



**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Моторна возила и мотори

Предмет: БМ 6331 Мотори СУС 2

Број индекса: 730/2014

Пурешевић С. Предраг

**Мерење издувне емисије дизел мотора
теретних возила и аутобуса**

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др. Александар Давинић, доц-ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да одговори на тему према следећим тезама :

- Механизам настанка и токсичност регулисане емисије дизел мотора
- Савремене мере за смањење издувне емисије
- Историјат увођења прописа за издувну емисију теретних возила и аутобуса са посебним освртом на важеће европске прописе.
- Методологија мерења издувне емисије при хомологацији теретних возила и аутобуса (врсте тестова и обрада резултата мерења
- Контролна мерења издувне емисије приликом периодичног техничког прегледа теретних возила и аутобуса
- Закључна разматрања

Препоручена литература:

[1] -Р. Пешић, С. Петковић, С. Веиновић,: «МОТОРНА ВОЗИЛА – опрема», Машински факултет у Бањој Луци, Машински факултет у Крагујевцу, 2008.

[2] Стручни часописи MTZ,АТС...

[3] Званични сајтови Европске комисије и организација у области емисије возила

[4] Универзитетска литература из области емисије дизел мотора

Крагујевац, септембар 2016.

ментор:

Др. Александар Давинић, доц

Садржај

1.Предговор	1
2.Уводна разматрања	2
3. Историјат увођења прописа за издувну емисију теретних возила и аутобуса са посебним освртом на важеће европске прописе	3
3.1 Стандарди емисије	5
3.2 Врсте тестова за испитивање емисије гасова	7
4.Механизам настанка и токсичност регулисане емисије дизел мотора ...	13
4.1 Мотори са унутрашњим сагоревањем	13
4.2 Процес сагоревања у дизел мотору	14
4.3 Емисија издувних гасова моторних возила	19
4.4 Формирање токсичних компоненти издувне емисије	22
4.4.1 Утицајни фактори на формирање токсичних компонената код дизел . мотора	22
4.4.2 Формирање честичне материје у издувним гасовима дизел мотора	22
4.4.3 Формирање угљенмоноксида – СО	24
4.4.4 Формирање несагорелих угљоводоника - СН	25
4.5 Дозвољене емисије штетних материја	27
4.5.1 Утицај горива на издувну емисију моторних возила	28
5. Редукција штетних материја у издувним гасовима	29
6. Контрола састава издувних гасова моторних возила на техничком прегледу	31
6.1 Стање технике и правци усавршавања возилских мотора СУС	31
6.2 Обрада издувних гасова	33
6.3 Развој аутодијагностичких средстава	35
6.4 Могуће опасности које могу настати приликом контроле зацрњења издувних гасова дизел мотора	39
6.5 Контролна мерења издувне емисије приликом периодичног техничког прегледа теретних возила и аутобуса	40
6.6 Контрола издувних гасова дизел мотора	42
6.7 Начин мерења издувних гасова код дизел мотора и резултати мерења ..	43
6.8 Могући узроци лоших резултата при мерењу	46
7. Закључак	47
8. Литература	48

1.Предговор

Будући развој Европске Уније дефинисан је стратегијом „Европа 2020„ усвојеном 2011. године. Овом стратегијом су дефинисани основни циљеви које треба постићи до 2020. године, међу којима су : смањење емисије гасова стаклене баште од 20% у односу на 1990. годину, учешће енергије из обновљивих извора у износу од 20% и повећање енергетске ефикасности за 20%. Између осталог , ти циљеви би се поостигли интензивирањем научних истраживања у формираном оквирном програму истраживања и иновација (*Framework Programme of Research and Inovation*) за период од 2014. до 2020. године. Резултат тог програма треба да буде обезбеђење одрживог развоја између осталог и путем смањења токсичне емисије транспорта и применом алтернативних горива за погон моторних возила.

Такође, у Коминикеу , на састанку Групе Двадесет (Г20), истакнут је значај транспорта и предузимања нових радова на побољшању карактеристика ефикасности и емисије возила, са посебним акцентом на тешка возила.



Слика 1. Еколошка заштита планете “ Земље”

2.Уводна разматрања

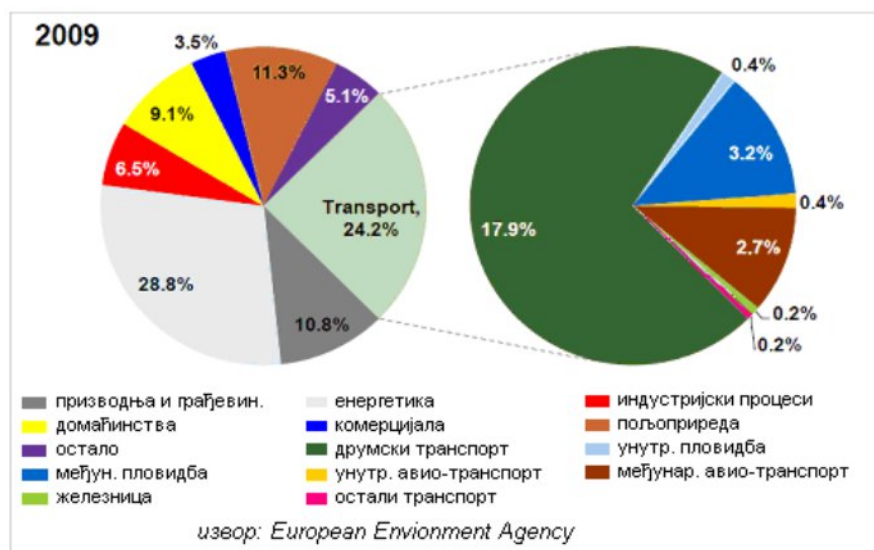
Саобраћај је један од значајнијих емитената штетних материја, тако да је неопходно усвајање одређених решења за њихово смањење. Активности на заштити животне средине посматране из угла емисије штетних састојака издувних гасова огледају се у поштравању законске регулативе која регулише нормативе издувне емисије, као и у интензивном развоју мотора уз обавезно сталну редукцију издувне емисије и потрошње горива.

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.

3. Историјат увођења прописа за издувну емисију теретних возила и аутобуса са посебним освртом на важеће европске прописе

Уједињене нације су 1992. године упозориле на убрзане климатске промене, изазване људском активношћу (*UN Framework Convention on Climate Change*). Као главни узрок глобалног загревања је идентификована растућа емисија гасова са ефектом "стаклене баште", а пре свега угљен-диоксида.

Европска Унија је 1997. године прихватила Кјото протокол са обавезом да до 2012. године смањи укупну емисију CO₂ за 8% у односу на ниво из 1990. Европска Комисија је 2000. године покренула сопствени програм (*European Climate Change Programme*) са циљем идентификације најефикаснијих, економски оправданих, стратегија и мера за смањење емисије. Резултат ових активности је и популарна "Стратегија одрживог развоја", док Програм спроводи 11 радних група. Стратешке одреднице и циљеве у развоју европског транспорта је дефинисао Генерални Директорат за транспорт.[2]



Слика 1.1 Емисија гасова са ефектом "стаклене баште" у земљама ЕУ и структура емисије у области транспорта

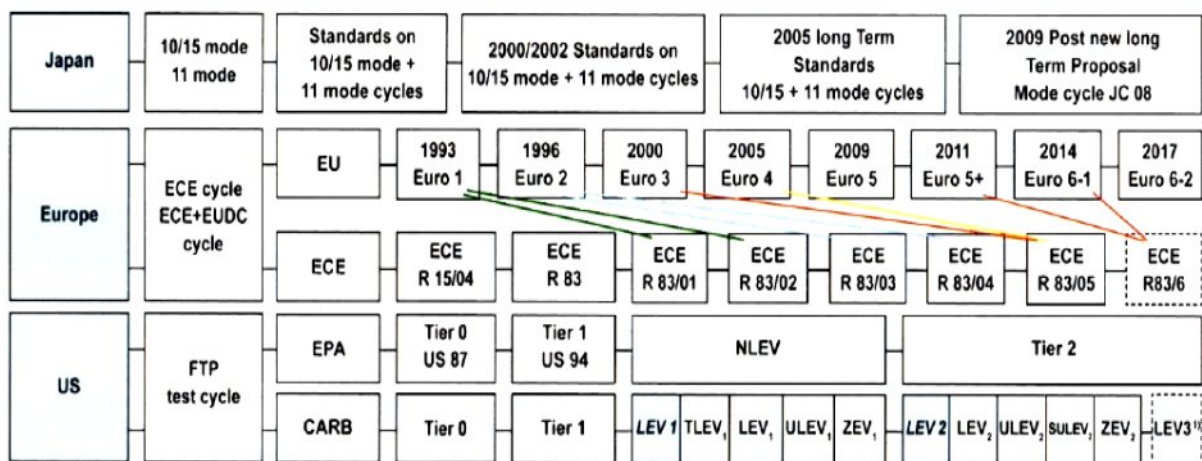
Према подацима из 2009. године (слика 1.1), сектор транспорта је одговоран за скоро 1/4 укупне емисије, док на друмски транспорт отпада 17,9 %. Зато је Европска Комисија поставила захтев [*Regulation 443/2009/EC*] да се до 2015. године просечна емисија CO₂ ново произведених путничких возила смањи на износ 130 g·km⁻¹ (одговара потрошњи од 3,8 L/100 km). На средњерочном плану, до 2020. године, постављен је захтев од 95 g·km⁻¹ !

Код лаких теретних возила је постављен захтев [*Regulation 510/2011/EC*] од 175 g·km⁻¹ за моделе од 2017. године, односно 147 g·km⁻¹ од 2020. године.

Асоцијација европских произвођача возила (ACEA) сматра ову меру исхитреном, обзиром да је са учешћем од 11% ново произведених возила ова категорија возила одговорна за свега 1,7% укупне емисије CO₂.

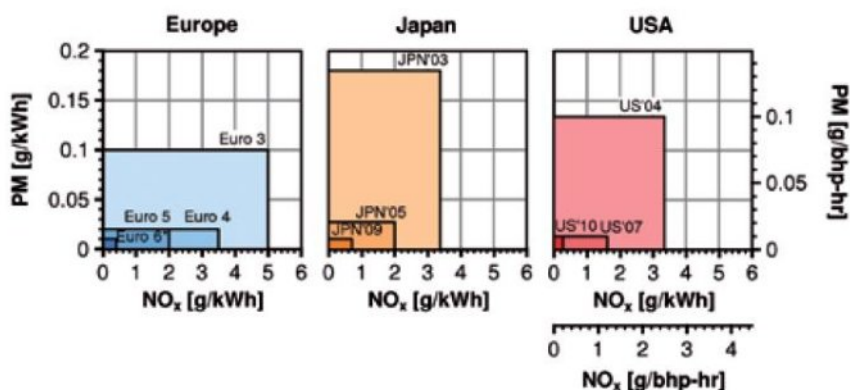
Европска тешка теретна возила у оквиру емисије CO₂ друмског транспорта учествују са око 1/4, или 6% глобалне емисије.

Први прописи о емисији мотора СУС су донети у Калифорнији; за емисију картерских гасова 1961. године, а за издувну емисију 1966. Од тада до данас је донесено мноштво прописа на интернационалном, регионалном и националном нивоу. Шароликост метода и услова испитивања отежава сертификацију возила на разним тржиштима, тако да постоји тенденција њихове хармонизације. Хронолошки развој регулативе у области емисије мотора СУС (слика 1.2) карактеришу: ширење домена примене, специјализација тест метода уз поштовање услова испитивања и смањење граничних вредности емисије полутаната (слика 1.2). Поред хомологационих, уведени су и прописи о емисији у току експлоатационог периода, као и обавеза дијагностике неисправности уређаја и опреме од утицаја на издувну емисију. Најстрожије захтеве имају CARB прописи нивоа SULEV (*Super Ultra Low Emission Vehicle*).[2]



Слика 1.2 Хронологија регулативе у области издувне емисије по регионима

Прописани ниво емисије EURO 6 [Regulation 595/2009] се по захтевима приближава америчким US 2010 стандардима (слика 1.3), а очекује се и увођење допунских услова:



Слика 1.3 Поређење регулатива за емисију дизел мотора тежких теретних возила по регионима

- ограничење концентрације амонијака (NH_3) од 10 ppm код дизел (ESC + ETC тест) и гасних мотора (ETC тест),
- поред масене емисије честица биће уведено и ограничење њиховог броја, са циљем спречавања емисије ултра-финих честица,
- европски тестови: стационарни **ESC** и транзијентни **ETC**, биће замењени хармонизованим **WHSC** (*World Harmonized Stationary Cycle*) и **WHTC** (*World Harmonized Transient Cycle*).[3]

3.1 Стандарди емисије

Стандарди емисије важе за сва моторна возила са технички дозвољеним максималним оптерећењем масе преко 3.500 kg., опремљен мотором природног гаса (NG) или LPG мотора.

Прописи су првобитно уведени *Directive 88/77/EEC*, а затим је уследио велики број амандмана. У 2005. години, прописи су поново допуњени *Directive 05/55/EC*.

Следе неки од најважнијих корака при изради правила :

- стандарди Евро 1 уведене су 1992. године, а затим стандарди за Евро 2 1996.године. Ови стандарди који се примењују на моторе камиона и градских аутобуса.

- У 1999. ЕУ је усвојила *Directive 1999/96/EC*, која је увела стандард за Еуро 3 (2000), као и Еуро 4/5 (2005/2008). На овај начин су постављена строжија правила са граничним вредностима које су захтевале доста нижу емисију гасова и позната су као "побољшана еколошки прихватљива возила".

- У 2001. години, Европска комисија је усвојила *Directive 2001/27/EC*, која забрањује употребу емисије "defeat devices" и стратегије "irrational", којом би се смањила ефикасност система контроле емисије када возила раде под нормалним условима вожње .

- *Directive 2005/55/EC* усвојена је 2005. године и њоме је уведена трајност и on-board diagnostic (OBD)услови, као и нове граничне вредности за Еуро 4 и Еуро 5 који су првобитно објављени у *Directive 1999/96/EC*.

- стандарди емисије Еуро 6 су уведене *Regulation 595/2009*, са техничким детаљима наведеним у 'comitology' *Regulation 582/2011*. Нови ограничења емисије, упоредиви су са стандардима САД 2010. године и ступили су на снагу 2013/2014.[1]

Постоје два сета стандарда емисије , са различитим врстама захтева испитивања:

- Steady-State Testing (Табела 1. наводи стандарде кој се односе на дизел моторе са захтевима за сталним тестирањем емисије гасова)
- Transient Testing (Табела 2. наводи листу стандарда који се односе и на дизел и на гас)

Stage	Date	Test	CO	HC	NOx	PM	PN	Smoke
			g/kWh				1/kWh	1/m
Euro I	1992, ≤ 85 kW	ECE R-49	4.5	1.1	8.0	0.612		
	1992, > 85 kW		4.5	1.1	8.0	0.36		
Euro II	1996.10		4.0	1.1	7.0	0.25		
	1998.10		4.0	1.1	7.0	0.15		
Euro III	1999.10 EEV only	ESC & ELR	1.5	0.25	2.0	0.02		0.15
	2000.10		2.1	0.66	5.0	0.10 ^a		0.8
Euro IV	2005.10		1.5	0.46	3.5	0.02		0.5
Euro V	2008.10		1.5	0.46	2.0	0.02		0.5
Euro VI	2013.01	WHSC	1.5	0.13	0.40	0.01	8.0×10 ¹¹	

a - PM = 0.13 g/kWh for engines < 0.75 dm³ swept volume per cylinder and a rated power speed > 3000 min⁻¹

Табела 1. Емисиони фактори за тешка теретна возила са дизел мотором(diseal net)

Stage	Date	Test	CO	NMHC	CH ₄ ^a	NO _x	PM ^b	PN ^e
			g/kWh					1/kWh
Euro III	1999.10 <i>EEV only</i>	ETC	3.0	0.40	0.65	2.0	0.02	
	2000.10		5.45	0.78	1.6	5.0	0.16 ^c	
Euro IV	2005.10		4.0	0.55	1.1	3.5	0.03	
Euro V	2008.10		4.0	0.55	1.1	2.0	0.03	
Euro VI	2013.01	WHTC	4.0	0.16 ^d	0.5	0.46	0.01	6.0×10 ¹¹

a - for gas engines only (Euro III-V: NG only; Euro VI: NG + LPG)
b - not applicable for gas fueled engines at the Euro III-IV stages
c - PM = 0.21 g/kWh for engines < 0.75 dm³ swept volume per cylinder and a rated power speed > 3000 min⁻¹
d - THC for diesel engines
e - for diesel engines; PN limit for positive ignition engines TBD

Табела 2. Европски прописи за емисију теретних возила са дизел моторима и моторима са погоном на гас за ETC тест циклус у g/KWh

Додатне одредбе прописа Euro VI укључују:

- Амонијак (NH₃) концентрација граница од 10 ppm важи за дизел (WHSC + WHTC) и моторе на гас.
- Максимална граница NO₂ компоненте NO_x може да се дефинише у каснијој фази

3.2 Врсте тестова за испитивање емисије гасова

Савремени начин живота као неопходност условљава поседовање и коришћење аутомобила, којим се осим комерцијалне користи, испуњавају и жеље за слободом и независношћу кретања власника.

Обзиром да аутомобил поседује и лоше особине (загађење животне средине, потрошња горива и сл.) потребно је стварати такве односе између човека и аутомобила који су базирани на хармонији са окружењем.

Истраживања показују евидентан раст концентрације појединих отровних компоненти издувних гасова у урбаним срединама као и у одређеним периодима дана, ујутру при одласку и у време повратка са посла (вожња незагрејаног возила), са изразитим повећањем у зимском периоду експлоатације аутомобила.

Прва законска регулатива у области емисије издувних гасова из путничких возила уводи се 1968. год у САД, док је у Европи, ова проблематика први пут законски регулисана 1970.год.

У Европи се од 1.01.2000.год. користе возни тестови дефинисани тако да посебан акценат дају емисији издувних гасова при хладном старту мотора и ниским температурама околине.

ЕТС тест циклус је уведен, заједно са ESC тестом (Европски стационарни циклус), за сертификацију емисије тешких теретних возила са дизел моторима у Европи, почевши од 2000. године (Директива 1999/96 / ЕЦ од 13. децембра 1999. године). ЕТС и ESC тестови су заменили раније R-49 тестове.

ЕТЦ циклус (пролазни циклус) је развијен од стране бившег FIGE института, Aachen, Germany, на основу мерења у реалним уловима за тешка теретна возила (FIGE Извештаја 104 05 316, јануар 1994).

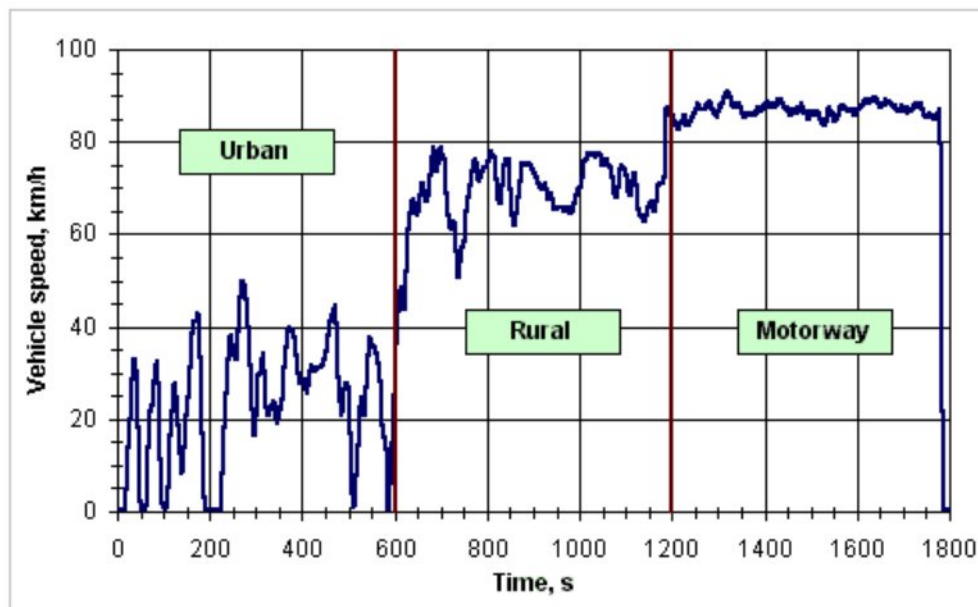
Различити услови вожње су представљени у три дела ЕТС циклуса, укључујући градску, руралну и вожњу аутопутем. Трајање целог циклуса је 1800 s. Трајање сваког дела је 600 s.

Први део представља градску вожњу са максималном брзином од 50 км / час, честа паљења, зауставља, и празн ход.

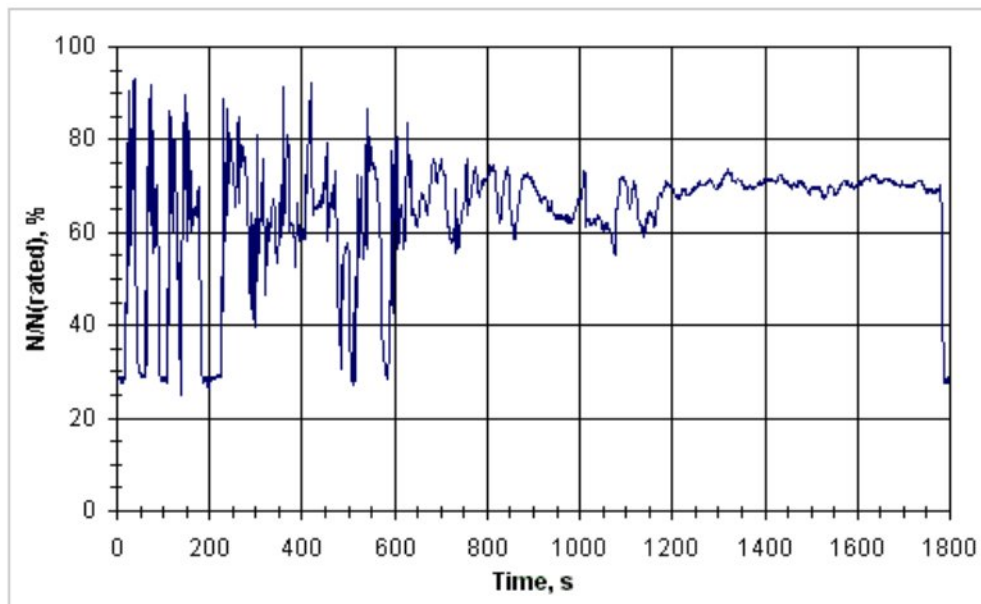
Други део је рурална вожње почиње са убрзањем. Просечна брзина је око 72 км / час.

Трећи део је вожња аутопутем са просечном брзином од око 88 км / час.

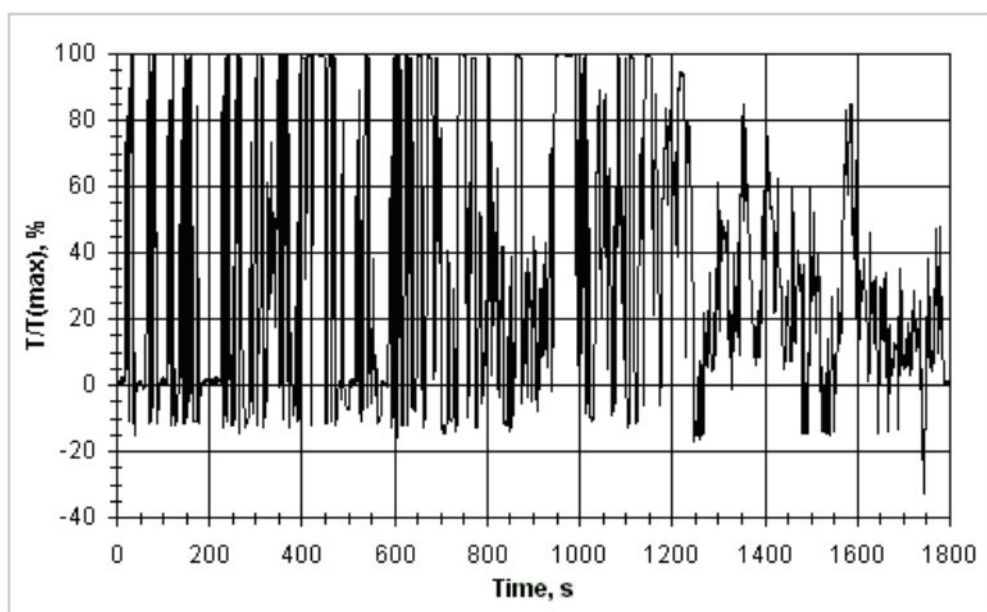
Брзина возила током трајања циклуса је приказан на Слици 1.4. Одговарајуће криве брзине мотора и обртног момента су приказани на слици 1.5 и слици 1.6.[2]



Слика 1.4 FIGE прелазни циклус – брзина возила



Слика 1.5 ETC прелазни циклус- брзина возила

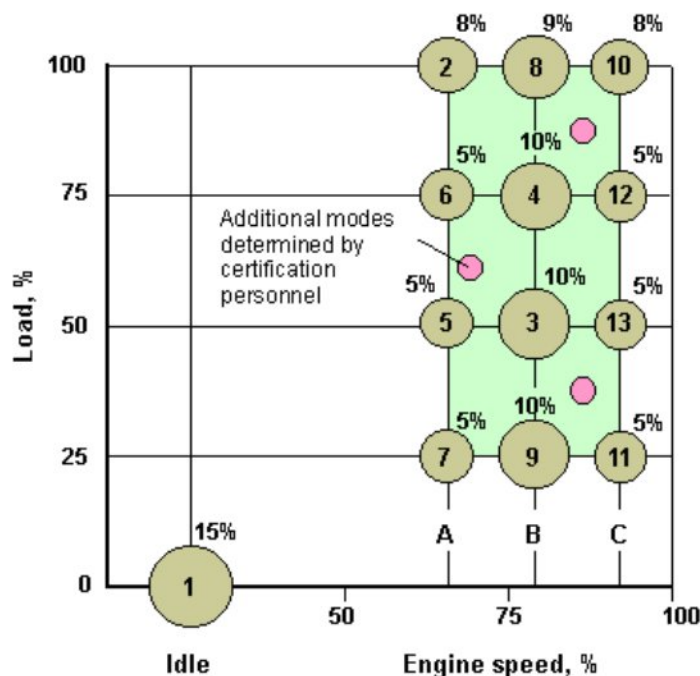


Слика 1.6 ETC прелазни циклус- обртни момент

Код **ESC теста**, мотор се тестира на динамометру преко низа стабилних режима (Табела 3, Слика 1.7). Мотор мора да ради у прописаном року у сваком режиму при промени оптерећења у првих 20 секунди. Наведени брзина ће се одржати у оквиру ± 50 мин и обртни момент у оквиру $\pm 2\%$ од максималног обртног момента. Емисије су измерена током сваког режима и одређује се просек преко низ тежинских фактора. Емисија честица материје се узоркује на један филтер у 13 режима. Коначни резултати емисије су изражени у g/kWh. [8]

Табела 3. ESC тест режими

Mode	Engine Speed	Load, %	Weight, %	Duration
1	Low idle	0	15	4 minutes
2	A	100	8	2 minutes
3	B	50	10	2 minutes
4	B	75	10	2 minutes
5	A	50	5	2 minutes
6	A	75	5	2 minutes
7	A	25	5	2 minutes
8	B	100	9	2 minutes
9	B	25	10	2 minutes
10	C	100	8	2 minutes
11	C	25	5	2 minutes
12	C	75	5	2 minutes
13	C	50	5	2 minutes



Слика 1.7. European Stationary Cycle (ESC)

Брзине мотора су дефинисане на следећи начин:

- Велика брзина n_{hi} је одређена израчунавањем 70% декларисане максималне нето снаге. Највећи број обртаја мотора, где се јавља ова вредност снаге (на пример изнад номиналне брзине) на кривој снаге се дефинише као n_{hi} .
- Ниска брзина n_{lo} је одређена израчунавањем 50% декларисане максималне нето снаге. Најнижи број обртаја мотора, где се јавља ова вредност снаге (на пример испод номиналне брзине) на кривој снаге се дефинише као n_{lo} .

При убрзању мотора А, В и С се користи током теста рачунају на основу следећих формула:

$$A = n_{lo} + 0.25(n_{hi} - n_{lo})$$

$$B = n_{lo} + 0.50(n_{hi} - n_{lo})$$

$$C = n_{lo} + 0.75(n_{hi} - n_{lo})$$

Током тестирања емисије, могу се захтевати и додатни тестови у оквиру контроле циклуса (слика 1.7). Максимални емисија на овим додатним тестовима се одређује интерполацијом између резултата суседних редовних режима тестирања.

ЕСЦ Тест се одликује високом фактором оптерећења и веома високим температурама издувних гасова. [8]

WHSC тест је развијен од стране UN ECE групе. Параметри WHSC су наведени у табели 1 .

По овом тесту мотор се покреће из топлог старта при брзини од 0 км/час (мод 1) до мода 13 где је брзина опет 0 км/час. .[8]

Табела 4. World Harmonized Stationary Cycle (WHSC)

Mode	Speed	Load	Weighting Factor	Mode Length †
-	%	%	-	s
0	Motoring	-	0.24	-
1	0	0	0.17/2	210
2	55	100	0.02	50
3	55	25	0.10	250
4	55	70	0.03	75
5	35	100	0.02	50
6	25	25	0.08	200
7	45	70	0.03	75
8	45	25	0.06	150
9	55	50	0.05	125
10	75	100	0.02	50
11	35	50	0.08	200
12	35	25	0.10	250
13	0	0	0.17/2	210
Total			1	1895
† Including 20 s ramp				

Истраживања у циљу смањења емисије издувних гасова су показала да треба урадити следеће:

- Побољшање система паљења
- Побољшање система образовања смеше
- Рецикулација издувних гасова
- Уређаји за предзагревање мотора
- Квалитетнија горива и мазива

4.Механизам настанка и токсичност регулисане емисије дизел мотора

4.1 Мотори са унутрашњим сагоревањем

Клипни мотор са унутрашњим сагоревањем је технички изум богате историје, настао у ери интензивног технолошког развоја. На самом почетку су се појавиле две успешне, морфолошки сличне концепције - ОТО мотор 1876. (*Nikolaus Otto 1832-1891*) и ДИЗЕЛ мотор 1892. (*Rudolf Diesel 1858-1913*). Њихове функционалне разлике су омогућиле коришћење горива различитих особина, али истог сировинског порекла - из природне нафте. Обиље ресурса и економична производња горива су утврдили коегзистенцију ото и дизел мотора до данашњих дана. Убрзо су потиснули парне машине захваљујући неупоредиво краћем времену припреме за рад, бољој ефикасности, већој специфичној снази и коришћењу енергетски концентрисаног горива. Такође су омогућили настанак нових техничких изума, посебно у области транспорта и механизације. Дуг период усавршавања, специјализација према намени и увођење модерних технологија су моторима СУС обезбедили широку примену. Њима конкурентни пропульзион системи: гасне турбине и турбо-реактивни мотори, потиснули су моторе СУС у применама где велика специфична снага, поузданост и трошкови одржавања имају примат над економичности у потрошњи горива.

Мотори СУС имају доминантну примену у средствима друмског транспорта. Савремена технологија још није дала њима одговарајућу алтернативу у погледу перформанси и укупне енергетске ефикасности, па ће они још дуго времена бити основа возилских погона. У свету је регистровано преко милијарду возила, док је годишња продукција 2011. године премашила 80 милиона јединица. Ниво ангажовања сировинских и енергетских ресурса у производњи и експлоатацији возила је такав да угрожава одрживост даљег развоја. Посебан проблем представља њихов негативан еколошки утицај – токсична емисија, емисија угљен-диоксида (ефекат стаклене баште) и бука. Зато савремени мотори морају да задовоље веома сложене захтеве у погледу погонских карактеристика, економичности и емисионих показатеља. Поузданост у раду, ниски трошкови одржавања, стабилност карактеристика, удобност употребе и могућност рециклаже, допунски су захтеви диктирани од стране законодавца и тржишта. Уз све ово, примењена технолошка решења треба да буду економски оправдана.

Деценијама су актуелне углавном исте теме развоја и усавршавања мотора СУС. Свака генерација конструктора сматра да је достигнут зенит развоја, док наредна то превазилази. Тако је последњих 50 година економичност путничких возила побољшана близу 50%, уз смањење токсичне емисије 300 до 500 пута! Овакви дometи су резултат синергије са пратећим технологијама из области опреме мотора, електронике, погонских и машинских материјала... И након 130 година развојни пут мотора СУС се наставља.

Економичност и емисија мотора СУС су последица карактеристика радног процеса, тако да усавршавања у овом домену имају значајан потенцијал. Поред изворних ОТО и ДИЗЕЛ концепција, у примени су и радни процеси који комбинују њихове добре особине. Повећање ефикасности и редукција сирове емисије се остварују применом мултипроцесног принципа рада, када се радна област мотора дели на зоне са различитим модовима рада.

4.2 Процес сагоревања у дизел мотору

За кључне и најсложеније процесе у клипним моторима СУС, па тако и у дизел моторима, могу се сматрати процес формирања смеше и процес сагоревања. То је због тога што од процесас сагоревања зависе кључне излазне карактеристике мотора, његова економичност и квалитет издувне емисије. Остварење оптипалног тока процеса сагоревања, како са аспекта тока процеса сагоревања, тако и са аспекта примењеног горива, представља најделикатнији проблем развоја мотора и предмет сталних научноистраживачких активности у овој области.

Веома битна карактеристика радног процеса дизел мотора је да се сагоревање врши у условима унутрашње припреме и самопаљења смеше. Основне особине процеса сагоревања код дизел мотора могу се сумирати у следећем:

1. Гориво се убризгава при крају такта сабијања због чега се физичка и хемијска припрема смеше у радном простору мотора, као и само сагоревање морају обавити у веома кратком времену.
2. Сви физицки процеси који иницирају и потпомажу формирање смеше, њену физичку и хемијску припрему за паљење, играју веома битну улогу и у даљем току процеса сагоревања.
3. Начин довођења горива у комору за сагоревање као и кратак период припреме смеше доводе до тога да је смеша горива и ваздуха у комори мотора просторно и временски нехомогена.
4. Да би се обезбедило сигурно и поуздано спонтано самопаљење смеше, гориво мора имати одговарајуће физичко-хемијске особине, односно висок цетански број, а радни (термодинамички) циклус потребне полазне параметре, односно високу температуру на крају сабијања.

Целовитом анализом процеса сагоревања код дизел мотора долази се до закључка да се тај процес не може одвојено посматрати од процеса припреме смеше и паљења, јер ток и механизам сагоревања зависе од тока припреме смеше и обрнуто.

Карактеристично за овај процес је, да се пламен може истовремено појавити на више места и то у периоду када се на другим местима још врши припрема смеше, па чак и убризгавање горива. Разлог за то је велика нехомогеност смеше, која сада у знатној мери зависи од следећих физичких процеса:

- карактеристике убризгавања горива
- дезинтеграције млаза и расподеле горива у радном простору мотора
- струјања радне материје, интензитета вихорења
- преноса топлоте и масе унутар радног простора итд.

Ово условљава појаву врло хетерогених подручја у којима могу постојати зоне у којима су претежно капљице горива, зоне само са парама горива, без ваздуха, подручја попуњена само ваздухом и коначно подручја са парама горива и ваздуха, чије концентрације су у границама паљења и стабилног сагоревања.

Сагоревање у таквим условима постаје врло комплексно и временски и просторно постоји могућност да се појаве, углавном две врсте пламена:

- турбулентни претходно измешани
- турбулентно-дифузни пламен са врло различитим интензитетом турбуленције.

Ово надаље утиче на ток хемијских реакција, ослобађање топлоте и ток притиска у радном простору мотора, и коначно на састав продуката сагоревања. У односу на сагоревање хомогених смеша (као код отто мотора), могу се навести следеће основне специфичности:

1. Видљиви пламен се јавља после периода притајеног сагоревања - ппс (закашњења паљења), који је знатно дужи, јер обухвата физичку и хемијску припрему смеше.
2. Место и моменат упаљења смеше нису тачно дефинисани. Сагоревање почиње у оној зони где постоје оптимални услови за паљење смеше, односно где постоји формирана упаљива смеша горива и ваздуха у границама упаљивости.
3. Даљи ток сагоревања већ запаљених делова смеше и упаљења свеже смеше зависе од локалних услова средине, што значи притиска, температуре, концентрације пара горива и ваздуха, брзине стварања и дифузије активних честица и тд.
4. Како брзину сагоревања могу да одређују физички процеси, као испаравање горива, дифузија пара и мешање ваздуха, загревање смеше и други, она може да буде мања од брзине сагоревања која се јавља у хомогеној смеси пара горива и ваздуха.

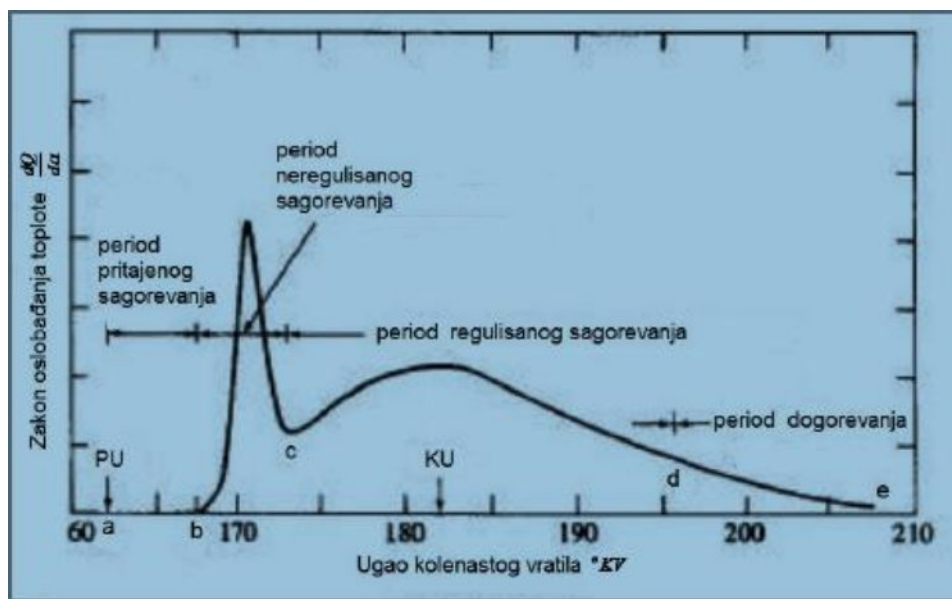
У току сагоревања због врло хетерогених услова околне средине у појединим зонама, сагоревање може да се одвија у условима када постоји довољно кисеоника али и у зонама где је врло мало кисеоника, па долази до пиролитичких хемијских реакција, које су у условима високих температура нарочито интензивирани.

Особеност процеса сагоревања у коморама дизел мотора је и то да се елементарни процеси преласка горива из течне у гасну фазу углавном одвијају у термодинамички надкритичном подручју, који се за више компонентна горива описују веома компликованим физичко-математичким моделима. Хемијски механизам сагоревања је исто тако врло комплексан, јер гориво као и продукти његовог молекуларног распада, могу у условима високих температура и притисака и врло широких граница концентрације оксиданата, да имају различите и комплексне путеве хемијских трансформација реагенаса. У таквим условима се поред уобичајених коначних стабилних продуката (CO_2 H_2O N_2 O_2 H_2 CO NO NO_2 , ,) појављују несагорели угљоводоници (СН)и чврсте честице чађи. Кад је реч о чађи она није непожељна само због загађења спољње атмосфере, него и зато што она интензивира пренос топлоте на зидове коморе за сагоревање, пре свега зрачењем топлоте, што негативно утиче на ефикасност искоришћења енергије садржане у гориву.

У цилиндру дизел мотора процес сагоревања се одвија у тродимензионалном, временски променљивом простору, при варијабилним спољним и унутрашњим - термодинамичким условима, уз одвијање веома комплексних феномена преноса

топлоте и масе, турбулентних струјања, реакција ослобађа топлоте, промена састава радне материје итд.

Процес сагоревања у дизел мотору ће бити укратко анализиран коришћењем дијаграма на слици 1. 8, који приказује начелан ток карактеристичних фаза процеса сагоревања. Уобичајено је да се процес сагоревања код дизел мотора, услед његове изразите комплексности и осетљивости као дела енергетске трансформације, дели у четири карактеристичне фазе. {2}



Слика.1. 8 Начелни ток карактеристичних фаза процеса сагоревања приказан преко закона ослобађања топлоте (ПУ – почетатак убризгавања, КУ – крај убризгавања)

Прву фазу чини закашњење упаљења или период притајеног сагоревања - **ппс**. Он означава временско или угловно закашњење паљења након убризгавања горива. Зависно од тога да ли се ппс прати у функцији од једног или од другог параметра, он се изражава у секундама (милисекундама) или у степенима коленастог вратила ($^\circ KV$), које протекне од почетка убризгавања горива до момента појаве видљивог пламена и отпочињања сагоревања. Ова фаза сагоревања траје веома кратко, од 0,6 ms до 2 ms, али се за то време одигра веома велики број физичких и хемијских процеса који битно утичу на каснији ток сагоревања.

Кад је реч о физичким процесима поред веома интензивног кретања ваздуха у цилиндру, у њих се убрајају и само убризгавање горива, развој и распршивање млаза, уситњавање капљица, испаравање, дифузија пара горива и ваздуха и коначно добијање смеше у границама упаљивости. За физичким, следе и хемијски процеси у облику претпламених реакција, које даље воде до самопаљења убризганог горива. У најважније реакције ове врсте спадају декомпозиција тежих угљоводоничних

молекула, стварање пероксида, алдехида и других мање или више стабилних прелазних једињења, полимеризација мањих незасићених угљоводоника и сл. После одвијања ових реакција, стварају се услови за самопаљење и брзи ланчани ток реакција сагоревања угљоводоничних молекула.

Другу фазу процеса сагоревања чини период нерегулисаног (неконтролисаног) сагоревања горива убризганог у току периода притајеног сагоревања, које је достигло границу упаљивости. Током ове фазе долази до веома бурног сагоревања количине горива која је доспела у цилиндар за време периода притајеног сагоревања и горива убризганог у почетку друге фазе. У овој фази, такође, започиње ефективно ослобађање топлоте из горива.

Период регулисаног сагоревања је трећа фаза сагоревања. У овој фази сагоревање се одвија знатно спорије него у претходној, и кад се ради о моторима са директним убризгавањем максимум брзине ослобађања топлоте не достиже максимум из претходне фазе (слика 8). Многим практичним огледима је утврђено да код брзоходних дизел мотора са директним убризгавањем око 75% до 80% укупне количине убризганог горива сагори у овој фази. Бројна истраживања сагоревања показују да у овој фази брзина ослобађања топлоте има исти ток као и брзина формирања смеше, што је повољно. То значи да је брзина сагоревања сразмерна брзини мешања паре горива и ваздуха како убризгавање горива траје делом и током треће фазе, све величине које позитивно утичу на брзину формирања смеше, позитивно ће утицати и на брзину сагоревања, односно на укупну количину топлоте ослобођене у овој фази. Пошто се ове последње количине горива допремају у радни простор у коме је већ у току сагоревање, а то значи и висока температура, то је период закашњења паљења за те честице врло кратак и за све њих скоро једнак, па ће зато гориво оксидирати по онаком закону по коме се убризгава у цилиндар, под условом да постоји, глобално и локално, довољна количина кисеоника (O_2). На крају, пожељно је да што већа количина горива сагори пре истека ове фазе, пошто у току експанзије услови за сагоревање постају неповољни.

Последњу фазу процеса сагоревања чини тзв. догоревање током којег се сагоревање одиграва веома споро, у условима мале количине расположивог ваздуха, нижих температура и знатне присутности продуката сагоревања, који инхибиторно делију на већину хемијских реакција. Ова фаза се продужава далеко на такт експанзије. Гориво које у овом периоду отпочне сагоревање, углавном сагорева непотпуно, тако да настаје знатна количина продуката непотпуне оксидације. Ово је особито изражено ако постоји накнадно убризгавање, услед неоптимизације система за убризгавање. У фази догоревања нарочито је значајно да постоји добро вртложење радне материје, како би се што боље искористила преостала количина расположивог ваздуха. Код правилно вођеног процеса, у току догоревања ће успети да сагоре извесне количине несагорелих (CH) који су заостали из претходних реакција, део настале чађи и примарних честица, а такође ће доћи и до рекомбинације заосталих радикала и активних атомских група.

Свака од фаза сагоревања доприноси, на одређени начин, емисији токсичних компоненти. Тако, на пример, од дужине **ппс** и количине горива која се тада убризга, директно зависе интензитет предпламених реакција, као и максимални притисак и температура циклуса који се достижу у каснијим фазама процеса. Од вредности максималне температуре циклуса зависи интензитет високотемпературских реакција,

у које спадају реакције формирања оксида азота (NO_x) и оксидације несагорелих (CH). То значи да ако се високотемпературске реакције одигравају у присуству довољне количине кисеоника (O_2), сагоревање ће бити потпуније па ће у издуву мотора заостати мања количина угљоводоника, чађи, угљен-моноксида, алдехида и осталих продуката непотпуног сагоревања, али ће емисија NO_x бити висока, што значи да ће морати да се предузимају решења за њихово смањење.

За сагоревање хетерогених смеша, што је случај код дизел мотора, карактеристичне су извесне основне специфичности:

а) Максималне брзине сагоревања се јављају у другој фази процеса - периоду бурног сагоревања. У тој фази градијент притиска може да пређе вредност од $6 \text{ bar/}^\circ K$, чиме постаје значајан извор буке која потиче од процеса сагоревања.

б) Искоришћење ваздуха је махом непотпуно, што условљава да је просечна вредност глобалног коефицијента вишка ваздуха $\lambda=1$.

Минималне вредности се крећу од $\lambda=1,5$ до $\lambda=1,7$ зависно од примењеног система формирања смеше на конкретном мотору. Код најсавременијих надпуњених мотора са „common rail” системом убризгавања ове вредности су редовно преко два.

ц) С обзиром на напред изнето, зависно од нацина формирања смеше, знатан утицај на ток процеса сагоревања, нарочито у другој фази, могу да имају: угао предубризгавања, закон убризгавања и распршивање млаза горива као и угао закашњења упаљења, односно период притајеног сагоревања.

д) Услед локалног недостатка кисеоника и осталих неповољних услова у локалним зонама, дизел мотори имају тенденцију ка стварању честица чађи, нарочито код већих, средњих индицираних притисака, када вредност глобалног коефицијента вишка ваздуха - λ опада.

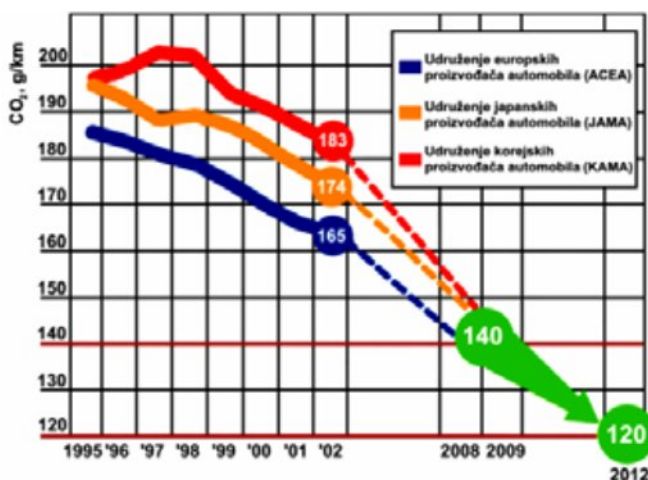
е) Осим чађи у продуктима сагоревања у издуву дизел мотора јављају се и токсичне компоненте као што су оксиди азота (NO_x), угљенмоноксид (CO) и махом на мањим оптерећењима и при хладном мотору несагорели угљоводоници (CH).

Из претходних излагања може се закључити да формирање смеше код дизел мотора, битно утиче на процес сагоревања и све излазне параметре мотора укључујући и ниво токсичности издувних гасова. Правилно организованим, односно, диригованим процесом формирања смеше може се утицати на процес паљења, механизам хемијских реакција и временски ток сагоревања.

Процес стварања чађи и осталих токсичних компоненти у издуву дизел мотора углавном је контролисан процесом мешања горива и ваздуха у комори за сагоревање који преко локалног односа гориво/ваздух, утиче на карактер процеса сагоревања практично одређујући локалне вредности температуре и притиска. Ови фактори, пак дефинишу карактеристике динамике хемијских реакција формирања токсичних компоненти у радном простору мотора.

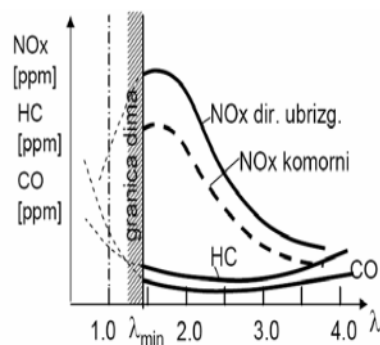
4.3 Емисија издувних гасова дизел мотора

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). 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 моноксид (CO), хидрокарбонати (HC), и оксиди азота (NOx). Оксидацијом угљен-моноксида и угљоводоника са азотом, који се такође налази у издувним гасовима мотора, настају оксиди азота.



Слика 1. 9. Циљеви аутомобилске индустрије у смањењу емисије CO_2

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), слика 1.9. 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 техиометријском 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, слика 1.10. {2}



Слика 1.10. Утицај састава смеше ваздуха и горива на токсичне компоненте у издувним гасовима дизел мотора

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 пооштравани. Законски су санкционисане токсичне компоненте издувних гасова које се јављају у значајнијој количини а то су:

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.

HC несагорели угљоводоници. " 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 сиромашнесмеше $\lambda = 1,1$. 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 смеши је раније гашење гориве смеше у цилиндрима те несагоревање укупне масе горива.

***NOx* оксиди азота.** "*NOx*" је такође симбол за разне врсте оксида азота.

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 и 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 зотдиоксид (*NO₂*).

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 *C₁₂* до *C₂₅* (којих има у дизел гориву) који формирају кристалне структуре честица чађи величине (0,1 до 2÷3 μm). Те иницијалне честице чађи (угљеника) се међусобно везују у веће честице (10÷50 μm) које упијају органске киселине (на бази тешких угљоводоника из горива и уља) и неорганске киселине (на бази сумпора који 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 *NOx* због знатно мање количине изражавају у "ppm" (делова у милион, 1 ppm = 1/10000 %).

4.4 Формирање токсичних компоненти издувне емисије

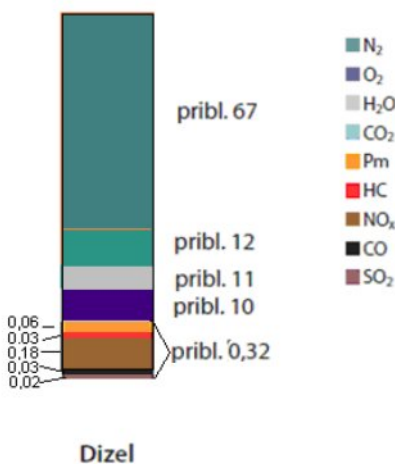
Мотори са унутрашњим сагоревањем се веома широко користе као трансформатори унутрашње хемијске енергије неког горива у механичку енергију. Пре тога, хемијска енергија горива се мора трансформисати у топлоту која се добија процесом сагоревања унутар радног простора мотора. Комора за сагоревање која је део радног простора мотора и која представља неку врсту енергетског генератора је место у коме се врши процес сагоревања одговарајућег степена ефикасности.

Сам процес сагоревања је повезан осим са генерисањем одређене количине топлоте, и са формирањем продуката сагоревања који садрже, осим продуката потпуног сагоревања угљендиоксида CO_2 и водене паре H_2O и продукте непотпуног сагоревања и токсичне продукте као што су CO , HC , NO_x и честичну материју (чађи и лако испарљиве органске и неорганске компоненте).

4.4.1 Утицајни фактори на формирање токсичних компонената код дизел мотора

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 више температуре циклуса ниже. Велики проблем дизел мотора је емисија честица (ПТ).

Један од најважнијих утицајних фактора је и овде састав смеше, што је приказано на сл. 11 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.



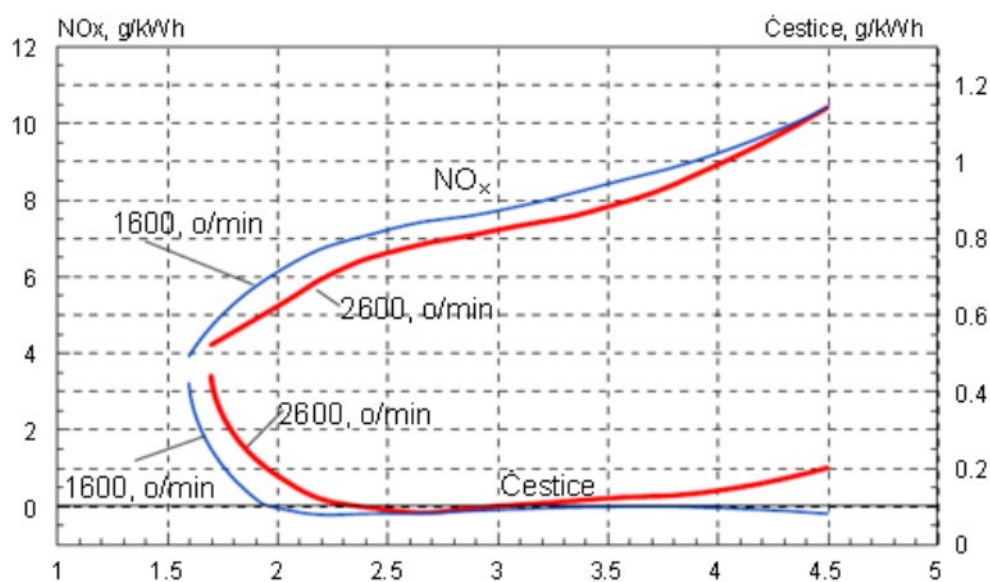
Слика 1.1 Састав издувних гасова дизел мотора

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%.

Несагорели угљоводоници HC 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.

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.



Слика 1.2. Утицај састава смеше на показатеље токсичности дизел мотора

4.4.2 Формирање честичне материје у издувним гасовима дизел мотора

Димност издувних гасова дизел мотора условљена је присуством веома ситних честица, микронских димензија, тврдог угљеника – С у тим гасовима. Честице угљеника се махом формирају процесима у гасној фази, и оне се обично називају чађ, а оне које настају пиролизом течних угљоводоничних горива најчешће стварају кокс. Иако постоје разна ограничења у емисији честица, не само мобилних него и стационарних енергетских извора, треба рећи да ове честице имају најчешће штетну улогу.

Добро је познато да је степен формирања честица и дима повезан са врстом пламена са којим неки енергетски систем ради. Издувни гасови дизел мотора који иначе раде са дифузним пламеном, познато је, имају више дима него издувни гасови мотора који раде по ОТО циклусу и који раде са претходно измешаном смешом, односно са тзв. хомогеном смешом. Зато је природно да је у току развоја и масовне примене дизел мотора од свих аспеката штетног дејства издувне емисије овога типа мотора, дим најраније примеен, као једина компонента те емисије која се може визуелно дефектовати.

Савремене методе истраживања процеса сагоревања код дизел мотора, омогућиле су проучавање тока формирања чађи, односно дима, као и развоја овог штетног процеса од момента појаве првих честица чађи до краја издувавања. Процес стварања чађи у ствари представља процес коксовања угљоводоничних молекула горива убризганог у комору за сагоревање односно цилиндар мотора.

Зато је елиминација ових штетних компоненти издувне емисије дизел мотора био и остао један од главних развојних задатака, како са процесног, тако и са конструктивног аспекта.

За разлику од реакција формирања NO_x механизам настанка чађи и њеног сагоревања је далеко мање познат и разјашњен, чак и када се ради о најједноставнијим системима за сагоревање.

4.4.3 Формирање угљенмоноксида – СО

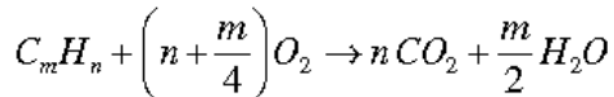
Угљенмоноксид (СО) је продукт непотпуног сагоревања. СО емисија из мотора СУС је превасходно зависна од односа ваздух/гориво. Концентрација СО у издувним гасовима се стално повећава како се смањује однос ваздух/гориво, односно ако секоефицијент вишка ваздуха смањује. Код мотора који раде са хомогеном смешом код хладног мотора смеша горива и ваздуха мора бити богатија тако да је емисија СО повећана, нарочито у фази загревања мотора и много је већа него када је мотор потпуно загрејан.

Угљенмоноксид - СО се у 90%-тном садржају налази у атмосфери као продукт непотпуног сагоревања угљоводоничних горива и дисоцијације СО₂ при високим температурама пламена. Угљенмоноксид се ствара како при дифузног сагоревању (карактеристично за дизел моторе), тако и при сагоревању хомогених смеша горива и ваздуха, односно тзв. "претходно измешаном смешом" (карактеристично за ото моторе).

4.4.4 Формирање несагорелих угљоводоника - СН

У угљоводонична једињења која се појављују у издувним гасовима дизел мотора убрајају се сва једињења угљеника (С) са водоником (Н) која могу бити одређена методом јонизације пламена водоника, тј. која потицу од метана (CH_4) и завршавају тешким угљоводоникима који испаравају при температурама вишим од 170°C .

Идеално би било да се процес сагоревања у моторима СУС одвија по следећој реакцији:



Међтим, у пракси процес сагоревања не производи само CO_2 и водену пару. Процес сагоревања у мотору је непотпун, иако треба имати на уму да су у укупној издувној емисији око 99.5 до 99.7% уствари продукти потпуног сагоревања. Међутим један од продуката непотпуног сагоревања су несагорели угљоводоници – СН. У издувном гасу дизел мотора налази се широк спектар угљоводоничних једињења. Дизел гориво садржи угљоводонична једињења са вишим тачкама кључања него нпр. бензин, односно једињења са већим молекуларним тежинама. Ово је један од разлога зашто је код дизел мотора састав несагорелих угљоводоника много сложенији него код мотора који раде по ото термодинамичком циклусу. Као што је наведено, НС компоненте уобичајено крећу од метана CH_4 , до нејтежих угљоводоничних компоненти које остају у парној фази само у случају поседовања анализатора са грејним водом, при чему се сматра да је довољно да се гас одржава на температури од око 190°C .

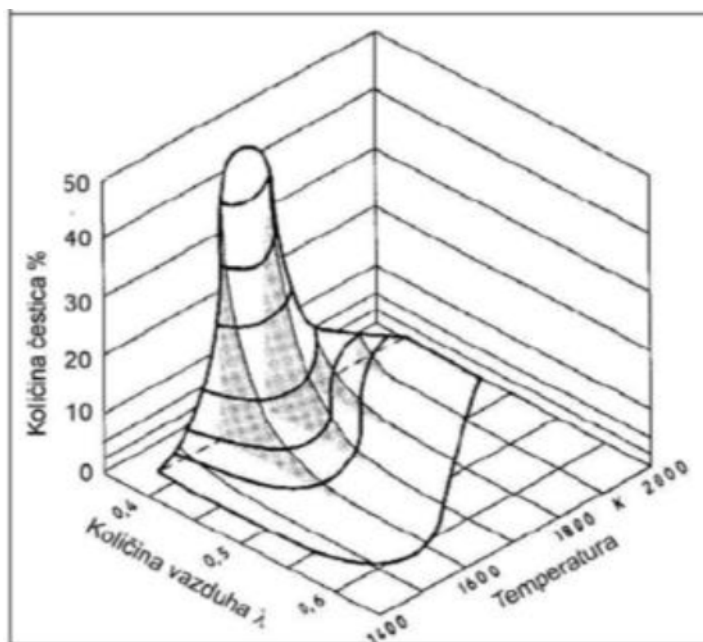
Ниво емисије СН код дизел мотора варира зависно од радних режима. Што се токсичности тиче, као и утицаја на здравље људи може се рећи да су релативно токсични алкани (*алканес*) и алкени (*алкенес*), а бензен (*бензене*), може бити изузетно штетан.

Такође, НС из издувних гасова мотора су одговорни за појаву тзв. „летњег смога” у градовима. Присуство угљоводоника у издувним гасовима дизел мотора последица је пре свега непотпуног и недовршеног сагоревања горива. Несагорели угљоводоници (СН) у издувним гасовима дизел мотора представљају комбинацију од око 200 различитих угљоводоника мада се у значајнијој концентрацији јавља око 30 компоненти. Неки од тежих угљоводоника, особито оних са ароматском основом, врло су токсични, чак и канцерогени.

Један од разлога појаве овако великог броја СН - компоненти у издуву дизел мотора је само гориво које представља смешу различитих, углавном тежих угљоводоничних компоненти.

Сагоревање нехомогених смеша при малим укупним коефицијентима количине ваздуха ($\lambda < 1.3 \div 1.5$) по правилу доводи до стварања честица и до димљења дизел мотора. Разлог је у постојању зона са знатним локалним преобогатењем смеше ($\lambda < 0.3 \div 0.4$). У тим зонама се, када су температуре повољне, дешава термичка деструкција и крековање молекула угљоводоника око којих нема довољно молекула кисеоника, слика 13. Продукти су честице чађи које се углавном састоје од веома

тврдог угљеника. Тако се објашњава механизам димљења дизел мотора при повећању циклусне количине горива, т.ј. при повећању оптерећења изнад номиналног.



Слика 1.3. Формирање чађи

Ненормално сагоревање код дизел мотора се јавља као “дизел удари” и као дим. Ако се гориво тешко пали (бензини и алкохоли) онда ће у комору да уђе велика количина горива па се оједном упали. Притисак на клип је ударан, а цео мотор лупа и тресе се. То се може запазити код сваког старта хладног мотора. Дизел удари се ретко јављају у нормалном раду дизел мотора. Дизел удар се редовно јавља када је мотор хладан, у старту и при наглom оптерећењу. Гориво ниског цетанског броја се тешко пали, дуго борави у цилиндру. За то време брызгач убризгава све већу количину горива која се онда одједном пали па притисак нагло расте и уместо рада добијамо ударно оптерећење лежајева и свих делова мотора.

Други вид ненормалног сагоревања у дизел мотору се види као “дим”. Убризгавањем горива у цилиндар ми уствари уводимо течну фазу у врели ваздух. Ма колико то желели не успева нам да целокупну количину горива, а посебно не последње порције горива, измешамо са ваздухом. Значи да ће потпуно сагорети само они делићи горива који буду окружени кисеоником. Остали се везују са азотом или сами са собом. То су тзв. Ц=Ц везе: ЧАЋ- која излази у околину у виду дима. На тим чврстим честицама су молекули несагорелог горива понекад као компоненте за које је доказано да стимулишу рак.

Законом о безбедности саобраћаја је ограничено затамњење издувних гасова (због прегледности пута у фази претицања), а еколошким прописима су ограничене количине честица, несагорелих угљоводоника, угљенмоноксида и азотних оксида. Горива са високим цетанским бројем (преко 60) се сувише лако пале сама од себе. Чим уђе прва количина таквог горива у цилиндар она се одмах упали тако да наредне количине течног горива улазе у вреле облаке продуката сагоревања па нема

времена нити за стварање смеше нити има довољно свежег ваздуха за потпуно сагоревање. Зато се у продуктима сагоревања јавља дим. Горива са претерано високим цетанским бројевима диме. Ако систем за убризгавање није у реду, и ако након главног убризгавања наступи накнадно убризгавање или цурење горива мотор ће димити. Крупне капљице горива, које се стварају у случају накнадног убризгавања или цурења, поседују малу кинетичку енергију, па се задржавају у близини излазне млазнице бризгача у зонама са малим садржајем кисеоника. Веома је тешко остварити брзо сагоревање таквих капљица и оне најчешће завршавају као честице угљеника. Честице се касније са издувним гасовима избацују у околину и битно погоршавају еколошке карактеристике дизел мотора.

4.5 Дозвољене емисије штетних материја

У почетку је у Европи у издувним гасовима аутомобилских мотора била ограничена само емисија CO, а од 1970. године ограничена је и емисија HC. Од 1977. ограничена је емисија NOx (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.

Tabela 5. Максималне дозвољене количине (g / kWh) појединих штетних материја у издувним гасовима тешких теретних аутомобила и аутобуса(ESC)

EU Emission Standards for Heavy-Duty Diesel Engines: Steady-State Testing								
Stage	Date	Test	CO g/kWh	HC	NOx	PM	PN 1/kWh	Smoke 1/m
Euro I	1992, ≤ 85 kW	ECE R-49	4.5	1.1	8.0	0.612		
	1992, > 85 kW		4.5	1.1	8.0	0.36		
Euro II	1996.10		4.0	1.1	7.0	0.25		
	1998.10		4.0	1.1	7.0	0.15		
Euro III	1999.10 <i>EEV only</i>	ESC & ELR	1.5	0.25	2.0	0.02		0.15
	2000.10		2.1	0.66	5.0	0.10 ^a		0.8
Euro IV	2005.10		1.5	0.46	3.5	0.02		0.5
Euro V	2008.10		1.5	0.46	2.0	0.02		0.5
Euro VI	2013.01	WHSC	1.5	0.13	0.40	0.01	8.0×10 ¹¹	

a - PM = 0.13 g/kWh for engines < 0.75 dm³ swept volume per cylinder and a rated power speed > 3000 min⁻¹

WHSC- World Harmonized Stationary Cycle – тест са низом стабилних режима тестирања мотора са дефинисаним критеријумима брзине и обртног момента .

Из табеле 5. види се да је циљ Еуро 5 и 6 захтева додатно смањење емисија NOx и количине честица и ото и дизел мотора, са нагласком да је то смањење веће за дизел моторе.

Еуро 1 је ступио на снагу 1992. године, а за ознаку за максимално дозвољене количине штетних материја пре њега се обично у литератури примењује Еуро 0. Границе Еуро 0 у дијаграмима су добијене накнадним испитивањем ових возила и прерачунавањем на данашње стандарде. Слични односи смањења дозвољених емисија као у табели 5 постигнути су и у осталим категоријама возила.

4.5.1 Утицај горива на издувну емисију моторних возила

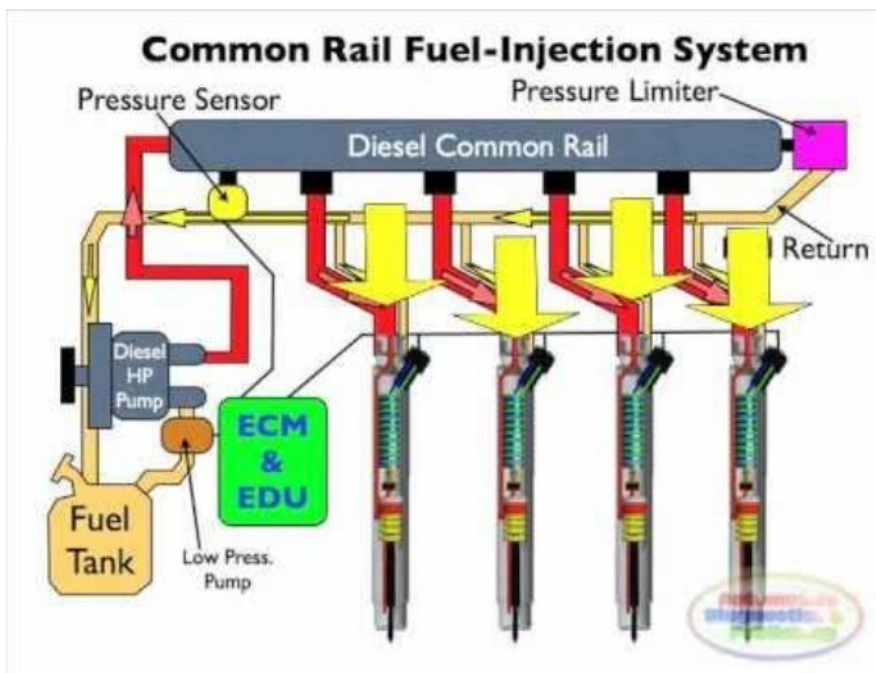
Количине штетних материја у гасовима који излазе из издувне цеви моторног возила зависе од технолошког нивоа возила и квалитета горива. За сваки ниво емисијских захтева потребно је ускладити конструкцију возила и квалитет горива. Жеље произвођача возила и мотора сажете су у Светској повељи о квалитету горива Worldwide Fuel Charter 3(WWFC). Оне су по правилу увек нешто веће од онога што је одобрено законским прописима (Еуро 1, 2, 3, 4, 5...). 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.

Садржај сумпора. Проблеми услед сумпора у гориву уочени су најпре код дизел мотора, где оно доводи до повећања концентрације чађе 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%. У бензинском мотору смањење сумпора са 150 на 10 mg / kg смањује емисије штетних материја до 35% без икаквих додатних захвата на мотору. Примена нових, термички отпорнијих трокомпонентних катализатора такође није могућа јер високи садржај сумпора од 150 mg / kg разара катализатор.

5. Редукција штетних материја у издувним гасовима

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 чађе и ниску емисију буке важни су високи притисци убризгавања, доброраспршивање 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* Електронска управљачка јединица управља радом целокупног мотора и система за пречишћавање издувних гасова.



Слика 1.4. Систем *Common Rail* 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 бар 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.

Трајност система за пречишћавање издувних гасова Еуро 4 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 (НЗ масе преко 16 t и МЗ 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 (чађа) и оксиди азота.

За њихово уклањање примењују се два основна концепта:

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

Иако се на први поглед чини да би ова друга концепција требала бити надградња првој, сада није тако. Наиме, код примене SCR -а нема потребе за повратком издувних гасова у цилиндар, уређај EGR је непотребан, па се потребно смањење емисије честица може постићи оптимирањем процеса сагоревања у цилиндру у коме више нема старих издувних гасова који би ометали сагоревање. Због тога што нема филтера честица отпада и повећана потрошња због горива потребног за периодично регенерисање филтера. 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 чађе, 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.

Каталитички конвертори-катализатори. Иако су се почели веома рано уграђивати на ото моторе, катализатори се тек релативно кратко време уграђују и на дизел моторе. И овде им је задатак смањивање штетних састојака CO, HC и NOx 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 чађе и оксиди азота (NOx).

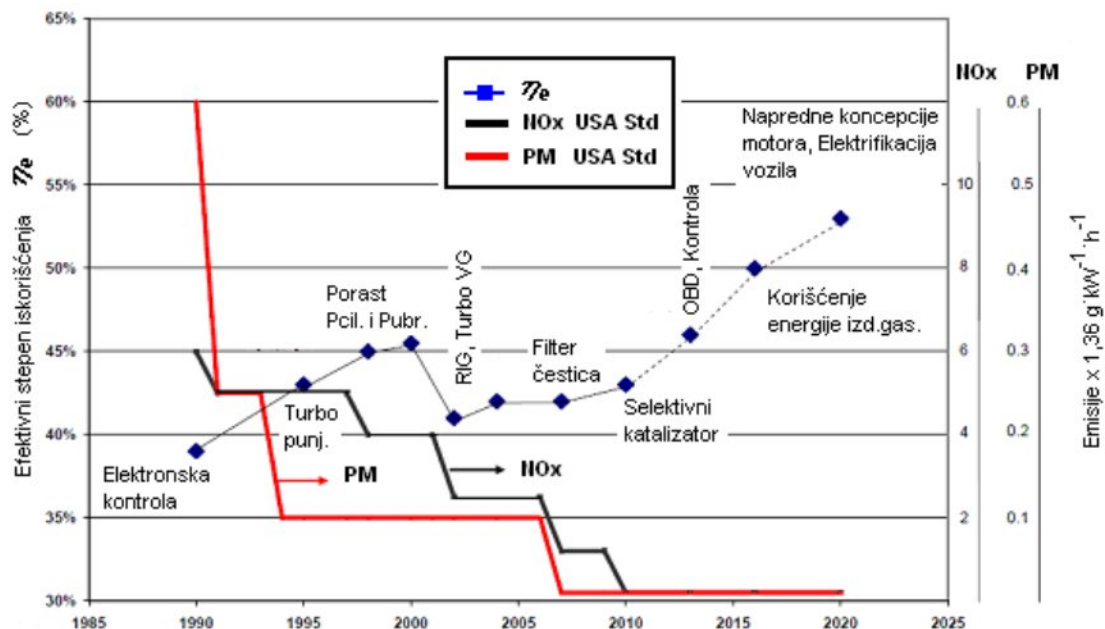
Троструки катализатор који веома добро смањује оксиде азота код ото мотора, овде се не може применити јер дизел мотор увек ради са великим вишком ваздуха. Због тога је све до 2005. године требало чекати да дугонајављивани *DeNOx* -катализатор за дизел моторе како би достигао степен трајности и поузданост какву данас тржиште моторних возила очекује.

6. Контрола састава издувних гасова моторних возила на техничком преглед

6.1 Стање технике и правци усавршавања возилских мотора СУС

6.1.1 Дизел мотори

Усавршавање дизел мотора је интензивирано крајем прошлог века, када су уведени, за то време, строги прописи о емисији честица и азотових оксида. На слици 15. је дат хронолошки приказ увођења технологија које су обезбедиле испуњење важећих прописа у САД, као и њиховог утицаја на максималну ефикасност мотора . [2]

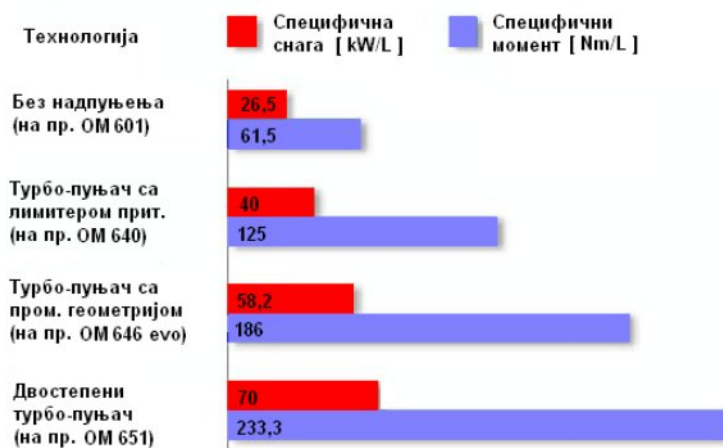


Слика 1.5. Утицај дизел технологија на емисију и економичност мотора теретних возила

- Електронска контрола параметара убризгавања уз умерено натпуњење је омогућила оптимирање радног процеса и решавање конфликта емисије честице↔азотни оксиди. У то време је дошло и до битних промена у формулацији карактеристика дизел горива: ограничен је садржај сумпора и полицикличних аромата, побољшане карактеристике упаливости, уз снижење температуре краја дестилације. Такође је почела широка примена нископепелних моторних уља. Ове мере су одложиле примену филтера честица који су захтевали честу регенерацију и повећавали потрошњу горива.

- Увођење система убризгавања високим притисцима уз високо надпуњење је довело до значајног смањења емисије честица, пораста оптерећења и ефикасности мотора.
- Даља ограничења емисије NO_x су решена применом рецикулације хлађених издувних гасова. Ова мера је неповољно утицала на процес сагоревања. Пад максималних температура сагоревања и продужено догоревање су смањили ефикасност мотора. Велика количина рецикулисаних гасова (и до 40 %) угрожава рад турбо-пуњача, па је проблем решен увођењем турбина са променљивом геометријом, или применом двостепеног турбо натпуњења.
- Истовремено смањење емисије NO_x и честица (прописи из 2007.) није могло да се реши само унутрашњим мерама, па је почела примена оксидационих катализатора и филтера честица. Ову технологију је пратило додатно ограничење садржаја сумпора у гориву Ниска сирова емисија честица и ефекти оксидационог катализатора смањују учесталост принудне регенерације, па је утицај на потрошњу горива занемарив.
- Стандарди из 2010. године су захтевали велико смањење емисије NO_x па је почела примена селективних редукционих катализатора (*Selective Catalytic Reduction*). У Европи је примена ових катализатора почела нешто раније, ступањем на снагу ЕУРО 4 регулативе (2005). {2}

Карактеристике радног процеса савремених дизел мотора



Слика 1.6. Развој технологије турбо-пуњења и утицај на перформансе дизел мотора

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. 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. У том законском процесу водећу улогу су имале Сједињене Америчке Државе. Развој будуће законске регулативе и обавеза задовољења истих изискује интензиван развој и усавршавање постојећих генерација мотора. Развој и пооштравање законске

регулативе у новије време обухватио је чак и дизел моторе намењене уградњи у пољопривредну механизацију. Први корак увођења прописа ЕСЕ R96 о ограничењу емисије издувних гасова дизел мотора намењених уградњи у пољопривредну и шумску механизацију обухвата дизел моторе номиналних снага већих од 37 KW.

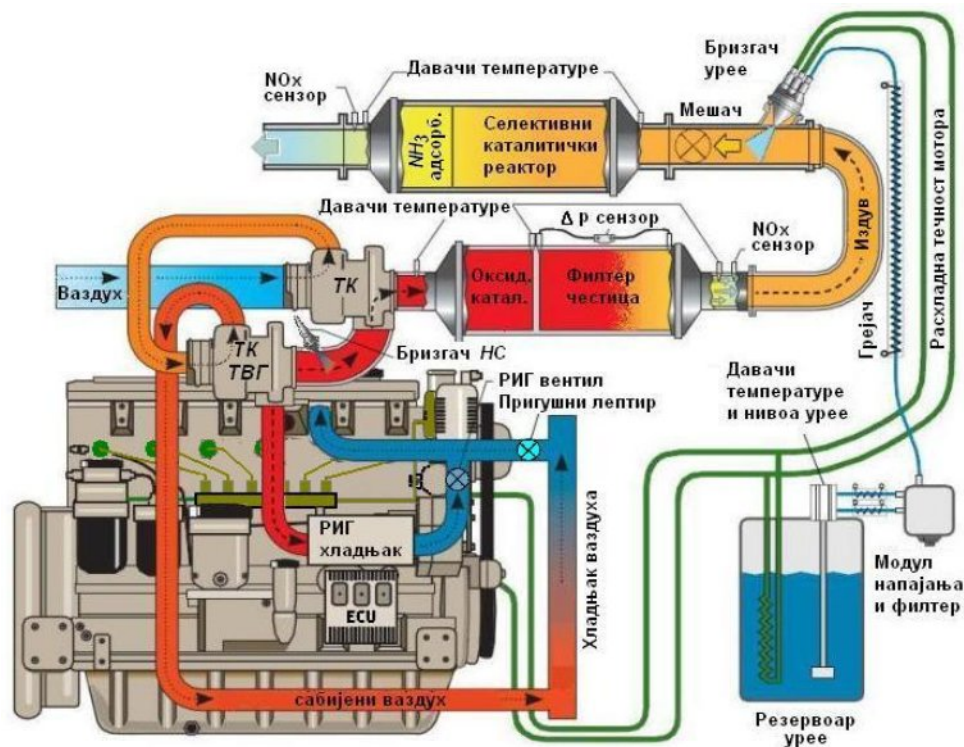
Велика већина људи није у довољној мери свесна опасности по здравље које долази из издувних система моторних возила. Сагоревањем бензина и дизела добија се угљен-диоксид (CO_2) и водена пара (H_2O). У директном контакту CO_2 није штетан, али има негативну улогу у очувању животне средине, спада у гасове који чине ефекат стаклене баште и тако утиче на глобално загревање, истискује кисеоник (O_2) из ваздуха због чега може да доведе до гушења. Његов садржај у издувним гасовима савремених возила, мери се ради дијагностиковања квалитета каталитичког сагоревања у катализатору. Услед непотпуног сагоревања у моторима, заостају капљице горива и уља, и јављају се штетни гасови као што су угљен моноксид (CO), хидрокарбонати (HC), и оксиди азота (NO_x). Оксидацијом угљен-моноксида и хидрокарбоната са азотом, који се такође налази у издувним гасовима мотора, настају оксиди азота. Због обимности садржаја који би овај рад обухватио пошли смо од логичне претпоставке да сваки контролор на техничком прегледу има основна знања у вези возила, принципа рада СУС мотора и њихове конструкције, као и да је у процесу обуке оспособљен да препозна поједине делове и уређаје које је произвођач уградио у циљу смањења садржаја штетних издувних гасова. Дужност сваког контролора је да утврди постојање појединих уређаја на мотору возила као и да визуелно утврди њихову исправну учвршћеност и неопштећеност.

6.2 Накнадна обрада 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.

На слици 17. 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. 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. 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 ниско сумпорног горива (<10 ppm), ниску потрошњу и посебну формулацију моторног уља.

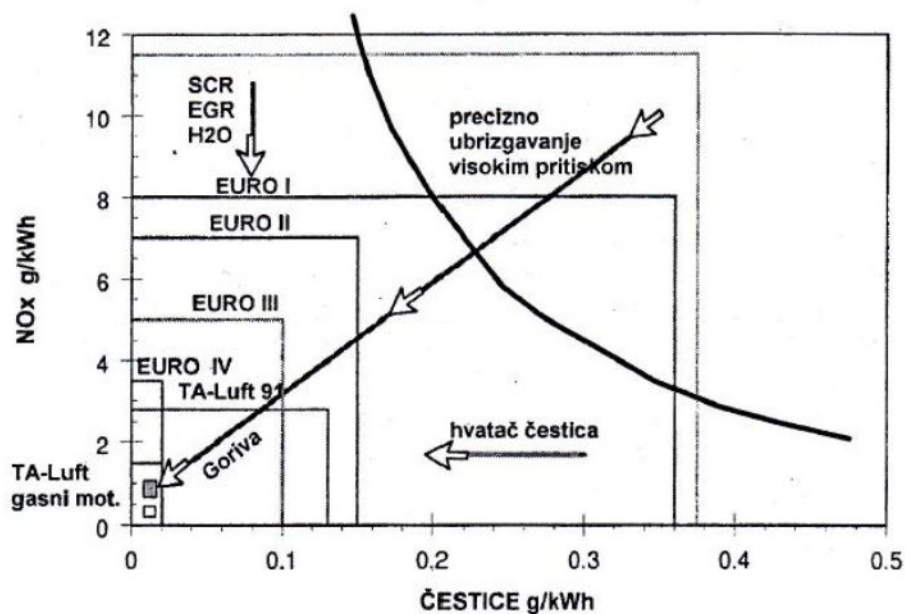


Слика 1.7. Концепција савременог дизел мотора

Филтри честица нису ефикасни код пречника честица испод 10 μm , за које важи општа регулатива (PM₁₀ стандарди). Зато је поред специфичне масене емисије честица уведено и ограничење њиховог броја. {5}

Проблем редукације 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.

Проблем каталитичког смањења Nox , код глобално сиромашне смеше дизел мотора решава Denox^R катализатор. Основна мана овог катализатора је захтев за врло ниским садржајем сумпора у гориву, мање од 50 ppm. Са аспекта произвођача горива ово је, за сада, економски не прихватљиво. Стога се примена Denox^R катализатора ограничава на моторе са погоном на метил акохол.



Слика 1.8. Напредне технологије у решавању емисије дизел мотора

6.3 Развој аутодијагностичких средстава

Као што смо у уводном делу поменули све строжији законски прописи у погледу штетне емисије издувних гасова и савремена конструкциона решења са повезаним електронским компонентама (сензорима, актуаторима...) наметнули су и потребу да је у возилима постао неопходан један дијагностички систем за надгледање рада компоненти и система у целини „одговорних“ за састав издувних гасова. Из наведених разлога сва новија возила су опремљена ЕОБД системима који детектују, меморишу и приказују грешке. У случају неисправности или приликом редовне сервисне контроле, кодови грешака и остали релеватни подаци могу се позвати из меморије ECU у којој су смештени. Меморисане грешке се читавају преко стандардизованог ЕОБД *interface* прикључка који се налази у возилу, уз спајање, данас већ увелико приступачних, дијагностичких уређаја. При контроли састава издувних гасова на техничком прегледу контролор најлакше може да уочи могућност постојања квара система за надзор издувне емисије, једноставно погледом на контролну таблу возила када мотор ради а укључена је жута

„MIL“ лампица. (Напомена: неки од произвођача возила уграђују посебну лампицу за EOBD)

Савремени анализатори издувних гасова опремљени су интегрисаним EOBD дијагностичким уређајем те њиховом употребом контролори могу на возилу уједно очитати грешку у систему и дијагностиковати квар уколико постоји. EOBD подразумева у циљу помоћи при дијагностиковању, да се из меморије рачунара возила осим грешака могу очита очитати и радни услови при којима је дошло до неке грешке.

Контролор на техничком прегледу никако не треба да врши брисање грешака из меморије ЕЦУ већ то треба да препусти овлашћеном сервису!



Слика 1.9. Контролна табла возила са сензором за пријаву квара издувне емисије

Сходно наведеном, на техничком прегледу при контроли издувних гасова дизел мотора, прописима је регулисано да се посматра само степен зацрњења (коэффициент апсорпције) издувног гаса а не и волуменска концентрација појединих издувних гасова као код ОТО мотора.

Гранично зацрњење издувних гасова дизел мотора прописано је хомологацијским правилником ЕСЕ R 24 којим се овде нећемо бавити у смислу његових одредби из разлога што се хомологацијска испитивања разликују од периодичне контроле издувних гасова на техничком прегледу.

На техничком прегледу возила у експлоатацији, прописима је регулисано да се контрола степена зацрњења издувног гаса израчунава након најмање три узастопна убрзања неоптерећеног мотора од броја обртаја на празном ходу до највећег броја обртаја при којој довод горива искључује регулатор.

Извод из чл.82 Правилника о техничким условима који је почео да се примењује у Србији од септембра 2010.године: „Возила са мотором са компресионим паљењем (дизел), 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.

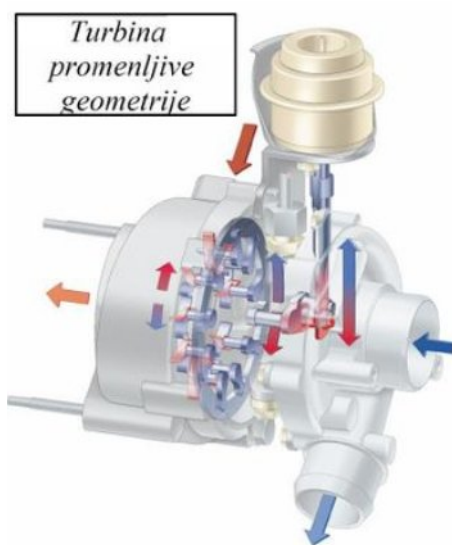
Ако подаци произвођача возила нису познати, тада за:

- 2.1) возила без надпуњења, вредност средњег зацрњења не сме бити већа од 2,5 м-1,
- 2.2) возила са надпуњењем, вредност средњег зацрњења не сме бити већа од 3,0 м-1

Поменућу нека од конструкцијских 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;
- поврат 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;

Једно од највише 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. Најчешћа изведба преднабијања је помоћу турбине коју покреће кинетичка енергија издувних гасова. Да би се ограничио притисак преднабијања на оптимални и при томе заштитила сама турбина и мотор, у овакве системе обавезно се поставља регулаторни (растеретни) 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 растеретног вентила, али се тада уграђује турбина променљивог положаја статорских лопатица ("**турбина променљиве геометрије**").



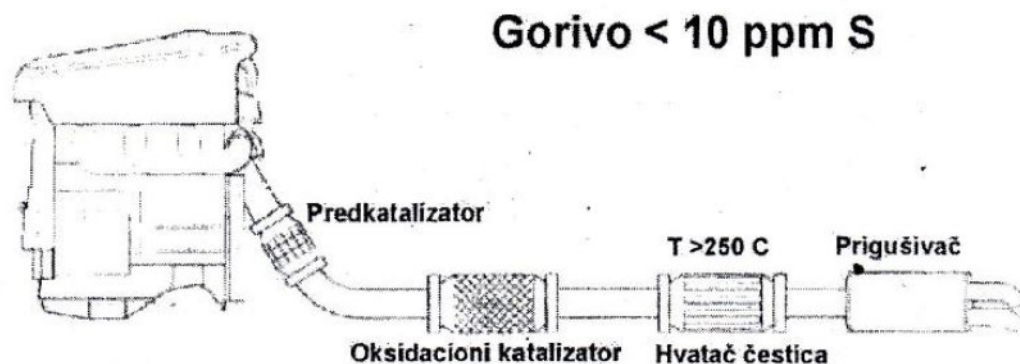
Слика 2.0 Турбина променљиве геометрије

Треба напоменити 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 угљенмоноксид (CO) и несагореле хидрокарбонате (HC) оксидациони катализатори.

Данас се на савремене дизел моторе (Euro IV) уграђују катализатори троструког дејства. Хидрокарбонати (HC) се могу појављивати у облику чврстих честица те ови катализатори донекле редукују те чврсте честице у издувном гасу. На дизел моторима новије генерације поставља се и широкопојасна ламбда сонда чија је улога да управља радом ЕГР вентила. Поред свега наведеног основни проблем дизел мотора је чађ-чврсте честице, и тај проблем није решен употребом катализатора.

Због наведеног се код „лаких“ возила у издувном систему, после катализатора, постављају филтери чађи. Њихов задатак је да прикупљају чађ која у поступку сагоревања излази из мотора, а када сензори пада притиска који су постављени испред и иза ових филтера, „осете“ да је филтер чађи напуњен, програм који управља радом мотора (ECU) додатно укључује секундарно убризгавање горива које се одвија док је издувни вентил на глави мотора већ отворен тако да у издувном систему порасте температура издувних гасова. Порастом температуре издувних гасова долази до самосагоревања честица чађи у филтеру. Ови филтери су по облику, димензијама и начину уградње у издувном систему врло слични катализатору те се не могу разликовати на први поглед .

Хватачи честица се базирају на примени филтера који су уграђени у издувни ситем мотора. Најчешће се праве у облику монолита саћасте структуре или од пенасте структуре.С обзиром да тешка теретна возила и аутобуси емитују просечно 0.95-1.25 g/km честица, неопходна је периодична регенерација хватача.



Слика 2.1. Модерна концепција накнадне обраде издувних гасова дизел мотора

Велики недостатак система са хватачима честица је константан пораст отпора издувавања током експлоатације. Неорганске компоненте честица соли, оксиди и пепео , не могу се регенерацијом превести у гасовите продукте , па се таложе у хватачима.Дужи експлоатациони век хватача претпоставља низак садржај сумпора у гориву, смањује потрошњу уља и контролисану температуру током регенерације.

6.4 Могуће опасности које могу настати приликом контроле зацрњења издувних гасова дизел мотора

Свако мерење представља одређено механичко оптерећење за мотор при којем су могућа оштећења. Мотор има низ делова који би се требали периодично мењати, али власници и корисници возила, због немарности, незнања или економске ситуације, не врше редовно сервисирање и замену појединих делова у интервалима које је предвидео произвођач возила. Пуцањем или отказом функције појединих таквих делова могућа су велика оштећења. Ово се првенствено односи на елементе разводног механизма (разводни ремен, ременица, зупчаници, затезачи, разводни ланац и сл.). Пуцањем зупчастог ремена или попуштањем натезача (ремена или ланца) могућа су оштећења главе мотора и свих покретних елемената у њој. Само мотори добре “механичке кондиције” могу бити подвргнути оваквој контроли, а да би контрола протекла без проблема пре сваког мерења, без обзира изгледао мотор загрејан или не, треба се строго придржавати упутстава произвођача из каталога о начину припреме мотора и мерења зацрњења издувног гаса.

Пре сваког мерења власника или корисника возила треба упитати о стању мотора, када је задњи пут извршен сервис и да ли су на благовремено мењани елементи разводног механизма. Наравно, негативни одговори на претходно постављена питања нису разлози за неизвршење контроле издувних гасова на техничком прегледу, али ако се у зони разводног механизма примети замашћеност (ако се то обичним погледом без растављања делова може обавити) услед лошег заптивања на разводном механизму или семеринга ременице, ако мотор својим карактеристичним звуком указује на потрошеност делова у њему или ако се на било који други начин посумња да мотор није механички спреман за ову контролу, возило треба прогласити технички неисправним на редовном техничком прегледу и не вршити контролу издувних гасова. Сваки пут при кондиционирању мотора прво убрзавање треба изводити тако да је најбитнији посматрани податак о броју обртаја мотора. Ако регулатор не ограничава највећи број обртаја, таквом возилу треба одбити вршење контроле и прогласити га неисправним. Податак о највећем броју обртаја треба узимати из каталога података произвођача или директно са пумпе високог притиска. Уобичајено је да се у ознаци регулатора рада пумпе крије податак о броју обртаја на празном ходу и највећем броју обртаја.

Нпр. произвођач BOSCH поставља овакву ознаку: “RSF 750/4800 M 01”, где бројеви 750 и 4800 означавају број обртаја на празном ходу и највећи број обртаја на који је подешен регулатор рада пумпе. Ако податак о највећем броју обртаја није могуће пронаћи на један од претходних начина, приликом контроле издувних гасова као гранични мах.број обртаја може се узети податак из каталога Auto-data у смислу повећања 10% више од броја обртаја на којем мотор развија највећу снагу.



Слика 2.2.

6.5 Контролна мерења издувне емисије приликом периодичног техничког прегледа теретних возила и аутобуса

Према члану 20. из правилника о техничком прегледу возила потребно је да при прегледу уређаја за одвођење и испуштање издувних гасова, проверити усмереност издувне цеви и пригушивање звука издувних гасова.

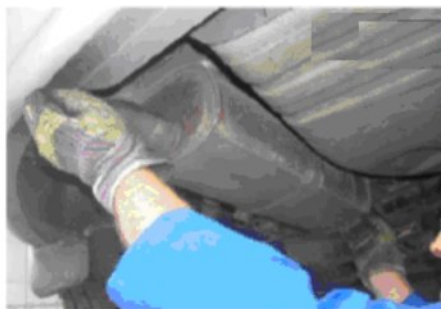
Пре контроле издувних гасова помоћу анализатора и опреме потребно је претходно при прегледу доњег построја возила проверити комплетност, учвршћеност, непропусност и стање елемената издувног система. Контролор треба да користи радне рукавице и да се ухвати на више места по целом издувном систему, повлачи га у разним смеровима, попуцаност носача система, видљива прогорења издувних цеви, недостатак оригиналне фабричке топлотне изолације према поду каросерије возила, одспојеност сензора (ламбда, температурни сензор и сл.), додиривање издувног система са каросеријом при повлачењу и др. се не толерише. Нарочито се не толерише појава која се често налази у пракси а то је замена издувног система на начин да се из њега изгради катализатор или ламбда сонда те да се на тај начин наруше фабричке карактеристике возила!

Сваки издувни лонац, катализатор или филтер честица треба руком ударити како би контролор могао осетити да ли је у кућишту дошло до распадања саћа, да ли су се распале преграде унутар издувног лонца итд.



Слика 2.3. Контрола издувног система

Исправан издувни систем обезбеђује да мотор увек ради с исправним односом ваздуха и горива, увек пружа максималну снагу, а истовремено одржава минималну потрошњу горива. Он ће помоћи у продужавању радног века других важних делова мотора – вентила, пригушивача, катализатора, итд.



На крају треба затворити руком излаз издувне цеви и констатовати да ли издувни гас на неком споју има неку рупу услед корозије. Ове појаве врло малог пропуштања издувног гаса на спојевима цев у цев, могу да утичу на измерене резултате при контроли издувних гасова!

У моторном простору приликом визуелног прегледа потребно је посебно преконтролисати исправну спојеност одушка из кућишта мотора на улазну грану. Одушак не сме бити одспојен са усисне гране, а гасови из кућишта мотора се не смеју слободно пуштати у атмосферу! Ако је одушак одспојен са усисне гране, и угљне паре одлазе директно у околину, такво возило је технички неисправно.



Слика 2.4. Контрола издувног система

6.6 Контрола издувних гасова дизел мотора

Треба уочити да ли је мотор опремљен преднабијањем или је без преднабијања (на основу тога се бира законски гранични коефицијент зацрњења). Цели преглед треба обављати без било каквог растављања возила! Док је мотор угашен треба проверити да ли у мотору има уља у довољној количини. Власника треба упитати да ли редовно сервисира возило, када је задњи пут проверен разводни механизам (замена ремена или натезача ремена) те да ли има уредно оверену сервисну књижицу. Ако је возило редовно сервисирано мања је могућност оштећења мотора, међутим, без обзира на стање сервисне књижице контролу издувних гасова треба обавити.

Подсећамо на извод из прописа :“....ако подаци произвођача возила нису познати, тада за:

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

Припремне радње за мерење коефицијента зацрњења издувних гасова дизел мотора су врло сличне радњама које предузимамо пре почетка мерења издувне емисије ОТТО мотора (контрола комплетности издувног система када је возило на каналу, заптивеност, носачи и др..).

У пракси је уочено да, када је у питању постављање мерне сонде за температуру уља у кориту мотора, је боље урадити следеће: након загревања мотора (уља у мотору) на захтевану радну температуру, из мотора извући сонду за мерење температуре и у мотор поставити оригиналну шипку за мерење ниво ауља.

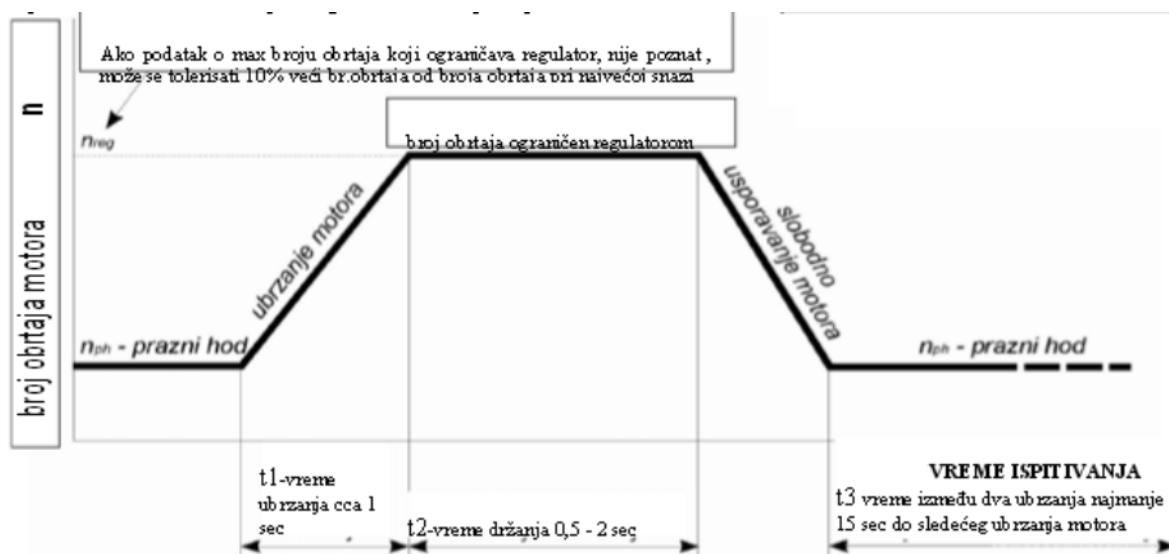
Наиме, обзиром да ће се за време мерења постизати највећи број обртаја мотора и тиме највећи притисци и бућкање уља у кориту мотора, увек је могуће да дође до излетања температурне сонде и прскања уља по мотору. Најбоље је да приликом вршења мерења поставимо оригиналну шипку мерача нивоа уља на њено место. На цеви високог притиска између пумпе високог притиска и одговарајуће брызгалке прикључује се пиезодавач за мерење броја обртаја. Помичним мерилом треба проверити која је спољња димензија цеви високог притиска па на њу треба поставити и одговарајући давач. Уобичајени промери цеви европских возила су $\varnothing 4$; $\varnothing 4,5$; $\varnothing 6$ и $\varnothing 8 \text{ mm}$. На појединим конструкцијским изведбама система за напајање постављање пиезодавача неће бити могуће (што због изведбе - систем убризгавања с константним притиском или систем пумпа-брызгалка, што због разних кавеза против буке постављених око мотора) па се број обртаја мотора мора мерити неком другом индиректном методом (мерење индиректним мерачима броја обртаја).

Следе „продувавања“ мотора (код појединих типова анализатора или код мотора који су јако зачађени, мерну сонду је препоручљиво поставити након продувавања мотора). Продувавање се изводи како би се загушени мотори продували до највећег броја обртаја те из себе избацили (сагорели) сву чађ која се због вожње у нижим радним режимима сакупила на зидове издувног система. Продувавање мотора се изводи на исти начин као и мерење.[7]

6.7 Начин мерења издувних гасова код дизел мотора и резултати мерења

Након припреме возила и уређаја постављамо мерну сонду у издувну цев па се почиње мерити зацрњеност издувних гасова на следећи начин: папучицу треба стиснути једноликом брзином до краја њеног физички расположивог хода тј. до постизања највећег броја обртаја мотора. Притискање треба да траје једну секунду. Задржавање мотора на највећем броју обртаја сме трајати од 0,5 до 2 секунде, а након тога следи слободно отпуштање папучице акцелератора.

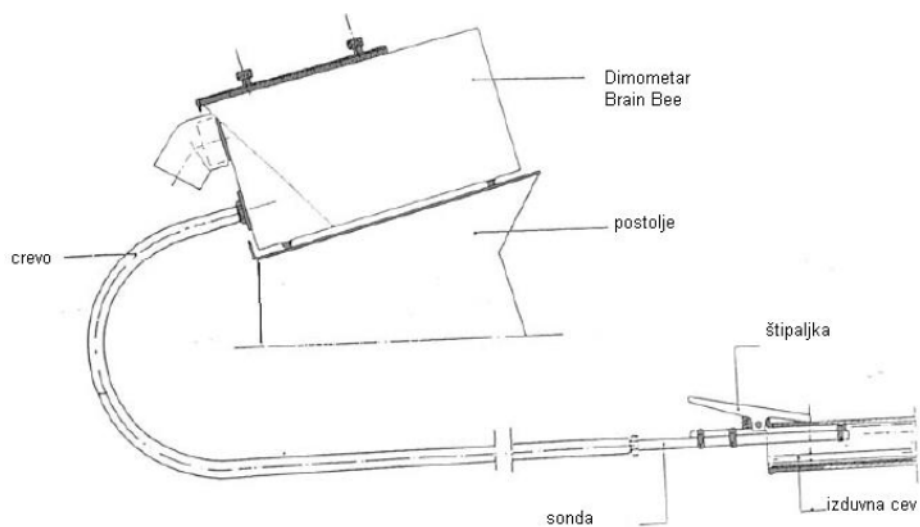
До следећег слободног убрзања мотора треба причекати најмање 15 секунди па опет убразавати на исти начин. Мерење ће се понављати док се не добију три узастопне вредности зацрњења које се међусобно не разликују за више од $\pm 0,5 \text{ m}^{-1}$. Како је за очекивати да ће код одређеног броја возила с “угушеним” моторима долазити до константног пада измерених вредности зацрњења, мерење се може поновити више пута (највише 10) док се не постигну задовољавајући резултати. По завршетку теста, резултат се штампа. [7]



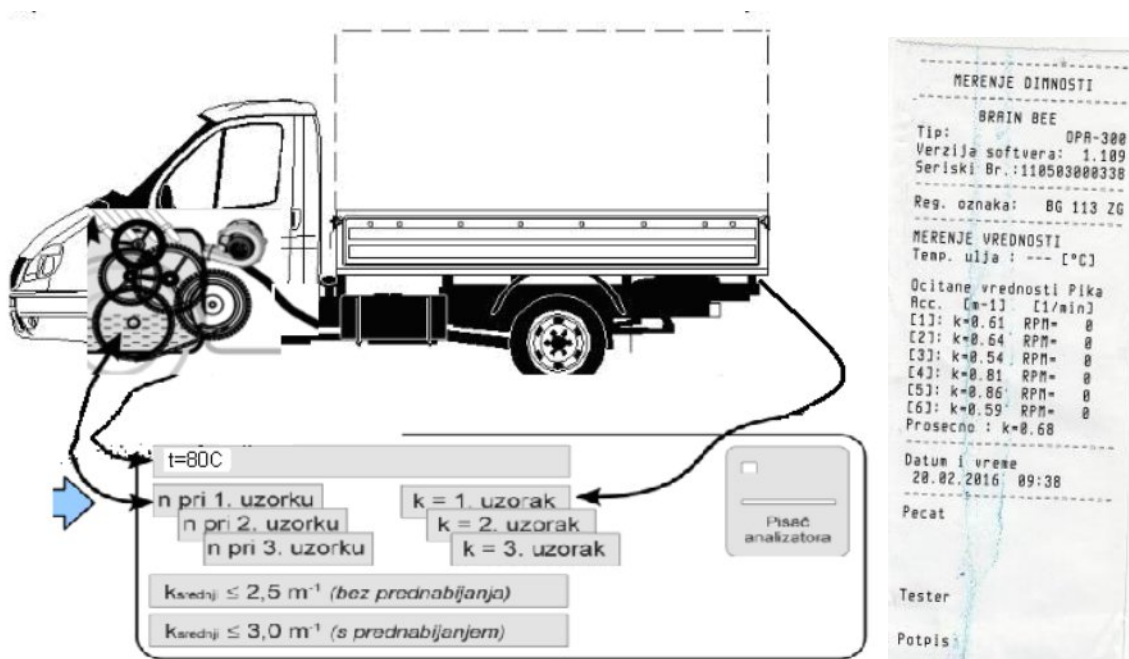
Слика 2.5. Дијаграм убрзавања



Слика 2.6. Уређаја за мерење емисије издувних гасова – анализатор гаса и смокекетар или димометар



Слика 2.7. Шематски приказ повезивања димометра са возилом



Слика 2.8. Резултат мерења издувних гасова



Слика 2.9. Опациметар за дизел моторе

Опациметар ОРА-300 је најновији опациметер модул у фамилији гаса и анализе дима и контролу алата. Једноставан за коришћење са циљем да обезбеди оперативну флексибилност. Димност издувних гасова се мери и исказује у посебној мерној јединици, која се назива коефицијент апсорпције светлости $k (m^{-1})$.

Његова мала, компактна величина и 12 V напајање значи да се може користити и као преносива средство у ситуацијама где је то потребно, са својом удобном ручицом. {4}

Контрола издувних гасова је вршена у сарадњи са Техничким прегледом "Вуловић транспорт" – Крагујевац.

6.8 Могући узроци лоших резултата при мерењу

- Проблем „загушених“ мотора;
- Упрљани (стари) филтери кроз које не пролази потребна количина ваздуха;
- Старе, потрошене брызгалке које не распршују гориво већ се исто цеди или капље из њих;
- Погрешно подешен почетак убризгавања горива;
- Грешка на усисном систему (турбини или напукнутој усисној грани)
- Неисправан сензор протока ваздуха (код мотора опремљених ЕДЦ системом)
- Неисправна турбина
- Неисправан ЕГР вентил и др..

7. Закључак

Постепено увођење нових и све строжих еколошких стандарда и прописа у вези смањења емисије издувних гасова у Европи, сигурно ће довести до поскупљења технологија дизел мотора, сматрају европски стручњаци. То би могло да утиче да се број нових дизел модела на тржишту у блиској будућности драстично смањи.

У раду је укратко презентована комплексна проблематика контроле састава издувних гасова на моторним возилима, као и начини мерења издувне емисије гасова у складу са новим прописима о техничким условима за возила, који су донети због прилагођавања ЕУ смерницама (2009/40 ЕЦ, 2010/47 ЕЦ, 96/96 ЕЦ-није више у употреби) смањење концентрације штетне емисије издувних гасова у циљу заштите животне околине.

Како је аутомобилска индустрија била свесна негативних ефеката друмског транспорта на животну средину, она је током више деценија интензивно радила на новим технолошким решењима у циљу негативног утицаја возила на животну средину. Зато су приоритети савременог и будућег развоја возила, мотора и њихове опреме: редукација потрошње горива и смањење емисије у издувним гасовима. 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%. Гориво је постало битним параметром у конструкцији мотора, а нарочито система за пречишћавање издувних гасова.

Контрола емисије издувних гасова на техничком прегледу врши се на већини линија техничког прегледа помоћу застареле опреме и технологије, а посебан проблем још увек представља недовољно знање и систем обуке контролора који још није успостављен у Србији.

Са друге стране, свест власника и корисника моторних возила у вези са значајем њихове техничке исправности, није у довољној мери развијена првенствено због економске ситуације у држави, што свакако није оправдање да се постепено не уведе ред у овој области и законском регулативом доведе рад техничких прегледа на организационо и у технолошко смислу на знатно виши ниво. Обзиром на просечну старост моторних возила у Србији свакако су уз примену строжијих прописа потребне стратешке и стимулативне мере државе за куповину савременијих и модернијих возила, чијом употребом би се такође утицало на смањење штетне емисије издувних гасова.

У припремној фази примене нових прописа је евидентно да ће се појављивати одређени проблеми у пракси на које стручне институције у држави морају да дају адекватне одговоре и смернице за јединствен начин поступања на техничком прегледу.

8. Литература

- [1] Р. Пешић, С. Петковић, С. Веиновић, : «МОТОРНА ВОЗИЛА – опрема», Машински факултет у Бањој Луци, Машински факултет у Крагујевцу, 2008.
- [2] МР Александар Љ. Давинић, Идентификација карактеристика мултипроцесног рада клипног мотора СУС – Докторска дисертација, Универзитет у Крагујевцу – Факултет Инжењерских наука, Крагујевац 2013
- [3] С.С.Ј. French, i dr.: Diesel Engines, Light Duty Vehicles for an Emission Conrtolled Environment, SAE 790761
- [4] Упутство за руковање уређајима за мерење садржаја емисије издувних гасова "BRAIN BEE"
- [5] N. Ladommatos, i dr.: The Effects of Carbon Dioxide in Exhaust Gas Recirculation on Diesel Engine Emissions, Journal of Automobile Engineering, 1998, Vol. 212, No.D1
- [6] "Тахограф" доо-Света Недеља, 00385013795700, zoran.kalauz@tahograf.hr, 2010.
- [7] АМСС-а, Центар за моторна возила-Београд, 2011.
- [8] <https://www.dieselnet.com/>