



## Výmena obsahu valcov

### Príprava zmesi v vznetových spaľovacích motoroch

Základný princíp spočíva vo vstrekaní paliva do stlačeného, zohriateho vzduchu pred koncom druhej doby tesne pred hornou úvraťou.

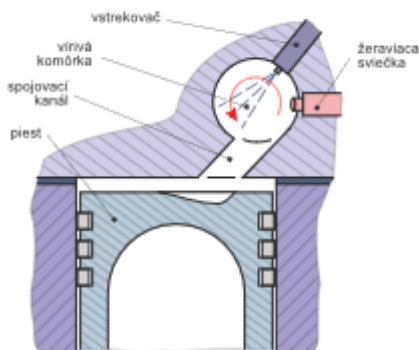
Princíp vstrekovania:

1. Povrchový - nástrek paliva na stenu a následne odparenie paliva
2. Objemový - rozprašenie paliva do stlačeného vzduchu

*Povrchový princíp:*

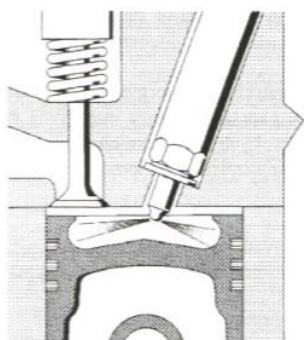
Jedná sa o princíp používaný pri komôrkových spaľovacích priestoroch, tento spôsob označujeme aj ako nepriame vstrekovanie.

Vírivá komôrka (skonštruoval ju 1931 brit. inžinier H. Ricardo) má guľový alebo oválny tvar a tvorí 60 – 75 % celkového objemu spaľovacieho priestoru, pričom spojovací kanál väčšieho prierezu sa k nej pripája tangenciálne. Pri kompresnom zdvihu sa vzduch v komôrke silno rozvíri, čím sa vstrekané palivo premieša so vzduchom komôrky, čo zlepšuje podmienky na zapálenie bohatej zmesi.

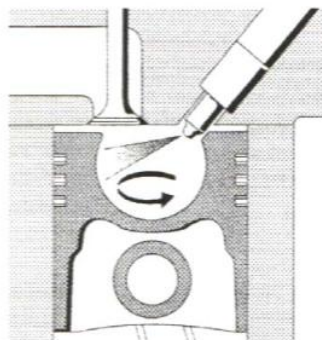


*Objemový princíp:*

Využíva sa pri priamom vstrekaní. Vyžaduje sa úprava hlavy piestu, tak aby došlo ku dokonalému premiešaniu vzduchu a vstrekaného paliva.



Prstencový spaľovací priestor



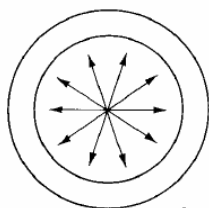
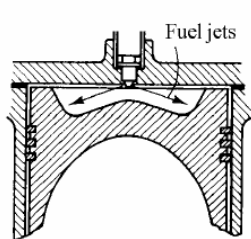
Guľatý spaľovací priestor



## Konštrukcia automobilov

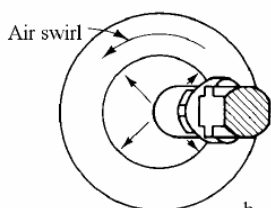
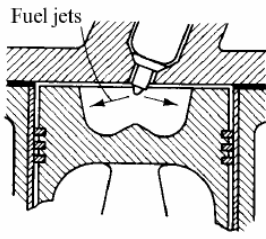
Blok č: 4

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.



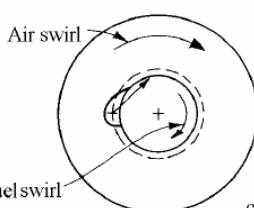
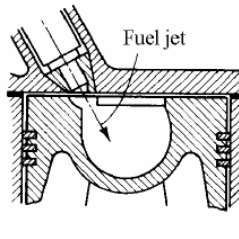
a,

Quiescent chamber design with multi-hole nozzle



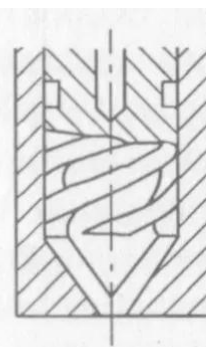
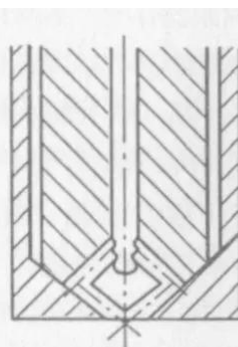
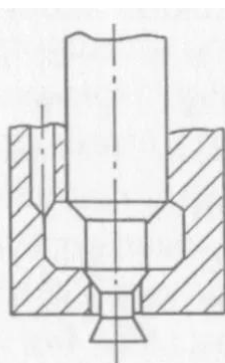
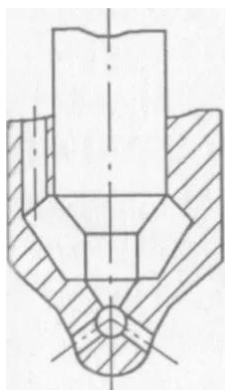
b,

Bowl-in-piston chamber design with multi-hole nozzle

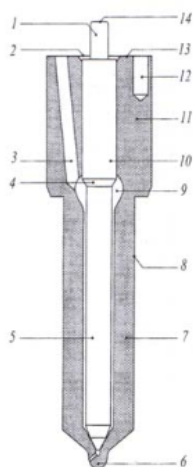


c,

Bowl-in-piston chamber with multi-hole nozzle and air and fuel swirl

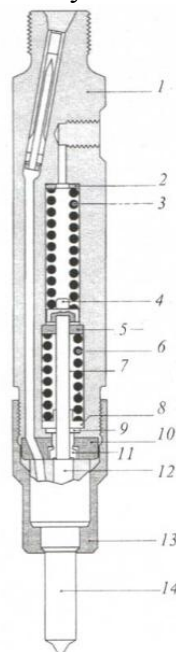


### Typy vstrekovacích trysiek



Popis:

- 1 – tlačný čap
- 2 – plocha dorazu zdvihu
- 3 – prítokový otvor
- 4 – tlakový nábeh
- 5 – driek ihly
- 6 – zaoblený vrchol ihly
- 7 – driek telesa trysky
- 8 – povrch telesa trysky
- 9 – tlaková komora
- 10 – vedenie ihly
- 11 – lem telesa trysky
- 13 – tesniaca plocha
- 14 – zakončenie tlačného čapu

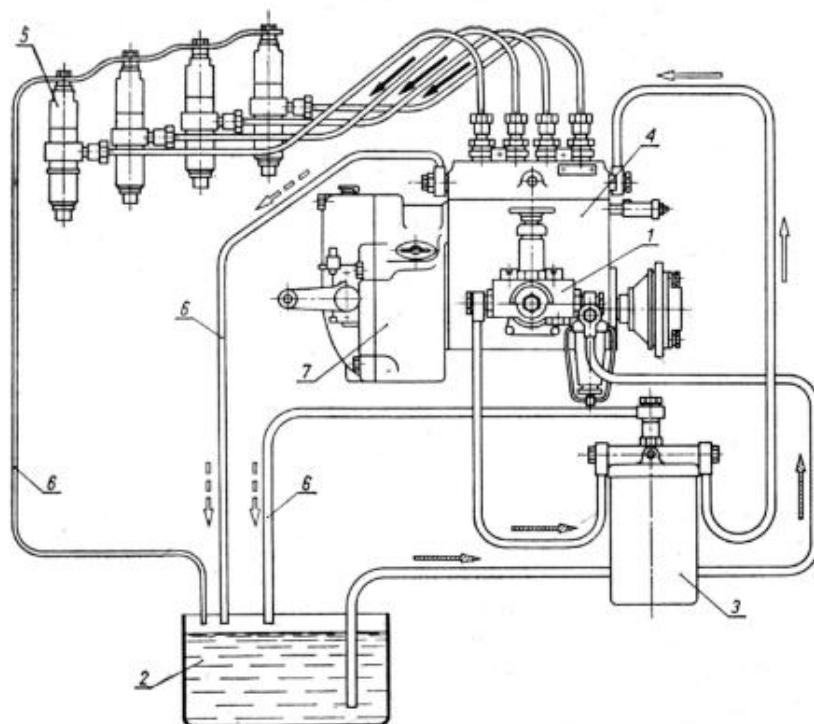


Popis:

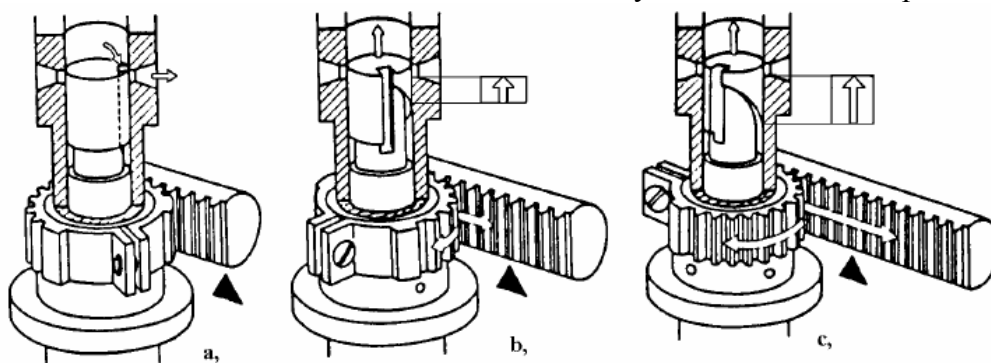
- 1 – teleso držiaka
- 2 – vymedzovacia podložka
- 3 – tlačná pružina 1
- 4 – tlačný čap
- 5 – vodiaca podložka
- 6 – tlačná pružina 2
- 7 – tlačný kolík
- 8 – tanier pružiny
- 9 – vymedzovacia podložka
- 10 – medzi vložka
- 11 – dorazové puzdro
- 12 – ihla trysky
- 13 – napínacie matice trysky
- 14 – teleso trysky

Vstrekovacia tryska so slepím otvorom

Dvojpružinový vstrekoč pre priamy vstreč



Palivová sústava vznetrového motora s mechanickým vstrekovacím čerpadlom



a, stop

b, part load

c, full load

Riadenie dávky paliva mechanickým vstrekovacím čerpadlom



## Konštrukcia automobilov

Blok č: 4

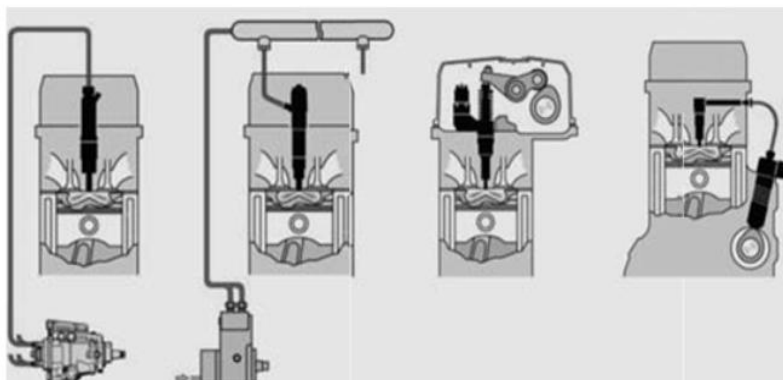
Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

VP44  
Rotačné  
vstrekovacie  
čerpadlo

CRS  
Common-Rail

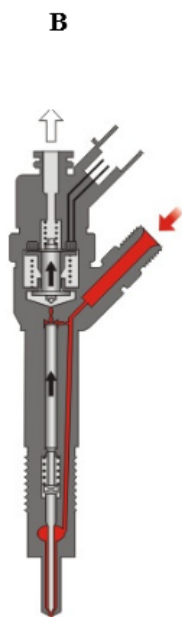
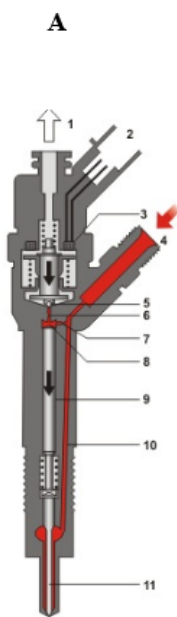
UIS  
Združená  
vstrekovacia  
jednotka

UPS  
Samostatné  
vstrekovacie  
čerpadlo



Typy vstrekovacích systémov

Vývoj riadených vstrekovačov



A – vstrekovač uzavretý

B – vstrekovač otvorený

Popis:

- 1 – spätné palivové potrubie
- 2 – elektrická spojka
- 3 – cievka elektromagnetu
- 4 – vysokotlaková prípojka paliva pod vysokým tlakom zo zásobníka
- 5 – guľička ventilu
- 6 – škrtenie na prepade
- 7 – škrtenie na privode
- 8 – riadiaca komora ventilu
- 9 – riadiaci piest
- 10 – kanál privodu paliva do rozprašovača
- 11 – ihla dýz

Vstrekovač s elektromagnetickým ventilom

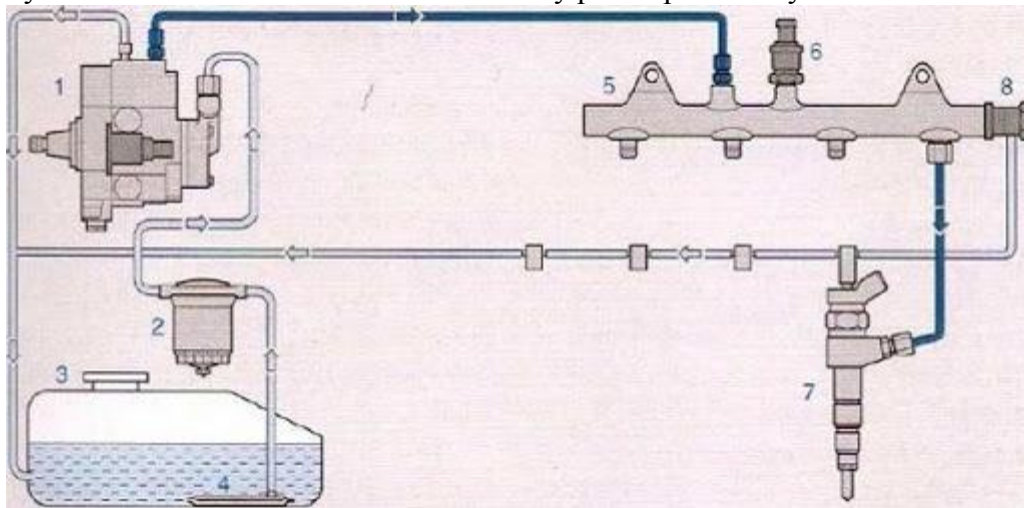


Vstrekovač piezoelektrický





Palivový systém vznetového motora - riadenie dávky paliva pri riadených vstrekováčoch



### Znižovanie emisií vznetových motorov

Mimo produktov dokonalého spaľovania, tzn.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , prebytku kyslíka, zvyškového dusíka, ktoré tvoria dominantné zastúpenie, sa vyskytuje celé množstvo plynov a pevných látok, z ktorých najväčšia pozornosť sa venuje oxidu uhoľnatému –  $\text{CO}$ , nespáleným uhl'ovodíkom –  $\text{HC}$  (parafíny, olefíny, aromatické uhl'ovodíky), čiastočne spáleným uhl'ovodíkom (aldehydy, ketóny), produktom štiepenia (acetylén, etylén, vodík, sadze), oxidu dusíka –  $\text{NO}_x$ , (oxid dusnatý, oxid dusný, oxid dusičitý) a pevným časticiam.

V súčasnosti sa už namiesto smerníc ES/EHS prijímajú nariadenia EÚ. Tieto emisné predpisy EÚ sú rozdelené do dvoch základných kategórií

1. emisné predpisy pre osobné a ľahké úžitkové vozidlá (označované ako „Euro 1 .... 6“ s použitím arabských číslíc),
2. emisné predpisy pre ťažké nákladné vozidlá a autobusy (označované ako „Euro I .... VI“ s použitím rímskych číslíc; aj keď niekedy sa tiež používajú arabské číslice).

Hranicou medzi týmito skupinami je referenčná hmotnosť 2610 kg. Pokiaľ vozidlo je do referenčnej hmotnosti 2610 kg, ide o prvú skupinu a pokiaľ je vozidlo nad referenčnú hmotnosť 2610 kg, ide o druhú skupinu.

Emisné predpisy stanovujú maximálne množstvo znečisťujúcich látok vo výfukových plynch vypúšťaných z motorov. Medzi regulované emisie patria:

- **pevné častice** (PM) zo vznetových motorov; pevné častice sa vyskytujú v kvapalnom i plynnom stave, napr. sadze, karbón, popol, zvyšky nespáleného motorového oleja a paliva, oterové častice a podobne,
- **oxidy dusíka** ( $\text{NO}_x$ ); vznikajú oxidáciou dusíka dodaného do spaľovacieho priestoru v nasávanom vzduchu spoločne s kyslíkom určeným na oxidáciu paliva alebo kyslíkom obsiahnutým v paliv; oxidy dusíka vznikajú pri vysokých teplotách (nutná veľká aktivačná energia pre začatie reakcií) a tlakoch v spaľovacom priestore a ich tvorba je teda závislá na bohatosti zmesi a koncentrácii kyslíka; najväčšie zastúpenie má oxid dusnatý z 95 %, ktoré je totiž toxický,



### Konštrukcia automobilov

Blok č: 4

Prednášajúci: prof.Ing. Robert Grega, PhD.

- **uhl'ovodíky** (HC) merané ako celkové uhl'ovodíky (THC) alebo bezmetánové uhl'ovodíky (NMHC) alebo sa používa kombinovaný limit oxidov dusíka a uhl'ovodíkov (HC + NO<sub>x</sub>) namiesto dvoch samostatných ukazovateľov; nespálené uhl'ovodíky vznikajú za veľmi nepriaznivých oxidačných podmienok, vznikajú buď z paliva (uhl'ovodíky destilujúce na konci destilačnej krivky) ako výsledok predčasne zastavených reakcií v tzv. zhášač zónach (vysoký súčiniteľ prebytku vzduchu, nízka teplota horenia v blízkosti stien) alebo ako produkt tepelných krakovacích a ďalších chemických reakcií,
- **oxid uhoľnatý** (CO); oxid uhoľnatý vzniká nedokonalým spaľovaním pri nedostatku kyslíka vo spaľovanej zmesi alebo môže ísť o lokálny nedostatok kyslíka v spaľovacom priestore.

Emisné predpisy boli stanovené smernicou 70/220/EHS a s postupnými zmenami prijatými do roku 2004. V roku 2007 bola táto smernica zrušená a nahradená nariadením ES 715/2007.

- Euro 1 (1993): zavedené smernicou 91/441/EHS, ďalšia zmena 93/59/EHS,
- Euro 2 (1996): zavedené smernicou 94/12/ES, ďalšia zmena 96/69/ES,
- Euro 3 / 4 (2000 / 2005): zavedené smernicou 98/69/ES, ďalšia zmena 2002/80/ES,
- Euro 5 / 6 (2009 / 2014): zavedené nariadením ES 715/2007 a vykonávacím nariadením ES 692/2008.

Emisné limity osobných vozidiel kategórie M<sub>1</sub> sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1 Emisné limity osobných vozidiel kategórie M<sub>1</sub>

| Etapa           | Dátum   | CO   | HC   | HC+NOx | NOx  | pevné časti-<br>ce |
|-----------------|---------|------|------|--------|------|--------------------|
|                 |         | g/km |      |        |      |                    |
| Vznetové motory |         |      |      |        |      |                    |
| Euro 1          | 07/1992 | 2,72 | -    | 0,97   | -    | 0,14               |
| Euro 2          | 01/1996 | 1,0  | -    | 0,7    | -    | 0,08               |
| Euro 3          | 01/2000 | 0,64 | -    | 0,56   | 0,50 | 0,05               |
| Euro 4          | 01/2005 | 0,50 | -    | 0,30   | 0,25 | 0,025              |
| Euro 5          | 01/2011 | 0,50 | -    | 0,23   | 0,18 | 0,005              |
| Euro 6          | 09/2014 | 0,50 | -    | 0,17   | 0,08 | 0,005              |
| Zážihové motory |         |      |      |        |      |                    |
| Euro 1          | 07/1992 | 2,72 |      | 0,97   |      |                    |
| Euro 2          | 01/1996 | 2,2  |      | 0,5    |      |                    |
| Euro 3          | 01/2000 | 2,3  | 0,20 |        | 0,15 |                    |
| Euro 4          | 01/2005 | 1,0  | 0,10 |        | 0,08 |                    |
| Euro 5          | 01/2011 | 1,0  | 0,10 |        | 0,06 | 0,005              |
| Euro 6          | 09/2014 | 1,0  | 0,10 |        | 0,06 | 0,005              |

Emisné limity pre ťažké nákladné vozidlá a autobusy sú uvedené v tab. 2. Tab. 2 Emisné limity vznetových motorov pre ťažké nákladné vozidlá a autobusy

| Etap     | Dátum         | CO   | HC   | NO <sub>x</sub> | pevné časti-<br>ce | dymivosť        |
|----------|---------------|------|------|-----------------|--------------------|-----------------|
|          |               | g/km |      |                 |                    | m <sup>-1</sup> |
| Euro I   | 1992, < 85 kW | 4,5  | 1,1  | 8,0             | 0,612              |                 |
|          | 1992, > 85 kW | 4,5  | 1,1  | 8,0             | 0,36               |                 |
| Euro II  | 10/1996       | 4,0  | 1,1  | 7,0             | 0,25               |                 |
| Euro III | 10/2000       | 2,1  | 0,66 | 5,0             | 0,10               | 0,8             |
| Euro IV  | 10/2005       | 1,5  | 0,46 | 3,5             | 0,02               | 0,5             |
| Euro V   | 10/2008       | 1,5  | 0,46 | 2,0             | 0,02               | 0,5             |
| EEV      |               | 1,5  | 0,25 | 2,0             | 0,02               | 0,15            |
| Euro VI  | 01/2013       | 1,5  | 0,13 | 0,4             | 0,01               |                 |



### Konštrukcia automobilov

Blok č: 4

Prednášajúci: prof.Ing. Robert Grega, PhD.

Emisné predpisy ťažkých nákladných vozidiel od normy Euro V definujú tzv. zdokonalené vozidlo priaznivé pre životné prostredie označované ako „EEV – enhanced environment-friendly vehicle“.

Emisné predpisy stanovujú, že vozidlá musia spĺňať emisné limity po dobu životnosti vozidla, ktorá závisí od kategórie vozidla, tak ako je uvedené v tab. 3. Taktiež sa v súčasnosti požaduje potvrdenie o správnom fungovaní zariadení na kontrolu emisii počas doby životnosti vozidla za normálnych prevádzkových podmienok používania.

Tab. 3 Doba životnosti vozidla pre správne fungovanie emisii

| Kategória vozidla                                                                                                                                                                                                                           | Etap                 |                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                             | Euro IV-V            | Euro VI              |
| M <sub>1</sub><br>N <sub>1</sub><br>M <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                          | 100 000 km / 5 rokov | 160 000 km / 5 rokov |
| N <sub>2</sub><br>N <sub>3</sub> ≤ 16 ton<br>M <sub>3</sub> trieda I, trieda II, trieda A a trieda B ≤ 7.5 t                                                                                                                                | 200 000 km / 6 rokov | 300 000 km / 6 rokov |
| N <sub>3</sub> > 16 ton<br>M <sub>3</sub> trieda III a trieda B > 7.5 t                                                                                                                                                                     | 500 000 km / 7 rokov | 700 000 km / 7 rokov |
| Vysvetlivky:<br>trieda I – mestský autobus nad 22 miest<br>trieda II – medzimestský autobus nad 22 miest<br>trieda III – diaľkový autobus nad 22 miest<br>trieda A – mestský autobus do 22 miest<br>trieda B – diaľkový autobus do 22 miest |                      |                      |

Emisný predpis EURO VI zavádza významné zmenšenie povolených výfukových emisii a ďalších prevádzkových hľadísk. Ide najmä o:

- nové celosvetové testovacie skúšky s nestálym jazdným cyklom a so stálym jazdným cyklom, vrátane komponentov studeného štartu a normálnej prevádzkovej teploty;
  - celosvetová harmonizovaná skúška s nestálym jazdným cyklom – WHTC (Worldwide Harmonised Transient Driving Cycle),
  - celosvetová harmonizovaná skúška s stálym jazdným cyklom – WHSC (Worldwide Harmonised Transient Steady state Cycle),
- ide o prvý krok implementácie celosvetových harmonizovaných emisných štandardov, ktorý zahŕňa Európu, Severnú Ameriku a Japonsko,
- emisie NO<sub>x</sub> sú zmenšené o 80 % v porovnaní s EURO V na hodnotu 0,40 g.kWh<sup>-1</sup> (pre ustálený cyklus),
- emisie NO<sub>x</sub> sú zmenšené o 77 % v porovnaní s EURO V na hodnotu 0,46 g.kWh<sup>-1</sup> (pre prechodný cyklus),
- pevné častice (PM) zmenšenie o 66 % v porovnaní s EURO V a zavedenie ďalšieho limitu PM, ktorý povedie k celkovému poklesu o 95 %,
- zavedenie limitu emisii amoniaku,
- začlenenie emisii kľukovej skrine, pokiaľ sa nepoužíva uzatvorený systém,
- predĺženie emisných požiadaviek na životnosť až na 700 000 km alebo 7 rokov pre najťažšie vozidlá a podobne.



### Konštrukcia automobilov

Blok č: 4

Prednášajúci: prof.Ing. Robert Grega, PhD.

V oblasti stavebných, poľnohospodárskych, lesných a ostatných strojov sú tiež uplatňované emisné limity pod označením Tier /Stage, tabuľka č.4.

Tab.4. Európske emisné limity pre stavebné stroje

| kW        | hp        | 2001                           | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|-----------|-----------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 - 7     | 0 - 10    | V EU nepodľehá emisným limitům |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 8 - 18    | 11 - 24   | V EU nepodľehá emisným limitům |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 19 - 36   | 25 - 49   |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 37 - 55   | 50 - 74   |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 56 - 74   | 75 - 99   | EPA Tier 1<br>EU Stage I       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 75 - 129  | 100 - 174 |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 130 - 559 | 175 - 749 |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| ≥ 560     | ≥ 750     | V EU nepodľehá emisným limitům |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Riešenie v oblasti znižovanie emisií vznetových motorov má dnes dve konštrukčné prevedenia. Vzhľadom k tomu, že so znižovaním množstva pevných častíc nám rastie tvorba NOx, sa výrobcovia spaľovacích motorov rozhodli pre nasledovné riešenia. Oba riešenia však vyžadujú používanie nafty, ktorá obsahuje menej ako 0,15 % síry.

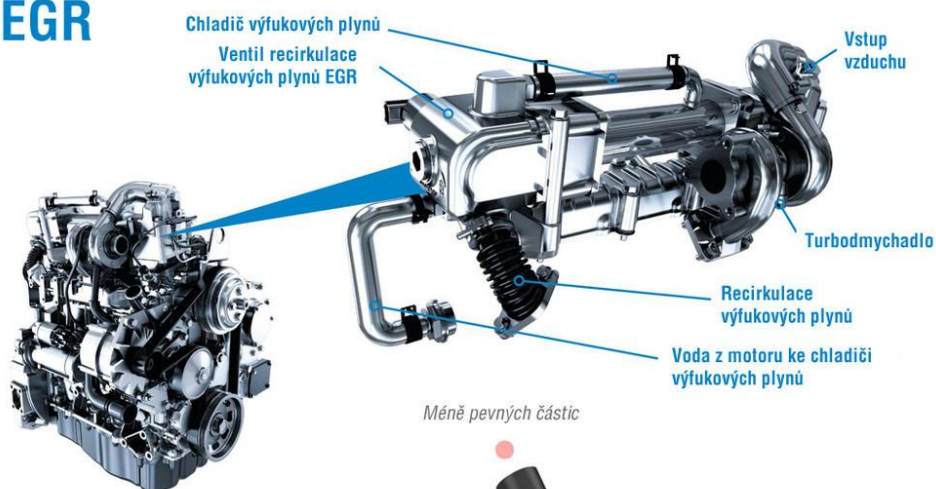
Prvým riešením je zníženie NOx a následné zachytávanie pevných častíc a ich eliminácia. Druhým riešením je zníženie pevných častíc už v procese spaľovania a následná katalizácia NOx.

Prvé riešenie je možné konštrukčne realizovať recirkuláciou a chladením výfukových plynov (Cooled Exhaust Gas Recirculation – CEGR). Toto riešenie sa vyznačuje riadenou dávkou vstrekovania paliva, pod vysokým tlakom, variabilným turbodúchadlom a dodatočnou úpravou výfukových plynov pomocou filtra pevných častíc DPF. Recirkulácia výfukových plynov znižuje obsah kyslíka v spaľovacom priestore, to má za následok znižovanie teploty horenia zmesi a tým aj zníženie tvorby NOx. Filter pevných častíc je vyrobený s karbidu kremíka. Filter zachytáva pevné častice a dočasne ich uchováva. V prípade nahromadenia dostatočného množstva je zahájený proces regenerácie, v rámci ktorého pri teplote nad 700°C sú pevné častice spálené obr. Pri systéme CEGR + DPF je dôležité dbať na kvalitu motorového oleja. Je nutné používať taký olej ktorý obmedzuje usadzovanie pevných častíc vo filtri.

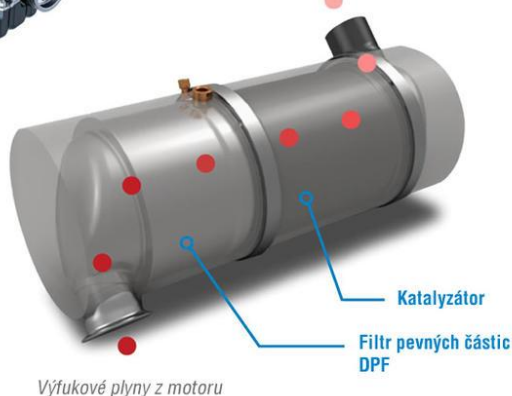




## CEGR



## DPF



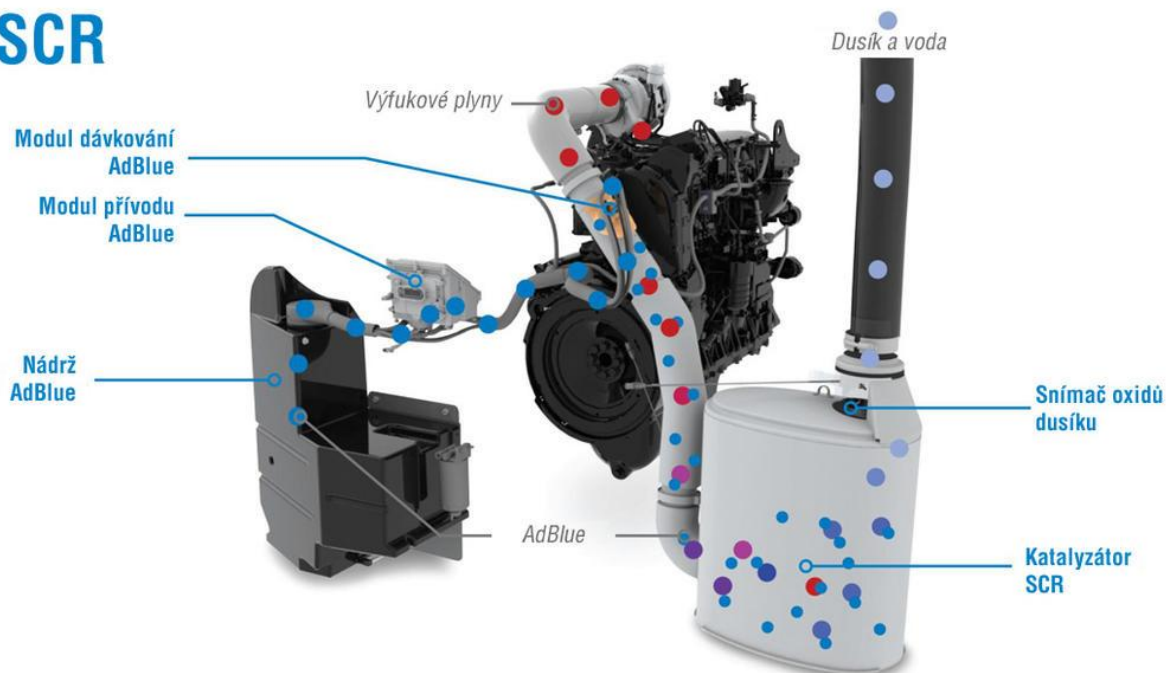
Obr. Systém CEGR

Nevýhodou systému rekuperácie výfukových plynov je vyššia spotreba paliva na dodatočné spaľovanie pevných častí v rámci regenerácie. Ďalšou nevýhodou je že pri motoroch s aktívnou regeneráciou musí používateľ počkať kým neprebehne celý proces regenerácie aj v prípade, že už chcel spaľovací motor odstaviť.

Druhé riešenie spočíva vo vysokých spaľovacích teplotách pri ktorých sa netvoria pevné častice, ale tvorí sa hlavne NOx. Následne dochádza ku redukcii NOx pomocou Selektívnej Catalickej Redukcie (SCR). Pri tejto redukcii sa do výfukových plynov pridáva AdBlue (jedná sa o 32,5% roztok močoviny). Močovina sa rozloží na čpavok ktorý reaguje s NOx a výsledným produktom je H<sub>2</sub>O a N<sub>2</sub>. Na obr. je zobrazený systém SCR.



## SCR



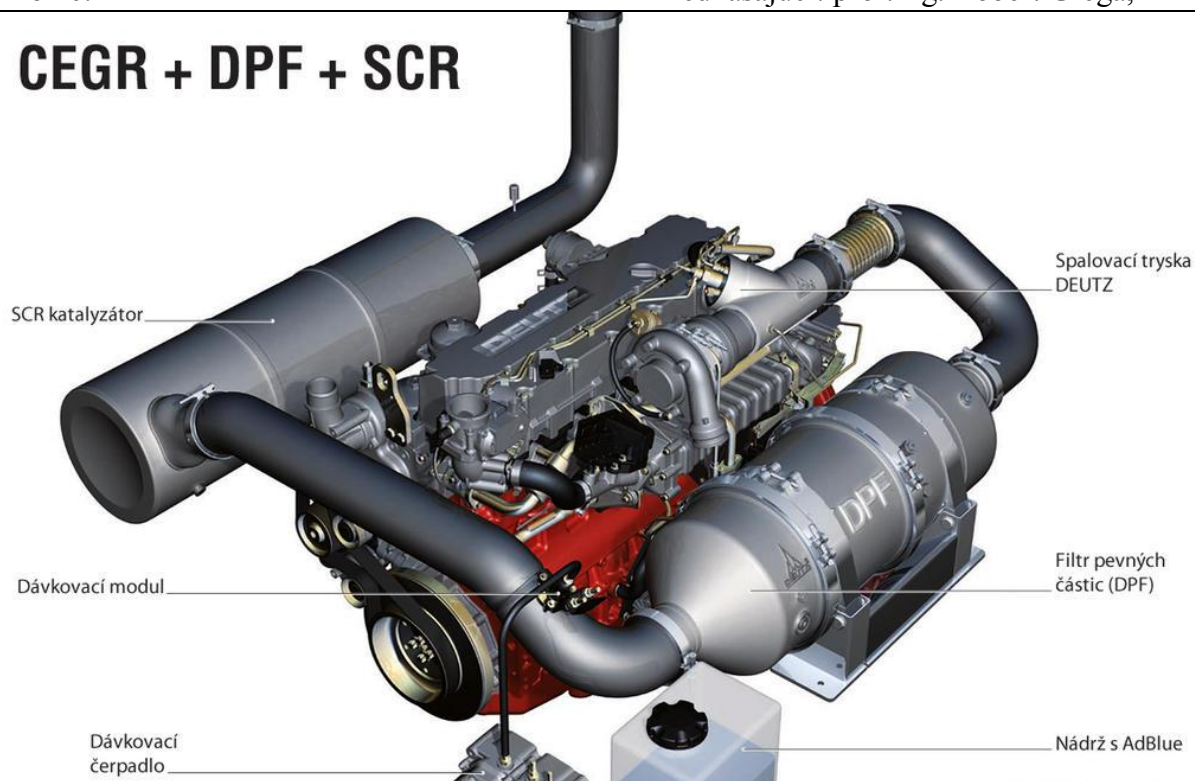
Obr. Systém SCR

Nevýhodou tohto systému, je nutnosť montáže ďalšieho systému na podvozok vozidla, ďalšej nádrže. Aj keď je nádrž na močovinu farebne odlišená (modré veko nádrže), môže dôjsť pri tankovaní k zámene. Pre takýto prípad je systém vstrekovania močoviny opatrený buničínovým filtrom ktorý v prípade vniku ropných látok do nádrže s močovinou znefunkční systém dodávky močoviny. Veľkou nevýhodou systému SCR je aj fakt, že pri teplote pod  $-11^{\circ}\text{C}$  močovina zamrzá a je ju nutné zahrievať.

Pri sprísňujúcich sa emisných normách je možné predpokladať, že výrobcovia spaľovacích motorov dôjdu ku vzájomnej dohode a výhody oboch systémov skombinujú obr. Kombinácia oboch systémov je potrebná predovšetkým u motoroch s veľkým výkonom.



## CEGR + DPF + SCR



Obr. Kombinácia CEGR+SCR



## Externally Active Exhaust Filter System with load bank in exhaust (750+ kW Generators)

Continuously monitors exhaust temp and pressure and when building loads are low, adds heat to exhaust and exercises engine to assure health of both engine and filter

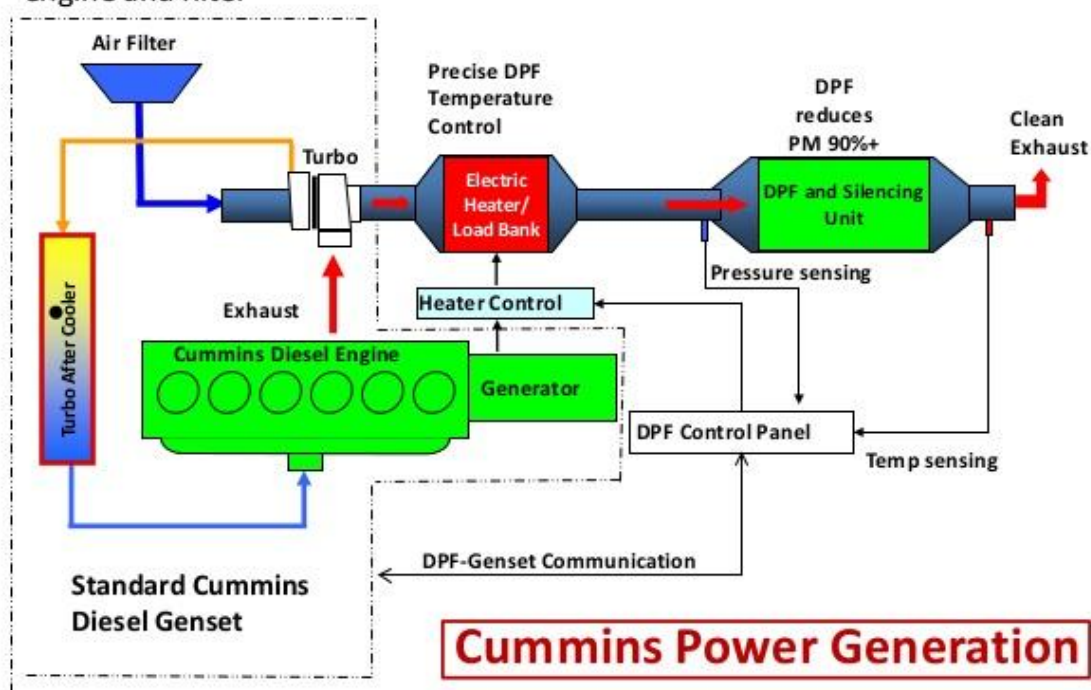


Schéma usporiadania systému DPF



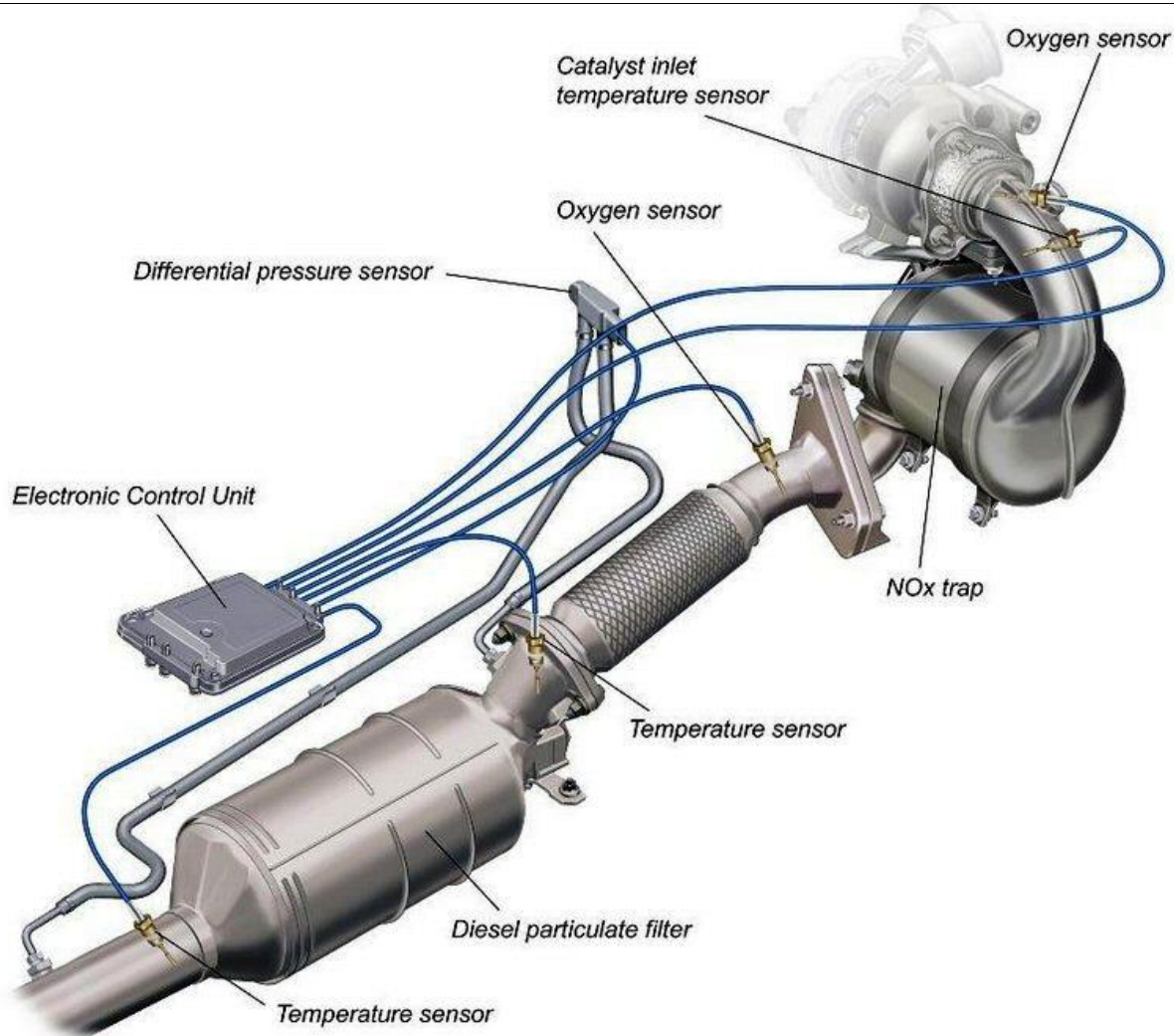
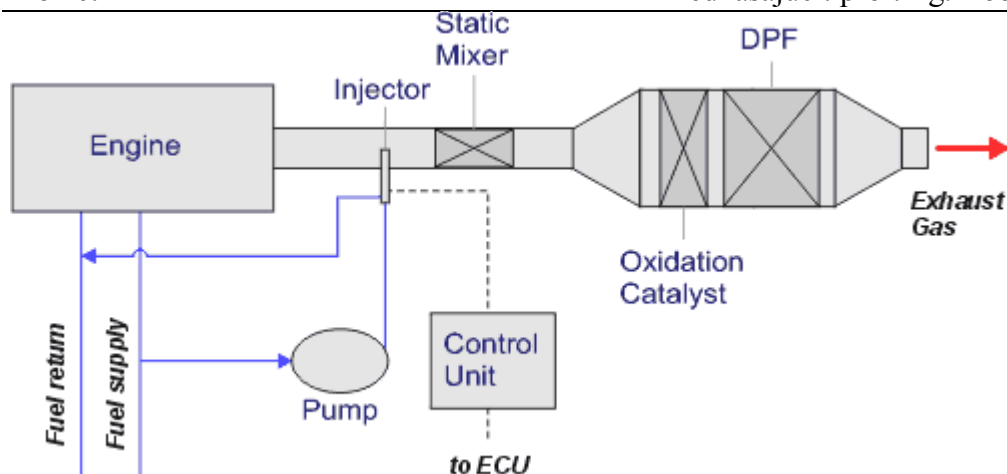


Schéma osadenie snímačov pri systéme DPF

Počas aktívnej regenerácie katalytických filtrov sa môže teplota výfukových plynov zvyšovať spaľovaním dodatočného množstva paliva buď (1) vo valci motora, alebo (2) vo výfukovom systéme pred filtrom. Pri prvom prístupe sa palivo privádza neskorým vstrekovaním (po vstrekovaní) pomocou systému vstrekovania paliva vznietového motora. Pri druhom spôsobe sa palivo privádza do výfukového plynu pomocou samostatného výfukového injektora.

Pri prvom spôsobe regenerácie nie všetko palivo po vstrekovaní môže byť spálené vo valci, čo má za následok zvýšené koncentrácie HC vo výfukových plynach. Preto stratégie vo valcoch zvyčajne zahŕňajú aj katalyzátor na oxidáciu zvyšných HC. Niektoré systémy DPF kombinujú obidve stratégie - vstrekovanie paliva do valcov a do výfukového plynu - na zabezpečenie regenerácie filtra.



Systém regenerácie DPF vstrekaním paliva do výfukových plynov

V porovnaní so vstrekaním do valcov má vstrekanie paliva do výfukových plynov za následok menší pokles spotreby paliva, pretože teplo sa uvoľňuje bezprostredne pred filtrom, čím sa eliminujú tepelné straty v motore a v časti výfukového systému medzi zberným potrubím motora a DPF. Podľa niektorých odhadov môže byť zníženie spotreby paliva pri použití jeho vstrekania do výfukových plynov až o 50% nižšia ako v prípade vstrekania do valcov.

Katalytické spaľovacie systémy sú najbežnejšie používanou metódou aktívnej regenerácie DPF. Tieto systémy boli vyvinuté hlavne pre ťažké aplikácie vrátane väčšiny motorov nákladných vozidiel v USA od roku 2007. V ľahkých aplikáciách - kde sú dôležitejšie nízke náklady na systém a neexistujú menšie obavy z dopadu riedenia oleja na životnosť motora - bolo vstrekanie do valcov prevládajúcou metódou tepelného riadenia. Vstrekanie do výfukových plynov však bolo zavedené aj v niektorých filtračných systémoch pre osobné automobily (napríklad v roku 2006 naftový motor 1,5 dCi v modeloch Renault Clio a Modus). Dodatočné vybavenie DPF s katalytickým spaľovaním paliva vyvinulo niekoľko výrobcov zameraných na ťažké diaľničné a necestné motory, ale ich komerčné využitie je stále veľmi obmedzené.

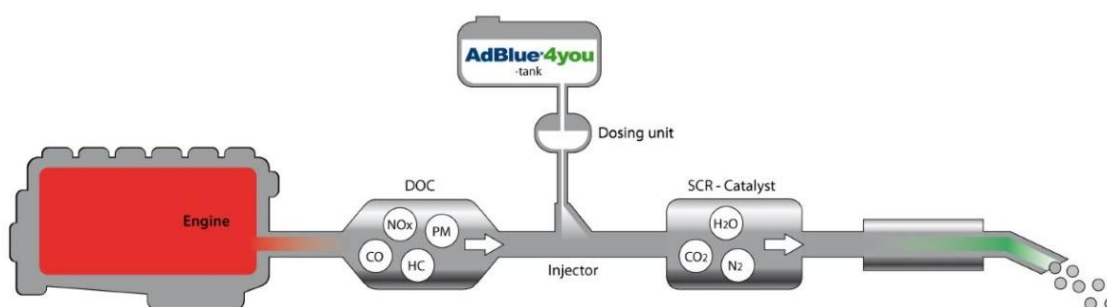
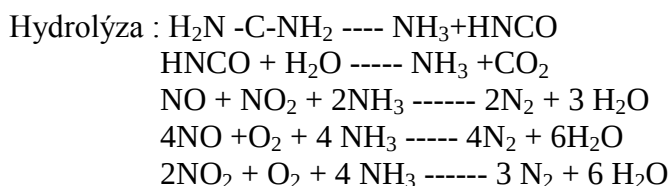


Schéma systému SCR



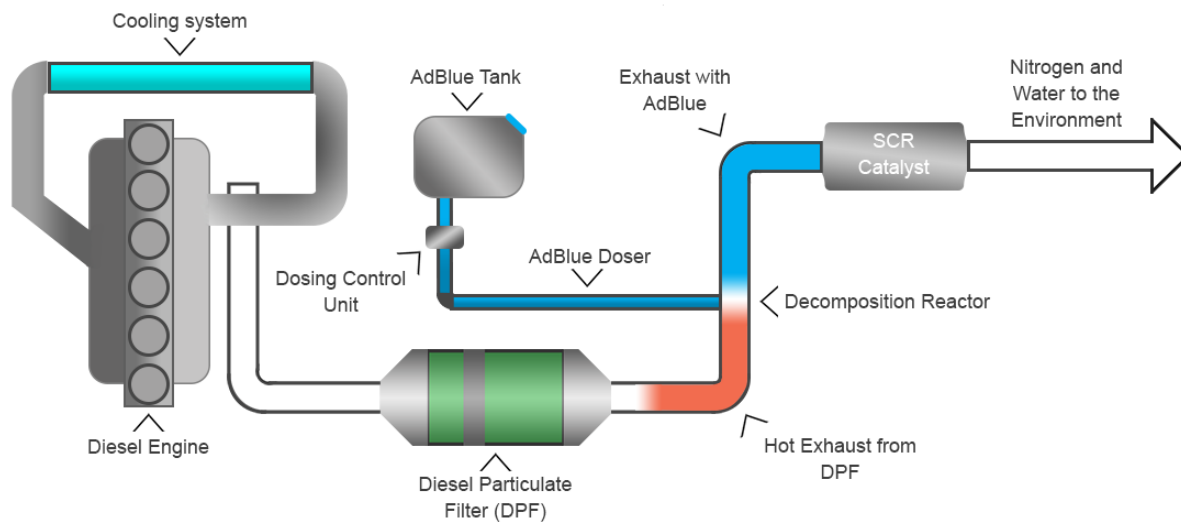


Schéma systému SCR + DPF