



ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Моторна возила и мотори

Предмет: БМ4500-Погонски и мобилни системи

Индекс кандидата: 17/2011

Вукомановић Ненад

Издувна емисија тешких теретних возила
и аутобуса
-завршни рад-

Комисија за преглед и одбрану рада:

1. др Александар Давинић, доц.- ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, 2014.

У оквиру овог рада кандидат треба да:

- уводне напомене о настанку и штетности издувне емисије дизел мотора,
- преглед законске регулативе у области издувне емисије предметне групе возила,
- прикаже методологију мерења издувне емисије (европски тестови),
- прикаже савремену концепцију система накнадне обраде издувних гасова дизел мотора,
- прикаже перспективу примене дизел мотора у погону теретних возила и аутобуса

Препоручена основна литература:

-Miroljub V. Tomić, Stojan V. Petrović: «Motori sa unutrašnjim sagorevanjem»,
Mašinski fakultet Beograd, 2014 (Beograd : Planeta print)

-Р. Пешић, С. Петковић, С. Веиновић,: Моторна возила - опрема, Машински
факултет у Бањој Луци и Крагујевцу, 2008.

М. Томић: Опрема мотора, Машински факултет Београд, 2005.

- Званични сајтови организација, произвођача опреме и акредитованих
лабораторија у области издувне емисије.

Крагујевац, октобра 2014. год

Ментор:

др Александар Давинић, доцент

Резиме

У раду је анализирана и презентована проблематика хомологационог одређивања састава издувних гасова на моторним возилима и њихов утицај на здравље људи и животну околину, као и начин њиховог одређивања и редукације. Ова анализа је урађена у складу са прописима о техничком стању возила, који су донети због прилагођавања возила ЕУ смерницама за смањење концентрације штетне емисије издувних гасова. Анализирани су циклуси за одређивање издувне емисије гасова као и прописи одређени Еуро стандардима. Приказана су и технолошка решења за смањење издувне емисије и урађена је анализа појединачних штетних дејстава честица.

Кључне речи: емисија, издувни гасови, тешка теретна возила, дизел мотори

Abstract

In this paper is analyzed and presented problems homologation determine the composition of exhaust gases of engine vehicles and their influences on human health and the environment, and the manner of their determination and reduction. This analysis was done in accordance with the regulations on the technical condition of the vehicle, which are drawn from the EU guidelines to adapt a vehicle to reduce the concentration of harmful emissions. Cycles were analyzed to determine the exhaust gas emission regulations as well as certain Euro standards. The results are displayed and technological solutions for reducing exhaust emissions and an analysis of individual adverse effects of particles.

Key words: emission, exhaust gases, heavy duty vehicles, diesel engines

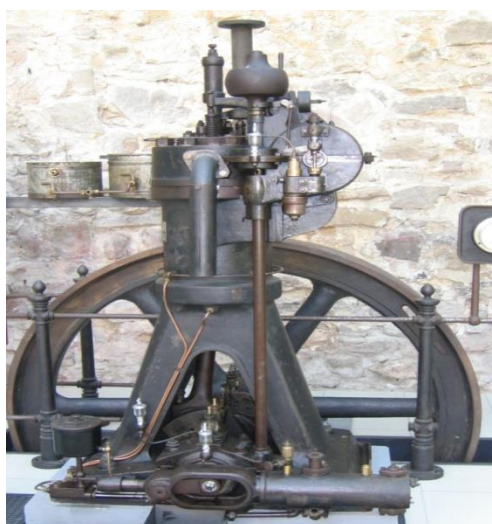
Садржај:

1.0 Увод у дизел моторе.....	3
1.1 Историја дизел мотора.....	3
1.2 Процеси СУС мотора.....	4
1.3 Убризгавање и паљење горива код дизел мотора.....	5
2.0 Емисија издувних гасова тешких теретних возила.....	6
2.1 Увод у емисију издувних гасова тешких теретних возила.....	6
2.1.1 Гасовите компоненте.....	9
2.1.2 Чврсте компоненте-честице (ПТ).....	10
2.2 Штетност издувних гасова.....	10
2.2.1 Утицај сумпора на здравље и околину.....	11
2.2.2 Утицај азотних оксида.....	11
2.2.3 Утицај приземног озона.....	12
2.2.4 Утицај честица.....	12
2.2.5 Утицајни фактори на формирање токсичних компонената.....	13
2.3 Утицај горива на издувну емисију горива.....	14
2.4 Редукција штетних материја у издувним гасовима.....	15
2.4.1 Редукција штетних материја из издувних гасова дизел мотора.....	17
2.4.2 Каталитички ковертори-катализатори.....	18
2.4.3 Повратак издувних гасова-EGR код дизел мотора.....	18
3.0 Прописи за издувну емисију.....	21
3.1 Европски прописи за тешка теретна возила.....	21
3.2 Амерички прописи за тешка теретна возила.....	23
4.0 Одређивање емисије издувних гасова.....	26
4.1 Циклус ESC.....	28
4.2 Циклуси ETC.....	27
4.3 CVS инсталација за мерење издувне емисије.....	32
5.0 Закључак.....	34
Литература.....	35

1.0 Увод у дизел моторе

1.1 Историја дизел мотора

Дизел мотор је топлотна машина са унутрашњим сагоревањем горива, која претвара потенцијалну енергију садржану у гориву у механички рад. Дизел мотор је као свој изум у фебруару 1892. године у Немачкој патентирао Rudolf Diesel, рођен у Паризу али Немац пореклом. Он је развио идеју и теоретски принцип рада ове врсте мотора – сабијање ваздуха у цилиндру тако да му знатно порасте температура, након чега се у компримирани ваздух убацује гориво које се одмах пали због високе температуре. Паљење горива изазива кретање клипа према доле и тако се остварује користан рад, који се циклично понавља. Идеја дизел мотора настала је као одговор на захтеве за машином која би имала већи коефицијент корисног дејства од парне машине, а тиме трошила мање количине горива. Ово је био први практично примењив концепт мотора са унутрашњим сагоревањем. Током развоја мотора, Diesel је направио неколико радних модела на којима је испитивао утицај појединих конструкционих и функционалних параметара на ефикасност мотора. Током 1893., Diesel је успео да произведе први модел мотора који је радио са коефицијентом корисног дејства од 26 % - за савремене дизел моторе ова цифра је мала, али у то време била је више него двоструко већа од коефицијента корисног дејства који су имале тадашње парне машине. Diesel се није овде зауставио, него је наставио са експериментима, да би 1897. године произвео дизел мотор са завидним коефицијентом од 75 %. Овај мотор, као практично употребљив, приказан је следеће године на сајму у Француској. Интересантно је напоменути да је мотор радио на уље од кикирикија, а не на нафту. [1]



Слика 1. Дизел мотор из 1906.год.

Код дизел мотора формирање смеше горива и ваздуха врши се у унутрашњости самог цилиндра (унутрашње образовање смеше). Око капљица убризганог горива у сабијеном ваздуху формира се смеша различитог састава. У центру капљице налази се чисто гориво, док се на периферији капљице формира упаљива смеша, која почиње да сагорева. Формирање смеше се изводи током самог процеса сагоревања. Саве капљице су неравномерно распоређене по простору за сагоревање. Неравномеран састав смеше око капљице и неравномерна расподела капљица у простору за сагоревање указују на то да дизел мотори заснивају свој рад на хетерогеној смеши. Дизел мотори су економичнији од бензинских мотора зато што имају већи степен сабијања. Ови мотори се користе за тежу механизацију (теретне аутомобиле, аутобусе, средње и веће бродске моторе, грађевинску и пољопривредну механизацију, индустријску и агрегатну примену и сл.) [2]

1.2 Процеси дизел мотора

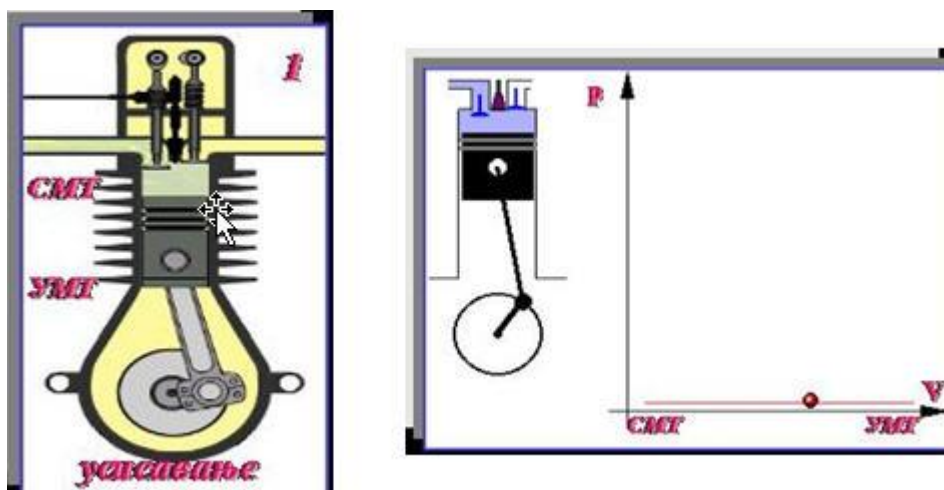
Сваки дизел мотор у току свог рада мора обавити основна пет процеса(такта):

1. усисавање,
2. сабијање (компресија),
3. сагоревање,
4. ширење (експанзија) и
5. издувавање.

Разлике између СУС мотора су у времену, месту и начину вршења ових процеса. Неки мотори врше све процесе у исто време, али на различитим местима у мотору (нпр. млазни мотор), а неки врше процесе на истом месту, али у различито време (нпр. клипни Ото и Дизел мотори).

Усисавање

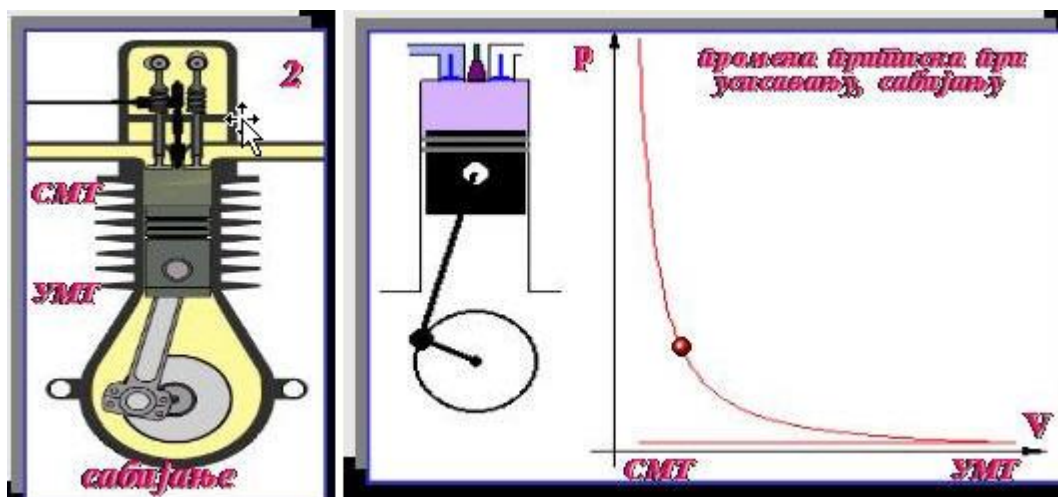
Први процес у току рада дизел мотора је усисавање. У овом процесу се сирова смеша (ваздух) усисава у мотор. Код дизел мотора се гориво убризгава тек у процесу компресије. Задатак процеса усисавања јесте да мотору обезбеди само ваздух за касније сагоревање. За време такта усисавања клип се креће од СМТ као што је приказано на слици 2, за то време је отворен усисни вентил и цилиндар се пуни свежом смешом. [2]



Слика 2. Процес уисавање код дизел мотора [2]

Сабијање

Процес компресије је врло битан, јер се у њему обезбеђују услови за сагоревање. Код сабијања су оба вентила затворена (усисни и издувни), клип се креће од УМТ према СМТ, као што је приказано на слици 3. У овом процесу мотор сабија усисану смешу коју код дизел мотора чини само ваздух. Сабијањем се повећавају притисак и температура ваздуха. Већи притисак омогућава брже и експлозивније сагоревање. Код дизел мотора, при крају сабијања се убризгава гориво и образује смешу. [2]



Слика 3. Процес сабијања код дизел мотора [2]

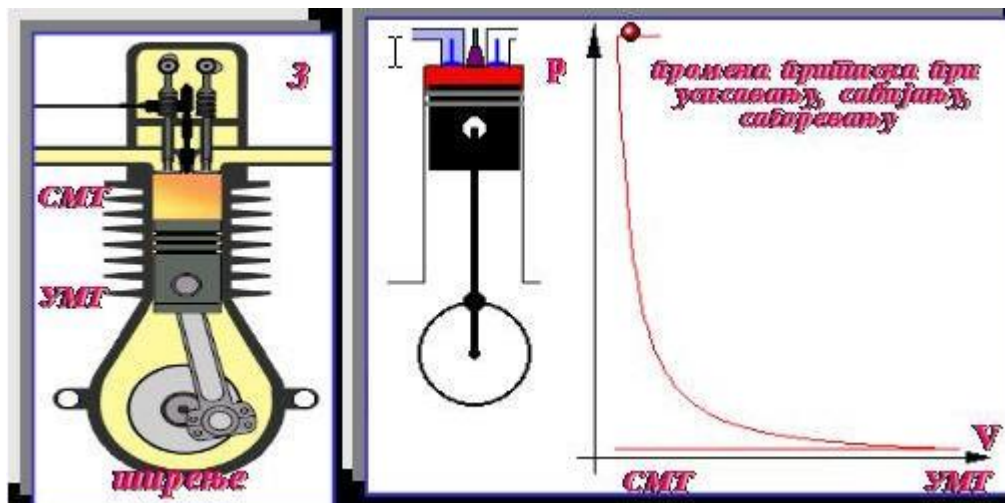
Сагоревање

У процесу сагоревања смеша горива и ваздуха се пали и сагорева ослобађајући енергију (топлоту). Гасови настали као производ сагоревања су под знатно већим притиском и температуром него смеша и имају потенцијалну енергију. Најзначајнија разлика између дизел и бензинског мотора је у начину убризгавања и паљења горива у цилиндрима. Док се код бензинског или ОТО

мотора смеша ваздуха и горива „ствара“ пре убацивања у цилиндар где се пали варницом коју даје посебан уређај - свећица, код дизел мотора у цилиндру се сабија у такту компресије само ваздух, што му уз компресиони однос од 15 до 22 подиже притисак на 40 bar (и више), а температуру на 5500°C и више. У моменту кад се клип у такту компресије приближава горњој мртвој тачки (СМТ), у цилиндар се убризгава гориво, које се због високе температуре одмах распршује у микроскопске капљице и пали. Неки мотори имају и преткоморе или вртложне коморе у глави, ради бољег мешања горива и ваздуха и стварања смеше која ће потпуније изгорети у цилиндру, а неки и посебну конструкцију чела клипа са истом сврхом. Тако нема могућности да дође до прераног паљења горива, тзв.детонације, као код бензинских мотора, па нема потребе да се у гориво додају анти-детонатори (тетра-етил олово, етанол и слично). Овај принцип знатно повећава степен корисног дејства дизел мотора, поједностављује коришћење и одржавање. Паљење горива ствара врло високи притисак на чело клипа и изазива његово кретање према доњој мртвој тачки (УМТ) у једином радном такту – експанзији. Праволинијско кретање клипа на радилици или коленастом вратилу претвара се у кружно кретање које се лакше користи за рад погоњене машине. [1]

Ширење

Експанзија је процес који даје снагу мотору, тј. врши користан механички рад. Сви остали процеси постоје само да би створили услове за овај процес. У овом процесу сагорели гасови са огромном потенцијалном енергијом се шире, потискујући клип у клипном мотору [2]

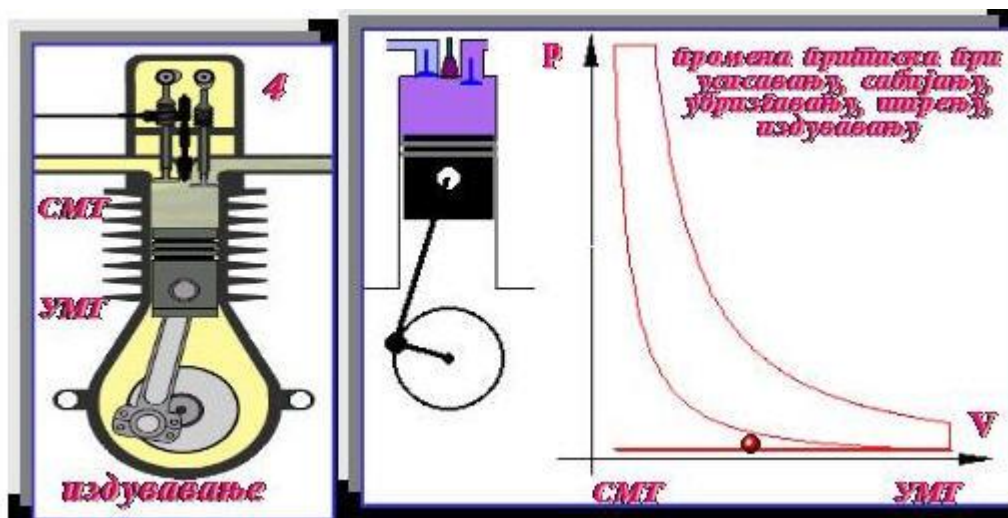


Слика 4. Процес ширења код Дизел мотора [2]

Издувавање

Процес издувавања је задужен да бескорисне гасове избаци у атмосферу. Доласком клипа у УМТ радно тело је одало највећи део енергије па се посредством разводног механизма отвара издувни вентил и радно тело се

одводи у атмосферу. Кретањем клипа према СМТ врши се потпуније истискивање радног тела. Доласком клипа у СМТ завршава се радни циклус четворотактног дизел мотора.



Слика 5. Процес издувавања код дизел мотора [2]

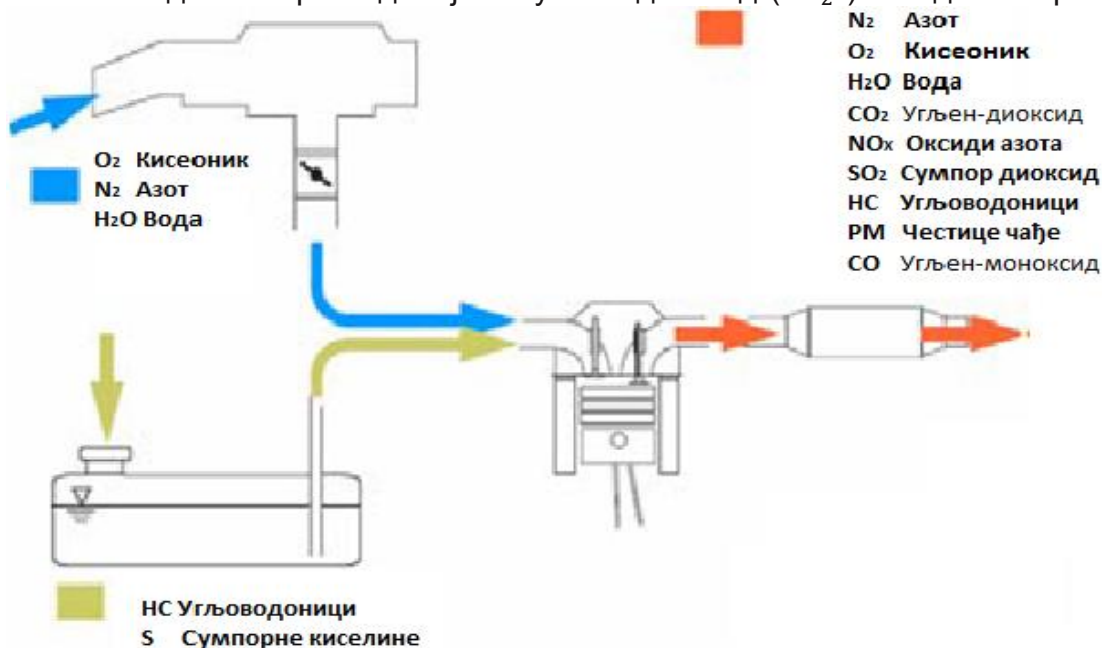
Најчешћи критеријум по којем се данас деле дизел мотори је број обртаја:

- брзоходни (број обртаја од 1000 до 2000 o/min и више),
- мотори средњег броја обртаја (број обртаја од 300 до 1000 o/min), и
- спороходни мотори (број обртаја од 60 до 200 o/min).

2.0 Емисија издувних гасова тешких теретних возила

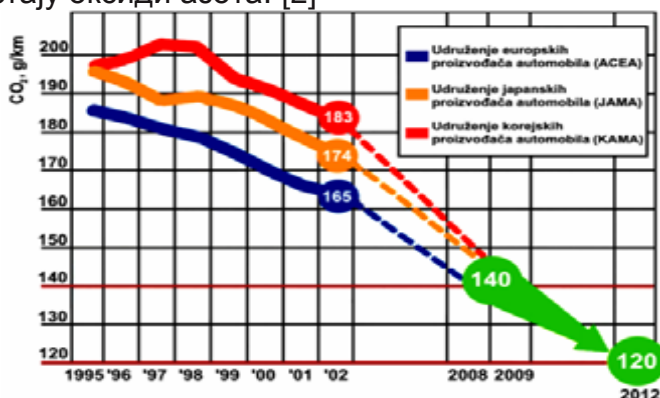
2.1 Увод у емисију издувних гасова

Сагоревање је основни процес током којег се хемијска енергија из горива претвара у топлотну 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. Начелно, што је мотор ефикаснији, то су и мање количине штетних издувних гасова. Сагоревањем бензина и дизел горива добија се угљен-диоксид (CO_2) и водена пара (H_2O).



Слика 6. Усисни и издувни систем мотора СУС са продукцијом сагоревања.[3]

У директном контакту CO_2 није штетан, али има негативну улогу у очувању животне средине, спада у гасове који чине ефекат стаклене баште и тако утиче на глобално загревање, истискује кисеоник (O_2) из ваздуха због чега може да доведе до гушења. Услед непотпуног сагоревања у моторима, заостају капљице горива и уља, и јављају се штетни гасови као што су угљен монооксид (CO), хидрокарбонати (HC), и оксиди азота (NO_x). Оксидацијом угљен-монооксида и угљоводоника са азотом, који се такође налази у издувним гасовима мотора, настају оксиди азота. [2]



Слика 7. Циљеви аутомобилске индустрије у смањењу CO_2 [3]

2.1.1 Гасовите компоненте

Угљен-моноксид (CO) је гас без боје и мириса, али је врло отрован. Смањује способност преношења кисеоника у крви, па присуство релативно мале концентрације CO изазива губитак свести, тровање и смрт након неког времена. Настаје као продукт непотпуног сагоревања, па због тога у зони богате смеше (када има вишка горива) постоји зависност CO од фактора ваздуха λ : што је смеша богатија то је концентрација CO већа. У зони сиромашне смеше не постоји значајан утицај смеше на промену концентрације CO , увек је релативно мала.

Мањим делом се јавља и као последица дисоцијације, односно распадања већ формираног CO_2 . Овом гасу се посвећује највећа пажња и његова концентрација изнад дозвољене границе директан је разлог непроласка возила на техничком прегледу. Садржај азотових оксида (NO_x), директно је зависан од фактора ваздуха λ . Највећи садржај се постиже у подручју благо сиромашне смеше $\lambda = 1,05 \dots 1,1$. У подручју богате смеше скоро сав кисеоник из ваздуха учествује у процесу сагоревања па се тек мали део веже уз азот. У подручју сиромашне смеше опада концентрација NO_x . Азотни оксиди су такође штетни за људско здравље јер надражују и оштећују дисајне органе. Њихов садржај утиче и на смањење видљивости, стварање фотохемијског смога, разарања озона у вишим слојевима атмосфере, стварање штетног озона у нижим слојевима атмосфере, као и стварање киселих киша.[3]

" HC " је уствари 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. HC су продукти недовршеног сагоревања које је или потпуно изостало (код неповољних услова) или потичу из зона у комори у којима долази до гашења пламена. То је слој у близини релативно хладних зидова коморе, процеп између клипа и цилиндра до првог клипног прстена и сл.

HC у издувним гасовима може настати и услед повећане потрошње уља у мотору. Најмања концентрација HC се постиже у зони благо сиромашне смеше $\lambda = 1,1$. У зони богате смеше HC се понаша слично CO , односно што је смеша богатија то је концентрација HC 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 HC у сиромашној смеси је раније гашење гориве смеше у цилиндрима и несагоревање укупне масе горива.

Оксиди азота такође иритирају слузокожу, учествују у формирању реактивног озона и "фотохемијског" смога и у реакцији са водом стварају киселине (одговорни су за тзв. "киселе кише").

Оксиди азота настају оксидацијом азота из ваздуха при високој температури да би се они формирали у значајнијој количини потребно је дејство два фактора: високе вршне температуре циклуса (испод 2000 K практично их нема) и довољне количине кисеоника. У комори се углавном формира азотмоноксид (NO) који током издувавања и касније у атмосфери прелази у азот-диоксид (NO_2).[3]

2.1.2 Чврсте компоненте-честице (ПТ)

Честице се углавном јављају код дизел мотора као продукт пиролитичких реакција сагоревања горива на високим температурама при недостатку кисеоника (када је код дизел мотора капљица горива изложена високој температури, а у њеној околини нема кисеоника односно ваздуха због непотпуног мешања). Тада се издвајају виши угљеници C_{12} до C_{25} (којих има у дизел гориву) који формирају кристалне структуре честица чађи величине (0,1 до $2 \div 3 \mu m$). Те иницијалне честице чађи (угљеника) се међусобно везују у веће честице ($10 \div 50 \mu m$) које упијају органске киселине (на бази тешких угљоводоника из горива и уља) и неорганске киселине (на бази сумпора које гориво садржи) тако да постају веома токсичне. Раније је емисија честица посматрана као "димност" издувних гасова, односно емисија црног дима (који је уствари суспензија честица у издувном гасу) и мерена је као прозирност ("опацитет") издувних гасова. Данас се емисија честица мери гравиметријски, односно, мери се маса чврстог депозита на керамичком филтеру кроз који пролази узорак гаса. Концентрација CO се изражава у [%] док се концентрације HC и NO_x због знатно мање количине изражавају у "ppm" (делова у милион, $1 ppm = 1/10000 \%$).

Код ото мотора у нормалним условима нема честица. У издувним гасовима увек има кисеоника (O_2), који је последица непотпуног сагоревања. У зони богате смеше његова концентрација је минимална, али преласком у зону сиромашне смеше његова концентрација расте. [3]

2.2 Штетност издувних гасова

Грађани Европе поседују 214 милиона аутомобила (податак из 2004. године) или 38 % више него 1990. године. Сваки аутомобил годишње емитује три пута више штетних материја него што износи његова тежина. То годишње проузрокује смрт стотина хиљада становника. Само у Америци за годину дана умре преко 60 000 становника од последица високог степена загађености ваздуха. У Великој Британији тај број је већи од 10 000, у Мексико Ситију 70% деце заостаје у развоју услед штетних гасова у ваздуху.

На слици 8. приказан је утицај појединих полутаната на здравље људи и животну средину. Може се закључити да азотни оксиди (NO_x) имају најшири утицај, како појединачно, тако и у комбинацији, формирајући штетна једињења. [4]

Утицај	PM	HMs	POPs	SO ₂	NH ₃	NO _x	NM VOC	CO	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Локални (здравље)											
Регионални											
Киселе кише											
Еутрофикација											
Приземни озон											
Глобални											
Ефекат GHG (индиректни)											
Ефекат GHG (директни)											

Слика 8. Утицај појединих штетних елемената по људско здравље и животну средину [4]

Легенда: PM - честице (дим и чађ); HMs- тешки метали; POPs - дуготрајни органски загађивачи; SO₂ - сумпордиоксид; NH₃ – амонијак; NO_x - азотни оксиди; NM VOC-неметанска испарљива органска једињења; CO - угљенмоноксид; CH₄ - метан; CO₂ - угљендиоксид; N₂O - азотсубоксид; GHG - гасови са ефектом стаклене баште.

2.2.1 Утицај сумпора на здравље и околину

Ефекти сумпор-диоксида SO₂ на људско здравље: Сумпор диоксид је јак иритант према слузокожи очију и слузокожи респираторног тракта. При удисању мањих концентрација SO₂ изазива надражај респираторних путева (претежно горњих). Веће концентрације SO₂ и његови секундарни продукти изазивају озбиљније ефекте. Већа влажност ваздуха и магла повећавају опасност због настанка сумпорне киселине која, адсорбована на честицама аеросола, продире у плућа где оштећује мембране алвеола и тиме смањује витални капацитет плућа, а продире и у крвоток и лимфни систем. Данас је у свету преко 625 милиона људи изложено високим концентрацијама сумпордиоксида. Утицају овог гаса су нарочито подложне особе оболеле од астме и физички активне особе. [5]

2.2.2 Утицај азотних оксида

Приземни озон (Смог) – формира се у реакцији NO_x и испарљивих органских спојева (VOC_s), а у присуству сунчеве светлости. Деца, особе са проблемима дисајних органа попут астме и људи који раде напољу, подложни су ефектима као што су оштећења плућног ткива и смањење плућне функције. Озон може бити пренесен ветром и узроковати здравствене проблеме далеко од оригиналног извора.

Киселе кише NO_x и сумпор диоксид реагују са другим супстанцама у атмосфери у облику киселине која пада на земљу као киша, магла, снег или дехидрираних честица. Киселе кише наносе следеће штете: узрокује оштећења возила, објеката, историјских споменика, а језера и потоци постају киселкасти и немогући за живот риба.

Честице - NO_x реагује са амонијаком, влагом и другим компонентама у облику азотних киселина и сродних честица. Директни утицаји на људско здравље могу бити у виду оштећења плућног ткива и дисајних органа као и прерану смрт. Мале честице продиру дубоко у осетљиве делове плућа и може узроковати или погоршати болести дисајних органа, као што су емфизем и бронхитис и погоршати постојеће болести срца.

Глобално загревање – Азотни оксид је један из фамилије NO_x и представља гас стаклене баште. Он се акумулира у атмосфери са другим гасовима стаклене баште и изазива постепен пораст Земљине температуре. То ће довести до повећаног ризика по људско здравље, а тиме и пораст нивоа мора и других промена на биљна и животињска станишта.

Токсичне хемикалије - У ваздуху, NO_x одмах реагује са органским хемикалијама, па чак и озонем, у облику разних токсичних производа, са којима може изазвати биолошке мутације.

Умањење видљивости – Азотне честице могу блокирати пренос светла, смањити видљивост у урбаним подручјима. [4]

2.2.3 Утицај приземног озона

Озон може надражити дисајне путеве и нанети повреде попут опекотина од сунца. Други симптоми укључују тешко дисање, кашаљ, болове када се узима дубок дах и потешкоће дисања током вежби или отворених активности. Особе с проблемима дисајних органа су најрањивије, па чак и здрави људи који су активни на отвореном могу бити погођени кад су високи нивои озона.

Понављање изложености неколико месеци озонским загађењима могу узроковати трајна оштећења плућа. Чак и на врло ниским концентрацијама, приземни озон изазива разне здравствене проблеме, укључујући погоршање астме, смањење капацитета плућа, као и повећану осетљивост на дисајне болести као што су упала плућа и бронхитис. [4]

2.2.4 Утицај честица

Честице, које упијају канцерогена једињења, су толико мале да могу допрети дубоко у плућа и узроковати озбиљне здравствене проблеме. Величина честица индиректно је повезано са њиховим потенцијалом за изазивањем здравствених проблема. Честице мање од 10 микрометара у пречнику представљају и највећи проблем јер оне могу продрети дубоко у плућа, а неке чак могу пенетрирати и у крвоток. Фине честице су такође и главни узрок смањене видљивости.

Кардиоваскуларни утицаји: Здравствена угроженост од мањих концентрација CO је најтежа је за оне који пате од болести срца, као што је ангина или зачепљење артерије. За особе са срчаним болестима, изложеност малим концентрацијама CO може узроковати болове у грудном кошу и смањити способност те особе за кретањем.

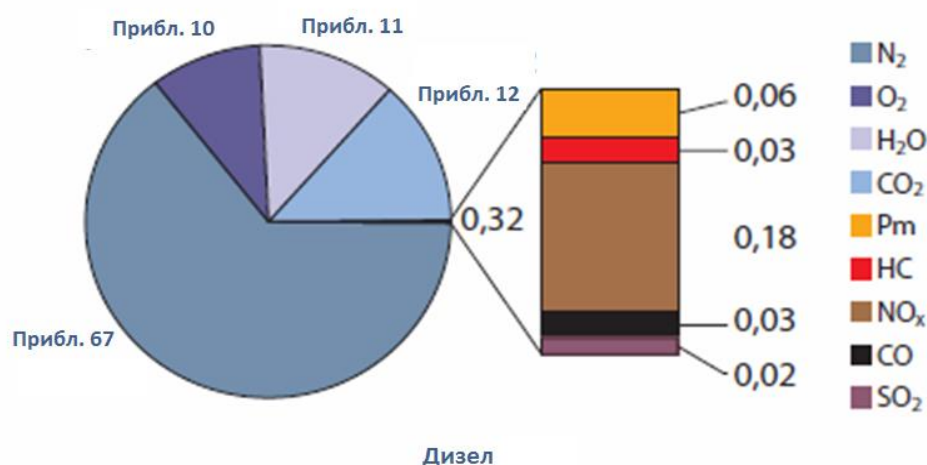
Ефекти на централни нервни систем: Чак се и на здраве људе може утицати високим концентрацијама CO . Људи који удишу тако високе концентрације CO могу имати проблеме као што су смањена способност за рад или учење. На изузетно високим нивоима CO је отрован и може изазвати смрт. [4]

2.2.5 Утицајни фактори на формирање токсичних компонената

С обзиром да дизел мотор увек ради са сиромашном смешом, концентрације CO и HC су знатно мање него код ото мотора. Концентрације NO_x су такође ниже јер су и вршне температуре циклуса ниже. Велики проблем дизел мотора је емисија честица (ПТ). Један од најважнијих утицајних фактора је и овде састав смеше. Треба имати на уму да код дизел мотора промена састава смеше уједно представља и промену оптерећења, односно, при пуном оптерећењу састав смеше је на граници дима (λ_{min}), а при ниском оптерећењу смеша је врло сиромашна. CO као продукт непотпуног сагоревања настаје као последица несавршеног мешања горива и ваздуха и локалног недостатка кисеоника (иако је смеша у глобалу врло сиромашна). Концентрације су мале на нивоу 0,1% (1000 ppm). На граници дима могу достићи и 0,5%.

HC несагорели угљоводоници су резултат незавршене оксидације горива убризганог при крају процеса убризгавања или при накнадном убризгавању. Могу потицати и из горива заосталог у брызгачу између отвора и иглице. Концентрације су мале, на нивоу 100 ÷ 300 ppm.

Генерално CO и HC нису проблем код дизел мотора. NO_x настају оксидацијом азота из ваздуха при високој температури. Због тога је њихова концентрација значајна само при високом и максималном оптерећењу, близу границе дима, јер су максималне температуре циклуса ниже при ниском оптерећењу. Могу се јавити концентрације до око 3000 ppm. [4]

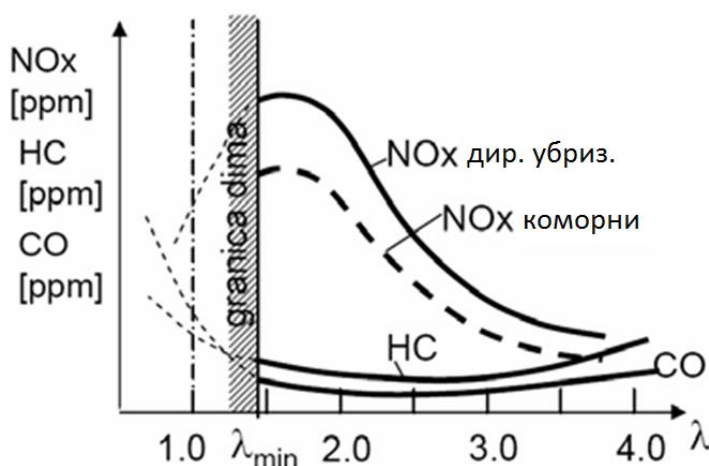


Слика 9. Процентуални састав издувних гасова дизел мотора [3]

Увођењем Еуро норми издувни систем и сви његови елементи последњих година су постали важнији него икад захваљујући његовом директном утицају на потрошњу горива и подешавање рада мотора.

2.3 Утицај горива на издувну емисију моторних возила

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 (нарочито CO и HC), сл. 10. 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) количине HC и CO су релативно ниске. Међутим, тада је продукција азотних оксида веома висока. Такви односи говоре о комплексности проблема једновременог смањења емисије свих штетних компоненти у исто време. [3]



Слика 10. Утицај састава смеше ваздуха и горива на токсичне компоненте у издувним дизел мотора.[3]

У свету се 60-тих и 70-тих година прошлог века почело са законским санкционисањем издувне емисије мотора и моторних возила, при чему су законски прописи о контроли издувне емисије сукцесивно пооштровани. Законски су санкционисане токсичне компоненте издувних гасова које се јављају у значајнијој количини.

Количине штетних материја у гасовима који излазе из издувне цеви моторног возила зависе од технолошког нивоа возила и квалитета горива. За сваки ниво емисијских захтева потребно је ускладити конструкцију возила и квалитет горива. Жеље произвођача возила и мотора сажете су у Светској повељи о квалитету горива *Worldwide Fuel Charter 3 (WWFC)*. Оне су по правилу увек нешто веће од онога што је одобрено законским прописима (Еуро I, II, III, IV, V, VI...). *Worldwide Fuel Charter* предлаже по четири категорије бензина и дизел

горива, чије карактеристике одговарају технолошким нивоима мотора и возила намењених различитим емисијским захтевима широм света.

Проблеми услед садржаја сумпора у гориву уочени су најпре код дизел мотора, где оно доводи до повећања концентрације чађи која се манифестује као црни дим из издувне цеви мотора под повећаним оптерећењем. 1992. године у ЕУ било је предложено ограничење садржаја сумпора у будућим бензинима, али су ограничења уведена тек 1996. године. Ако се сумпор у дизел гориву смањи са 350 на 10 mg / kg , емисија честица ће се смањити за 20% без икаквих интервенција на мотору, а потрошња ће бити мања за 1,4%.

Примена нових, термички отпорнијих трокомпонентних катализатора уколико је садржај сумпора висок није могућа јер високи садржај сумпора од 150 mg / kg разара катализатор.[4]

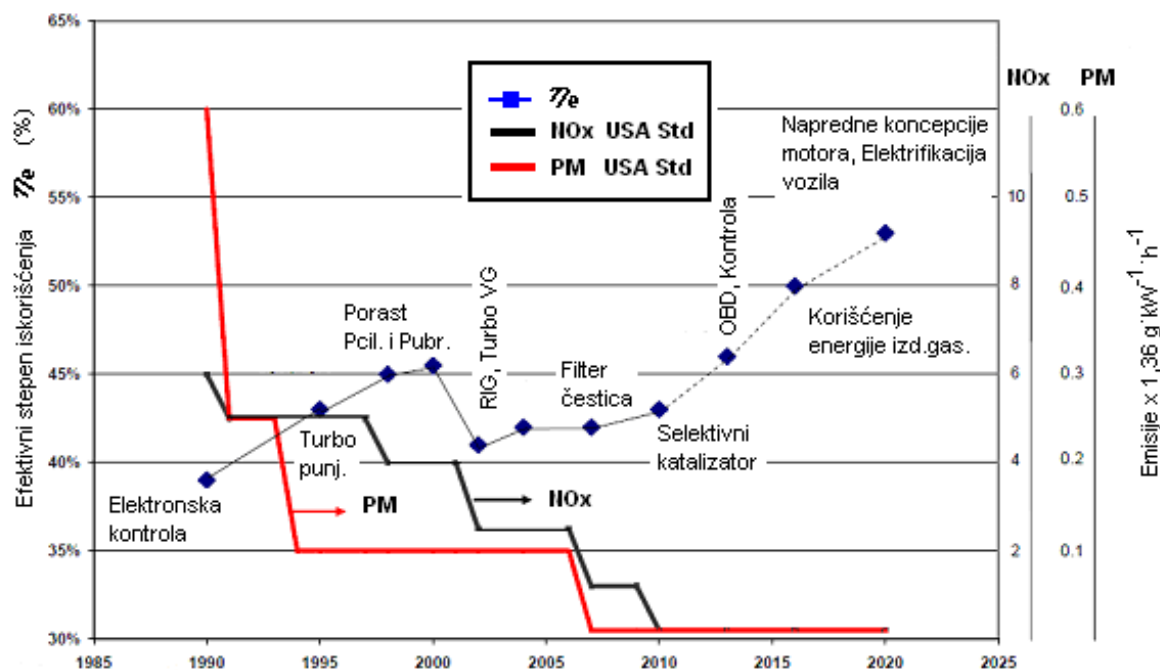
2.4 РЕДУКЦИЈА ШТЕТНИХ МАТЕРИЈА У ИЗДУВНИМ ГАСОВИМА

Возила са дизел мотором (са компресионим паљењем), након што је мотор постигао радну температуру прописану од стране произвођача возила, не смеју имати средњи коефицијент зацрњења издувног гаса већи од вредности прописане од стране произвођача и декларисане према једнообразним техничким условима. Ако подаци произвођача возила нису познати, тада за:

- 1) возила без надпуњења, вредност средњег зацрњења не сме бити већа од 2,5 m^{-1}
- 2) возила са надпуњењем, вредност средњег зацрњења не сме бити већа од 3,0 m^{-1}

Нека од конструктивних решења за побољшање сагоревања смеше код дизел мотора у циљу смањене штетне емисије издувних гасова:

- обликовање компресионог простора у коме се дешава процес сагоревања смеше;
- преднабијање и хлађење сабијеног ваздуха;
- повратак издувних гасова у усисну грану (ЕГР);
- одређивање тренутка почетка и завршетка убризгавања горива;
- накнадна обрада издувних гасова (катализатор и филтер);
- опремање мотора бољим системима за напајање горивом;



Слика 11. Утицај дизел технологија на емисију и економичност мотора теретних возила

Једно од најчешће коришћених конструктивних решења које се врло често користи код дизел мотора је преднабијање усисаног ваздуха. Са преднабијањем усисаног ваздуха се осим смањења садржаја азотних оксида (NO_x) и смањења зацрњења издувних гасова, постиже повећана снага мотора уз исту радну запремину. Преднабијањем се у мотор убацује већа количина ваздуха од оне коју би сам мотор усисао. Најчешће извођење преднабијања је помоћу турбине коју покреће кинетичка енергија издувних гасова. Да би се ограничио притисак преднабијања на оптималан и при томе заштитила сама турбина и мотор, у овакве системе обавезно се поставља регулаторски вентил који има задатак да у случају повећања притиска у усисној грани омогући пролаз издувним гасовима поред турбине. Регулација притиска преднабијања може се извести и без регулаторског вентила, али се тада уграђује турбина променљивог положаја статорских лопатица ("турбина променљиве геометрије").

Треба напоменути да из разлога што дизел мотори раде са великим фактором ваздуха, код њих није била могућа примена регулисаних катализатора троструког дејства већ су се примењивали само нерегулисани катализатори који редукују угљен моноксид (CO) и несагореле хидрокарбонате (HC)-оксидациони катализатори. Данас се на савремене дизел моторе (Еуро IV) уграђују катализатори троструког дејства. [4]

2.4.1 Редукција штетних материја у издувним гасовима дизел мотора

Код дизел мотора је у највећој мери присутна интеграција система за напајање мотора горивом, система за пречишћавање издувних гасова и горива. За добро сагоревање, ниску потрошњу горива, ниску емисију чађи и ниску емисију буке важни су високи притисци убризгавања, добро распршивање горива у цилиндру, што је могуће већа слобода у избору тренутка почетка и краја убризгавања као и вишеструко убризгавање у једном радном циклусу. Од свих система убризгавања горива ове захтеве најбоље испуњава систем *Common Rail* (систем са заједничком магистралом). Електронска управљачка јединица управља радом целокупног мотора и система за пречишћавање издувних гасова. Вишеструким убризгавањем у првом реду смањује се бука при малом оптерећењу мотора чиме је значајно побољшана акустичка удобност путника и смањен утицај на околину, а такође је важно за регенерацију катализатора и уређаја за хватање и оксидацију честица. Највећи притисак убризгавања данас износи 1800 *bar* и у радном подручју мотора се може одржавати у жељеним границама. За време рада у једној радној тачки мотора притисак убризгавања остаје константан што је велика предност у односу на све остале системе убризгавања. У погледу потенцијалних могућности за смањивање штетних емисија *Common Rail* нема премца.

Међутим, трајност ових нових система још није достигла ону коју имају класични механички системи убризгавања, а осетљивост на квалитет и чистоћу горива је знатно већа. Захваљујући сталним побољшањима поузданост је значајно порасла па *Common Rail* својим предностима истискује са тржишта све остале системе убризгавања. [6]

Трајност система за пречишћавање издувних гасова Еуро IV, код путничких возила (M1), мора износити најмање 100.000 *km* или пет година па до најмање 500.000 *km* или 7 година код тешких теретних возила и аутобуса (N3 масе преко 16 *t* и M3 преко 7,5 *t*). Због великог вишка ваздуха сагоревање у цилиндру дизел мотора је готово потпуно па су емисије CO и HC врло ниске. Главни проблем представљају круте честице (чађ) и оксиди азота. За њихово уклањање примењују се два основна концепта:

1. Уређај EGR за делимични повратак дела издувних гасова (води смањењу NO_x) у комбинацији са филтером за хватање и сагоревање честица, или
2. уређај SCR за селективну каталитичку редукцију азотних оксида помоћу водене смеше амонијака.

Иако се на први поглед чини да би ова друга концепција требала бити надградња првој, сада није тако. Код примене SCR -а нема потребе за повратком издувних гасова у цилиндар, уређај EGR је непотребан, па се потребно смањење емисије честица може постићи оптимизацијом процеса сагоревања у цилиндру у коме више нема старих издувних гасова који би ометали сагоревање. У *Daimler Chrysler*-у сматрају да је систем SCR пуно прикладнији за Европу од филтера честица због високог садржаја сумпора у горивима земаља Источне Европе, зато што сумпор у гориву доводи до повећаног стварања чађи, што даље резултује честим регенерисањем филтера честица и на крају његовим уништењем. Насупрот томе, ако возило са SCR уређајем неко време вози без амонијачне течности (зато што је на пумпним

станицама за гориво нема) то неће имати никаквог утицаја на систем за пречишћавање издувних гасова. [6]

2.4.2 Каталитички конвертори-катализатори

Иако су се почели веома рано уграђивати на ото motore, катализатори се тек релативно кратко време уграђују и на дизел motore. И овде им је задатак смањивање штетних састојака CO , HC и NO_x у издувним гасовима. С обзиром на врсту хемијских реакција могу се поделити на оксидацијске и редукцијске.

Код дизел мотора је сагоревање, због великог вишка ваздуха у великој мери потпуно па издувни гасови готово и не садрже CO и HC . Главни проблем су честице, које се највећим делом састоје од чађи и оксиди азота (NO_x). Троструки катализатор који веома добро смањује оксиде азота код ото мотора, овде се не може применити јер дизел мотор увек ради са великим вишком ваздуха. Због тога је све до 2005. године требало чекати на дуго најављивани D_eNO_x -катализатор за дизел motore како би достигао степен трајности и поузданост какву данас тржиште моторних возила очекује. [6]

2.4.3 Рециркулација издувних гасова-EGR код дизел мотора

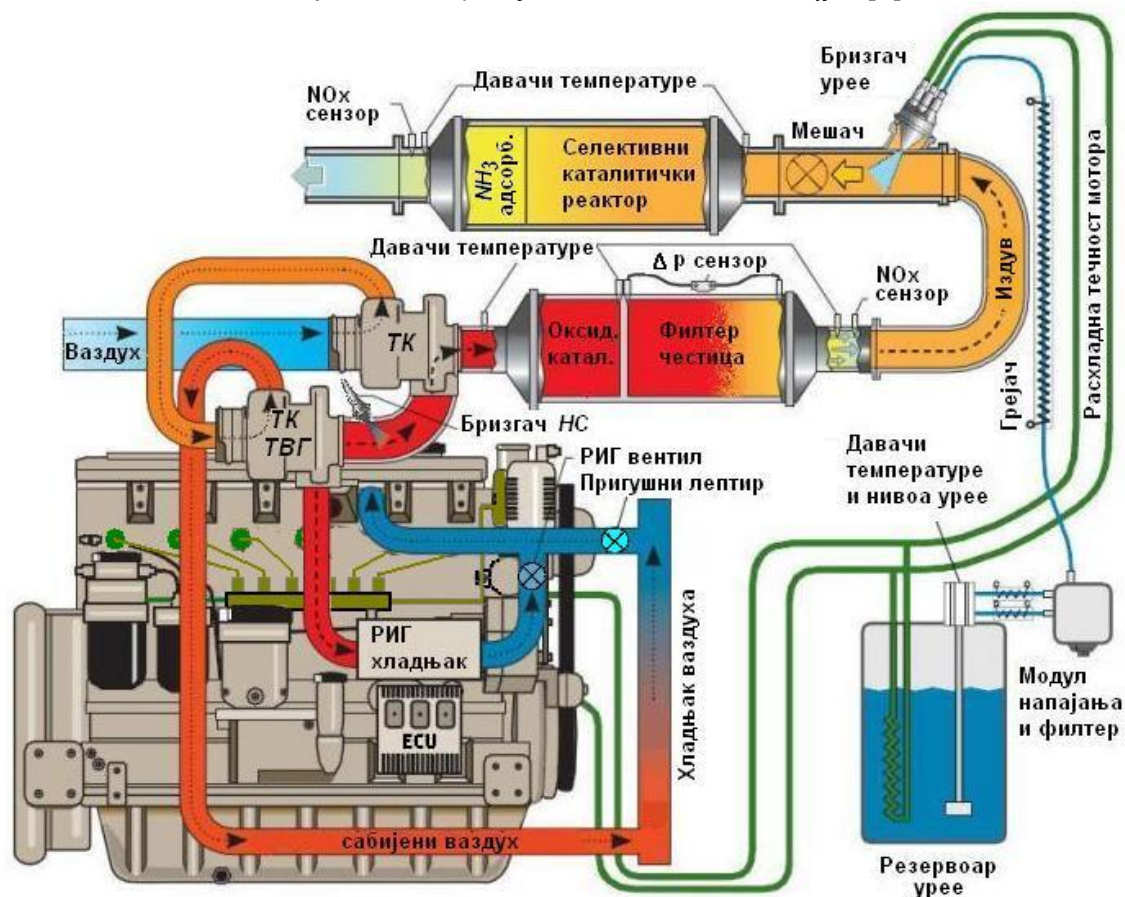
Овај систем код дизел мотора функционише на исти начин као и код ото мотора. Код EGR (exhaust gas recirculation- систем за рециркулацију издувних гасова) -система дизел мотора, део издувних гасова (до 60%) из издувне гране преусмерава се путем регулисаног EGR вентила поново у усисну грану. Издувни гасови који се доводе поново у цилиндар не учествују у сагоревању, али троше топлоту да би се загрејали. То смањује високе температуре за време сагоревања у цилиндру, које су главни узрочник стварања NO_x . Наиме, иако је азот код нормалних температура инертан, код врло високих температура, које настају у цилиндру спаја се са кисеоником.

Све до појаве система попут *AdBlue* и *BlueTec* ово је био једини начин смањивања штетне емисије азотних оксида код дизел мотора. Почевши од нивоа Еуро III, уређај EGR се уграђује у све дизел motore моторних возила у друмском саобраћају, осим оних најновијих који имају систем SCR.

SCR (*Selective Catalytic Reduction*) је уређај са селективном каталитичком редукцијом оксида азота. Уграђује се на motore који већ сада задовољавају ниво Еуро V (или су томе веома близу). Фабрика *Bosch* је за смањивање азотних оксида код моторних возила развила систем који ради на принципу селективне каталитичке редукције SCR (*Selective Catalytic Reduction*), а као редукцијско средство користи 32,5% течне урее познату под називом *AdBlue*. Посебним уређајем за дозирање *AdBlue* се уводи у издувни систем између оксидацијског и редукцијског катализатора где се распада на амонијак који служи као оксидационо средство. Возила опремљена системом SCR имају самодијагностички уређај OBD (*On Board Diagnostic*) који је саставни део управљачког уређаја система.

У поређењу са решењима примењеним на моторима Еуро IV смањење емисије NO_x износи до 85%, а потрошња горива је мања до 5%. Побољшањима процеса сагоревања у мотору емисија честица смањена је за 40%. Потрошња *AdBlue* је 5% од потрошње горива, цена у Немачкој је 0,5 €/l, а купује се на станицама за снабдевање горивом.

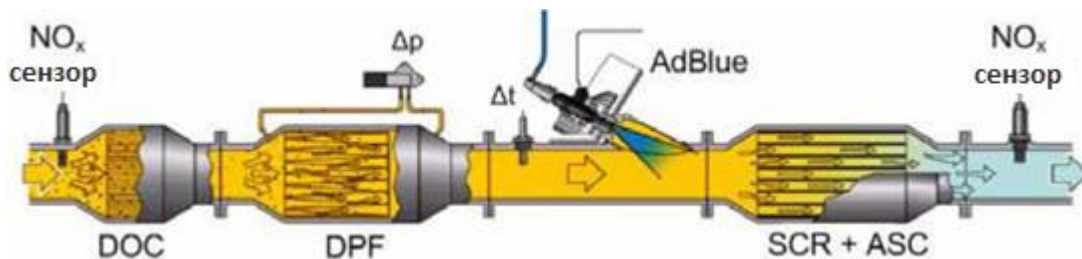
Набројане мере смањују емисију издувних гасова, али нису довољне за задовољење строгих прописа (Еуро V, а поготово Еуро VI). Због тога се развијају технологије за накнадно пречишћавање издувних гасова, али ту још не постоји "стандардна" технологија (као што је код ото мотора примена трокомпонентног катализатора). Слика 12. приказује шему система за пречишћавање издувних гасова дизел мотора који задовољава захтеве Еуро VI за емисијом штетних материја. Оксидацијски катализатор (*DOC - diesel oxidation katalysator*) служи за смањење количине NO_x у издувним гасовима, филтер честица чађе (*DPF –енг. diesel particulate filter*) служи за сакупљање честица и накнадно сагоревање, *SCR + ASC* катализатор (*Selective Catalutic Reduction + Ammonia Slip Catalust*) служи за смањење NO_x . [3]



Слика 12. Концепција савременог дизел мотора

Код *SCR* технологије се користи адитив познат као *AdBlue* који се убризгава у издувне гасове пре него што прођу кроз *SCR* катализатор. У катализатору се азотни оксиди претварају у нешкодљив азотни гас и водену пару, материје које се већ налазе у нашој животnoj средини. Активна материја у течности *AdBlue*, уреа, добија се из природног гаса. Уреа је бели кристални прах који се такође налази у животnoj средини. Она је постојана и неотровна материја која нема ограничења по питању складиштења или транспорта. *EGR* систем се првенствено користи за подизање температуре издувних гасова када мотор није довољно врео да загреје издувне гасове, који морају да достигну температуру од најмање $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ како би *SCR* систем радио оптимално. За разлику од стандардних *EGR* система, који расхлађују рециркулисане издувне гасове да би смањили температуру мотора и умањили емисију азотних оксида, *EGR* систем

на Еуро VI мотору је практично неактиван при кретању сталном брзином на аутопуту, односно не утиче на потрошњу горива при таквом режиму возње. Код Еуро V мотора, на пример, убризгава се више течности *AdBlue* да би се додатно смањила количина азотних оксида. Количина адитива код Еуро IV мотора износи око $3 \div 4\%$ количине горива, а код Еуро V мотора око $5 \div 7\%$. Процена је Европске комисије да повећање цене возила због преласка са Еуро IV на Еуро V износи 377 € за возило са дизел мотором, а 51 € са ото мотором. [4]



Слика 13. Шема приказа Еуро VI издувног система дизел мотора са *AdBlue*. [3]

Прописана минимална трајност уређаја за пречишћавање издувних гасова износи од 100.000 *km* или 5 година за возила категорија M1 за пропис Еуро V, а ступањем на снагу прописа Еуро VI у 2014. години ове ће границе бити повећане на 160.000 *km* или 5 година.

Код дизел мотора средњи ефективни притисак, а тиме и снага мотора се не контролише преко пуњења цилиндра, као код бензинског мотора, већ преко убризгане количине горива при константном пуњењу цилиндра ваздухом. При делимичном оптерећењу, дизел ради са високим ламбда односом ваздуха.

Проток враћених издувних гасова је тако регулисан да се падањем температуре мотора, већа количина издувних гасова пропусти у уисни ваздух. Овај процес не утиче на недостатак ваздуха за сагоревање, пошто при делимичном оптерећењу је мала и количина убризганог горива.

Да би се испунили захтеви у вези са емисијом издувних гасова, користи се систем за рецикулацију издувних гасова (EGR) и пречистач ("филтер") за чврсте честице настале сагоревањем дизел горива (*DPF*). У поређењу са стандардом Еуро V, емисија азотних оксида је смањена за 77%, а емисија чврстих честица је преполовљена.

3.0 Прописи за издувну емисију

3.1 Европски прописи за тешка теретна возила

Циљ доношења оваквих Еуро стандарда је унутар Европе прокламован као борба за чистији ваздух. Механизам примене је једноставан – у тренутку када Еуро прописи ступе на снагу, продаја возила чији мотори не испуњавају нове захтеве престаје да буде могућа. Стога је одлучено да се нормативи доносе неколико година унапред, како би произвођачи били у прилици да освоје производњу мотора који ће задовољавати прописане вредности. Програм Еуро регулатива личи на ред вожње за бољу будућност.

У почетку је у Европи у издувним гасовима аутомобилских мотора била ограничена само емисија CO , од 1970. године ограничена је и емисија HC . Од 1977. ограничена је емисија NO_x (најпре само за моторе са спољним извором паљења-отови мотори), а од 1988. године је ограничена и количина честица (ПМ) код дизел мотора. Од 1992. године поједине границе дозвољених емисија штетних материја носе назив Еуро.

Регулатива за теретна возила је уведена Директивом 88/77/ЕЕС и након ње су донети бројни амандмани. Прописи су 2005. године измењени и утврђени директивом 05/55/ЕС, табела 1. Од Еуро IV нивоа прописи се поједностављују и досадашње „директиве“ – које морају да буду уграђене у све националне законе – биће замењене са „регулативама“ које су применљиве непосредно. Испод су набројане неке најважније регулативе код теретних возила:

- Еуро I стандард је уведен 1992., а одмах затим уведен је Еуро II стандард у 1996. Ови стандарди су се односили и на теретна возила и на аутобусе, мада је стандард за градске аутобусе био необавезан.

- У 1999, ЕУ је усвојила Директиву 1999/96/ЕС, која уводи Еуро III стандард (2000), а такође и Еуро IV/V стандарде (2005/2008). Тада су извршене и промене у тесту за мерење емисије, стари моторски тест ECE R-49 је замењен са два циклуса: стационарни циклус ЕСЦ и транзијентни циклус ЕТЦ. Капацитет издувних гасова се мери у ЕЛР тесту. Од 2000. године произвођачи дизел мотора могу да бирају на ком тесту желе хомологацију.

Тада је уведено необавезно поштравање граница за емисију, за возила се изузетно ниском емисијом (енг. „extra low emission vehicles“) која се називају још и „напредна возила пријатељски оријентисана ка окружењу“ (енгл. „enhanced environmentally friendly vehicles“). [3]

- У 2001, Европска Комисија прихватила је Директиву 2001/27/ЕС која забрањује коришћење посебних уређаја (енгл. „defeat devices“) или ирационалне регулације за контролу емисије, који доводе до смањења ефикасности система за накнадну обраду издувних гасова у нормалним режимима експлоатације, а задржавају максималну ефикасност само у режимима теста за мерење емисије.

- Директива 2005/55/ЕС прихваћена од стране ЕУ Парламента у 2005.-ој години, уводи захтеве за век и за OBD дијагностиком. Такође су усвојене и границе емисије за Еуро IV и Еуро V које су публиковане у 1999/96/ЕС.

- У децембру 2007., Комисија је публиковала прописе за Еуро VI стандард за емисију [COM(2007) 851]. Нове границе за емисију, упоредиве са US 2010 стандардом, ступају на снагу 2013/2014.

Допунска правила које уводи Еуро VI укључују:

- Концентрација амонијака (NH_3) је ограничена на 10 ppm за дизел моторе (ESC+ETC) и гасне моторе (ETC).

- Гранична вредност броја честица се дефинише (након резултата програма мерења - UN/ECE Particulate Measurement Programme, PMP) а према ограничењу њихове масе. Ограничење броја честица треба да спречи могућност да се граница за масу честица у Еуро VI не може задовољити једноставним технологијама (као што је „отворени филтар“) који омогућавају пролаз великом броју веома ситних честица. [2]

- Усаглашени-светски циклус (World Harmonized test cycles –WHC and World Harmonized Transient test cycles WHC/WHTC) се користи као тест циклус за Еуро VI. Основне границе за емисију у WHC/WHTC тесту биће уведене на бази фактора корелације вредности код постојећих ESC/ETC тестова. [3]

Циљ	Датум и категорија	Тест	CO	HC	NO _x	PM	Дим m ⁻¹
Euro III	X 2000.	ESC&ELR	2.1	0.66	5.0	0.1 0.13*	0.8
	X 1999. EEVs	ESC&ELR	1.5	0.25	2.0	0.02	0.15
Euro IV	X 2005.		1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
Euro V	X 2008.		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5
Euro VI	X 2013.		1.5	0.13	0.4	0.01	
Стандарди за емисију за дизел и гасне моторе, према ETC тесту g/kWh							
		Тест	CO	NMHC	CH ₄ ^a	NO _x	PM ^b
Euro III	X 1999. EEVs	ETC	3.0	0.40	0.65	2.0	0.02
	X 2000.	ETC	5.45	0.78	1.6	5.0	0.16 0.21*
Euro IV	X 2005.		4.0	0.55	1.1	3.5	0.03
Euro V	X 2008.		4.0	0.55	1.1	2.0	0.03
Euro VI	X 2013.		4.0	0.16 ^c	0.5	0.4	0.01

Табела 1. Европски прописи за тешка теретна возила [3]

Легенда:

*Мотори са запремином по цилиндру испод 0.7 dm³, а бројевима обртаја 3000 min⁻¹

а-само за моторе на природни гас

б-не примењује се за гасне моторе у 2000. и 2005.-ој години

с-THC (укупни угљоводоници) за дизел моторе

EEVs-возила веома ниске емисије

ESC-European Steady-state Cycles (нови европски циклус са устаљеним режимима)

ELR-European Load Response (нови европски тест прихватања оптерећења)

ETC-European Transient Cycle (нови европски циклус са прелазним режимима)

Од октобра 2005. године за све нове моделе произвођачи морају доказати и гарантовати да њихова возила задовољавају границе за емисију у току животног века који зависи од категорије возила, како је то приказано у табели 2.

Категорија возила	Километража, km или године (шта се пре испуни)	
	100,000 ili 5 година	160,000 ili 5 година
N1 i M2		
N2 N3 ≤ 16 t M3 Class I, Class II, Class A, i Class B ≤ 7.5 ton	200,000 ili 6 година	300,000 ili 6 година
N3 > 16 t M3 Class III, i Class B > 7.5 t	500,000 ili 7 година	700,000 ili 7 година

Табела 2. Категорија возила и период гарантоване емисије [3]

Све строжији законски прописи могу се задовољити само:

1. Конструкционим мерама
2. Новим каталитичким технологијама
3. Реформулацијом горива и мазива

3.2 Амерички прописи за тешка теретна возила

Према врсти и намени транспортних средстава у САД постоје прописи за:

- путничка и лака теретна возила (*енгл.* Cars and Light-Duty Trucks),
- тешка теретна возила и аутобусе (*енгл.* Heavy-Duty Truck and Bus Engines),
- за градске аутобусе (*енгл.* Urban Bus),
- за пољопривредну и ванпутну механизацију (*енгл.* Off-Road Diesel Engines),
- локомотиве,
- бродове,
- авионе и
- сва остала транспортна средства (мотоцикле, мопеде, мотокултиваторе)

За тешка теретна возила и аутобусе

У октобру 1997. године ЕРА је усвојила нове регулативе за емисију теретних возила и аутобуса. Основни циљ је био смањење емисије NO_x код тих возила, до нивоа око 2 g/KSh до 2004.године. Ови федерални прописи су, на захтев произвођача мотора који снабдевају оба тржишта, усаглашени са Калифорнијским. Међутим у фебруару 2000. г. у Калифорнији ARB доноси нову

регулативу у циљу даљег смањења емисије NO_x и честица за аутобусе који пролазе кроз насељена места. Усвојена правила се односе како на произвођаче мотора тако и на аутотранспортна предузећа.[3]

Аутотранспортна предузећа могу бирати између програма класичних дизел мотора или програма дизел мотора са алтернативним горивима. Уколико се определе за програм дизел мотора са алтернативним горивима у обавези су да сваке године, све до 2017.г., 85% ново купљених или изнајмљених мотора буду на алтернативна горива. Они који се определе за дизел програм могу да набављају дизел моторе на класична горива, али се код њих постављају строжије границе за емисију. Када се ова регулатива у потпуности уведе обе алтернативе ће се срести на нивоу возила са приближно нултом емисијом (енгл. Near Zero Emission Levels). [3]

Та регулатива укључује бројна правила која се могу исказати кроз:

- просечна емисија за NO_x флоту је иста за дизел и за алтернативна горива и од 2002.г. износи 4.8 g/KSh, дозвољено је издвајање из флоте старих мотора са већом емисијом,
- од 01.07.2002.г захтевано је гориво са екстремно ниским садржајем сумпора (испод 15 ppm по маси),
- сви дизел мотори произведени пре 2004.г ће морати да изврше поновну хомологацију у Калифорнија ARB, уз примену филтера за честице са 85% ефикасношћу, рехомологација је почела 2003. а треба да се заврши 2008.,
- сви нови мотори се морају хомологовати према строжијим стандардима, и
- на крају, 15% ново набављених аутобуса, за флоту већу од 200 аутобуса,

Датум	Дизел програм		Програм алтернативна горива	
	NO_x , g/KSh	PM, g/KSh	NO_x , g/KSh	PM, g/KSh
2000.	4.0	0.05	2.5-Опција	0.05
01.07.2002.	Гориво са мање од 15 ppm S		Гориво са мање од 15 ppm S	
10.2002.	2.5 NO_x +NMHC	0.01	1.8 NO_x +NMHC	0.03
10.2002.	Просек флоте 4.8 NO_x		Просек флоте 4.8 NO_x	
07.2003.	Увођење филтера за честице		Увођење филтера за честице	
07.2003	3 ZEBs за флоту већу од 200ком			
2004.	0.5	0.01		
2007.	0.2	0.01	0.2	0.01
2008.				
2010.			15% ZEBs за флоту > 200ком	

Табела 3. Правила и границе за емисију аутобуса према Калифорнија ARB [3]

ЕПА је 17. маја 2000. године најавила предлог граница за емисију теретних возила модела 2007. године и нове прописе за квалитет горива. Уведено је гориво са екстремно ниским садржајем сумпора испод 15 ppm (у односу на тадашњих 500 ppm). За емисију честица је предвиђана граница од 0.01 g/KSh, а за NO_x 0.2, а за NMHC 0.14 g/KSh. Стандарди за NO_x и NMHC се уводе по фазама између 2007. и 2010. године. Процене се односе на део у укупној флоти произведених дизел мотора: 25% 2007. године, 50% 2008., 75% 2009. и

100% 2010. године. ЕРА, такође прописује стандард за емисију формалдехида на 0.016 g/KSh. Екстремно ниски садржај сумпора у гориву се захтева на бази “доступних технологија” за коришћење филтера за честице и D_eNO_x катализатора који су неопходни за задовољење стандарда након 2007. године. Истовремено се захтева развој нових система и технологија за “накнадни третман” издувних гасова, који ће бити толерантнији на садржај сумпора у гориву.

4.0 Одређивање издувне емисије

Данас су за испитивање и одређивање издувне емисије прописана два циклуса и то ESC (European Stationary Cycle) и ETC (European Transient Cycle). Промене у испитним циклусима мотора су уведене са Еуро III нормом, чиме је ранији стационарни испитни циклус ЕЦЕ R-49 замењен са два нова циклуса: стационарним циклусом ESC и ETC тестом. Приликом сертификације новог типа возила морају се применити следећи захтеви у погледу тест циклуса: [7]

- Конвенционални дизел мотори могу се испитати преко ESC или ELR циклуса.
- Дизел мотори са накнадним третманом издувних гасова испитују се путем 2 испитна циклуса: ESC и ETC циклусом.
- Гасни мотори се испитују путем ETC циклуса

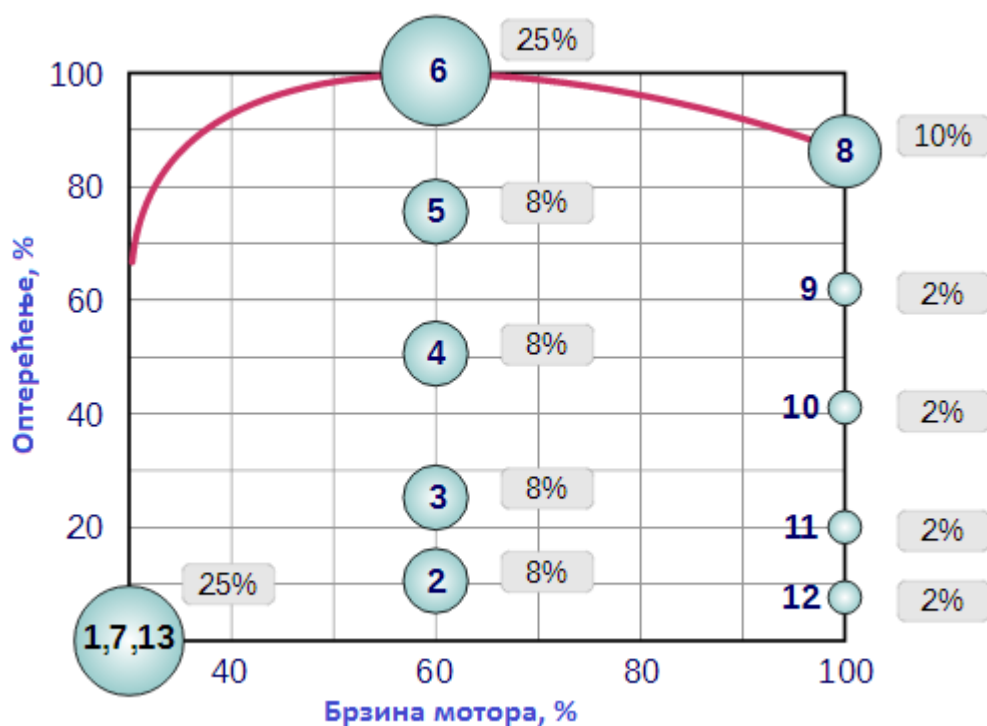
Раније коришћени R49 циклус је тринаестостепени тест циклус за тестирање мирног рада дизел мотора. Представљен је од стране ЕЦЕ Одредбе бр. 49 и касније усвојен Директивом 88/77/ЕЕС. Коришћен је за одобравње типа тешких дизел мотора у Euro II емисионом стандарду.

Од Euro III фазе (Октобар 2000.), R49 циклус је замењен ESC распоредом. R49 остаје регуларна тест процедура у земљама које и даље примењују Euro II или раније емисионе стандарде.

Тест R49 се примењује на моторном динамометру руковођеном кроз 13 брзинских услова и услова оптерећења. Издувна емисија која се мери при сваком режиму је представљена у g/kWh. Коначни резултат теста је пондерисани просек ова три режима. Услови теста и пондери R49 циклуса приказани су у Табели 4. и на Слици 14. Табела такође показује пондере некадашњег US 13-режимског теста. Кругови на графику пропорционално одговарају пондерима одговарајућих режима.[7]

Режим бр.	Брзина	Оптерећење, %	Пондер	
			Р49	САД
1	Мировање	-	0.25 / 3	0.20 / 3
2	Максимални обртни момент	10	0.08	0.08
3		25	0.08	0.08
4		50	0.08	0.08
5		75	0.08	0.08
6		100	0.25	0.08
7	Мировање	-	0.25 / 3	0.20 / 3
8	Број обртаја	100	0.10	0.08
9		75	0.02	0.08
10		50	0.02	0.08
11		25	0.02	0.08
12		10	0.02	0.08
13	Мировање	-	0.25 / 3	0.20 / 3

Табела 4. Раније коришћени ECE R49 и YCA 13-режимски циклус [7]



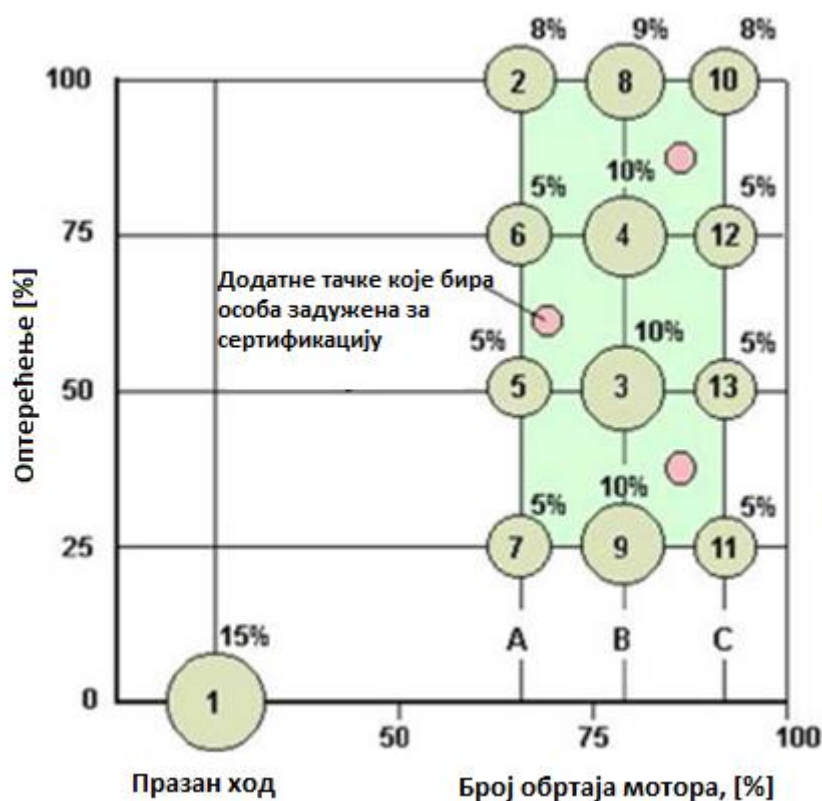
Слика 14. Дијаграм ECE R49 циклуса [7]

ELR је још један тест који више није у употреби. Уведен је по Еуро III захтевима за регулацију издувних гасова-директива 1999/96/ЕС. На снази је био од 2000. године ради мерења димности код тешких теретних возила. Тест се састоји из више корака, тачније 3 корака. Састоји се од 3 степена оптерећења за три различита режима, тј. за сваку од три брзине мотора. [8]

4.1 Циклус ESC

Концентрација штетних материја која се мери код издувних гасова мотора укључује гасовите компоненте (CO , HC , NO_x) и честице. Мерења се обављају континуално узимајући узорке из сирових издувних гасова. Испитни циклус се састоји од одређеног броја радних режима карактеристичних по тачно одређеној брзини обртаја, оптерећења и времена задржавања у прописаном режиму рада. Радни режими покривају типично радно подручје мотора са унутрашњим сагоревањем намењеног за употребу у тешким теретним возилима и аутобусима. Током задржавања мотора СУС у сваком радном режиму, мере се концентрације предвиђених компоненти у издувним гасовима, проток издувних гасова и ефективна снага, односно ефективни момент мотора СУС. [9,11]

ESC циклус уведен је заједно са ETC и ELR испитним циклусима за сертификацију емисије дизелових мотора који је на снази од 2000 године. Заменио је претходни R49 испитни циклус. То је 13-модни стационарни тест којим се одређује емисија штетних издувних материја из мотора и упоређује са допуштеним. Мотор СУС се монтира на пробни сто, па помоћу кочнице за испитивање мотора доводи у одређене радне режиме, при чему се на сваком поједином задржава тачно одређено време. Промена брзине ротације и оптерећења при прелазу са једног радног режима на други треба обавити у року од 20 секунди. Брзина ротације и момент мотора СУС се морају држати константним са толеранцијом од $\pm 50 \text{ 1/min}$, односно $\pm 2\%$ од максималног момента у тренутном моду. На слици 15. илустровани су тежински фактори појединих режима, који у ствари представљају процентуалне уделе емисија загађујућих материја из појединих режима у коначној, прорачунатој средњој вредности емисије загађујућих материја из издувног система мотора СУС за читав испитни циклус [9].



Слика 15 . ЕСЦ циклус са приказаним карактеристичним режимима [11]

Емисија се мери током сваког режима, а затим се на тачно дефинисан начин добија средња вредност. Резултати се изражавају у $[g / kWh]$ и као такви су упоредиви са прописаним вредностима.

4.2 ЕТС циклус

ЕТС тест циклус је представљен, заједно са ESC (Европски Стационарни Циклус, енг. European Stationary Cycle), за емисиону сертификацију тешких дизел мотора у Европи, 2000. године (Директива 1999/EC 13.децембар 1999.год). ESC и ЕТС циклуси су заменили ранији R-49 тест.

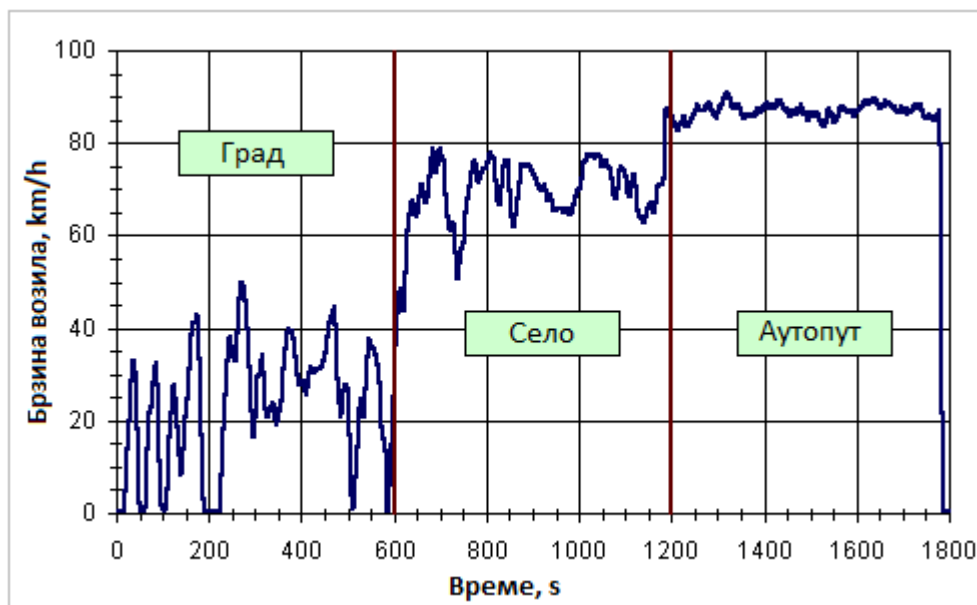
ЕТС циклус је развијен од стране бившег FIGE института, Aachen, Немачка, базиран на стварним мерењима друмског циклуса тешких возила. Коначни ЕТС циклус је скраћена и благо измењена верзија оригиналног FIGE предлога.

Различити услови вожње су представљени помоћу три дела ЕТС циклуса, која укључују градску, сеоску и вожњу по аутопуту. Трајање читавог циклуса је 1800 секунди. Трајање сваког дела је 600 секунди.

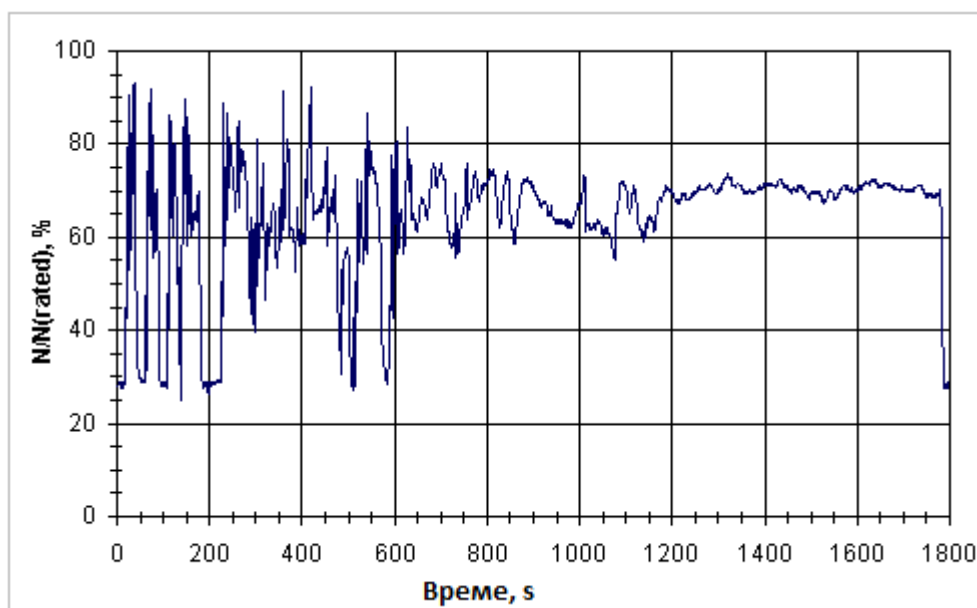
- Први део представља градску вожњу са максималном брзином од 50km/h, честим поласцима и заустављањима, и моровањем.
- Други део је сеоска вожња која почиње са наглим убрзавањем. Просечна брзина је око 72km/h.
- Трећи део је вожња на аутопуту са просечном брзином од око 88km/h.

FIGE институт је развио циклус у две варијанте: као шасијски и моторни динамометарски тест. Брзина возила у односу на време трајања циклуса

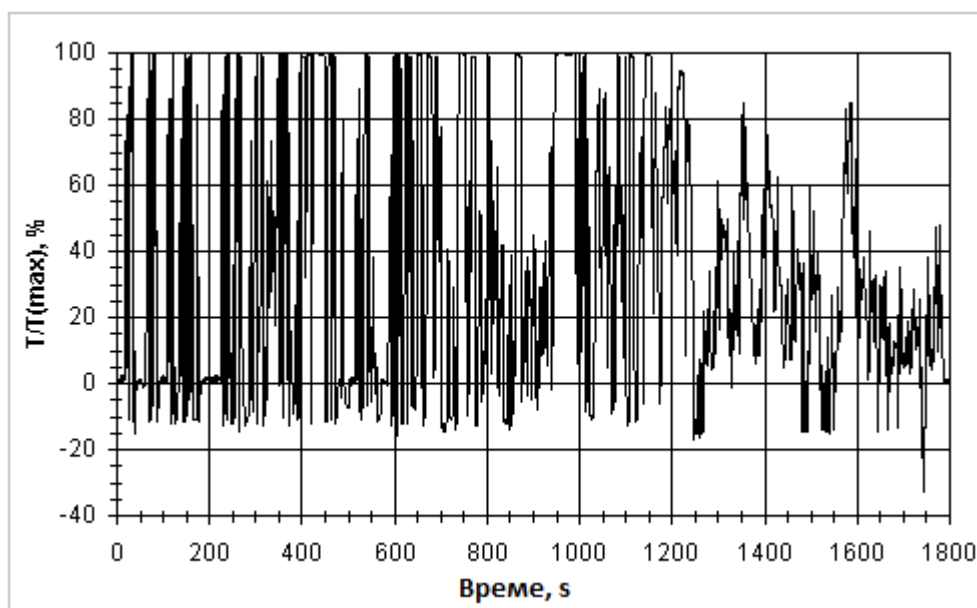
приказани су на Слици 16 (верзија возила FIGE циклуса никада није стандардизована). За сврхе сертификације мотора/одобрења типа, ETC циклус је примењен на моторном динамометру. Релевантна брзина мотора и криве које приказују обртни момент приказани су на Слици 17 и Слици 18. [10]



Слика 16. FIGE Непостојани циклус - брзина возила [10]



Слика 17. ETC Непостојани циклус - Брзина мотора [10]

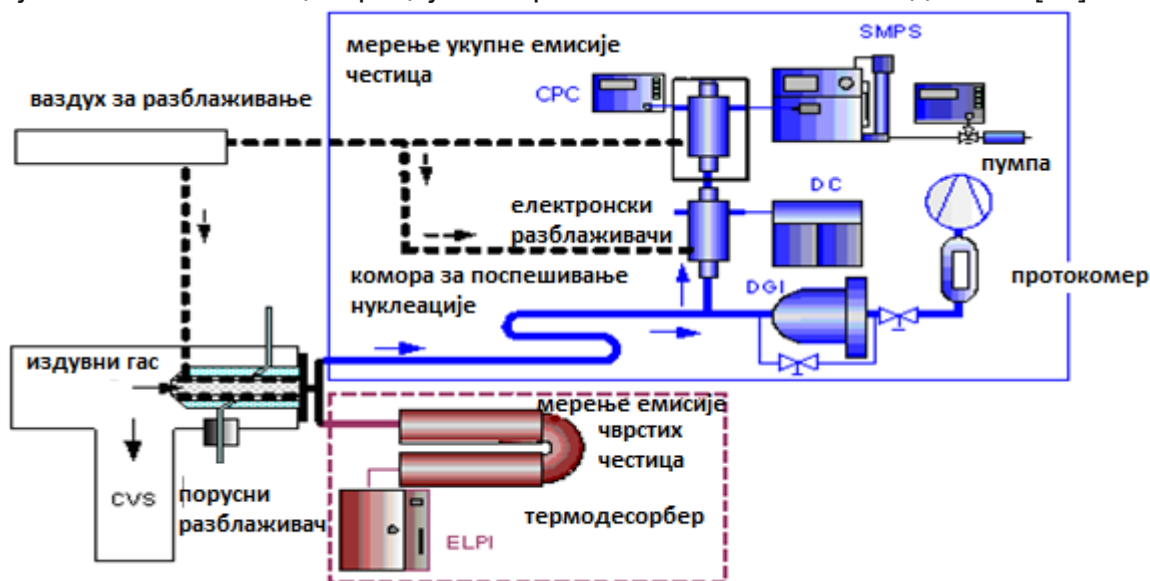


Слика 8. ЕТЦ Непостојани циклус - Обртни момент мотора [10]

4.4 CVS инсталација за мерење издувне емисије

На слици 16. је приказана шема инсталације која се користи при мерењу финих честица. Инсталација је конципирана на принципу мини тунела, делимичног протока који црпе издувни гас директно из издувне цеви. Тиме су избегнути већи трошкови и простор који заузима CVS систем и проблеми променљивог степена разређења, а тиме и променљиве запремине узорка издувног гаса у коме се мере параметри емисије честица. Код CVS система константна је запремина укупног узорка који се састоји од издувног гаса и ваздуха за разређење.

Код приказане инсталације могуће је мерити карактеристике честица, како на укупном нивоу и само у чврстом стању. Узима се мали узорак издувног гаса директно из цеви, са константним протоком. Тај део гаса се примарно разређује, у тзв. „порозном разблаживачу“, са добро пречишћеним топлим и сувим вадухом. Степен разређења се може подешавати. Након разблажења узорак се дели на два дела, односно одводи у две гране: „суву“ и „влажну“ грану. У сувој грани се мери бројчана концентрација чврстих честица. У њој се гас греје до 250°C у термодесорберу, тако да се у њему испаравају све испарљиве честице, које се затим абсорбују и отклањају из узорка. Гасне компоненте имају већу дифузију у односу на чврсте тако да махом оне бивају абсорбоване. Тако „огољен“ узорак састављен махом од чврстих честица угљеника, одводи се у бројач честица. У овој инсталацији се користи бројач ELPI који даје бројну концентрацију и расподелу честица по величини. Овај инструмент мери честице преко 30 nm из фазе нуклеације. При вишим концентрацијама честица може се користити још један разблаживач који се смешта испред термодесорбера, тако да је смањивање концентрације испарљивих компонената евидентно. [12]



Слика 19. Шематски приказ европског пројекта „PARTICULATES“ [12]

Леви део ове шеме приказује део за примарно разблаживање, у горњем десном углу је систем за мерење укупног броја честица и у доњем десном углу се налази систем за мерење броја чврстих чврстих честица.

У „влажној“ грани узорак најпре пролази један стабилизациони период, на тај начин што довољно дуго пролази кроз цевовод, односно кроз тзв. комору за „старење“ (aging chamber), која омогућује потпун развој фазе нуклеације. Одатле највећи део узорка одлази у каскадни таложник-импактор (на шеми је то DGI- Dekati Gravimetric Impactor) који омогућује мерење укупне масе честица и евентуално масену расподелу честица према њиховој величини.

Други мањи део узорка из „влажне“ гране се допунски разређује разблаживачем и одводи у дифузиони генератор наелектрисања (DC – diffusion charger), који омогућује одређивање активне површине честица. Из овог другог дела узорка, по потреби се један део тог узорка додатно разређује, опет помоћу разблаживача и одводи у кондезациони бројач честица CPC (*Condensation Particle Counter*), ради мерења укупне бројчане концентрације честица. [12]

5.0 Закључак

Емисија из возила је генерално мала у односу на емисију остварену антропогеним активностима. Уколико анализирамо удео у односу на укупну емисију (природни+антропогени извори) удео је још мањи. У укупној емисији CO₂ природа учествује са 95 %,а антропогени са само 5%. За емисију метана 37:63%. Инжењери у свом животном опредељењу ни једним својим производом не смеју угрожавати ни генетске ни биолошке основе здравог живота. Стратешка обавеза S+3E (Сировине+Енергије + Екологија+Економија) је дефинисана ограниченим капацитетима планете земље.

Активности на заштити животне средине посматране из угла емисије штетних састојака издувних гасова огледају се у поштравању законске регулативе која регулише нормативе издувне емисије, као и у интензивном развоју мотора уз обавезно сталну редукцију издувне емисије и потрошње горива. Емисија CO₂ и дефицит фосилних горива представљају главне одреднице развоја аутомобила у будућности,што великим делом утиче и на емисију моторних возила. Са порастом броја моторних возила и интензивирањем саобраћаја појачао се и утицај издувних гасова на животну средину. Западно индустријско друштво је још од давне 1968. године почело са ограничавањем емисије штетних гасова моторних возила. Развој будуће законске регулативе и обавеза задовољења истих изискује интензиван развој и усавршавање постојећих генерација мотора.Напредак технике за смањење издувне емисије се не треба очекивати, зато што је сама технологија доведена до врху. Један од начина да се постигне задовољавајуће смањење издувне емисије је поштравање санкција за оне које не поштују еуро стандарде и остале регулативе које ограничавају емисију.

Литература:

- [1] Кнор. П.: Пројектовање и конструкција моторних возила, Машински факултет Сарајево, 2005/207
- [2] <http://www.automobilizam.net/dizel-cetvorotaktni-motori-sus/> 12.10.2014
- [3] Р. Пешић, С. Петковић, С. Веиновић, *Моторна возила и мотори-опрема*, Машински факултет у Крагујевцу и Машински факултет у Бања Луци, 2008.
- [4] Р. Вукашиновић, Д. Јакшић, Зборник радова у Урошевцу, ВТШС Урошевац, привремено седиште у Звечану, 2010.
- [5] http://www.greenhome.co.me/fajlovi/greenhome/attach_fajlovi/lat/glavne-stranice/2013/12/pdf/Uticaj_TE_Pljevlja_na_zdravlje_stanovnistva_Pljevalja.pdf 13.10.2014
- [6] Б. Милосављевић, др. Р. Пешић, С. Бабић, Еколошки аспекти коришћења моторних возила, 2009.
- [7] https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_r49.php 14.10.2014
- [8] <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/esc.php> 15.10.2014
- [9] <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/elr.php> 15.10.2014
- [10] <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/etc.php> 22.10.2014
- [11] Џ. Бибић, И. Филиповић, Б. Кегл, Б. Пикула, научни рад „Утјесак biogoriva na sastav ispušnih plinova“, 2009.
- [12] В. Петровић, С. Гројић, Ђ. Борак, научно истраживачки рад „Проблем емисије финих честица дизел мотора“, Институт ИМР-а,