



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

TECHNOLOGIE SELEKTIVNÍ KATALYTICKÉ REDUKCE PRO OSOBNÍ AUTOMOBILY

TECHNOLOGY OF SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION FOR PASSENGER CARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JURAJ JURÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Juraj Jurík

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologie selektivní katalytické redukce pro osobní automobily

v anglickém jazyce:

Technology of Selective Catalytic Reduction for Passenger Cars

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení důležitých pojmů zadaného tématu. Zamyšlení nad budoucností zejména v souvislosti se snižováním emisí škodlivin ve výfukových plynech osobních automobilů.

Cíle bakalářské práce:

Vytvoření popisu funkce SCR systémů a obrázkové dokumentace ilustrující znalost zadané problematiky. Zdůraznění řešení používaných na současných pohonných jednotkách osobních automobilů.

Seznam odborné literatury:

- [1] STONE , Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire : Palgrave, 1999. 641 s. ISBN 0-333-74013-0.
- [2] Exhaust Systems for Motor Vehicles : Catalytic Converters for Otto Cycle Engines. Landsberg/Lech : Verlag Moderne Industrie, 2001. 70 s.
- [3] HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 1-56091-734-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 18.11.2013

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Predložená bakalárska práca sa zaoberá technológiou selektívnej katalytickej redukcie. Týka sa znižovania emisií oxidov dusíka u naftových motorov. Opisuje jej jednotlivé časti, ich funkciu a umiestnenie v systéme. V súvislosti s opisovanou technológiou sú v prvej časti popísané jednotlivé škodlivé látky výfukových plynov. Druhá časť sa zaoberá emisnými limitmi a ich plnením. V ostatných častiach je popísaná samotná technológia vrátane popisu riešení niektorých výrobcov.

KEÚČOVÉ SLOVÁ

Selektívna katalytická redukcia, SCR, SCR katalyzátor, emisie, diesel, emisné limity, emisné normy, denoxtronic, EURO 1-6, AdBlue

ABSTRACT

This bachelor's thesis describes the selective catalytic reduction technology. It concerned of reducing nitrogen oxides in diesel engines. It describes components of the technology, their function and location in system. in first chapter there are described harmful substances of exhaust gas in connection with this technology. Second chapter contains description of emission standards. Next chapters are describing selective catalytic reduction and solutions of some manufacturers.

KEYWORDS

Selective catalytic reduction, SCR, SCR catalist, emissions, diesel, emissions limits, emissions standards, denoxtronic, EURO 1-6, AdBlue



Bibliografická citácia

JURÍK, J. *Technologie selektivní katalytické redukce pro osobní automobily*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D..



ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením pána Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím uvedených zdrojov.

V Brně dňa 16. mája 2014

.....
Juraj Jurík



POĎAKOVANIE

Týmto by som sa chcel poďakovať pánovi Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za ochotný prístup a rady, ktoré mi pomohli pri vypracovaní mojej bakalárskej práce. Taktiež by som rád poďakoval mojím rodičom za prejavenu podporu. Poďakovanie patrí aj Bc. Michalovi Friedlovi za rady a typy nielen pri vyhľadávaní zdrojov.



OBSAH

Úvod.....	10
1. Problematika emisií.....	11
1.1. Produkty spaľovania.....	12
1.1.1. Dusík – N ₂	12
1.1.2. Oxidy dusíka – NO _x	12
1.1.3. Kyslík – O ₂	13
1.1.4. Voda - H ₂ O.....	13
1.1.5. Oxid uhoľnatý – CO.....	13
1.1.6. Oxid uhličitý – CO ₂	13
1.1.7. Oxid siričitý – SO ₂	14
1.1.8. Uhoľovodíky – HC.....	14
1.1.9. Pevné častice – (angl.: Particulate Matter – PM).....	14
1.1.10. Olovo – Pb.....	14
1.2. Mechanizmus vzniku škodlivín.....	15
1.2.1. Oxidy dusíka – NO _x	15
1.2.2. Oxid Uhoľnatý – CO.....	15
1.2.3. Uhoľovodíky – HC.....	16
2. Emisné limity.....	17
2.1. Rozdelenie emisných noriem.....	17
2.2. Základná charakteristika.....	17
2.2.1. EURO 1.....	17
2.2.2. EURO 2.....	17
2.2.3. EURO 3.....	18
2.2.4. EURO 4.....	18
2.2.5. EURO 5.....	18
2.2.6. EURO 6.....	18
2.3. Rôzne spôsoby plnenia emisných limitov.....	19
2.3.1. Katalyzátor.....	19
3. Popis katalytickej redukcie.....	23
3.1. Chemizmus procesu.....	23
3.2. Mechanizmus procesu.....	24
4. Charakteristika roztoku AdBlue.....	26
5. Popis systému SCR.....	27
5.1. Komponenty technológie SCR.....	28
5.1.1. Nádrž roztoku AdBlue a napájacia jednotka.....	28



5.1.2. Vstrekovací ventil.....	28
5.1.3. SCR katalyzátor.....	30
5.1.4. Riadiaca jednotka	30
6. Niektorí výrobcovia SCR	32
6.1. Denoxtronic firmy BOSCH.....	32
6.1.1. Rozdelenie jednotlivých verzií systému Denoxtronic	32
6.1.2. Denoxtronic 3.1	32
6.1.3. Denoxtronic 5.1	33
6.2. SCR systém firmy Emitec	34
6.3. SCR systém od firmy Delphi.....	36
6.4. Zhrnutie SCR technológie	37
Záver.....	38



ÚVOD

Moderná spoločnosť pozná automobil už vyše 130 rokov. Za tú dobu sa stal neoddeliteľnou súčasťou moderného života a vo všetkých svojich aspektoch prešiel výrazným technologickým vývojom. Automobily sa v dnešnej dobe chápu ako spoľahlivý a bezpečný dopravný prostriedok. Používajú sa či už pri práci, zábave alebo dokonca aj pri športe.

S vývojom samozrejme ide ruka v ruke aj skúmanie a to sa dotklo celého automobilu ako ho poznáme. Ľudia začali spoznávať okrem tých pozitívnych aj negatívne stránky automobilov. Jednou z týchto negatívnych stránok je produkcia nebezpečných výfukových emisií. Postupom času ľudia začali škodlivé látky vo výfukových plynoch spoznávať a začali si uvedomovať ich škodlivosť nielen na prírodu, ale aj na človeka samotného. A tak vznikali požiadavky na ochranu životného prostredia.

Tieto požiadavky boli sformulované do podoby emisných noriem, či už v Európe, USA alebo Japonsku. Otázka emisných limitov je stále aktuálna a veľmi diskutovaná. Ekologický aktivisti by boli za úplné zmiznutie spaľovacích motorov. Táto teória však v reálnej praxi nie je uskutočniteľná a preto pracovníci firiem automobilového priemyslu z celého sveta hľadajú technológie, s ktorými je možné čo najefektívnejšie dosiahnuť splnenie emisných noriem.

Jednou z týchto technológií sa zaoberá aj táto bakalárska práca. Vznik a zavedenie tejto technológie do praxe bol podmienený neustálym sprísňovaním emisných limitov. V nasledujúcich kapitolách tejto práce sú popísané jednotlivé prvky, vlastnosti a funkcia jednotlivých častí popisovanej technológie. Avšak, aby bolo možné vytvoriť čo najefektívnejší spôsob splnenia predpísaných noriem, budú v tejto práci popísané aj jednotlivé zložky výfukových plynov.

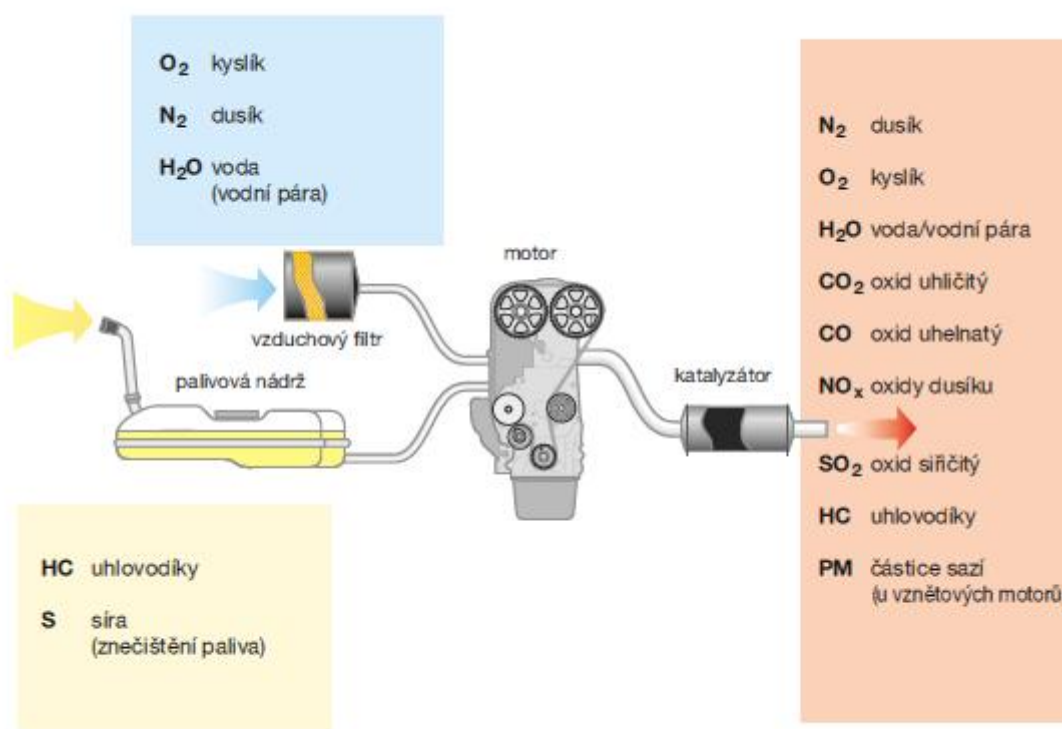
Otázkou však zostáva či práve automobily a ich emisie sú tým najväčším znečisťovateľom životného prostredia.



1. PROBLEMATIKA EMISÍÍ

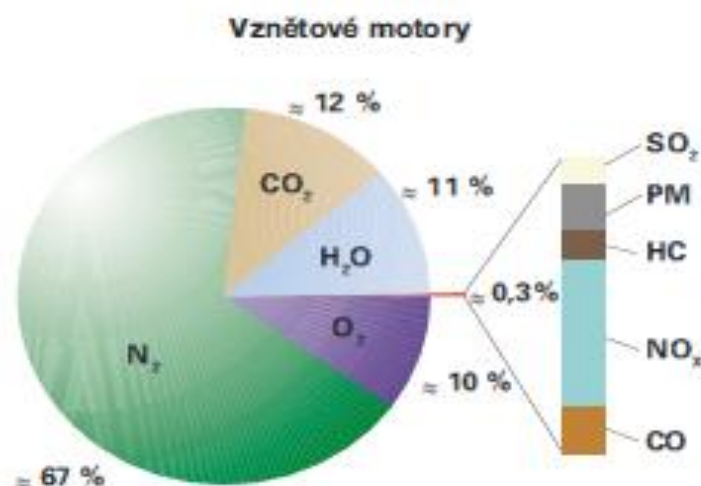
Z dôvodu pochopenia skutočného ohrozenia ľudí škodlivými emisiami sa v prvá kapitola bude zaoberať všeobecnou problematikou emisíí. Popísané budú všetky škodliviny vznikajúce pri spaľovacích procesoch, nielen emisie oxidov dusíka ktoré sú hlavnou zložkou znižovanou pomocou selektívnej katalytickej redukcie. Ďalej budú popísané jednotlivé zložky a mechanizmy vzniku. Oboznámenie s týmito látkami je nevyhnutné pre orientovanie v probléme emisíí.

Do spaľovacieho procesu vstupuje palivo, ktoré je zložené z uhľovodíkov (HC) a môže tiež obsahovať síru(S). Avšak, síra palivo znečisťuje. Druhou vstupnou zložkou je vzduch. Teda hlavne dusík (N₂), kyslík (O₂) a voda (H₂O) vo forme vodnej pary. Za ideálnych podmienok by spaľovaním vznikala iba oxid uhličitý(CO₂) a voda, v skutočnosti však produktmi tohto spaľovania môžu byť okrem oxidu uhličitého a vody aj oxid uhoľnatý (CO), oxidy dusíka (NO_x), oxid siričitý (SO₂), nespálené uhľovodíky a pevné častice – sadze (PM) [2].



Obr.1 Vstupné a výstupné látky spaľovacieho procesu.[2]

Vyššie spomínané a na obrázku uvedené látky sú hlavnými produktmi spaľovacieho procesu, ktorý prirodzene prebieha v spaľovacích motoroch, či už zážihových alebo vznětových. Pri diskusiách o emisiách ako produktoch spaľovania sa často nehovorí o tom v akom množstve sa v skutočnosti tieto škodliviny vo výfukových plynach nachádzajú. Málokedy sa hovorí o tom, že tieto škodliviny tvoria len nepatrné množstvo obsiahnuté v dyme vychádzajúceho z výfukového potrubia automobilu. Percentuálne zastúpenie u vznětových motorov je vyobrazené na nasledujúcom obrázku.



Obr. 2 Zloženie výfukových plynov vznetrových motorov. [2]

Z obrázku je teda zrejme, že škodlivé látky tvoria pri vznetrových motoroch približne 0,3% obsahu výfukových plynov a v porovnaní so zážihovými motormi kde je táto hodnota približne 2% sú na tom vznetrové motory lepšie. Zvyšok látok vo výfukových plynach nie sú škodlivé.

1.1. Produkty spaľovania

V nasledujúcich podkapitolách je uvedený popis jednotlivých zložiek emisií. Hlavne ich vplyv na zdravie človeka, na životné prostredie a uvedené sú aj ich vlastnosti.

1.1.1. Dusík – N_2

Je to bezfarebný plyn bez zápachu, ktorý má najväčšie zastúpenie v atmosfére – 78%. Na človeka nemá toxické účinky a je nehorľavý. Do spaľovania vstupuje spolu s kyslíkom a vodnou parou vo forme nasávaného vzduchu. Väčšina nasávaného dusíka sa vracia späť do atmosfére avšak malé množstvo dusíka pri spaľovaní reaguje s kyslíkom za vzniku oxidov dusíka – oxid dusný (N_2O), oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO_2) [1][3].

1.1.2. Oxidy dusíka – NO_x

Medzi tieto zlúčeniny patria oxidy vznikajúce pri spaľovaní, pri teplote vyššej ako $600^\circ C$ oxidáciou v palivách. Pri teplote nad $1300^\circ C$ sa tieto oxidy začínajú tvoriť priamo zo vzduchu. Ako prvý vzniká NO, ktorý však veľmi ochotne oxiduje s prítomným kyslíkom na NO_2 . Ďalším oxidom dusíka ktorý sa vyskytuje v spalínach je N_2O . Pri niektorých spôsoboch znižovania spotreby paliva motora môže dochádzať ku zvýšeniu teploty v spaľovacom priestore, čo má za následok zvýšený podiel NO_x vo výfukových plynach.

Dusík ako prvok má mierny vplyv na vegetáciu, často sa používa ako jedna zo zložiek v hnojivách. Avšak, v zlúčeninách s kyslíkom má negatívny vplyv aj na rastlinstvo aj na živočíšstvo aj na človeka. Na tvorbe tohto vplyvu sa spolu NO_x podieľajú aj SO_x , ktoré vytvárajú kyslé dažde. Kyslé dažde majú vplyv okrem zvierat a rastlín aj na budovy. V pôde a v rastlinách vznikajú dusičné ióny a tie majú negatívny vplyv na rast rastlín a vývin živočíchov.

NO_x pri malých koncentráciách nemajú významný vplyv na človeka. Ale so zväčšujúcim sa počtom vozidiel, hlavne v mestách sa zvyšujú aj koncentrácie výfukových škodlivín a tiež sa zvyšuje



dĺžka počas ktorej sú ľudia vystavený týmto škodlivinám, čo v praxi znamená zvýšené riziko ochorení horných dýchacích ciest, alergií a astmatických ochorení. Tiež bol preukázaný vplyv na zvýšenie rizika nádorových ochorení.

NO - oxid dusnatý, je to bezfarebný plyn bez zápachu, ktorý je jedovatý pre človeka. Môže spôsobiť problémy s dýchaním. Vzniká pri spaľovaní a uvoľňuje sa do atmosféry, kde pôsobí ako skleníkový plyn alebo reaguje so vzduchom na NO₂ a ďalej na kyselinu dusičnú (HNO₃), ktorá spôsobuje kyslé dažde.

N₂O – oxid dusný, známy ako „rajský plyn“. Za normálnych podmienok je to bezfarebný, nehorľavý plyn s málo výraznou ale príjemnou vôňou. Vo väčšej miere vzniká pri nízkoteplotnom spaľovaní a svojou činnosťou sa výrazne podieľa na skleníkovom efekte. Zdravotné problémy pre človeka môže spôsobiť iba pri dlhodobom vdychovaní.

NO₂ – oxid dusičitý, je to žltohnedý, agresívny, jedovatý plyn. Pôsobením slnečného žiarenia z neho vzniká prízemný ozón, ktorý prispieva k tvorbe fotochemického smogu ovplyvňujúceho mnohé rastliny. V atmosfére tvorí HNO₃, ktorá spôsobuje už spomínané kyslé dažde.

Avšak, hlavným dôvodom prečo sa tak ľudstvo snaží o zníženie oxidov dusíka je ich schopnosť vyvolávať u človeka onkologické ochorenia [1][3][4].

1.1.3. Kyslík – O₂

Je najvýznamnejším plynom v našej atmosfére, v ktorej tvorí 21%-tnú časť. Je nevyhnutný pre človeka na dýchanie, ale aj na spaľovanie. Bez kyslíka nemôže prísť k akémukoľvek spaľovaniu. Množstvo kyslíka v spaľovacej komore upravuje riadiaca jednotka, ktorá dostáva spätnú väzbu z lambda sondy. Lambda sonda je zariadenie na zisťovanie zloženia výfukových plynov a podľa tohto zisteného zloženia upravuje množstvo nasávaného vzduchu, aby bola namiešaná správna zmes pre spaľovanie. Pri stechiometrickom pomere $\lambda=1$ je pre 1 kg benzínu potrebných 14,8 kg vzduchu. Pri iných hodnotách λ je zmes pre spaľovanie bohatá alebo chudobná [1][3].

1.1.4. Voda - H₂O

Vyskytuje sa vo forme vodnej pary a nasáva sa ako zložka vzduchu. Vzniká kondenzáciou pri tzv. „studenom“ spaľovaní kedy ešte motor nie je zohriaty na prevádzkovú teplotu. Je to neškodný produkt spaľovacieho procesu [1][3].

1.1.5. Oxid uhoľnatý – CO

Plyn bez farby, chuti a zápachu, nedráždivý, výbušný a ľahší ako vzduch. Vzniká pri nedokonalom spaľovaní, pri ktorom nepríde k úplnej oxidácii uhlíku na CO₂. A môže tiež vzniknúť fotolýzou CO na CO₂ za pôsobenia ultrafialového žiarenia. Už pri bežných koncentráciách je toxický, napríklad v mestách kde je hustejšia doprava môže spôsobiť zdravotné problémy hlavne ľuďom s kardiovaskulárnymi ochoreniami. V ľudskom tele sa viaže na krvné farbivo hemoglobín a tým zabraňuje transportu kyslíku v tele, čím môže spôsobiť aj smrť. Pri veľkých koncentráciách je silne jedovatý a výbušný [1][3].

1.1.6. Oxid uhličitý – CO₂

Nemá farbu, nehorí a škodlivým sa pre človeka stáva až pri veľkých koncentráciách keď začne vytláčať kyslík. Vzniká spaľovaním pri dostatočnom množstve kyslíka a dostatočnej teplote na spaľovanie. Jeho prítomnosť v produktoch spaľovania je dôkazom dokonalého spaľovania. Je to ďalší skleníkový plyn. Na základe diskusií o životnom prostredí je v povedomí verejnosti silno zakotvený ako hlavná zložka znečistenia [1][3].



1.1.7. Oxid siričitý – SO₂

Ide o bezfarebný plyn, ktorý je jedovatý a má štiplavý zápach. Pri vdýchnutí napadá sliznicu hrdla a pľúca, podporuje vznik ochorení dýchacích ciest. Ak oxid siričitý zotrúva v atmosfére určitú dobu, môže prísť ku chemickým reakciám, ktorých produktom sú sírany. Pri nedostatku látok ktoré by tieto sírany neutralizovali dochádza k prekysleniu prostredia a týmto spôsobom sa oxid siričitý spolu s oxidmi dusíka stávajú tvorcami kyslých dažďov. Keďže množstvo oxidu siričitého vo výfukových plynoch závisí na množstve síry obsiahnutej v palive a síra sa považuje za znečistenie paliva, dá sa množstvo oxidu siričitého znižovať výrobou kvalitnejšieho resp. čistejšieho paliva. Oxid siričitý je produktom spaľovania predovšetkým vznetrových motorov. Avšak, podiel produkcie oxidu siričitého dopravou je zanedbateľný v porovnaní s produkciou iných zdrojov, ako sú napríklad elektrárne spaľujúce fosilné palivá alebo priemyselné spaľovacie kotle [1][3].

1.1.8. Uhl'ovodíky – HC

Inak označovaní ako HC_x. Sú produktom nedokonalého spaľovania (napr. pri štarte studeného motoru, v oblasti nízkeho zaťaženia motoru), teda horenia paliva alebo oleja za nedostatočného obsahu kyslíku alebo pri chudobnej zmesi. Obsahujú aromáty, aldehydy, alkány, alkény a ďalšie zložky. Najškodlivejšie sú medziprodukty, ktoré vznikajú pri neúplnej oxidácii prebiehajúcej napríklad na stene ochladeného valca. Tieto medziprodukty sú karcinogénne a ich škodlivé účinky sa znásobujú viazaním sa na pevné častice. Dostávajú sa do ľudského organizmu a môžu spôsobiť poškodenie slizníc, poruchy podmienených reflexov alebo respiračné problémy [1][3].

1.1.9. Pevné častice – (angl.: Particulate Matter – PM)

Vznikajú výlučne u vznetrových motorov a u benzínových motorov s priamym vstrekaním paliva. Sú to drobné čiastočky v pevnej a kvapalnej podobe, ktoré sa skladajú predovšetkým z uhlíka. Uhlík tvorí až 75% zloženia častíc. Ďalej sa tu môžu vyskytovať ďalšie látky ako sú dusík, sulfáty a voda, ale iba v malých množstvách. Konečné zloženie častíc prenikajúcich do atmosféry závisí na viacerých faktoroch, jedným z nich je napríklad aj filter pevných častíc, ktorý je umiestnený vo výfukovom potrubí.

Pevné častice nachádzajúce sa v atmosfére však nemusia pochádzať iba z výfukov dopravných prostriedkov. V prírode môžu tieto častice vznikať aj sopečnou činnosťou, alebo aj pri lesných požiaroch. Zo zdravotného hľadiska ani pevné častice nie sú prehliadnuteľné. Pri dlhšej expozícii pevných častíc s človekom, mu môžu spôsobiť kardiovaskulárne problémy, zápaly pľúc, ochorenia dolných dýchacích ciest alebo znížiť pľúcne funkcie ako u detí tak aj u dospelých. V najhoršom prípade môžu spôsobiť rakovinu pľúc.

Veľkosťne môžeme PM zaradiť medzi veľmi malé. Ich veľkosť sa pohybuje od 10 μm smerom k menším. Boli vytvorené triedy pred rôzne veľkosti častíc vo tvare PM_x a to nasledovne:

- PM₁₀ – častice menšie ako 10 μm
- PM_{2,5} – častice menšie ako 2,5 μm
- PM₁ – častice menšie ako 1 μm (toto označenie sa nepoužíva často)
- PM_{0,1} – častice menšie ako 0,1 μm (používa sa výnimočne) [1][3].

1.1.10. Olovo – Pb

Je ťažký a jedovatý kov. Olovo poškodzuje katalyzátor a zhoršuje jeho funkciu. Preto je obsah olova v palivách úplne redukovaný a používajú sa iba bezolovnaté palivá [1][3].



1.2. Mechanizmus vzniku škodlivín

V ďalších kapitolách je popísaný mechanizmus vzniku jednotlivých zložiek. Poznatky o jeho priebehu a predovšetkým jeho pochopenie sú dôležitou súčasťou vývoja technológií používaných na znižovanie týchto zložiek.

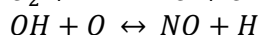
1.2.1. Oxidy dusíka – NO_x

V spaľovacích motoroch dochádza k spaľovaniu paliva vo vzduchu a za vysokých teplôt. Pri vysokých teplotách dochádza k vzniku oxidov dusíka ako nežiaduceho produktu. Sú potrebné teploty až okolo 1900-2000°C a tiež je nevyhnutný dostatok času, inak by vznik NO_x neprebehol. Najvyššie teploty sa dosahujú pri spaľovaní mierne bohatej zmesi (prebytok vzduchu). Taktiež je na vznik NO_x, ako nám už názov „oxidy“ napovedá, potrebný kyslík. Práve kvôli tomuto faktoru najvyššia koncentrácia NO_x je pri stechiometrickom pomere $\lambda=1,05\div 1,1$. Avšak, s rastúcim prebytkom vzduchu obsah NO_x vo výfukových plynoch klesá pretože už nedochádza k oxidácii so vzduchom, ale prebytočný vzduch oxidy dusíka riedi, čím spôsobuje nižší obsah.

NO_x môžu vznikajú tromi spôsobmi:

- Pri vysokých teplotách spaľovania vznikajú následkom rozkladu molekúl kyslíka – O₂ a dusíka – N₂ na samostatné atómy, ktoré sa následne zlučujú do oxidov dusíka.
- Produktmi chemických reakcií spaľovania vo vrstvách s nedostatkom kyslíka sú radikály uhlíkovodíkov, ktoré s molekulami dusíka vytvárajú kyanidy. Z nich sa vedľajšími reakciami vytvárajú oxidy dusíka.
- Z paliva, pri výrobe ktorého sa použil dusík sa uvoľňujú aj pri relatívne nízkych teplotách spaľovania oxidy dusíka.

Chemické reakcie vzniku NO_x:



Uvedené chemické reakcie môžu prebiehať aj v opačnom smere, záleží to na okamžitých koncentráciách voľných radikálov N, O, H a teplote reakcie [1][3][4].

1.2.2. Oxid Uhoľnatý – CO

Vzniká pri nedokonalom spaľovaní paliva, resp. pri nedokonalej oxidácii uhlíku obsiahnutého v uhlíkovodíkovom palive. Nedokonalá oxidácia nastáva pri nedostatku kyslíku v spaľovanej zmesi, teda súčiniteľ množstva vzduchu v zmesi $\lambda < 1$ a ide o bohatú zmes a hovoríme o zážihových motoroch. Nedostatok kyslíka môže byť miestny (rozdielna teplota motora v rôznych častiach) a časový (spôsobený fluktuáciou hodnoty stechiometrického pomeru λ). Potom je CO obsahom spalín spoločne a kyslíkom. Pri vznietových motoroch a taktiež pri bohatej zmesi, oxiduje CO na CO₂. K výraznejšiemu vzniku emisií CO dochádza pri vyššom zaťažení. V oblasti vyššieho zaťaženia je už však motor obmedzený z hľadiska dymivosti, resp. maximálnej dodávky paliva z čerpadla. Podiel emisií vznietových motorov je však v porovnaní so zážihovými desaťkrát menší. Najviac CO sa tvorí pri nízkom zaťažení motora, pri tzv. chode naprázdno [1][3].



1.2.3. Uhl'ovodíky – HC

Hovoríme o nespálených uhl'ovodíkoch, teda o molekulách spaľovacej zmesi, ktoré v dôsledku nízkej teploty neboli spálené a dostali sa do výfukových plynov. Nízka teplota mohla byť spôsobená chladnejšou stenou valca, napríklad pri spaľovaní v studenom motore. Nespálené HC tiež mohli vzniknúť pri poruche spaľovania, alebo vynechaním spaľovania. Množstvo nespálených HC výrazne ovplyvňuje teplota motora, tvar spaľovacieho priestoru, tvar piestu a množstvo vzduchu v zmesi. Optimálnym zmiešavacím pomerom z hľadiska obsahu HC vo výfukových plynoch je $\lambda = 1,1 \div 1,2$. Pri iných pomeroch sa obsah HC zvyšuje. Ďalším zdrojom HC je odporovanie paliva z vozidla alebo únik pri tankovaní. Do ovzdušia sa však dostávajú v malých množstvách [1][3].

1.2.4. Pevné častice – PM

Primárny uhlík sa tvorí pri spaľovaní neodparených kvapiek v prostredí s vysokou teplotou a pri extrémne nízkom lokálnom nedostatku vzduchu. Emisie PM teda súvisia s kvalitou rozprášenia v zmesi a s kvalitou vstreknutia do valca. Keďže so zvyšujúcim sa množstvom vzduchu sa zvyšuje aj prísun kyslíka k palivu, týmto spôsobom zabezpečujeme nižší podiel PM v spalínach.

Pevné častice delíme na:

- Nerozpustné častice – sadze
- Rozpustné organické frakcie (SOF = Solvent Organic Fraction)

Mechanizmy vzniku rozpustných častíc:

- Nespálená zložka paliva
- Pyrosyntézou z jednoduchých čistých palív
- Pyrolýzou jednoduchších uhl'ovodíkov
- Uvoľňovaním z mazacieho oleja
- Uvoľňovaním z usadenín vo výfukovom potrubí

Mechanizmy vzniku sadzí:

Sadze sa tvoria v podmienkach miestneho nedostatku kyslíka. Vznikajú voľné molekuly uhlíka v dôsledku spotrebovania kyslíka reaktívnejším vodíkom. Na tieto voľné molekuly sa naviažu aj prítomné nespálené uhl'ovodíky a spájajú sa do väčších častíc [1][3].



2. EMISNÉ LIMITY

Technológia selektívnej katalytickej redukcie slúži na znižovanie emisií NO_x, aby boli splnené aktuálne emisné normy daných motorov. Začala sa používať pri vstupe EURO 4 do platnosti. Ale, pre porovnanie vývoja emisných noriem sú v nasledujúcich podkapitolách uvedené všetky známe normy EURO. Z postupného popisu jednotlivých noriem sa dá usúdiť ako sa ľudia v priebehu rokov venovali skúmaniu emisných zložiek a začali si uvedomovať ich škodlivosť na zdraví.

Všetky používané spaľovacie motory bez ohľadu na druh spaľovaného paliva (benzín, nafta, propán, zemný plyn) produkujú výfukové plyny, ktoré obsahujú škodlivé látky opísané v podkapitole 1.1. *Produkty spaľovania*. Škodlivý účinok týchto látok na životné prostredie bol preukázaný a je rôzny pre každú látku, ako aj ich obsah. V dôsledku tohto negatívneho vplyvu bolo zavedené sledovanie niektorých škodlivých látok v ovzduší a tak sa kompetentné úrady v USA, Japonsku a Európe rozhodli zaviesť tzv. emisné limity alebo emisné normy.

Prvé obmedzenie obsahu škodlivých látok vo výfukových plynách bolo zavedené v roku 1968 v Kalifornii. Toto opatrenie zaviedol kalifornský guvernér a neskôr americký prezident Ronald Reagan. Po Kalifornii nasledovali ďalšie štáty USA, Japonsko a aj Európa. Prvé emisné limity v Európe boli zavedené v roku 1971 ako predpis č. 15. O obmedzení výfukových škodlivín. Avšak, praktická aplikácia týchto limitov sa začala uplatňovať až normou známou ako *EURO 1*. V súčasnosti je v platnosti emisná norma *EURO 5*, ktorá však čoskoro bude sprísnená v podobe normy *EURO 6* [7].

2.1. Rozdelenie emisných noriem

Európske emisné limity sú rozdelené podľa kategórie vozidiel:[7]

1. Osobné automobily:	2. Nákladné automobily a autobusy:	3. Mimocestné vozidlá:
EURO 1	EURO I	Stage I
EURO 2	EURO II	Stage II
EURO 3	EURO III	Stage III A
EURO 4	EURO IV	Stage III B
EURO 5	EURO V	Stage IV
EURO 6	EURO VI	

2.2. Základná charakteristika

2.2.1. EURO 1

Prvou zo smerníc bola EURO 1, ktorá bola zavedená v roku 1992. Bola veľmi tolerantná voči emisiám, čo znamená že vznetrovým aj zážihovým motorom osobných automobilov nariaďovala limit na oxid uhoľnatý približne 3g/km a emisie dusíka a uhl'ovodíkov sa sčítavali. Pre naftové motory platili aj limity proti tuhým časticiam a predajcom pohonných hmôt bolo nariadené predávať používateľom benzínových vozidiel iba bezolovnatý benzín [6].

2.2.2. EURO 2

Sprísnenie emisných noriem prišlo 4 roky po zavedení EURO 1 v podobne normy EURO2. Táto norma už rozlišovala vznetrovým a zážihovým motor. V praxi to znamenalo, že vznetrové motory boli zvýhodnené pri hodnotách emisií dusíka a uhl'ovodíkov a zážihové motory mohli mať zase vyššie emisie oxidu uhoľnatého. V porovnaní s normou EURO 1 boli predpísané nižšie hodnoty tuhých častíc vo výfukových plynách [6].



2.2.3. EURO 3

S rovnakým časovým odstupom ako vznikla norma EURO 2 vznikla v roku 2000 aj norma EURO 3. Pri tejto norme už začína byť Európska komisia prísnejšia ako pri predchádzajúcich normách. Hodnoty emisií pevných častíc z naftových motorov boli znížené o polovicu, pevne stanovili emisie pre NO₂ na 0,5 g/km a nariadili zníženie hodnôt CO o 36%. U benzínových motorov zaviedli prísne podmienky pre emisie NO₂ a HC [6].

2.2.4. EURO 4

Táto norma vošla do platnosti po dlhšom časovom období ako predchádzajúce dve normy a to po 6 rokoch od predošlej. Schválená bola v roku 2006 a samozrejme ešte viac znížila obsahy škodlivín vo výfukových plynch. U vznetových motorov došlo k redukcii oxidov dusíka a pevných častíc na polovicu a pre oba typy motorov boli znížené emisie CO a nespálených uhlíkov [6].

2.2.5. EURO 5

Platnosť nadobudla v roku 2009 a jej platnosť trvá dodnes. EURO 5 sa zamerala hlavne na zníženie množstva pevných častíc a to dokonca až na pätinu množstva stanoveného v predchádzajúcej norme. Pre naftové motory táto norma upravuje aj množstvo NO_x aj HC + NO_x. U benzínových motorov došlo k zníženiu NO_x [6].

2.2.6. EURO 6

Norma EURO 6 vstúpi do platnosti v septembri 2014 a bude sa zaoberať predovšetkým naftovými motormi, ktorým budú znížené hodnoty NO_x a HC + NO_x. Je veľmi pravdepodobné, že na zníženie obsahov týchto látok bude využívaná technológia selektívnej katalytickej redukcie (SCR), ktorá bude popísaná v nasledujúcich kapitolách [6].

Etapa	Dátum	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	pevné častice
		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

Tab.1 Emisné limity osobných vozidiel[7]



Pre ťažké nákladné vozidlá a autobusy platia normy EURO I – VI a týkajú sa naftových motorov. Predpisuje sa pri nich aj dymivosť, ako je zrejmé z nasledujúcej tabuľky.

Etapa	Dátum	CO	HC	NOx	pevné častice	dymivosť
		g/km				m ⁻¹
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	

Tab.1 Emisné limity pre ťažké nákladné vozidlá a autobusy[7]

2.3. Rôzne spôsoby plnenia emisných limitov

Keďže na splnenie emisných noriem sa nepoužíva iba technológia SCR ale aj iné, tak v tejto podkapitole budú popísané niektoré spôsoby dodatočnej úpravy výfukových plynov, ktorými sa dosahuje splnenie predpísaných emisných noriem. Ich sprísnovaním boli výrobcovia donútení používať aj kombinácie jednotlivých technológií pre vyššiu účinnosť.

2.3.1. Katalyzátor

Je zariadenie umiestnené vo výfukovom potrubí osobného automobilu a jeho úlohou je upraviť výfukové plyny, ktoré doňho vstupujú tak, aby vystupujúce látky obsahovali veľmi malé, najlepšie však žiadne škodlivé látky. Väčšinou býva konštruovaný ako teleso valcového tvaru s nosičom ktorý má veľký počet kanálikov. Tento tvar zabezpečuje čo najväčšiu plochu pre reakciu pri najmenších možných rozmeroch. Nosič môže byť keramický alebo kovový. Keramický nosič je zložený zo silikátov horčíka a hliníka a je veľmi odolný proti vysokým teplotám. Tento nosič je veľmi citlivý na mechanické namáhanie preto je do valcového plechového obalu pripevnené drôtimi. Drôty sú vyrobené z vysoko legovanej ocele. Sú elastické a odolné voči všetkým nepriaznivým vplyvom pôsobiacich na katalyzátor – výrobné tolerancie, mechanické namáhanie pri prevádzke vozidla, teplotná rozťažnosť alebo tlak výfukových plynov. Kovové nosiče sa používajú málo. Využívajú sa skôr pri montáži blízko motora alebo ako prídavné k hlavnému katalyzátoru alebo ako pre štart určené, teda zlepšujú katalytické premeny po štarte. Proti kovovým nosičom hrá hlavne ich vysoká výrobná cena v porovnaní s keramickými. Pri oboch nosičoch je ich povrch, teda povrch kanálikov, pokrytý oxidom hliníka, ktorý zlepšuje plochu katalyzátora. Na tejto vrstve je potom nanosená katalytická vrstva.

Katalyzátor môže byť:

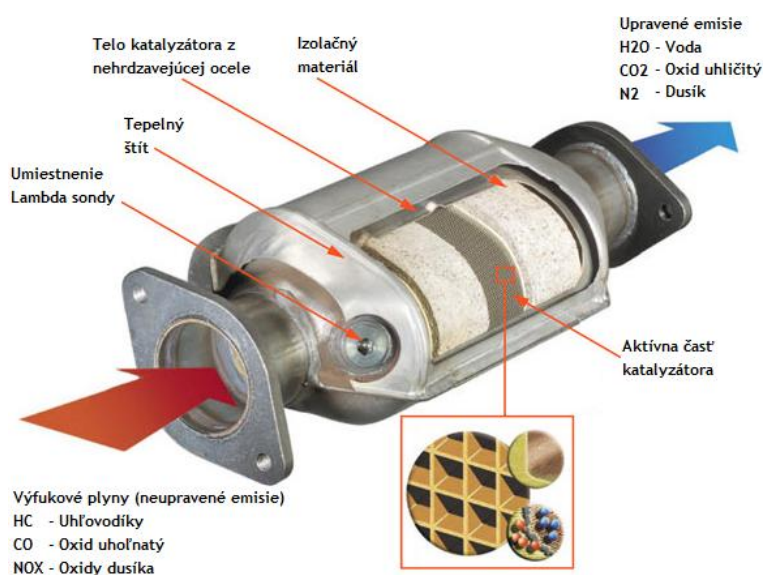
- Trojcestný
- Oxidačný
- Redukčný

Oxidačný katalyzátor pracuje s prebytkom vzduchu v zmesi a pomocou oxidácie premieňa oxid uhoľnatý a uhl'ovodíky na vodnú paru a oxid uhličitý. Používa sa hlavne pri vznetrových motoroch. Nedochádza ku zníženiu emisií NOx. Pri SCR sa používa ako predradený katalyzátor umiestnený tesne za motorom. Katalyticky účinná vrstva je vytvorená z ušľachtilých kovov – platiny a paládia.



Trojcestný (trojzložkový/trojičný) katalyzátor sa nazýva trojcestný kvôli jeho schopnosti znižovať 3 zložky emisií a to sú : CO, HC a NOx. Používa sa hlavne u benzínových motorov. Katalytická vrstva je tvorená vrstvou platiny a rhodia. Predpokladom pre správne fungovanie trojcestného katalyzátora je aby zmes odpovedala stechiometrickému pomeru $\lambda = 1$. Je to potrebné kvôli najvyššej účinnosti práve pri tejto hodnote λ . Tento katalyzátor sa používa v spojení s lambda sondou na meranie stechiometrického pomeru a tvoria tzv. riadený katalyzátor. Pri prúde výfukových plynov katalyzátory platina a rhodium urýchľujú chemickú likvidáciu škodlivých látok.

Pri prevádzke s chudobnou zmesou trojcestný katalyzátor nedokáže úplne prevádzať oxidy dusíka. Preto sa používa tzv. zásobníkový katalyzátor NOx, ktorý okrem vrstiev platiny, paládia a rhodia ešte špeciálne prísady ktoré umožňujú ukladanie NOx. Sú to napríklad oxidy draslíka, vápnika, stroncia, zirkónia, lanthánu alebo bárya. NOx s týmito prísadami reaguje a vytvárajú látky ktoré sa ukladajú v katalyzátore. Tento proces prebieha v 3 krokoch: ukladanie NOx, uvoľnenie NOx a konverzia. Po ukončení prvej fázy (ukladanie) je potrebná regenerácia – odstrániť usadené NOx. Toho sa dosahuje krátkodobou prevádzkou s bohatou zmesou. Začiatok a koniec regenerácie je riadený riadiacou jednotkou motora ktorá dostáva informácie o zložení výfukových plynov od lambda sondy na základe ktorých vyhodnocuje priebeh regenerácie[8][9].



Obr. 4 Příklad trojcestného katalyzátoru[8]

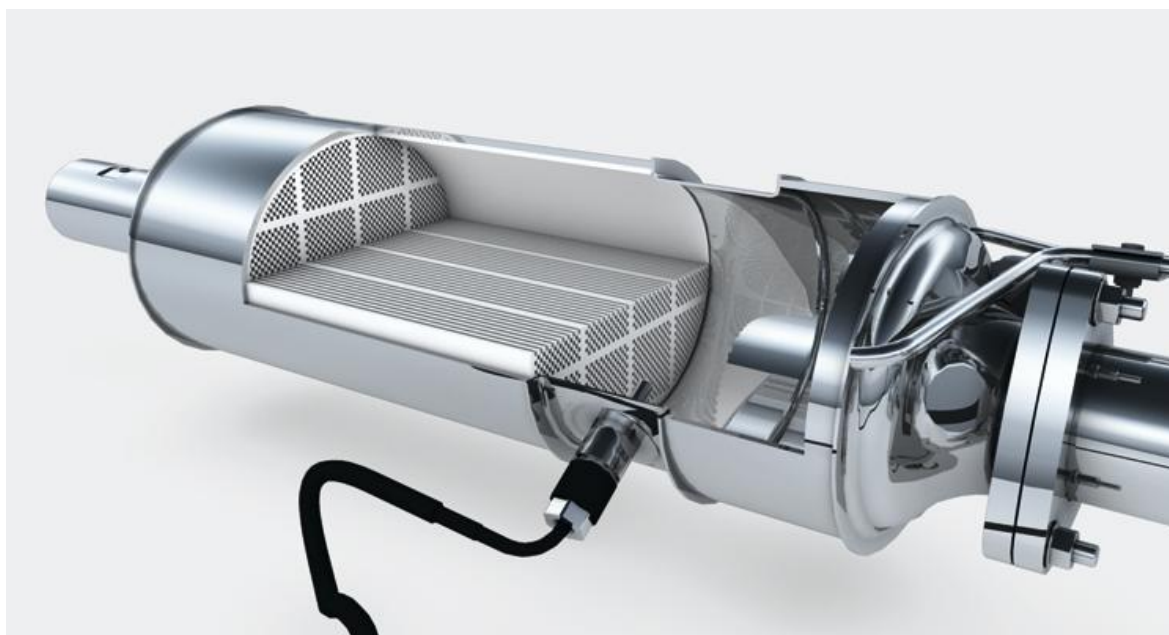
2.3.2. Filter pevných častíc

Označovaný skratkou DPF (angl.: Diesel Particulate Filter). Ako samotný anglický názov napovedá ide o zariadenie používané pri naftových motoroch. Avšak, pevné častice vznikajú aj pri benzínových motoroch s priamym vstrekaním paliva. Čo znamená že neslúži na zachytávanie pevných častíc – sadzí len z naftových motorov ale tieto filtre sú určené aj pre benzínové motory s priamym vstrekaním. V súčasnosti však pravdepodobne neexistuje automobil s priamym vstrekaním benzínu, ktorý používa filter pevných častíc. Testy a merania však ukázali že motory s priamym vstrekaním benzínu do valcov produkujú niekoľkonásobne viac emisií pevných častíc ako naftové motory ošetrené filtrom pevných častíc. Tento fakt zaujal ekologických aktivistov a preto sa predpokladá, že s prichádzajúcimi sprísnenými emisnými normami pre pevné častice sa začne filter pevných častíc používať aj pri benzínových motoroch v priamom vstrekaní. Filtre pevných častíc pre benzínové motory s priamym vstrekaním by mali byť porovnaní s tými naftovými omnoho lacnejšie a menšie, čo je dané aj tým, že naftové motory produkujú omnoho viac sadzí ako benzínové ak porovnáваме oba motory bez filtra.

DPF filter funguje na princípe veľmi jemného sitka, ktoré zachytáva sadze. Správne pracujúci naftový motor vyprodukuje pri prejení 100 000 km približne 3,5 kg sadzí. Filter pevných častíc



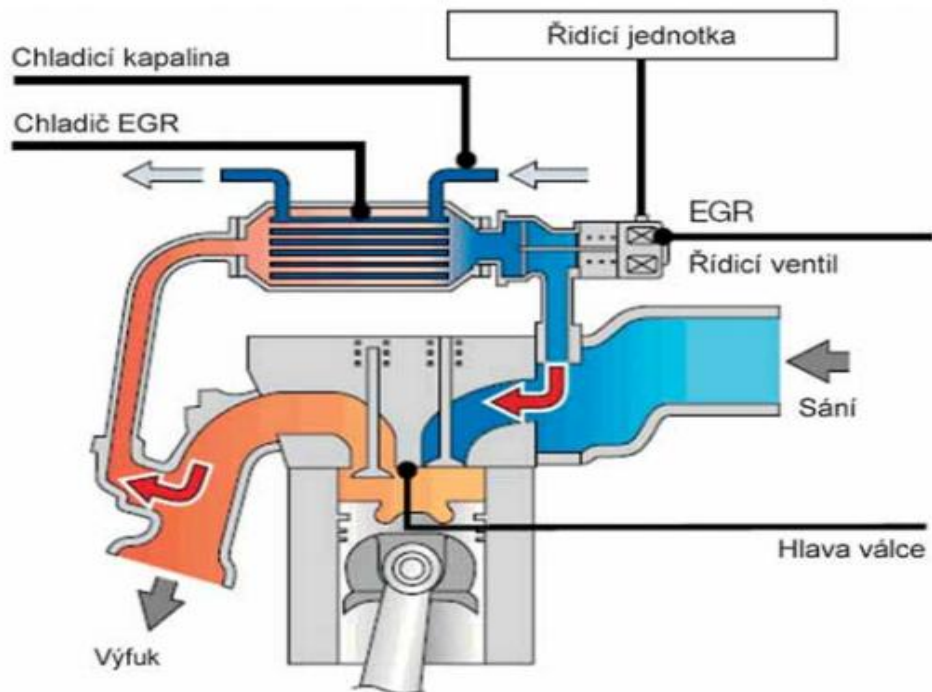
znižuje túto hodnotu na 100 – 120 gramov. Pri jeho funkcii dochádza k jeho zaneseniu zachytenými sadzami preto sa musí čistiť – tzv. regenerovať. Regenerácia môže byť aktívna alebo pasívna. Pri aktívnej regenerácii sa umelo zvyšuje teplota výfukových plynov zmenou vstrekov motora a zvýšením dávky paliva, pridaním aditíva (príkladom sú motory HDi koncernu PSA Peugeot Citroen) alebo vstreknutím paliva pred filter pevných častíc (príkladom je automobil Opel Zafira B s naftovým motorom CDTi). Zvýšením teploty dochádza k spaľovaniu zachytených sadzí. Aktívna regenerácia prebieha pri menších zaťaženiach motora, napríklad pri jazde v meste. Prebieha každých 300 – 1000 km, ak nenastala možnosť pasívnej regenerácie. K pasívnej regenerácii dochádza pri vyšších zaťaženiach motora, kedy sa teplota výfukových plynov pohybuje v hodnotách 350 – 550°C. Pri takýchto teplotách dochádza tiež k spaľovaniu zachytených sadzí. K tejto regenerácii dochádza napríklad pri jazde po diaľnici. Regenerácia je posudzovaná na základe rozdielnosti tlakov, ktorý je snímačmi meraný pred a za filtrom. Podľa rozdielu tlakov riadiaca jednotka vyhodnotí či je filter upchaný a potrebuje regeneráciu [10][9].



Obr. 5 Filter pevných častíc firmy Opel [12]

2.3.3. Systém recirkulácie výfukových plynov

Známe aj pod skratkou EGR (angl.: Exhaust Gas Recirculation). Ide o technológiu umožňujúcu znižovanie emisií spaľovacích motorov. Princípom tohto zariadenia je prechod časti výfukových plynov chladičom a opätovným nasávaním do valca motora. Do určitého obsahu výfukových plynov v nasávanej zmesi dochádza ku zníženiu emisií aj spotreby paliva. Ďalším zvyšovaním podielu výfukových plynov v nasávanej zmesi vedie k redukcii maximálnej teploty spaľovania a následkom toho ku zníženiu tvorby oxidov dusíka. Zároveň to však vedie ku nedokonalému spaľovaniu a tým ku zvýšeniu emisií HC, spotreby paliva a nepokojnému chodu motora. U benzínových motorov s priamym vstrekovaním sa EGR používa tiež. Znižuje spotrebu a emisie NOx. Pri týchto motoroch je dokonca aj žiadané keďže sa kvôli jeho použitiu môžu vynechať niektoré ďalšie úkony ako napríklad regenerácia zásobníkového katalyzátoru chodom pri bohatej zmesi, čo znižuje spotrebu paliva. Pri naftových motoroch môže byť obsah nasávanej zmesi tvorený až zo 40% výfukových plynov. Od tohto množstva závisí vplyv tejto technológie na tvorbu emisií a hodnotu spotreby paliva. Množstvo je presne riadené riadiacou jednotkou aby nedošlo k prebytku plynov v zmesi a tým k zvýšeniu produkcie sadzí, HC a CO. Pri vznetrových motoroch sa používa systém EGR s chladením čo pri minimálnom zvýšení spotreby znižuje produkované škodlivé emisie [13].



Obr. 5 Příklad systému EGR[13]



3. POPIS KATALYTICKEJ REDUKCIE

Katalytická redukcia je chemická reakcia ktorá prebieha medzi amoniakom a oxidmi dusíka pri zvýšených teplotách. Je to najrozšírenejší spôsob redukcie emisií dusíka a jej schopnosť sa používa na znižovanie týchto emisií obsiahnutých vo výfukových plynch spaľovacích motorov. Katalytická redukcia sa delí na:

- Selektívna katalytická redukcia – SCR
- Selektívna nekatalytická redukcia – SNCR

SCR – prebieha za prítomnosti katalyzátora pri teplotách 80÷420°C

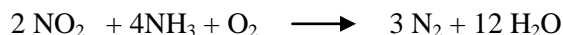
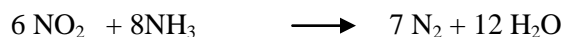
SNCR – prebieha bez prítomnosti katalyzátora za omnoho vyšších teplôt 900÷1050°C

Selektívna katalytická redukcia – SCR (angl.: Selective Catalytic Reduction) dokáže pracovať s účinnosťou až 80÷90%, čoho je dosiahnuté pomocou, ako naznačuje samotný názov, prítomnosti katalyzátora v tejto reakcii. Katalyzátor je látka pridávaná do chemickej reakcie v malom množstve a spôsobuje buď urýchlenie alebo spomalenie chemickej reakcie bez zmeny zloženia. V prípade katalytickej redukcie tvorí katalyzátor spolu s oxidmi dusíka veľmi nestabilný komplex, ktorý sa rozpadá na katalyzátor a výstupné látky. Katalyzátor znižuje aktivačnú energiu chemickej reakcie čo v praxi znamená, že selektívna katalytická redukcia prebieha pri nižších teplotách ako nekatalytická. Ako katalyzátor SCR sa používajú materiály prítomné na stenách SCR katalyzátora. Aby bolo možné čo najefektívnejšie využiť plochu katalyzátora konštruje sa ako teleso s množstvom kanálikov na ktorých povrchu sa nachádza spomínaný katalyzátor. Cez tieto kanáliky prúdi zmes oxidov dusíka a amoniaku, ktorý funguje pri tej reakcii ako reakčné činidlo a je obsiahnutý v aditive AdBlue (4. *Charakteristika roztoku AdBlue*). Selektívnu katalytickú redukciu NO_x je možné realizovať pomocou SCR katalyzátorov. Rozdelíme ich na: [4][14].

- Katalyzátory na báze kovových aktívnych zložiek
- Katalyzátory na báze zeolitu
- Katalyzátory, ktorými sú uhlíkové materiály

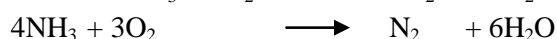
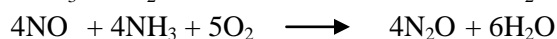
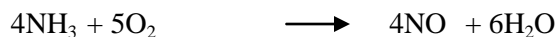
3.1. Chemizmus procesu

Selektívna katalytická redukcia môže prebiehať podľa nasledujúcich rovníc:



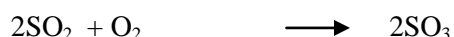
V SCR katalyzátore môžu prebiehať aj iné reakcie, ktoré sú však z hľadiska funkcie SCR technológie nežiaduce. Sú to napríklad:[4][12]

- Oxidácia NH₃ na NO, NO₂ a N₂





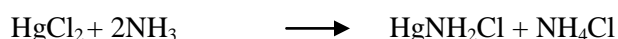
- Oxidácia SO₂ na SO₃



- Vznik NH₄HSO₄ a (NH₄)₂SO₄



- Tvorba NH₄Cl



Ako je zrejmé z chemických rovníc tak pri ideálnych podmienkach vznikajú pri selektívnej katalytickej redukcii iba neškodný dusík a vodná para. Obe tieto zložky sú bežnou súčasťou atmosféry. Keďže účinnosť nie je 100% dochádza k malému úniku NO_x do ovzdušia, čo ale nie je problémom nakoľko toto množstvo je v súlade s normou EURO 5/V a onedlho aj s normou EURO6/VI. Predpokladá sa, že plnenie očakávanej normy EURO 6/VI nebude možné bez použitia rozoberanej technológie selektívnej katalytickej redukcii nielen pre nákladné automobily a autobusy ale aj osobné automobily.

3.2. Mechanizmus procesu

Mechanizmus selektívnej katalytickej redukcii prebieha pri katalyzátoroch na báze zeolitu a kovových aktívnych zložiek inak ako pri katalyzátoroch, ktorými sú uhlíkové materiály. Existencia viacerých druhov katalyzátorov je podmienená veľkým rozsahom teplôt pri ktorých môže reakcia prebiehať. Na kovových a zeolitových katalyzátoroch prebieha reakcia iným mechanizmom ako pri uhlíkových katalyzátoroch.

Redukcia na kovových a zeolitových SCR katalyzátoroch prebieha podľa Eley-Ridealovho mechanizmu, ktorého podstatou je difúzia NO k adsorbovanému NH₃ na povrchu kanálikov katalyzátora SCR. Na druhej strane u uhlíkových katalyzátorov dochádza k súčasnému adsorbovaniu NH₃ a NO_x na povrch kanálikov. Povrch kanálikov býva väčšinou pokrytý vrstvou drahých kovov, napr. Titan, Wolfrám alebo Vanád. Tieto drahé kovy sú katalyzátormi selektívnej katalytickej redukcii a spolu s amoniakom tvoria zlúčeniny, ktoré prednostne vyvolávajú redukciiu NO_x na dusík a vodnú paru. [4][14]

Reakciu prebiehajúcu podľa Eley-Ridealovho mechanizmu, teda na zeolitových a kovových katalyzátoroch možno rozdeliť do piatich častí:[4][12]

- Adsorbcia NH₃ na povrch kanálikov katalyzátora
- Difúzia NO k adsorbovanému NH₃
- Reakcia NO s NH₃ na povrchu katalyzátora
- Oxidácia hydroxidov
- Regenerácia aktívnych miest katalyzátora



Účinnosť SCR je závislá hlavne na nasledujúcich faktoroch:

- Veľkosť aktívnej plochy katalyzátora
- Objemová rýchlosť spalín
- Teplota spalín T
- Stechiometria (pomer množstva NH_3 ku množstvu NO_x)
- Koncentrácia kyslíka
- Rozdiel koncentrácií NO_x pred a za katalyzátorom

Rýchlosť katalytickej reakcie na povrchu katalyzátora je závislá difúzii molekúl NO_x na NH_3 adsorbovaného na povrchu katalyzátora. Preto sú najvýhodnejšie katalyzátory s čo najväčšou plochou, ktorú zabezpečuje tvar v podobe množstva kanálikov pri čo najväčšej kompaktnosti. Katalyzátor však nemôže byť prídlhý aby nedošlo k nechcenému laminárnemu prúdeniu. Reakcie na povrchu katalyzátoru sa dajú ovplyvniť geometriou katalyzátora a jeho aktivitou [14].



4. CHARAKTERISTIKA ROZTOKU ADBLUE

AdBlue je roztok potrebný pri používaní technológie selektívnej katalytickej redukcie. V USA je známy pod obchodným názvom, resp. skratkou DEF. Obe kvapaliny sa odlišujú iba názvom, inak sú úplne identické. Tento roztok je pre SCR nevyhnutný a bez neho nedokáže plniť svoju funkciu. Aby boli splnené emisné limity aj po vyprázdnení nádrže, výkon motora je elektronicky obmedzený aby boli znížené emisie pod dané hodnoty.

AdBlue je roztok močoviny a deionizovanej vody. Obsah tvorí 32,5 % močoviny a zvyšok je voda. Pri normálnych podmienkach je to neškodná číra kvapalina ako voda. Je netoxická a bezpečná na manipuláciu. Teplota tuhnutia je -11°C . Vyrába sa podľa presných chemických procesov v súlade s platnými normami DIN 70070 a ISO 22241. Táto kvapalina nie je aditívom, ktoré sa mieša s palivom, ani palivom ale je samostatne v nádrži a vstrekuje sa do výfukového potrubia automobilu.

Od roku 2006 je pre nákladné autá a autobusy nevyhnutnou prevádzkovou kvapalinou. Avšak, sprísňovaním emisných noriem sa začala SCR technológia používať aj pri osobných autách a tak prišlo k rozšíreniu tejto kvapaliny. Je bežne dostupná na stojanoch čerpacích staníc buď klasicky tankovaná priamo do nádrže pre AdBlue alebo v samostatných baleniach. Objem balenia závisí na výrobcovi. Pre majiteľov osobných automobilov s technológiou SCR sú vhodné balenia po 5 alebo 10 litrov. Cena za liter pri tankovaní sa v súčasnosti (rok 2014) pohybuje od 0,2 €/l až po 0,7 €/l. Pri 10 litrových baleniach je to od 8 € do 17 €. Cena je závislá od výrobcu a upraviť ju môže aj predajca.

Priekopníkom v dodávaní AdBlue je firma OMV, ktorá vybudovala prvé čerpacie stanice AdBlue v Českej aj Slovenskej republike [15][16].



Obr. 6 Příklad Stojanu AdBlue [15]



Obr. 7 Příklad 10l balenia AdBlue [16]



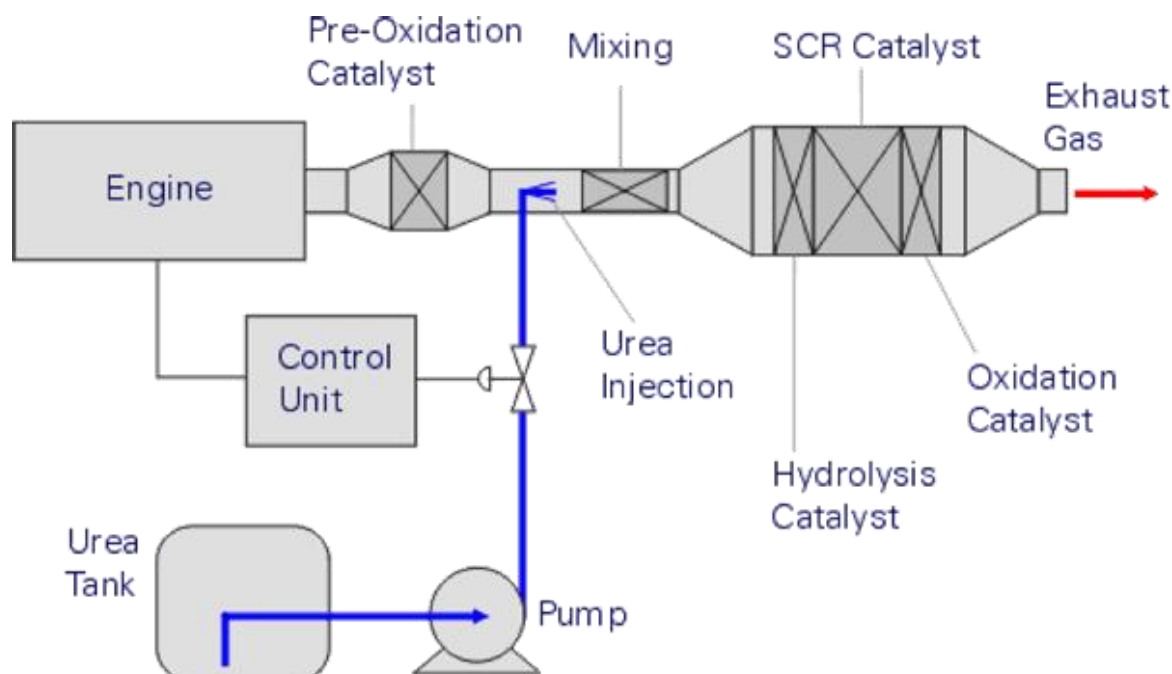
5. POPIS SYSTÉMU SCR

System SCR slúži na znižovanie emisií oxidov dusíka, ktoré sú zdraviu škodlivé a preto boli najväčším problémom naftových motorov. Technológia selektívnej katalytickej redukcie bola patentovaná v roku 1957 a použitá v rôznych druhoch vozidiel, od nákladných až po osobné. Tento systém tiež pomáha znížiť emisie sadzí, čo je dosiahnuté variabilným časovaním vstrekovania paliva. Je založený na princípe vstrekovania aditíva AdBlue do potrubia výfukového systému. V kombinácii s SCR katalyzátorom sa dá dosiahnuť zníženie emisií NO_x až o 80 %.

System SCR je zložený z komponentov, ktoré zabezpečujú dopravu a vstrekovanie AdBlue do výfukového potrubia, SCR katalyzátora a z niekoľkých snímačov zabezpečujúcich zisťovanie zloženia a teploty plynov pred a za a aj počas prechodu týmto systémom vo výfukovom vedení. Zo samostatnej nádrže pre AdBlue sa roztok dopravuje do vstrekovacej jednotky pomocou čerpadla. Vstrekovacia jednotka je priamo umiestnená na výfukovom potrubí a do spalín vstrekuje roztok AdBlue. Po vstreknutí sa z aditíva odparí voda a do SCR katalyzátora vstupujú iba spaliny a amoniak ktoré reagujú a vzniká dusík a vodná para.

Množstvo roztoku AdBlue vstreknutého do výfukového potrubia je závislé na zaťažení, otáčkach motora, teplote výfukových plynov a vlhkosti nasávaného vzduchu. Selektívna katalytická redukcia môže prebiehať už pri teplote výfukových plynov približne 170 °C. Bežne však prebieha pri teplote asi 230 °C. Za SCR katalyzátorom je umiestnený snímač NO_x, ktorý slúži na zisťovanie množstva NO_x vo výfukových plynoch a dáva vstrekovaciemu systému informácie o množstve NO_x v plynch vychádzajúcich z katalyzátora. Riadiaca jednotka potom určí presné množstvo roztoku tak, aby za SCR katalyzátorom nedošlo k úniku toxického amoniaku. To znamená, že okrem optimálneho spaľovania sa motor nijako nepodieľa na procese redukcie NO_x [1][17][18].

V nasledujúcich kapitolách budú popísané jednotlivé časti technológie SCR.



Obr.6 Schéma technológie SCR pre osobné vozidlá[20]



5.1. Komponenty technológie SCR

5.1.1. Nádrž roztoku AdBlue a napájacia jednotka

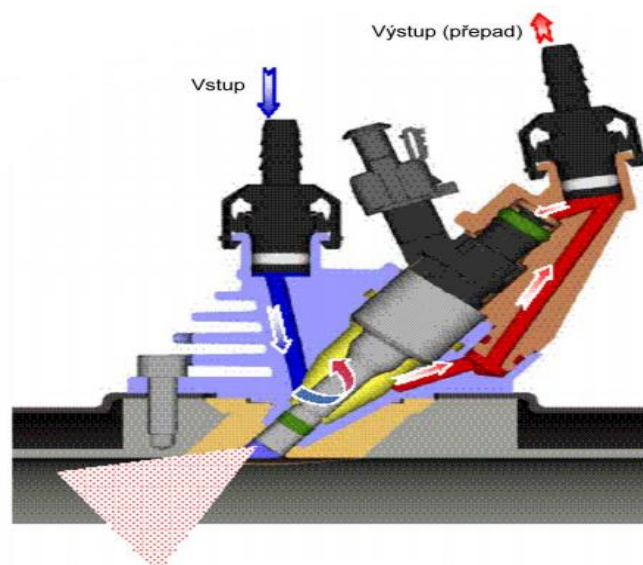
Nádrž určená pre roztok močoviny AdBlue používaný pri technológii SCR je konštruovaná ako samostatná nádrž vedľa klasickej palivovej nádrže. Jej objem sa pohybuje v hodnotách približne 3÷5 krát menšom ako je objem palivovej nádrže. Jej otvor pre plnenie je umiestnený buď priamo vedľa otvoru pre palivovú nádrž, kde je doplnenie veľmi jednoduché, alebo sa nachádza na nádrži a dostupný je z batožinového priestoru automobilu. Zvyčajne sa nachádza až pod rezervným kolesom. S touto nádržou je spojená napájacia jednotka. Tá je buď upevnená na stene nádrže alebo je integrovaná priamo v nádrži. Napájacia jednotka obsahuje aj čerpadlo, ktoré čerpá roztok do vstrekovacieho ventilu [19][25][27].



Obr.7. Príklad nádrže roztoku AdBlue[22]

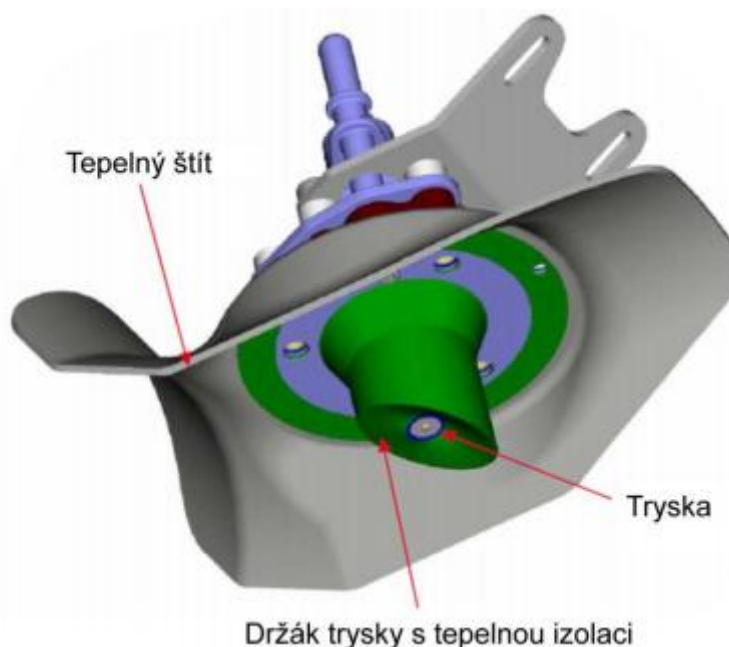
5.1.2. Vstrekovací ventil

Do vstrekovacieho ventilu čerpadlo tlačí roztok AdBlue. Privádza sa pod tlakom ktorý je stály, alebo sa môže meniť a tento tlak je súčasne aj tlakom vstrekovacím. Vstrekovací ventil SCR systému je podobný saciemu ventilu v hlave motora. Tento ventil je dvojcestný a v prvej polohe umožňuje vstrekovanie roztoku do potrubia a v druhej polohe umožňuje čerpanie prebytočného roztoku späť do nádrže, ktorá potom ďalej pokračuje v obeh. Schopnosť ventilu čerpať roztok naspäť do nádrže je kvôli tomu aby pri vypnutí spaľovacieho motora došlo k odčerpaniu roztoku z vedenia kvôli možnosti zamrznutia roztoku AdBlue pri nízkej teplote okolia. Zamrznutie by mohlo pri nasledovnom štarte spôsobiť zhoršenie prietoku v čerpacom systéme a tým nedostatočnú funkciu SCR technológie. Množstvo vstreknutého roztoku závisí na dobe otvorenia vstrekovacieho ventilu. Od umiestnenia riadiacej jednotky SCR systému závisí chladenie ventilu. Ventil môže byť chladený vzduchom, pri umiestnení na potrubí, alebo aktívne a to chladiacou kvapalinou motora v prípade, ak sa nachádza v motorovom priestore.



Obr.8. Rez vstrekovacím ventilom [19]

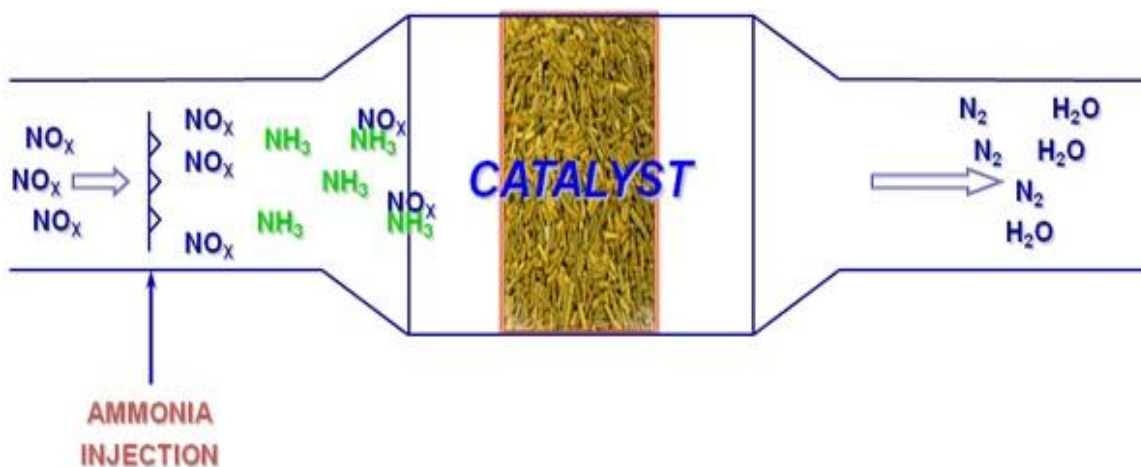
Vstrekovací ventil ústí do trysky a spolu so vstrekovacím ventilom sa nachádza priamo na výfukovom potrubí. Tryska zabezpečuje čo najviac rovnomerné rozstreknutie roztoku do výfukových plynov. Dvojcestný ventil a tryska sú umiestňované medzi trojcestný alebo oxidačný katalyzátor a SCR katalyzátor. Prípadne medzi filter pevných častíc a SCR katalyzátor. V týchto miestach dochádza k zmiešaniu roztoku močoviny AdBlue a výfukových plynov. Dochádza k odpareniu vody čím sa z roztoku uvoľňuje NH_3 a prúdením výfukových plynov sa dostáva do SCR katalyzátora. V katalyzátore prebiehajú chemické reakcie popísané v kapitole 3.1. *Chemický priebeh procesu* [18].



Obr.9. Pohľad na vstrekovaciu trysku z priestoru výfukového potrubia[19]



5.1.3. SCR katalyzátor



Obr. 10 Zjednodušená schéma funkcie SCR katalyzátora[20]

Ako už bolo spomenuté pred SCR katalyzátorom dochádza k odpareniu vody z roztoku AdBlue a zmiešaniu amoniaku, ktorý vznikol práve týmto odparením, s výfukovými plynmi. Táto zmes sa prúdom plynov dostáva do SCR katalyzátora v ktorom sa nachádza množstvo kanálikov pokrytých drahými kovmi. Tento povrch funguje ako katalyzátor chemickej reakcie a dochádza k reakcii medzi NH_3 , NO_x a katalyzátorom, čím sa redukujú emisie oxidov dusíka za vzniku vodnej pary a dusíka. Inými slovami vznikajú látky neškodlivé pre život [19].

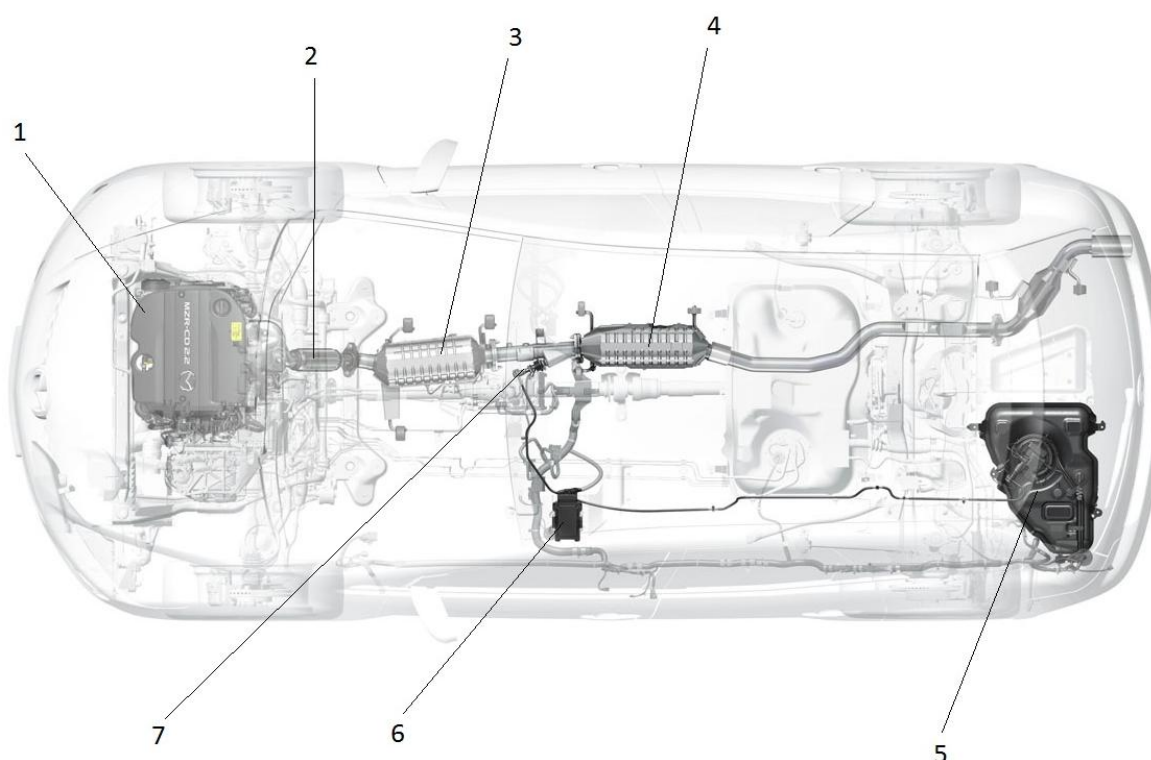
5.1.4. Riadiaca jednotka



Obr. 11 Riadiaca jednotka vstrekovania – DCU firmy Bosch [28]



Riadiaca jednotka je prepojená s čerpadlom na dopravu roztoku do vstrekovacieho ventilu. Taktiež je spojená so vstrekovacím ventilom, ktorému určuje množstvo vstreknutého roztoku do výfukových plynov. Množstvo použitého roztoku závisí na zložení plynov vychádzajúcich z SCR katalyzátora. Toto zloženie je zaznamenávané snímačmi NOx umiestnenými pred aj za katalyzátorom, ale ich umiestnenie môže byť pri rôznych výrobcoch pozmenené. Snímače predávajú informácie už spomínanej riadiacej jednotke. Tá spracováva získané dáta a reguluje celý systém tak, aby bolo množstvo vstreknutého roztoku čo najviac prispôsobené aktuálnemu pracovnému bodu motora. Teda aby boli dosiahnuté čo najlepšie hodnoty znižovania emisií oxidov dusíka. Riadiaca jednotka SCR môže byť integrovaná do elektronickej riadiacej jednotky motora – ECU alebo umiestnená samostatne ako riadiaca jednotka vstrekovania - DCU. Ak je integrovaná do ECU tak sa musí ďalšou riadiacou jednotkou – HCU zabezpečiť riadenia vyhrievania roztokovej nádrže[18].



Obr. 12 Príklad umiestnenia SCR technológie vo vozidle Mazda CX-7 Legend: 1 – motor, 2 – oxidačný katalyzátor, 3 – filter DPF, 4 – SCR katalyzátor, 5 – nádrž AdBlue s napájacou jednotkou, 6 – riadiaca jednotka SCR, 7 – vstrekovací modul (ventil) [21]



6. NIEKTORÍ VÝROBCOVIA SCR

V nasledujúcej kapitole budú popísané systémy niektorých výrobcov, ktoré využívajú technológiu samotnej selektívnej katalytickej redukcie. Aby boli splnené všetky potrebné hodnoty pre najnovšiu emisnú normu, hlavne emisie oxidov dusíka, výrobcovia sa rozhodli skombinovať viac technológií do jedného systému. Preto sa technológia SCR používa v kombinácii s oxidačným katalyzátorom a filtrom pevných častíc.

6.1. Denoxtronic firmy BOSCH

6.1.1. Rozdelenie jednotlivých verzií systému Denoxtronic

- | | |
|-----------------------|---|
| 1. Osobné automobily: | 2. Ostatné druhy automobilov vrátane autobusov a mimocestných vozidiel: |
| Denoxtronic 3.1 | Denoxtronic 1 |
| Denoxtronic 5.1 | Denoxtronic 2.1 |
| | Denoxtronic 2.2 |
| | Denoxtronic 6 |
| | Departronic 1 |
| | Departronic 2 |

V ďalších kapitolách budú popísané systémy ktoré sa týkajú osobných vozidiel, teda písané bude o Denoxtronic 3.1 a 5.1. [24]

6.1.2. Denoxtronic 3.1

Keďže v priebehu rokov stále dochádzalo ku sprísňovaniu emisných limitov, firma BOSCH vyvinula systém SCR aj pre osobné vozidlá. Prvou generáciou bola práve Denoxtronic 3.1, ktorá prišla na trh v polovici roku 2008. Prednostne bola vyvinutá pre osobné automobily, ale mohla sa používať aj pre menšie úžitkové vozidlá alebo mimocestné vozidlá s výkonom medzi 56 – 100 kW. Avšak použitie muselo byť posudzované pre každý prípad samostatne.

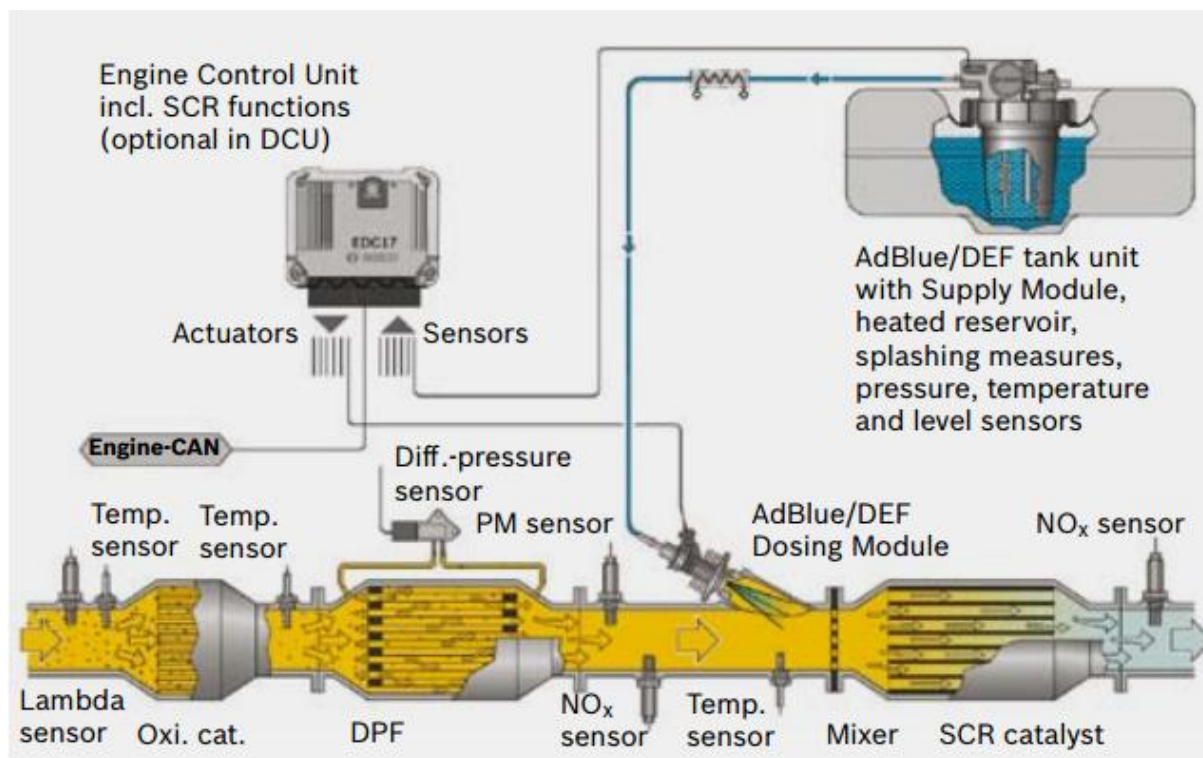
Moderné naftové motory majú v porovnaní s typickými motormi z roku 1990 o 96 % menšie emisie oxidov dusíka. Denoxtronic však znižuje tieto emisie o ďalších 80 – 90 %, čo je v porovnaní v motormi spred 30 rokov pomerne výrazné zníženie. Už Denoxtronic 3.1 umožňoval splnenie normy EURO 6.

Vstrekovanie AdBlue v tomto systéme zabezpečuje vstrekovacia jednotka, do ktorej je močovina dopravovaná pomocou čerpadla integrovaného v napájacej jednotke. Napájacia jednotka sa nachádza na stene nádrže pre močovinu v mieste čerpania roztoku z nádrže. Zo vstrekovacej jednotky (ventilu) sa roztok rozprašuje do výfukových plynov ako bolo popísané v predošlých kapitolách. V tomto systéme môže byť riadiaca jednotka integrovaná do ECU, alebo alternatívne umiestnenie je samostatné ako riadiaca DCU.

Po štarte je tento systém schopný plnej prevádzky do 30 sekúnd. Keďže roztok močoviny má relatívne vysokú teplotu tuhnutia (-11°C) môže prísť ku zamrznutiu zmesi. Čo v praxi predstavuje predĺženie času, za ktorý sa dosiahne zariadenie plnú prevádzku. Pri teplote okolia -15°C je systém pripravený do 20 minút. Ohrev roztoku je dosiahnutý ohrievaním celej nádrže. Podľa potreby je ventil schopný prepúšťať od 15 do 3120 g roztoku za hodinu, pri tlaku 5 bar. Ventil je chladený vzduchom.



Pracovný rozsah teplôt sa pohybuje od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ pre nádrž s napájacou jednotkou a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ pre vstrekovací ventil. Odhadovaná životnosť zariadenia je 300 000 km alebo 6000 hodín [25].



Obr. 11 Systém Denoxtronic 3.1[24]

Ako možno usúdiť z obrázka pri generácii Denoxtronic 3.1 sa technológia SCR používa v kombinácii s predradeným oxidačným katalyzátorom a filtrom pevných častíc (DPF). Ďalej môžeme vidieť, že počas prechodu celým týmto systémom sa sleduje teplota a množstvo NO_x vo výfukových plynoch pomocou snímačov NO_x pred SCR katalyzátorom, ale aj za ním, aby mohla riadiaca jednotka určiť presné množstvo rozprášeného roztoku pred SCR katalyzátor. Podobne sa sleduje aj rozdielnosť tlaku pri prechode filtrom pevných častíc. Firma Bosch vyrába tento systém pre automobily známych značiek, konkrétne pre vozidlá značiek Mercedes-Benz, Mazda, BMW, Ford, Mahindra a pre značky koncernov General Motors a Volkswagen [26].

6.1.3. Denoxtronic 5.1

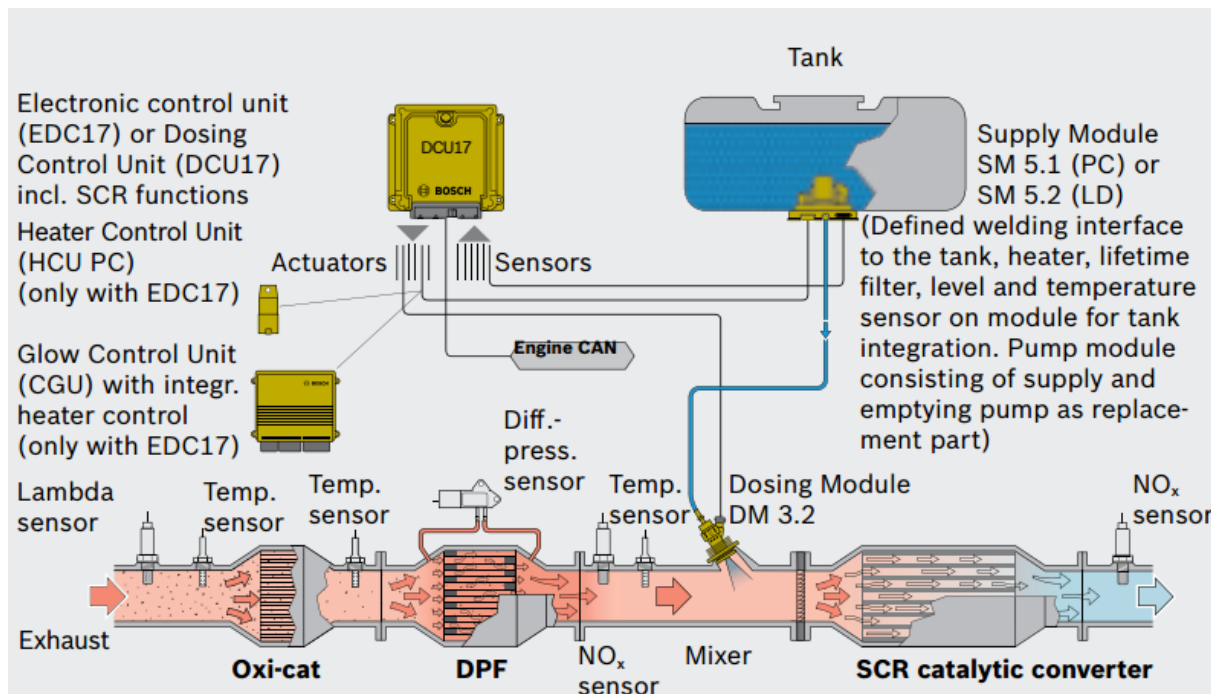
Ďalšou generáciou Denoxtronic-u bola tá s označením 5.1. Začala sa vyrábať v roku 2012 a plní rovnakú funkciu ako prvá generácia, aj keď nastali konštrukčné zmeny vo výrobe generácie 5.1.

Zmena nastala napríklad aj pri možnosti použitia. Táto generácia sa môže používať len pre osobné a menšie úžitkové vozidlá. Ďalšia zmena nastala pri napájacej jednotke. Tá pri prvej generácii mala viacej variant použití, ale pri druhej generácii je už štandardizovaná. Je integrovaná v nádrži pre roztok močoviny AdBlue. V integrovanej napájacej jednotke je uložené aj čerpadlo, vyhrievacie teleso, snímač teploty a filter. Riadiaca jednotka môže byť ako pri prvej generácii integrovaná do riadiacej jednotky motora alebo samostatne umiestnená. Vstrekovací ventil je priamo na výfukovom vedení pod podlahou vozidla a môže byť chladený pasívne vzduchom alebo je chladený aktívnou motorovou chladiacou kvapalinou dopravenou do ventilu vedením. Ak sa použije ECU na riadenie tohto systému, potom sa používa HCU, ktorá zabezpečuje vyhrievanie a tým kvapalnú skupenstvo roztoku pri prevádzke zariadenia. Pretože je napájacia jednotka integrovaná priamo do nádrže je



odolná voči zamrznutiu kvôli tomu, že po vypnutí motora sa vyprázdni. Tieto konštrukčné zmeny priniesli úsporu priestoru.

Operačné charakteristiky majú len málo odlišné hodnoty od predošlej generácie. Prietok vstrekovacieho ventilu sa pohybuje od 200 do 2000 gramov za hodinu pri tlaku od 4,5 do 8,5 bar. Životnosť je odhadovaná na približne 8000 hodín.



Obr. 12 Denoxtronic 5.1 [27]

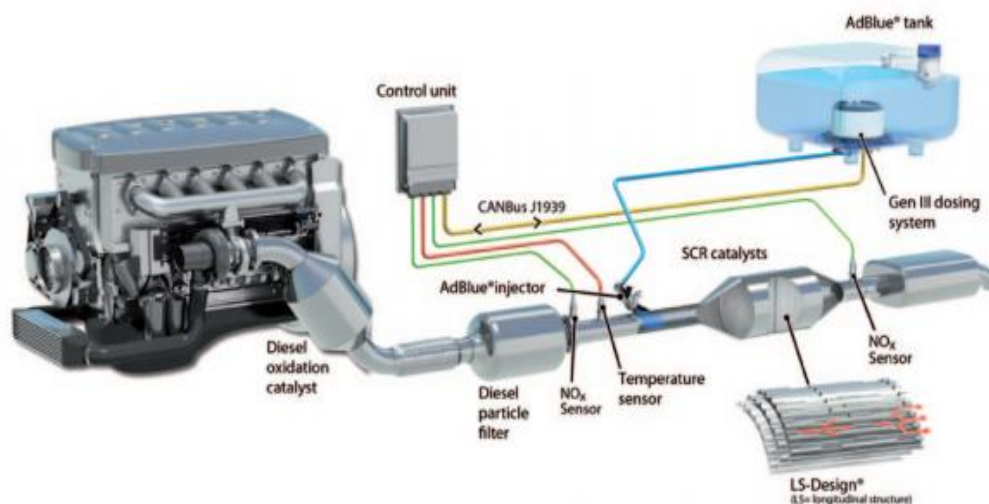
Cieľom tohto zariadenia, je rovnako ako pri prvej generácii znižovanie emisií oxidov dusíka a darí sa to až na hodnotu zníženia o 95% a tiež sa používa v kombinácii s predradeným oxidačným katalyzátorom a filtrom pevných častíc. Aj táto generácia už spĺňa emisnú normu EURO6. Druhú generáciu Denoxtronic pre osobné automobily Bosch dodáva automobilkám značky BMW, Mercedes-Benz a koncernu Volkswagen [26][27].

6.2. SCR systém firmy Emitec

Pri neustálom sprísňovaní emisných noriem, začala aj firma Emitec vyrábať zariadenie na znižovanie emisií na princípe selektívnej katalytickej redukcie. Výrobu začali v roku 2006, avšak iba pre nákladné vozidlá, autobusy a mimocestné vozidlá. Pre použitie v osobných autách bola vyvinutá až tretia generácia, ktorá finálnu podobu nabrala v roku 2012.

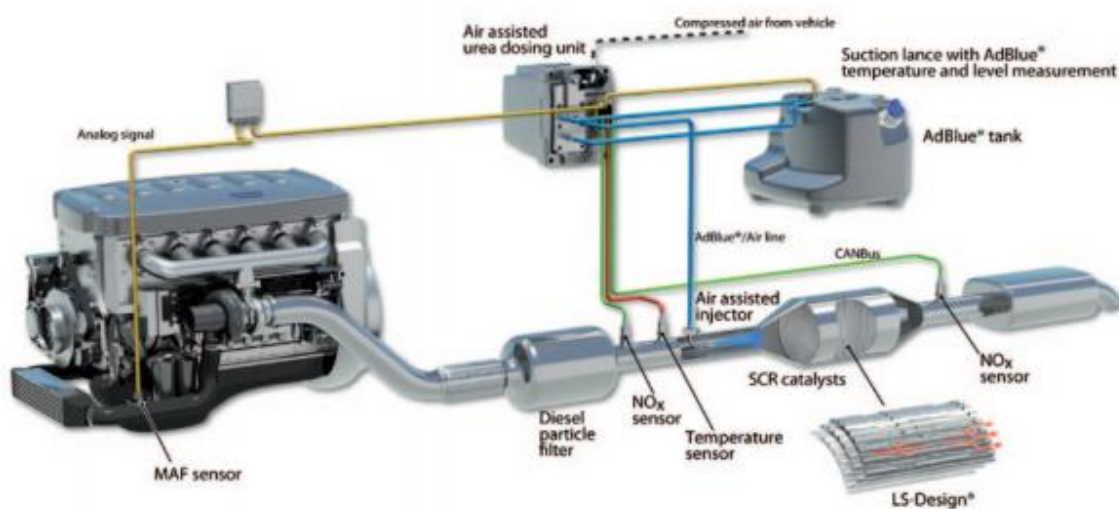
Systém od firmy Emitec môže mať dve usporiadania a to sú: so vstrekaním s použitím vzduchu a vstrekovanie bez použitia vzduchu.

Pri usporiadaní bez vzduchu je systém veľmi kompaktný, pretože celá napájacia jednotka je integrovaná priamo do nádrže roztoku AdBlue. V tejto jednotke sa nachádzajú všetky potrebné komponenty, teda čerpadlo, snímače teploty, výhrevné teleso, merač množstva roztoku v nádrži. Z integrovanej napájacej jednotky sa močovina čerpadlom tlačí cez hadicu do vstrekovacej trysky. Tryska je pod podlahou na výfukovom potrubí a je chladená vzduchom.



Obr. 23 Emitec SCR – usporiadanie bez použitia vzduchu [28]

Pri usporiadaní s použitím vzduchu sa v nádrži AdBlue nachádza iba sacie zariadenie a močovina sa dostáva do napájacej jednotky. Vstupuje do nej aj stlačený vzduch z vozidla pomocou ktorého sa močovina dostáva do trysky, ktorá je tiež vzduchom chladená, a rozprašuje do výfukových plynov.



Obr. 14 Emitec SCR – usporiadanie s použitím vzduchu [28]

Obe usporiadania sú riadené buď vstrekovacou riadiacou jednotkou (DCU) alebo priamo riadiacou jednotkou motora (ECU). Tiež obsahujú čerpadlo s krokovým motorom pre presné dávkovanie roztoku močoviny. Množstvo roztoku dodaného čerpadlom závisí od zloženia výfukových plynov, ktoré sa odvíja od zaťaženia motora. Bežne čerpadlo dodáva iba niekoľko mililitrov za hodinu roztoku avšak v extrémnych prípadoch je schopné čerpať až 8 litrov roztoku za hodinu [29][30].

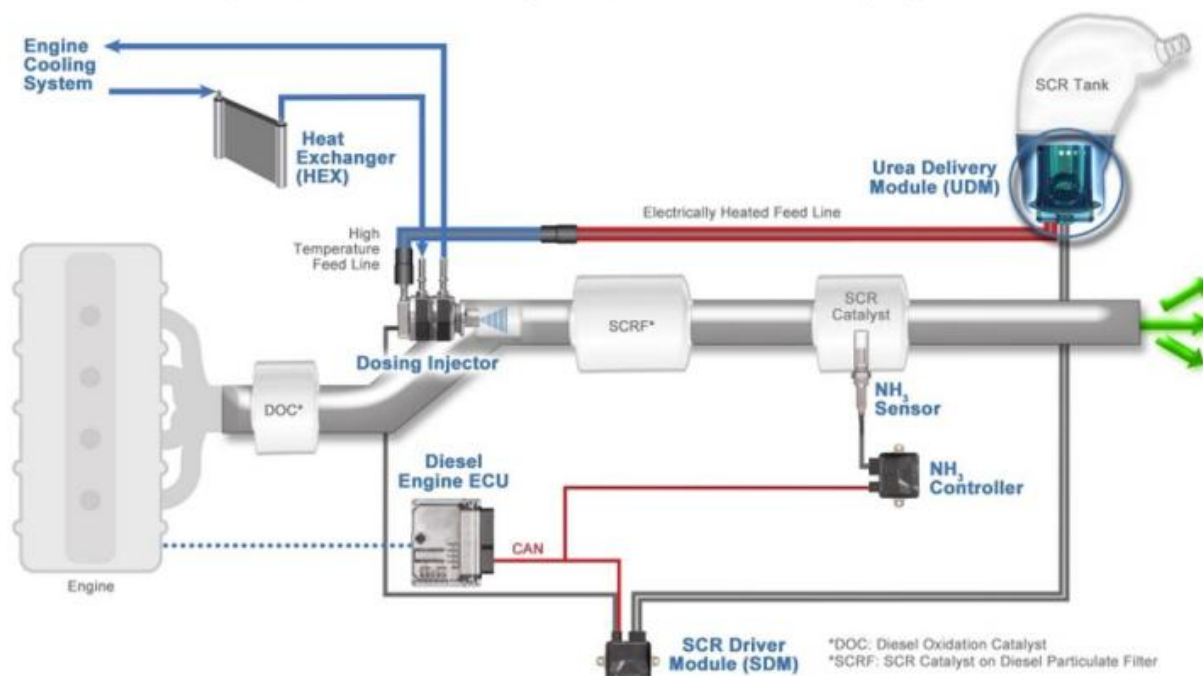


6.3. SCR systém od firmy Delphi

Ďalším výrobcom SCR technológie je firma Delphi. Z dielne tejto firmy pochádza systém s názvom Delphi Selective Catalytic Reduction Dosing System (Delphi vstrekovací systém selektívnej katalytickej redukcie). Cieľom firmy bolo vyvinúť systém s čo najväčšou účinnosťou znižovania emisií pri čo možno najnižšej novej cene a so širokým rozsahom aplikácií. Jednou z týchto aplikácií sú aj osobné automobily.

Podobne ako pri predchádzajúcich výrobcach, aj pri tomto je napájacia jednotka integrovaná do dna nádrže roztoku AdBlue. Obsahuje snímače teploty a množstva roztoku v nádrži. Taktiež zahŕňa celoživotný filter a ohrievač nádrže. Vo firme Delphi sa rozhodli, že čerpadlo nezahrnú do napájacej jednotky v dne nádrže ale že bude spolu s tryskou vytvárať jednu súčasť. Toto spojenie umožňuje vyvinúť vstrekovací tlak od 20 do 50 bar. Vysoký tlak spôsobuje rozprášenie roztoku na menšie častice ako pri predchádzajúcich systémoch a tým nastáva aj lepšie premiešanie s výfukovými plynmi na menšom priestore. V praxi to znamená úsporu priestoru medzi vstrekovacím zariadením a SCR katalyzátorom. Celý kus je chladený vodou, resp. chladiacou kvapalinou motora a je navrhnutý tak, aby bol mrazuvzdorný, čím odpadá podmienka čerpania roztoku naspäť do nádrže pri každom vypnutí motora. Do tohto systému je pridaný aj snímač koncentrácie amoniaku v SCR katalyzátore. Na základe týchto meraní je regulované množstvo vstrekovanej množstva močoviny pre, čo najvyššiu účinnosť systému bez vypustenia amoniaku do ovzdušia. Samozrejme, celý systém je riadený riadiacou jednotkou ktorá ovláda reguluje aj vstrekovanie aj ohrievanie alebo môže byť na montovanú riadiacu jednotku vyhrievania a vstrekovanie je riadené pomocou ECU.

Tento systém je zatiaľ v štádiu vývoja a prvé vyrobené kusy sa očakávajú v roku 2016 a budú plniť emisnú normu EURO 6[31][32].



Obr. 15 SCR systém firmy Delphi [31]



6.4. Zhrnutie SCR technológie

Výhody technológie SCR:

- Optimálny spôsob plnenia noriem EURO 4, 5, 6
- Vysoká účinnosť redukcie – dá sa dosiahnuť až 95%
- Oproti EGR je menej náročná na chladenie motora

Nevýhody technológie SCR:

- Väčšia priestorová zástavba
- Zvýšená hmotnosť oproti iným technológiám
- Vyššia cena
- Možnosť úniku NH_3 do ovzdušia pri nedokonalnej reakcii

Keďže technológia selektívnej katalytickej redukcie je schopná plniť emisné normy EURO 4 a EURO5 je veľmi rozšírená hlavne u nákladných vozidlách a autobusoch. Avšak výrobcovia osobných automobilov si už pri vstupe normy EURO 5 do platnosti uvedomili, že táto technológia je veľmi účinná a preto ju začali používať aj pri osobných automobiloch. Priekopníkmi vo výrobe tejto technológie sú spomínané firmy, hlavne firma Bosch je veľkým dodávateľom hlavne pre automobilky v Európe. V tomto roku (2014) príde do platnosti norma EURO 6 a predpokladá sa, že bez použitia selektívnej katalytickej redukcie bude splnenie normy EURO 6 nemožné. Z tohto dôvodu je logické sa domnievať, že príde k ďalšiemu rozmachu a SCR začnú do svojich vozidiel montovať aj ďalší výrobcovia.



ZÁVER

V tejto bakalárskej práci bola popísaná technológia selektívnej katalytickej redukcie. Popísaný bol jej chemický proces, jednotlivé časti tejto technológie, ich funkcia, umiestnenie a vlastnosti. Ďalej sú v tejto práci zahrnuté prevedenia tohto systému od rôznych výrobcov. V posledných rokoch zažíva technológia SCR výrazný rozmach. Je jednou z najvhodnejších technológií pre splnenie emisných noriem oxidov dusíka a to je hlavný dôvod prečo sa jej pôsobenie rozširuje. V súčasnosti pravdepodobne neexistuje automobil so vznetrovým motorom vyrobeným po roku 2006 bez použitia technológie SCR, ak nehovoríme o osobných automobiloch. A práve z tohto dôvodu prichádza k rozšíreniu tohto systému aj do osobných automobilov.

Problematika emisií je veľmi dôležitá a preto by sa nemala prehliadať, keďže takmer všetky zložky výfukovým plynov sú škodlivé alebo minimálne neprospievajú zdraviu. Niektoré z nich môžu dokonca spôsobiť tak závažné ochorenia ako sú rakovina. A práve toto ochorenie môžu spôsobiť aj emisie oxidov dusíka ktoré sa redukujú popisovanou technológiou SCR.

Je síce pravdou, že náklady na vývoj, výrobu a montáž sú vysoké, ale jej prínos pri problematike emisií s čím súvisí aj zníženie počtu onkologických ochorení spôsobených emisiami oxidov dusíka je neporovnateľným so žiadnou sumou.

Mnoho ľudí presadzuje názor, že znižovanie emisií je zbytočnosť, ktorá len znižuje výkon motora a zvyšuje cenu celého vozidla, čo potvrdzuje len zaujímavosť, že technológie umiestnené na výfukovom potrubí pre dodatočnú úpravu výfukových plynov, môžu cenovo prevýšiť hodnotu samotného motora. Osobne si myslím, že všeobecne znižovanie všetkých emisií je dobrou investíciou v technologickom vývoji automobilového priemyslu.

Na základe získaných vedomostí by sa dalo predpokladať že táto technológia má veľmi dobrú perspektívu a je tu predpoklad že v budúcnosti príde k jej ďalšiemu vývoju. Mohlo by prísť ku zlacneniu výroby, zmenšeniu priestorového usporiadania alebo aj zvýšeniu, už aj tak dosť vysokej, účinnosti.



POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] VAŠKO, R. Plnění emisních norem u traktorových motorů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.
- [2] AUTO, ŠKODA. Dílenská učební pomůcka 43 – Emise ve výfukových plynech. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO a.s
- [3] HROMÁDKO, Jan, HROMÁDKO, Jiří, HÖNIG, Vladimír, MILER, Petr. Spalovací motory. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [4] BOŠKA, M. Vznik a snižování emisí NOx. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Chlápek.
- [5] SAJDL, Jan. *Emisní norma EURO* [online]. 2008 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>
- [6] JANCO, Marcel. *EURO – Európske emisné normy* [online]. 2010 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/technika/europske-emisne-standardy/>
- [7] MORAVČÍK, Ľubomír. *SPRÍSŇOVANIE EMISNÝCH LIMITOV CESTNÝCH MOTOROVÝCH VOZIDIEL* [online]. 2013 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.svetdopravy.sk/sprisnovanie-emisnych-limitov-cestnych-motorovych-vozidiel/>
- [8] JANCO, Marcel. *Na čo slúži a ako funguje katalyzátor?* [online]. 2011 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/technika/na-co-sluzi-a-ako-funguje-katalyzator/>
- [9] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [10] JANCO, Marcel. *Filter pevných částic (DPF/FAP) – ako funguje a čo robiť v prípade problémov?* [online]. 2013 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/technika/ako-funguje-filter-pevnych-castic-dpf/>
- [11] *Benzínový motor je horší ako diesel. Dostane filter* [online]. [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://style.hnonline.sk/auto-moto-130/benzinovy-motor-je-horsi-ako-diesel-dostane-filter-596672>
- [12] *Filtr pevných částic pro naftové motory* [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.opel.cz/vozidla/prezentacni-mistnost/dodavky/vivaro/hlavni-prvky/engines-transmissions0.html>
- [13] ČUPERA, Jiří, Tomáš ŠMERDA a Martin FAJMAN. *Vznětové motory vozidel* [online]. CPRESS, 2013 [cit. 2014-05-08]. ISBN 9788026401605.



- [14] Rubišar, V. Redukce emisí NOX využitím keramického filtru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 34 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Filip Jedlička.
- [15] *ADBLUE* [online]. [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.multicard.eni.com/sk/truck/my-multicard/adblue>
- [16] *AdBlue: Budúcnosť je modrá* [online]. [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: http://www.omv.sk/portal/01/sk/omv_sk/Produkty/Informacie_o_vyrobkoch/AdBlue
- [17] *AdBlue stojan* [online]. [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: http://www.bena.sk/photos/original/adast-adblue_425adbd431bad6d608a0cb16e4547c96.jpg
- [18] *OMV ADBLUE Kanister 10l* [online]. [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: https://www.spielkurier.at/upload/product/559/004352128406-masolat_g5d5.jpg
- [19] *Metoda SCR (Selective Catalytic Reduction)* [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.gpdcb.cz/products/metoda-src-selective-catalytic-reduction/>
- [20] *O SCR TECHNOLOGII* [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.vobosystem.cz/scr-technologie>
- [21] ŠMERDA, Tomáš a Jiří ČUPERA. *Emise vznětového motoru a systém SCR* [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.agrics.cz/obrazky-soubory/emise-vznetoveho-motoru-a-system-scr-4107d3.pdf?redir>
- [22] *Selective Catalytic Reduction (SCR)* [online]. [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: http://www.gcesystems.com/photos/NOx_Abatement_Systems.jpg
- [23] *Schéma SCR* [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://metalcat-europe.com/wp-content/uploads/schema-catalyseur680.png>
- [24] *Mazda cx-7 first japanese car scr system.* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.rx8club.com/attachments/general-automotive-49/143842d1250066662-mazda-cx-7-first-japanese-car-scr-system-frankfurt-cx-7fl_scrsystem_jpg72%5B1%5D.jpg
- [25] *Nádrž AdBlue* [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://media.caranddriver.com/images/10q4/368751/2011-mercedes-benz-e350-bluetec-adblue-tank-photo-368809-s-1280x782.jpg>
- [26] *Funckia SCR katalyzátora* [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: http://www.gcesystems.com/photos/NOx_Abatement_Systems.jpg
- [27] *Diesel exhaust gas treatment* [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://www.bosch-automotivetechology.com/en/de/specials/specials_for_clean_and_economical_powertrain_systems_1/abgasnachbehandlung/abgasnachbehandlung_2.html



- [28] *Denoxtronic 3.1 – Urea Dosing System for SCR Systems* [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://www.bosch-automotivetechnology.com/media/db_application/downloads/pdf/antrieb/en_3/02_DS_Sheet_Denoxtronic_3_1-Urea_Dosing_System_20110826.pdf
- [29] *Bosch do roku 2012 investuje v Českých Budějovicích 12 milionu eur* [online]. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.autofox.cz/index.php?id=35415>
- [30] *Denoxtronic 5 – Urea Dosing System for SCR systems* [online]. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: http://www.bosch-automotivetechnology.com/media/de/iaa/downloads_1/sauber_sparsam_1/optimization_diesel_systems_denoxtronic_5_en.pdf
- [31] *Denoxtronic 5.1 for passenger cars* [online]. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: http://www.bosch-kraftfahrzeugtechnik.de/specials/de/abgasnachbehandlung/en/subpage/Denoxtronic_5.html
- [32] *Innovative SCR Dosing Systems for Effective NOx Reduction* [online]. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: http://www.emitec.com/fileadmin/user_upload/Bibliothek/Prospekte/130725_SCR_Dosiersystem_english.pdf
- [33] *Extremely Compact SCR Dosing Modules* [online]. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: http://www.emitec.com/fileadmin/user_upload/Presse/Presseinformationen/IAA_2013/Dosing_systems.pdf
- [34] *Delphi Selective Catalytic Reduction Dosing System* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://delphi.com/shared/pdf/ppd/pwrtrn/selective-catalytic-reduction-dosing-system.pdf>
- [35] *Delphi SCR Dosing System - An alternative approach for close-coupled SCR catalyst systems* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://delphi.com/images/news/2012/Delphi-SCR-Dosing-System-SIA%20Diesel-Rouen-2012.pdf>



Zoznam použitých skratiek a symbolov

HC	uhľovodík
S	síra
N ₂	dusík
O ₂	kyslík
H ₂ O	voda
CO ₂	oxid uhličitý
CO	oxid uhoľnatý
NO _x	oxidy dusíka
SO ₂	oxid siričitý
NH ₃	amoniak
PM	particulate mater
Pb	olovo
λ	súčiniteľ prebytku vzduchu
DPF	diesel particulate filter
EGR	exhaust gas recirculation
SCR	selective catalytic reduction
SNCR	selective noncatalytic reduction
DEF	diesel exhaust fluid
ECU	electronic control unit
DCU	dosing control unit
HCU	heating control unit