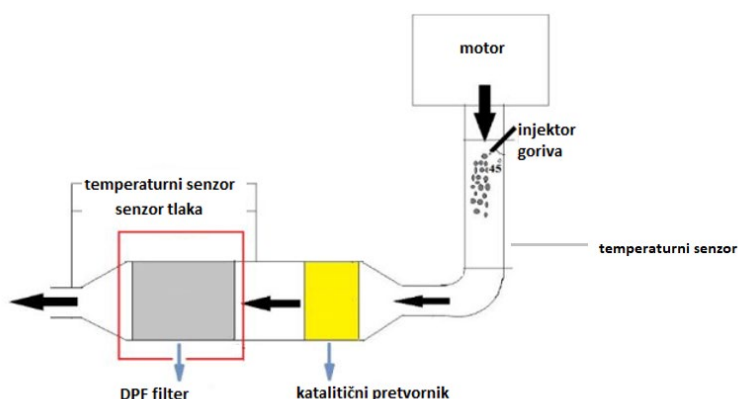
Proces regeneracije traja približno dvajset minut, v tem času je treba vozilo voziti v višjih obratih, da se temperatura v valjih dvigne. Če je postopek predčasno prekinjen ali temperatura ni dovolj visoka, regeneracija ne bo izvedena pravilno. Pride lahko tudi do zamašitve DPF. V takih primerih je treba izvesti regeneracijo z diagnostičnim orodjem. Če zaradi prevelike zamašitve to ni mogoče, sta potrebna demontaža filtra in strojno čiščenje.

Na spodnjem diagramu je prikazan vpliv na dvig temperature pri naknadno vbrizganem gorivu v zgorevalni prostor pri aktivni regeneraciji. Preizkus je bil narejen na šestvaljnem, 8,5 litrskem motorju. Gorivo je bilo vbrizgano, ko je bil kot ročične gredi (°CA) od 15° do 25° po ZML (zgornji mrtvi legi). Iz tabele je razvidno, da je najvišja temperatura dosežena, ko je kot ročične gredi 20° in količina goriva znaša 8 mg na cikel.



Slika 46: Vpliv naknadno vbrizganega goriva na dvig temperature  
(Vir: Link.Springer portal, 2023)<sup>34</sup>

2. **Pri vbrizganju goriva v izpušni zbiralnik za motorjem** se gorivo vbrizga z injektorjem, ki je v izpušni cevi nameščen pod kotom 45°. S tem načinom vbrizgavanja se izognemo redčenju motornega olja. Gre za učinkovit način, ki se uporablja predvsem v motorjih z večjo delovno prostornino.



Slika 47: Vbrizg goriva v izpušni zbiralnik  
(Vir: ResearchGate portal, 2021)<sup>35</sup>

<sup>34</sup> V seznamu virov: SpringerOpen, *Thermal management strategy for active regeneration of diesel particulate filter*. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova: <https://jeas.springeropen.com/articles/10.1186/s44147-023-00264-y>. Navedena letnica 2023 je vezana na datum zadnje spremembe.

<sup>35</sup> V seznamu virov: Ojagh (2013). *Configuration of an after-treatment system (DOC-CDPF) with secondary fuel injection*. ResearchGate GmbH. Pridobljeno 22. 3. 2025: [https://www.researchgate.net/figure/Configuration-of-an-after-treatment-system-DOC-CDPF-with-secondary-fuel-injection\\_fig2\\_320302355](https://www.researchgate.net/figure/Configuration-of-an-after-treatment-system-DOC-CDPF-with-secondary-fuel-injection_fig2_320302355). Navedena letnica 2013 je vezana na datum zadnje spremembe.

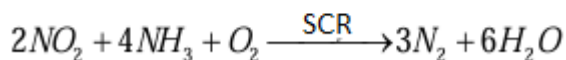
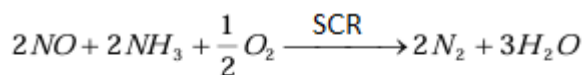
Filter DPF ima pri zmanjševanju trdnih delcev ključno vlogo in pomembno prispeva k zmanjšanju emisij. S pravilnim delovanjem in vzdrževanjem prispeva k zagotavljanju strogih emisijskih norm in tako prispeva k čistejšemu okolju.

#### 5.2.1.4 Selektivna katalitična redukcija (SCR)

Dušikovi oksidi prispevajo skupaj z ostalimi izpušnimi produkti k nastanku smoga in prizemnega ozona oziroma »ground-level ozone«. Skupaj s sončno svetlobo povzročajo nastajanje prizemnega ozona v škodljivih koncentracijah v zraku. NO<sub>x</sub> ima negativne posledice na zdravje, predvsem vpliva na draženje dihalnih poti. Dolgotrajna izpostavljenost lahko upočasni razvoj pljuč pri otrocih, prav tako izpostavljenost povečuje tveganje za srčno-žilne bolezni.

Zaradi zgoraj navedenega je pomembno, da se NO<sub>x</sub> učinkovito razgradijo, preden preidejo v okolje. Glavni namen tehnologije SCR je zmanjšanje onesnaževal NO<sub>x</sub>. NO<sub>x</sub> je splošni izraz za monodušikove okside, predvsem NO in NO<sub>2</sub>, ki nastanejo med zgorevanjem pri visokih temperaturah. Nalogo razgradnje dušikovih oksidov opravlja že hranilni katalitični pretvornik, ki pa ima omejene zmožnosti shranjevanja, zato je za učinkovito obdelavo NO<sub>x</sub> potrebna še tehnologija SCR. Pomembno vlogo ima tudi dizelski oksidacijski katalizator, ki je na začetku sistema in pretvori NO v NO<sub>2</sub>, zaradi česar je pretvorba NO<sub>x</sub> v SCR učinkovitejša. Tehnologija selektivne katalitične redukcije je široko uporabljena in omogoča učinkovito zmanjšanje dušikovih oksidov. Prvič je bila razvita v petdesetih letih prejšnjega stoletja, uporabljati pa se je začela v sedemdesetih letih za nadzor emisij NO<sub>x</sub> iz zgorevalnikov elektrarn. Zaradi vse strožjih predpisov o emisijah vozil se je sistem začel uveljavljati v dizelskih motorjih. Redukcijsko sredstvo, ki se pri tem uporablja, je sečnina. Razgradnja NO<sub>x</sub> poteka, ko amonijak v katalitičnem pretvorniku SCR pri 170 °C reducira NO<sub>x</sub> v dušik (N<sub>2</sub>) in vodo (H<sub>2</sub>O).

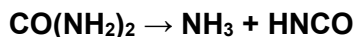
#### Redukcija dušikovih oksidov v katalizatorju SCR:



#### Delovanje katalizatorja SCR

Pri stalnem delovanju sistema SCR se s pomočjo sečnine (AdBlue) pretvori več kot 80 % dušikovih oksidov. AdBlue je raztopina 32,5 % sečnine v vodi. Za pretvorbo dušikovih oksidov v dušik in vodo je potreben amonijak, ki nastane v področju hidrolize. To področje je za injektorjem za AdBlue in pred katalitičnim pretvornikom SCR.

V prvi fazi termične razgradnje sečnine  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  le-ta razpade na amonijak ( $\text{NH}_3$ ) in izociansko kislino ( $\text{HNCO}$ ):



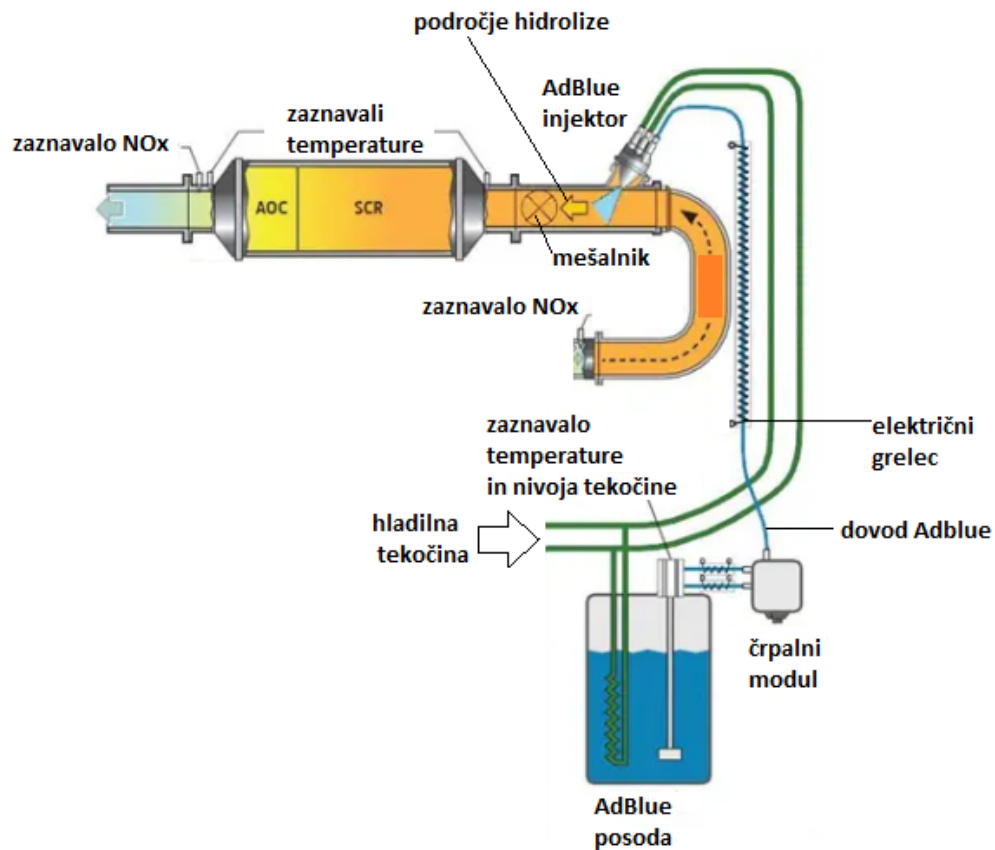
Sledi hidroliza izocianske kisline s pomočjo vode, ki je prisotna v izpušnih plinih:



Pri segrevanju raztopine torej nastaneta amonijak ( $\text{NH}_3$ ) in ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ). Sečnino dovaja v izpušni sistem črpalni modul iz posode, v kateri je shranjena tekočina. Injektor vbrizga sečnino v področje hidrolize. Pred katalitičnim pretvornikom je nameščen mešalnik, ki povzroči vrtinčenje plinov in preprečuje kristalizacijo, ter omogoča temeljito mešanje amonijaka z izpušnimi plini in učinkovito pretvorbo  $\text{NO}_x$  v katalizatorju. Redukcija  $\text{NO}_x$  poteka v katalizatorju, ko amonijak ob prisotnosti titanove prevleke katalitičnega pretvornika razgradi dušikove okside. Sistem je opremljen tudi s tipali na obeh straneh, ki v realnem času podatke sporočata krmilni enoti.

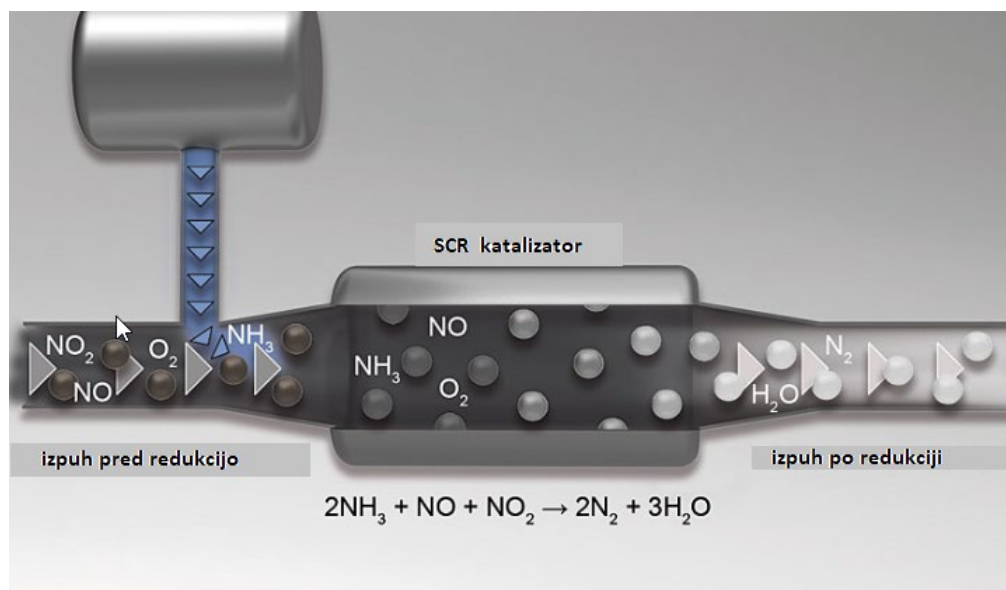
Zmrzišče tekočine AdBlue je pri  $-11\text{ }^\circ\text{C}$ , zato je sistem opremljen z električnim spiralnim grelcem in z dovodom hladilne tekočine, ki v zimskem času ogreva rezervoar, cevi in šobo, ter tako preprečuje zamrzovanje pri nizkih temperaturah. Hladilna tekočina je že del toplotnega tokokroga motorja in omogoča pasivno ogrevanje brez dodatne potrebe po električni energiji. Ko se motor ugasne, črpalka poskrbi za izpraznitev cevi in šobe za vbrizg.

Na koncu katalizatorja SCR je nameščen oksidacijski katalizator amonijaka (AOC), katerega naloga je oksidirati ostanke amonijaka, ki se niso pravilno pretvorili v dušik, in tako dopolnjuje učinkovitost sistema SCR.



Slika 48: AdBlue sistem  
(Vir: ResearchGate portal, 2017)<sup>36</sup>

<sup>36</sup> V seznamu virov.: R. Stirnimann, D. Engelmann, *Development of tractor engines in the past twenty years*. Pridobljeno 3. 3. 2025 z naslova: [https://www.researchgate.net/publication/320771474\\_Development\\_of\\_tractor\\_engines\\_in\\_the\\_past\\_twenty\\_years](https://www.researchgate.net/publication/320771474_Development_of_tractor_engines_in_the_past_twenty_years). Navedena letnica 2017 je vezana na datum zadnje spremembe.



Slika 49: Delovanje Selektivne katalitične redukcije  
(Vir: H. Sinzenich, 2014)<sup>37</sup>

Sistem selektivne katalitične redukcije, kljub svoji kompleksnosti, dodajanju AdBlue tekočine in stroškom vzdrževanja ostaja ključna tehnologija za prihodnost dizelskih motorjev. Prednost sistema SCR je njegova visoka učinkovitost pri razgradnji NOx in tako ostaja nepogrešljivi del sistema za čiščenje izpušnih plinov pri dizelskih motorjih.

<sup>37</sup> V seznamu virov: H. Sinzenich, *How does Selective Catalytic Reduction work?* MTU solutions. Pridobljeno 18. 2. 2024 z naslova: <https://www.mtu-solutions.com/cn/zh/stories/technology/research-development/how-does-selective-catalytic-reduction-work.html> Navedena letnica 2014 je vezana na datum zadnje spremembe

## 6 VRSTE ALTERNATIVNIH GORIV, PRIMERNIH ZA DIZELSKO MOTORJE

EU je sprejela politiko za spodbujanje uporabe alternativnih goriv kot odgovor na večplastne izzive, ki so se v zadnjih dveh desetletjih zaostri na okoljskem, gospodarskem in geopolitičnem področju. Podnebne spremembe, okoljski pritisk, energetska odvisnost in geopolitična negotovost, zeleni dogovor EU (European Green Deal), tehnološki razvoj in industrijska konkurenčnost so zahtevale strategijo razogljičenja EU, ki korenito vpliva predvsem na uporabo fosilnih goriv v prometu.

Ključni razlogi za sprejetje strategije razogljičenja EU:

### Zmanjšanje emisij toplogrednih plinov

- Promet v EU povzroča skoraj 25 % vseh emisij toplogrednih plinov (TGP), od tega največ cestni promet.
- Dizelski motorji, čeprav učinkoviti, proizvajajo visoke emisije dušikovih oksidov (NO<sub>x</sub>) in trdnih delcev (PM), ki močno vplivajo na kakovost zraka in zdravje ljudi (npr. boleznih dihal, rak).
- Alternativna goriva (npr. HVO, biodizel, vodik) omogočajo drastično zmanjšanje izpustov CO<sub>2</sub> in drugih onesnaževalcev.
- EU je zavezana Pariškemu sporazumu (2015) s ciljem omejitve globalnega segrevanja pod 2 °C.

Za izvajanje ukrepov za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov se je pojavila potreba po prehodu na goriva z nižjim ogljičnim odtisom in manj škodljivimi emisijami.

### Energetska neodvisnost Evrope

- EU je dolgo časa močno odvisna od uvoza nafte in plina (predvsem iz Rusije, Bližnjega vzhoda, Severne Afrike).
- Geopolitični konflikti (npr. vojna v Ukrajini) so pokazali, kako ranljiva je oskrba z energijo.
- Spodbujanje proizvodnje alternativnih goriv iz lokalnih obnovljivih virov (npr. biogoriva iz odpadkov, reciklirana olja, usedline iz čistilnih naprav, odpadna lesna biomasa) krepi energetska suverenost držav, saj zmanjšuje odvisnost od zunanjih dobaviteljev. Hkrati vključevanje teh goriv podpira krožno gospodarstvo in zeleni prehod.

### Zeleni dogovor EU (European green deal)

- Leta 2019 predstavljeni Zeleni dogovor določa cilj: Evropa naj postane podnebno nevtralna do leta 2050.
- Promet je identificiran kot en od sektorjev, kjer je nujna transformacija (ukrepi: povečanje deleža obnovljivih goriv, razogljičenje prometa, razvoj infrastrukture za alternativna goriva).

### **Tehnološki razvoj in konkurenčnost**

- EU želi z razvojem trga za alternativna goriva ostati konkurenčna ZDA, Kitajski in drugim v sektorju t. i. čistih tehnologij (kemije, energetike, mehanike in IT.)
- Za konkurenčnost skrbi s spodbujanjem inovacij in zagotavljanjem novih delovnih mest v t. i. zeleni industriji

### **Zahteve po enotni in infrastrukturi**

- Ker so različne države članice uvajale alternativna goriva neenotno, je EU želela zagotoviti: enoten trg goriv, skupne standarde (npr. za polnilnice, dizelske nadomestke) in infrastrukturo, ki omogoča čezmejno uporabo alternativnih goriv.
- Za ureditev tega področja so sprejeli direktivo AFID (2014) in nato še uredbo AFIR (2023), ki določata poenotene infrastrukturne cilje in tehnične standarde. Promet v EU povzroča skoraj četrtino vseh emisij toplogrednih plinov (TGP). Cilj je zmanjšati njegov vpliv na podnebje in spodbujanje uporabe obnovljivih in nizkoogljičnih goriv. Med te vrste spadajo goriva ali viri energije, ki se uporabljajo za zamenjavo fosilnih goriv v prometu, kar pomaga pri razogljičenju sektorja. Alternativna pogonska goriva so praviloma proizvedena iz drugih surovin ali po spremenjenih proizvodnih postopkih. Med najbolj znana alternativna goriva danes štejemo biogoriva 1. in 2. generacije, sintetična goriva, emulgirana goriva, napredna biogoriva in nekatere dodatke, izboljšane dizle, zemeljski plin, bioplín in vodik, pa tudi električno energijo.

V nalogi se osredotočamo samo na alternativna goriva, ki so primerna za dizelske motorje, se v praksi že uporabljajo ali pa so že v razvoju. Predstavljeni so njihove tehnične lastnosti, prednosti in izzivi.

Vrste alternativnih goriv, ki so primerne za uporabo v dizelskih motorjih:

## **6.1 Biogoriva 1. generacije – Biodizel**

Biodizel (FAME - Fatty Acid Methyl Esters) je obnovljivo gorivo, proizvedeno s kemično predelavo rastlinskih olj (npr. repično, sojino), živalskih maščob ali odpadnega jedilnega olja. Proces, kjer se maščobe pretvorijo v metilne ester, se imenuje transesterifikacija.

Lastnosti:

- združljiv z dizelskimi motorji do B20 (EN 590 dovoljuje največ B7);
- v čisti obliki (B100) zahteva prilagoditve motorja (zlasti pri nizkih temperaturah);
- je biorazgradljiv in ne vsebuje žvepla.

Prednosti:

- običajno se uporablja v mešanicah z običajnim dizlom (npr. B7 - 7 % biodizla);

- zmanjšuje emisije CO<sub>2</sub> do 86 %, odvisno od uporabljenega surovinskega materiala;
- nižja emisija PM (trdnih delcev) in CO;
- je biorazgradljiv in ima dobre mazalne lastnosti;
- spodbuja lokalno kmetijstvo in recikliranje odpadnih olj.

Slabosti:

- čista uporaba (B100) lahko povzroči težave pri nizkih temperaturah (zgoščevanje) in zahteva prilagoditve motorja;
- lahko vpliva na gumijaste dele v starejših motorjih;
- lahko povzroča korozijo in zamašitve filtrov v starejših motorjih;
- proizvodnja iz poljščin lahko povzroči konkurenco s prehransko verigo.

## 6.2 Biogoriva 2. generacije - Obnovljivi dizel (HVO)

HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) je parafinsko gorivo, pridobljeno s hidrogenacijo rastlinskih olj ali odpadnih maščob. Kemična struktura je podobna fosilnemu dizlu, vendar je brez aromатов, žvepla in kisika.

Lastnosti:

- lahko se uporablja v 100-odstotni obliki (HVO100);
- popolnoma združljiv z obstoječimi dizelskimi motorji, brez sprememb ("drop-in" gorivo<sup>38</sup>);
- odlična stabilnost, tudi pri nizkih temperaturah do – 40 °C.

Prednosti:

- popolnoma združljiv z obstoječimi dizelskimi motorji, brez potrebe po prilagoditvah (nastavitev ECU ali gorivnega sistema);
- gorivo je združljivo z obstoječo infrastrukturo (rezervoarji, črpalke, filtri itd.);
- zmanjšuje emisije CO<sub>2</sub> do 90 %, nižja emisija NO<sub>x</sub> in PM;
- odlična stabilnost in delovanje pri nizkih temperaturah (do – 40 °C);
- daljši rok trajanja in manjša nagnjenost k degradaciji v primerjavi z biodizlom;
- ni težav s skladiščenjem ali z mešanjem z dizlom.

Slabosti:

- višji proizvodni stroški;
- omejena razpoložljivost surovin, kot so odpadna olja;
- zaenkrat je slabo zastopan na črpalkah.

\*

---

<sup>38</sup> Drop-in gorivo je gorivo, ki ga lahko neposredno uporabljamo v obstoječih motorjih in sistemih za gorivo, brez potrebe po kakršnih koli spremembah ali prilagoditvah na vozilu.

### 6.3 Emulgirana goriva (npr. Aquafuel, emulzije voda-dizel)

To so mešanice vode in dizelskega goriva, kjer je voda emulgirana z dodatki. Voda deluje kot hladilno sredstvo v zgorevalni komori in zmanjšuje temperaturo zgorevanja.

Lastnosti:

- mešanice do 15 % vode;
- uporaba zahteva sisteme za stabilizacijo emulzije.

Prednosti:

- zmanjšanje emisij NO<sub>x</sub> in trdnih delcev;
- uporabno v določenih industrijskih in stacionarnih motorjih z minimalnimi prilagoditvami.

Slabosti:

- ni standardizirano za široko uporabo;
- manjša energetska gostota → višja poraba goriva;
- potrebna je stabilizacija mešanice za preprečevanje ločevanja;
- potrebna je dodatna oprema za mešanje in shranjevanje.

### 6.4 Dodatki in izboljšani dizel (Gdiesel)

Izboljšani fosilni dizli z dodanimi plini ali dodatki: pri G-dizlu gre za mešanico ultranizkožveplovega dizla in zemeljskega plina, obdelano s patentirano katalitično tehnologijo (katalizatorji).

Lastnosti:

- lahko se uporablja v vseh dizelskih motorjih brez prilagoditev;
- ima nekoliko boljše izgorevanje in čistejšo emisije.

Prednosti:

- nižji izpusti CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> in PM;
- boljši izkoristek goriva in manjša obraba motorja.

Slabosti:

- ni široko dostopen v EU;
- tehnologija in distribucija še nista razširjeni.

### 6.5 Napredna biogoriva (HTL bio olja)

HVTL kratica izhaja iz hydrothermal Liquefaction in pomeni postopek pridobivanja goriva iz biomase. Takšna goriva soproizvedena iz neprehrambenih surovin, kot so:

- alge (visok donos olja),
- kmetijski odpadki,
- gozdna biomasa,
- komunalni odpadki.

Lastnosti:

- lahko se predelajo v sintetična goriva,
- tehnologija v razvoju ali zgodnji komercialni fazi.

Prednosti:

- zelo nizek ogljični odtis;
- ne vplivajo na prehransko verigo;
- podpirajo krožno gospodarstvo;
- zmanjšujejo odvisnost od prehrambnih virov;
- potencialno visoka donosnost in trajnost.

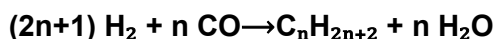
Slabosti:

- visoki stroški proizvodnje;
- tehnološke in regulativne ovire;
- tehnologija je še v razvoju in ni komercialno dostopna.

## 6.6 Sintetična goriva (XTL)

Sintetična goriva so tekoča ogljikovodična goriva, proizvedena s kemijsko sintezo iz različnih virov ogljika in vodika, npr. iz CO<sub>2</sub>, zemeljskega plina ali premoga. Glavni postopek njihove izdelave je Fischer-Tropsch sinteza. To je kemijska reakcija, pri kateri se sintezni plin (mešanica ogljikovega monoksida (CO) in vodika (H<sub>2</sub>)) pretvori v tekoče ogljikovodike - goriva, ki so po sestavi podobna dizlu ali kerozinu. Reakcija poteka pri temperaturi: 150 - 300 °C, tlaku: 10 - 40 bar ter v prisotnosti katalizatorjev (železo ali kobalt).

Osnovna kemijska reakcija:



To pomeni: iz vodika in ogljikovega monoksida dobimo dizlu podobno parafinsko gorivo brez žvepla in aromатов: (parafinske ogljikovodike) + vodo.

**XTL** je splošna oznaka za goriva, ki so sintetično proizvedena. Kratica XTL pomeni "X-To-Liquid", kjer **X** predstavlja surovino:

- B - Biomass-to-Liquid (BtL) - biomasa; les ostanki
- G - Gas-to-Liquid (GtL) – zemeljski plin
- C - Coal-to-Liquid (CtL) – premog
- P - power to Liquid (PtL) – CO<sub>2</sub> + voda + el. energija
- H - Hydrothermal Liquefaction – mokra biomasa (alge itd.)

Prednosti:

- združljivost z dizelskimi motorji (popoln »drop-in«, brez sprememb);

- nizke emisije žvepla, trdih delcev in NO<sub>x</sub>;
- možnost ogljične nevtralnosti pri PtL (če CO<sub>2</sub> iz zraka in zelena energija);
- zelo čista sestava - podaljšuje življenjsko dobo motorja;
- dolga obstojnost in visoka stabilnost v skladišču.

Slabosti:

- zelo visoki proizvodni stroški (zlasti PtL);
- nizka učinkovitost (veliko energije za proizvodnjo, zlasti pri PtL);
- trenutno zelo omejena industrijska proizvodnja;
- GtL in CtL sta pogosto iz fosilnih virov - netrajnostna;
- CtL ima zelo visoke emisije CO<sub>2</sub>, če ni zajema ogljika (CCS).

Za obstoječe dizelske motorje je HVO najboljša možnost zaradi popolne združljivosti in visokega zmanjšanja emisij. Je pa HVO še vedno drag in težko dostopen. Biodizel je cenovno ugodnejša alternativa, vendar zahteva previdnost pri uporabi, ker ima težave z obstojnostjo in uporabo pri nizkih temperaturah. Emulgirana goriva in GDiesel ponujajo dodatne možnosti, vendar tudi z določenimi omejitvami. Napredna biogoriva predstavljajo obetavno prihodnost, vendar trenutno niso široko dostopna. Prav tako tudi z vidika okoljskega vpliva še vedno ni jasno, ali celoten življenjski cikel teh goriv resnično prinaša manj emisij, če upoštevamo kmetijske pridelke, porabo zemlje ali energijo pri sami proizvodnji.

## 6.7 Praksa in izzivi pri uvajanju alternativnih goriv

Spodaj sem izbral nekaj največjih proizvajalcev in povzel njihova prizadevanja in izzive na področju uvajanja alternativnih goriv.

### 6.7.1 BMW AG

V nemškem podjetju BMW AG so znani po zmogljivih in učinkovitih dizelskih vrstnih 4- in 6-valjnih motorjih. Tehnološki napredek je za podjetje bistvenega pomena. Poleg širokega nabora pogonskih tehnologij je njihov cilj zmanjšanje emisij CO<sub>2</sub> na vseh področjih. Potencial za zmanjšanje CO<sub>2</sub> pa vidijo predvsem pri gorivih, ki niso pridobljena iz fosilnih virov.

#### HVO

V Nemčiji, kjer BMW AG testira HVO že od 2022, je prodaja goriva HVO-100 uradno dovoljena za prodajo na javnih črpalkah od maja 2024 (v mnogih drugih državah, tudi v Sloveniji, je HVO zaenkrat še težko dostopen oz. sploh ni na voljo v komercialne namene).

Od januarja 2025 v podjetju BMW AG vse dizelske modele avtomobilov, proizvedene v tovarnah (München, Dingolfing, Regensburg, Leipzig), pred dostavo trgovcem napolnijo s čistim HVO-100 gorivom (Neste MY Renewable Diesel™). HVO-100 pa kupcem priporočajo tudi pri nadaljnji vožnji, saj lahko v primerjavi s konvencionalnim

dizelskim gorivom emisije CO<sub>2</sub> zmanjša tudi do 90 %. Pri uresničevanju tega cilja BMW Group sodeluje s finskim podjetjem Neste, ki jim zagotavlja certificirano oskrbo s HVO. BMW-jevi dizelski motorji izbranih modelov so za HVO 100 homologirani po evropskem standardu EN 15940.

HVO je sicer čistejše in stabilnejše od biodizla, vendar ima nižjo mazavost kot fosilni dizel. To lahko povzroči obrabo določenih komponent v starejših dizelskih motorjih (npr. visokotlačne črpalke), če ti niso zasnovani za HVO. BMW AG je zato omejil HVO na motorje, homologirane od leta 2015 dalje. Uporabniki BMW-jevih vozil so opazili tudi rahlo višjo porabo goriva (~0.3–0.5 l/100 km več pri isti vožnji). Opažajo tudi zmedo pri točenju goriva, ker uporabniki ne prepoznajo razlike med HVO in biodizlom B100, ki pa za motor ni primeren. Gorivo je združljivo z obstoječimi sistemi, implementacija pa omogoča takojšnjo dekarbonizacijo obstoječih vozil – kar elektrika še ne omogoča v celoti.

BMW AG izvaja tudi pilotni logistični projekt (za testiranje goriva) v tovornih vozilih zunanjega izvajalca, ki skrbi za notranjo logistiko prevoza BMW-jevih vozil. Kljub vsemu pa ostaja izziv, da so dizelska vozila še vedno tarča okoljskih ukrepov (omejitev v mestih, slab ugled), kljub temu da HVO zmanjšuje emisije CO<sub>2</sub> do 90 %, zato mora BMW nenehno usklajevati trajnostne pobude z dolgoročno strategijo elektrifikacije.

### **Biodizel (FAME)**

Večina evropskih dizelskih vozil tolerira biodizel do 7 % glede na standard EN 590, BMW AG podpira do B7\*. Mešanice z višjo koncentracijo v EU niso uradno podprte. \*Ta oznaka označuje delež biodizla (FAME) v mešanici z običajnim (fosilnim) dizlom. Številka za črko B predstavlja odstotek biodizla, v tem primeru 7 % biodizla + 93 % dizla

## **6.7.2 VOLKSWAGEN GROUP (VW, AUDI, ŠKODA, SEAT ...)**

### **HVO**

Od konca junija 2021 (CW 25/21) so VW (4-valjni TDI-motorji) odobreni za uporabo 100 % parafinskega goriva (vključno z HVO) brez sprememb v motorju ali sistemu. Po njihovih podatkih naj bi bil odstotek CO<sub>2</sub> za 70–95 % nižji v primerjavi s klasičnim dizlom (*well-to-wheel*).

**Audi (V6 TDI):** Od sredine februarja 2022 so proizvedeni V6 dizli do 210 kW usklajeni za HVO100 (EN 15940).

**Škoda Auto (del VW Group):** Kot prva znamka v skupini je Škoda avgusta–decembra 2024 naredila začetno polnjenje s HVO za notranjo logistiko (viličarji, priklopniki in drugi) in od aprila 2025 za vse modele od 2022 naprej. Podatek potrjuje tudi XTL-oznake na pokrovih za gorivo.

### **Biodizel (FAME)**

VW Group sledi standardu EN 590 – mešanice do B7 so dovoljene, višje niso uradno dovoljene.

### **6.7.3 RENAULT (VKLJUČNO Z NISSAN, DACIA, PSA)**

Renault sicer javno pretirano ne izpostavlja HVO kot glavno okoljsko pobudo (v nasprotju z BMW in VW), vendar njihovi Euro 5 in Euro 6 dizelski motorji tehnično podpirajo HVO brez sprememb motorja.

### **HVO**

Renault je pri osebnih vozilih (tudi Dacia/ Nissan variante) odobril uporabo HVO<sup>2</sup>. Prav tako je HVO odobren za Renault Trucks (tovornjaki).

### **Biodizel (FAME)**

Renaultovi dizli so homologirani po EN 590, kar pomeni podporo do B7, višje niso uradno dovoljene.

### **6.7.4 MERCEDES-BENZ (DAIMLER)**

**Mercedes-Benz Trucks** (težka vozila) so že od februarja 2016 odobrili uporabo HVO za motorne serije OM 470, OM 471, OM 934 in OM 936 (Euro VI) – brez potrebe po prilagoditvah motorja.

### **Biodizel (FAME)**

Mercedes-Benz za modela Vito in Citan dovoljuje B10, torej mešanico do 10 % FAME, kar je izjema med proizvajalci.

Pri osebnih avtomobilih ostajajo pri B5–B7, višje koncentracije so v nekaterih regijah podprte, v drugih ne.

### **6.7.5 VOLVO**

### **HVO**

Volvo dovoljuje uporabo HVO (tudi imenovanega XTL) v več modelih: XC90, XC60, XC40 in sorodni modeli, če imajo štirivaljne dizelske motorje platform SPA/CMA iz let od 2015 naprej – brez potrebe po spremembah v motorju ali gorivnem sistemu.

### **Biodizel (FAME)**

Volvo dovoljuje samo mešanice z največ 7 % biodizla B7. Višje mešanice (npr. B10, B20 ...) in čisti biodizel niso dovoljeni in lahko vodijo do motornih težav ter razveljavitve garancije.

Za primer sem vzel še enega azijskega proizvajalca, in sicer Toyoto, ki je med največjimi in najbolj vplivnimi proizvajalci dizelskih vozil.

#### **6.7.6 TOYOTA (Hilux, Land Cruiser, Proace)**

##### **HVO**

Toyota je od prvega četrtletja 2023 certificirala svoje dizelske modele Land Cruiser in Hilux (zahodnoevropska proizvodnja) za uporabo 100 % HVO.

Kot glavne prednosti uporabe HVO navajajo: Nižje emisije toplogrednih plinov, do 90 % manj "well-to-wheel"<sup>39</sup>, višja cetanska vrednost pomeni boljše izgorevanje in lažji hladen zagon, manj mikrobne kontaminacije, ker je HVO kemično zelo čist (brez aromатов).

V Veliki Britaniji Toyota Material Handling že uporablja HVO 100 brez prilagoditev (v vozilih notranje logistike), poročajo o do 90 % zmanjšanju emisij CO<sub>2</sub>.

Toyotino partnersko podjetje CEVA Logistics uporablja HVO 100 v tovornjakih, s katerimi oskrbujejo Toyota Motor Europe – poročajo o zmanjšanju CO<sub>2</sub> za ~1.200 t na leto.

##### **Biodizel (FAME)**

Toyota, podobno kot drugi proizvajalci, homologira do B7 v skladu z EN 590; ne podpira B10 ali več. Čisti biodizel ali mešanice z več FAME niso uradno podprte, ker lahko povzročijo mehanske težave, obrabo in razveljavitev garancije.

Če povzamem ugotovitve večine proizvajalcev dizelskih motorjev, ki uvajajo uporabo alternativnih goriv, prevladuje uporaba HVO in biodizla. Z uradnimi homologacijami za uporabo HVO med proizvajalci prednjačita BMW in VW.

---

<sup>39</sup>"Well-to-wheel" – izraz se uporablja za celostno oceno emisij in porabo energije v življenjskem ciklu goriva oziroma energije, ki poganja vozilo.

## 7 ZAKLJUČEK

V zadnjih desetletjih so proizvajalci dizelskih motorjev dosegli precejšen napredek in že močno zmanjšali ostale izpuste škodljivih snovi z uvajanjem tehnologij, kot so SCR (selektivna katalitična redukcija), DPF (filtri trdnih delcev) in AdBlue sistemi. Sodobni Euro 6 dizelski motorji tako že danes dosegajo zelo nizke emisijske vrednosti in visoko energijsko učinkovitost.

K prehodu v bolj trajnostno mobilnost pa predstavlja pomemben korak uporaba alternativnih goriv pri dizelskih motorjih, zlasti HVO in biodizel. Brez tega motor z notranjim zgorevanjem nima prihodnosti. Trenutno je med avtomobilskimi proizvajalci opaziti jasno usmeritev v podporo parafinskim gorivom (HVO), ki omogočajo znatno zmanjšanje emisij toplogrednih plinov brez večjih tehničnih sprememb motorjev ali vozil. HVO dosega do 90 % manj emisij CO<sub>2</sub> v življenjskem ciklu goriva, omogoča boljši zagon v hladnem vremenu, ni podvržen mikrobni kontaminaciji in ima visoko kemično stabilnost. Veliki proizvajalci, kot so BMW, VW Group, Toyota, Renault in tudi Mercedes-Benz so v zadnjih letih odobrili uporabo HVO za svoje številne modele, kar kaže na postopno normalizacijo tega goriva na evropskem trgu.

Nasprotno pa ostaja biodizel (FAME) omejen na nizke mešanice (do B7), saj višje koncentracije lahko povzročajo tehnične težave, predvsem zaradi oksidacijske nestabilnosti, večje vpojnosti vlage in vpliva na motorne komponente. Zato večina proizvajalcev ohranja zadržanost do mešanic B10 ali B20. Kljub napredku pa uvajanje alternativnih goriv spremljajo tudi izzivi: omejena dostopnost goriv HVO v mnogih državah, višja cena v primerjavi s fosilnim dizlom, potreba po boljši zakonodajni podpori, ki bi omogočila širšo uporabo, ter slaba ozaveščenost voznikov in servisne mreže glede novih goriv in njihove uporabe.

V prihodnje bo vloga goriv, kot je HVO, odigrala pomembno vlogo, predvsem v dekarbonizaciji obstoječega voznega parka, kjer elektrifikacija ni realna ali stroškovno učinkovita. S pravo kombinacijo politične podpore, širjenjem infrastrukture in dolgoročnih zavez proizvajalcev je HVO en od ključnih akterjev, ki podpira ogljično nevtralni promet.

Prav tako pa razvoj na področju alternativnih goriv hkrati pomeni tudi večjo možnost za obstoj dizelskega motorja. S prihodom trajnostne mobilnosti se je namreč za vozila z dizelskim motorjem na klasični dizel v EU začelo negotovo obdobje. EU je namreč zakonsko prepovedala prodajo novih vozil na fosilni dizel od leta 2035. Velik del avtomobilske industrije se temu že prilagaja. Trendi pa kažejo tudi na velik upad prodaje novih vozil z dizelskim motorjem. Za obstoječa vozila se pričakuje, da bodo v uporabi vsaj še do leta 2040. S tako agresivno politiko EU so napovedi, da bodo dizelski motorji v EU postopoma popolnoma izginili iz segmenta osebnih avtomobilov v slabih dvajsetih letih. Tudi drugod po svetu sledijo trendom zmanjševanja emisij CO<sub>2</sub>, vendar ni nikjer podobnih zakonskih prepovedi kot v EU.

Sam se pridružujem mnenju nekaterih strokovnjakov, ki menijo, da bi bilo bolj smiselno optimizirati obstoječe tehnologije dizelskih motorjev, izboljšati goriva in

postopoma uvajati alternativne rešitve tam, kjer so dejansko smiselne – npr. v mestnem prometu ali javnem prevozu. Enostranski in prehiter pritisk k zamenjavi vozil z alternativami brez ustrezne podpore in prehoda lahko vodi v gospodarsko neučinkovitost, logistične težave in celo večje okoljske obremenitve v določenih fazah prehoda. Zato dopuščam možnost, da bodo kljub trenutni zakonski prepovedi, ki velja od leta 2035, v EU našli rešitev za obstoj klasičnega dizelskega motorja z uporabo alternativnih goriv in možnostjo manjših prilagoditev.

## 8 LITERATURA IN VIRI

ACEA (2024). *New EU car sales by power source*. Pridobljeno 14. 2. 2025 z naslova: <https://www.acea.auto/figure/fuel-types-of-new-passenger-cars-in-eu/>

ACEA (2024). *New commercial vehicle registrations: vans +8.3%, trucks -6.3%, buses +9.2% in 2024*. Pridobljeno 14. 2. 2025 z naslova: <https://www.acea.auto/cv-registrations/new-commercial-vehicle-registrations-vans-8-3-trucks-6-3-buses-9-2-in-2024/>

ACL. *An electrifying 2023, to be reinforced in 2024* (12. 3. 2024) Pridobljeno 18. 2. 2024 z naslova <https://www.acl.lu/en/magazine/news/an-electrifying-2023-to-be-reinforced-in-2024/>

ADAC. *Kraftstoffe der Zukunft im Test: Sind E-Fuels wirklich umweltfreundlich?* (21. 8. 2023) Pridobljeno 18. 2. 2024 z naslova: <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/e-fuels-test/>

Ainge Roy N. (12. 1. 2024). *Premium vs Regular Unleaded: Understanding the Difference*. Pridobljeno 2. 3. 2025 z naslova: <https://www.onlycars.com.au/news/premium-vs-regular-unleaded>

AMZS d. o. o. *AMZS test sintetičnih goriv*. Motorevija (19. 4. 2023). Pridobljeno 18. 2. 2024 z naslova: <https://www.amzs.si/motorevija/test/ostalo/2023-04-19-amzs-test-sinteticnih-goriv>

AUDI AG (2022), *Sustainable fuel, lower emissions: Audi approves many of its V6 diesel engines for use with renewable fuel*. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova: <https://www.audi-mediacycenter.com/en/press-releases/sustainable-fuel-lower-emissions-audi-approves-many-of-its-v6-diesel-engines-for-use-with-renewable-fuel-14509>

Avtomehanika Arčon. *Sistem črpalka-šoba*. Pridobljeno 7. 3. 2025 z naslova: <https://www.antigrip.eu/bosch-diesel-servis/crpalka-soba/>

Azad A.K. (20123). *A landscape review on biodiesel combustion strategies to reduce emission* Sciencedirect. Pridobljeno 14. 2. 2025 z naslova: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723003426>

BF Engine Parts L.C. *High-pressure / low-pressure exhaust gas recirculation What is the difference?* Pridobljeno 23. 3. 2025 z naslova: <https://www.ms-motorservice.com/trbfep/en/technipedia/high-pressure-low-pressure-exhaust-gas-recirculation>

Bleijenberg A., Egenhofer C., Behrens A., Rizos V. *Pathways to low carbon transport in the EU- from possibility to reality* (2013). Report of the ceps task force on transport and climate change. ResearchGate GmbH. Pridobljeno 3. 3. 2025 z naslova: [https://www.researchgate.net/publication/283122032\\_Pathways\\_to\\_Low\\_Carbon\\_Transport\\_in\\_the\\_EU\\_-\\_From\\_Possibility\\_to\\_Reality](https://www.researchgate.net/publication/283122032_Pathways_to_Low_Carbon_Transport_in_the_EU_-_From_Possibility_to_Reality)

BMW Group (2024), *BMW Group diesel from the factory with HVO 100 — CO2 savings straight off the production line*. Pridobljeno 21. 3. 2025 z naslova: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0446872EN/bmw-group-diesel-from-the-factory-with-hvo-100-%E2%80%94-co2-savings-straight-off-the-production-line>

BMW: *First refuelling of new diesel cars with HVO100*. New York: motor1.com. Pridobljeno 21. 3. 2025 z naslova <https://www.motor1.com/news/744443/bmw-first-refuelling-hvo100/>

Brainkart.com. *Common Rail Diesel Fuel Systems*. Pridobljeno 7. 3. 2025 z naslova: [https://www.brainkart.com/article/Common-Rail-Diesel-Fuel-Systems\\_6330/](https://www.brainkart.com/article/Common-Rail-Diesel-Fuel-Systems_6330/)

Bosch-mobility. *Servotwin electro-hydraulic steering system*. Pridobljeno 5. 3. 2025 z naslova: <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/steering/servotwin/>

CEVA Logistics (2023), *CEVA Logistics switches 14 trucks in France to HVO biofuel*. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova: <https://www.cevalogistics.com/en/news-and-media/newsroom/ceva-logistics-switches-fourteen-trucks-in-france-to-hvo-biofuel>

Diesel injection pumps. *Diesel injectors – Operation and failure*. Pridobljeno 3. 3. 2025 z naslova: <https://injectionpumps.co.uk/diesel-injectors-operation-and-failure/>

DPF Sales Australia. (2019) *What causes DPF failure?* Pridobljeno 23. 3. 2025 z naslova: <https://www.dpfaustralia.com.au/what-causes-dpf-failure/>

DPF structure. Andrychów. Otomatic Smolec. Pridobljeno 15. 1. 2025 z naslova: <https://www.otomatic.co.uk/dpf-structure/>

Forum duramaxdiesels.com (2018). Pridobljeno 6. 3. 2025 z naslova:  
<https://www.duramaxdiesels.com/forum/threads/cp4-fca-screen-from-exergy.76203/page-3>

Enginebuilder (2015). *Five Fuel Events That Happen in Common Rail Direct Injection*. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova:  
<https://www.enginebuildermag.com/2015/10/five-fuel-events-that-happen-in-common-rail-direct-injection/>

European Commission. *Alternative fuels*. Pridobljeno 23. 5. 2025 z naslova:  
[https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/alternative-fuels-sustainable-mobility-europe\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/alternative-fuels-sustainable-mobility-europe_en)

European Commission. *Alternative fuels*. Pridobljeno 23. 5. 2025 z naslova:  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021SC0049>

Explainthatstuff. (2025). *Diesel engines*. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova:  
<https://www.explainthatstuff.com/diesel-engines.html>

Fischer R. et.al. (2022) *Motorno vozilo*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, d. d. (maj/junij 2018).

GaragePro Blog. (2024). *Symptoms of Clogged DPF | Signs, Causes, Diagnosis, Fix, Precautions*. Pridobljeno 23. 4. 2025 z naslova:  
<https://blog.garagepro.in/clogged-dpf/>

Garrett Motion Inc. *The Turbocharger Oil and Gas Sealing System*. Rolle. Pridobljeno 15. 1. 2025 z naslova: <https://www.garrettmotion.com/knowledge-center-category/turbo-replacement/the-turbocharger-oil-and-gas-sealing-system/>

Gscheidle, R. (2007). *Motorno vozilo*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, d. d.

*How Does DEF Fluid Work in Diesel Engines and Why Do You Need It*. Texas. Fuellogic. Pridobljeno 3. 1. 2025 z naslova: <https://www.fuellogic.net/how-does-def-fluid-work>

Hillier, V.A.W. (1994). *Delovanje motornega vozila*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, d. d.

*HVO (Hydrotreated Vegetable Oil)*, Maes. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova: <https://www.maesmobility.be/en/discover-our-offer/other-fuels-at-maes/hvo/>  
Jalal F., Mojtaba S. (2015): *Application of Artificial Neural Network in Prediction of Fluid Properties of CO<sub>2</sub>-Decane System*. ResearchGate GmbH. Pridobljeno 3. 3. 2025 z naslova: [https://www.researchgate.net/figure/Density-of-decane-CO-2-mixture-as-a-function-of-pressure-at-constant-mole-fraction-of\\_fig5\\_292608572](https://www.researchgate.net/figure/Density-of-decane-CO-2-mixture-as-a-function-of-pressure-at-constant-mole-fraction-of_fig5_292608572)

*Kakšna je prihodnost dizelskega motorja*. Revija Mehanik in voznik (št. 141). Pridobljeno 6.1.2024 z naslova: <https://revijamehanik.si/kaksna-je-prihodnost-dizelskega-motorja/>

Lep Van der Meer (2016): *OM470 and OM471 approved for alternative fuels* (5. 7. 2016). Iepieleaks. Pridobljeno 25. 1. 2026 z naslova: <https://iepieleaks.nl/om470-and-om471-approved-for-alternative-fuels>

Lukič U., Osojnik V., Jovan I., (2024). *Termodinamični krožni procesi v toplotnih pogonskih strojih* (Elektronske prosojnice za energetiko). Velenje: Šolski center Velenje, Poklicna in tehniška strojna šola

Majewski W. A. (2024). *What Are Engine Emissions*. Pridobljeno 14. 2. 2025 z naslova: <https://dieselnet.com/tech/emissions.php>

Maluck I. (2023). *Sustainable fuels: E-Diesel and HVO make MTU engines (almost) climate-neutral*. A Rolls-Royce solution. Pridobljeno 18. 2. 2024 z naslova: <https://www.mtu-solutions.com/au/en/stories/company/hvo-makes-mtu-engines-almost-climate-neutral.html>

McGlothlin M. (2021) Diesel world. *CP4.2 High-pressure Fuel Pump*. Pridobljeno 5.3. 2025 z naslova: <https://www.dieselworldmag.com/diesel-technology/cp4-2-fuel-pump/>

*Neste supplies renewable diesel to BMW for initial fueling of the company's newly produced vehicles in Germany* by Biodiesel magazine (13.12.2024). BBI International. Pridobljeno 20. 3. 2025 z naslova: <https://biodieselmagazine.com/articles/neste-supplies-renewable-diesel-to-bmw-for-initial-fueling-of-the-companys-newly-produced-vehicles-in-germany>

Nett Technologies Inc. *What Is a Diesel Oxidation Catalyst?* Pridobljeno 23. 3. 2025 z naslova: <https://www.nettinc.com/information/emissions-faq/what-is-a-diesel-oxidation-catalyst>

Noregon. *A Technician's Guide to DPF Regens (And When to Avoid Forced Regens)*. Pridobljeno 22. 4. 2025 z naslova: <https://www.noregon.com/dpf-regens/>

NOVAK, IZPUŠNI SISTEMI, d. o. o. (b.i.) *Storitve čiščenja filtrov DPF / KAT* podjetja NOVAK, IZPUŠNI SISTEMI, d. o. o. Pridobljeno 15. 1. 2025 z naslova: <http://www.auspuh-novak.com/storitve/ciscenje-dpf-kat>

Ojagh (2013). *Configuration of an after-treatment system (DOC-CDPF) with secondary fuel injection*. ResearchGate GmbH. Pridobljeno 22. 3. 2025: [https://www.researchgate.net/figure/Configuration-of-an-after-treatment-system-DOC-CDPF-with-secondary-fuel-injection\\_fig2\\_320302355](https://www.researchgate.net/figure/Configuration-of-an-after-treatment-system-DOC-CDPF-with-secondary-fuel-injection_fig2_320302355)

Pingxiang Bestn Chemical Packing Co., Ltd. (2024) *The application of DOC, DP, SCR, ASC, POC, EGR*. Pridobljeno 5. 3. 2025 z naslova: <https://www.bestnpacking.com/news/the-application-of-docdpfscrascpocegr/>

Poraba in emisije BMW efficient dynamics. *Merilni postopki za porabo goriva in CO2 emisij*. Pridobljeno 18. 2. 2024 z naslova: <https://www.bmw.si/sl/topics/fascination-bmw/efficient-dynamics/poraba-emisije.html>

Prebil G. (26. 8. 2016). *Zaradi nevdzrzanega DPF filtra tudi več tisoč evrov škode*. Žurnal24.si. Pridobljeno 24. 3. 2024 z naslova: <https://cms.zurnal24.si/avto/zaradi-nevdzrzanega-dpf-filtra-tudi-vec-tisoc-evrov-skode-276539>

Rafal S., Kolek K., Konior W. (2022). *Methodology of diesel particulate filter testing on test bed for non-road engine application*. Combustion Engines. Pridobljeno 18. 1. 2025 z naslova: <https://www.combustion-engines.eu/pdf-142168-76936?filename=Methodology%20of%20diesel.pdf>

ResearchGate GmbH. (2015). *Oxidation of PM by oxygen and nitrogen dioxide* [13] Pridobljeno 3. 3. 2025 z naslova: [https://www.researchgate.net/figure/Oxidation-of-PM-by-oxygen-and-nitrogen-dioxide-13\\_fig1\\_357202771](https://www.researchgate.net/figure/Oxidation-of-PM-by-oxygen-and-nitrogen-dioxide-13_fig1_357202771)

R. Stirnimann, D. Engelmann, *Development of tractor engines in the past twenty years*. Pridobljeno 3. 3. 2025 z naslova: [https://www.researchgate.net/publication/320771474\\_Development\\_of\\_tractor\\_engines\\_in\\_the\\_past\\_twenty\\_years](https://www.researchgate.net/publication/320771474_Development_of_tractor_engines_in_the_past_twenty_years).

Sheikh M, Wang P. (2021). *Post-injection strategies for performance improvement and emissions reduction in DI diesel engines—A review*. Sciencedirect. Pridobljeno 14. 2. 2025 z naslova: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378382021004288>

SHETH M. (2022). *Predictive model for continuous optimization of DPF service interval based on economic trade-off*. Stockholm.KTH Royal institute of technology. Pridobljeno 14. 2. 2025 z naslova: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1707916/FULLTEXT01.pdf>

H. Sinzenich (2014), *How does Selective Catalytic Reduction work?* MTU solutions, A Rolls-Royce solution. Pridobljeno 18. 2. 2024 z naslova: <https://www.mtu-solutions.com/cn/zh/stories/technology/research-development/how-does-selective-catalytic-reduction-work.html>

SpringerOpen. (2023). *Thermal management strategy for active regeneration of diesel particulate filter*. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova: <https://jeas.springeropen.com/articles/10.1186/s44147-023-00264-y>

Sun H. (2022). *Study on Characteristics and Control Strategy of Diesel Particulate Filters Based on Engine Bench*. MDPI. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova: <https://www.mdpi.com/2227-9717/10/7/1246>

Škoda Auto a. s. (2025), *Škoda Auto uses sustainable HVO fuel in newly produced diesel models and its logistics fleet*. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova: <https://www.skoda-storyboard.com/en/press-releases/skoda-auto-uses-sustainable-hvo-fuel-in-newly-produced-diesel-models-and-its-logistics-fleet>

Taizhou Yibai Auto Parts Industry Co., Ltd (2022). *Pros and Cons for EGR Delete or Blocking*. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova: <https://www.ebuyindustry.com/news/pros-and-cons-for-egr-delete-or-blocking/>

The Engineer. *Renault solves unwanted engine noise and vibration using Maple*. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova: <https://www.theengineer.co.uk/content/product/renault-solves-unwanted-engine-noise-and-vibration-using-maple/>

Toyota (2023), *Reducing emissions with HVO100 fuel*. Pridobljeno 21. 4. 2025 z naslova: <https://www.toyota-europe.com/news/2023/reducing-emissions-with-hvo100-fuel>

Valvoline Global Operations (b.l). *What Is Adblue® and Why Does It Matter?* Pridobljeno 18. 2. 2024 z naslova: <https://www.valvolineglobal.com/en-eur/what-is-adblue/>

Volkswagen. (2025). *ETKA, katalog za iskanje rezervnih delov* (offline)

Volkswagen AG (2021), *Significant CO<sub>2</sub> savings possible: latest-generation diesel engines approved for fuels made from residual and recycled materials*. Pridobljeno 21. 3. 2025 z naslova: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/significant-co2-savings-possible-latest-generation-diesel-engines-approved-for-fuels-made-from-residual-and-recycled-materials-7691>

York A.P.E., (2010). *Cleaner Vehicle Emissions*. Sciencedirect. Pridobljeno 14. 2. 2025 z naslova: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080431529022533>