

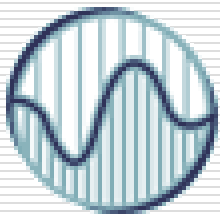
Висока школа електротехнике и
рачунарства струковних студија

УПРАВЉАЊЕ ЕМИСИЈОМ ИЗДУВНИХ ГАСОВА



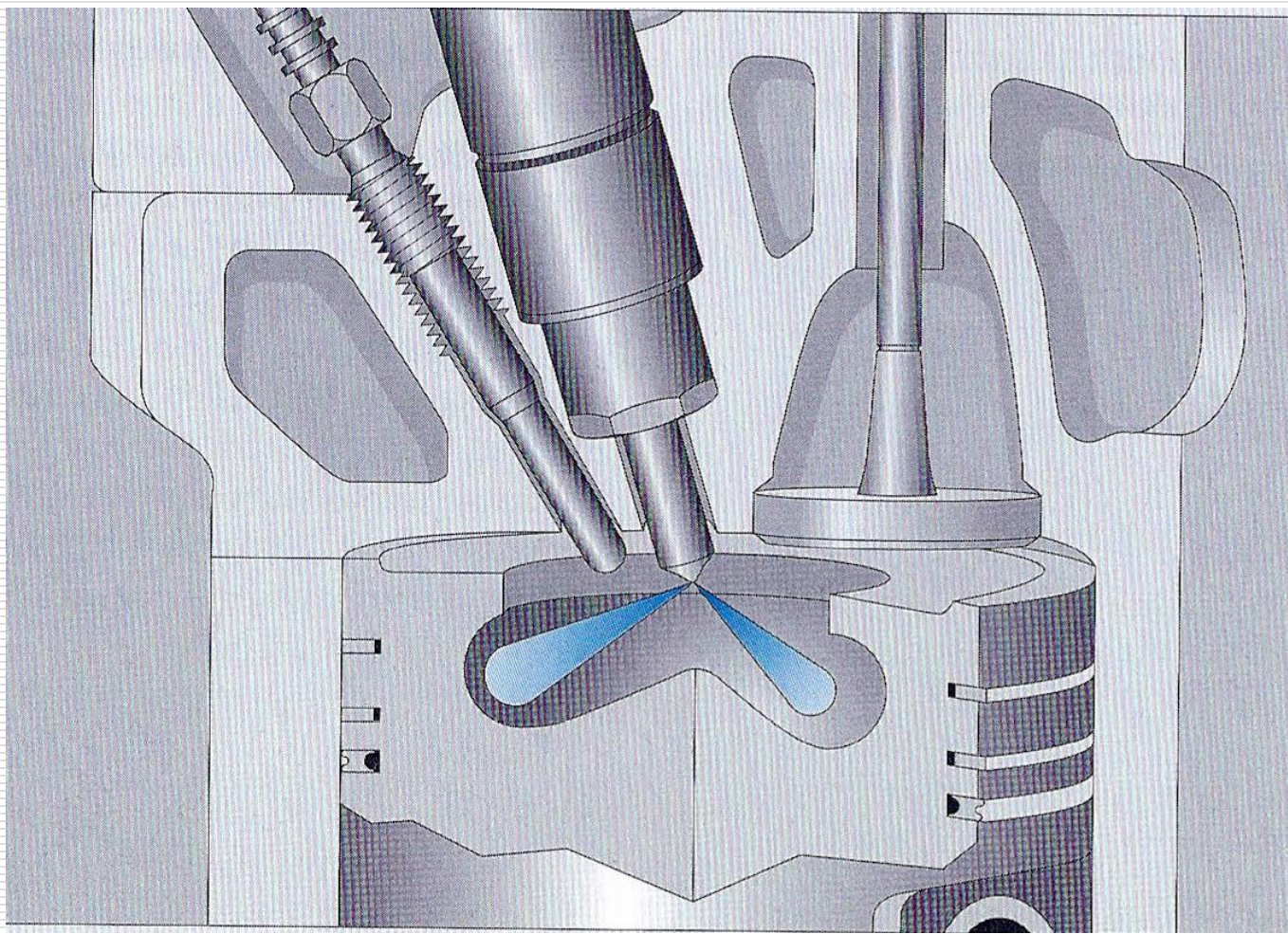
Увод

- ❑ Производ сагоревања укључује и штетне материје као што су NO_x , CO , HC и чађ.
- ❑ Највећи утицај на износ продуката непотпуног сагоревања има режим рада мотора.
- ❑ Поред облика коморе за сагоревање и начина усисавања ваздуха, начин убризгавања дизел горива игра кључну улогу у смањењу емисије издувних гасова.
- ❑ Ово значи да се процесом убризгавања горива у смислу прецизне регулације количине убризгане горива, момента убризгавања, времена трајања и вишестуким убризгавањем може знатно утицати на састав издувних гасова.



Увод

Прецизна регулација- EDC

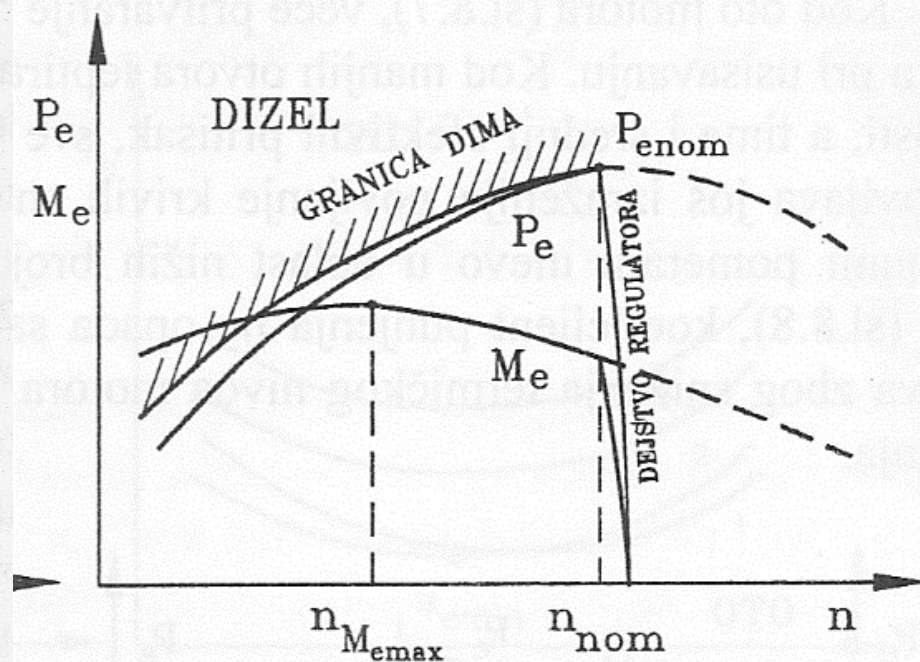
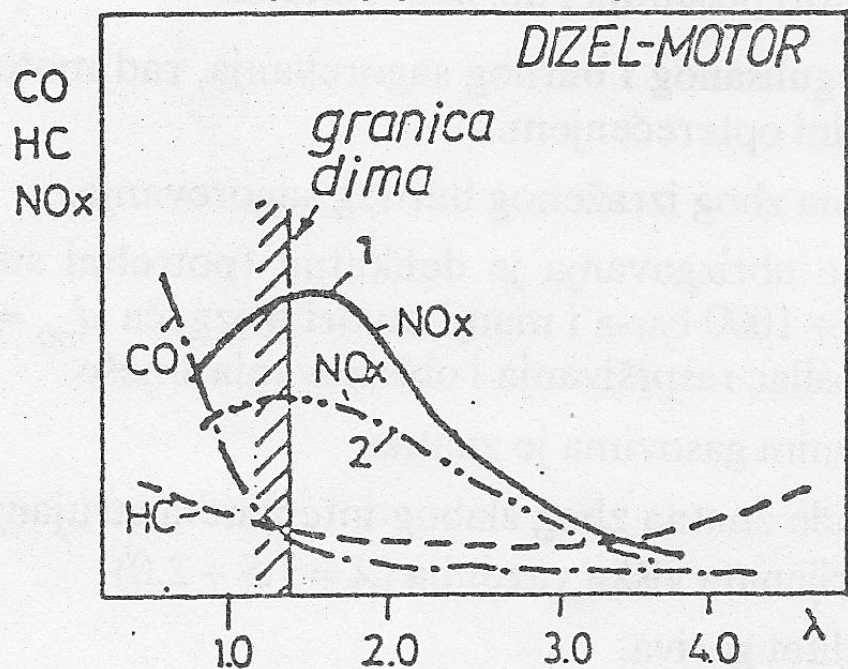




Процес сагоревања у дизел мотору

Процес сагоревања у дизел мотору игра кључну улогу у погледу перформанси, потрошње горива и емисије издувних гасова. Перформансе су ограничене:

- ❑ Максимално дозвољеном вредношћу дима на пуном оптерећењу
- ❑ Температуром издувних гасова





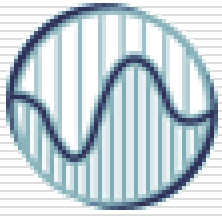
Процес сагоревања у дизел мотору

Фактори који имају одлучујућу улогу на процес сагоревања су:

- ☐ Притисак и температура унутар коморе за сагоревање
- ☐ Количина, састав и кретање пуњења
- ☐ Процес убризгавања

Ови параметри се могу подешавати и прилогађавати:

- ☐ Параметрима мотора (конструкцијски параметри) и
- ☐ Променљивим радним параметрима (убризгавање горива, довод ваздуха,...)!



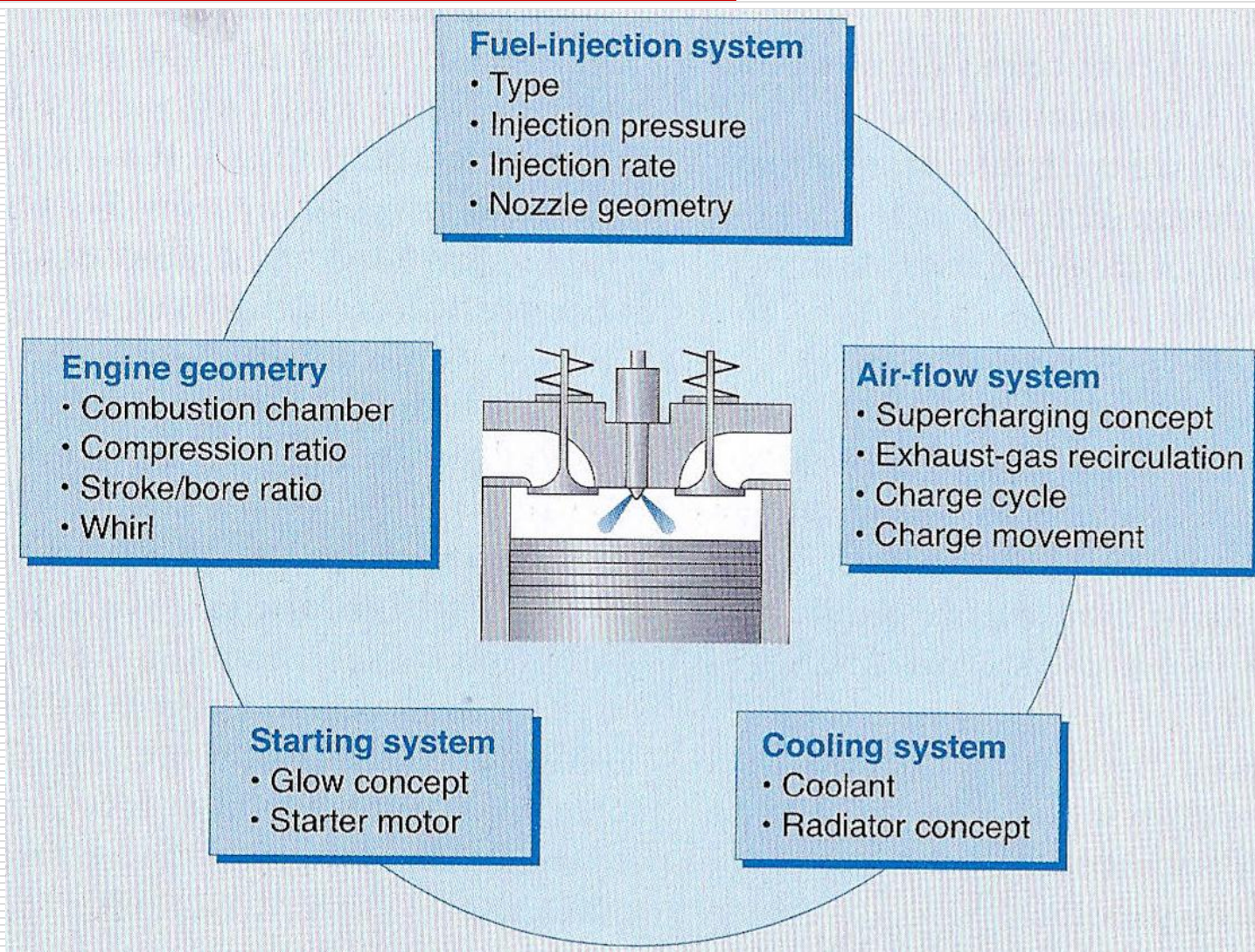
Процес сагоревања у дизел мотору

Утицајни параметри мотора су:

- ☐ Степен компресије,
- ☐ Однос пречника и хода клипа,
- ☐ Облик чела клипа,
- ☐ Геометрија усиса,
- ☐ Шема развода.



Параметри конструкције мотора и радни параметри од којих зависи процес сагоревања





Процес сагоревања у дизел мотору

Систем за довод горива

- Екстремно мале димензије отвора млазница и њихова оптимизована геометрија обезбеђују добру припремљеност горива за сагоревање.
- Високи притисци убризгавања, кратко време убризгавања малих количина горива значајно утичу на квалитет сагоревања.



Процес сагоревања у дизел мотору

Систем за довод ваздуха

- ❑ Кретање ваздуха у комори за сагоревање значајно утиче на процес сагоревања.
- ❑ Значајан допринос смањењу емисије издувних гасова има увођење продуката сагоревања у радни простор мотора, пре свега NOx (**EGR**).
- ❑ Надпуњење мотора пре свега обезбеђује повећање перформанси мотора али у комбинацији са **EGR**-ом значајно утиче на смањење NOx али и чађи.
- ❑ Код надпуњених мотора степен компресије је нижи што омогућава стварање већих удубљења у челу клипа чиме се побољшава струјање ваздуха.
- ❑ На овај начин се и снижава температура на крају компресије па је и емисија NOx нижа.



Процес сагоревања у дизел мотору

Температура сагоревања

- ❑ Висока температура сагоревања уз рад са сиромашном смешом $\lambda > 1$ погодује стварању NO_x .
- ❑ Током хетерогеног дифузног сагоревања стварају се услови за повећање NO_x .
- ❑ Један од циљева оптимизације процеса сагоревања је смањење „пика“ температуре у комори за сагоревање повећањем компоненти инертних гасова (**EGR**).



Процес сагоревања у дизел мотору

Температура сагоревања

- ❑ У условима сагоревања са сиромашном смешом и ниским температурама фронт пламена се гаси перманентно.
- ❑ Ово се догађа када је мотор хладан што узрокује значајно повећање CO и HC као продуката непотпуног сагоревања.
- ❑ Да би се ово спречило, продукти сагоревања који се уводе у усисну цев се не хладе када је мотор хладан.



Други утицајни фактори на емисију издувних гасова

Број обртаја мотора

- ❑ Високи број обртаја мотора производи веће фрикционе губитке, као и потребу за већом снагом за погон помоћних система мотора.
- ❑ Степен корисности мотора дакле опада са повећањем броја обртаја мотора.
- ❑ Већи број обртаја захтева већу количину горива па је и емисија штетних гасова већа.
- ❑ Већи број обртаја са друге стране оставља краће време за формирање NOx, па емисија NOx опада са повећањем броја обртаја мотора.



Други утицајни фактори на емисију издувних гасова

Број обртаја мотора

- ❑ Осим овога, како број обртаја мотора расте НС и СО расте због скраћења времена за припрему смеше.
- ❑ Како брзина клипа расте притисак у комори за сагоревања током експанзије пада брже.
- ❑ Ово резултује лошијим условима сагоревања посебно у случају ниских оптерећења, па и ефикасност процеса сагоревања опада.
- ❑ Са друге стране, струјање ваздуха је у условима високог броја обртаја је интензивно што узрокује смањење чађи.



Други утицајни фактори на емисију издувних гасова

Обртни момент

- Повећање обртног момента мотора узрокује повећање температуре у комори за сагоревање чиме се побољшавају услови за сагоревање.
- NO_x у овом случају расте, док емисија HC и CO пада.
- На пуном оптерећењу и коефицијентом фишка ваздуха $\lambda < 1,4$, чађ и CO расту услед недостатка кисеоника.



Други утицајни фактори на емисију издувних гасова

Квалитет горива

- ❑ Примена нискосумпорних горива довела је до смањења емисије SO_2 до врло ниских вредности.
- ❑ Висок цетански број обезбеђује оптимално упаљење дизел горива.
- ❑ Гориво би морало да поседује добра мазива својства и низак садржај воде.
- ❑ Квалитет горива се постиже додавањем разичитих адитива.
- ❑ Количина емитованог CO_2 пропорционална је потрошњи горива.



РЕЦИРКУЛАЦИЈА ИЗДУВНИХ ГАСОВА

Концепт

Рециркуалција издувних гасова (**EGR**) је високо ефикасни начин редукције NOx.

Постоје два начина рециркулације издувних гасова

1. Унутрашња рециркулација која је дефинисана шемом разовда, односно временом отварања усисних и издувних вентила
2. Спољашња рециркулација која је обезбеђује повратак издувних гасова у комору за сагоревања помоћу посебне инсталације (цеви, вентили)



РЕЦИРКУЛАЦИЈА ИЗДУВНИХ ГАСОВА

Концепт

Смањење NO_x последица је следећих процеса:

- ☐ Смањење количине издувних гасова.
- ☐ Смањење температуре сагоревања услед присуства инертних гасова.
- ☐ Смањење парцијалног притиска кисеоника.

Температуре више од 2000 K и висок парцијални притисак кисеоника погодују стварању NO_x .

Смањивање реактивних компонената у комори за сагоревање такође воде ка повећању црног дима који ограничава количину враћених издувних гасова!



РЕЦИРКУЛАЦИЈА ИЗДУВНИХ ГАСОВА

Концепт

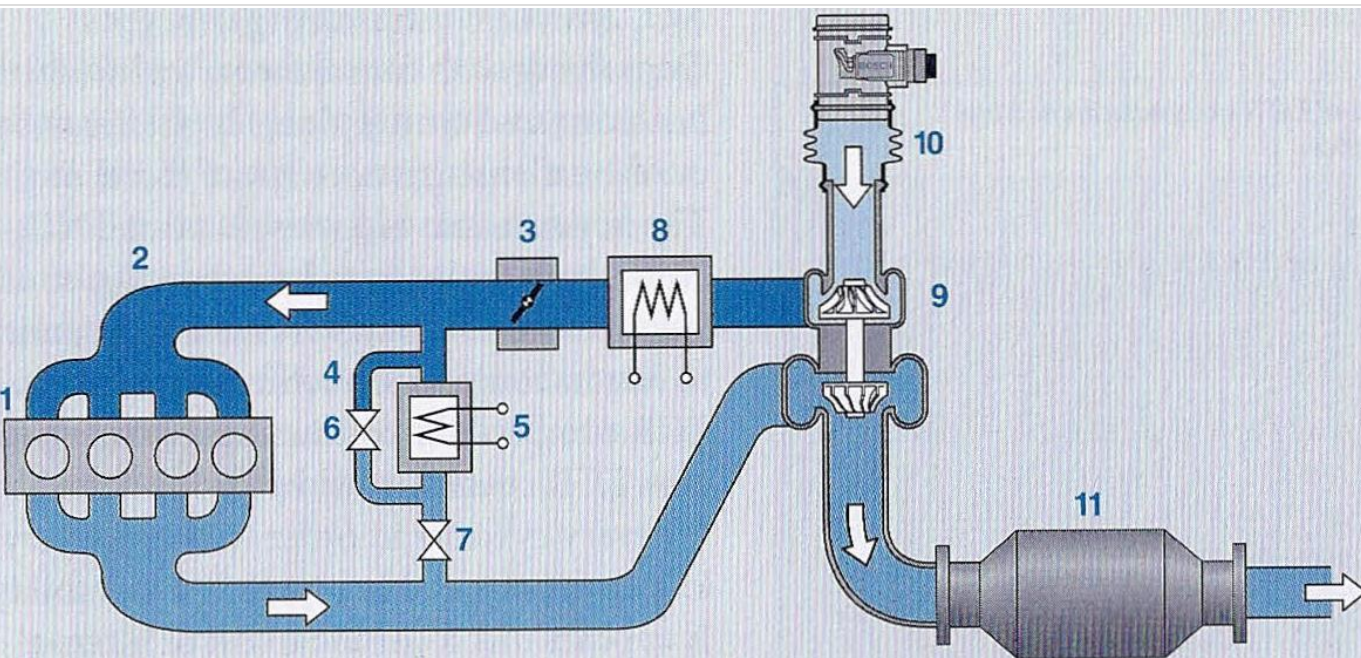
- ❑ Количина враћених издувних гасова зависи од дужине убризгавања.
- ❑ Ако је количина враћених издувних гасова довољно велика на ниским оптерећењима, трајање упаљења је продужено током дифузног сагоревања што је типично за дизел моторе, па и сагоревање почиње једино након присуства високог процента ваздуха и почетка мешања са горивом.



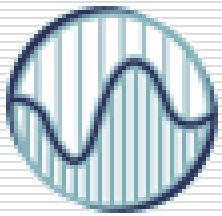
РЕЦИРКУЛАЦИЈА ИЗДУВНИХ ГАСОВА

Принципијелна шема рециркулације издувних гасова у виоско-притисној зони

EGR запремина зависи од разлике притисака између притисака у издувном колектору и усисног колектора као и од позиције електромагнетног или пнеуматског **EGR** вентила



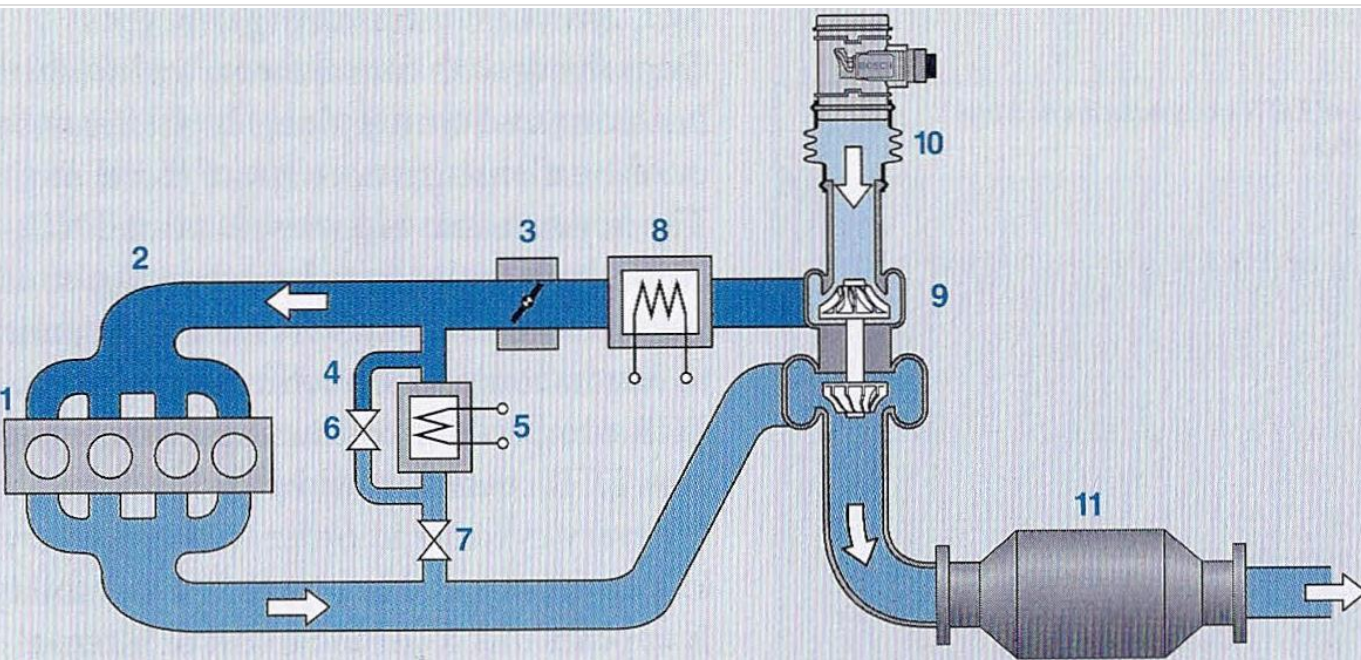
1. Мотор
2. Усисни колектор
3. Лептир
4. Бајпас
5. **EGR** хладњак
6. Бајпас вентил
7. **EGR** вентил
8. Међухладњак
9. Турбопуњач
10. Протокомер
11. Каталитички конвертор



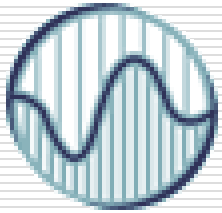
РЕЦИРКУЛАЦИЈА ИЗДУВНИХ ГАСОВА

Принципијелна шема рециркулације издувних гасова у високо-притисној зони

На нижим оптерећењима је периодично потребно извршити пригушење на усису како би се обезбедила довољна количина враћених издувних гасова.



1. Мотор
2. Усисни колектор
3. Лептир
4. Бајпас
5. **EGR** хладњак
6. Бајпас вентил
7. **EGR** вентил
8. Међухладњак
9. Турбопуњач
10. Протокомер
11. Каталитички конвертор

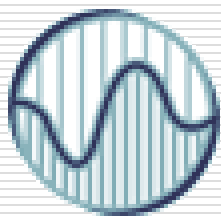


РЕЦИРКУЛАЦИЈА ИЗДУВНИХ ГАСОВА

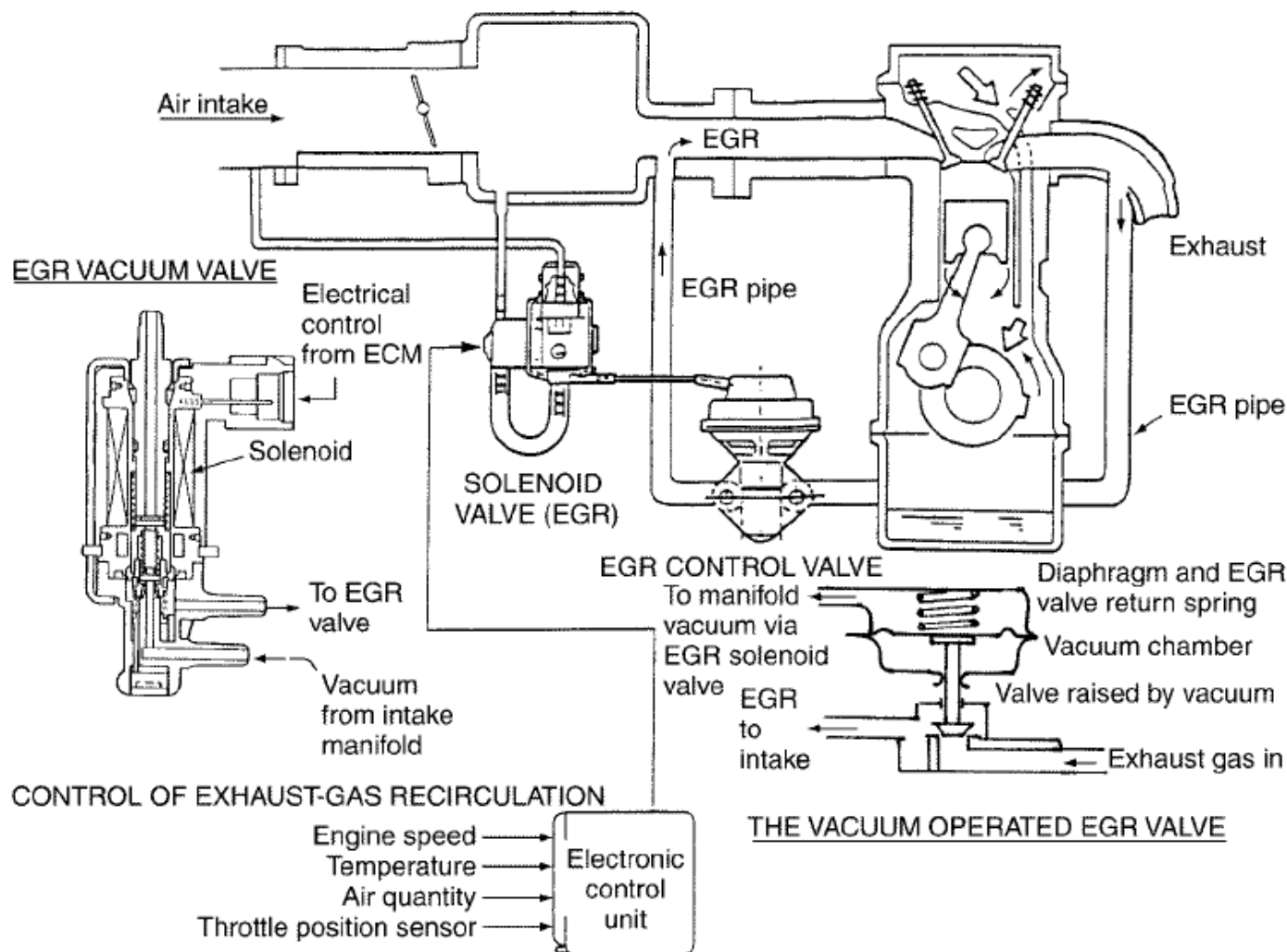
Хлађење издувних гасова

- ☐ У циљу повећање ефекта **EGR-a** неопходно је хлађење враћених гасова. Ово се врши хладњаком који је у вези са системом за хлађење мотора.
- ☐ Током рада на ниским оптерећењима хлађење издувних гасова који се враћају у комору за сагоревању изазивају нестабилано сагоревање. Ово се догађа и у случајевима рада хладног мотора.

Решење? - Бајпас



РЕЦИРКУЛАЦИЈА ИЗДУВНИХ ГАСОВА





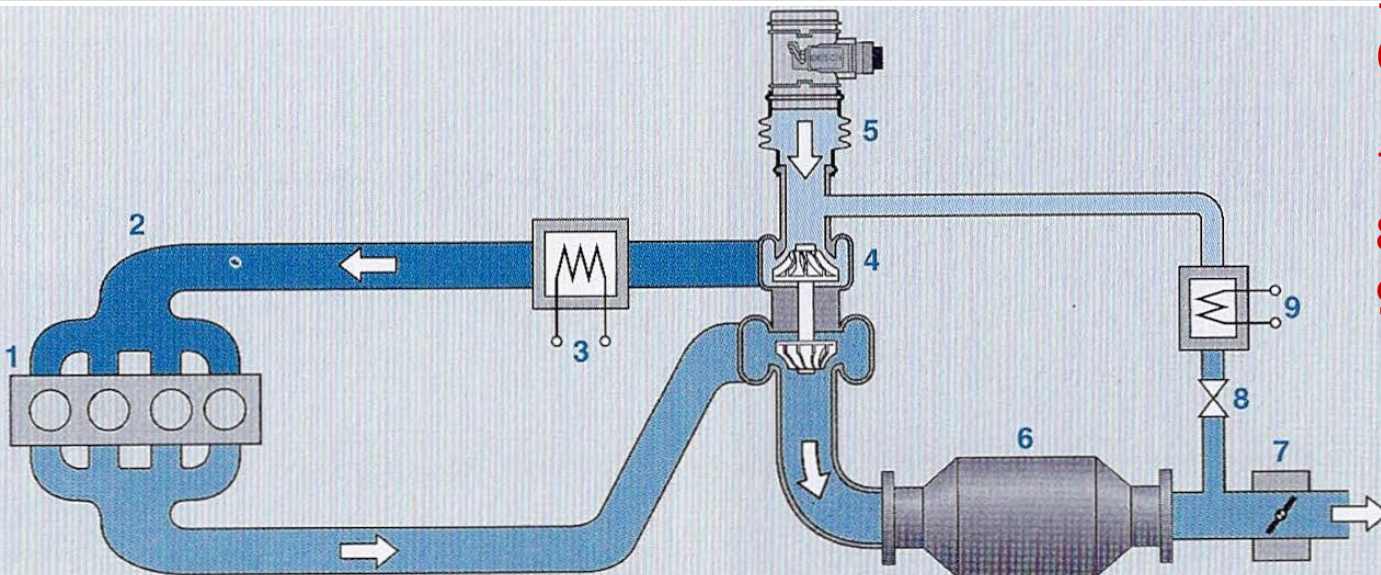
РЕЦИРКУЛАЦИЈА ИЗДУВНИХ ГАСОВА

Принципијелна шема рециркулације издувних гасова у ниско-притисној зони

Предности:

- ❑ Оптимизована дистрибуција **EGR-a** између појединих цилиндара
- ❑ Интезивније хлађење **EGR-a**

1. Мотор
2. Усисни колектор
3. Међухладњак
4. Турбопуњач
5. Протокомер
6. Каталитички конвертор
7. Лептир
8. **EGR** вентил
9. **EGR** хладњак



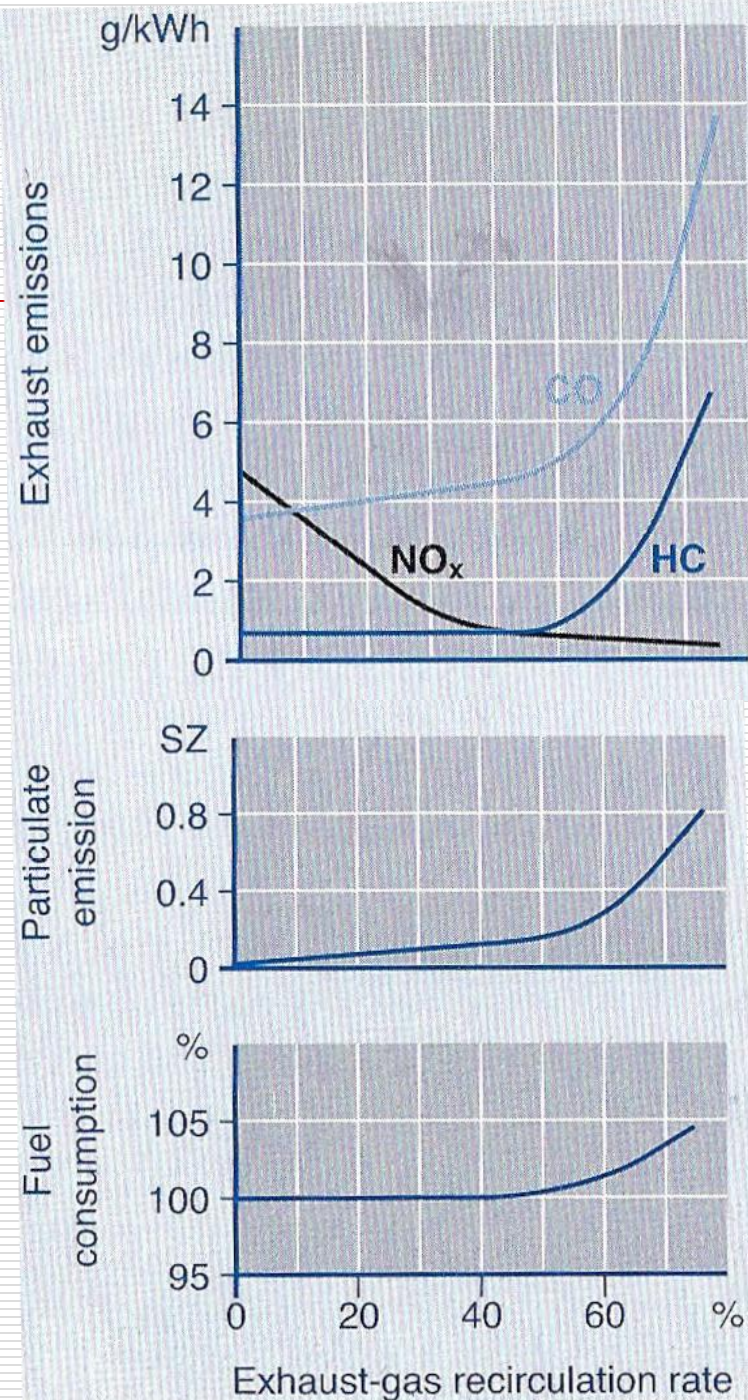


РЕЦИРКУЛАЦИЈА ИЗДУВНИХ ГАСОВА

Трендови развоја EGR-а

Комбинација унутрашње и екстерне рециркулације издувних гасова!

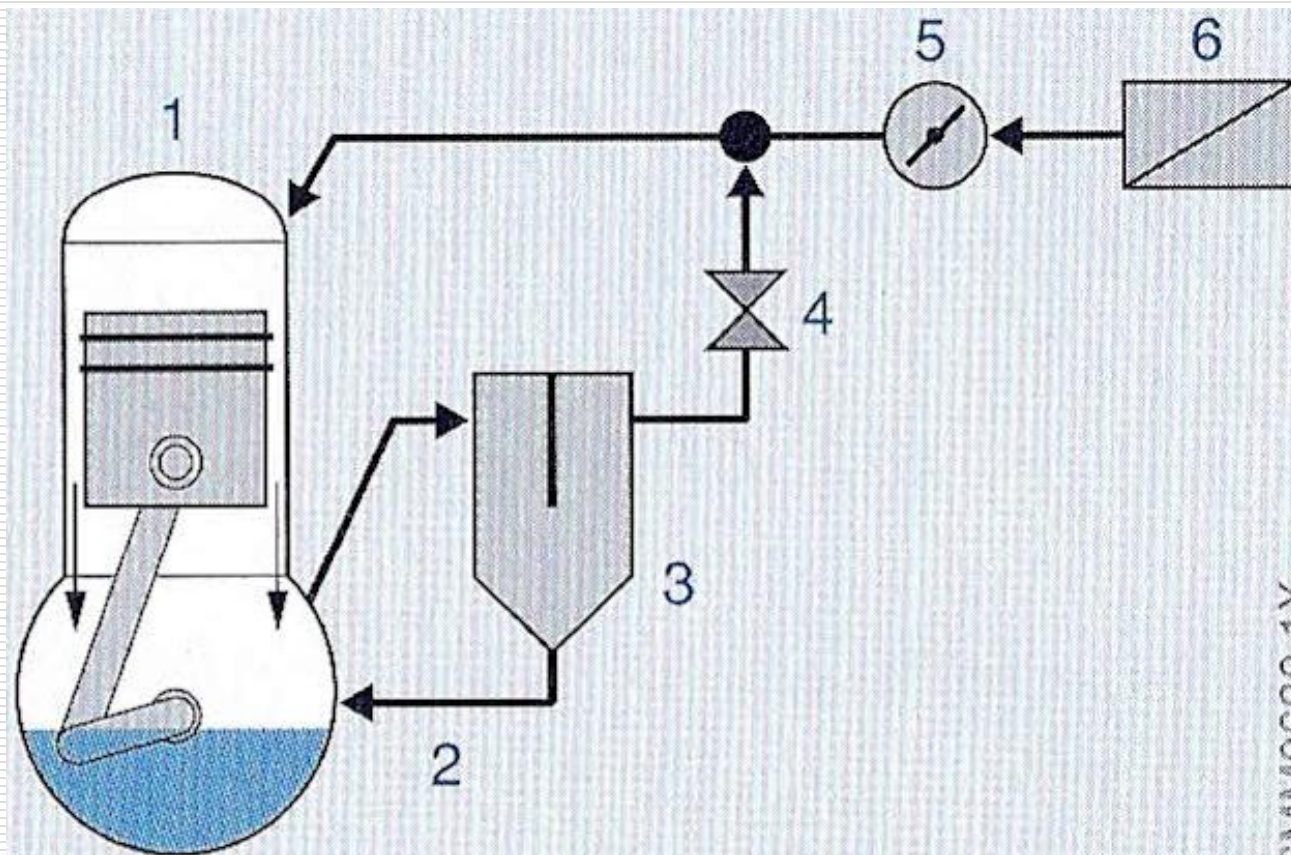
- Побољшање система за променливо отварање вентила (VVT)
- Брзи одговор система за екстерну рециркулацију и прецизна регулација





ВЕНТИЛАЦИЈА-ПРОВЕТРАВАЊЕ КАРТЕРА МОТОРА

Део продуката сагоревања током рада мотора продре у моторску кућицу, односно у картер.





ТРЕТИРАЊЕ ИЗДУВНИХ ГАСОВА

- ❑ Први троструки каталитички конвертори почели су да се примењују код бензинских мотора почетком осамдесетих година.
- ❑ Основна намена NO_x, HC и CO конвертора је била да се наведени штетни гасови преведу у азот и радили су на задату вредност коефицијента вишка ваздуха $\lambda=1$
- ❑ Код дизел мотора који раде са сиромашном смешом највећи изазов представља неутрализација NO_x.



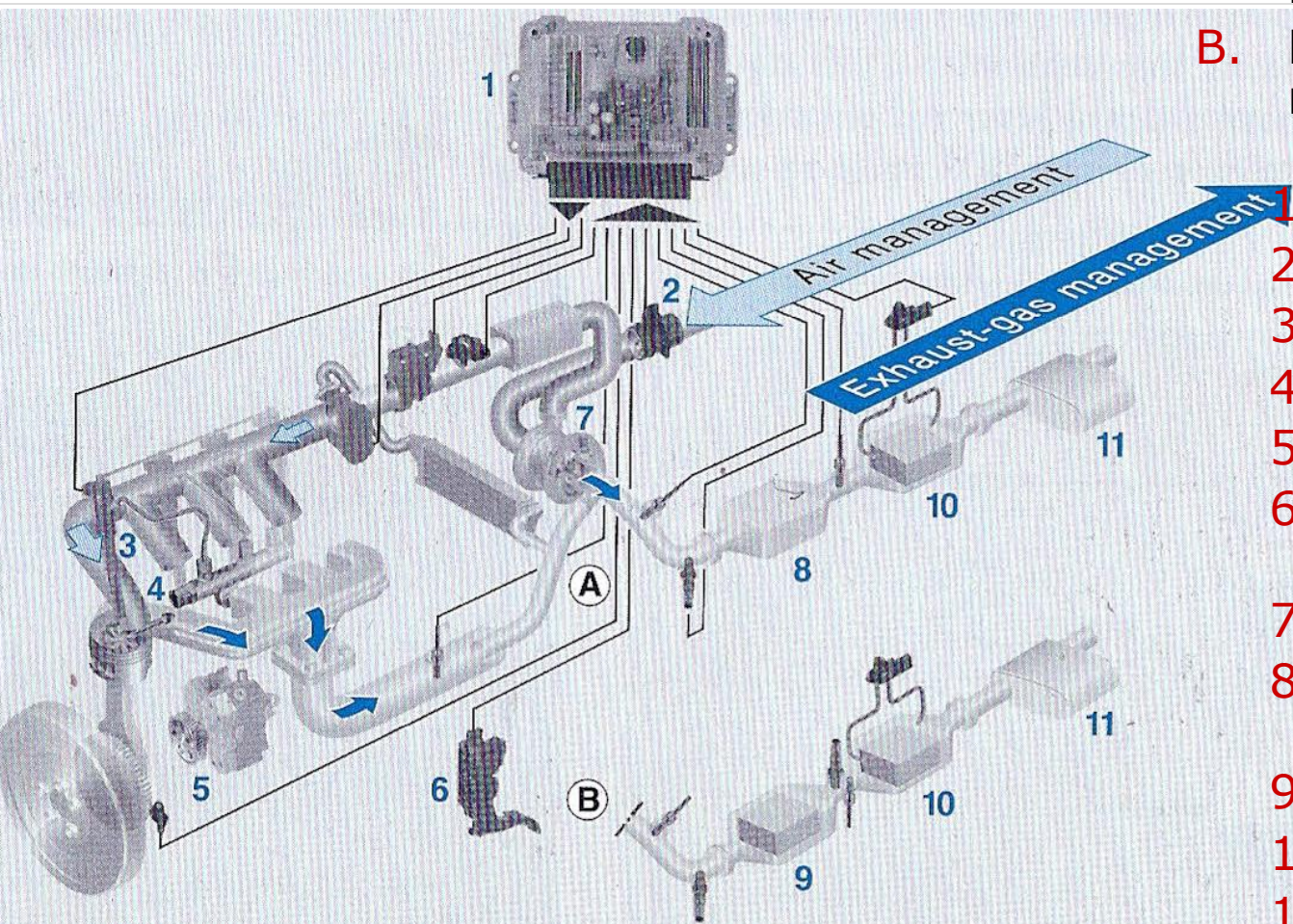
ТРЕТИРАЊЕ ИЗДУВНИХ ГАСОВА

- ❑ Међутим, непоходно је и третирање HC и CO гасова због њихове реакције са кисеоником.
- ❑ HC и CO је релативно лако уклонити у оксидационом катализатору, за разлику од NOx који се третирају у NOx катализаторима или применом **SCR** конвертора-применом селективне каталитичке редукције.
- ❑ Додатни захтев код дизел мотора је уклањање честица чађи применом **DPF control (Diesel Particulate Filter)**



ТРЕТИРАЊЕ ИЗДУВНИХ ГАСОВА

- A. DPF control (Diesel Particulate Filter)
- B. DPF и NSC (NO_x катализатор) control



- 1. ECU
- 2. Проткомер
- 3. Бризгач
- 4. Магистрала
- 5. ПВП
- 6. Педала акцелератора
- 7. Турбопуњач
- 8. Оксидациони катализатор
- 9. NO_x катализатор
- 10. Филтер
- 11. Пригушивач



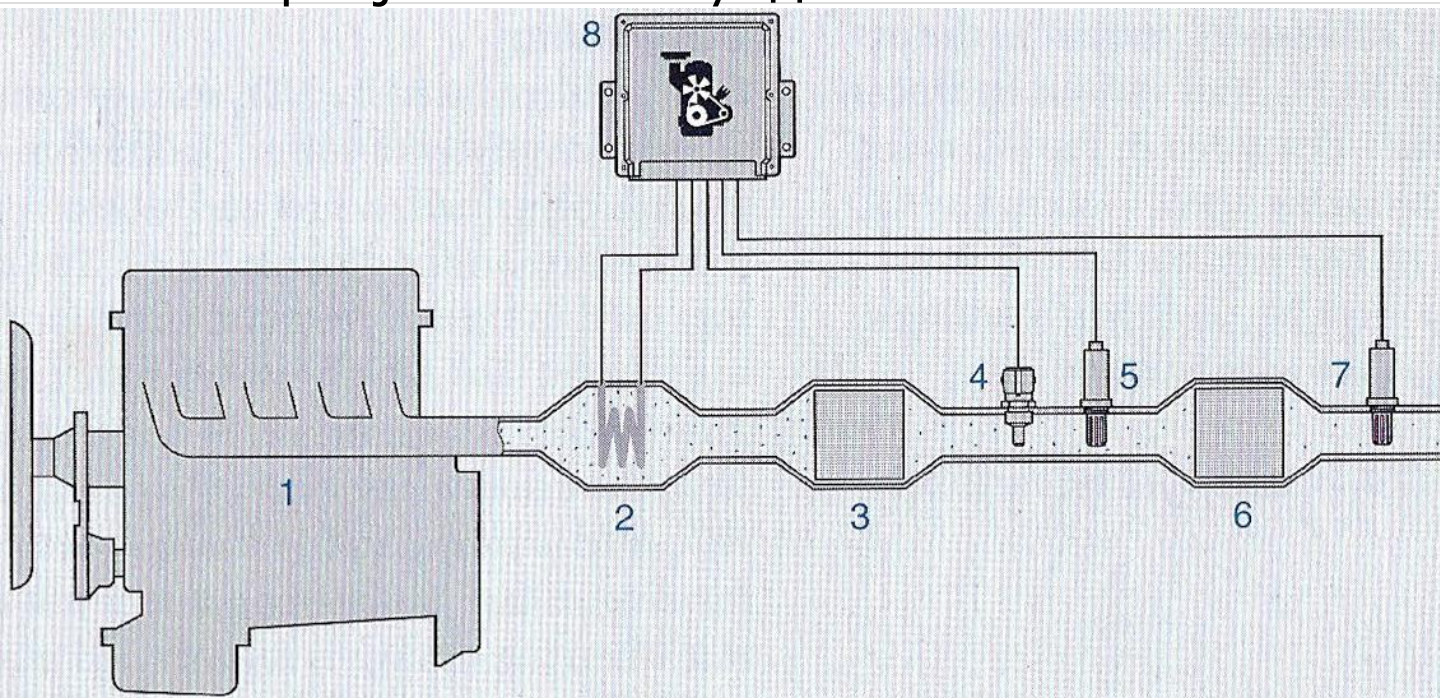
ТРЕТИРАЊЕ ИЗДУВНИХ ГАСОВА

NOx акумулаторски катализатор (NSC)

редукује азотне оксиде у две фазе:

- ❑ Фаза пуњења: континуално складиштење издувних гасова – 30-300 секунди
- ❑ Фаза регенерације: Периодично отклањање и конверзија -2-10 секунди

1. Мотор
2. Грејач издувних гасова (опционо)
3. Оксидациони катализатор
4. Сензор температуре
5. Ламбда сензор
6. NOx катализатор
7. NOx сензор
8. ECU





ТРЕТИРАЊЕ ИЗДУВНИХ ГАСОВА

- NOx „складиште“ је премазано хемијским једињењима која имају тенденцију да се везују са NO₂.
- Пример су оксиди и угљеници алкана и алкалних метала, при чему је **баријум карбонат** најчешће коришћен.
- Како само NO₂ може бити директно третиран NO се мора оксидирати платинијумски премазом како би се добио NO₂ што се спроводи у неколико фаза.





ТРЕТИРАЊЕ ИЗДУВНИХ ГАСОВА

- ❑ NOx третман се спроводи у опсегу температура између 250 и 450 °C. Испод ових температура оксидација NO је врло спора, док је NO₂ изнад ових температура веома нестабилан.
- ❑ Запремина складишног простора је дефинисана на нижим температурама што омогућава поуздан рад након старта мотора.
- ❑ Како се попуњава простор за смештај гасова тако способност рада конвертора опада и он се временом мора празнити.

Постоје два начина за детекцију напуњености складишта:

- ❑ Прорачунски
- ❑ NOx сензор



ТРЕТИРАЊЕ ИЗДУВНИХ ГАСОВА

NOx уклањање и конверзија

- На крају процеса складиштења каталитички конвертор се мора регенерисати.
- Азотни оксиди се морају уклонити и конвертовати у N₂ и CO₂. Ови процеси се спроводе одвојено.
- Да би се ово спровело, по фазама, смеша мора бити богата (раније убризгвање, смањење усисаног ваздуха) па је захтев а овај процес траје што краће.
- Редукциони агенси се већ налазе у издувним гасовима: CO, HC





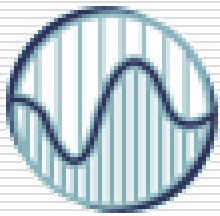
ТРЕТИРАЊЕ ИЗДУВНИХ ГАСОВА

NOx уклањање и конверзија

- Након овога, премаз од родијума реагује са NO у N и CO₂ користећи при томе CO.

Детекција завршетка конвертовања се може спровести на два начина:

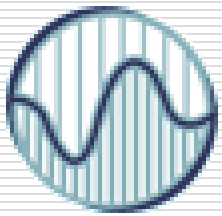
- Прорачунски
- Ламбда сензором - детектује промену из сиромашне у богату смешу



ТРЕТИРАЊЕ ИЗДУВНИХ ГАСОВА

NO_x акумулаторски катализатор

- **Проблем са сумпором! Заузима место NO_x**
- Десулфатизација сваких 5000 km уколико је гориво ниско сумпорно, 10 mg/kg!
- Загревање на више 650°C у периоду од једног минута.
- Иста мера се предузима ради регенерацији **DPF-а**.
- Мора се избећи прегревање јер то поспешује старење катализатора.

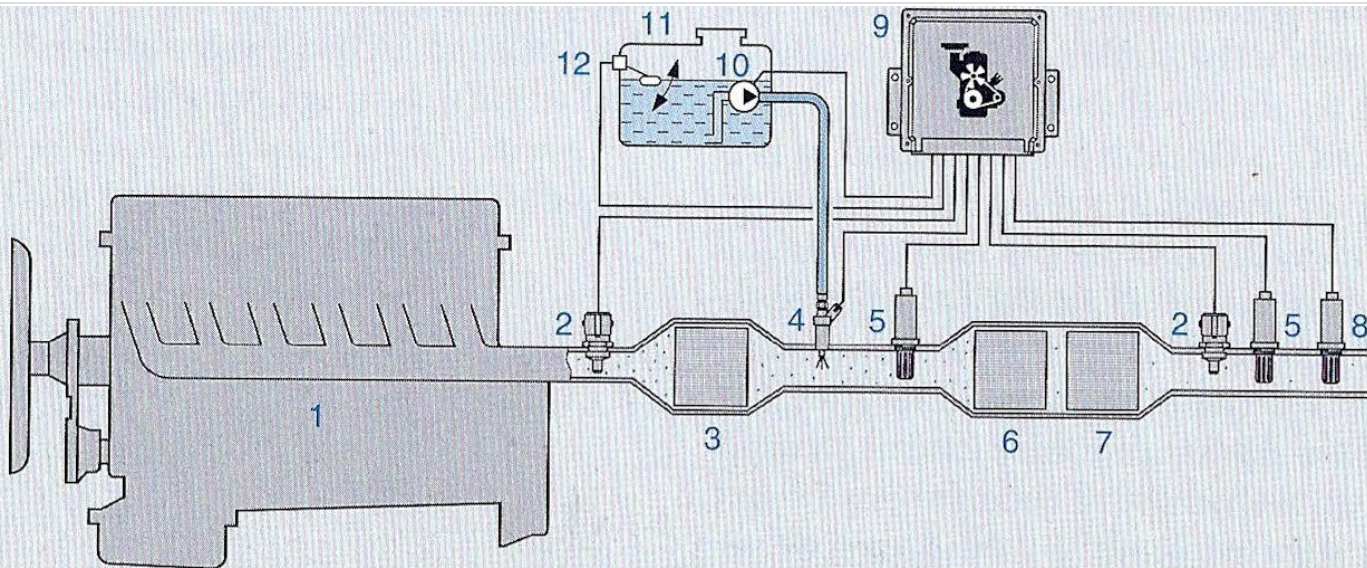


Селективни каталитички конвертор

Селективни каталитички конвертор за разлику од NSC-а ради континуално.

Рад се базира на редукцији азотних оксида у присуству кисеоника применом редукционог агенса.

1. Дизел мотор
2. Сензор температуре
3. Оксидациони катализатор
4. Бризгач за убризгавање редукционог агента
5. NOx сензор
6. SCR каталитички конвертор
7. NH₃ блокирајући каталитички конвертор
8. NH₃ сензор
9. ECU
10. Пумпа за редукциони агенс
11. Резервоар за редукциони агенс
12. Сензор нивоа флуида

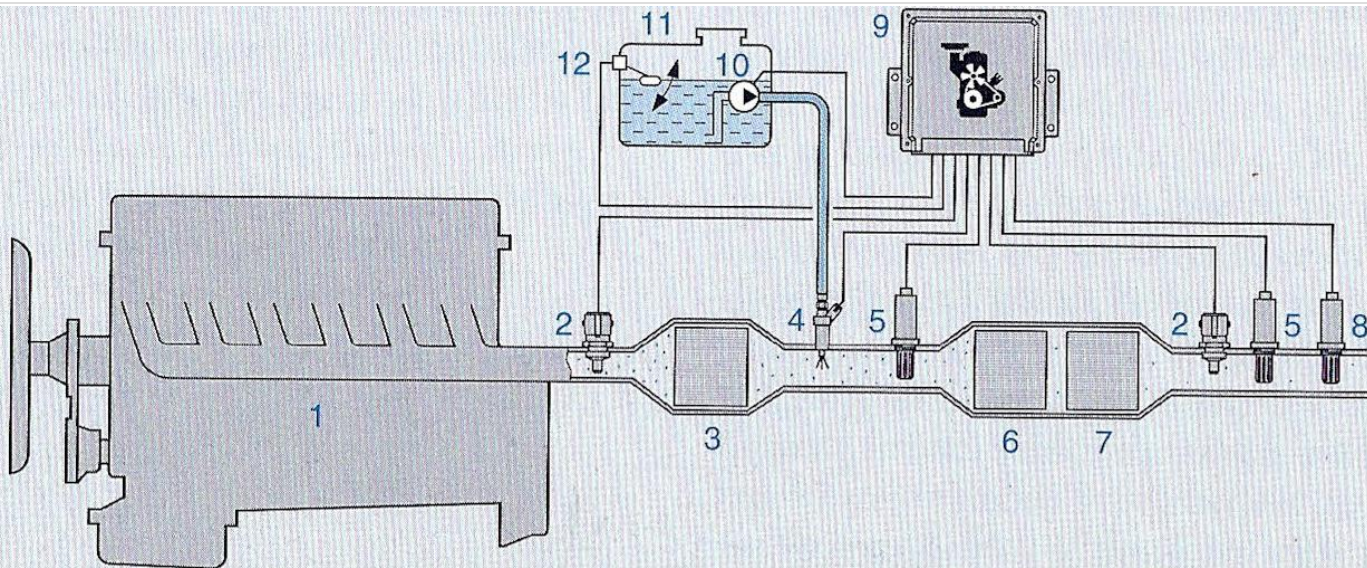




Селективни каталитички конвертор

Селективно значи да редукциони агенс оксидише са кисеоником који се налази у азотним оксидима (NO_x) уместо да се веже са кисеоником који се налази у много већем износу слободан у издувним гасовима!

1. Дизел мотор
2. Сензор температуре
3. Оксидациони катализатор
4. Бризгач за убризгавање дередукционог агента
5. NO_x сензор
6. SCR каталитички конвертор
7. NH_3 блокирајући каталитички конвертор
8. NH_3 сензор
9. ECU
10. Пумпа за редукциони агенс
11. Резервоар за редукциони агенс
12. Сензор нивоа флуида

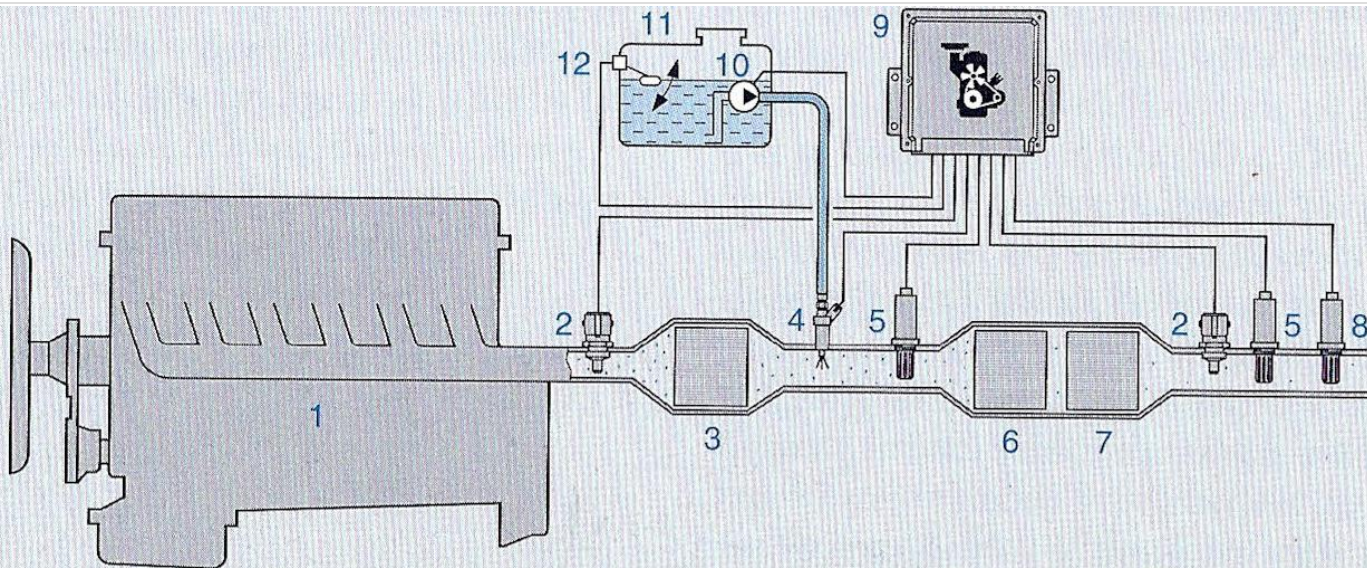




Селективни каталитички конвертор

- Амонијак (NH_3) се користи као редукциони агенс у овом случају.
- Са амонијаком се мора поступати веома опрезно због његове токсичности.

1. Дизел мотор
2. Сензор температуре
3. Оксидациони катализатор
4. Бризгач за убризгавање дередукционог агента
5. NO_x сензор
6. SCR каталитички конвертор
7. NH_3 блокирајући каталитички конвертор
8. NH_3 сензор
9. ECU
10. Пумпа за редукциони агенс
11. Резервоар за редукциони агенс
12. Сензор нивоа флуида

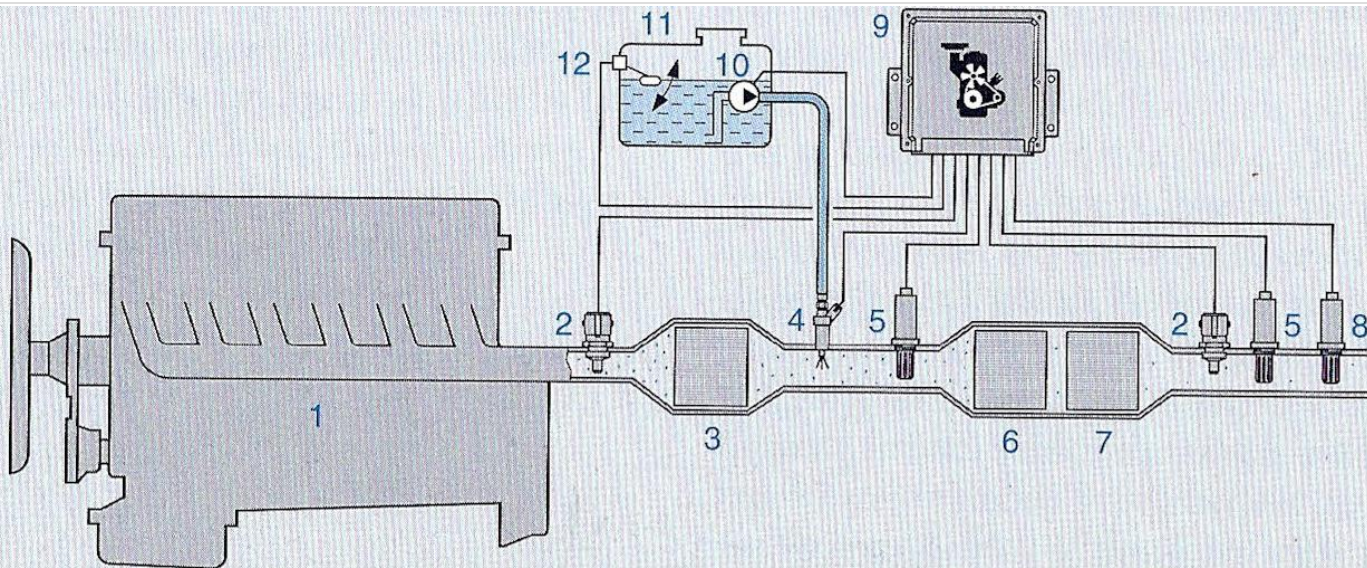




Селективни каталитички конвертор

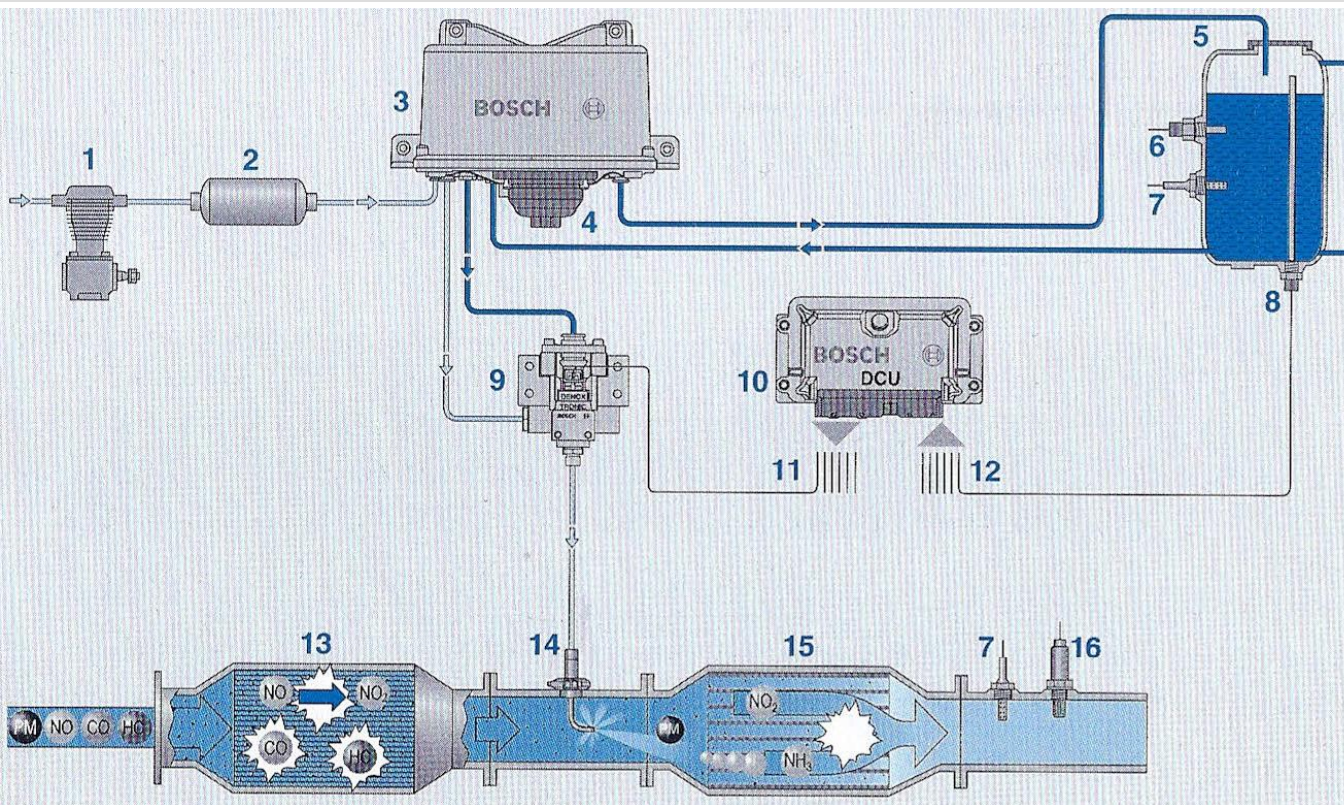
NH_3 се може добити и из урее која је биолошки компатибилна са водом и хемијски стабилна по окружење.

1. Дизел мотор
2. Сензор температуре
3. Оксидациони катализатор
4. Бризгач за убризгавање дерукционог агента
5. NO_x сензор
6. SCR каталитички конвертор
7. NH_3 блокирајући каталитички конвертор
8. NH_3 сензор
9. ECU
10. Пумпа за редукциони агенс
11. Резервоар за редукциони агенс
12. Сензор нивоа флуида





Селективни каталитички конвертор-Dexotronic систем

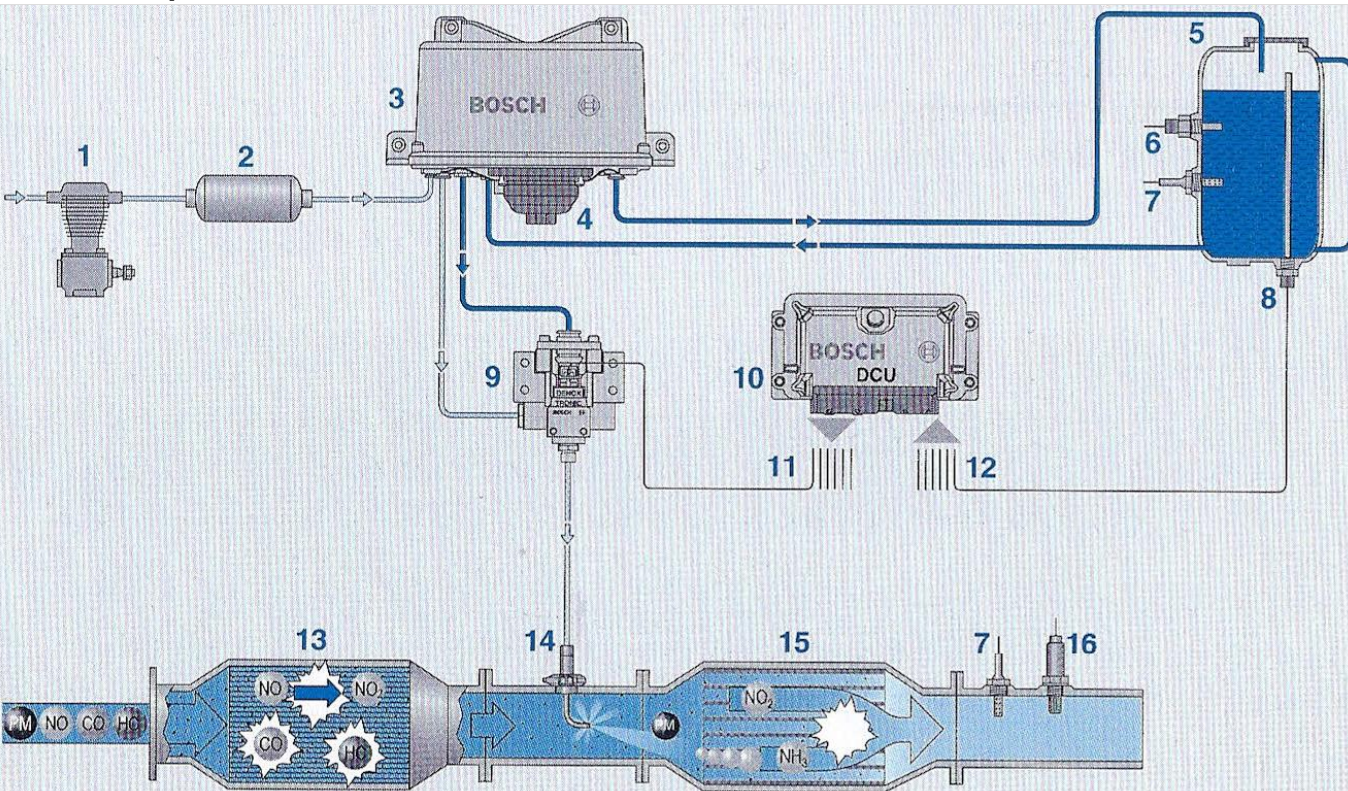


1. Компресор
2. Резервоар за воздух
3. Dex модул
4. Филтер
5. AdBlue резервоар
6. AdBlue сензор квалитета
7. Сензор температуре
8. Сензор нивоа
9. Дозер
10. ECU
11. Актуатор
12. Сензор
13. Оксидациони катализатор
14. Брзигач
15. SCR каталитички конверт
16. Сензор издувних гасова



Селективни каталитички конвертор-Dexotronic систем

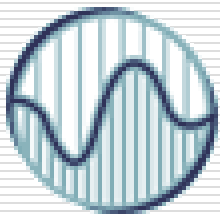
Дех модул допрема мешавину воде и уреје одговарајућим притиском до дозера (9). Дозер прецизно дефинише количину мешавине уреа/вода и додаје компримовани ваздух. Бризгач убризгава припремљену мешавину у издувни колектор. Управљачка јединица размењује информације са ECU преко CAN -а.



Кључни параметар за рад система је коефицијент α који представља моларни однос NH_3 и NO_x .

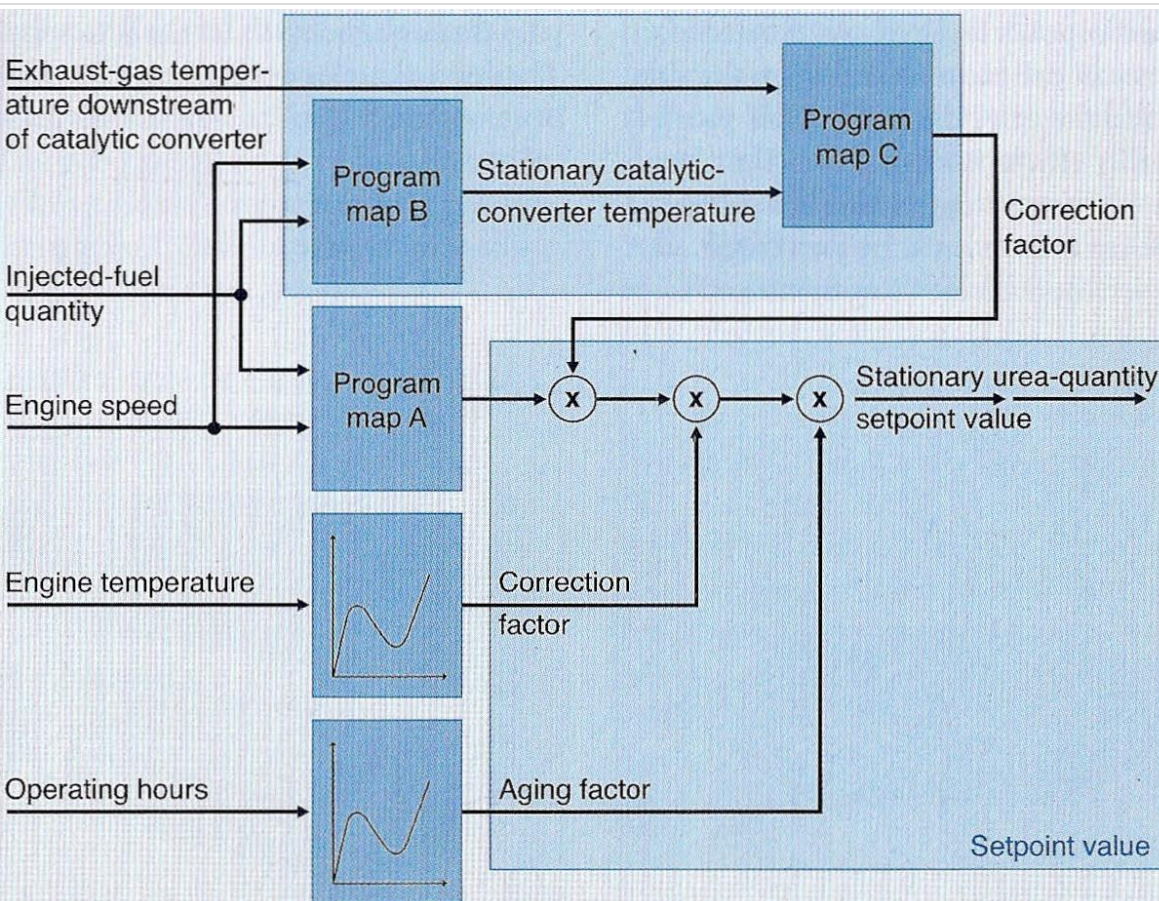
AdBlue представља мешавину уреје и воде, при чему је учешће уреје око 32%.

Количина AdBlue-а неопходна за рад система износи око 5% количине горива.



Селективни каталитички конвертор-Dexotronic систем

Стратегија рада Dexotronic система



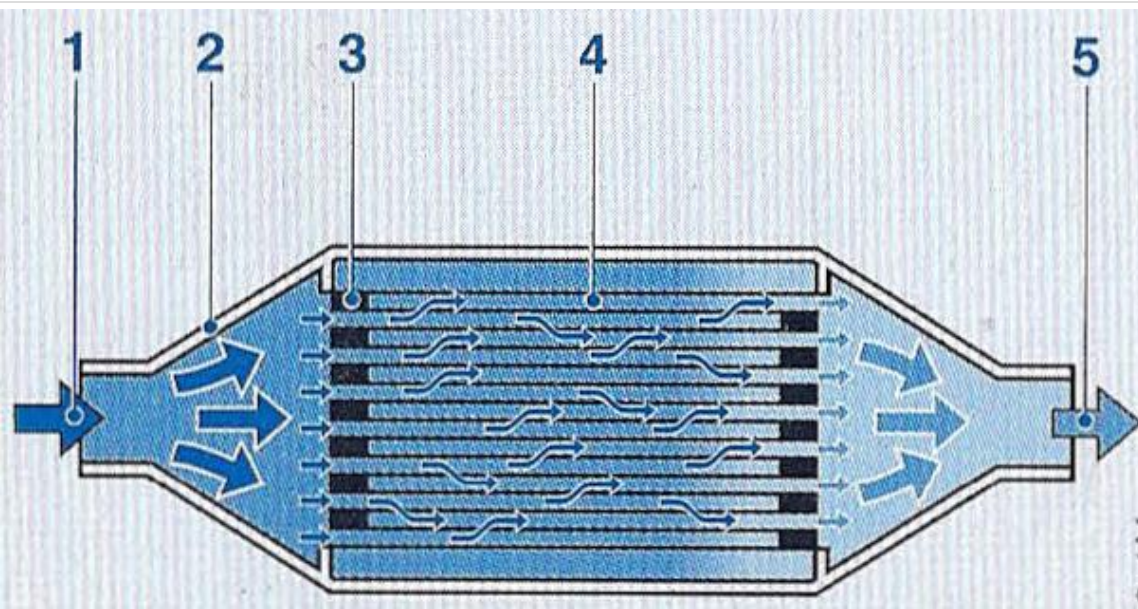
Количина убризганог реагенса зависи од количине убризганог горива и броја обртаја мотора (**програмска мапа А** чије су вредности добијене на пробном столу или прорачунски). Корекциони фактори су температура мотора, број часова рада итд.

Разлика између фиксне температуре за каталитичку конверзију (смештене у **Програму Б**) и мерене температуре издувних гасова користи се за одређивање количине агента за дозирање у **програмској мапи С**



Филтер честица (DPF)

Честице које се стварају током процеса сагоревања код дизел мотора могу се ефикасно уклонити филтером честица који се постављају у издувном колектору. У примени су филтери на бази керамике и од синтеровани метални филтери. Керамички филтери имају структуру саћа направљену најчешће од силкон карбида са великом бројем паралелних углавном квадратних канала. Зидови ових канала су на растојању од 300-400 μm . Величина канала је одређена густином ћелија која се изражава бројем канала по квадратном инчу и износи од 100-3000.

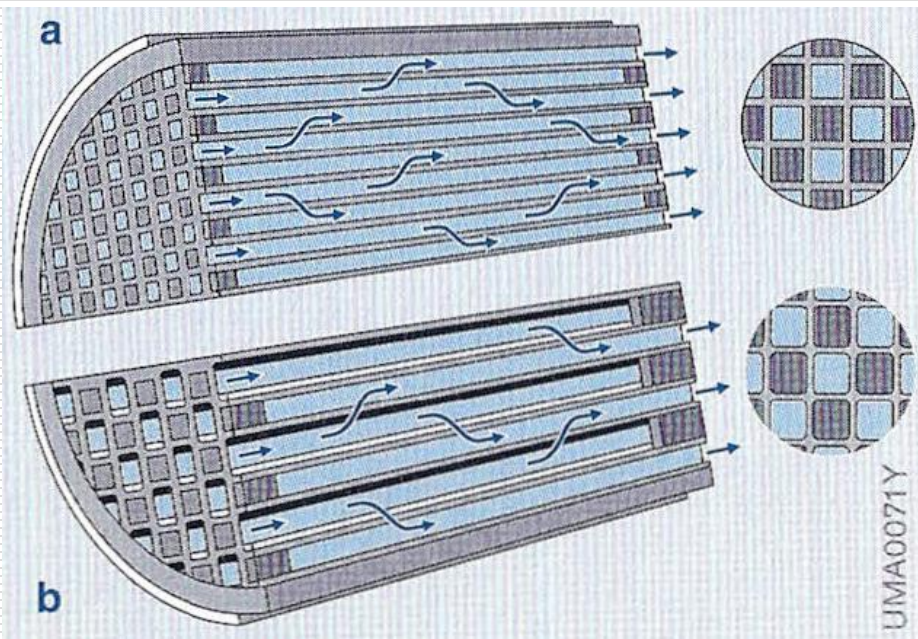


1. Улаз продуката сагоревања
2. Кућиште
3. Керамички чепови
4. Керамичко саће
5. Излаз пречишћеног гаса



Филтер честица (DPF)-керамички

Суседни канали су на крајевима затворени керамичким чеповима чији је задатак да издувни гасови већим притиском долазе у контакт са керамичким зидовима. Честице практично остају унутар керамичких зидова дифузијом (тзв. дубока филтрација). Како филтер постаје све засићенији честицама, слој честица се формира на површини зидова канала на супротној страни у односу на улаз. Ово обезбеђује већу ефикасност за следећу фазу филтрирања. Међутим претерано засићење се не сме дозволити.



Поред филтера са симетричним квадратним саћем у примени су и несиметричним саћем, октогонално на улазу и квадратно на излазу, слика под б.

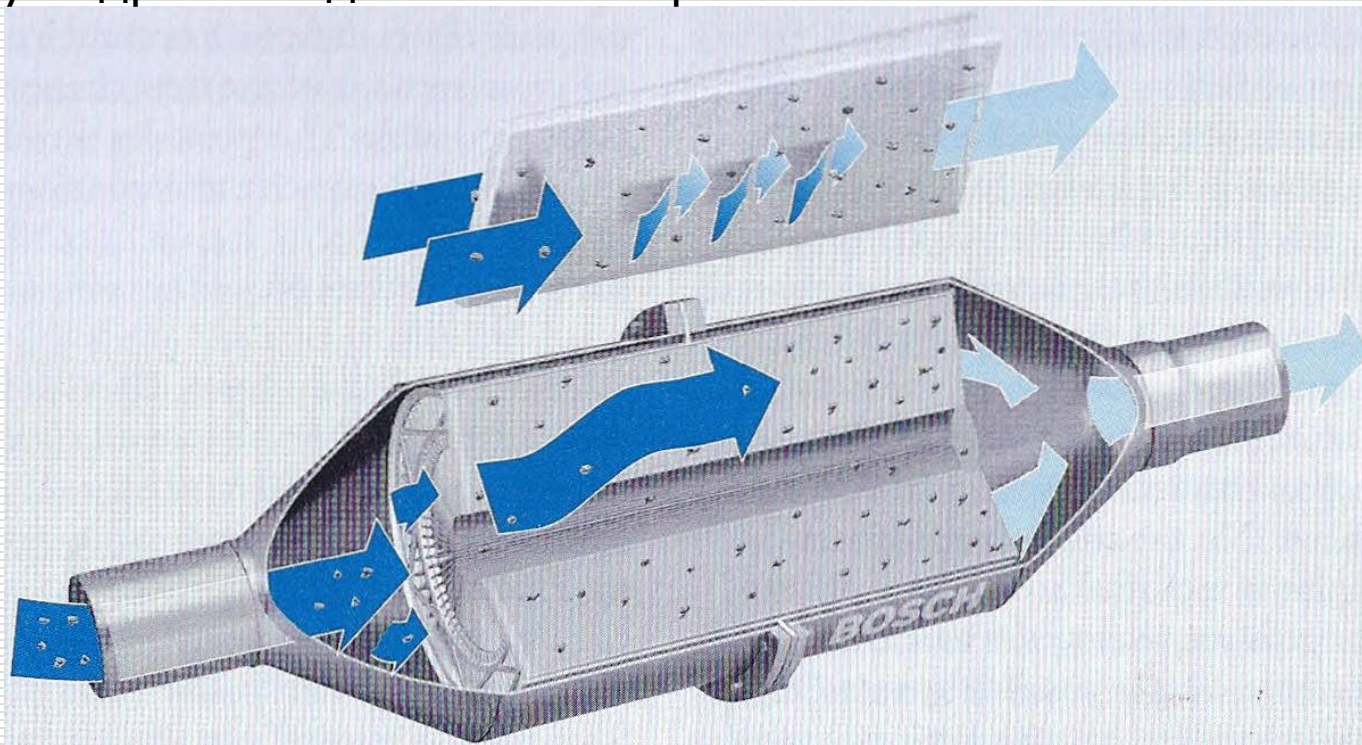
Предност оваквих саћа је у томе што се на улазу омогућава већи простор за прашине, несагорелих честица уља итд.



Филтер честица (DPF)-синтер

Саћа је израђено од синтерованог метала. Плоче су саћа су постављене концентрично, док је поступак филтрације идентичан као код филтера са керамичким саћем.

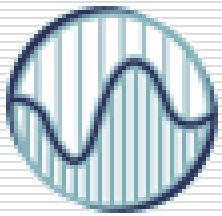
Код обе врсте филтера ефикасност је око 95%, док је величина честица које се могу задржати од 10 nm до 1 μm





Регенерација филтера

- ❑ Регенерација се мора вршити на сваких 500 km независно од тога о којој се врсти саћа ради за шта је потребно од 10 до 15 минута.
- ❑ Регенерација се врши сагоревањем честица које су се задржале у филтеру. Ово подразумева остварење високих температура у издувном систему што је могуће ако се мотору зада максимални број обртаја, а то се у нормалној експлоатацији ретко догађа.
- ❑ Из овог разлога се честице морају уклонити на нижој температури.
- ❑ За разлику од керамичких код синтер металних саћа је уклањање честица једноставније због бољег преноса топлоте.



Регенерација филтера помоћу адитива

Додатком церијума или металних једињења дизел гориву, температура потребна за оксидацију честица у филтеру се може смањити на 450-500°C али то често није довољно.

Активна регенерација се покреће на основу информације о засићењу филтера.

Да би се ово остварило мора се повећати температура на издуву што се обезбеђује ранијим предубризгавањем.

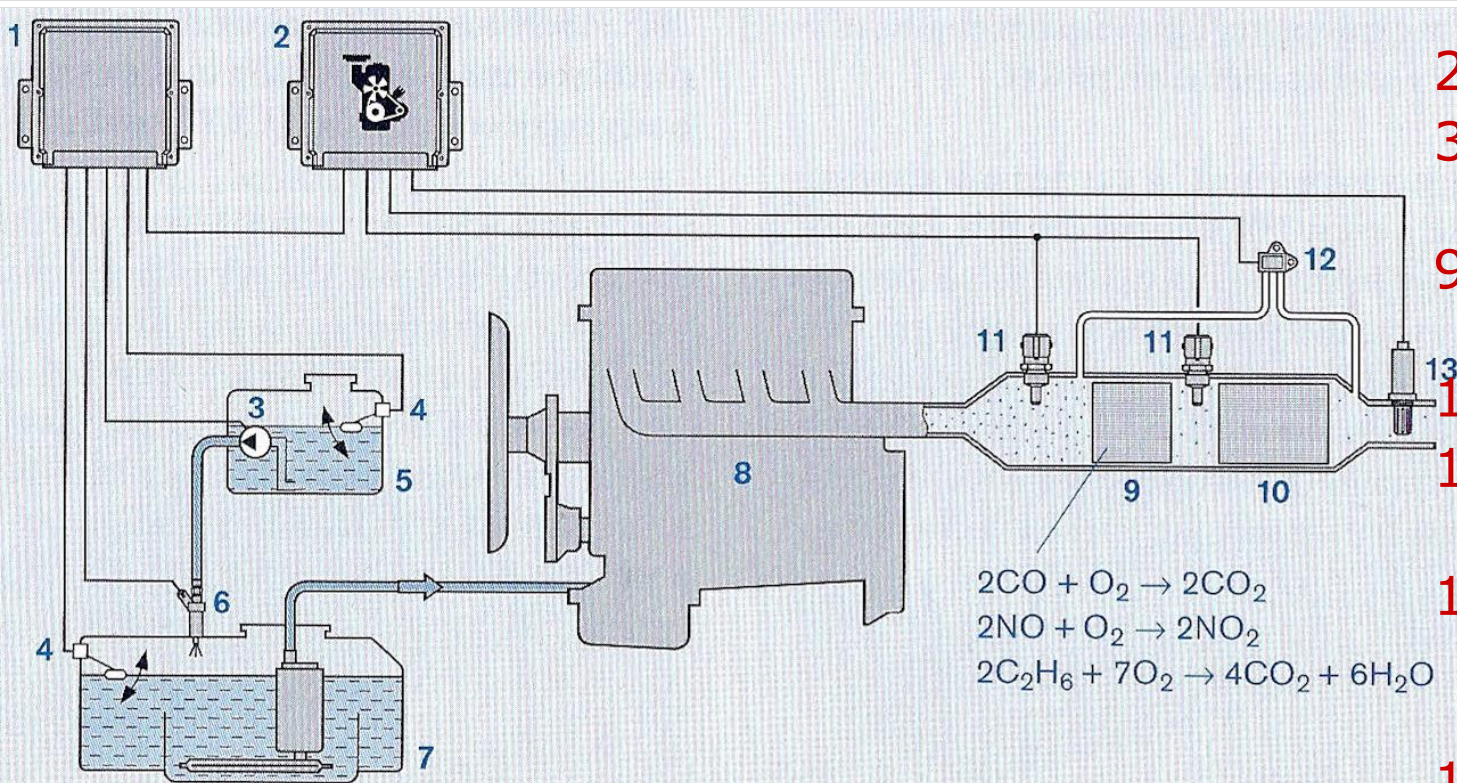
Век трајања конвенционалног керамичког филтера је око 120.000 km.

Код тешких камиона спроводи се континуална регенерација филтера CRT, захваљујући томе што ова возила, односно њихови мотори, најчешће раде на максималном обртном моменту



Регенерација филтера помоћу адитива

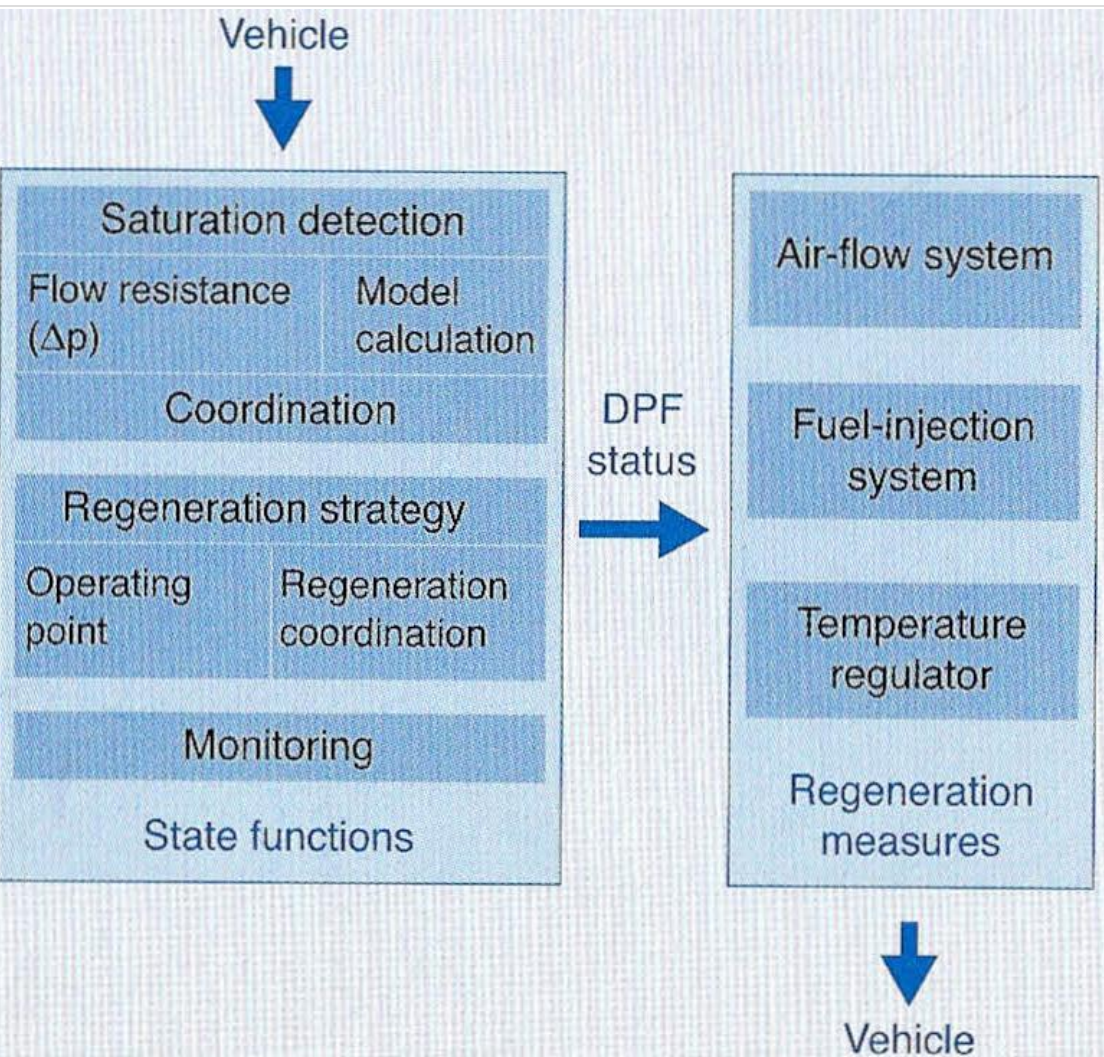
Каталитички филтер честица



1. Јединица за управљање адитивима
2. ECU
3. Пумпа за адитиве
9. Оксидациони катализатор
10. Филтер
11. Сензор температуре
12. Диференцијални сензор притска
13. Сензор честица



Контролна јединца за управљање радом филтера



Детекција засићења:

- ☐ Мерењем
- ☐ Прорачунски

На основу засићења одређује се стратегија за регенерацију. Регенерација мора почети пре потпуног засићења 5-10g по литру запремине филтера како би се избегла критична температура која може да оштети филтер.