

Česká zemědělská univerzita v Praze

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2013

Pavel Voříšek

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

katedra jakosti a spolehlivosti strojů



Bakalářská práce

Analýza vlivů AdBlue na snížení emisí
oxidů dusíku

Vedoucí-práce: doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D

Zpracovatel: Pavel Voříšek

PRAHA 2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra jakosti a spol. strojů

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Voříšek Pavel

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Analýza vlivu AdBlue na snížení emisí oxidů dusíku

Anglický název

Analysis of AdBlue influence to reduce nitrogen oxides emissions

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zpracovat literární rešerši předpisů a vyhlášek, které upravují emise spalovacích motorů silničních vozidel. Na základě tohoto rozboru potom popsat vliv vstřikování AdBlue do výfuku na snižování emisí motorů.

Metodika

První část bakalářské práce bude řešena literárním rozbohem vyhledaných předpisů a vyhlášek upravujících emise spalovacích motorů v silničním provozu. V další části bude na základě provedeného rozboru popsán vliv AdBlue na emise spalovacích motorů. Finálním krokem bude formální úprava, svázání a odevzdání práce.

Osnova práce

1. Úvod
2. Emise motorových vozidel
3. Vliv AdBlue na emise spalovacího motoru
4. Zařízení pro vstřikování AdBlue do výfuku
5. Závěr

Rozsah textové části

30 - 40 stran textu

Klíčová slova

AdBlue, emise, spalovací motor

Doporučené zdroje informací

Halderman, J.: Automotive fuel and emissions control systems. Pearson/Prentice Hall, Ohio: 2006. ISBN 013110442X.

Stefan aus der Wiesche, Numerical heat transfer and thermal engineering of AdBlue (SCR) tanks for combustion engine emission reduction, Applied Thermal Engineering, Volume 27, Issues 11-12, August 2007, Pages 1790-1798, ISSN 1359-4311

Takáts, M.: Měření emisí spalovacích motorů. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1997. ISBN 80-01-01632-3

Vlk, F.: Alternativní pohony motorových vozidel. Nakladatelství a zasilatelství Vlk, Brno: 2004. ISBN 80-239-1602-5.

Vedoucí práce

Pexa Martin, Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2011

Termín odevzdání

duben 2013

prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

Vedoucí katedry



V Praze dne 6.2.2012

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Analýza vlivu AdBlue na snížení emisí oxidů dusíku“ vypracoval samostatně a použil pouze zdroje, které jsou uvedeny v příloženém seznamu na konci práce.

Bakalářská práce je školní prací a může být použita ke komerčním účelům pouze se souhlasem vedoucího práce a děkana ČZU v Praze.

Datum.....

Podpis autora.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc.Ing. Martinu Pexovi Ph.D. za odborné vedení práce a cenné rady, které mi poskytoval.

Abstrakt

Bakalářská práce na téma „Analýza vlivu AdBlue na snížení oxidů dusíku“ se zabývá problematikou snižování oxidů dusíku ve výfukových plynech u vznětových motorů. Práce je rozdělena na tři hlavní části. První část se zabývá vznikem a následnými účinky emisí motorových vozidel na člověka a životní prostředí. Druhá část popisuje aktivní látky AdBlue potřebné pro správnou funkci systému SCR. Zde je řešena výroba, skladování, přeprava a chemické procesy při reakcích v systému pro redukci oxidů dusíku. Ve třetí části práce je popsán systém SCR pro redukci oxidů dusíku. Popis komponentů důležitých pro provoz systému, řešení problémů systému v různých režimech a popis základních chemických reakcí.

Klíčová slova: AdBlue, emise, spalovací motor

Annotation

Bachelor thesis "Analysis of AdBlue influence to reduce nitrogen oxides emissions" deals with the reduction of nitrogen oxides in the exhaust gases in diesel engines. The thesis is divided into three parts. The first part is focused on the formation and subsequent effects of vehicle emissions on humans and environment. The second part concentrates on the description of the active substances AdBlue that are required for proper operation of the SCR system. Also covers production, storage, transport and chemical reaction processes in the system for the reduction of nitrogen oxides. The third part describes the SCR system for NO_x reduction. Description of components important for the function of the system, solutions for active system in different operating modes and describes the basic chemical reactions.

Keywords: AdBlue, emissions, combustion engine

Obsah

1.	Úvod	1
1.1	Cíl práce.....	1
1.2	Metodika práce	1
1.3	Zdroje energie pro pohon motorových vozidel	2
2.	Emise motorových vozidel	5
2.1	Vývoj znečištění ovzduší a současné trendy	5
2.2	Rozdělení automobilových emisí a jejich dopad na člověka.....	6
2.2.1	Emise ze spalovacích procesů (výfukové plyny = exhaláty).....	7
2.2.2	Emise z nespalovacích procesů (vznikající opotřebením součástí).....	8
2.2.3	Hlukové emise a vibrace.....	9
2.3	Počátky sledování škodlivých emisí v automobilovém průmyslu	9
2.4	Zavedení emisních norem EU v České republice.....	11
2.5	Emise zážehových motorů.....	12
2.6	Emise vznětových motorů	14
3.	Vliv AdBlue na emise spalovacího motoru	15
3.1	Postupné zavádění SCR technologie (selektivní katalytické redukce).....	15
3.2	AdBlue.....	16
3.2.1	Vlastnosti AdBlue	17
3.2.2	Výroba AdBlue.....	17
3.2.3	Použití močoviny.....	19
3.2.4	Skladování, přeprava a kontrola kvality AdBlue.....	20
4.	Zařízení pro vstřikování AdBlue do výfuku.....	22
4.1	Jak funguje SCR	22
4.2	Komponenty systému SCR BOSCH Denoxtronic	24
4.3	Popis funkcí základních komponentů BOSCH Denoxtronic	26
4.3.1	Nádrž na aktivní látku AdBlue	27
4.3.2	Sací modul s topením, filtrem a hladinovým senzorem	28
4.3.3	Podávací čerpadlo s topením	29
4.3.4	Propojovací trubka čerpadla a vstřikovacího ventilu vybavená topením	30
4.3.5	Vstřikovací modul	31
4.3.6	Směšování AdBlue s výfukovými plyny – mixer.....	33

4.3.7	Redukční katalyzátor	33
4.3.8	Čidlo oxidů dusíku za redukčním katalyzátorem	34
4.4	Zhodnocení technologie SCR.....	35
5.	Závěr.....	37
6.	Seznam použité literatury, obrázků a zkratk.....	38
6.1	Seznam použité literatury a webových odkazů	38
6.2	Seznam obrázků.....	40
6.3	Seznam zkratk.....	41

1. Úvod

Tématem této bakalářské práce je popsat snižování oxidů dusíku u vznětových motorů pomocí vstřikování chemicky aktivního činidla AdBlue do výfukového systému. Dále se zabývá zhodnocením vlivu automobilové dopravy na životní prostředí. Kdy automobilová doprava, s přibývajícím počtem vozidel a nárůstem provozu, stále více negativně ovlivňuje obyvatelstvo i životní prostředí.

1.1 Cíl práce

Cílem práce je zpracovat literární řešení norem a předpisů zabývajících se emisemi motorových vozidel v rámci České republiky a Evropské unie. Na základě této rešerše popsat vývoj automobilového průmyslu z hlediska emisí a možností budoucího vývoje. Dále zde bude popsán nový systém SCR, který umožňuje vstřikování AdBlue do výfukového systému a tím následně snižuje oxidy dusíku ve spalínách motorových vozidel.

1.2 Metodika práce

V první části práce bude řešena problematika norem a legislativy zabývajících se limity emisí motorových vozidel. Budou zde popsány emisní normy EURO, které jsou závazné pro celou Evropskou unii. Od vstupu České republiky do Evropské unie v roce 2004 se naše republika zavázala plnit legislativu EU včetně platných norem EURO. Dále zde bude popsána emisní norma z USA CAFE platná již od roku 1975. Následně budou zmíněny normy pro paliva ČSN EN 590 pro naftu a ČSN EN 228 pro benzín.

V další části bude popsána kapalina AdBlue, jak vzniká, z čeho se skládá, její použití a základní vlastnosti podle normy ISO 22241. Hlavním tématem zde bude popis systému SCR, jeho hlavních komponentů a jejich funkcí, základních chemických reakcí po vstříknutí AdBlue v SCR katalyzátoru a vliv celého systému na emise spalovacích motorů.

Závěr shrnuje výsledky práce, jsou zde popsány různé varianty a možnosti snižování automobilových emisí. Je zde naznačen další možný vývoj v automobilovém průmyslu z hlediska škodlivých emisí vzhledem k legislativě a námět na další možné téma navazující práci.

Na konci práce jsou uvedeny zdroje informací, použité pro napsání práce, seznam obrázků, zdrojů informací a seznam zkratk.

1.3 Zdroje energie pro pohon motorových vozidel

V poslední době se na trhu s automobilovým průmyslem objevují stále více pokusy o nahrazení tradičních ropných paliv alternativními zdroji energie. V současnosti je to hlavně spalování zemního plynu (CNG), nebo propan butanu (LPG). Obě alternativy paliv jsou výhodnější na provozní náklady a zároveň šetrnější k životnímu prostředí, než spalování ropných paliv. Velkou výhodou jsou asi o 50% nižší emise tzv. skleníkových plynů.

Přestavba na palivo LPG je jednodušší než na CNG a finanční náročnost je zhruba poloviční. Také zástavové rozměry jsou menší pro systém LPG, protože zde je možno použít menší tlakové lahve vlivem nižšího provozního tlaku, který je 8 – 12 barů, než u systému CNG, kde musí být použity objemnější vzhledem k provoznímu tlaku 200 – 250 barů. Další výhodou paliva LPG je až o dvě třetiny nižší měrná spotřeba vzhledem k vyšší koncentraci energie než u paliva CNG. Výhodou LPG je také větší dostupnost čerpacích stanic v ČR, kterých je v současné době asi 800, oproti CNG, kterých je asi 17. Další velkou výhodou CNG oproti LPG je mnohem menší obsah škodlivin ve výfukových plynech a proto se postupně zavádí do provozu.

Motory na zemní plyn se již sériově vyrábí hlavně pro prostředky hromadné přepravy. V malé míře se občas objeví na trhu i osobní automobil, který je továrně vyráběn s pohonem na zemní plyn (CNG). Jsou zde sice menší provozní náklady, protože zemní plyn není zatížen spotřební daní. Zemní plyn se musí zkapalnit pod vysokým tlakem, což je také poměrně ekonomicky náročné. Je zde i možnost individuální „domácí“ čerpací stanice ve formě speciálního kompresoru, který umožňuje zkapalnit zemní plyn ze standardního rozvodu. Zde je třeba posoudit ekonomickou návratnost vzhledem k relativně vysokým pořizovacím nákladům na kompresor a poměrně drahý provoz tohoto zařízení. Také naplnění nádrže trvá delší dobu. Podle objemu nádrže se může vlivem nízkého výkonu kompresoru pohybovat v řádu několika hodin.

V případě pohonu na LPG se většinou jedná o individuální přestavby automobilů převážně se zážehovým motorem. V dnešní době jsou sice na trhu firmy nabízející i nové automobily přestavené na LPG, ale jsou zde problémy se zárukou, protože většina výrobců to považuje za porušení podmínek ze strany uživatele. Díky této přestavbě uživatel přijde také o část zavazadlového prostoru, z důvodu umístění nádrže na zkapalněný plyn. Občas se dá využít prostor pro rezervní pneumatiku, která již není podle platné legislativy povinná. Ale i přes všechny nevýhody jsou provozní náklady sníženy cca. na polovinu a

tak se pro spoustu uživatelů hlavně těch co najedou velký počet kilometrů přestavba na zkapalněný plyn vyplatí.

Další možný zdroj energie označován jako palivo budoucnosti je vodík. Je zde možnost vodík přímo spalovat, anebo využití vodíku jako palivového článku pro přeměnu v elektrickou energii. Vodík, jako palivo by byl 100% ekologický, protože při jeho spalování by byly vypouštěny emisemi pouze vodní páry. Výroba vodíku je poměrně drahá a stejné problémy jsou s přepravou a skladováním, protože zde musí být zajištěna vysoká bezpečnost díky vysoké výbušnosti při reakci se vzduchem.

Posledním asi největším hitem je nástup elektromobilů, které se začaly objevovat na trhu od počátku 21. století. Zpočátku se jednalo o pozvolný nástup tzv. hybridů, což jsou automobily s kombinací klasického spalovacího motoru a elektromotoru. Tyto automobily jsou schopny v městském provozu jezdit na elektromotor a postupně zapojit spalovací motor. Toto je sice příznivé pro ovzduší ve městech, ale toto řešení se také moc nerozmáhá, kvůli vysokým pořizovacím nákladům těchto automobilů, protože jsou v nich umístěné dvě pohonné jednotky.

Druhá varianta je výroba automobilů osazených pouze elektromotorem. Touto variantou se v současnosti zabývají téměř všechny významné automobilky a na trhu se postupně objevují různé modely elektromobilů. Největším problémem těchto vozů jsou baterie, které zajišťují na jedno nabití dojezd maximálně do 150 kilometrů. Dalším problémem je životnost baterií, která se pohybuje někde mezi 4-6 roky což způsobí poměrně velkou ekologickou zátěž pro životní prostředí a ekonomickou zátěž pro uživatele vozu, protože tento bateriový modul je značně drahý. Dalším důležitým faktorem, o kterém se sice moc nemluví je výroba elektrické energie důležité pro nabíjení baterií. Tato energie se musí vyrobit v elektrárnách, které také znečišťují ovzduší, takže problém emisí se pouze přenesl z velkých měst do oblasti elektráren a znečištění ovzduší zůstane.

Přes všechny dosavadní pokusy o nahrazení spalovacích motorů na fosilní paliva jinými zdroji energie, jsou stále tyto motory nejlevnějším a nejjednodušším zdrojem energie pro pohon automobilů a dopravních prostředků, poskytujících uživateli vysoký komfort za relativně nejpříznivější pořizovací a provozní náklady. Proto se stále vyplácí investovat velké finanční prostředky do vývoje stále lepšího spalování a následné úpravy výfukových plynů díky nutnosti dodržení stále se zpřísňujících emisních limitů.

Současné zážehové motory spalující ropná fosilní paliva ve formě benzínu případně s příměsí bioethanolu jsou schopny v podstatě už bez větších problémů plnit i nově přicházející emisní normu EURO 6, která nastoupí v roce 2014. Díky pokročilé technologii přípravy směsi, spalování nastavenému pro potřebný výkon a následné úpravě spalin v třícestném katalyzátoru, kde se redukuje škodlivé oxidy uhlíku, dusíku a nespálené uhlovodíky se sníží vypouštěné škodlivé emise na minimum v souladu s platnou legislativou.

Vznětové motory jsou na tom s exhalacemi o něco hůře než zážehové. Díky tomu že jsou přeplňované vzduchem a nelze u nich zajistit stechiometrický poměr vzduchu $\lambda=1$, při kterém je zajištěna funkčnost třícestného katalyzátoru. U těchto motorů může být použit pouze oxidační katalyzátor na redukci oxidů uhlíku a filtr pevných částic (DPF) na zachycování nespálených uhlovodíků. Pro redukci oxidů dusíku se v současnosti používá u osobních automobilů s motory nižšího výkonu recirkulace výfukových plynů s pomocí tzv. EGR ventilu. Část spalin se vrací zpět do spalovacího prostoru, tím nastává snížení teploty ve spalovacím prostoru a procentuelního zastoupení vzduchu čímž se následně sníží obsah oxidů dusíku ve spalinách. Tento systém nelze používat ve všech pracovních režimech motoru, protože nelze například použít při plném zatížení motoru, kdy jsou emise NO_x nejvyšší. Tato skutečnost umožňuje systému plnit současné emisní normy EURO 5, ale nastávající emisní systém EURO 6 pravděpodobně velká část motorů plnit nebude. Tento fakt klade požadavek na automobilový průmysl zimplementovat do současného systému další zařízení pro likvidaci oxidů dusíku. V současné době se nabízí jako možnost SCR systém, který bude popsán v následujících kapitolách.

[12, 19]

2. Emise motorových vozidel

Emise z motorových vozidel vznikají provozem vozidel buď přímo při spalovacích procesech, nebo nepřímo opotřebením pohybujících se částic. Většinou se jedná o látky škodlivé pro zdraví lidí a životní prostředí v podobě plynů případně jako prachové částice.

2.1 Vývoj znečištění ovzduší a současné trendy

Počátkem druhé poloviny 20. století, byla kvalita ovzduší, podzemních a povrchových vod v ČR mimořádně špatná. Vlivem značnému nárůstu průmyslové výroby po druhé světové válce v oblasti těžkého průmyslu, chemického průmyslu, těžby nerostných surovin, používání chemických látek v zemědělství došlo k nevratnému poškození ekosystému. Chybějící podpora ochrany životního prostředí v zákonech a minimální všeobecné povědomí o ochraně životního prostředí způsobilo podceňování následků znečištění a další negativní vlivy na životní prostředí. Nejdůležitějším úkolem bylo plnění plánů stanovených mnohdy nesmyslně na mnoho let dopředu v průmyslové výrobě i zemědělství. Díky tomu se často vyrábělo zboží, zemědělská produkce i surové materiály, o které na trhu ani nebyl zájem. Protože se moc nedbalo na spotřebu energií při výrobě, tak byla výroba často energeticky zbytečně náročná a nerentabilní.

První velký mezník v ochraně životního prostředí v ČR a následné zlepšení stavu ovzduší, povrchových a podzemních vod a kontaminace půdy nastal na začátku 90. let 20. století. Příčinou tohoto zlepšení byl především pokles průmyslové výroby a zavedení různých ekologických opatření na největších zdrojích znečišťování ovzduší, tím že byly stanoveny emisní limity pro průmyslové znečišťovatele.

Dalším příznivým nástrojem pro zlepšení kvality ovzduší bylo postupné zavádění emisních norem pro automobilový průmysl. V ČR byly zavedeny povinné opakované technické prohlídky všech osobních i nákladních vozidel a autobusů, včetně měření emisí. Tímto krokem se mělo zamezit možnosti provozování silničních vozidel, která nesplňují předepsaný technický stav a překračují limity škodlivých emisí vypouštěných do ovzduší. Díky tomuto opatření se z evidence motorových vozidel vyřadilo mnoho starých aut, které již neplnily stanovené normy pro daný druh vozidla. Majitelům se již nevyplatilo opravovat tato vozidla, protože to bylo nerentabilní a většinou si pořídili novější použité, nebo v lepším případě úplně nové. Tím se začal obnovovat vozový park, což mělo příznivý

dopad na životní prostředí. Novější vozidla mají přísnější limity na vypouštění škodlivých emisí do ovzduší, než dříve vyrobená.

Výraznější pokles úrovně znečištění ovzduší pokračoval až do konce 20. století. Byl způsoben realizací řady ekologických staveb, masivní plynofikací a u velkých a středních zdrojů znečišťování ovzduší došlo k zavedení přísnějších emisních limitů. Od počátku 21. století dochází spíše ke stagnaci či postupnému nárůstu úrovně znečištění ovzduší. Opětovný růst je způsoben především nárůstem dopravy, návratem k nekvalitnímu spalování pevných paliv v domácnostech důsledkem stále rostoucích cen ekologických paliv (plynu a dřeva).

Česká republika má velmi vysoké měrné emise skleníkových plynů a patří mezi největší producenty z členských států Evropské unie. Mezi nejvýznamnější skleníkové plyny z exhalací motorových vozidel patří oxid uhličitý (CO₂), oxid dusný (N₂O) a methan (CH₄). Emise skleníkových plynů v Česku mezi lety 2005 až 2007 rostly. Zejména to bylo způsobeno důsledkem významného růstu emisí z dopravy, které v roce 2007 tvořily přes 13 % celkových emisí, zatímco v roce 1990 nedosahovaly ani 5 %. Z uvedených důvodů se nedaří plnit cíl státní politiky životního prostředí ČR ke snižování emisí skleníkových plynů. Základ pro ochranu klimatu Česka je tvořen národním programem na zmírnění dopadů změny klimatu v České republice, který byl 3. března 2004 schválen usnesením vlády České republiky číslo 187. Program vychází ze směrnice Rady Evropské unie 99 / 296 / EC, mapuje vlivy změny klimatu na jednotlivé sektory a vytyčuje strategii zmírňování negativních vlivů na klimatické změny.

[1, 4]

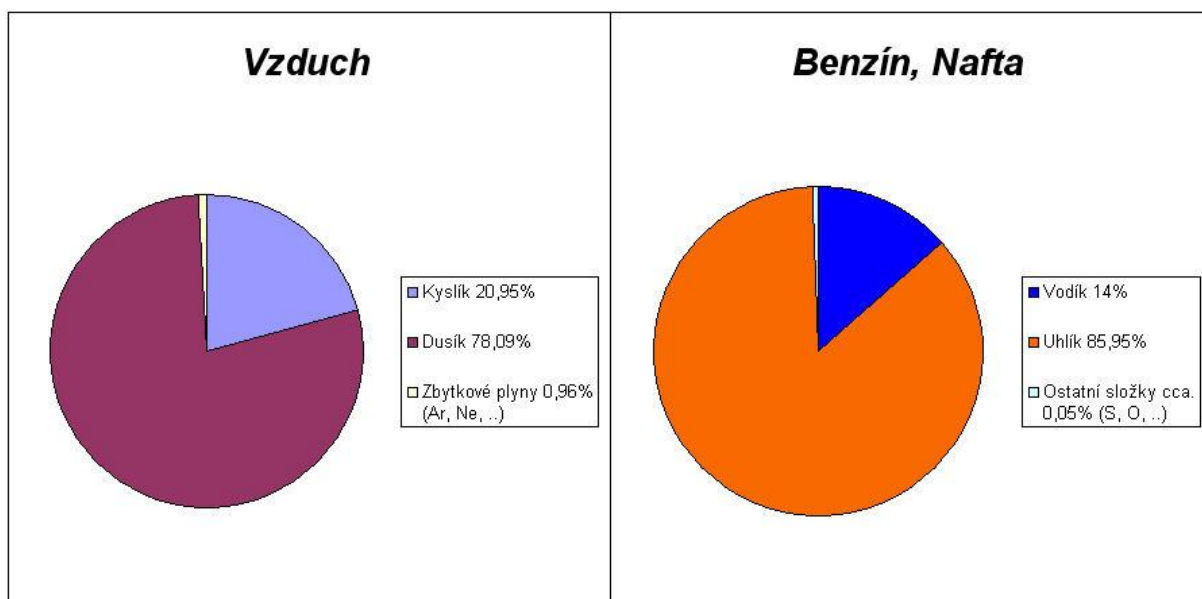
2.2 Rozdělení automobilových emisí a jejich dopad na člověka

Emise se rozdělují podle původu vzniku na emise ze spalovacích procesů (exhaláty), nebo na emise z nespalovacích procesů (prachové částice) a na emise hlukové, které vznikají hlukem z motoru a ostatních rotujících částí včetně odvalování pneumatik a proudícího vzduchu.

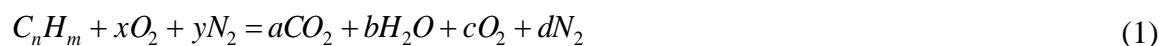
2.2.1 Emise ze spalovacích procesů (výfukové plyny = exhaláty)

Emise ze spalovacích procesů neboli exhaláty vznikají při spalování pohonných hmot. Jsou to směsi, které obsahují stovky chemických látek v různých koncentracích. Dlouhodobě přispívají k oteplování atmosféry (tzv. skleníkový efekt). Často mají toxický, karcinogenní, či mutagenní efekt pro lidi, zvířata i přírodu.

Obrázek 2-1: procentuelní zastoupení prvků vstupujících do spalovacího procesu



Pokud by v ideálním případě ve spalovacím prostoru plně zoxidovaly všechny části uhlíku a vodíku obsažené v palivu s kyslíkem nasávaného vzduchu viz obr. 2-1 tak by výfukové plyny obsahovaly pouze vodu a oxid uhličitý. Tento proces ideálního spalování je popsán rovnicí 1.



kde: C_nH_m je uhlovodíkové palivo o neznámém počtu molekul

xO_2 a cO_2 je kyslík o neznámém počtu molekul

yN_2 a dN_2 je dusík o neznámém počtu molekul

aCO_2 je oxid uhličitý o neznámém počtu molekul

bH_2O je voda o neznámém počtu molekul

Tato situace však v reálném motoru nemůže nastat, protože zde není možné vytvořit ideální poměry v celém spalovacím prostoru. Ani u nejmodernějších spalovacích motorů

není možné zajistit homogenní směs v celém spalovacím prostoru, z důvodu zabránění nerovnoměrnému prohořívání paliva. Proto v reálném motoru vznikají exhaláty jak zdraví neškodné tak i škodlivé.

Plynné produkty, opouštějící spalovací prostor buď výfukovým potrubím, či odvětráním klikové skříně, obsahují jak zdraví neškodné plyny jako jsou dusík (N_2), oxid uhličitý (CO_2), kyslík (O_2), vodní páry (H_2O) a inertní plyny např. argon (Ar), tak látky škodlivé, mezi které patří oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x), nespálené uhlovodíky (HC), oxid siřičitý (SO_2) a pevné částice (PM).

[1, 3]

2.2.2 *Emise z nespalovacích procesů (vznikající opotřebením součástí)*

Tyto emise tvoří nezanedbatelný podíl na znečištění životního prostředí. Zatímco se emise ze spalování s obnovou vozového parku snižují, tak emise z nespalovacích procesů zůstávají stejné a naopak se vzrůstající intenzitou provozu na silnicích se úměrně zvyšují. Tyto částice se usazují na povrchu vozovek a v blízkosti svých zdrojů. Zpět do ovzduší se dostávají vlivem aerodynamického proudění za projíždějícími automobily, vlivem větru apod. Na živé organismy mají podobné účinky jako emise ze spalování.

Mezi hlavní prvky těchto emisí patří:

- Kadmium (Cd) - vzniká opotřebením různých součástí automobilů.
- Nikl (Ni) - vzniká hlavně uvolňováním z brzdového obložení.
- Chrom (Cr) - vzniká uvolňováním z brzdového obložení, separace rotujících částí motorů.
- Platina (Pt), Rhodium (Rh), Paladium (Pd) - vznikají uvolňováním z katalyzátorů.
- Olovo (Pb) – v minulosti byl zdrojem hlavně emise z nespáleného paliva (v současné době minimalizováno díky bezolovnatým benzínům), nyní jsou zdrojem např. oleje, maziva a částice z ložisek.

[1, 2]

2.2.3 *Hlukové emise a vibrace*

Hluk a vibrace jsou dalším z negativních vlivů, které nepříznivě ovlivňují životní prostředí, zvířata a lidi. Každý hluk po určité době (minimálně 10-15 let) vyvolává poruchy nervové soustavy. Ty dále vedou k poškození sluchu, snižují odolnost organismu vůči vnějším negativním vlivům a tím způsobují vývoj dalších nemocí. Což jsou hlavně poruchy spánku, únava, vředové choroby, kardiovaskulární poruchy atd.

Vnímání hluku je rozdílné u každého člověka. Závisejí na vnímavosti a funkčním stavu sluchového aparátu jedince. Sluchové orgány vnímají zvuky v rozmezí 16 – 20 000 Hz. Nebezpečí nevratného poškození sluchu vlivem hluku nastává již při 130 dB, což se nazývá práh bolesti.

Hlavním zdrojem hluku a vibrací z automobilového provozu je motor a jeho příslušenství při nižších otáčkách motoru a hluk z valení pneumatik při vyšších rychlostech automobilu. Hladina hluku osobního automobilu se pohybuje mezi 75 až 82 dB a u nákladních automobilů se pohybuje mezi 84 až 93 dB.

K zabezpečení efektivního systému hodnocení a řízení hluku v životním prostředí byla přijata směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002 / 49 / ES ze dne 25. června 2002, jejímž cílem je definovat společný přístup k zamezení, prevenci nebo snižování škodlivých účinků hluku na lidské zdraví a zajištění veřejné dostupnosti informací o environmentálním hluku a jeho účincích.

[1, 5]

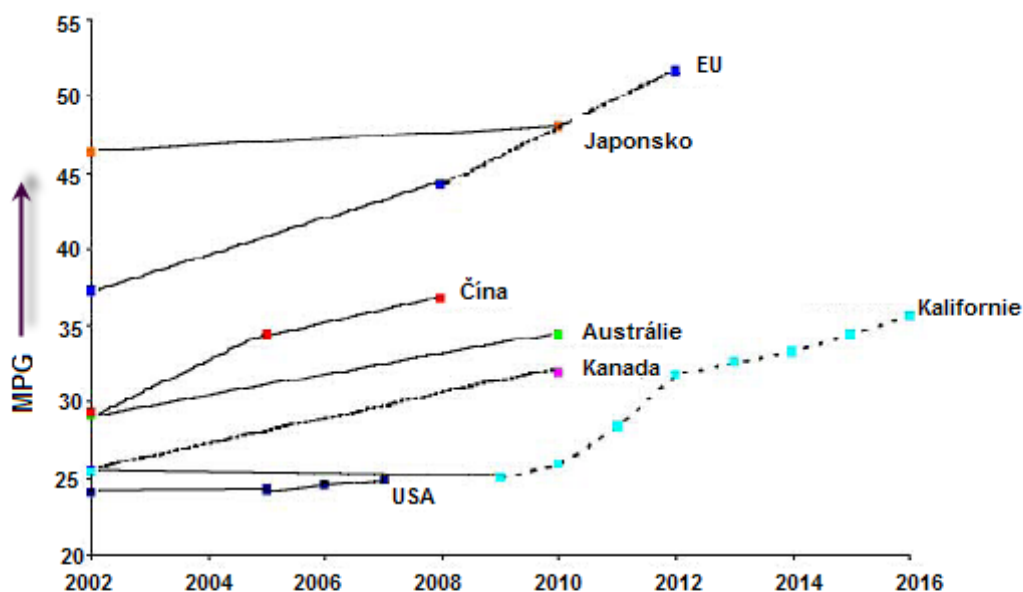
2.3 *Počátky sledování škodlivých emisí v automobilovém průmyslu*

Mezi normativní / administrativní nástroje v dopravě patří především technické parametry dopravních komunikací a vozidel. Nejznámější jsou zřejmě emisní standardy. První zemí, která emisní standardy zavedla, byly Spojené státy. Jedná se o tzv. CAFE normy (Corporate Average Fuel Economy). Ty byly poprvé schváleny americkým Kongresem v roce 1975. Tvoří součást zákona o energetické politice (Energy Policy Conservation Act) a jsou administrovány dopravní autoritou – National Highway Traffic Safety Administration.

Jejich cílem je zvýšit průměrnou palivovou efektivitu automobilů a lehkých nákladních vozidel (lehčích než 8,5 tis. liber, což je 3,856 tun) vyrobených na prodej v USA. Šlo o reakci na první ropnou krizi v roce 1973, jejímž cílem bylo snížit závislost na ropě. Palivová efektivita vozidel se vyjadřuje v mílich na galon paliva (mil/gal.). Pokud průměrná palivová efektivita u vozidel jednoho výrobce vyrobených za rok nesplňuje CAFE standardy, musí výrobce zaplatit pokutu (aktuálně 5,50 USD za 0,1 mil/gal. pod standardem) vynásobenou celkovou produkcí výrobce pro americký trh. I když CAFE normy upravují pouze spotřebu, je takto ovlivněna i produkce řady emisí, především CO₂ a dalších, které závisí na spotřebě paliv. Obdobou CAFE emisních standardů pro Evropskou unii jsou EURO normy. Jejich standardy jsou však zhruba dvakrát tak přísnější než americké CAFE (viz obr.2-2).

[9]

Obrázek 2-2: grafické porovnání emisních standardů v dopravě [9]



Poznámky: tečkované čáry představují navrhované standardy
MPG - spotřeba mile / galon (mile=1,609 km / galon=3,8 l)
Příklad: spotřeba 50 MPG odpovídá spotřebě 4,7 l / 100 km

2.4 Zavedení emisních norem EU v České republice

Vstupem ČR do EU od května 2004 byla naše země nucena ke sjednocení legislativy v souladu s Evropskou unií. V automobilovém průmyslu to znamenalo převzít normy na emisní limity EU s limity a termíny zavedení pro osobní automobily viz tab. 1 a pro nákladní automobily viz tab. 2.

Tabulka 1: vývoj EURO norem pro osobní automobily [6, 7]

Emisní limity	Rok	Oxid uhelnatý (CO) mg/km		Uhlovodíky (HC) mg/km		Oxidy dusíku (NO _x) mg/km		Částice (PM) mg/km	
		benzín	nafta	benzín	nafta	benzín	nafta	benzín	nafta
Euro 1	1992	2720	2720	-	-	-	-	-	140
Euro 2	1996	2200	1000	-	-	-	-	-	80
Euro 3	2000	2300	640	200	-	150	500	-	50
Euro 4	2005	1000	500	100	-	80	250	-	25
Euro 5	2009	1000	500	100	-	60	180	5	5
Euro 6	2014	1000	500	100	-	60	80	5	5

Pozn.: benzín = zážehový motor; nafta = vznětový motor

Tabulka 2: vývoj EURO norem pro nákladní vozidla [6, 7]

	Rok	Oxid uhelnatý (CO) g/kWh	Oxidy dusíku (Nox) g/kWh	Částice (PM) (g/kWh)	Uhlovodíky (HC) g/kWh
EURO 0		11,2	14,4		
EURO 1	1992	4,5	8	0,36	1,1
EURO 2	1996	4	7	0,25	1,1
	1998	4	7	0,15	1,1
EURO 3	2000	2,1	5	0,1	0,66
EURO 4	2005	1,5	3,5	0,02	0,46
EURO 5	2008	1,5	2	0,02	0,46
EURO6	2013	1,5	0,4	0,01	0,13

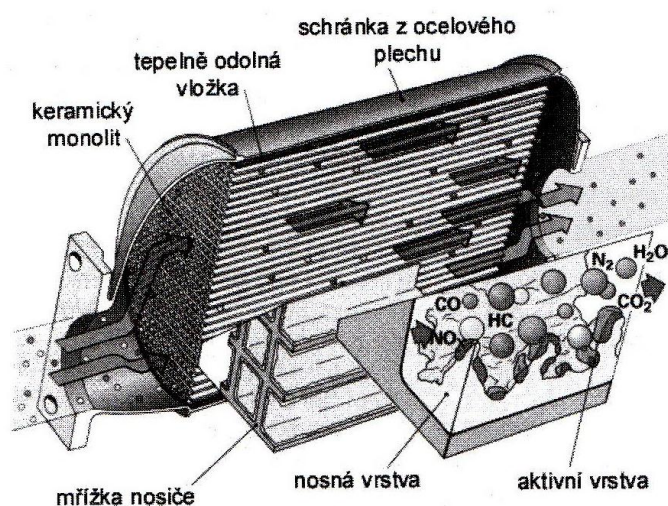
Evropské emisní standardy (tzv. EURO normy) jsou závazné emisní normy stanovující limitní hodnoty výfukových exhalací. Např. nová norma Euro 5 omezuje množství oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO_x) a množství pevných částic (PM). Hodnoty se uvádějí v miligramech na ujetý kilometr, nebo v g/kWh. Tyto látky však nejsou jediné, které automobil vypouští. Je zde např. oxid uhličitý, který je často zmiňován v souvislosti s globálním oteplováním, norma ho však neupravuje. Dále jsou zde např. sírné sloučeniny. Obsah síry v exhalacích je řešen v normách pro paliva (ČSN EN 590 pro naftu a ČSN EN 228 pro benzín) stanovením maximálního obsahu síry v palivu, a to na hodnotu max. 10mg/litr.

Zavedení nové Euro normy se provádí v několika fázích. První změny se týkají modelů nově představených na evropském trhu (např. pro Euro 5 byl stanoven termín 1. 9. 2009). Automobily, které do té doby vstoupily do prodeje, tento Euro standart splňovat nemusely. Avšak většina renomovaných výrobců tuto normu již dávno splňovala. Od termínu zavedení nové emisní normy musí plnit emisní limity všechny nově vyrobené automobily. Majitelé starších vozů se nemusí obávat změn, protože těch se nové předpisy netýkají.

[6, 7]

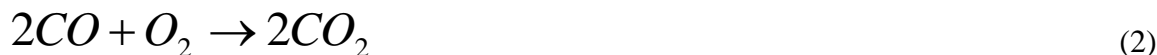
2.5 Emise zážehových motorů

Obrázek 2-3: katalyzátor [6]

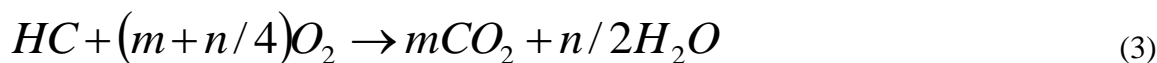


V současné době se ke snížení emisí výfukových plynů používají výhradně katalyzátory. Katalyzátor je látka, která způsobuje nebo urychluje chemickou reakci, bez toho, aby se sama změnila. Účelem katalyzátoru je následná přeměna škodlivých spalin CO, HC, a NO_x po spalovacím procesu, na neškodné látky

V katalyzátoru (obr. 2-3) probíhají oxidační chemické reakce které se dějí pomocí přebytku kyslíku a dochází zde k přeměnám oxidu uhelnatého, nespálených uhlovodíků a vodíku podle následujících chemických reakcí v rovnicích 2, 3, 4.



Oxid uhelnatý se mění na oxid uhličitý



Nespálené uhlovodíky se mění na oxid uhličitý a vodní páru



Vodík se mění na vodní páru

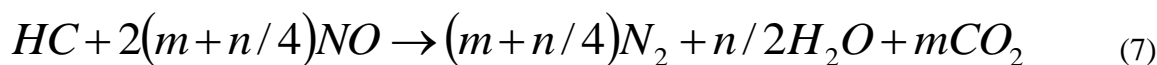
V další části katalyzátoru probíhají redukční chemické reakce, které probíhají za nedostatku volného kyslíku O_2 . Redukují se zde oxidy dusíku NO_x podle chemických reakcí v rovnicích 5, 6, 7.



Redukce oxidu dusnatého na dusík a oxidu uhelnatého na oxid uhličitý



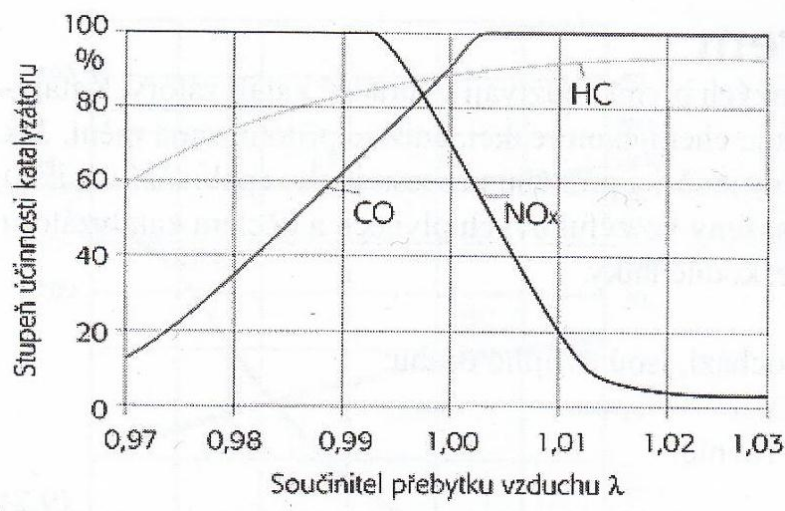
Redukce oxidu dusnatého na dusík a vodík oxiduje na vodní páru



Oxid dusnatý redukuje na dusík a nespálené uhlovodíky oxidují na oxid uhličitý a vodu

Katalyzátor má nejvyšší účinnost pro přeměnu škodlivých složek ve spalinách na neškodný oxid uhličitý, dusík a vodu při součiniteli přebytku vzduchu $\lambda=1$ viz obr. 2-4. Právě při tomto složení obsahují výfukové plyny dostatek kyslíku pro oxidaci a zároveň dostatek oxidu uhelnatého i nespálených uhlovodíků pro redukci oxidu dusnatého. Tento katalyzátor se nazývá třicestný, nebo také oxidačně redukční.

Obrázek 2-4: závislost účinnosti katalyzátoru na součiniteli přebytku vzduchu λ [6]



Třicestný katalyzátor musí být doplněn tzv. λ sondou, která je potřebná k řízení množství paliva v závislosti na množství vzduchu vstupujícího do spalovacího procesu. Výsledkem by měl být stechiometrický poměr vzduchu ve spalované směsi v motoru, který je 14,7 hmotnostních dílů vzduchu na 1 hmotnostní díl paliva.

Další důležitý faktor pro správnou funkci katalyzátoru je provozní teplota, která se musí pohybovat mezi 250 °C a 800 °C. Při teplotě do 600 °C dochází k vyššímu zanášení aktivní plochy katalyzátoru, při teplotách vyšších než 600 °C se sice katalyzátor zanáší méně, ale zase dochází k vyššímu termickému stárnutí. Maximální teplota katalyzátoru, která může nastat je 800 °C. To vychází z nejvyšší teploty spalin ve výfukovém systému. Při teplotě nižší než je 250 °C katalyzátor nefunguje. Z tohoto důvodu se v poslední době vyrábí katalyzátory elektricky vyhřívané, nebo se posouvají co nejbližší k motoru, aby mohl automobil plnit emisní limity co možná nejdříve.

Tento systém pro zážehové motory je schopen v současné době bez větších konstrukčních úprav plnit i nově nastupující emisní normu Euro 6, která vstoupí v platnost v roce 2014, a tak výroba může v budoucnu pokračovat bez větších finančních nákladů.

[6, 31]

2.6 Emise vznětových motorů

Vznětové motory pracují s velkým přebytkem vzduchu a tudíž je koeficient $\lambda > 1$ a pro likvidaci škodlivých látek ve výfukových emisích může být použit pouze oxidační katalyzátor. Ten dokáže přeměnit pouze oxidy uhlíku a nespálené uhlovodíky. Ke snížení obsahu pevných částic se používají tzv. filtry pevných částic (DPF – diesel particular filter). Současné vznětové motory obsahují v exhalátech velké množství oxidů dusíku, vzhledem k velkému objemu vzduchu při spalování díky turbodmychadlu a následně vysoké teplotě při spalování chudé směsi. Takže splňují limit u horní hranice v současnosti platného EURA 5, kde je horní limit pro NO_x stanoven na 0,18 g/km. V přicházejícím EURLU 6 bude snížen na 0,08g/km. Proto bylo nutno vyvinout nový systém, který by umožnil následnou redukci oxidů dusíku ve spalinách u vznětových motorů.

Tento systém se nazývá SCR (selective catalytic reduction), čemuž odpovídá český překlad selektivní katalytická reakce. Začal se používat u nákladních automobilů v roce 2005 a pomáhal splňovat nastupující emisní normu EURO 4. Původně u tohoto systému

probíhalo kontinuální vstřikování aktivní kapaliny do výfuku za pomoci stlačeného vzduchu. V podstatě to fungovalo na principu „fixírky“. Toto byl sice velký pokrok v redukci oxidů dusíku, ale protože zde nebyla řízena dávka vstřikované aktivní látky do výfuku, tak nebylo zdaleka využito maximální možnosti redukce škodlivých oxidů dusíku ve výfukovém systému.

Postupně se tento systém vylepšoval, aby bylo možné dávkovat aktivní látku do výfuku přesně podle zatížení motoru, teploty, vlhkosti nasávaného vzduchu a ostatních faktorů důležitých pro co maximální možnou redukci oxidů dusíku. Účinnost přesně nastaveného vstřikování může dosahovat až 85% snížení škodlivých emisí a z výfuku vystupují v podstatě pouze téměř neškodný oxid uhličitý, dusík a vodní pára.

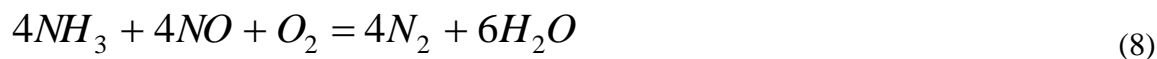
[6, 16, 31]

3. *Vliv AdBlue na emise spalovacího motoru*

Společně s SCR technologií byla uvedena na trh kapalina AdBlue, která působí jako reakční činidlo ve výfukovém systému. AdBlue je pouze obchodní název roztoku demineralizované vody a jakostní syntetické močoviny v přesně stanoveném poměru.

3.1 *Postupné zavádění SCR technologie (selektivní katalytické redukce)*

SCR technologie (Selective catalytic reduction) je v podstatě vstřikování AdBlue do výfukového systému zpravidla za filtrem pevných částic a před oxidačním katalyzátorem. Tato technologie redukuje oxidy dusíku ve výfukovém systému chemickou reakcí na čistý dusík N_2 a vodu H_2O . Celá chemická reakce je popsána v rovnici 8.



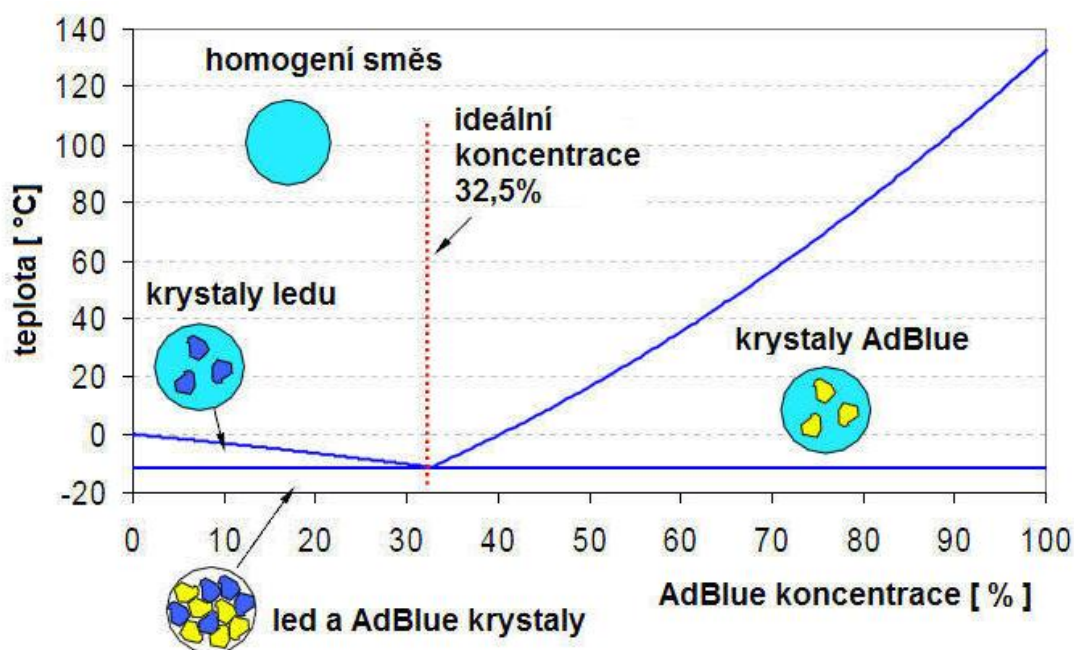
Platí, že čím vyšší číslo emisní normy EURO, tím přísnější limit pro znečišťující složky což přináší méně škodlivé exhaláty. Norma se vztahuje vždy na nově vyrobená vozidla, registrovaná od data platnosti nařízení dále. Například v normě Euro 4, která platí od roku 2005 je limit pro oxidy dusíku 250 g/kWh. V současné době platí norma Euro 5, která snížila limity pro oxidy dusíku na 180 g/kWh.

Zanedlouho vstoupí v platnost emisní norma EURO 6, a to již 1. ledna 2014. Ve srovnání s předchozí normou EURO 5 vyžaduje snížení emisí oxidů dusíku na 80 g/kWh. Motory s EURO 6 musí kromě toho dodržet emisní limity při každodenním používání minimálně po dobu 7 let nebo k dosažení 700 tisíc kilometrů. Auta vybavené vznětovými motory s velkým zdvihovým objemem bez vybavení technologií SCR již Euro 6 splňovat nebudou. Proto se již v současné době postupně zavádí tato technologie do sériové produkce. Zpočátku, od roku 2005, to byly pouze těžké nákladní vozy. V současnosti se již zavádí tato technologie do osobních, převážně luxusních aut s velkým zdvihovým objemem. Pilotním projektem byla automobilka BMW s modely X3 a X5, v roce 2008, v těsném závěsu byly automobilky Daimler, Mazda, GM a Ford, které osazují tuto technologii do svých tzv. „vlajkových lodí“.

3.2 AdBlue

Roztok AdBlue je většinou čirá bezbarvá kapalina, která obsahuje 32,5 % vysoce chemicky čisté syntetické močoviny a 67,5 % demineralizované vody. Obsah aktivní látky (močoviny) v AdBlue je dán specifikací podle normy ISO 22241 a musí být v intervalu od 31,8 do 33,1 %. Hodnota 32,5 % je pouze střední hodnota. Jedná se tudíž o vodný roztok chemicky vysoce čisté močoviny. Tato koncentrace byla zvolena za nejvhodnější díky nejnižšímu bodu teploty zamrznutí, který je v tomto případě -11 °C viz obr. 3-2.

Obrázek 3-1: závislost koncentrace AdBlue na teplotě zamrznutí [8]



3.2.1 Vlastnosti AdBlue

Pro správnou funkci systému SCR je velmi důležité, aby aktivní látka AdBlue měla správné vlastnosti podle specifikace z normy ISO 22241. Při dodržení všech požadavků se jedná o kapalinu těchto vlastností:

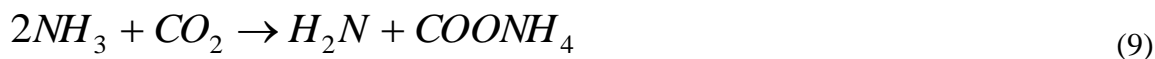
- Stabilní netoxický roztok syntetické močoviny a demineralizované vody.
- Dlouhá životnost (až 2 roky) při skladování při teplotách v rozmezí -5 °C až 32 °C.
- Hustota AdBlue se pohybuje mezi 1087 až 1093 kg/m³ při 20 °C.
- Zmraznutí a následné roztátí nemění chemické vlastnosti.
- Kapalina pro výfukové plyny je označena společností EPA jako „minimálně riziková“ látka.
- Jednoduchá přeprava této látky od výrobce směrem k distributorům ve formě kanystrů, sudů nebo velkoobjemových nádrží. Díky velmi nízkému riziku ohrožení zdraví a životního prostředí, bez speciálních požadavků na skladování a prodej.

3.2.2 Výroba AdBlue

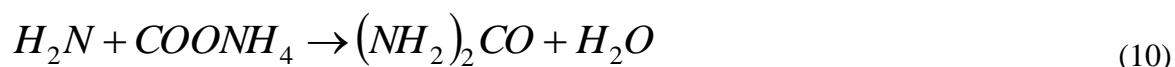
Demineralizovaná voda, která je jedna ze dvou složek AdBlue se vyrábí ve vícestupňovém procesu demineralizace včetně reverzní osmózy. Což je zařízení, které pomocí polopropustných membrán odstraňuje z vody rozpuštěné soli a minerály, které jsou běžně obsaženy ve vodě. Tyto soli a minerály by byly pro systém ECR škodlivé, protože by mohlo dojít k nežádoucím chemickým reakcím anebo v horším případě sedimentaci a tudíž k trvalému poškození systému.

Močovina (urea je název používaný v lékařství) je organická látka složená z uhlíku, dusíku, kyslíku a vodíku. Močovina je v pevném stavu bílá krystalická látka. Z tohoto důvodu můžeme vidět tam, kde AdBlue zaschne, bílé krystalky nebo bílý povlak, což je známka toho, že se voda odpařila. Vyrábí se chemickou syntézou z amoniaku NH₃ a oxidu uhličitého CO₂. Její sumární vzorec je CH₄N₂O a funkční vzorec je (NH₂)₂CO.

První reakce je exotermní, popsána chemickou rovnicí 9 (chemická reakce, při níž je vyvíjeno teplo např. hoření).



Druhá reakce je endotermní, popsána chemickou rovnicí 10 (chemická reakce, při níž je spotřebováno teplo).



Obě reakce dohromady jsou exotermní.

Čistá močovina se vyrábí v tlakovém reaktoru za vysoké teploty a tlaku. Potom se močovina vysuší a granuluje. Celá výroba je poměrně energeticky náročná a složitá. Továrny na výrobu močoviny jsou velké chemické závody, kterých lze v Evropě najít hned několik. Jsou to např. Greenchem v Holandsku, Yara ve Velké Británii, SKW Piesteritz se sídlem v Německu, BASF působící po celém světě a jiné.

Podle výše popsané výroby vyznívá popsáný princip poměrně jednoduše, ale celá výroba je naopak náročný proces. Ten lze provádět jen při splnění přísných podmínek licence, které uděluje VDA (Verband der Automobilindustrie, tj. Svaz automobilového průmyslu). Extrémně přísné podmínky jsou kladeny nejen na použité suroviny, ale rovněž na technologickou stránku věci při samotné výrobě, při stáčení do cisteren a obalů a další distribuci AdBlue k zákazníkovi.

AdBlue se vyrábí rozpouštěním chemicky čisté syntetické močoviny v demineralizované vodě. Tento proces probíhá, buď přímo v chemické továrně, kde se močovina vyrábí, nebo se převáží pouze čistá močovina ve formě granulí určená pro výrobu AdBlue do bližší továrny ke koncovým zákazníkům, což vede ke snížení nákladů za dopravu.

Když se Adblue míchá přímo v chemické továrně tak je technologickou výhodou, že použitá močovina má vyšší teplotu, což usnadňuje rozpouštění močoviny ve vodě. V tomto případě jsou zde ale zvýšené náklady na dopravu, protože při převozu AdBlue se do převozních nákladů musí započítat již obsažená voda v roztoku, která zaujímá více jak 2/3 převáženého objemu.

Naopak při výrobě AdBlue mícháním ve vzdálené továrně se ušetří za přepravní náklady díky převozu pouze čisté močoviny. Ta se převezve ve formě granulí bez povrchové úpravy proti spékání. Ekonomickou nevýhodou tohoto procesu je, že se ohřívá demineralizovaná voda na teplotu 40 – 45 °C kvůli snadnějšímu rozpouštění močoviny. Dalším důležitým důvodem ohřevu vody je, že při rozpouštění močoviny se spotřebovává teplo a tak dochází k poměrně prudkému ochlazení. Proto by ve studené vodě mohla

dokonce nastat situace, že by roztok zamrzl. Je to z hlediska ekonomického náročnější, než předchozí verze, protože se musí ohřát voda (v předchozí variantě je močovina ohřátá z výrobního procesu). Takže je vždy důležité zvážit výhodnější variantu a tu následně použít.

3.2.3 Použití močoviny

Ročně je v celosvětovém měřítku vyrobeno více než 100 milionů tun močoviny. Vyrábí se ve formě vloček, granulí, kuliček krystalů a roztoků. Více než 90 % produkce je využito pro výrobu hnojiv v zemědělství na podporu růstu. Díky svému vysokému obsahu dusíku, který dosahuje 46,4 %, má nejnižší náklady na přepravu vztaženou na jednotku dusíkatých živin. Další možné využití močoviny:

- Surovina pro výrobu plastů, zejména močovino-formaldehydových pryskyřic.
- Surovina pro výrobu lepidel močovino-formaldehydových a močovino-melamin-formaldehydových.
- Alternativa kamenné soli při rozmrazování silnic a přistávacích ploch, kdy močovina nezpůsobuje korozi v takovém rozsahu jako sůl. Jako zimní posyp (např. na chodníky – vyhláška 39/1997 MHMP) je akceptována Odborem ochrany prostředí MHMP nebo Agenturou pro ochranu přírody. Za nevýhodu je považováno přílišné bujení plevelné zeleně.
- Přísada cigaret obohacující chuť.
- Přísada v některých vlasových kondicionérech, koupelových olejích a pleťových vodách.
- Složka mnoha bělicích zubních past.
- V uhelných elektrárnách a dieselových motorech pro redukci emisí NO_x (u dieselových motorů v kapalině AdBlue).
- V laboratořích pro reverzibilní denaturaci proteinů, jako tzv. chaotropní činidlo, které efektivně ruší nekovalentní interakce v molekule proteinu.
- V medicíně pro podporu rehydratace kůže v dermatologických produktech, při klinické diagnostice funkce ledvin či radioizotopem označené močoviny použité při detekci bakterie *H pylori* v žaludku či dvanáctníku.
- V textilním průmyslu je často používána při barvení a potisku.

3.2.4 Skladování, přeprava a kontrola kvality AdBlue

Skladování AdBlue je nutné zabezpečit při teplotách od -5 do 32 °C, na vhodném místě mimo dosah přímého slunečního záření, chráněném před znečištěním obalu nebo zásobníku. Při teplotě nižší než -11 °C AdBlue zamrzá a při teplotě vyšší než 32 °C se začíná postupně rozkládat močovina na čpavek (NH₃) a oxid uhličitý CO₂. První projev rozkladu je charakteristický slabým, později zesilujícím čpavkovým zápachem kapaliny.

Při manipulaci s AdBlue je třeba dodržovat čistotu. V nejlepším případě by se mělo AdBlue čerpat přímo z originálního obalu nebo zásobníku do nádrže auta, aby bylo co možná nejmenší možné riziko kontaminace. V případě, že to není technicky možné, tak je nutné používat na přelévání čistou nejlépe plastovou nádobu. Měly by se používat čisté plastové kanystry, které se po každém použití hermeticky uzavřou a zůstávají skladovány v čistém prostředí. Před prvním použitím by se měly vypláchnout malým množstvím AdBlue. Největší riziko kontaminace nastává při přelévání do nádrže v autě, proto je třeba při tomto procesu co možná nejvíce dodržovat čistotu při této manipulaci, aby se zamezilo znečištění kapaliny a následnému možnému poškození SCR systému.

Největší riziko znečištění AdBlue vzniká od ropných látek. Možné znečištění může nastat při přelévání kapaliny do nádrže v autě použitím prostředků znečištěných od ropných produktů. Toto znečištění se v kapalině AdBlue snadno rozpozná, protože ropné skvrny plavou na povrchu. Nízká hladina znečištění ropnými látkami asi tak do 100 mg/l není ještě pro systém nebezpečná, ale hodnoty vyšší by již mohly celý systém poškodit. Obsah ropných látek se dá například zjistit pomocí hydrofobních testovacích proužků (např. Oil test paper od firmy Macharey – Nagel).

Další možná nebezpečí znečištění jsou od hrubých nečistot. Tyto produkty se mohou dostat do kapaliny také při přelévání do nádrže v autě použitím znečištěných prostředků na přelévání např. trychtýře, nálevky, uvolnění nečistot z vnějšího povrchu kanystru apod. Zachycování těchto hrubých nečistot by mělo být zajištěno různými druhy filtrů osazených v systému SCR. První je hrubé sítko v nádrži, potom je jemné sítko před podávacím čerpadlem a další před vstřikovacím ventilem v řádech 10 µm. Takže by k poškození systému nemělo dojít. Pouze v případě velkého množství těchto částic by mohlo nastat úplné ucpání filtrů a tím by se systém stal nefunkční. Následně by mohlo nastat trvalé poškození podávacího čerpadla, které by běželo naprázdno.

Další možný kvalitativní problém by mohl nastat při nesprávné koncentraci AdBlue. Nedostatek aktivní látky v roztoku, ke kterému by muselo dojít nějakým naředěním ze strany uživatele, by pravděpodobně nezpůsobil závadu na systému, ale dá se předpokládat vyšší spotřeba provozní kapaliny. V horším případě by systém diagnostikoval závadu v důsledku nevyhovujících exhalací za SCR katalyzátorem vlivem nízké koncentrace močoviny jako chybu a nutil by uživatele k návštěvě servisu. Jestli je AdBlue namícháno ve správném poměru je možné zkontrolovat hustoměrem (správná hustota je 1090 kg/m^3 při $20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Obrázek 3-2: refraktometr ATAGO PAL - Urea [8]



Druhá možnost jak zjistit správný poměr roztoku AdBlue je refraktometr viz obrázek 3-3. Tento přístroj měří index lomu světla, který udává poměr mezi rychlostí šíření světla ve vakuu a v měřeném roztoku. Ten se musí pohybovat v intervalu 1,3814 až 1,3843 v případě správného obsahu aktivní látky. Lom světla se v přístroji přepočítá a na displeji přístroje se uživateli hned zobrazuje měřená hodnota aktivní látky měřeného roztoku. Tento přístroj je velmi přesný, uživatelsky jednoduchý. Jeho cena se pohybuje někde okolo 220 EUR. Takže je relativně cenově dostupný pro firmy, které se zabývají servisem a distribucí AdBlue. Proto, když má uživatel nějaké pochybnosti o kvalitě nakoupeného, dlouho skladovaného, nebo nepoužívaného AdBlue, tak si ho může nechat zkontrolovat.

[6, 7, 8, 9, 11]

4. Zařízení pro vstřikování AdBlue do výfuku

Zástavba systému SCR v automobilech, komponenty ze kterých se systém skládá, problematika spojená s jejich funkcí a podrobný popis systému SCR „Bosch Denoxtronic“ po komponentech podle servisní příručky lehkého užitkového automobilu VW Crafter je popsán v níže uvedených kapitolách.

4.1 Jak funguje SCR

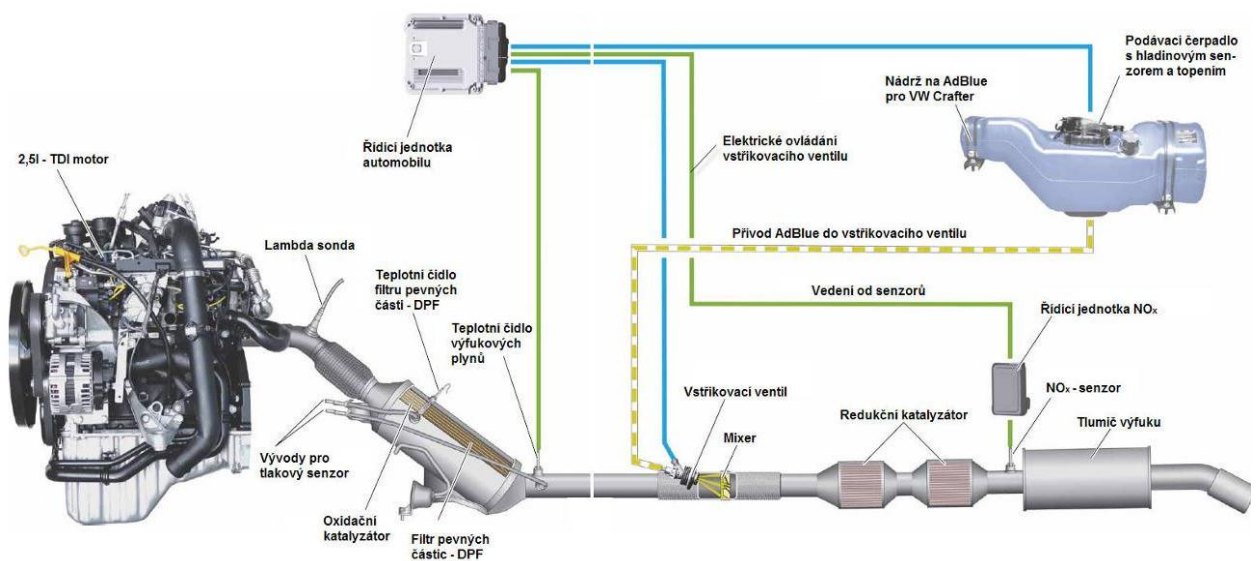
SCR technologie vstřikuje kapalinu AdBlue přímo do výfukového prostoru, kde se směšuje s exhaláty z motoru. Dochází zde k řadě chemických reakcí v prostředí katalyzátoru, na jejímž konci se většina nebezpečných oxidů dusíku přemění na neškodné látky. Voda obsažená v AdBlue se po vstřiknutí odpaří a zbylá močovina se přemění na amoniak. Ten reaguje v SCR katalyzátoru s oxidy dusíku NO_x a přemění se na vodu H_2O a dusík N_2 . Množství kapaliny AdBlue, vstřikované do výfukového potrubí, je závislé na okamžitém zatížení motoru, teplotě spalin ve výfuku, okamžitých otáčkách motoru a vlhkosti nasávaného atmosférického vzduchu. Kontrolu kvality práce SCR systému zajišťuje senzor obsahu NO_x umístěný těsně za SCR katalyzátorem. Tento senzor je připojen na řídicí jednotku, která řídí množství vstřikované kapaliny přes vstřikovací ventil do výfukové soustavy.

Celý systém je zpravidla tvořen komponenty zobrazenými na obrázku 4-1:

- Řídicí jednotka DCU (dosing control unit) zajišťuje přesné dávkování AdBlue do výfukového systému na základě snímače umístěného za SCR katalyzátorem a ostatních snímačů umístěných na motoru potřebných pro správný chod systému.
- Nádrž (Urea Tank), ve které je zásoba AdBlue. Dále je zde osazen filtr, který zabraňuje vniknutí nečistot do čerpadla a do celého systému. Součástí nádrže je podávací čerpadlo včetně tlakového ventilu, které vytváří požadovaný pracovní tlak. V nádrži je umístěn hladinový senzor, který zajišťuje kontrolu výšky hladiny v nádrži a díky postupnému snímání s digitální linearizací hladiny DLS (discreet level sensor), pomáhá řídicí jednotce optimalizovat funkce celého systému.

- Vyhřívané vedení mezi čerpadlem a vstříkovacím ventilem zajišťuje, aby v zimním období nedocházelo k zamrznutí provozní kapaliny při teplotách nižších než -11°C , vzhledem k velmi malému objemovému průtoku.
- Vstříkovací ventil (Urea injector), zajišťuje vstříkování AdBlue do výfukového potrubí.
- V SCR katalyzátoru (SCR converter), dochází k redukcí oxidů dusíku NO_x za pomoci čpavku. Ten se uvolní při hydrolyze po vstříknutí AdBlue do výfukového potrubí v tzv. mixeru umístěném před katalyzátorem. Následně v katalyzátoru proběhne přeměna většiny škodlivých oxidů dusíku na neškodný dusík a vodu.
- Snímač výfukových plynů detekující obsah NO_x za katalyzátorem SCR, který zpětně informuje řídicí jednotku pro SCR o potřebném vstříkovaném množství pro správnou funkci systému.

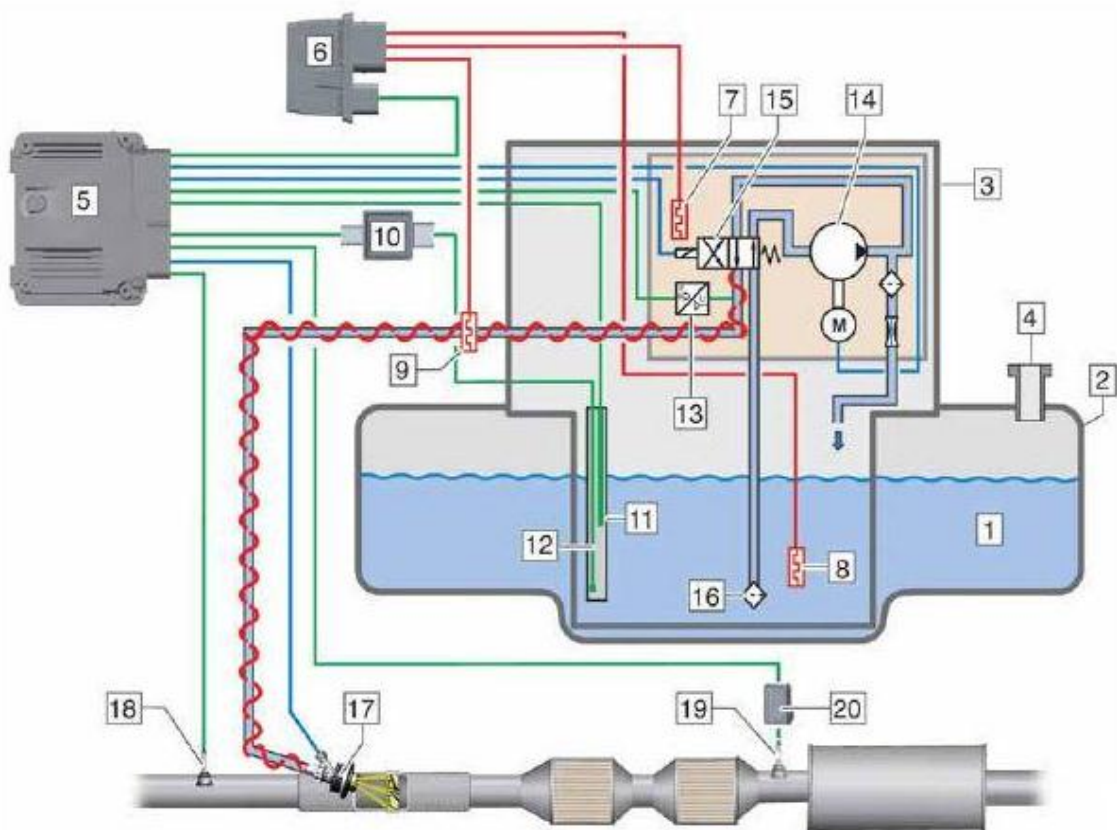
Obrázek 4-1: systém SCR - redukce oxidů dusíku NO_x [10]



4.2 Komponenty systému SCR BOSCH Denoxtronic

Popis komponentů důležitých pro funkci celého systému popsanych na základě lehkého užitkového automobilu VW Crafter (obrázek 4-2).

Obrázek 4-2: systém SCR BOSCH Denoxtronic - VW Crafter [10]



1. Aktivní kapalina AdBlue 32,5%, určená pro zajištění správného chodu systému SCR.
2. Nádrž na aktivní kapalinu AdBlue, objem 31 litrů (VW Crafter).
3. Podávací čerpadlo.
4. Plnicí otvor nádrže.
5. Řídicí jednotka motoru zajišťující požadovaný chod motoru současně s přesnou koordinací systému SCR a ostatními systémy důležitými pro chod motoru a splnění emisních limitů.
6. Řídicí jednotka topení, zajišťující v případě potřeby (teplota pod bodem mrazu), aby byl systém vyhříván a správně fungoval i v zimním období.

7. Topení podávacího čerpadla vyhřívá aktivní látku v čerpadle a tím zabraňuje možnému trvalému poškození čerpadla při teplotách pod bodem mrazu.
8. Topení v nádrži zajišťuje, aby i po zamrznutí aktivní látky v nádrži byla kapalina co možná nejdříve po spuštění motoru připravena ke správnému fungování systému.
9. Topení v přívodní hadici zajišťuje, aby již rozmražená aktivní kapalina za čerpadlem opět nezmrzla cestou do vstřikovacího ventilu.
10. Vyhodnocovací jednotka NO_x zpracovává informace z NO_x senzoru.
11. Ukazatel hladiny AdBlue v nádrži diagnostikuje výšku hladiny, zobrazuje nízký stav hladiny na přístrojové desce s odhadem dojezdu kilometrů na zbývající náplň.
12. Teplotní čidlo poskytuje informace o aktuální teplotě v nádrži řídicí jednotce topení (6), ta na základě těchto informací řídí vytápění celého systému (7, 8, 9).
13. Tlakový snímač na podávacím čerpadle udržuje tlak v podávacím čerpadle na hodnotě $5 \pm 0,5$ baru, přebytečnou kapalinu vrací přepadem zpět do nádrže.
14. Čerpadlo (membránové) zajišťuje sání z nádrže a vytvoření požadovaného tlaku potřebného pro vstřikování AdBlue do výfukového systému.
15. Čtyřcestný ventil zajišťuje při vypnutí motoru zpětné odčerpání aktivní látky AdBlue ze vstřikovacího ventilu, potrubí a podávacího čerpadla do nádrže, aby při teplotách pod bodem mrazu (-11 °C a nižších) nenastalo zmrznutí kapaliny a následné možné trvalé poškození systému.
16. Filtr částic v nádrži zamezuje vniknutí hrubých nečistot do systému a možnému zanesení systému.
17. Vstřikovací ventil aktivní kapaliny AdBlue zajišťuje směšování aktivní kapaliny, se spalinami z motoru přímo ve výfukovém systému.
18. Teplotní čidlo výfukových plynů poskytuje informace o teplotě výfukových plynů řídicí jednotce motoru, pro přesné řízení funkcí ovládacích prvků potřebných pro správný chod motoru včetně plnění emisních limitů.
19. Čidlo NO_x předává informace řídicí jednotce systému o stavu oxidů dusíku ve výfukovém systému za SCR katalyzátorem.
20. Snímač NO_x zajišťuje přenos informací od čidla NO_x do řídicí jednotky pro následné dávkování aktivní kapaliny do spalin motoru a tím požadované chemické reakce v přesném složení látek ve výfuku.

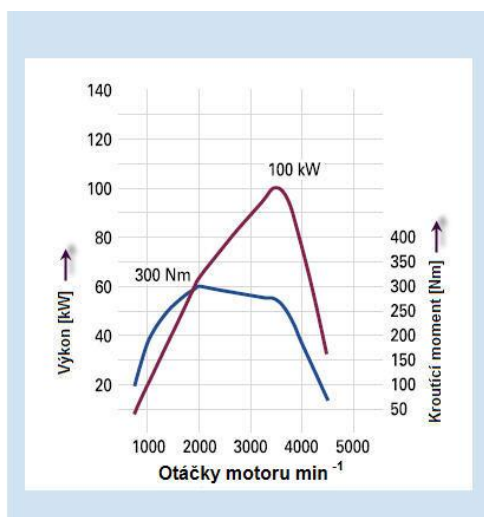
4.3 Popis funkcí základních komponentů BOSCH Denoxtronic

Funkce základních komponentů Bosch Denoxtronic budou popsány níže na základě automobilu VW Crafter obr. 4-3, základní parametry automobilu a výkonová charakteristika motoru na obr. 4-4.

Obrázek 4-3: lehký užitkový automobil VW Crafter s SCR systémem [10]



Obrázek 4-4: charakteristika motoru 2.5 TDI [21]



Technické parametry automobilu:

Počet válců: 5

Rozvodový systém: DOHC

Zdvihový objem: 2,46 l

Maximální výkon / otáčky [kW / min]: 100 / 3500

Kroucí moment / otáčky [Nm / min]: 300 / 2200

Převodovka: šestistupňová manuální

Maximální rychlost [km / h]: 155

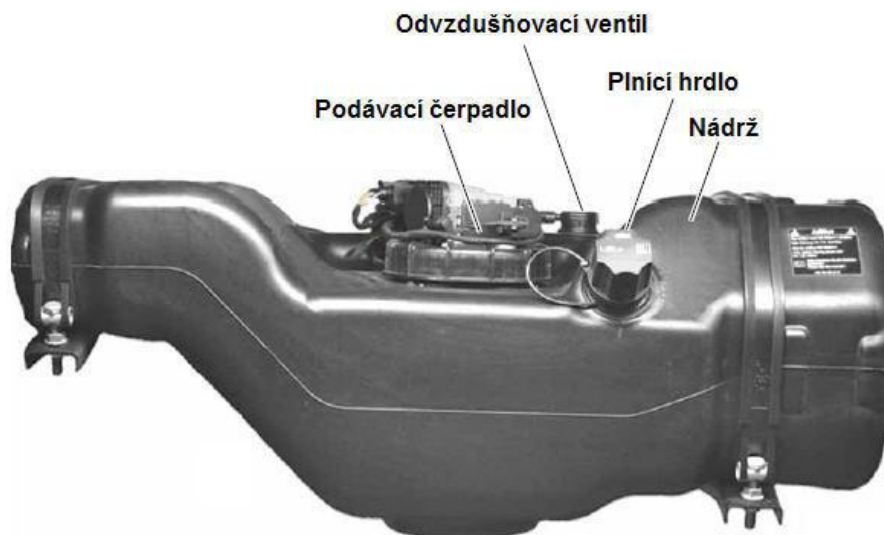
Kombinovaná spotřeba [l / 100km]: 9,1 l

[18]

4.3.1 Nádrž na aktivní látku AdBlue

Nádrž je monolitický výstřik z plastu (Polyetylenu) viz obr 4-5. Nádrž je vybavena nalévacím hrdlem se závitem s osazeným víkem a odvzdušňovacím ventilem. Objem nádrže je koncipován tak, aby náplň vydržela celý servisní interval a uživatel vozu nemusel dolévat aktivní látku AdBlue. Ta má být dolévána v servisu v rámci servisní prohlídky. Při spotřebě AdBlue cca. 1 litr na 1000 kilometrů je to u tohoto modelu možné, protože tato nádrž má využitelný objem 31 litrů. Celý objem nádrže je sice asi 35 litrů, ale nemůže být kompletně využit pro AdBlue, protože zde musí být prostor pro teplotní roztažnost aktivní kapaliny. V zimním období se musí počítat s úplným promrznutím kapaliny při plném stavu v nádrži. Vzhledem k objemovému nárůstu zamrzlého AdBlue cca. o 10 %, je nutno počítat s možností expanze AdBlue při konstrukci nádrže. Při přelítí nádrže by mohlo nastat poškození elektronických či mechanických součástí v nádrži, nebo přímo poškození nádrže a následnému úniku AdBlue.

Obrázek 4-5: nádrž na AdBlue [10]



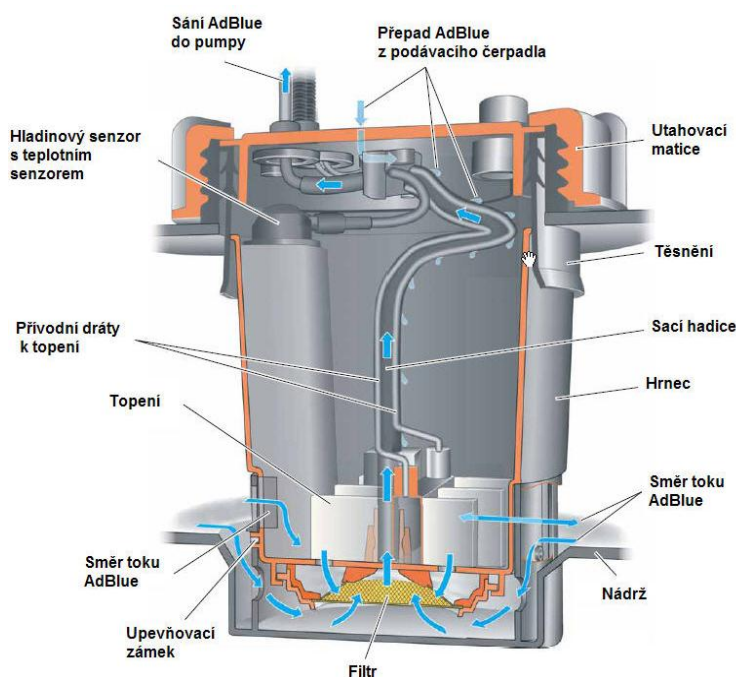
Při zavádění SCR systému do osobních automobilů zpočátku byly snahy nedoplňovat AdBlue uživatelem, a dolévání zajistit při servisních prohlídkách. V současné době s použitím tzv. „longlife“ olejů se nastavuje servisní interval někde mezi 20 – 30 000 kilometry, v ojedinělých případech se může blížit až k 50 000 kilometrům. V těchto

případech by samozřejmě nebylo možné v osobním autě umístit nádrž s tak velkým objemem, který by musel dosahovat 25 litrů a více. V dnešní době by to bylo zbytečné díky dostupnosti AdBlue v běžné prodejní síti čerpacích stanic. Také při manipulaci s tímto roztokem se nevyžadují žádné zvláštní bezpečnostní předpisy. Dolévání je stejně jednoduché jako tankování pohonných hmot, takže to uživatele vozu nijak zvlášť neobtěžuje. Z tohoto důvodu by bylo zbytečné zabírat prostor nadměrně objemnou nádrží na AdBlue, kterého u osobních vozů není mnoho, a je možnost ho využít jinak.

4.3.2 Sací modul s topením, filtrem a hladinovým senzorem

Sací modul je osazen v nádrži na AdBlue viz obr. 4-6. a je zde upevněn v tzv. hrci na dně nádrže, ve speciálním bajonetovém držáku. Mezi nádrží a hrcem je osazen filtr hrubých částí, který brání možnému vniknutí hrubých nečistot do systému. Z filtru vede sací hadice, ve které jsou čtyři otvory v celé délce. První dva jsou využívány jako sací a zpětné vedení AdBlue, v dalších dvou jsou vloženy dráty pro topení umístěné nad filtrem. Toto topení slouží k rychlému rozmrazení aktivní látky v nádrži nejdříve v okolním prostoru sání, aby mohl systém v případě úplného zamrznutí co nejdříve začít správně pracovat a postupně rozmrazit zbytek kapaliny v nádrži. Při správném fungování by měl SCR systém nejdéle do 20. minut začít fungovat, a to při maximálním promrznutí celé nádrže.

Obrázek 4-6: sací modul s topením, filtrem a hladinovým senzorem [10]



Další důležitý díl osazený v hrci je senzor výšky hladiny. Ten je vyroben ze čtyř nerezových tyček různé délky, tzv. pinů, osazených na venkovním plášti. Jeden je určen pro detekci hladiny plné nádrže, druhý je referenční, třetí a čtvrtý na detekci spodní hladiny v nádrži. Uvnitř tohoto senzoru

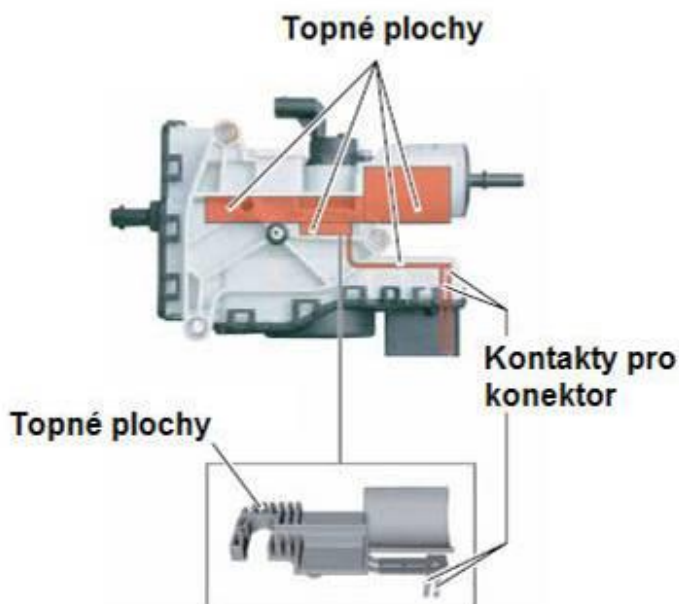
je ve spodní části zastříknut teplotní senzor. Ten předává informace o teplotě v nádrži do řídicí jednotky topení, která řídí vytápění systému při nízkých teplotách, aby mohl systém správně fungovat při všech provozních teplotách.

Další důležitou nosnou částí systému je víko hrnce. To je umístěné v horní části nádrže, a je upevněno utahovací maticí přes těsnění. To slouží k zabránění úniku AdBlue ven z nádrže. Na víku je šrouby připevněno sací čerpadlo. Hydraulická těsnost je opět zajištěna těsněním. Ze sacího čerpadla vede zpět do nádrže přes víko hrnce přepad z tlakového ventilu na čerpadle.

4.3.3 Podávací čerpadlo s topením

Podávací membránové čerpadlo je umístěno na víku hrnce na horní části nádrže pomocí šroubů a je dotěsněno přes o – kroužky na straně sání z nádrže i na straně přepadu, jehož funkcí je vracet přebytečnou provozní kapalinu zpět do nádrže. Čerpadlo slouží k dopravě AdBlue z nádrže až do vstřikovacího ventilu umístěného na výfukovém potrubí.

Obrázek 4-7: podávací čerpadlo s topením [10]



Čerpadlo je vybavené topením, které je zastříknuto přímo v plastovém odlitku těla čerpadla a je ovládané řídicí jednotkou pro topení viz obr. 4-7. Součástí podávacího čerpadla je sítko umístěné na vstupu do čerpadla, aby se zamezilo vstupu nečistot k membráně a následnému poškození. V čerpadle jsou přepouštěcí ventily ovládající sání a výtlak čerpadla. Čerpadlo přímo vytváří

pracovní tlak pro vstřikovací ventil, který je nastaven na 5 barů a je regulován tlakovým

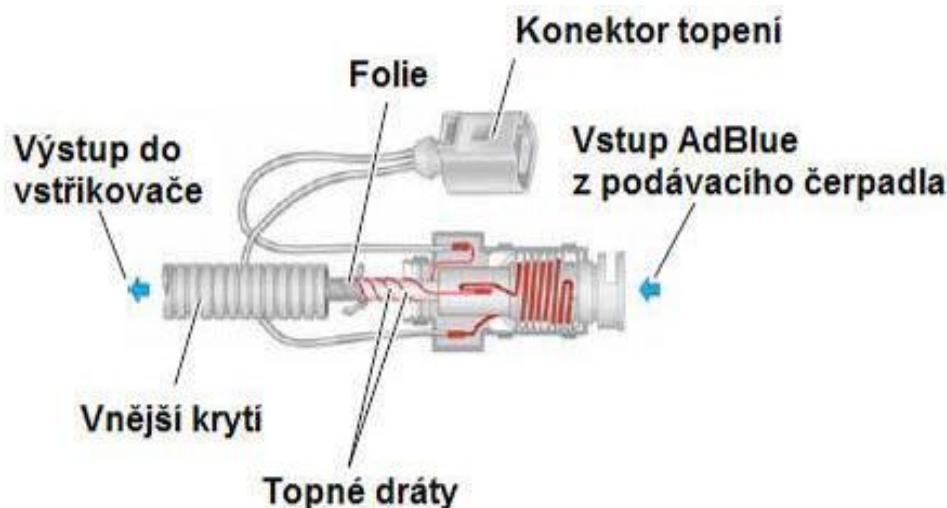
ventilem. Přebytek kapaliny, který v provozu nespotřebuje vstřikovací ventil dávkováním do výfuku, se vrací zpět do nádrže přepadem skrz víko hrnce.

Dále AdBlue protéká od tlakového ventilu skrz čtyřcestný ventil potrubím k vstřikovacímu ventilu. Při jízdě za standardního provozu SCR systému proudí AdBlue přes čtyřcestný ventil přímo do vstřikovacího ventilu na výfuku. Při zastavení automobilu a vypnutí motoru se čtyřcestný ventil přepne na reverzní režim, otevře se vstřikovací ventil a začne se odsávat AdBlue z celého systému zpět do nádrže. Po odsátí z celého systému, které trvá asi 5 vteřin se vstřikovací ventil uzavře, čtyřcestný ventil se přepne zpět do provozního režimu a systém se odstaví. V tomto stavu je systém SCR opět připraven pro další spuštění.

4.3.4 Propojovací trubka čerpadla a vstřikovacího ventilu vybavená topením

Propojovací trubka je plastová, osazená z obou stran SAE konektorem pro připojení z jedné strany k podávacímu čerpadlu a z druhé strany ke vstřikovacímu ventilu na výfukovém potrubí viz obr. 4-8.

Obrázek 4-8: přívodní trubka AdBlue do vstřikovače [10]



Trubka je obalená tepelnou folií, která zajišťuje vyhřívání AdBlue při teplotách pod bodem mrazu, aby kapalina nezamrzla při transportu z čerpadla do vstřikovače. Protože je v potrubí minimální průtok vzhledem k velmi malé měrné spotřebě této kapaliny v systému, tak by hrozilo opětovné zmrznutí. Z této folie jsou vyvedeny kabely s konektorem pro připojení k řídicí jednotce pro topení. Celá trubka včetně folie je překryta vnějším překrytím, kvůli ochraně proti mechanickému poškození.

4.3.5 Vstřikovací modul

Vstřikovací modul je umístěn přímo na výfukovém potrubí, na kterém je přivařena speciální příruba pro připojení vstřikovacího ventilu před mixerem a redukčním katalyzátorem. Mezi ventilem a přírubou na výfuku je kovové těsnění potažené speciálním gumovým povrchem. Funkcí tohoto těsnění je zamezení úniku AdBlue ze strany ventilu a výfukových plynů z potrubí do okolního prostředí. Zástavba vstřikovacího ventilu na výfukovém potrubí je zobrazena na obrázku 4-9.

Obrázek 4-9: zástavba vstřikovacího ventilu na výfuku [10]

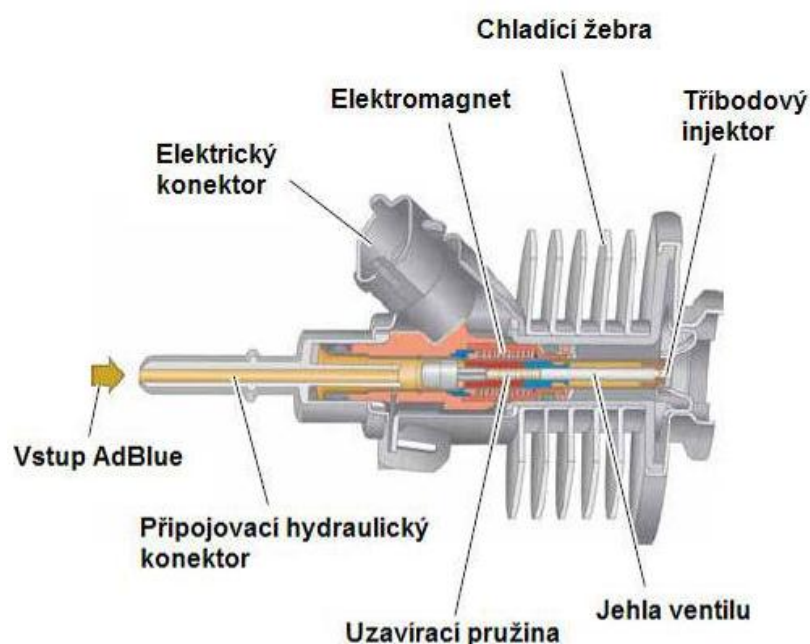


Do vstřikovacího ventilu je přiváděno AdBlue od podávacího čerpadla, které je pod stálým provozním tlakem 5 barů. Dále proudí přes připojovací hydraulický konektor dotěsněný pryžovým těsněním na vstřikovací ventil viz obrázek 4-10. Vstřikovací ventil je v podstatě stejný jako benzínový vstřikovač do zážehového motoru. Rozdíl je pouze v použitých materiálech. Tento ventil je vybaven velmi jemným filtrem s propustností 36 μm . Otevírání ventilu je ovládáno elektromagnetem a uzavírání je zajištěno vinutou pružinou, která je pod stálým předpětím. Ve dně vstřikovacího ventilu je tři až šest otvorů o průměru 90 μm , kterými je rozprašováno AdBlue do výfukového potrubí před mixerem.

Vstřikovací ventil je vsazen v nerezovém chladiči, který zároveň slouží jako nosný prvek celého vstřikovacího modulu. Další funkce chladiče je odvod tepla od špičky ventilu ohřívané výfukovými plyny přes grafitové vložky a chladičí žebra do okolního prostředí. Teplota vstřikovacího ventilu by neměla přesáhnout 80 °C. Při teplotách vyšších nastává uvolňování čpavku z AdBlue. Pro výrobu vstřikovacího modulu jsou použity velmi kvalitní materiály jak austenitická nerezová ocel, tak i gumové materiály použité pro těsnění. Ale přesto i tyto materiály nedokážou odolávat uvolněnému čpavku při vyšších

teplotách a nastává předčasná degradace materiálu s postupnou mikrokorozí a následky trvalého poškození. Proto je v současnosti vyvinut pro novou generaci vstřikovacích modulů vodou chlazený vstřikovač, u kterého bude zajištěna stálá teplota v okolí vstřikovače a tím bude eliminováno uvolňování čpavku ještě ve ventilu před vstřikem do výfuku. Další výhodou bude možné posunutí vstřikovače blíž k motoru a tím bude katalyzátor schopen začít dříve pracovat díky rychlému dosažení provozní teploty.

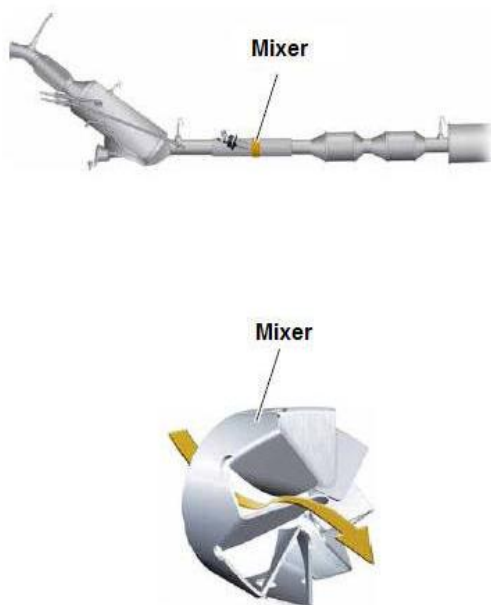
Obrázek 4-10: řez vstřikovacím ventilem [10]



Nutnou podmínkou pro počátek vstřikování AdBlue do výfukového potrubí je dosažení minimální teploty spalin 200 °C. Tuto informaci předá teplotní senzor, který měří teplotu spalin za filtrem pevných částic řídicí jednotce. Vstřikování ventilu je ovládáno elektricky z řídicí jednotky elektrickým impulzem do cívky elektromagnetu, který překoná přítlačnou sílu pružiny a zvedne se jehla ze sedla ventilu, která otevře otvory ve dně. Protože je v systému stálý tlak provozní kapaliny, dojde ke vstříknutí kapaliny do výfuku. Tento elektrický signál trvá několik desítek milisekund podle potřebné dávky a opakuje se cca. 10-20 x za minutu. Vzhledem k tomu, že jsou otvory ve vstřikovači velmi malé, v řádu desítek μm , je vstřikované množství také velmi malé a tím i spotřeba této kapaliny. Spotřeba AdBlue se pohybuje u osobních automobilů a lehkých užitkových automobilů cca. 1 litr na 1000 ujetých kilometrů. Což odpovídá přibližně při průměrné spotřebě paliva 7 l / 100km spotřebě 0,015 litrů AdBlue na 1 litr spotřebovaného paliva.

4.3.6 Směšování AdBlue s výfukovými plyny – mixer

Obrázek 4-11: směšování AdBlue s výfukovými plyny [10]

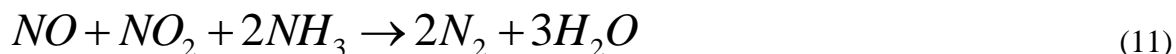


Po vstříknutí AdBlue ze vstřikovače do výfukového potrubí se aktivní kapalina rozpráší ve formě velmi malých kapiček. AdBlue se rozdělí na vodu, která se vypaří a zůstane pouze čistá močovina, která se smísí s výfukovými plyny. Pro dokonalé promíchání AdBlue s výfukovými plyny je ve výfuku mezi vstřikovačem a redukčním katalyzátorem umístěn tzv. mixer vyrobený z nerezové austenitické oceli viz obr. 4-11. Toto zařízení vypadá jako vícelistá vrtulka zabírající celý průřez výfukového systému, přes kterou musí projít veškeré výfukové

plyny. Tím nastane promíchání spalin a amoniaku NH_3 v homogenní směs připravenou pro chemickou reakci v katalyzátoru pomocí tzv. hydrolyzy. Ideální podmínky pro možnou přeměnu oxidů dusíku NO_x nastanou za předpokladu minimální teploty $200\text{ }^\circ\text{C}$.

4.3.7 Redukční katalyzátor

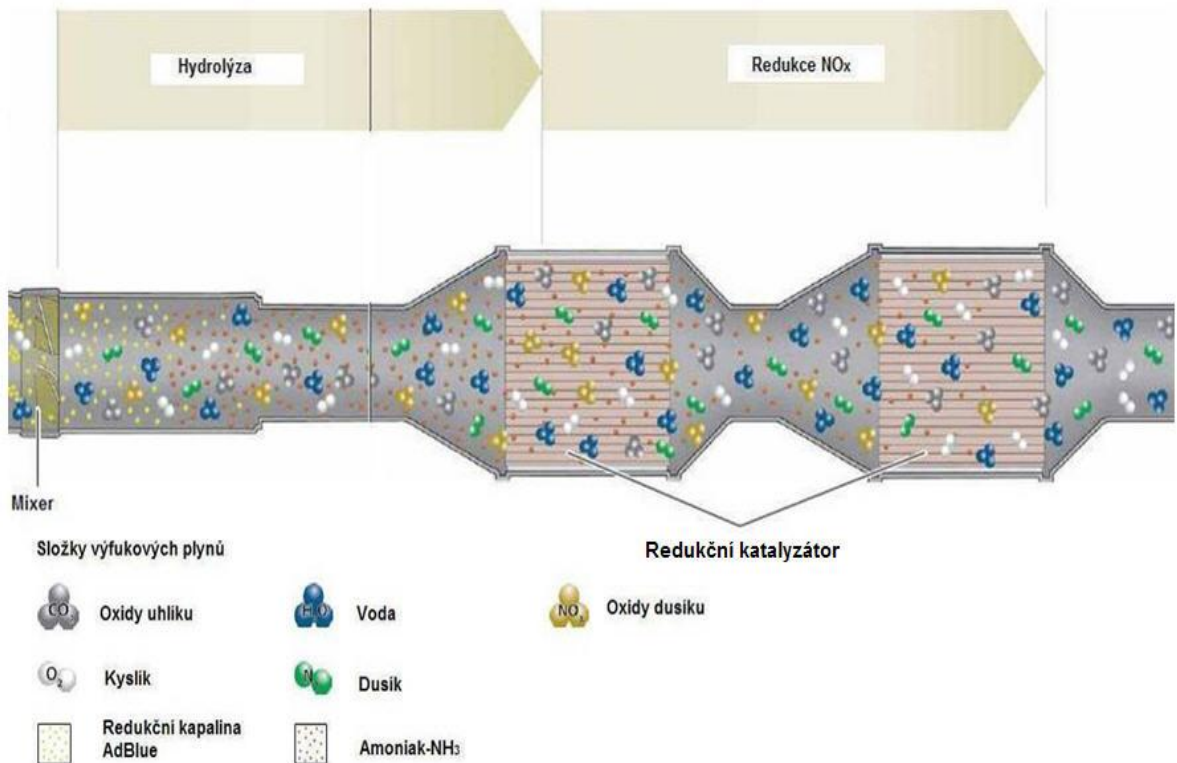
Redukční katalyzátor je umístěn za mixerem ve výfukovém potrubí v nerezovém plášti viz obrázek 4-12. Keramická vložka ve formě velmi jemné mřížky viz obrázek 2-4, tvoří velkou aktivní plochu pro požadovanou chemickou reakci, která snižuje oxidy dusíku NO_x při nedostatku kyslíku viz chemická rovnice 11. V této rovnici reaguje oxid dusnatý a oxid dusičitý společně se čpavkem a vzniká dusík N_2 a voda H_2O .



Tato keramická vložka je obalena mezi nerezovým pláštěm pružnou výplní k zamezení přenosu otřesů z výfukového potrubí, důvodem křehkosti. Při větších rázech by mohlo dojít k poškození mřížky. Tato keramická vložka je z vnitřní strany proudících spalin pokryta tenkou vrstvou vzácných kovů, jako jsou platina, rhodium, paladium.

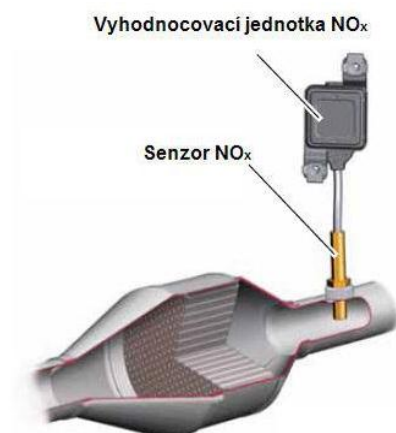
Celá část výfuku určená pro systém SCR od dílu se zákaznickou přírubou pro připojení vstřikovacího modulu část mixeru až za redukční katalyzátor musí být vyrobena z kvalitní nerezové austenitické oceli. Vzhledem k tomu že se při reakcích uvolňuje čpavek, který je velmi agresivní vůči všem materiálům hlavně při vyšších teplotách.

Obrázek 4-12: redukční katalyzátor [10]



4.3.8 Čidlo oxidů dusíku za redukčním katalyzátorem

Obrázek 4-13: senzor NO_x na výfukovém potrubí [10]



Za redukčním katalyzátorem SCR je umístěn senzor množství oxidů dusíku po reakci v katalyzátoru viz obr. 4-13. Tento senzor předává informace do vyhodnocovací jednotky NO_x a ta následně dává informace do řídicí jednotky, která otvírá vstřikovací ventil na dobu potřebnou pro vytvoření optimální dávky pro maximální redukci oxidů dusíku ve spalinách.

[10]

4.4 Zhodnocení technologie SCR

Zavedení SCR systému do výbavy automobilů přináší mnoho výhod, bohužel i nevýhod jak pro vývojáře, výrobce, uživatele automobilů a v neposlední řadě i pro životní prostředí.

Mezi hlavní nevýhody systému SCR patří:

- Nutnost umístění dalšího systému do automobilu, čímž nastává zdražení automobilu a složitější systém řídicí jednotky.
- Nutnost dolévání další provozní kapaliny do automobilu.
- Zamrzání aktivní látky AdBlue, nutnost počítat s nárůstem kapaliny po zamrznutí pomocí vzduchových kapes a nutnosti zajištění topení v systému, aby mohl fungovat i po zmrznutí AdBlue.
- Nutnost řešení různých kapilárních bariér na kabelech kvůli vysoké vzlínavosti AdBlue pro ochranu elektronických řídicích jednotek.
- Nutnost použití vysoce odolných materiálů kvůli vysoké agresivitě AdBlue vůči většině materiálů díky obsahu čpavku. Použití pouze nerezových ocelí, plastů s velmi nízkou permeací např. polypropylen, nebo PA66, kvalitní pryže EPDM apod. V žádném případě se nesmí používat kovy, jako jsou měď, hliník, povrchově povlakovaná ocel atd.
- V případě poruchy na SCR systému přepne řídicí jednotka automobilu DCU do nouzového režimu kvůli neplnění emisních limitů a uživatel je nucen navštívit servis k odstranění závady.
- Při zanesení DPF se musí filtr pevných částic regenerovat, čímž se značně zvýší teplota ve výfukovém potrubí a následně ve vstřikovacím modulu. Prudkým nárůstem teploty se uvolní větší množství čpavku, což velmi negativně působí jak na vstřikovač SCR systému, tak i na výfukové potrubí a hrozí riziko snížené životnosti všech dotčených komponentů vlivem koroze.
- Možnost nasátí nečistot z výfukového systému při odstavení automobilu a následném reverzním režimu SCR systému, při kterém se odsává AdBlue ze systému zpět do nádrže, při otevřeném vstřikovacím ventilu
- Vyšší požadavky na kapacitu akumulátoru a alternátoru vlivem elektrické zátěže dodatečných topení a elektrických zařízení v systému SCR.

Mezi hlavní výhody systému SCR patří:

- Nižší spotřeba paliva, která je zajištěna vyšší efektivností spalovacího procesu při menším zdvihovém objemu v kombinaci s větším výkonem motoru a optimální spotřebou. Možné navýšení výkonu díky systému SCR, protože motor je více termodynamický než použité systémy v předchozích motorech. To přináší větší výkon i pro menší motory.
- Prodloužení servisních intervalů díky optimalizovanému procesu spalování, který chrání fyzikální vlastnosti oleje. Požadavky na údržbu jsou tak sníženy a prodlužuje se servisní interval pro výměnu olejů.
- Zvýšená životnost díky snížené tvorbě pevných částic uvnitř motoru což eliminuje problémy se zanesením a potřeby obnovy, což je často vyžadováno předchozími technologiemi EGR.
- Kompatibilita na různé druhy paliv, protože fungování SCR nevyžaduje používání kvalitního paliva a není ovlivněn využitím tradičních škodlivých látek v palivu. Žádná část normy EURO nekontroluje využívání paliva s minimálním množstvím síry.
- Uživatelsky přátelské řešení, protože systém SCR je poměrně jednoduchý. Intervaly pro dolévání kapaliny AdBlue jsou z počátku užívání vozidla společná s intervaly záručních prohlídek. Na konci záruční lhůty je uživatel již plně seznámen s pravidly doplňování AdBlue. Toto je podpořeno obsahově jednoduchými hláškami palubního počítače.
- Zvýšená péče o životní prostředí, než u předchozích generací. Emise vyprodukované během procesu spalování jsou z velké části přeměněny na neškodný dusík a páru, tedy látky vyskytující se běžně v přírodě.
- Vyvinutá technologie SCR je považována většinou výrobci motorů jako technologie, která bude schopna splnit i poslední emisní normu EURO 6 vstupující v platnost rokem 2014.

[11, 15, 20, 24, 28]

5. Závěr

Požadavky na emise spalovacích motorů jsou rok od roku přísnější. Je to názorně vidět na vývoji norem EU, kde se limity pro jednotlivé škodliviny obsažené ve výfukových plynech neustále snižují. Oxidy dusíku jsou jedněmi z nich, norma EU je omezuje od zavedení EURO 3. U zážehových motorů nejsou limity NO_x zatím omezeny. Situace u vznětových motorů je ale zcela opačná. K jejich snižování doposud stačilo využívat technologii EGR – přepouštění výfukových plynů zpět do sání a tím snížení maximální teploty spalování. S touto technologií je možné plnění norem EURO 5. Další snižování je už touto technologií obtížné, proto byly vyvinuty technologie další, ze kterých je nejvýznamnější technologie SCR, popsána v této práci. V současné době se zabývá vývojem a zdokonalováním tohoto systému mnoho významných firem na trhu např. BOSCH, DENZO, SYNERGIE.

Tato technologie je dnes využívána zejména u nákladních vozů, ale pomalu se přesouvá i do osobních vozů střední a vyšší třídy. Lze očekávat, že s postupným zaváděním nových emisních norem bude tento systém (či podobný) využíván stále častěji i v menších vozech kde je poptávka po SCR systému limitovaná vysokou pořizovací cenou. Tento systém při správně nastavené funkci dokáže snížit oxidy dusíku až o 85 %, což umožňuje bezproblémové plnění emisních limitů Euro 6, a tím i zajištění možnosti další výroby a provozování vznětových motorů.

Pro očekávané rozšíření této technologie hovoří i trend ve vnímání nutnosti ochrany životního prostředí, množství investovaných prostředků do vývoje, a v neposlední řadě fakt, že v současné době neexistuje alternativní technologie, která dokáže ve stejné míře snížit hodnotu škodlivých NO_x emisí u vznětových motorů.

Přesto by dále bylo vhodné a určitě také zajímavé s ohledem na tvorbu emisí porovnání tohoto systému v menších vozech s jinými druhy pohonů, ať už pomocí spalovacích motorů na benzín či jiná alternativní paliva (LPG, CNG) nebo hybridních jednotek.

6. Seznam použité literatury, obrázků a zkratek

6.1 Seznam použité literatury a webových odkazů

- [1] Adamec, V.: Doprava, zdraví a životní prostředí; vydavatelství Grada 2008
- [2] Vlk, F.: Paliva a maziva motorových vozidel. Skripta VUT Brno 2006
- [3] Takáts, M.: Měření emisí spalovacích motorů; vydavatelství ČVUT 1997, ISBN 80-01-01632-3
- [4] Macek, J.: Spalovací motory. Skripta ČVUT, 2. vydání, Praha 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
- [5] Vlk, F.: Vozidlové spalovací motory; Brno 2003, ISBN 80-238-8756-4
- [6] Hromádko, J.: Spalovací motory; vydavatelství Grada 2011, ISBN 978-80-247-3457-0
- [7] Auto iDNES; [online]. 13. 02. 1999. Dostupné z: <http://auto.idnes.cz>;
- [8] Adam & Partners [online]. 30. 06. 2011. Dostupné z: www.adblue-bluesky.cz
- [9] Enviwiki [online]. 05. 2008. Dostupné z: <http://www.enviwiki.cz>
- [10] VW Crafter [online]. 20. 11. 2011. Dostupné z: http://www.vwclub.bg/~dragocl/pdf/SSP/ssp446_d.pdf
- [11] VOBOSYSTÉM s.r.o. [online] 16. 04. 2013. Dostupné z: <http://www.vobosystem.cz/scr-technologie>
- [12] AUTO GAS COUBAL s.r.o. [online]. 08. 2009. Dostupné z: <http://www.autogascoubal.cz/cz.php?txt=prestavy-lpg&det=srovnani-cng>
- [13] Matějovský, V.: Automobilová paliva; vydavatelství Grada 2005
- [14] Rauscher, J.: Spalovací motory; VUT FSI Brno 2004
- [15] Tiskové zprávy Bosch [online]. 09. 2009. Dostupné z: <http://www.bosch.cz/press/>
- [16] Autolexikon [online]. ; ISSN 1804 – 2554; 26. 07. 2013. Dostupné z: <http://cs.autolexikon.net/articles/adblue/>
- [17] GASHEMA [online]. 05. 08. 2012. Dostupné z: <http://www.gaschema.lt/en/adblue>
- [18] VW [online]. 04. 09. 2013. Dostupné z: <http://www.volkswagen.co.uk/technology/diesel/adblue>
- [19] Alternative fuels [online]. 05. 2013. Dostupné z: <http://alternativefuels.about.com/od/researchdevelopment/a/bluetec.htm>

- [20] CRI [online]. 10. 2012. Dostupné z:
<http://www.cricatalyst.com/catalysts/scr-catalyst.html>
- [21] VW [online]. 05. 2012. Dostupné z:
http://app.vw-uzitkove.cz/pdf/technicke_udaje/craftergp_de_250511.pdf
- [22] Selective catalytic reduction [online]. 21. 05. 2011. Dostupné z:
<http://www.truckscr.com/default.aspx>
- [23] Facts about SCR.com [online]. 03. 2008. Dostupné z: <http://www.factsaboutscr.com/>
- [24] About.com; [online]. 11. 2008. Dostupné z:
<http://alternativefuels.about.com/od/researchdevelopment/a/scr.htm>
- [25] James, J.: Catalysis 2002; ISBN 978-1-84755-328-7
- [26] Wang, Z.: Selective catalytic oxidation of ammonia to nitrogen over CuO-CeO₂ mixed oxides prepared by surfactant-templated method; databáze SCOPUS 2013, ISSN 09263373
- [27] Wang, T.: Combination catalyst for the purification of automobile exhaust from lean-burn engine; databáze SCOPUS 2013, ISSN 03783820
- [28] Shelef, M.: Selective catalytic reduction of NO_x with N-free reductants; databáze SCOPUS 1995, ISSN 00092665
- [29] Hromádka, J.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony; vydavatelství Grada 2012, ISBN 978-80-247-4455-1
- [30] Liu, Y.: Lean NO_x reduction on LNT-SCR dual-layer catalysts by H₂ and CO; SCOPUS 2013, ISSN 09263373
- [31] Remek, B.: Automobil a spalovací motor; vydavatelství Grada 2012, ISBN 978-80-247-3538-2

6.2 Seznam obrázků

<i>Obrázek 2-1: procentuelní zastoupení prvků vstupujících do spalovacího procesu</i>	7
<i>Obrázek 2-2: grafické porovnání emisních standardů v dopravě [9]</i>	10
<i>Obrázek 2-3: katalyzátor [6]</i>	12
<i>Obrázek 2-4: závislost účinnosti katalyzátoru na součiniteli přebytku vzduchu λ [6]</i>	13
<i>Obrázek 3-1: závislost koncentrace AdBlue na teplotě zamrznutí [8]</i>	16
<i>Obrázek 3-3: refraktometr ATAGO PAL - Urea [8]</i>	21
<i>Obrázek 4-1: systém SCR - redukce oxidů dusíku NO_x [10]</i>	23
<i>Obrázek 4-2: systém SCR BOSCH Denoxtronic - VW Crafter [10]</i>	24
<i>Obrázek 4-3: lehký užitkový automobil VW Crafter s SCR systémem [10]</i>	26
<i>Obrázek 4-4: charakteristika motoru 2.5 TDI [21]</i>	26
<i>Obrázek 4-5: nádrž na AdBlue [10]</i>	27
<i>Obrázek 4-6: sací modul s topením, filtrem a hladinovým senzorem [10]</i>	28
<i>Obrázek 4-7: podávací čerpadlo s topením [10]</i>	29
<i>Obrázek 4-8: přívodní trubka AdBlue do vstřikovače [10]</i>	30
<i>Obrázek 4-9: zástavba vstřikovacího ventilu na výfuku [10]</i>	31
<i>Obrázek 4-10: řez vstřikovacím ventilem [10]</i>	32
<i>Obrázek 4-11: směšování AdBlue s výfukovými plyny [10]</i>	33
<i>Obrázek 4-12: redukční katalyzátor [10]</i>	34
<i>Obrázek 4-13: senzor NO_x na výfukovém potrubí [10]</i>	34

6.3 Seznam zkratek

SCR	(Selective catalytic reduction) Selektivní katalytická reakce.
AdBlue	Obchodní název pro 32,5 % roztok demineralizované vody a vysoce jakostní močoviny.
CAFE	(Corporate Average Fuel Economy) Normy pro emisní standardy používané v USA.
EURO	Emisní normy závazné pro Evropskou unii.
HC	Nespálené uhlovodíky.
PM	Pevné částice.
λ	Součinitel přebytku vzduchu.
DPF	(Diesel particular filter) Filtr pevných částic.
DCU	(Dosing control unit) Řídící jednotka pro SCR systém.