

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Моторна возила и мотори

Предмет: Мотори СУС2

Број индекса: 64/2016

Иван М. Милутиновић

Систем за накнадну обраду издувних гасова дизел мотора

-Завршни рад-

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Александар Давинић ванр. проф. -ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Садржај завршног рада треба да обухвати следеће:

- Уводна разматрања
- Законски прописи у областима издувне емисије дизел мотора
- Карактеристичне концепције и принцип рада
- Закључак

Препоручена литература:

[1] Александар Давинић, Радивоје Пешић: Погонски системи у транспорту, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2018.

[2] Александар Давинић: Идентификација карактеристика мултипроцесног рада клипног мотора СУС, Докторска дисертација, Крагујевац 2013.

[3] Радивоје Пешић, Снежана Петковић, Стеван Веиновић: Моторна возила и мотори опрема, Машински факултет у Бањој Луци, Машински факултет у Крагујевцу, Бања лука – Крагујевац 2008.

У Крагујевцу, 29.05.2019. год

Ментор:
Др Александар Давинић ванр. проф.

Резиме

У датом раду описан је систем за накнадну обраду издувних гасова дизел мотора и основна намена, али и понашање у одређеним условима експлоатације. Приказане су основне техничко-експлоатационе карактеристике и наведени неки од најпознатијих оригиналних произвођача. Приказани су такође, подсклопови система као и њихова функција, принцип рада и описана је улога. На самом крају рада представљена су могућа решења за унапређење ових система.

Кључне речи: *дизел мотор , издувна емисија, пречишћавање издувних гасова.*

Summary

In this paper, is described the exhaust aftertreatment system of diesel engines and the basic purpose, but also and the behavior under certain operating conditions. Basic technical and exploitation characteristics are presented, as well as some of the most famous original manufacturers are listed. Also are shown main parts, of the system, their function, working principle and role. At the end, the possible solutions for system improvement are presented.

Keywords: *diesel engine, exhaust emission, exhaust gas purification.*

Садржај

1 Уводна разматрања.....	6
2 Законски прописи у области издувне емисије дизел мотора	8
2.1 Штетни утицај емисије издувних гасова.....	8
2.2 Законски прописи издувне емисије дизел мотора.....	14
3 Карактеристичне концепције и принцип рада.....	17
3.1 EGR вентил	25
4 Закључак.....	28
5 Литература	29

1 Уводна разматрања

Творац дизел мотора званично је немачки проналазач и индустријалац Рудолф Дизел. Рудолф Дизел је 1892.године успео да заштити патент мотора са унутрашњим сагоревањем који гориву смешу образује самопаљењем и зато се дизел мотор по конструкцији разликује од ото мотора зато што код ото мотора постоји уређај за паљење радне смеше [11].

У почетку, дизел мотори су употребљавани углавном за потребе индустрије, воденог саобраћаја и тешке механизације. Њихова примена у “цивилном сектору” и аутомобилској индустрији није била претерано распрострањена. 1936.године, Мерцедес представио модел “260 D”, први серијски аутомобил на свету опремљен дизел мотором. Дизел мотор је током наредних деценија небројно пута усавршаван, али за први већи помак када је аутомобилска индустрија у питању опет је заслужан Мерцедес, када је 1977.године представио први аутомобил покретан турбо дизел мотором, модел “300 SD”. Већ 1986.године, у управљање радом дизел мотора се умешала и електроника, када је BMW представио модел “524 td”. То је на неки начин означило улазак дизел мотора у нову еру, иако тог тренутка тога нико није ни био свестан. Исте године дешава се друга прекретница у развоју аутомобилских дизел мотора – Фиат опрема Сроми првим дизел мотором са убризгавањем горива директно у цилиндар. Током 1997.године, Алфа Ромео је представио модел “156” са првим дизел мотором опремљеним “CommonRail” убризгавањем под високим притиском. Данас је овај тип мотора стандард у свим класама, без обзира на цену и снагу. Увођење “комон рејла” је дизел моторе у потпуности трансформисало. Бука и вибрације су драстично редуковани, снага је повећана, док је потрошња оборена. Конструкције мотора или велике сопствене тежине. Већи мотори имају обично и већу потрошњу горива од мањих, а уколико је аутомобил тежи то је потребна и већа снага да га покрене. Што је више снаге потребно, то је већа и потрошња горива.

Мотори СУС, посебно дизел мотори, достигли су завидан ниво усавршености, како у погледу теоријске обраде њихових процеса, тако и у погледу конструкције [11]. При поставци ове чињенице не могу се занемарити све оштрији захтеви који се постављају пред моторе у вези са загађењем човекове средине. Употребом нафтних деривата издувни гасови мотора садрже, у мањој или већој мери, опасне токсичне компоненте, непријатан мирис и чађ. На нормалне услове животног амбијента утичу, такође, и вибрације и бука коју стварају мотори СУС. Жеља за чистијом и здравијом природном средином, високим животним стандардом, али и коначност класичних енергетских извора, навела је светску заједницу да прописима натера произвођаче и потрошаче на другачији и све строжи однос према животној околини. Дизел мотор се по конструкцији разликује од ото мотора, јер код њега не постоји уређај за паљење радне смеше, већ се врши самозапаљење радне смеше. То су мотори са великом снагом и као такви су у примени на аутобусима и теретним возилима, а у примени су и на путничким возилима.

Све израженији еколошки проблеми изазвани саобраћајем, припадају данас „првој врсти“ загађења у урбаним срединама. Такво, у суштини драстично нарушавање животне средине, условљено је стварним стањем саобраћајних система као последицом одређених промена. У стварном домету штетности, посебно су значајни утицаји проузроковани експлоатационим одликама возила у саобраћају и неквалитетом горива. Емисије издувних

гасова (угљенмоноксид, азот, сумпорни оксиди, угљоводоници, олово, формалдехиди и др.) који потичу из мотора СУС путничког и теретног саобраћаја увек су високе, без обзира на могућност смањивања неких загађивача.

Број друмских возила сваким се даном све више повећава, а тиме и емисија штетних гасова [11]. Активности на заштити животне средине посматране из угла емисије штетних састојака издувних гасова огледају се у пооштравању законске регулативе која регулише нормативе издувне емисије, као и у интензивном развоју мотора уз обавезно сталну редукцију издувне емисије и потрошње горива. Из ових законских регулатива произашла је потреба за системима и уређајима који утичу на смањење емисије штетних издувних гасова, без којих је данас незамисливо неко моторно возило.

Убрзаним развојем технологије данашњи инжењери проширивањем својих знања као и коришћењем доступне технологије труде се да максимално обезбеде оптималну експлоатацију и коришћење возила. Основна опрема на моторним возилима са дизел мотором се састоји из више система, и могу се поделити као:

- Систем за напајање горивом
- Електро инсталације са системима
- Систем надпуњења (углавном турбо пуњачи)
- Систем за накнадну обраду издувних гасова код дизел мотора
- Дијагностика у возилу (*OBD-On-board diagnostics*)

Оваква подела је више условна јер се су многи делови на возилу заједнички, а и интегрисани са другим функцијама на возилу. Пример за то су централни компјутери у возилу са бројним извршним органима и вишефункционалним сензорима. Производне целине се пакују у модуле па се то после преноси на монтажу, одржавање, сервисирање и рециклирање. Када се анализира финансијска листа трошкова око развоја нових возила онда постоје скоро избалансирани три целине: каросерија, погонска група и опрема. Под опремом се подразумева све оно што треба саобраћају и возилима са ото и дизел моторима.

Један од значајних система на возилу је систем за накнадну обраду издувних гасова.

Економичност, перформансе и емисија дизел мотора су тесно повезане категорије. Мере предузете за побољшање једне карактеристике, често су контра-продуктивне у погледу осталих. Савремени приступ решавању овог конфликта је да се радни процес оптимизира у погледу економичности и перформанси уз прихватљиво ниску сирову емисију, која ће системом накнадне обраде бити сведена на прописане износе.

2 Законски прописи у области издувне емисије дизел мотора

2.1 Штетни утицај емисије издувних гасова

Загађења ваздуха, воде и земљишта су нежељене промене физичких, хемијских и биолошких својстава животне средине, које могу неповољно деловати на жива бића или нарушити њихове екосистеме. Загађујуће материје или загађујуће супстанце (полутанти) су остаци онога што производимо, користимо и одбацујемо. Другим речима, материја и/или енергија постају загађујуће када се појаве на непожељном месту, у непожељном облику, у непожељно време и у непожељним количинама.

Према природи загађивања може се направити подела и на следећа три облика:

- загађивање материјама,
- загађивање енергијом (отпадна топлота, бука,...) и
- загађивање пољима сила (нпр. електромагнетским).

Под емисијом се подразумева избацивање загађујућих материја из објекта загађивача (из димњака, мотора, цевовода и сличног) у околину: ваздух, воду, земљиште [11]. Када се проучава обим загађења неком загађујућом материјом, важно је да се утврди:

- брзина емисије и
- укупна емисија

Брзина емисије је количинама загађујуће материје изражена у %. Укупна емисија јесте испуштена количина загађујуће материје изражена у грамима по количини ослобођене енергије (у џулима) или у килограмима производа [11].

Када се бензин и дизел сагоревају добија се угљен диоксид (CO_2) и водена пара (H_2O). Угљен диоксид (CO_2) није толико штетан у директном контакту, али је штетан у очувању животне средине. Штетни гасови се јављају зато што гориво не сагори у потпуности и тада се јављају гасови угљен моноксид (CO) и несагорео угљеноводоник (HC). Ови гасови оксидирају са азотом који се налази у удисном ваздуху и добијају се азотни оксиди (NO_x).

Осим ових друге регулисане или нерегулисане емисије које ће бити присутне су:

- Емисија честица материје particulate matter (PM) је поприлично мала за, када се посматра укупна маса (PM). Због тежег уситњавања дизел честица и због нехомогене расподеле у дизел гориву, дизел мотори су увек производили више штетних материја (дима) [5].
- До недавно, такође садржај сумпора у бензину је био доста мањи него у дизелу. Са наредним законом, садржај сумпора у дизелу и бензину је смањена на одговарајући ниво [5].
- У прошлости, олово (P_b) је такође било присутно у издувним гасовима, због употребе неексплозивних производа (или октанско побољшање) који садрже олово у бензину [5].

- Фосфор, хлор, бром и борон који могу бити присутни у гориву или уљу за подмазивање [5].

Сваки од ових набројаних гасова има утицаја на околину и то на следећи начин:

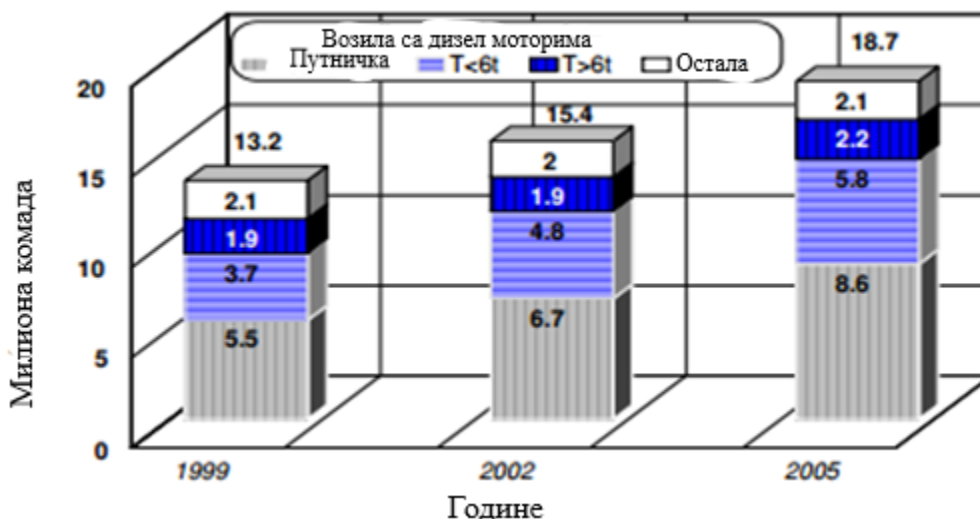
- **Угљен-моноксид (CO)** је гас без боје и мириса, али је врло отрован. Смањује преношење кисеоника у крви, смањује концентрацију и такође и изазива губитак свести и настаје тровање и смрт након неког времена. Настаје непотпуним сагоревањем горива па самим тим што је богатија смеша концентрација CO је већа. Мањим делом се јавља и као последица распадања већ формираног CO . Зато се овом гасу посвећује највећа пажња и његова концентрација изнад дозвољене границе директан је разлог непроласка техничког прегледа [6].
- Садржај **азотових оксида (NO_x)**, директно зависи од фактора ваздуха λ . Највише (NO_x) се постиже са благо сиромашном смешом. Азотни оксиди су такође штетни за људско здравље јер надражују и оштећују дисајне органе [6].
- **НС несагорели угљоводоници.** "НС" је најкраће симбол који означава скуп различитих врста угљоводоника, остатака несагорелог горива, који се посматрају кумулативно. Несагорели угљоводоници иритирају слузокожу дисајних органа, учествују у формирању тзв. "фотохемијског" смога (под дејством сунчеве светлости) а неки тежи угљоводоници цикличне структуре могу бити и канцерогени. Најмања концентрација НС се постиже у зони благо сиромашне смеше. У зони богате смеше НС се понаша слично CO , односно што је смеша богатија то је концентрација НС већа (горива има више од ваздуха па не може све да сагори), али пораст се догађа и у зони сиромашне смеше. Разлог за повећани удео НС у сиромашној смеси је раније гашење гориве смеше у цилиндрима те несагоревање укупне масе горива [6].
- **НО оксиди азота** је такође симбол за разне врсте оксида азота. Оксиди азота настају оксидацијом азота из ваздуха при високој температури и да би се они формирали у значајнијој количини потребно је дејство два [6].
- фактора: високе вршне температуре циклуса (испод 2000 К практично их нема) и довољне количине кисеоника. У комори се углавном формира азотмоксид (NO) који током издувавања и касније у атмосфери прелази у азотдиоксид (2NO).

Строги законски критеријуми могу се задовољити:

- конструкционим мерама,
- новим каталитичким технологијама и
- реформулацијом горива

Ови захреви захтевају нова конструкција и технолошка решења. Конструктори мотора су прве интервенције урадили на систему за припрему смеше и на систему паљења са циљем да се на самом извору смањи настајање отровних продуката.

Први дизел мотор је направљен и испитан у MAN-у у Аугсбургу 1897[6]. године. Одмах после тога примењује се у бродовима. Двадесетих година на тракторе и камионе, тридесетих у авионе (“Штука”) и путничка возила (1936. Mercedes-Benz, 260 D). Од тада су многе области резервисане за дизел моторе. Тренутно дизел мотори освајају област путничких возила.



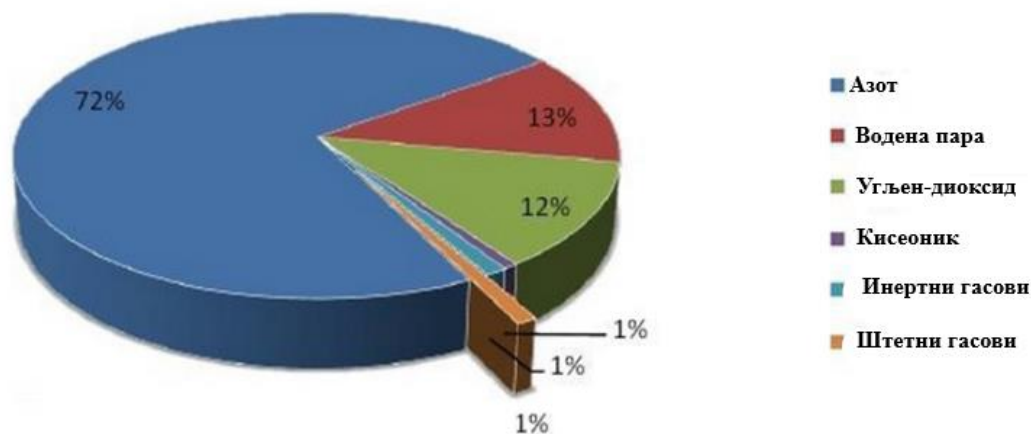
Слика 1. Производња дизел мотора у свету [6]

Максимално дозвољена концентрација (МДК) се, углавном, одређује по томе колико је штетно по људско здравље, односно узима се крајња граница могуће штетности, према било којем показатељу: токсичности, општесанитарном и др. Максимално дозвољена концентрација неке штетне материје је она количина која код човјека свакодневно изложеног у дужем периоду не изазива патолошке промене ни обољења, не нарушава биолошки оптимум за човека. За релативно чист ваздух можемо да сматрамо онај у коме концентрације не премашују допуштене границе.

Максимално дозвољена емисија (МДЕ) се уводи да би се регулисала јачина избацивања загађујућих материја сваког појединачног извора загађења. Ова вредност се везује за одређену масу производа или количину произведене енергије у одређеном технолошком процесу.

Као поседицу сагорејевања фосилних горива приликом производње енергије за моторна возила, јавља се цео низ гасова, који се грубо може поделити на штетне и мање штетне. На слици 1 је поједностављени приказ садржаја издувних гасова који нису каталитички прочишћавани. Наиме, из ауспуха мотора излази више различитих гасова од приказаних, али се због потребе поједностављења приказа уобичајено говори само о гасовима наведеним у дијаграму.

На слици (3) је приказан састав издувних гасова мотора са унутрасњим сагоревањем.



Слика 2. Састав издувних гасова мотора СУС [5]

Као што се из дијаграма види, само мали део гасова из ауспуха је штетан за околину (~1%). Модерни анализатори издувних гасова не мере све гасове, већ само оне помоћу чије се концентрације може оценити квалитет сагоревања у мотору, па се на тај начин даје оцена да ли мотор ради у оптималном радном подручју. Приликом испитивања састава издувних гасова анализаторима, најчешће се мери садржај следећих пет гасова:

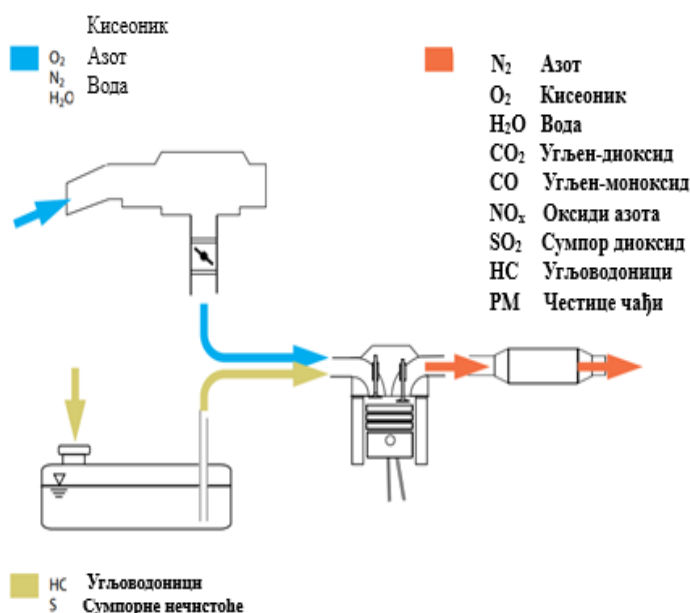
- Угљен-диоксид
- Угљен-моноксид
- Угљоводоници
- Кисеоник
- Азотни оксиди

Сагоревање је основни процес током којег се хемијска енергија из горива претвара у топлоту и даље у механички рад у моторима СУС. Од укупне енергије која се ослобађа процесом сагоревања, око 42% се користи за покретање возила, док су преосталих 58% губици. Значи, што је мотор ефикаснији, то су и мање количине штетних издувних гасова. Развој и употреба нових технологија, а у циљу смањења емисије гасова, довела је до таквих напредних решења који су штетну емисију гасова смањили за више од 95%. Сагоревање је веома комплексан хемијски поступак, окарактерисан наглим променама температуре, притиска и концентрације реактивних супстанци. Процес хемијске конверзије у комори за сагоревање није нимало једноставна хемијска реакција. Зато још увек није дефинисана задовољавајућа теорија сагоревања која би описала наведени процес у сваком детаљу. Однос количине ваздуха и горива игра важну улогу у ефикасности процеса сагоревања а тиме и на емисију гасова, потрошњу горива као и на перформансе мотора. Уколико је смеша богатија (има више горива него ваздуха за потпуно сагоревање), доћи ће до повећане потрошње горива и емисије гасова. У случају сиромашне смеше (има више ваздуха него горива за потпуно сагоревање), то ће се одразити на мању снагу мотора и погоршану возивост возила. Када мотор ради са приближно стехиометријском смешом (идеална је са аспекта односа горива и ваздуха потребних за потпуно сагоревање, а то не значи да је идеална за минималну токсичност или максималну снагу). Међутим, тада је продукција азотних оксида веома висока. Такви односи говоре о

комплексности проблема једновременог смањења емисије свих штетних компоненти у исто време. Неки од битнијих праваца у којима се огледа будућност чистих мотора и којима већина произвођача тежи јесу:

- Тежња ка потпуном сагоревању горива у самом мотору,
- Повратак вишка угљоводоника назад у мотор ради сагоревања,
- Обезбјеђивање додатног простора за оксидацију,
- Пречишћавање гасова након што изађу из мотора.

Издувни гасови настају током процеса сагоревања у мотору [6]. Један део тих гасова су штетне, загађујуће материје. На слици (3) је приказан процес формирања издувних гасова код ото мотора.



Слика 3. Механизам формирања штетних гасова [6]

Основне штетне материје у издувним гасовима су: угљен-моноксид који настаје када гориво које садржи угљеник не сагори у потпуности, што се посебно дешава након старта мотора или при раду на празном ходу. Угљен-моноксид је безбојан гас без мириса, али је изузетно отрован и може бити смртоносан и у најмањим количинама јер, ако се удише, спречава дистрибуцију кисеоника у крви. У присуству кисеоника брзо оксидише у CO_2 . Након њега угљоводоници, несагореле компоненте горива, као што је бензен који се налази у издувним гасовима после непотпуног сагоревања. Појављују се у разним облицима и имају различите утицаје на организам. Угљоводоници могу бити и канцерогени. Оксиди азота су једињења азота и кисеоника. Појављују се у различитим облицима, на пример NO , NO_2 или H_2O . Настају под високим притисцима и на високим температурама, када постоји

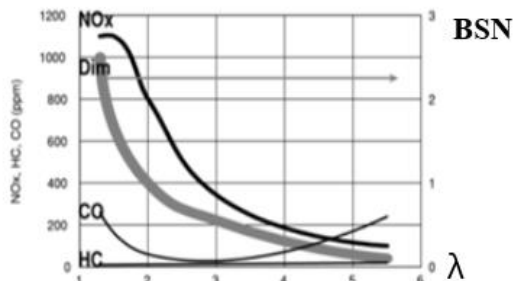
вишак кисеоника приликом процеса сагоревања. Мере које се примењују да би се смањила потрошња горива и добило ефикасније сагоревање, често доводе до повећања садржаја оксида азота у издувним гасовима. Оксиди азота су веома отровни ако се удишу. Такође иритирају очи и слузокожу и изазивају обољења плућа. Оксиди азота су одговорни за киселе кише и, у вези са тим, за изумирање шума. Осим тога, оксиди азота су одговорни за настанак атмосферског озона, који је отрован ако се удише. Сумпор-диоксид (SO_2) је хемијско једињење сумпора и кисеоника. То је безбојан гас продорног мириса који доприноси обољењима дисајних органа. Сумпор-диоксид је главни узрочник киселих киша, пошто са влагом гради сумпорну киселину, која еродира објекте од природног камена. У издувним гасовима се налази мала количина сумпор-диоксида, која може бити још мања ако се смањи количина сумпора у гориву. Угљен-диоксид (CO_2) је безбојан незапаљив гас који настаје везивањем угљеника из горива са кисеоником из ваздуха. То је нежељена компонента због тога што утиче на слабљење земљиног заштитног омотача против ултраљубичастог (УВ) зрачења и доприноси климатским променама (ефекат стаклене баште). Када се раствори у води настаје угљенична киселина, као што је то у минералној води. Угљен-диоксид није директно отрован, него се његова токсичност заснива на томе да истискује кисеоник потребан за дисање, посебно у затвореним просторима. Честице чађи (ПМ – „партикулате матер“) настају од микроскопски ситних честица угљеника око којих се у горивима и мазивима акумулирају угљеводоници. Честице чађи су канцерогене. Ове честице се појављују највише у издувним гасовима дизел моторима. Чађ се појављује и у бензинским моторима, али је количина од 20 до 200 пута мања него што је код возила са дизел мотором. У табели 1 је приказан пораст или пад појединих издувних гасова

Табела 1. *Пораст и пад појединих издувних гасова*[3]

	ИЗДУВНИ ГАС			
	CO_2	CO	HC	NO_x
Већи степен компресије				↑
Више вентилска глава мотора	↑		↓	
Већи преклоп вентила		↓	↑	
Запремина усисне гране већа од запремине мотора	↑		↓	↓
Већи број обртаја мотора		↓		
Већа брзина вожње возила и веће оптерећење мотора	↑	↓		↑
Раније пред убризгавање		↑	↑	↑

Од самих почетака, дизел мотори су производили мање угљен-диоксида у односу на бензинске моторе. Међутим, они емитују више честица и друге полутанте. Најопасније су микрочестице, које изазивају здравствене проблеме а неке од њих су на листи канцерогених супстанци Светске здравствене организације. Из тог разлога, дизел мотори представљају већу опасност по екологију и здравље људи. Тај здравствени ризик је познат и признат међу камионџијама и радницима на железници, али је и општа популација изложена опасности. Због тога, еколошки стандарди у вези са дизел моторима су постали строжи, а проблем је што нису сви произвођачи успели да се с њима ускладе. Мешавина горива и ваздуха у дизел моторима често води до непотпуног сагоревања, а честице које производе ови агрегати варирају у односу на примену. Фокус је на модерним, четвороцилиндарске моторе који се проналазе у путничким возилима. Они могу генерисати мале наночестице, а управо оне су опасне по људско здравље, јер могу да уђу у плућа и проузрокују респираторне

болести. Непотпуно сагоревање у дизел моторима такође проузрокује и неке друге честице [6]. У зависности од квалитета горива, однос честица може да варира. Модерни мотори с компресионим паљењем захтевају дизел ниског нивоа сумпора да би функционисали како треба.



Слика 4. Сiroва емисија из дизел мотора са DU (дим у **bosch** јединицама) [6]

2.2 Законски прописи издувне емисије дизел мотора

У Калифорнији 1966 год. Донети су први законски прописи о ограничењу издувне емисије путничких возила. У Европи 1970 године донета је прва директива о ограничењу издувне емисије путничких возила (Directive 70/220/EC). Директива 98/69/EC прописује граничне вредности за следеће компоненте у издувној емисији ото и дизел мотора: Угљен моноксид (CO); Несагореле угљоводонике (HC); Оксиде азота (NOx); Чврсте честице, чађ (PM).

Од прописа Евро 4 сви делови возила који утичу на издувну емисију морају да докажу век трајања од 100.000 км, а од прописа Евро 5 век трајања је продужен на 160.000 км [3]. 1990 године Калифорнијска служба за заштиту околине (CARB-California Air Resource Board) једонела програм под именом „Low Emissions Vehicle Regulations“ (LEV). Овај програм захтевао је од аутомобилске индустрије континуално увођење на тржиште све већег броја чистих возила, са перманентном контролом издувне емисије (OnBoard Diagnose - OBD). Уведен су четири категорије законске регулативе у области возила, која су континуално имала да задовољесве строжије законске регулативе: TLEV – Transient Low Emissions Vehicles (од 1995), LEV – Low Emissions Vehicles (од 1988), ULEV – Ултра Low Emissions Vehicles (од 1998), ZEV – Zero Emissions Vehicles (2% од 1998, 10% од 2010). Пошто захтев за ZEV до данас није могао да буде испуњен, законодавац је 1998 године донео ЛЕВ III пропис, којим су уведене још две категорије: СУЛЕВ – Супер Ултра Low Emissions Vehicles, PZEV – Partial Zero Emissions Vehicles. 2012 године донет је нови пропис LEV III, који поопштрава граничне вредности за HC, NOx и PM и примењује се на сва возила од 2020 године. У скоро свим земљама света важе прописи о ограничењу издувне емисије, који се ослањају на прописе Европске Уније, САД, или Јапана. Заједнички за прописе свих земаља је да се тестови врше на пробном столу и да имају сопствену специфичну прописану шему вожње. Разлике у методама испитивања у ЕУ, САД, Јапану, ... знатно повећавају трошкове развоја и хомологације. Тренутно, на снази је 125 ЕСЕ Правилника, од чега је 15 у области издувне емисије и енергије моторних возила, и то: ЕСЕ15 – емисија путничких возила (није више актуелан); ЕСЕ24 – емисија димних тешких

мотора и возила; ECE40 – емисија мотоцикала; ECE47 – емисија mopеда; ECE49 – емисија гасова и честица тешких мотора и возила; ECE67 – опрема возила са погонем на течнинафтни гас (LPG); ECE83 – емисија путничких и лаких теретних возила; ECE84 – мерење потрошњегорива; ECE85 – мерење снаге мотора; ECE96 – емисија тракторских дизел мотора; ECE101 – емисија угљендиоксида и потрошња горива путничких возила; ECE103 – замена каталитичкихконвертора; ECE110 – специфична опрема за компримовани природни гас (CNG); ECE115 – накнадна уградња LPG и CNG уређаја и ECE120 – мерење снаге и потрошње горива трактора. Светска хармонизација возилских прописа (GlobalTechnicalRegulation – GTP) обухвата: Worldwide Heavy-DutyCertificationProcedure (WHDC) – GTPNo.4; WorldwideMtorcycleEmission TestCycle (WMTC – GTPNo. 2; OBDSytemforHeavy-DutyVehicles (WWHOBD) – GTPNo. 5; NeaDutyOff-CycleEmissions (OCE) – GTPNo. 10; Particulare.

Утабели 2 је приказана издувна емисија путничких возила и лаких теретних возила масе мање од 1305 кг – Емисија дизел мотора по ECE 83.01 тесту (градси+приградски циклус).

Табела 2. Издувна емисија путничких возила и лаких теретних возила масе мање од 1305 кг – Емисија дизел мотора [3]

	Година	CO g/km	THC ¹ g/km	NMHC ² g/km	NO _x g/km	THC+NO _x g/km	PT ³ g/km	PN 4 broj/km
Еуро 1	1992	2,72				0,97	0,14	
Еуро 2	1996	1,0				0,7	0,8	
Еуро 3	2000	0,64			0,50	0,56	0,5	
Еуро 4	2005	0,50			0,25	0,30	0,025	
Еуро 5	2010	0,50			0,18	0,23	0,005	6*10 ¹¹
Еуро 6 ⁴	2015	0,50			0,08	0,17	0,0045	6*10 ¹¹

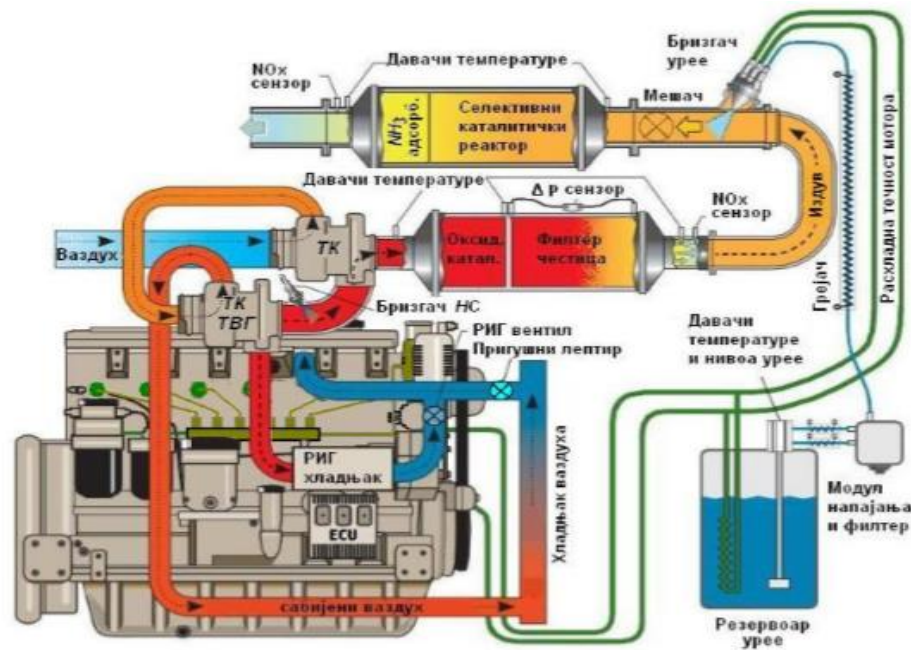
Табела3. Издувна емисија тешких теретних возила (Границе емисија по ESC и ELR тесту Правилника ECER49.03) [11]

Ниво	CO	HC	NO _x	PT	Dim	Напомена
ECE 49.03	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	m ⁻¹	
A (2000)	2.1	0.66	5.0	0.10	0.8	Еуро 3
B1 (2005)	1.5	0.46	3.5	0.02	0.5	Еуро 4
B2 (2008)	1.5	0.46	2.0	0.02	0.5	Еуро 5
C (EEV)	1.5	0.25	2.0	0.02	0.15	
(2013/2014)	1.5	0.13	0.4	0.1		Еуро 6

Еуро 6 уредба такође укључује амонијак (NH_3) граница концентрације од 10 делова на милион (ppm) за дизел моторе. У јуну 2011 године дефинисана је граница броја честица (PN) за дизел моторе, и додавање ограничењу масе (582/2011). Комисија такође има право да дефинише максимум ограничење за NO_2 компонента емисије NO_x у будућности. Код "традиционалних" дизел мотора NO_2 садржај укупне емисије NO_x је око 5 процената. Међутим, савремени мотори могу да повећају овај удео и до 50 процента, у зависности од коришћене технологије [11].

3 Карактеристичне концепције и принцип рада

На слици (5) је приказана топологија модерног система накнадне обраде издувних гасова. Оксидациони катализатор и филтер честица, у заједничком кућишту, постављају се на почетку издувног тракта, што ближе турбинском излазу. Оксидациони катализатор убрзава догоревање CO, HC и делимично честица [12]. Филтер честица је углавном керамички (кордијеритни) монолит саћасте структуре, ефикасности (90÷95) % у опсегу пречника честица (20÷300) μm . Он се периодично регенерише обгоревањем депозита честица. Температура неопходна за активацију овог процеса од око 600 °C се може постићи спонтано, на високим оптерећењима (режим само-регенерације). Када је температура гасова ниска, а пад притиска на филтру достигне критичну вредност, у издувну цев се убризгава гориво, и филтер се догрева све док се процес регенерације не устали [12]. Ефикасан начин регенерације се може остварити на парцијалним режимима путем касног (током ширења) убризгавања малих количина горива. Током експлоатације долази до постепеног пораста отпора филтра због таложења негоривих материја, углавном сулфата и фосфата. Трајност и ефикасност овог подсистема захтевају примену ултра нискосумпорног горива (<10 ppm), ниску потрошњу и посебну формулацију моторног уља.

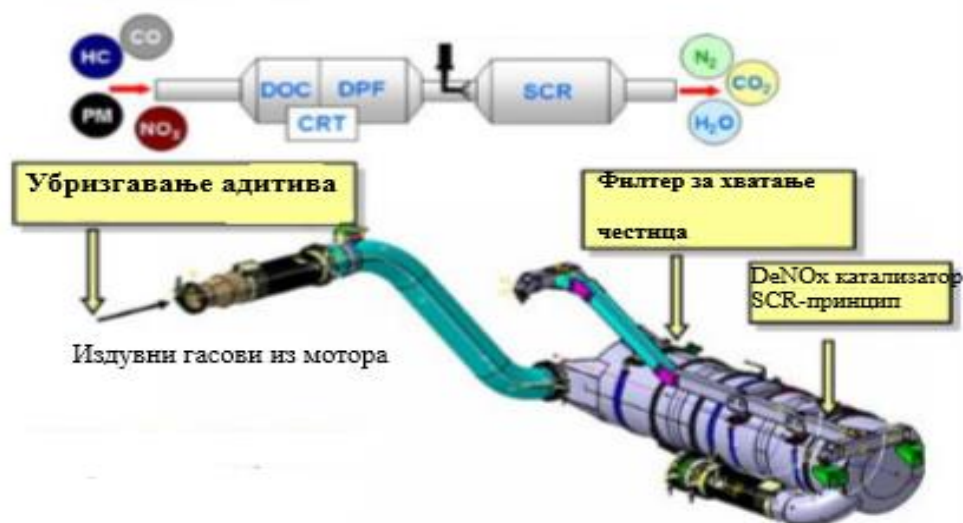


Слика 5. Концепција савременог дизел мотора [12]

Филтри честица нису ефикасни код пречника честица испод 10 μm , за које важи општа регулатива (PM 10 стандарди). Зато је поред специфичне масене емисије честица уведено и ограничење њиховог броја [12]. Проблем редукције азотових оксида у присуству кисеоника се решава применом селективног каталитичког реактора, са ефикасношћу

конверзије NO_x изнад 90 %. Ова технологија се одавно користи код великих термичких постројења. Редукционо средство је амонијак који се развија из 32,5% воденог раствора урее. Утрошак овог новог погонског материјала износи (3-5)% од потрошње дизел горива [12].

Сирову емисију дизел мотора карактеришу азотни оксиди и честице [11]. Елиминација азотних оксида не може да се оствари са таквим типом катализатора као што се уграђују код еколошки оптиманих дизел мотора (прилагођених тим моторима) у очекиваним границама. Код великих дизел мотора у примени су селективне каталитичке редукције (SCR-SelectiveCatalyticReduction). У катализаторе се додају адитиви (на пр. NH_3) који елиминишу азотне оксиде преко 90%. Уграђује се на моторе који задовољавају прописе Еуро 5 и 6. На возилима су вршена бројна испитивања са додацима амонијака (NH_3) и урее ($\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$) у смеси са водом познате под називом adBlue. Посебним уређајем за дозирање уводи се adBlue (5% потрошње горива) у издувни систем између оксидационог и редукционог катализатора те се распада на амонијак који служи као оксидационо средство. Возила опремљена са системом SCR поседују самодијагностички уређај OBD који је саставни део управљачког уређаја система. Од фебруара 2005. Даимлер примјењује SCR -систем под називом BlueTec. У поређењу с решењима примењеним на моторима Еуро 4 смањење емисије NO_x износи до 85%, потрошње горива до 5%, а емисија честица смањена је за 40% побољшањима процеса сагоревања у мотору. Појаву нежељених компонената (азотних оксида) изазива присуство сумпора у гориву уз стално променљиве физичко-хемијске карактеристике горива и нестационарне радне услове типичне за возила. На слици 6 је приказан систем за селективну каталитичку редукцију и филтер честица.



Слика 6. Систем за селективну каталитичку редукцију и филтер честица [11]

Техничко решење за континуирану редукцију NOx у издувним гасовима мотора СУС представља тзв. SCR катализатор – катализатор са селективним каталитичким редукцијама. Принцип рада састоји се у томе да се у контролираном окружењу у издувне гасове доведе каталитички материјал који ће омогућити убрзање хемијске реакције. Као каталитички материјал – редукционо средство – користи се уреа. Уреа у ствари представља носећи материјал за стварно редукционо средство, амонијак, који је врло отрован у свом чистом облику, те се због тога на цестовном возилу транспортира у посебним резервоарима у виду урее (најпознатији комерцијални назив за ову течност је (Ad Blue)). На слици 6 приказан је је систем за накнадну обраду издувних гасова мотора Еуро 6. Он се састоји из два дела. Први део CRT је филтер честица са континуалном регенерацијом (енгл. Continuously Regeneration Trap) док је други део SCR систем за селективну каталитичку редукцију.

Уређаји за смањење буке

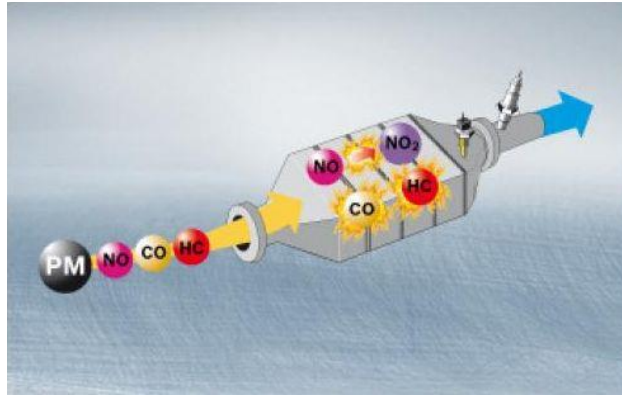
Начелно се сматра да бука која потиче од усисно-издувне инсталације мотора долази од три главна извора:

- од издувавања,
- усисавања и
- механичке буке.

На излазу из издувне цеви мотора, пулзације притиска гасног стуба се емитују у атмосферу као најизраженији део буке[11]. Уградњом пригушивача буке на издувну цев, постиже се да до резонанције долази само на одређеним фреквенцијама виших хармоника и да таквом амплитудом укупна бука не ствара осјећај нелагодности. Извори буке која настаје код усисавања су осцилације притиска зрака, односно смјеше, када она струји кроз пречистач, карбуратор, усисну цев и осцилације гасног стуба у цилиндру мотора приликом пуњења. Исто тако и код брзог затварања вентила, гасни стуб у усисној инсталацији настави са осциловањем. Механизам настанка буке приликом усисавања врло је комплексан и због тога се тај део буке врло тешко пригушује на задовољавајући ниво [11].

Након рецикулације одређене количине издувних гасова један део се опет шаље у цилиндар и овај процес се непрестално понавља док један део из турбине директно иде у издувни систем[6]. Након турбине издувни гасови долазе до оксидационог катализатора и

филтера честица који чине једну целину, и обично се налазе што ближе турбинском излазу. Оксидациони катализатор служи да убрза догоревање CO, HSi делимично честице чађи, што се може видети на слици 7.



Слика 7. Процес у оксидационом катализатору [10]

Одмах до оксидационог катализатора налази се филтер честица који је углавном керамички и поседује структуру која подсећа на саће, што је симболички приказано на слици 8



Слика 8. Симболички приказ филтера честица [10]

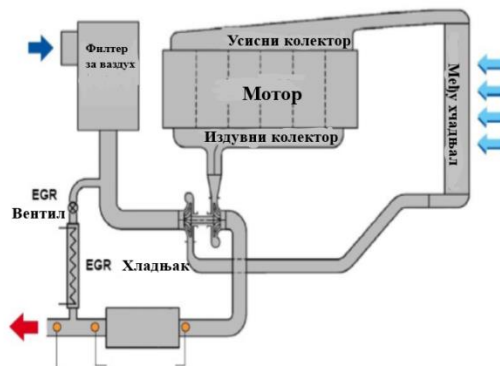
Само име филтер говори да он служи са пречишћавање. У неком опсегу времена може доћи до зачепљења овог филтера, али он се периодично регенерише обгоревањем честице. Температура потребна за овај процес износи преко 600°C , што се може постићи на два начина

- Први начин је високо оптерећење мотора
- Уколико је температура гасова ниска у издувну цев се убризгава гориво које се пали и самим тим сагоревају честице у филтеру

Као што је већ поменуто ово возило користи гориво са веома малом количином сумпора што је један услов да се повећа трајност и ефикасност поменутог филтера. Међутим филтери честица немају ефикасност код честица пречника испод $10\mu\text{m}$ тако да сем овог подсистема у издувном систему налази још један подсистем, како би се емисија азотових оксида смањила на минимум. Проблем редукције преосталих азотових оксида у присуству кисеоника се решава применом селективног каталитичког реактора, који има ефикасност смањења азотових оксида изнад 90%. Овај принцип се одавно користи код великих техничких постројења. Као средство које је погодно за редукцију азотових оксида најбоље

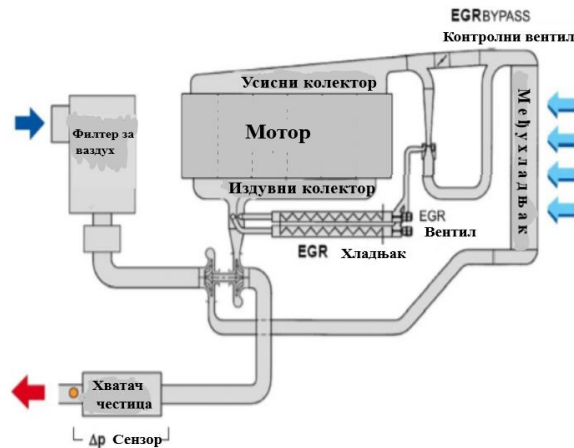
је користити амонијак. Амонијак се добија из 32,5% воденог раствора урее. Боја овог погонског материјала је плава из чега произилази назив BlueMotion, стим да његова потрошња износи 3 – 5% потрошње дизел горива. Овај погонски материјал налази се у посебном резервоару из кога се водовима доводи до издувног система. На самим водовима налази се и грејач који је потребан да загреје ову течност. Такође се налазе и водови који су спојени са системом за хлађење мотора, па се њима доводи расхладна течност која служи за хлађење брызгача урее како не би дошло до његовог прегревања. У резервоару урее налазе се давачи температуре и нивоа који обавештавају возача о њеном стању. Такође би требало напоменути да се у издувном систему налазе NO_x сензори који шаљу информације електронској управљачкој јединици о емисији азотових оксида, односно дају му информацију о даљем пречишћавању. Још би само требало напоменути да се при крају издувног система до селективног каталитичког реактора налази NH_3 задсорбер чије само име каже да служи за упијање непријатних мириса који долазе као последица коришћења урее за смањење емисије азотових оксида.

Разлике постоје између стационарних и динамичких услова, а онда између путничких и теретних возила. Одлике градских тестова, типичних за путничка и доставна возила, су честе промене и делимична оптерећења. Такве услове лакше испуњава EGR под ниским притиском (EGR-LP: LowPressure) јер узима издувне гасове из турбине (под ниским притиском) и са хватачем честица у колу рецикулације охлађених издувних гасова.



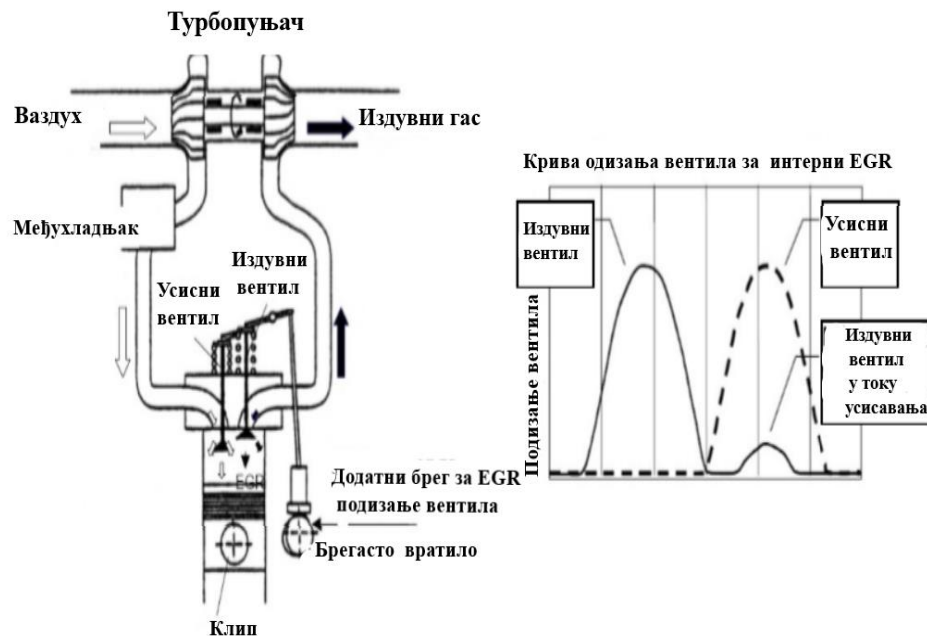
Слика 9. EGR-LP рецикулација под ниским притиском [6]

Тест за теретна возила се вози при пуном оптерећењу па се издувни гасови узимају испред турбине, потом хладе и онда мешају са усисним ваздухом, слика 12 (EGR-HP: HighPressure).



Слика 10. EGR-HP рециркулација под високим притиском [6]

Постоји и тзв. унутрашња рециркулација издувних гасова код које се издувни гасови из издувног канала директно уводе у цилиндар када се издувни вентил, на кратко, отвори у току усисавања. За испуњење норматива Еуро 5 и 6 ($\text{NO}_x < 2 \text{ gkW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ за теретна возила) EGR код дизел мотора игра пресудну улогу. Сумарне количине за рециркулацију се крећу од 10% на пуном гасу до 30% на делимичном оптерећењу.



Слика 11. EGR унутрашња рециркулација [6]

Коморни мотори (преткоморни и са вихорном комором) имају нижу укупну емисију у поређењу са директним убризгавањем. Почетна фаза сагоревања је у комори са релативно богатом смешом када је минимално настајање чађи и азотних оксида. Радни процес се тако организује да је у комори LOKALNI састав смеше између 0.6 и 0.9. Потпуно сагоревање се довршава, уз интензивно преструјавање и уз довољно ваздуха, у главној комори са упола мање токсичних компонената него код директног убризгавања (DU).

Емисија честица у издувним гасовима је најкомплекснији проблем возила са дизел моторима. Највећи извори честица и честичног загађења су горива и мазива. Потом долазе разне примесе у њима и нечистоће из ваздуха. Први еколошки нормативи су третирали "дим" као проблем, а онда се увидело да су честице из дизел

мотора само носиоци термички разложеног и распадног горива, мазива и примеса из ваздуха.

Код конвенционалних мотора имамо накнадно убризгавање, недовољну распрашеност горива и зато редовну појаву дима и честица. Ниско токсични дизел мотори са директним убризгавањем морају да раде у областима сиромашне смеше мерено и просечно и локално. Распрашеност горива треба да је ефикасна по узору на гасне (дизел) моторе, максималне температуре испод 2000 К (по критеријумима NO_x и минималног настајања чађи). Уосталом, појава честица је присутна код свих мотора,. Код ото мотора, са убризгавањем у усисну цев и са трокомпонентним катализатором, појава честица је неочекивано висока на пуној снази. Дизел мотор редовно емитује велике количине честица током старта, рада хладног мотора, на пуном оптерећењу и при појави накнадног убризгавања. Најгора карактеристика честичне емисије је да стимулише канцерогена обољења. Зато се морамо осврнути на укупну честичну емисију у саобраћају. На следећој табели је приказана измерена честична емисија из возила.

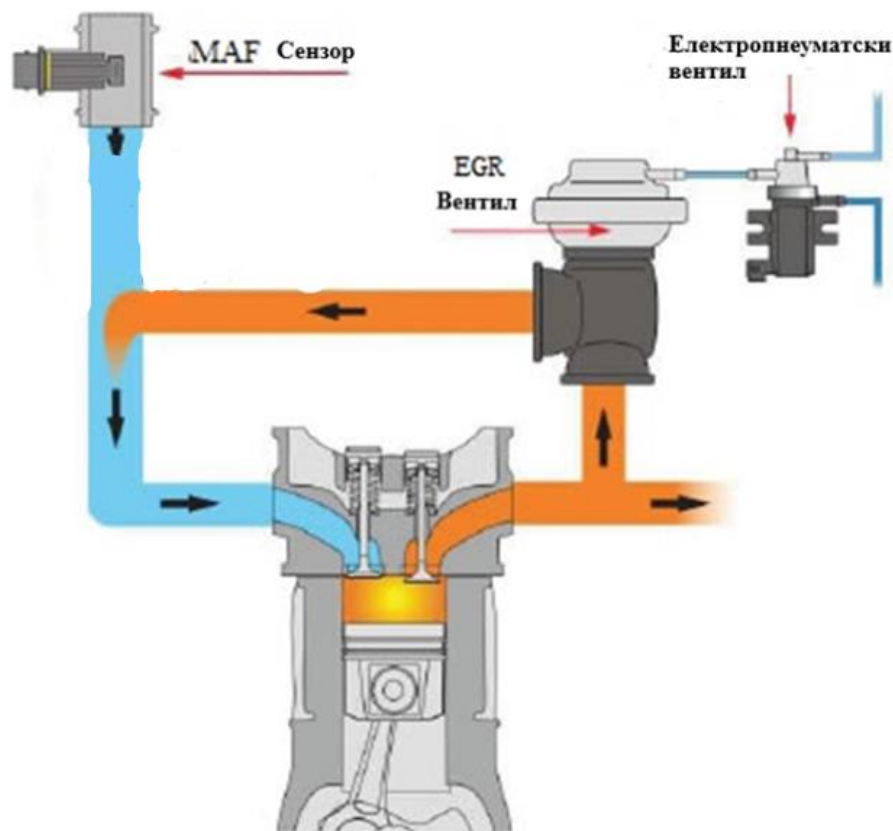
Табела 3. Честице емисије из возила

Честице код возила са	Економичнија вожња, 80 km/h		Брза вожња 120 km/h	
	Димензије ,nm	Концентрација	Димензије ,nm	Концентрација
Дизел мотором	117	2.02*10 ⁷	74	2.4*10 ⁷
ОТО мотором	80-90	1.8*10 ³ -1.2*10 ⁶	42-82	2.6*10 ⁴ -1.6*10 ⁷
Гасним	80-90	8*10 ²	24-51	2.3*10 ⁵ -1.3*10 ⁶

У усисну и издувну инсталацију се уграђују додатни уређаји за смањење токсичних (гасовитих) компоненти и честица. При уграђивању ових додатних уређаја, као и код увођења посебних мера којима се жели утицати на процес сагоревања, да би се смањила емисија токсичних гасова, треба строго пазити да се тиме не утиче битно на његове остале карактеристике. Настојања да се директним утицајем и “регулацијом” процеса сагоревања смањи формирање токсичних супстанци, дала су до данас само делимично задовољавајуће резултате . Да би се смањила количина честица код дизел мотора, може да се примени:

- Спољна рецикулација продуката сагоривања

Техника редукције емисије уз помоћ рецикулације издувних гасова користи специјалан вентил под именом EGR, који поново доводи издувне гасове у цилиндри мотора кроз усисни канал. Идеја на којој је ово засновано је да се обезбеде гасови који су инертни на сагоревање и који апсорбују топлоту, коју генерише процес паљења. Смањивање температуре у коморама за сагоревање такође редукује количину азотних оксида и унапређује поузданост кроз обезбеђивање мањег оптерећења на компоненте мотора. Смањење емисије азотних оксида уз помоћ овог метода се постиже из разлога што се овај гас производи искључиво при високим притисцима и температурама. Издувни гасови не рециркулишу перманентно у модерним моторима, јер то није ефикасно у свим условима експлоатације. У дизел моторима, EGR постиже стопу ефикасности до 50 одсто и има позитиван утицај на смањење емисије азотних оксида. Сама примена варира од компаније до компаније, али оне обично користе размењиваче топлоте да би смањиле температуру издувних гасова у рецикулацији, пре него што ови уђу у усисни канал. Модерни системи функционишу електронски, користећи бројне сензоре да би се обезбедила максимална ефикасност. На слици 6 је приказана шема система EGR-a.



Слика 12. Приказ EGR система [6]

Рециркулацијом, тј.враћањем једног дела издувних гасова поново у цилиндар мотора, постиже се другачији утицај на процес сагоревања, зависно да ли се оно одвија са вишком или мањком ваздуха, у виду претходно измешаног или дифузијског пламена и др. Један од ефеката рецикулације је смањење температуре пламена и смањење локалног еквивалентног односа.Оба ова фактора утичу на механизам, чиме долази до смањење његове емисије уз само незнатно смањење снаге, ако рецикулација не прелази 40%. Друга група уређаја на издувној инсталацији је предвиђена за деконтаминацију издувних гасова накнадним третманом.

Механичке нечистоће доспевају у ваздух из околине и његова “чистоћа” на улазу у мотор зависи од врсте пута, односно његове подлоге по коме се аутомобил креће и од висине изнад нивоа терена на којој се ваздух усисава. У гориво и мазиво, механичке нечистоће доспевају у току производње, ускладиштења, транспортовања, руковања и у току рада мотора.Чврсте честице долазе у течне флуиде и услед механичког трошења материјала.До хемијских промена горива и уља долази већ у току стајања, а поготово под дејством температуре, светлости и кисеоника из ваздуха.Сви ови утицаји су нарочито појачани у току рада мотора. Механичке нечистоће су по свом хемијском саставу, физичким особинама и димензијама (0,5 до 30 μm) врло различите. Ситне чврсте честице, које често достижу тврдоћу кварца, су поготово опасне, јер изазивају локална оштећења,дубоке рисове и ерозију већих површина.Њихов утицај на одвијање појединих процеса, на рок трајања делова, је нарочито велик на инсталацијама за убризгавање горива, сисцима расплињача, склопу клип-цилиндар и слично. На аутомобилским моторима, пречистачи су конструисани тако да издвајају механичке нечистоће.

Мотори са унутрашњим сагоревањем у току свога рада усисавају знатну количину из околне атмосфере у којој лебде веће количине ситних честица прашине.Количина прашине у зависи од услова у којима ради мотор.Нпр. садржај прашине у ваздуху при кретању аутомобила у граду, односно при кретању по путевима првог реда.Због велике разлике у густини између чврстих честица и гаса, за њихово издвајање из ваздуха могу да се користе и други физички ефекти, који се нису могли употребити за издвајање чврстих честица из течности.Значи осим физичког задржавања честица на пролазу, кроз уске канале, честице се могу издвајати из ваздуха инерционим и гравитационим ефектом.Тако се јављају инерциони, циклонски пречистачи, код којих се чврсте честице издвајају деловањем центрифугалне силе, или чисти инерциони пречистачи, када се честице издвајају деловањем силе инерције при наглном скретању, односно промени смера струјања гаса.

3.1 EGR вентил

Код наших возача још увек влада веровање да је EGRвентил потпуно непотребан и на његову неисправност реагују тек када дође до већег оштећења мотора . Међутим , ствари су много компликованије.

Код модерних бензинских и дизел мотора EGR вентили се користе за прецизну регулацију сагоревања смеше, како би се повећала економичност и смањила количина азотних-оксида и угљо-водоника.

EGR вентил служи да у смешу свежег ваздуха и горива уведе мању, или већу количину издувних гасова, помоћу којих се регулише сагоревање.

Ствари су врло једноставне. Превелика количина кисеоника ствара топао пламен и брзо сагоревање смеше. Као реакција на повећање температуре у комори за сагоревање долази до нежељене хемијске реакције између кисеоника и азота из усисаног ваздуха, којом приликом се стварају отровни азот-оксиди. На сликама 7 и 8 је приказан изглед EGR вентила различитих типова.



Слика 13. Изглед EGR вентила [7]



Слика 14. Изглед EGR вентила [7]

Као последица тога, поред повећаног загађења животне средине, услед итерације са азотом, самој смеши у мотору остаје мање кисеоника за сагоревање горива, чиме се смањује снага, повећава ниво угљо-водоника.

Када прегрејалој смеши додате одговарајућу количину сагорелих издувних гасова, који не садрже кисеоник, долази до снижавања температуре сагоревања и довођења параметара рада мотора у нормалу.

Код бензинских мотора, EGR вентил смањује могућност за самозапаљивањем.

Као директна последица тога могуће је користити виши компресиони однос и другачије време паљења, како би се добио еластичнији мотор. Код дизелаша, осетно се смањује бука детонације приликом рада на леру.

EGR вентил ради супротно код бензинског и дизел мотора[6].

Код дизела је приликом рада на минимуму потпуно отворен и може да обезбеди и до 50 посто присуства сагорелих гасова у комори за сагоревање. Приликом повећања снаге и обртаја он се у потпуности затвара. За промену, код бензинског мотора EGR вентил је потпуно затворен на леру и полако се отвара са повећањем снаге. Ипак, максимално учешће издувних гасова износи само пет до десет процената[6].

EGR вентил је подложен отказу рада због зачепљења, пре свега услед таложења честица чађи. Вентил може да остане потпуно отворен, потпуно затворен, или може да има спору реакцију. Ако је заглављен у отвореном положају, код бензинаца ће изазвати лош рад на леру, а код дизела ће изазвати смањење снаге и црн дим из ауспуха. Ако је EGR вентил остао затворен, изазваће претерано лупање код дизелаша и повећану потрошњу горива код бензинаца[6].

Најчешћи узроци неисправности EGR вентила:

- учестале вожње на кратком релацијама
- превисока ниво уља у мотору
- повећана потрошња уља мотора
- коришћење уља неодговарајућег квалитета
- похабан мотор (клипно-цилиндрични склоп)

У тој вези треба да се напомене, да је усисавање ваздуха праћено шумом. Пречистачи мотора на особним аутомобилима се због тога снабдевају са пригушивачима шума, који се са пречистачима ваздуха спајају у једну целину. При пригушивању шума нарочиту улогу игра материјал елемента. Улошци су поготово добри пригушивачи буке високих фреквенција, а шум ниских фреквенција се пригушује у једној или више комора у телу пречистача. Циклонски и инерциони пречистачи се употребљавају на дизел моторима за камионе и на тракторима, када се очекује да ће мотор радити у атмосфери са доста високом концентрацијом прашине у ваздуху. По свом облику инерциони пречистачи су цилиндрични, релативно високи и због тога захтевају доста места за смештај на мотору, што може да се сматра као негативна особина ових пречистача[6].

4 Закључак

Наредни стратешки задатак за инжењере је флексибилно опремљена нова конструкција мотора у којој се према потреби обавља ото, дизел или било који други ефикасан и еколошки оптимизован циклус, сагоревање резултира високом емисијом честица и азотних оксида. Нови мулти-процесни ОТО дизел мотори решавају проблем емисије дима и азотних оксида тако што ће на режимима великих оптерећења радити по ото циклусу који нема проблеме, (БЗ-BoschZahl / Bosh број), а трокомпонентни катализатор (TWC) редукује NO_x . Квантитативни начин промене оптерећења, пригушним лептиром, поред ниског степена компресије има за последицу малу ефикасност, нарочито на парцијалним режимима рада. Дакле, идеални мотор би требао да има: променљив степен компресије, високу експанзију и алтернативни рад са хомогеном и нехомогеном смешом. Тако би добра економичност била остварена високим степеном компресије и експанзије без гушења у усисном воду. На високим оптерећењима мотор би радио са хомогеном смешом, у случају рада са стехиометријском смешом ефикасност катализатора била би максимална, па би емисија таквог мотора била ниска. Реалност оваквих идеја има своју предисторију. То су код дизел мотора верзије М и Д система сагоревања.

Као закључак се намеће чињеница да због очувања животне средине ово питање се детаљно у будућности мора решавати и усавршавати, иако данас, постоје всавремене методе за пречишћавање издувних гасова, код нас, у Србији емисија штетних гасова је недопустива јер се возе веома стари аутомобили који се у развијеним земљама не возе већ годинама. Одређеним стандардима је прописана емисија која је прихватљива и није штетна по околину али мотори који и даље производе већу количину штетних материја и даље се возе.

5 Литература

- [1] Scindeks-clanci; Интернет страница: <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0042-8469/2007/0042-84690701019B.pdf>, приступљено 01.02.2020.
- [2] Scribd; Интернет страница: <https://www.scribd.com/doc/119937255/Sistemi-izdure%C4%91aji-za-smanjenje-emisije-izduvnihgasova-kod-motornih-vozila>, приступљено 03.02.2020.
- [3] Ms-motorservice; Интернет страница: https://www.ms-motorservice.com/fileadmin/media/MAM/PDF_Assets/Kontrola-emisije-izduvnihgasova_52487.pdf, приступљено 03.02.220.
- [4] Autorepublika; Интернет страница: <https://autorepublika.com/2018/12/18/evolocija-dizel-motora-redukovanje-emisije-stetnih-gasova/>, приступљено 06.02.2020.
- [5] Филиповић Иван, Мотори и моторна возила, Машински факултет у Тузли, Тузла, 2006
- [6] Радивоје Пешић, Снежана Петковић, Стеван Веиновић: Моторна возила и мотори опрема, Машински факултет у Бањој Луци, Машински факултет у Крагујевцу, Бања лука – Крагујевац 2008.
- [7] Scribd; Интернетстраница: <https://www.toyota.rs/>, приступљено 15.02.2020
- [8] Scribd; Интернет страница: <https://www.google.com/search?q=toyota+yaris+1.4+d-4d&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjThprh2vHiAhV666YKHfaQDJcQAUIECgB&biw=1366&bih=576#imgsrc=8gcSa-WVD1KxM>, приступљено 15.02.2020
- [9] Scribd;
https://nastava.sf.bg.ac.rs/pluginfile.php/34617/mod_resource/content/1/Tehnoloska%20poboljsanja%20na%20motoru-SCR%20i%20EGR%20tehnologije.pdf, приступљено 17.02.2020
- [10] Volkswagen; Лексикон техничких података: Филтера честица дизела, http://www.volkswagen.hr/sve_o_vw_u/inovacija/leksikon_tehnike/dieselpartikelfilter.html, приступљено 11.02.2020
- [11] Александар Давинић, Радивоје Пешић: Погонски системи у транспорту, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2018.
- [12] Александар Давинић: Идентификација карактеристика мултипроцесног рада клипног мотора СУС, Докторска дисертација, Крагујевац 2013.