

Возила и животна средина

Иван Благојевић

Издувна емисија



Садржај

Продукти сагоревања

Особине компоненти издувних гасова

Управљање издувном емисијом

Законска регулатива издувне емисије

Преглед и подела

Законодавство ЕУ

Продукти сагоревања

Употребом моторних возила годишње се троши више од једне милијарде тона нафте.

За сагоревање 1 kg горива нафтног порекла потребно је око 15 kg ваздуха или 3,5 kg кисеоника. Према томе, само мотори СУС годишње потроше скоро 4 милијарде тона кисеоника из атмосфере.

Издувни гасови настају сагоревањем горива у бензинским и дизел моторима. Ови гасови садрже различите продукте сагоревања, од којих су неки категоризовани као загађивачи.

Сагоревање може бити:

- Потпуно
- Непотпуно

Сагоревањем се добијају и одређени нуспродукти

Возило и животна средина

Продукти сагоревања

Потпуно сагоревање

Приликом потпуног сагоревања чистог горива у идеалним условима, (нпр. потпуно сагоревање у присуству кисеоника и без нежељених секундарних реакција) настају следећи продукти сагоревања:

Вода (H_2O), и

Угљен диоксид (CO_2)

Продукти сагоревања

Непотпуно сагоревање

Поред продукта потпуног сагоревања, воде и угљен диоксида, јављају су и нежељени продукти сагоревања због услова при којима се одвија процес реалног сагоревања, а који нису идеални, (нпр. капљице горива које није испарило или танки филм горива на зиду коморе за сагоревање). Ово је проузроковано такође и саставом горива. Продукти непотпуног сагоревања су:

- ❑ несагорели угљоводоници – C_nH_m (парафини, олефини, ароматични угљоводоници);
- ❑ делимично сагорели угљоводоници: C_nH_mCHO (алдехиди), C_nH_mCO (кетони), C_nH_mCOOH (карбоксилне киселине), CO (угљен-моноксид);
- ❑ продукти и деривати термичког крековања, на пример: C_2H_2 (ацетилен), C_2H_4 (етилен), C (чађ) и полициклични угљоводоници

Возило и животна средина

Продукти сагоревања

Нуспродукти сагоревања

На високим температурама сагоревања мала количина азота (N_2), коју садржи усисани ваздух, реагује са кисеоником (O_2) и формира азот-моноксид (NO) и азот-диоксид (NO_2), који се заједнички називају азотним оксидима (NO_x). Остали нуспродукти сагоревања се јављају у облику сумпор-диоксида као последица присуства сумпора у гориву.

Сматра се да сагоревањем 1000 литара бензина моторно возило емитује у атмосферу 98 kg угљен-моноксида, од 6 до 8 kg азотних оксида, од 4 до 5 kg несагорелих угљоводоника, око 4,5 kg сумпор-диоксида и око 2 t угљен-диоксида.

Особине компоненти издувних гасова

Главне компоненте

Издувни гасови се првенствено састоје од нетоксичних компоненти:

- Азот (компонента удисног ваздуха)
- Водена пара
- Угљен диоксид
- Кисеоник, у дизел моторима и бензинским моторима који раде са сиромашном смешом

Угљен диоксид (CO_2):

- безбојан незапаљив гас;
- један од главних узрочника климатских промена и глобалног загревања ефектом „стаклене баште“;
- Од 1920. до 1995. године концентрација угљен-диоксида у ваздуху се повећала за скоро 20%, односно на преко 360 mg/m^3 ;
- око три четвртине укупне емисије угљен-диоксида узроковане људским активностима настају сагоревањем фосилних горива;
- количина угљен-диоксида ослобођеног у атмосферу директно је пропорционална потрошњи горива.

Особине компоненти издувних гасова

Ostale komponente

Угљен-моноксид (CO)

- гас без боје, мириса и укуса;
- смањује способност организма да веже кисеоник у крви и на тај начин изазива тровање (удисањем ваздуха који садржи 0,3% угљен-моноксида може довести до смрти у року од тридесет минута);
- настаје као продукт непотпуног сагоревања угљеника из горива услед недостатка кисеоника, тако да се јавља при богатој смеси (у највећој мери код бензинских мотора при пуном оптерећењу), али се у мањој концентрацији јавља и при стехиометријској и сиромашној смеси због локалног недостатка кисеоника услед несавршеног мешања горива и ваздуха.

Особине компоненти издувних гасова

Остале компоненте

Угљоводоници (НС)

- присутни су у издувним гасовима у разним облицима;
- алифатични угљоводоници (алкани, алкени, алкини као и њихови циклични деривати) су скоро без мириса;
- циклични ароматски угљоводоници имају мирис (нпр. бензен, толуен и полициклични угљоводоници);
- делимично сагорели угљоводоници имају непријатан мирис (нпр. алдехиди и кетони);
- угљоводоници су важни учесници фотохемијских реакција у атмосфери, реагују у присуству оксида азота и сунчевог светла и доприносе формирању тзв. фотохемијског смога.
- несагорели угљоводоници иритирају слузокожу дисајних органа, а неки циклични угљоводоници могу бити и канцерогени.

Особине компоненти издувних гасова

Остале компоненте

Азотни оксиди (NO_x)

- азот-моноксид (NO) је гас без боје, мириса и укуса који се полако мења у азот-диоксид (NO_2) у атмосфери;
- чист NO_2 је отрован, црвенкасто-браон боје са продорним мирисом (када се у ваздуху налази у високим концентрацијама може надражити слузокожу);
- азотни оксиди, уз присуство појединих органских компонената у ваздуху и преко фотолитичког циклуса, доводе до настанка фотохемијског смога;
- азотни оксиди у атмосфери, уз присуство водене паре, прелазе у киселине (нитратну и нитритну) које заједно са насталом сулфатном и сулфитном киселином и органским киселинама доводе до настанка „киселих киша“.

Возило и животна средина

Особине компоненти издувних гасова

Остале компоненте

Оксиданси

Када су изложени сунчевој светлости, емитовани угљоводоници и азотни оксиди производе оксидансе: органске пероксида, озон, перокси-ацетилнитрате.

Озон (O_3) је отрован гас. Има продоран мирис и изазива иритацију дисајних путева и очију. Сматра се да доприноси стварању смога.

Честице

Углавном код дизел мотора и то када је капљица горива изложена високој температури, а у њеној околини нема ваздуха због непотпуног мешања. Тада се издвајају виши угљеници C_{12} до C_{25} , који формирају кристалне структуре честица чађи величине 10 до 30 nm. Упијањем органских киселина на бази тешких угљоводоника из горива и уља и неорганских киселина на бази сумпора постају веома токсичне и канцерогене.

Сумпор-диоксид (SO_2)

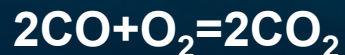
Емитује се када је у гориву присутан сумпор. Сумпор-диоксид и његови секундарни производи (сумпорна киселина и сулфиди) могу изазвати озбиљне здравствене проблеме код људи и сушење биљног света.

Возило и животна средина

Управљање издувном емисијом

Бензински мотори

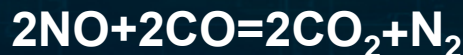
У накнадном третману издувних гасова бензинских мотора неопходно је извршити догоревање продуката непотпуног сагоревања



и



и истовремено редукцију азотних оксида



Реакције се одигравају у каталитичким конверторима (катализаторима) који су саставни део издувног система моторног возила.

Потребна је смеша стехиометријског састава (идеалног хемијског састава) што за бензинске моторе подразумева однос ваздуха и горива у износу 14,7:1 ($\lambda = 1$).

λ - коефицијент вишка ваздуха, ($\lambda = 0,8 - 1,2$) како би се обезбедила оксидационо-редукциона средина која омогућава наведене хемијске реакције (оксидациона средина ($\lambda > 1$) садржи вишак кисеоника за оксидацију CO и HC, док је у случају богате смеше ($\lambda < 1$) могућа редукција азотних оксида). Изван опсега ефикасност катализатора рапидно опада.

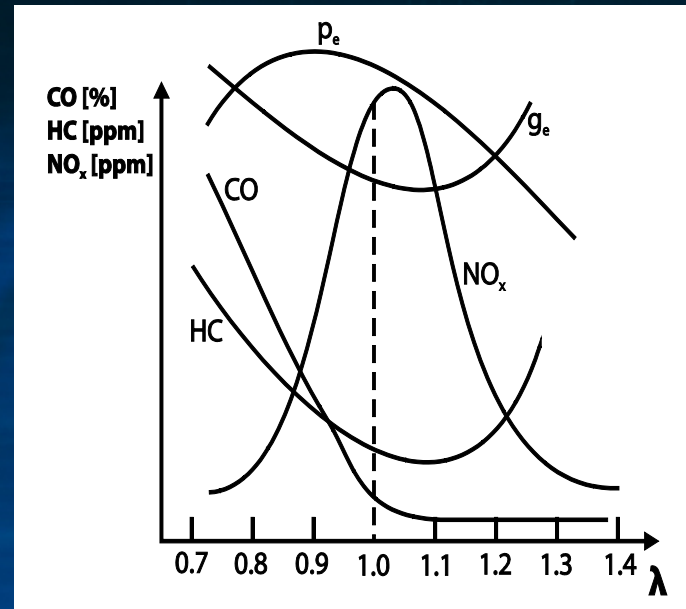
Возило и животна средина

Управљање издувном емисијом

Бензински мотори

Електронска управљачка јединица прима повратне информације о саставу издувних гасова од сензора постављеног у издувној грани који се назива O_2 сензор или λ сонда. Сигнал O_2 сензора стално се упоређује са задатом вредношћу која одговара стехиометријској смеши. Зависно од резултата овог упоређивања сиромашна смеша се обогаћује, а богата осиромашује одговарајућим продужењем или скраћењем времена убризгавања горива (*closed-loop control*).

$\lambda < 1$ - хладан старт или пуно оптерећење мотора (*open-loop control*)



Возило и животна средина

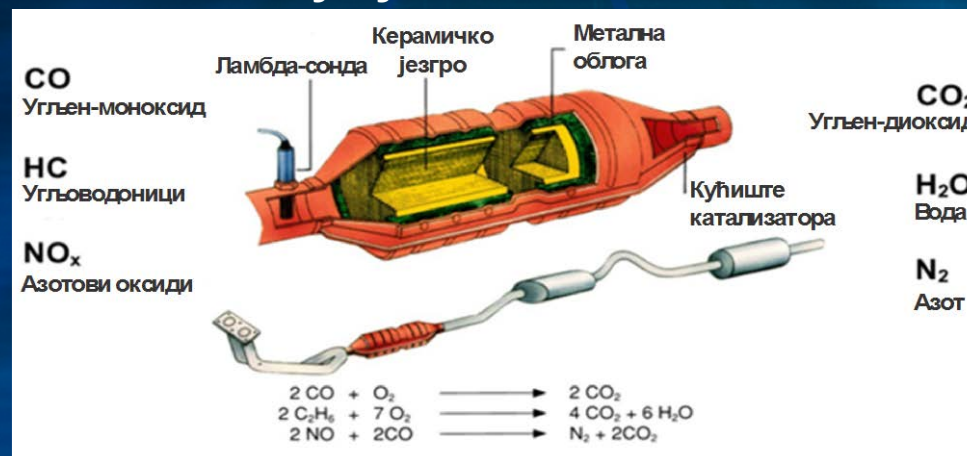
Управљање издувном емисијом

Каталитички конвертори (катализатори) код бензинских мотора

Улога каталитичких конвертора, односно катализатора је да омогуће смањење концентрације CO , HC и NO_x - тростепени катализатори.

Језгро у виду саћа, метално или керамичко, пресвлачи се активним слојем неког племенитог метала (платина, родијум, паладијум). Платина и паладијум подстичу оксидацију, док је родијум одговоран за редукцију. Метални катализатори су квалитетнији, стварају мањи отпор проласку издувних гасова, али су и скупљи.

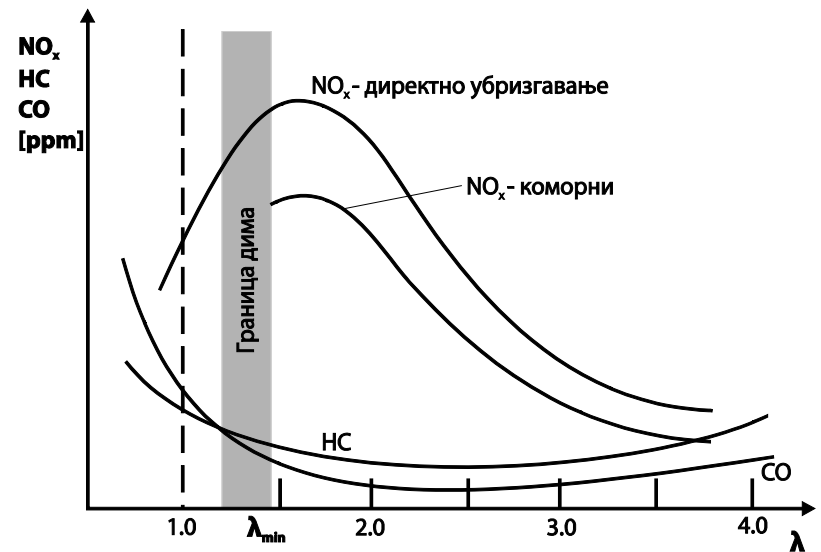
Керамички катализатори су јефтинији и налазе се на већини мањих возила. Керамичко језгро је крто и осетљиво на ударце те се заштићује металном облогом и смешта у кућиште.



Управљање издувном емисијом

Дизел мотори

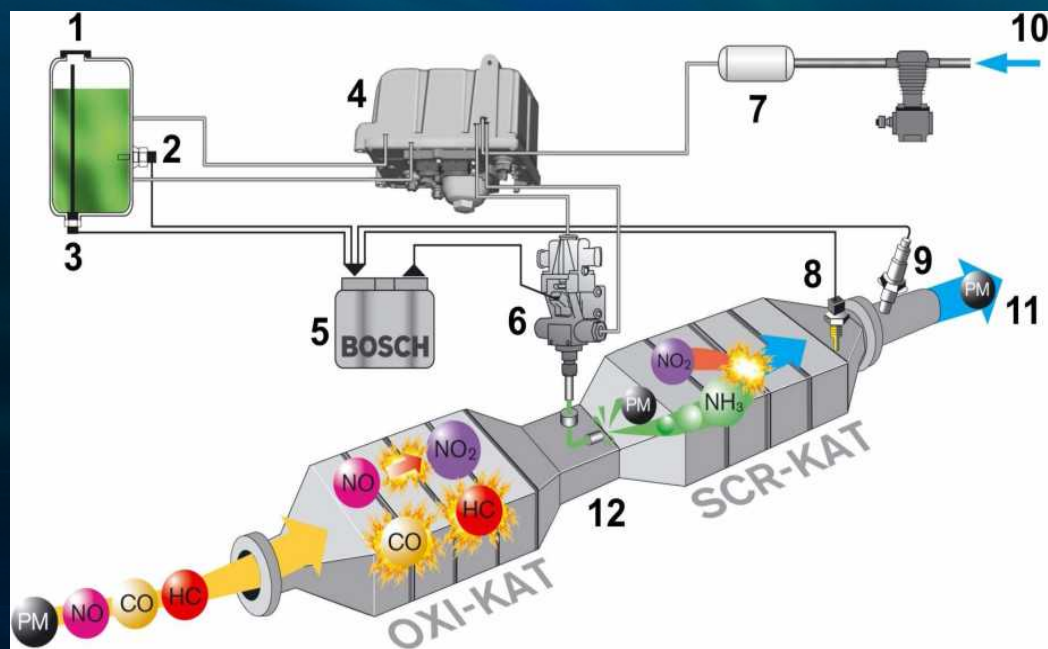
Код дизел мотора промена оптерећења уједно представља и промену састава смеше, са смањењем оптерећења смеша је све сиромашнија и коефицијент λ се увећава, док са повећањем оптерећења коефицијент вишка ваздуха λ се смањује све до своје минималне вредности ($\lambda_{\min} = 1,25-1,3$) која одговара граници дима тј. максималном оптерећењу мотора. Емисија угљен-моноксида и несагорелих угљоводоника знатно је мања него код бензинских мотора, док већи проблем представља емисија азотних оксида, а посебно честица које су у издувним гасовима бензинских мотора занемарљиве.



Возило и животна средина

Управљање издувном емисијом

Накнадни третман издувне емисије дизел мотора

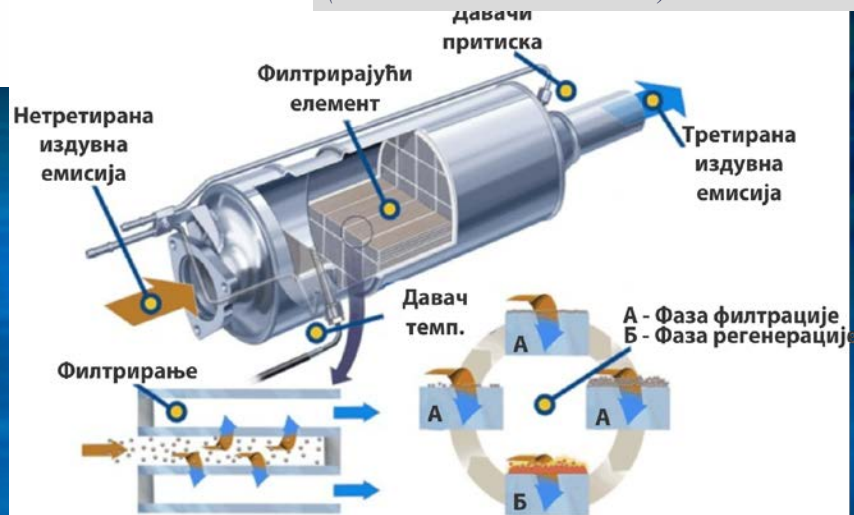


Приказ накнадног третмана издувних гасова Еуро 5 дизел мотора:

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1. резервоар раствора урее (AdBlue) | 7. резервоар ваздуха |
| 2. давач температуре | 8. давач температуре |
| 3. давач напуњености резервоара | 9. давач издувних гасова |
| 4. управљачки модул | 10. довод ваздуха |
| 5. електронска управљачка јединица | 11. прочишћени издувни гасови |
| 6. модул за дозирање | 12. цев распршивача |

Шематски приказ филтера честича

(Diesel Particulate Filter – DPF)



Законска регулатива издувне емисије

Преглед и подела

Константни раст обима саобраћаја у комбинацији са повећаним утицајем на животну средину, нарочито у градским срединама, је условио ограничење издувне емисије гасова моторних возила. Законодавци су дефинисали дозвољене границе и процедуре за тестирање.

Америчка држава Калифорнија је била прва која је покушала да спроведе ограничење издувне емисије. Разлог за ово је био пре свега географски положај великих градова, као што је Лос Анђелес, и немогућност да издувне гасове однесе ветар, због чега су се скупљали изнад градова у виду измаглице. Од како је прва законска регулатива за емисију издувних гасова ступила на снагу средином 1960-тих, дозвољена граница за разне токсичне састојке се стално смањује.

У међувремену су све индустријски развијене земље спровеле законе који одређују дозвољене границе за емисију издувних гасова за бензинске и дизел motore, као и процедуре за тестирање.

Возило и животна средина

Законска регулатива издувне емисије

Преглед и подела

Првобитни закон о контроли емисије гасова је обухватао:

- ❖ *CARB* законодавство (*California Air Resources Board*)
- ❖ *EPA* законодавство (*Environmental Protection Agency*)
- ❖ ЕУ законодавство (Европска унија)
- ❖ јапанско законодавство

Законодавци су предвидели три процедуре за испитивање које се односе на различите категорије возила и различите циљеве испитивања:

- одобрење типа;
- контрола случајног узорка из серије;
- праћење састава издувне емисије возила у употреби у реалним условима вожње.



Возило и животна средина

Законска регулатива издувне емисије

Одобрење типа

Услов за одобрење типа возила са одговарајућим мотором у погледу емисије издувних гасова је испитивање по одређеном циклусу вожње, односно оптерећења у одређеним условима, при чему емисија издувних гасова по компонентама мора бити у дозвољеним границама.

Циклуси испитивања и дозвољене границе издувне емисије гасова могу бити дефинисане у свакој држави засебно.

Различити динамички циклуси испитивања су прописани од стране држава за путничка и лака комерцијална возила. Циклуси су сврстани у два различита типа у зависности од метода којима се изводи:

- циклус испитивања добијен снимањем у реалној вожњи на путу - нпр. *Federal Test Procedure (FTP)* циклус у САД, и

- циклус испитивања (вештачки генерисан) сачињен од деоница са константним убрзањем и брзином као што је на пример *Modified New European Driving Cycle (MNEDC)* у Европи.

Возило и животна средина

Законска регулатива издувне емисије

Да би се одредила количина емитованих загађивача, возило се вози према зацртаном циклуса испитивања, док се издувни гасови сакупљају у посебне вреће ради одређивања њихове масе по компонентама.

За тешка теретна возила и аутобусе испитивања се изводе на пробном столу за моторе и могу бити статичка (нпр. 13-фазно испитивање у ЕУ) или динамичка (нпр. *HDDTC* или *ETC* у САД).

У ЕУ границе емисије по компонентама за путничка возила и лака комерцијална возила су садржане у Еуро стандардима за контролу емисије издувних гасова и током времена су се мењале, односно поштровале.

Законска регулатива издувне емисије

Увођењем Еуро 5 и Еуро 6 стандарда усвојена је нова класификација моторних возила у односу на процедуру контроле дозвољене емисије компоненти издувних гасова и то на следећи начин:

- возила категорије M_1 , N_1 , M_2 , N_2 референтне масе до 2,61 t (опционо до 2,84 t): ради се испитивање возила на динамометријским ваљцима;
- возила категорије M_1 , M_2 , N_1 , N_2 , N_3 , M_3 референтне масе преко 2,61 t (опционо преко 2,38 t): врши се испитивање мотора на пробном столу за моторе.

Под референтном масом возила подразумева се маса возила спремног за вожњу увећана за 100 kg и умањена за масу возача (75 kg), што заправо представља масу возила спремног за вожњу увећану за 25 kg.

Законска регулатива издувне емисије

ЕУ стандарди дефинишу границе емисије издувних гасова за следеће загађиваче:

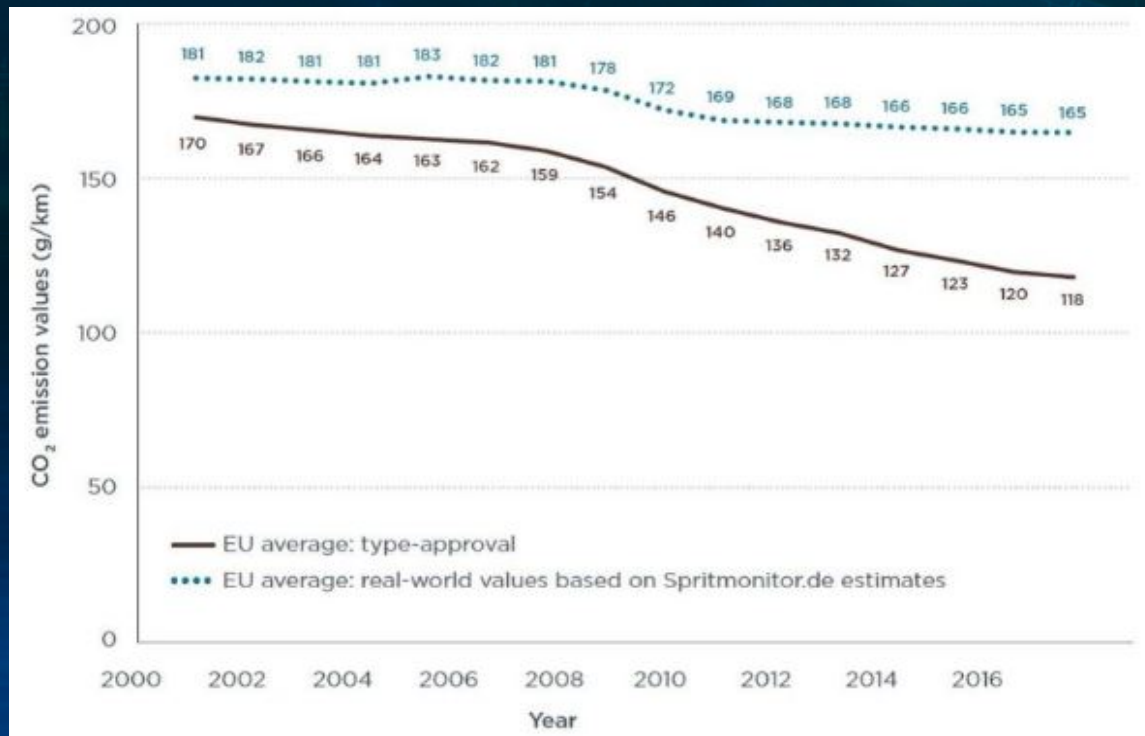
- ✓ угљен-моноксид (CO),
- ✓ угљоводоници (HC),
- ✓ азотни оксиди (NO_x) и
- ✓ честице (од Еуро 5 стандарда уведено и за бензинске, а не само за дизел моторе).

Дозвољене границе емисије издувних гасова се заснивају на пређеном путу и изражавају се у грамима по километру (g/km). Мерење емисије издувних гасова се врши на динамометријским ваљцима. Тестирање се спроводило према *MNEDC (Modified New European Driving Cycle)* тесту који се примењује од увођења Еуро 3 стандарда, после чега се прешло на нови *WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test)* тест (обавезан од 2018. године за сва нова путничка возила). Циљ ове измене јесте примена хармонизованог циклуса вожње на основу статистичких података о начину вожње сакупљених из различитих делова света (ЕУ, Индија, Ј. Кореја, Јапан, САД), комбинованих са одговарајућим тежинским факторима.

Возило и животна средина

Законска регулатива издувне емисије

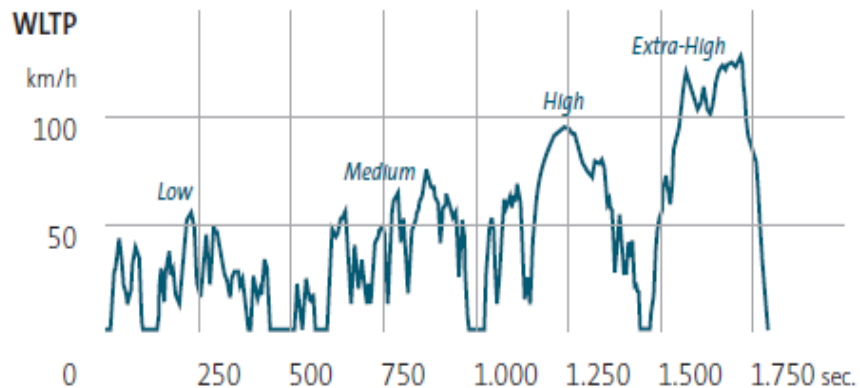
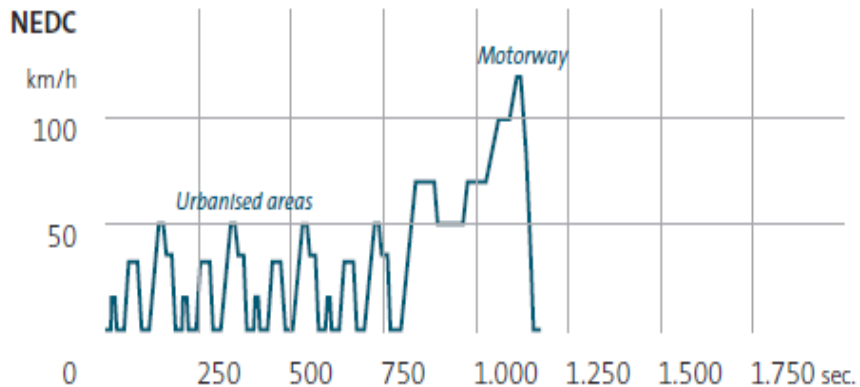
Емисија CO₂ мора бити такође изражена у грамима по километру (g/km) за нова возила која су регистрована у земљама Европске уније. Законски је одређена граница до 2015. године за флоту возила (по произвођачу) од 130 g/km (5,3 l бензина на 100 km или 4,9 l дизела на 100 km), односно 95 g/km до 2017.



Поређење издувне емисије у стварној експлоатацији и испитивањем по NEDC циклусу

Возило и животна средина

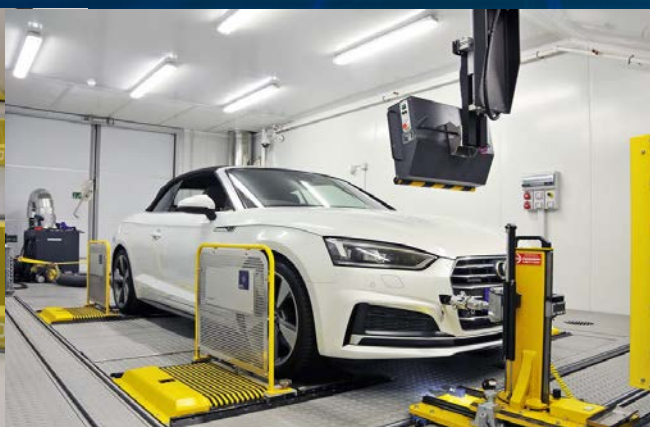
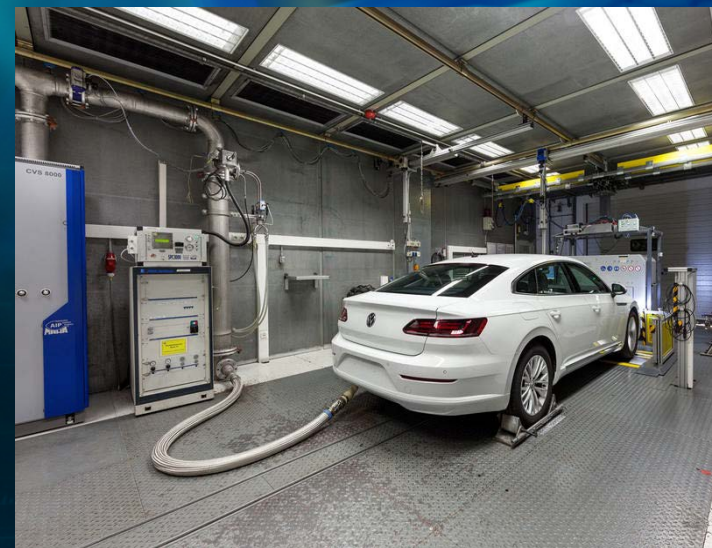
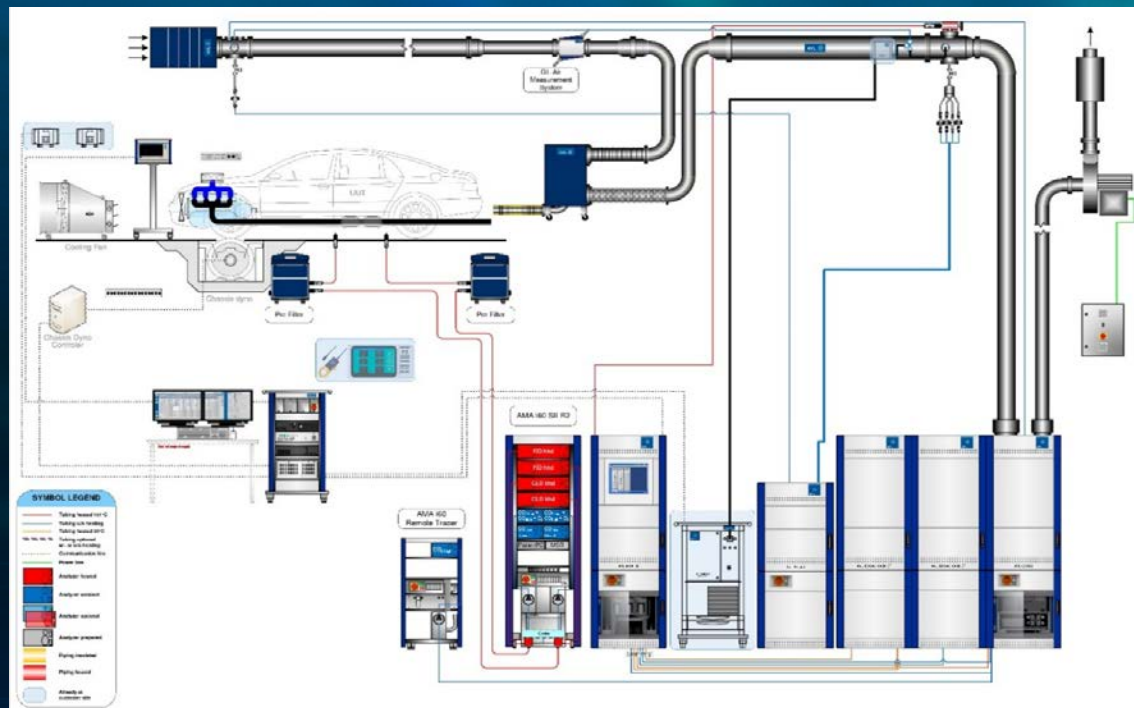
Законска регулатива издувне емисије



	NEDC	WLTP
Трајање	1180 s	1800 s
Пређени пут	10966 m	23274 m
Фазе	две фазе: градска и међуградска вожња	четири фазе: тзв. <i>Low</i> , <i>Medium</i> , <i>High</i> , <i>Extra-High</i>
Убрзање	средње: 0.5 m/s ² највеће: 1.04 m/s ²	средње: 0.39 m/s ² највеће: 1.58 m/s ²

Возило и животна средина

Законска регулатива издувне емисије



Опрема која се користи при испитивању на динамометријским ваљцима

Возило и животна средина

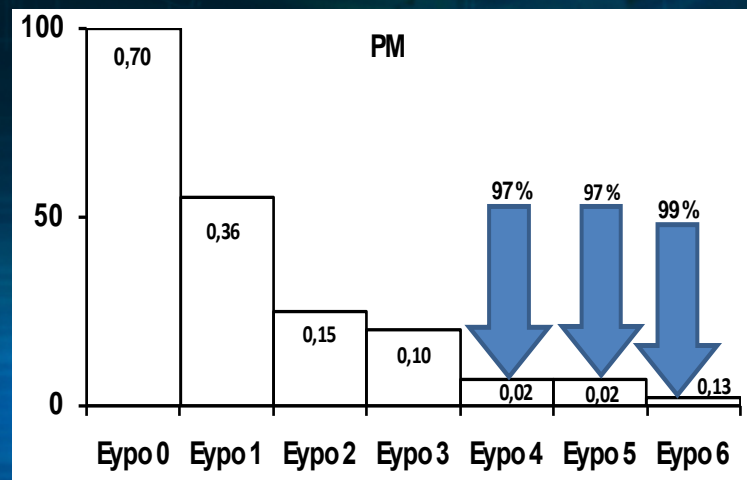
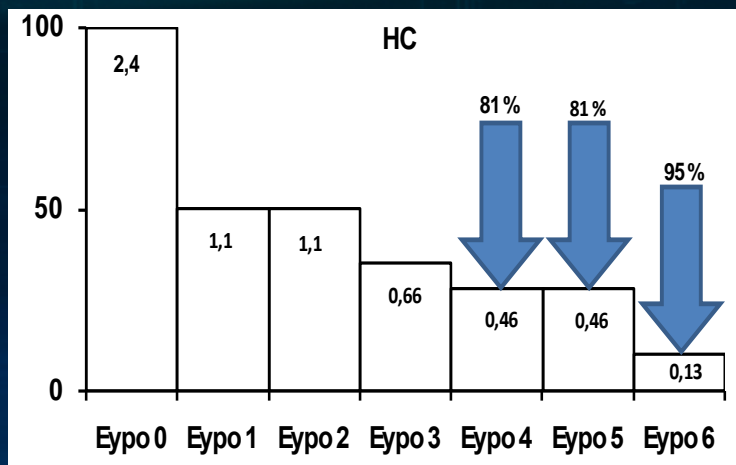
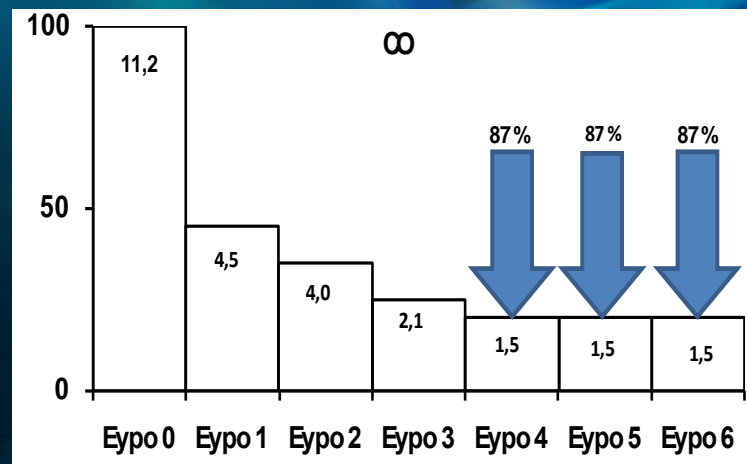
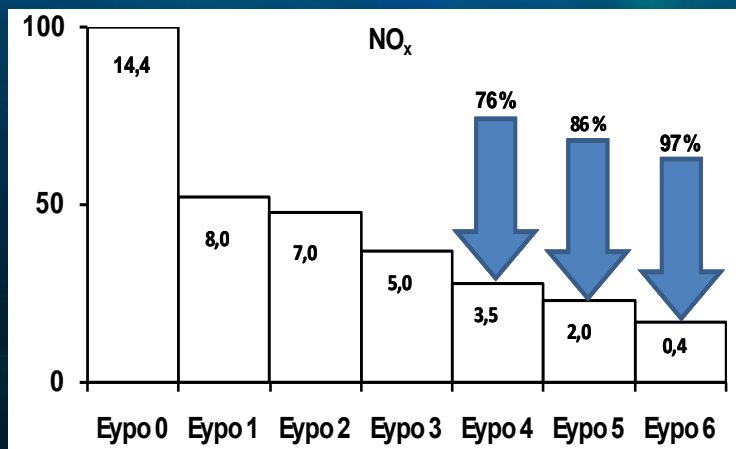
Законска регулатива издувне емисије

Еуро стандард	Почетак примене	CO [g/km]	THC [g/km]	NMHC [g/km]	NO _x [g/km]	HC + NO _x [g/km]	Честице [g/km]	Број честица [#/km]
<i>Дизел</i>								
Еуро 1	Јул 1992.	2,72 (3,16)	-	-	-	0,97 (1,13)	0,14 (0,18)	-
Еуро 2	Јан 1996.	1	-	-	-	0,7	0,08	-
Еуро 3	Јан 2000.	0,64	-	-	0,50	0,56	0,05	-
Еуро 4	Јан 2005.	0,5	-	-	0,25	0,30	0,025	-
Еуро 5a	Сеп 2009.	0,5	-	-	0,180	0,230	0,005	-
Еуро 5b	Сеп 2011.	0,5	-	-	0,180	0,230	0,005	6·10 ¹¹
Еуро 6	Сеп 2014.	0,5	-	-	0,080	0,170	0,005	6·10 ¹¹
<i>Бензин</i>								
Еуро 1	Јул 1992.	2,72 (3,16)	-	-	-	0,97 (1,13)	-	-
Еуро 2	Јан 1996.	2,2	-	-	-	0,5	-	-
Еуро 3	Јан 2000.	2,3	0,2 0	-	0,15	-	-	-
Еуро 4	Јан 2005.	1,0	0,1 0	-	0,08	-	-	-
Еуро 5	Сеп 2009.	1,0	0,1 0	0,068	0,060	-	0,005*	-
Еуро 6	Сеп 2014.	1,0	0,1 0	0,068	0,060	-	0,005*	6·10 ^{11**}

Европски стандарди за издувну емисију путничких возила

Возило и животна средина

Законска регулатива издувне емисије



ЕУ границе издувне емисије за теретна возила са дизел моторима (вредности на дијаграму су изражене у g/kWh, док се на ординати може очитати процентуално смањење у односу на Еуро 0)

Законска регулатива издувне емисије

On-board дијагностика - *OBD*

Рад мотора се мора стално надгледати и због прописаних граница издувне емисије због чега је прописано праћење издувне емисије и параметара рада мотора који утичу на њу, а стандардизовано је путем он-борд дијагностике (*On-Board Diagnostics*) или скраћено *OBD*.

Стандарди који се односе на *OBD* дефинишу параметре који се прате, комуникационе протоколе, кодове грешака, као и стандардизовани прикључак.

EOBD (*European On-Board Diagnostics*) је за бензинске моторе представљена заједно са Еуро 3 стандардом за емисију издувних гасова 2000. године.

EOBD је почео да се примењује на возилима са дизел мотором (путничка и лака комерцијална возила) од 2003., а за теретна возила од 2005. године.

Ако систем за дијагностику утврди да су границе емисије издувних гасова прекорачене пали се сигнална лампица најкасније после трећег циклуса вожње. Сигнална лампица се може угасити уколико се изврше три вожње без регистровања грешке.

Возило и животна средина

Законска регулатива издувне емисије

EOBD – граничне вредности

Путничка возила са бензинским мотором	Путничка возила са дизел мотором	Лака теретна возила са дизел мотором
Еуро 5 (09/2009)	Еуро 5 (09/2009)	Еуро 4 (10/2005)/ Еуро 5 (10/2008)
CO: 1900 mg/km	CO: 1900 mg/km	NO _x : 7,0 g/kWh
NMHC: 250 mg/km	NMHC: 320 mg/km	PM: 0,1 g/kWh
		Контрола емисије NO _x (од 11/2006): Граница емисије NO _x + 1,5 g/kWh Еуро 4: (3,5 + 1,5) g/kWh Еуро 5: (2,0 + 1,5) g/kWh
NO _x : 300 mg/km	NO _x : 540 mg/km	
PM: 50 mg/km	PM: 50 mg/km	

Путничка возила са бензинским мотором	Путничка возила са дизел мотором	Лака теретна возила са дизел мотором
Еуро 6-1 (09/2014)	Еуро 6 (09/2014)	Еуро 6-A (2013)
CO: 1900 mg/km	CO: 1900 mg/km	NO _x : 1,5 g/kWh
NMHC: 170 mg/km	NMHC: 320 mg/km	PM: 0,0254 g/kWh
		Алтернатива за надгледање емисије NO _x : SCR реагенс NO _x : 0,9 g/kWh
NO _x : 150 mg/km	NO _x : 240 mg/km	
PM: 25 mg/km	PM: 50 mg/km	
Еуро 6-2 (09/2017)	Еуро 6-1 (09/2017)	Еуро 6-B (09/2014)
CO: 1900 mg/km	CO: 1750 mg/km	Као Еуро 6-A, али без алтернативе за DPF.
NMHC: 170 mg/km	NMHC: 290 mg/km	
NO _x : 90 mg/km	NO _x : 180mg/km	
PM: 12 mg/km	PM: 25 mg/km	
	Еуро 6-2 (09/2017)	Еуро 6-C (2016)
	CO: 1750 mg/km	NO _x : 1.2 g/kWh
	NMHC: 290 mg/km	PM: 0,025 g/kWh
		Контрола емисије NO _x : SCR реагенс NO _x : 0,46 g/kWh
	NO _x : 140 mg/km	
	PM: 12 mg/km	

Возило и животна средина

Хвала на пажњи

