

**Česká zemědělská univerzita v Praze**



Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

## **Selektivní katalytická redukce**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Miler, Ph.D.

Autor práce: Ondřej Řezníček

Praha 2013

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Řezníček Ondřej

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Selektivní katalytická redukce**

Anglický název

**Selective Catalytic Reduction**

### Cíle práce

Cílem práce je vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři zabývající se vývojem selektivní katalytické redukce spalovacích motorů.

### Metodika

- prostudovat základní literaturu v oblasti katalytické redukce
- kontaktovat významné organizace zabývající se danou problematikou
- provést globální literární rešerši v dané problematice
- vlastní rozbor problematiky katalytické redukce spalovacích motorů
- návrh doporučení a předpokládaný vývoj v oblasti katalytické redukce spalovacích motorů

### Osnova práce

1. Úvod
2. Cíl a metodika
3. Možnosti technologií snižování emisí.
4. Popis systému selektivní katalytické redukce .
5. Závěr
6. Seznam literatury
7. Přílohy



**Rozsah textové části**

30-40 stran včetně obrázků, tabulek a grafů

**Klíčová slova**

selektivní katalytická redukce, emise, adblue, oxidy dusíku

**Doporučené zdroje informací**

1. HROMÁDKO, J.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony, 1. Vydání, Praha, Nakladatelství Grada, 2012, 196s, ISBN 978-80-247-4455-1
2. HROMÁDKO, J.; HROMÁDKO, J.; HÖNIG, V.; MILER, P.: Spalovací motory, 1. Vydání, Praha, Nakladatelství Grada, 2011, 369s, ISBN 978-80-247-3475-0
3. TAKÁTS, M.: Měření emisí spalovacích motorů, ČVUT Praha, 1997
4. VLK, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Nakladatelství a zasilatelství Vlk, Brno, 2001. ISBN 80-238-6573-0
5. Firemní literatura (BOSCH)

**Vedoucí práce**

Miler Petr, Ing., Ph.D.

**Termín zadání**

listopad 2012

**Termín odevzdání**

duben 2013

**doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.**

Vedoucí katedry



**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan fakulty

V Praze dne 19.3.2013

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Milera, Ph.D. a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Další informace mi poskytli pracovníci firmy Robert BOSCH GmbH. a Volvo Parts Corporation.

V Praze dne 5.4.2013

Podpis .....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Milerovi, Ph.D. za odborné konzultace a za vedení při zpracování této bakalářské práce a mým rodičům za vytrvalou podporu během celého mého studia.

**Abstrakt:** Cílem této bakalářské práce je upozornit na problematiku emisí spalovacích motorů. Zaměřil jsem se především na snižování emisí dusíku u vznětových motorů osobních automobilů, nákladních automobilů i zemědělské techniky. Uvedl jsem možnosti, jak lze emise snižovat, a dále jsem se v hlavní části bakalářské práce zabýval systémem selektivní katalytické redukce. Popsal jsem funkčnost celého systému, výhody a nevýhody a přidal popis nejdůležitějších částí. Na závěr jsem se zaměřil na roztok AdBlue. Rozebral jsem chemickou reakci, která probíhá ve výfukovém potrubí a při níž dochází k redukci oxidů dusíku. V dalších kapitolách jsem popsal složení roztoku AdBlue, výhody, nevýhody a přidal pokyny pro manipulaci a skladování. Závěrem jsem zhodnotil i případné nevrácení investice do vozidla s tímto systémem.

**Klíčová slova:** SCR, AdBlue, Emise, systém DeNOx

## **Selective catalytic reduction**

**Summary:** The aim of this Bachelor Thesis is to highlight the issue of emission from internal combustion engines. I focused mainly on reducing emissions of nitrogen oxides in the engines of cars, trucks and agricultural vehicles. I mentioned the ways to reduce the emissions and furthermore in the main part of my thesis I dealt with the system of selective catalytic reduction. I described the functionality of the whole system, advantages and disadvantages, and added the description of the more important parts. In conclusion, I focused on the AdBlue solution. I analyzed the chemical reaction which takes place in the exhaust pipe and that leads to reduction of nitrogen oxides. In the following chapters I described the structure of the AdBlue solution, its advantages and disadvantages and I added the instruction for handling and storage. Finally, I also valorized the irreversible investments to the vehicle with this system.

**Key words:** SCR, AdBlue, emission, system DeNOx

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Emise spalovacího motoru .....</b>	<b>4</b>
2.1	Emisní norma Euro .....	4
2.2	Emisní stupeň EEV .....	5
2.3	Emisní limity Tier/Stage .....	6
<b>3</b>	<b>Technologie snižování emisí.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Selektivní katalytická redukce .....</b>	<b>7</b>
4.1	Chemický princip.....	8
4.2	Výhody technologie SCR.....	9
4.3	Nevýhody technologie SCR .....	9
4.4	Selektivní nekatalytická redukce .....	9
<b>5</b>	<b>Katalyzátorový systém SCR .....</b>	<b>10</b>
5.1	Nejpoužívanější materiály pro katalyzátory SCR .....	10
5.1.1	Katalyzátory z těžkých kovů .....	11
5.1.2	Zeolit katalyzátory .....	11
5.1.3	Washcoat .....	11
5.1.4	Rychlost výměny katalyzátorů .....	11
<b>6</b>	<b>Systém SCR.....</b>	<b>11</b>
6.1	Řídicí jednotka AdBlue.....	13
6.2	Nádrž.....	14
6.3	Vyhřívání roztoku AdBlue .....	15
6.4	Doplňování roztoku AdBlue .....	15
6.5	Dávkovací jednotka .....	16
6.6	Filtr.....	18
6.7	Ventil regulace chlazení .....	19
6.7.1	S elektrickým regulačním ventilem chlazení - starší varianta.....	19
6.7.2	Bez elektrického regulačního ventilu chlazení - novější varianta .....	21
<b>7</b>	<b>AdBlue.....</b>	<b>24</b>
7.1	Výhody AdBlue .....	25
7.2	Nevýhody AdBlue .....	25
7.3	Umístění .....	25
7.3.1	Osobní automobily.....	25
7.3.2	Zemědělská technika.....	26

7.3.3	Nákladní automobily.....	26
7.4	Spotřeba AdBlue.....	26
7.5	Poptávka ve světě .....	27
7.6	Skladování.....	28
7.7	Manipulce.....	28
7.7.1	Způsob doplňování AdBlue .....	29
7.7.2	Čištění oděvů a nástrojů.....	30
7.7.3	Pokyny pro první pomoc.....	31
7.8	Přeprava.....	31
7.8.1	Likvidace.....	31
7.9	Náklady .....	31
<b>8</b>	<b>Společnost GreenChem.....</b>	<b>32</b>
<b>9</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>34</b>
<b>10</b>	<b>Použité zdroje.....</b>	<b>35</b>



# 1 Úvod

Od zkonstruování vznětového motoru Rudolfem Dieselem je další snaha o využití tohoto tepelného stroje při stále rozmanitějších, a tím také náročnějších podmínkách. Vznětové motory se postupem času začaly prosazovat jako pohon dopravních prostředků. V dnešní době pohánějí lodě, lokomotivy, pracovní stroje, nákladní automobily a autobusy. V posledních letech se především v Evropě stává vznětový motor nejpopulárnějším pohonným ústrojím u osobních automobilů. Díky vývoji nových technologií se podařilo dieselovému motoru prosadit v konkurenčním boji před motory spalující benzín. Bez nadsázky můžeme tvrdit, že vznětový motor díky svým vlastnostem se do budoucna řadí mezi pohony moderních automobilů. Moderní vznětové motory s přímým vstřikováním se těší stále větší oblibě, protože díky vysokému krouticímu momentu již při nízkých otáčkách a nízké spotřebě paliva přináší radost z jízdy. Nízká produkce kysličníku uhličitého (CO<sub>2</sub>), která provází nízkou spotřebu paliva, navíc řadí vznětový motor také do budoucna mezi pohony moderních osobních automobilů.

V dnešní době bojují velká světová města s nárůstem motorových vozidel. S automobilem je spojeno nejen pohodlí a komfort, ale také nepříznivý dopad na životní prostředí. Spalovací motor produkuje značné množství škodlivých emisí ve výfukových plynech. Při vývoji se dlouhé roky opomíjely negativní projevy spalovacích motorů, které mají vliv na stav životního prostředí a především ovzduší. Aby mohlo dojít ke snížení zatížení životního prostředí, je nezbytné dosáhnout poklesu škodlivých látek obsažených ve výfukových plynech spalovacích motorů.

Všichni výrobci automobilů a strojů, pod tlakem světových organizací, se snaží vyvíjet nová a zdokonalovat stávající zařízení, aby snížili negativní dopad spalovacích motorů na životní prostředí. Výrobci směřují k tomu, aby co možná nejmenší spotřebou paliva bylo dosaženo vysokých jízdních výkonů, příznivých jízdních vlastností a minimálních škodlivých emisí. Použitím jednotlivých zařízení dochází ke snižování určité složky nebo skupiny složek emisí obsažených ve výfukových plynech. Toto řešení sebou často přináší zhoršení jiných vlastností motoru, např. snížení produkce jedné škodliviny může vyvolat výrazné zvýšení tvorby jiné škodlivé látky. Vzhledem k tomu je důležité hledat v otázce emisních parametrů optimální řešení. Pro stanovení priorit je nutné posoudit způsob a intenzitu působení jednotlivých složek na člověka a životní prostředí. Z hlediska správné funkce, je také nutné posuzovat vliv snížení jejich podílu ve spalínách na chod motoru.

Všechny výše vyjmenované skutečnosti jsou v posledních 20 letech stále více sledovány veřejností a společenskými institucemi jako např. OSN, EU, EPA. Právě tyto organizace stanovují a předepisují výrobcům plnění flotilových emisí a emisních norem. Na stále se zvyšující počet automobilů reagovala města zavedením emisních zón, aby došlo ke snížení znečištění ovzduší především v centrech.

Pod tlakem organizací jsou výrobci nuceni vyvíjet nové nákladné technologie na redukcí emisí a pevných částic jako jsou například oxidační katalyzátory, filtry pevných částí, systém recirkulace výfukových plynů nebo technologie selektivní katalytické redukce. Částečnou kompenzací za tuto snahu je v některých státech daňová výhoda nebo dotace na koupi vozidla, které splňuje nejpřísnější emisní normy a spotřebovává málo paliva.

System selektivní katalytické redukce je jeden z nejnovějších prostředků na snižování emisí výfukových plynů. Jedná o velice efektivní a spolehlivou technologii. Proto jsem si zvolil právě toto téma pro zpracování mé bakalářské práce.

## 2 Emise spalovacího motoru

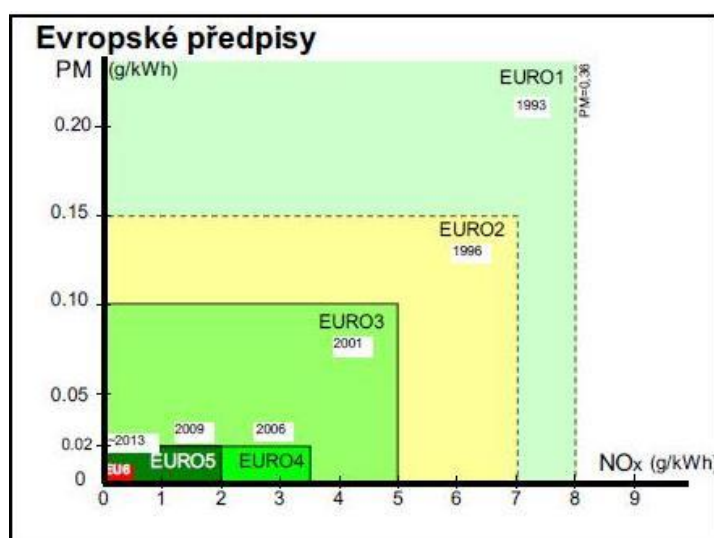
Činnost spalovacího motoru je založena na spalování směsi paliva a vzduchu na základě oxidace hořlavých složek paliva s kyslíkem, obsaženým ve vzduchu a palivu v podmínkách spalovacího prostoru rychle se měnících teplot a tlaků. Během hoření dochází ke vzájemným reakcím jednotlivých složek za vysokých teplot a tlaků při uvolňování tepelné a tlakové energie. Následkem reakcí dochází k tvorbě složek ve všech skupenstvích vystupujících ze spalovacího prostoru a některé složky reagují a vznikají až při průchodu výfukovým potrubím. Na průběh spalování mají vliv tepelné, tvarové a vírové vlastnosti spalovacího prostoru a především způsob a kvalita vstřikování paliva. Podle dosavadních analýz obsahují výfukové plyny pístových spalovacích motorů téměř 160 jednotlivých složek.

První norma zabývající se množstvím výfukových zplodin vznikla v Kalifornii v roce 1968. Na starém kontinentu začala platit první emisní norma až v roce 1971 – EHK 15. První Euro se objevilo v roce 1992. Od té doby, téměř pravidelně každé čtyři roky, vyjde nová emisní norma Euro. Čím vyšší číslo, tím větší přísnost normy. V roce 2009 vstoupila v platnost Euro 5 a od září 2014 nastoupí Euro 6.

### 2.1 Emisní norma Euro

V České republice je plnění emisních norem podmíněno zákonem č. 56/2001 Sb., který vychází z předpisů Evropské hospodářské komise a Evropského společenství. Daný zákon a aktuální emisní normu musí splňovat každý nově homologovaný automobil.

obr 1. Emisní limity Euro



Zdroj: Volvo Parts Corporation

Euro je závazná emisní norma stanovující limitní hodnoty výfukových exhalací, např. omezuje množství oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) a množství pevných částic (PM) v miligramech na ujetý kilometr. 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 neřeší. Zavedení nového Eura není jednorázová akce. Změny se nejprve týkají modelů nově představených na evropském trhu. Vozy, které do té doby vstoupí do prodeje, nemusí emisní normy splňovat. Většina renomovaných výrobců se snaží vyvíjet moderní motory a s předstihem splňovat budoucí emisní normy. V dnešní době platí emisní norma Euro 5, ale výrobci jako je např. Mazda, Mercedes nebo Volkswagen již u svých vznětových motorů splňují Euro 6, která vejde v platnost až v roce 2014.

tab. 1 Přehled limitů jednotlivých emisních norem Euro

Rok/norma		CO (g/km)		NO <sub>x</sub> (g/km)		HC + NO <sub>x</sub> (g/km)		HC (g/km)	PČ (g/km)
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70*	-	0,08**
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2009	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

### BENZÍNOVÉ MOTORY, NAFTOVÉ MOTORY

\* 0,90 pro motory s přímým vstřikováním paliva

\*\* 0,10 pro motory s přímým vstřikováním paliva

Zdroj: <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro>

## 2.2 Emisní stupeň EEV

Emisní norma E.E.V. (Enhanced Environmentally friendly Vehicle – vozidlo ohleduplnější k životnímu prostředí) je v současné době nejpřísnější norma z hlediska úrovně emisí znečišťujících látek ve výfukových plynech motorů s vnitřním spalováním pro nákladní vozidla. Tato norma, mimo jiné, vyžaduje extrémně nízké množství emisí "pevných částic", které představují nejzávažnější riziko z hlediska zdraví. U hodnoty kouřivosti motoru se jedná až o 70-ti procentní pokles. Stupeň EEV má i další výhody. Při zavedení předpisu EEV se nezvyšuje hmotnost vozidla ani měrná spotřeba paliva. Dále je zaručena životnost a spolehlivost spalovací jednotky a není nutná instalace filtru pevných částic. [1]

## 2.3 Emisní limity Tier/Stage

Emisní limity Tier používané v Severní Americe a jejich obdoba Stage v Evropě se týkají provozu pracovních strojů a zemědělské techniky. V roce 1996 byla prvně uvedena emisní norma Tier 1. V letech 2002 - 2004 přišla norma Tier 2 / Stage II a s ní u mnoha strojů znatelné zvýšení spotřeby paliva. Další zhoršení nastalo kolem roku 2007 s normou Tier 3 / Stage III A. Další snižování emisí bylo zapříčiněno zavedením normy Stage III B, obdoba americké normy Tier 4. Tato norma postihla stroje s výkonem motoru 130 - 560 kW. V roce 2012 začne platit norma Tier 4 pro stroje se spalovacími motory o výkonu mezi 56 - 129 kW a v roce 2013 se dokonce dotkne i malých strojů s motorem o výkonu v rozmezí 37 - 55 kW.

Od té doby zavedení první emisní normy Tier 1 došlo ke snížení oxidu dusíku (NO<sub>x</sub>) a pevných částic (PM) o 60 %. S uvedením v platnost normy Tier 4 A v roce 2011 budou dále sníženy pevné částice (PM) o 90 % a oxid dusíku (NO<sub>x</sub>) o 50 %. Tyto toxické substance jsou produkovány během spalovacího procesu a mohou škodlivě ovlivnit životní prostředí a lidské zdraví. Ale řekněme si o tom něco více.

obr. 2 Přehled jednotlivých norem Tier/Stage

kW	hp	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0 - 7	0 - 10	V EU nepodléhá emisním limitům														
8 - 18	11 - 24	V EU nepodléhá emisním limitům														
19 - 36	25 - 49	V EU nepodléhá emisním limitům														
37 - 55	50 - 74	V EU nepodléhá emisním limitům														
56 - 74	75 - 99	EPA Tier 1 EU Stage I														
75 - 129	100 - 174				EPA Tier 2 EU Stage II											
130 - 559	175 - 749								EPA Tier 3 EU Stage III A							
													EPA zatímní Tier 4 EU Stage III B			
															EPA Tier 4 EU Stage IV	
≥ 560	≥ 750	V EU nepodléhá emisním limitům														

Zdroj: <http://www.bagry.cz>

## 3 Technologie snižování emisí

V dnešní době se všichni výrobci musí potýkat s problémem snižování emisí vznětových i zážehových motorů, které určuje Evropská unie. Existuje mnoho technologií a možností jak snižovat emise výfukových plynů. U zážehových motorů výrobci nejčastěji přistupují k tzv. „Downsizingu“. Je to vývoj nových motorů, při kterém výrobce snižuje tření uvnitř jednotky, zdvihový objem a používá přeplňování pro zachování výkonu jako měly objemnější jednotky, které tyto motory nahrazují. Další možností, jak snižovat emise, je změna kompresního poměru, nebo opatření za motorem.

Snížení emisí lze dosáhnout i komplexním přístupem, jako používá například výrobce automobilů Mazda. Automobilka nazývá danou technologií „Skyaktiv“ a dosáhla požadované emisní normy Euro 6, díky snížení hmotnosti vozidla, úpravou převodovky nebo snížením kompresního poměru naftového motoru na 14:1 při zachování dynamických a výkonových parametrů srovnatelných s předchozím motorem.

Opatření za motorem vznětových motorů jsou přídavné technologie, které pomáhají redukovat emise dusíku, uhlíku a zachytávají pevné částice vzniklé spalováním fosilních paliv. Mezi tyto opatření můžeme zařadit oxidační katalyzátory, DPF (filtry pevných částic), metodu EGR (recirkulace výfukových plynů) nebo SCR (Selektivní katalytická redukce). Použití těchto technologií je vázáno na jednotlivé emisní normy. Pro normu Euro 4 se začalo s používáním filtrů pevných částic a pro normu Euro 6, která vejde v platnost v roce 2014 bude nutno použít kombinaci jednotlivých výše uvedených technologií.

## **4 Selektivní katalytická redukce**

Metoda selektivní katalytické redukce (dále jen SCR) je nejrozšířenější metodou k redukci zdravotně závadných oxidů dusíku ve výstupních plynech z velkých spalovacích zařízení. Je to jedna ze dvou technologií, které umožňují snížení emisí výfukových plynů vznětových motorů na úroveň evropských norem Euro 4 a 5. SCR je katalytický proces založený na selektivní redukci oxidů dusíku čpavkem nebo močovinou, za přítomnosti katalyzátoru, bez jakéhokoliv zásahu optimálního nastavení spalovacího cyklu. Redukční činidlo, v současnosti nejpoužívanějším typem je AdBlue, což je chemický 32,5% roztok močoviny v neionizované (destilované) vodě, se vstříkuje do spalín před katalyzátorem. Na povrchu katalyzátoru dochází k chemické reakci a při teplotě mezi 320 až 420 °C se redukují oxidy dusíku (NOx) na plynný dusík a vodní páru. Důmyslný dávkovací systém dokáže snížit oxidy dusíku vzniklé spalováním motorové nafty až o 80% a především systém umožňuje i snížení měrné spotřeby paliva o 5%. V současnosti umožňuje metoda SCR realizovat snížení pevných částic o 10% a uhlovodíků o 90% a tím současně dodržet požadované toleranční hodnoty. Díky tomu se tato dodatečná úprava výfukových plynů dostává čím dál tím více do středu zájmu.

Systém selektivní katalytické redukce, kde byl použit čpavek jako redukční činidlo, byl patentován ve Spojených státech, společností Englehard Corporation v roce 1957. Vývoj technologie SCR pokračoval v Japonsku a USA na počátku 60. let. Výzkum se zaměřoval na méně nákladné a odolnější technologie redukce NOx. První rozsáhlá SCR byla nainstalována ve společnosti IHI Corporation v roce 1978.

Komerční využití systému selektivní katalytické redukce bylo zahájeno instalací u elektráren spalující fosilní paliva průmyslových podniků a komunálních spaloven. Bylo prokázáno snížení oxidů dusíku o 70 až 95%. Další uplatnění našel systém SCR u velkých diesellových motorů použitých např. u lokomotiv. V poslední době, díky zpřísnujícím se emisním limitům, se SCR používá u nákladních a osobních automobilů, aby bylo možné dosáhnout předepsaných emisních norem Euro 5 a Euro 6.

Dávkovací jednotku Denoxtronic k systému SCR vyrábí společnost Robert Bosh GmbH. První generace se objevila na trhu v roce 2004 a používala aerosolový rozprašovač, který do výfukového potrubí dával vzduch smíchaný s roztokem AdBlue. Druhá generace, Denoxtronic 2, byla uvedena na trh společností Robert Bosh GmbH v roce 2006 a od první generace se lišila v dávkování čistého AdBlue. V meziobdobí se v prodeji objevil systém Denoxtronic 2.1., určený pro osobní a lehká užitková vozidla. V roce 2010 byl představen Denoxtronic 2.2. ve dvou provedeních. Systém ke své činnosti potřebuje napětí z elektroinstalace vozidla 12V nebo 24V a určitou teplotu, kterou lze zajistit buď elektronicky nebo napojením na chladicí systém vozidla. Dle přání výrobců automobilů může mít systém vlastní řídicí jednotku, nebo může být začleněn do řídicí jednotky vozidla. Systém DENOXTRONIC již splňuje požadavky na vozidlovou diagnostiku OBD (**O**n-**B**oard **D**iagnostics). Systém v dnešní době je téměř bezúdržbový, až na běžný servis, a je schopný pracovat po celou dobu životnosti vozidla.

Snížení NO<sub>x</sub> probíhá vstřikováním do horkých výfukových plynů procházejících výfukovým potrubím přes oxidační katalyzátor k SCR katalyzátoru. Před vstupem do SCR katalyzátoru se vstřikuje činidlo, v našem případě AdBlue, lze však použít i jiné sloučeniny například čpavek, který se mísí s horkými výfukovými plyny.

#### 4.1 Chemický princip

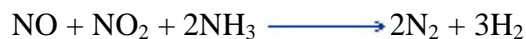
Chemické rovnice pro stechiometrické reakce buď pomocí bezvodého nebo vodného vysoce chemicky čistého roztoku močoviny pro selektivní katalytickou redukci:

Roztok je v důsledku vysoké teploty výfukových plynů rozštěpen na amoniak (NH<sub>3</sub>) a oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>):

voda, teplo



V této chemické reakci je amoniak (NH<sub>3</sub>) hlavní a účinnou složkou procesu, ke kterému dochází v katalyzátoru. Při následné chemické reakci dochází působením amoniaku k redukci škodlivých oxidů dusíku (NO a NO<sub>2</sub> souhrnně nazývané jako NO<sub>x</sub>) na vodní páru (H<sub>2</sub>O) a dusík (N<sub>2</sub>).



## 4.2 Výhody technologie SCR

- optimalizace chodu motoru po stránce životnosti i výkonu
- snížení spotřeby paliva až o 6%
- plnění emisní normy Euro 5 a emisního předpisu EVV
- použití pro širokou paletu paliv (pevná, kapalná i plynná)
- konverze NO<sub>3</sub> nevytváří složky druhotného znečištění
- emise NO<sub>x</sub> se mohou snížit o více než 90 % a lze dosáhnout velmi nízkých koncentrací NO<sub>x</sub>, např. pod 100 mg.m<sup>-3</sup>
- podíl složení NO<sub>x</sub> při SCR závisí na snížení NO<sub>x</sub>, kterého se dosáhne zařazením primárních opatření ve spalovací komoře
- konverze NO<sub>x</sub> nevytváří žádné vedlejší složky znečištění
- doba životnosti

## 4.3 Nevýhody technologie SCR

- tvorba síranu amonného, který se ukládá v dále zařazených zařízeních, jako jsou katalyzátor a ohřívač vzduchu
- výskyt NH<sub>3</sub> v odpadní vodě z odsiřování spalin a v čisté vodě z ohřívače vzduchu
- zvýšená koncentrace NH<sub>3</sub> v popílku
- prostorové nároky na denitrifikaci v případě rekonstrukce
- vysoké investiční a provozní náklady pro poměrně malé zařízení
- jev známý, jako strhávání čpavku, únik čpavku se zvyšuje se vzrůstajícím poměrem NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> a se snižováním aktivity katalyzátoru
- další investice pro odlučování pevných částic, které metodou SCR vznikají

## 4.4 Selektivní nekatalytická redukce

Se selektivní katalytickou redukcí souvisí další podobná technologie a tou je selektivní nekatalytická redukce (dále jen SNCR). SNCR spočívá ve vytvoření podobných redukčních



podmínek, při kterých je stejně jako při SCR do spalovacího prostoru, v tomto případě se jedná o spalovací prostory například elektráren, tepláren nebo spaloven, vstřikovaný čpavek nebo močovina, která přednostně snižuje oxidy dusíku za vzniku elementárního dusíku a vodní páry. První předpoklad SNCR je provoz za vyšších teplot. Systém pracuje při teplotách 900°C až 1050°C a ve srovnání se systémem SCR má nižší účinnost. Technologie redukuje NO<sub>x</sub> na úroveň 40 až 60%. Použití čpavku jako redukčního činidla má některé nevýhody. Čpavek je zdraví nebezpečná látka, vyžadující složitější technologická zařízení pro skladování a manipulaci, při jeho úniku je okolí obtěžováno zápachem, vzniklé sloučeniny čpavku a síry mohou vytvářet nežádoucí nánosy na strojním zařízení. Z těchto důvodů se používá u některých postupů místo čpavku močovina. [2]

## 5 Katalyzátorový systém SCR

Výfukové plyny jsou zavedeny do SCR katalyzátoru, který je zabudován do tlumiče výfuku. Katalyzátor je keramická voštinová struktura s velkým množstvím kanálek pokrytých aktivní vrstvou. Katalyzátory SCR jsou vyrobeny z různých keramických materiálů, jako je například oxid titaničitý. Aktivní katalytické složky, jsou obvykle buď oxidy těžkých kovů (např. vanadu, molybdenu nebo wolframu), zeolity, nebo různé vzácné kovy a zpravidla se montuje za oxidační katalyzátor. Rozmístění komponentů se u výrobců automobilů liší jen minimálně. Funkci zařízení kontroluje snímač výfukových plynů (širokopásmová lambda sonda). Katalyzátory se vyrábějí v paletách různých rozměrů a průměrů průchodných kanálek. Objem potřebného katalyzátoru závisí na charakteristikách katalyzátoru, jako je jeho aktivita a na provozních podmínkách, jako jsou objem spalin, požadované snížení NO<sub>x</sub>, složení plynu, teplota spalin a přítomnost katalyzátorových jedů. Jednotlivé prvky tvoří formy katalyzátorového modulu, který následně vytvoří v reaktoru SCR vrstvy. V současné době se životnost katalyzátorů u jednotek spalujících uhlí odhaduje na 6 – 10 let a u jednotek spalujících plyn na 8 – 12 let.

### 5.1 Nejpoužívanější materiály pro katalyzátory SCR

- oxidy těžkých kovů – základem je oxid titaničitý společně s aktivními složkami vanadu, wolframu a molybdenu pro teploty 260-427 °C,
- zeolity – vysoce porézní, krystalické, přírodní nebo syntetické aluminosilikáty pro teploty 455-594 °C
- oxidy železa – částice oxidů železa v krystalickém obalu z fosforečnanů železa,

- aktivní uhlí – práškové černé nebo hnědé uhlí, namíchané s inertními prvky a spečené do pelet.
- Drahé kovy pro nízké teploty 177-288 °C

### 5.1.1 Katalyzátory z těžkých kovů

Katalyzátory z těžkých kovů, jako je vanad a wolfram nebo molybden, nemají takovou vysokou tepelnou odolnost, ale jsou méně nákladné na pořízení a pracují velmi dobře při teplotách pohybujících se nejčastěji u provozovaných zařízení. Vyšší tepelná odolnost je důležitá zejména pro použití v automobilovém průmyslu a technologie SCR, která dále zahrnuje použití dalších zařízení snižujících emise, jako je filtr pevných částic, který potřebuje ke své regeneraci vyšší teploty. Mají také vysoký katalyzační potenciál na oxidaci SO<sub>2</sub>, který může být velmi škodlivý vzhledem k jeho kyselým vlastnostem.

### 5.1.2 Zeolit katalyzátory

Zeolit katalyzátory mají potenciál pracovat za podstatně vyšších teplot než katalyzátory z těžkých kovů, mohou vydržet delší provoz při teplotách okolo 1100°C a v přechodných podmínkách až 1300°C. Zeolity také vytvářejí méně škodlivého SO<sub>2</sub>.

### 5.1.3 Washcoat

Katalyzátor SCR – Washcoat (reaktivní hmota) je opatřen vrstvou titanu, wolframu a vanadu. Sloučeniny drahých kovů jsou spolu s amoniakem (NH<sub>3</sub>) vhodné k tomu, aby přednostně vyvolaly redukce oxidu dusíku (NO<sub>x</sub>) na dusík a na vodu.

### 5.1.4 Rychlost výměny katalyzátorů

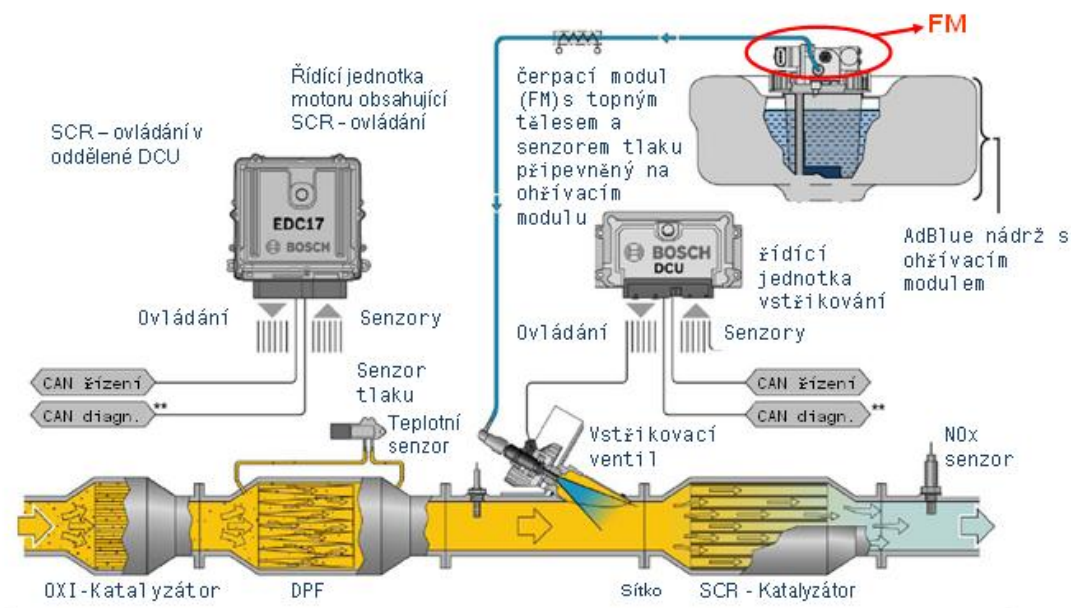
- Vlastnosti spalovaného paliva
- provoz zařízení
- vstupní koncentrace NO<sub>x</sub>
- požadovaná účinnost redukce NO<sub>x</sub>
- poměr čpavku a močoviny k NO<sub>x</sub>

## 6 Systém SCR

Systém SCR se skládá v zásadě z nádrže roztoku AdBlue umístěné dle provedení buďto vedle standardní palivové nádrže, nebo v zavazadlovém prostoru automobilu. Další součástí systému je vyhřívací část, na které je umístěn čerpací modul (FM) s topným tělesem a senzorem tlaku. Dále je na výfukovém potrubí nejdůležitější prvek systému a to je vstříkovací

ventil, který je uložen pod přesně daným úhlem (30°) před SCR katalyzátorem, aby byla dodržena ideální vstřikovací mapa. Celý systém je řízen buď vlastní přídatnou řídicí jednotkou, nebo je v dnešní době častější zakomponování řízení systému do palubní jednotky automobilu. Řídicí jednotka jej kontroluje pomocí snímače výfukových plynů (širokopásmová lambda sonda). Spalovací motor se podílí na fungování systému pouze optimálním nastavením spalovacího procesu.

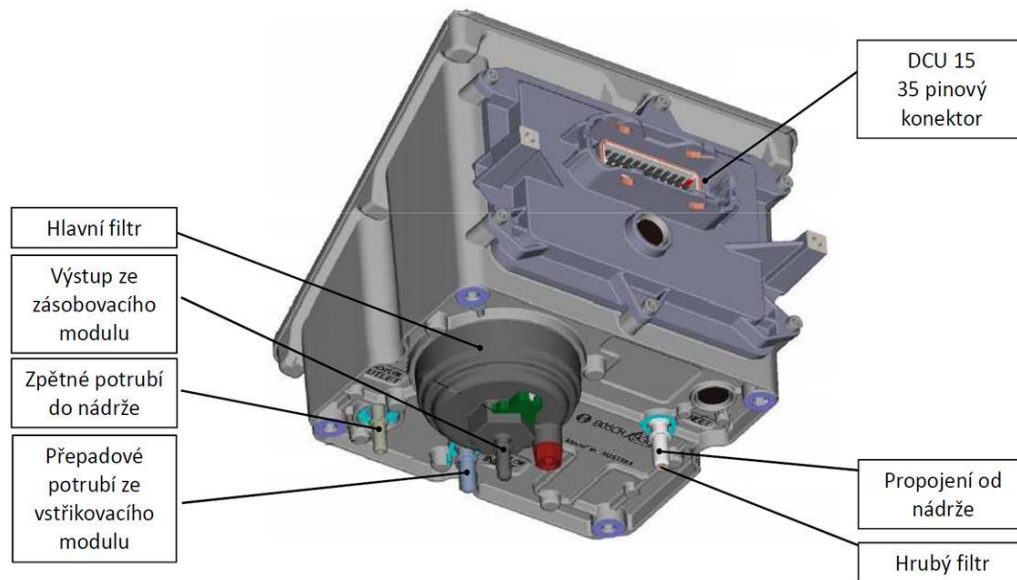
obr. 3 Systém vstřikování AdBlue



Zdroj: firemní literatura Robert Bosch GmbH

## 6.1 Řídicí jednotka AdBlue

obr. 4 Řídicí jednotka

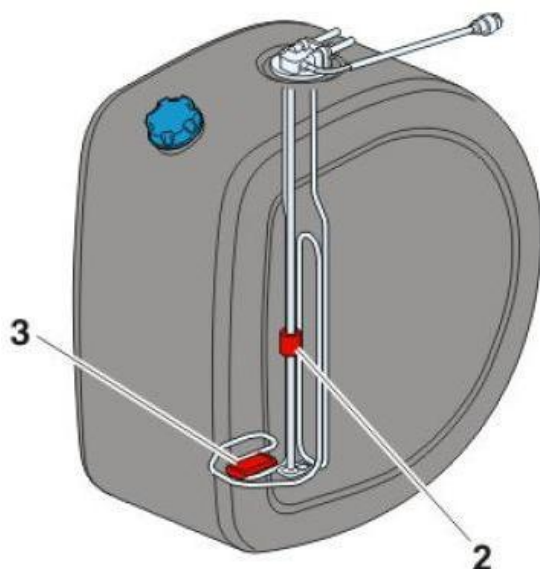


Zdroj: firemní literatura New Holland

Řídicí jednotka dávkování MID233 (DECU — Dosage Electronic Control Unit) systému dávkování AdBlue obsahuje procesor, který komunikuje s řídicí jednotkou motoru. Vstřikované množství roztoku AdBlue reguluje řídicí jednotka motoru podle informací z řídicí jednotky dávkování, tj. výsledné hodnoty z kombinovaného snímače hladiny a teploty v nádrži, ze snímače tlaku a snímače teploty v jednotce čerpadla a z dávkovacího ventilu umístěného před katalyzátorem.

## 6.2 Nádrž

obr. 5 Příklad plastové nádrže



Zdroj: Volvo Parts Corporation

2 – plovák

3 – síto

Roztok AdBlue je uložen v samostatné nádrži na straně vozidla, pokud možno v sousedství nádrže na naftu, která je vyrobena z nerezové oceli nebo plastu a je k dispozici v různých velikostech. Plastové i ocelové nádrže jsou vybaveny odvzdušněním, které vyrovnává změny tlaku. Předchozí verze plastové nádrže byla osazena snímačem hladiny na zadní straně a novější verze obsahuje plovák. Pro případ čištění, výměny snímače výšky hladiny nebo údržby jsou všechny nádrže vybaveny na spodní straně vypouštěcí zátkou, aby bylo možno roztok AdBlue v případě potřeby vypustit. Sací trubka, která rozvádí roztok AdBlue z nádrže je vybavena sítem, které brání tomu, aby soustavou obíhaly částice a způsobovaly např. ucpání celého vedení. Dle servisního plánu nebo dle potřeby je nutné síto kontrolovat a čistit.

### **6.3 Vyhřívání roztoku AdBlue**

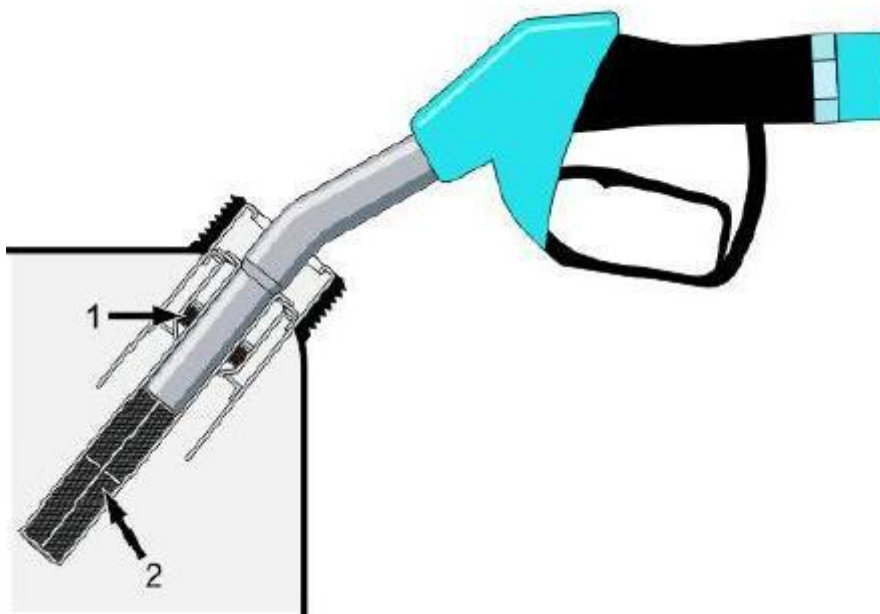
Vzhledem k tomu, že roztok AdBlue při  $-11^{\circ}\text{C}$  zamrzá je nutné vybavení nádrže AdBlue z nerezové oceli nebo plastu topným okruhem. Dříve se používala přídatná izolace a elektrické vyhřívání nádrže a celého vedení. V současnosti se používá pro vyhřívání nádrže a celého vedení roztoku topný had, kterým proudí chladicí kapalina od motoru. Poblíž nádrže se nachází elektromagnetický ventil, který reguluje průtok chladicí kapaliny. Snímač teploty přenáší řídicí jednotce signál, takže nelze spustit čerpadlo roztoku, dokud není AdBlue kapalný. Standardní soustavu lze rozmrazit až z teploty  $-40^{\circ}\text{C}$ . Aby nedošlo k poškození vedení zamrznutím, je po vypnutí motoru roztok AdBlue ze soustavy vyčerpán zpět do nádrže. Nádrž AdBlue s jednotkou čerpadla spojuje sací potrubí a zpětné potrubí. Kombinovaný snímač teploty a hladiny v nádrži AdBlue je připojen k řídicí jednotce a hodnotu ze snímače lze zjistit na přístrojové desce. Pokud v nádrži zbývá cca 10 % využitelného objemu, zobrazí se textové připomenutí pro doplnění nádrže. Pokud zbývá jen přibližně 5 litrů roztoku AdBlue, je nádrž považována za prázdnou. V tom případě je v řídicí jednotce motoru vytvořen kód závady a na přístrojové desce je zobrazeno varovné hlášení upozorňující na prázdnou nádrž. Pokud se nádrž AdBlue vyprázdní během jízdy, nepoškodí se ani systém SCR ani motor, protože zbytek roztoku AdBlue v soustavě obíhá a stačí ji chladit. Uzavřením dávkovacího ventilu ale dojde ke zvýšení množství emisí a výfukové plyny už nejsou zpracovávány.

### **6.4 Doplnování roztoku AdBlue**

Nádrže AdBlue mají specifické hrdlo a otvor pro tankovací pistoli, aby bylo zabráněno natankování jiných kapalin. Dále je nádrž opatřena modrým víčkem s logem AdBlue, aby při čerpání nafty a roztoku AdBlue nedošlo k záměně. Na nádrži AdBlue je rovněž speciální štítek AdBlue. Dalším bezpečnostním opatřením proti záměně je rozdílná velikost víček nádrže na naftu a nádrže na roztok AdBlue. Plnicí hrdlo nádrže AdBlue je vybaveno magnetickou smyčkou, která je bezpečnostní pojistkou a otevírá hrdlo pouze když detekuje správnou tankovací pistoli která je stejnou smyčkou vybavena. Některé varianty plnicích zařízení jsou vybaveny sítím, které brání oběhu krystalů soustavou a které by mohly zapříčinit vypnutí. Toto síto je kontrolováno a čištěno dle potřeby. Další upozornění platí především také na doplňování pohonných hmot a roztoku, při používání například kanystrů nebo IBC kontejneru s AdBlue, aby nebyl roztok AdBlue doplněn do palivové nádrže. Palivo by tím bylo znečištěno, roztok AdBlue by se dostal do vstříkování a do spalovacího prostoru,

což může vést k poškození motoru. Při doplňování roztoku AdBlue přímo z otevřené nádoby zabraňte jakémukoli potřísnění, protože roztok AdBlue způsobuje korozi mnoha materiálů.

obr. 6 Tankovací pistole



Zdroj: Volvo Parts Corporation

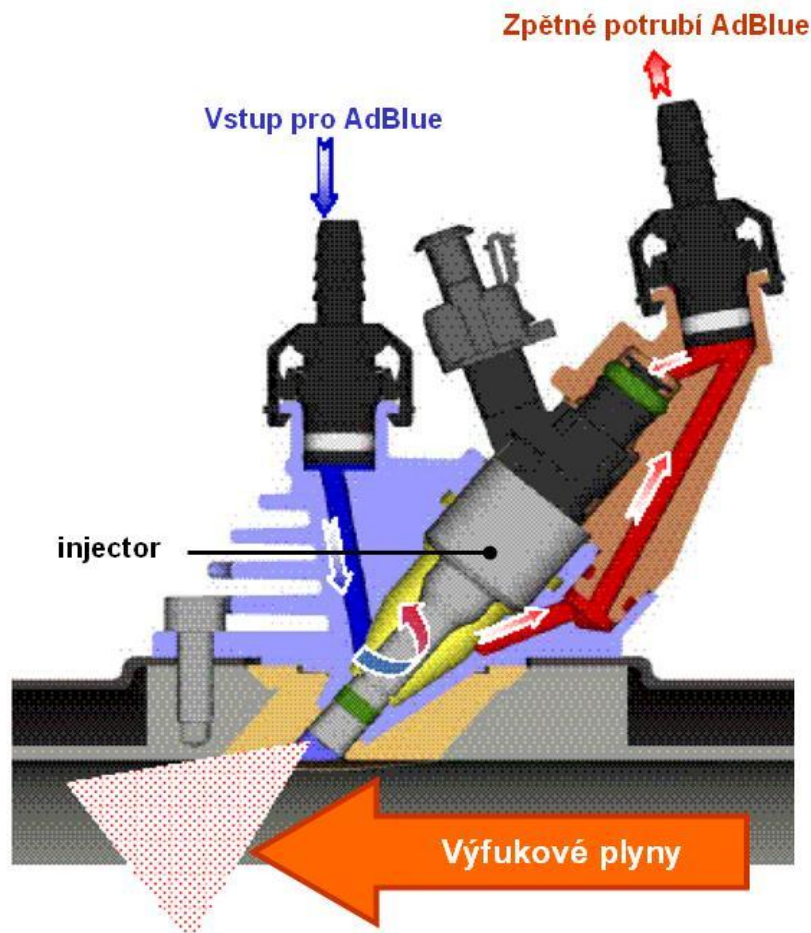
- 1 – elektromagnetická smyčka
- 2 – síto

## 6.5 Dávkovací jednotka

Dávkování roztoku AdBlue zajišťuje dávkovací jednotka natočená vůči proudu výfukových plynů v úhlu 30 stupňů. Dávkovací jednotka obsahuje dávkovací ventil (vstříkovač), který roztok AdBlue rozstříkuje pod tlakem 5 bar (500 kPa) do proudu výfukových plynů před katalyzátorem. Množství roztoku AdBlue závisí na otáčkách a zatížení motoru a je elektronicky řízeno systémem řízení motoru (EMS). Ke vstříkování nedochází, pokud je teplota roztoku AdBlue nižší než  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  nebo vyšší než  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dávkovací ventil je elmg. ventil s PWM (Pulse Width Modulation) řízením. Vstříkovač je před horkými výfukovými plyny chráněn tepelným štítem a vzduchovou kapsou. Kovové tělo je rovněž chlazeno cirkulujícím roztokem AdBlue s maximální teplotou  $85^{\circ}\text{C}$ . Dávkovací jednotka je instalována tak, aby se její elektrické konektory nacházely co nejdále od proudu výfukových

plynů. Na tepelném štítu je uvedeno číslo dílu a výrobní číslo. Na základě čísla dílu lze z katalogového listu zjistit, jaké maximální množství může vstřikovač dávkovat. V nabídce jsou tři dávkovací jednotky, které se objednávají podle velikosti motoru. Kapacity: 3 kg/h, 6 kg/h a 9 kg/h. Poznámka: Dávkovací jednotka je choulostivá součást, která při montáži a demontáži vyžaduje opatrnou manipulaci. Vzhledem k tomu, že je roztok AdBlue citlivý na teplotu, prochází do a z dávkovací jednotky hadicemi, na nichž jsou navinuty měděné elektrické spirály. Spojení hadic jsou vybaveny dodatečnou tepelnou izolací proti chladu. Vstupní a výstupní připojení je vybaveno rychlospojkami odlišných průměrů, aby je nebylo možno zaměnit. [3]

obr. 7 Dávkovací jednotka

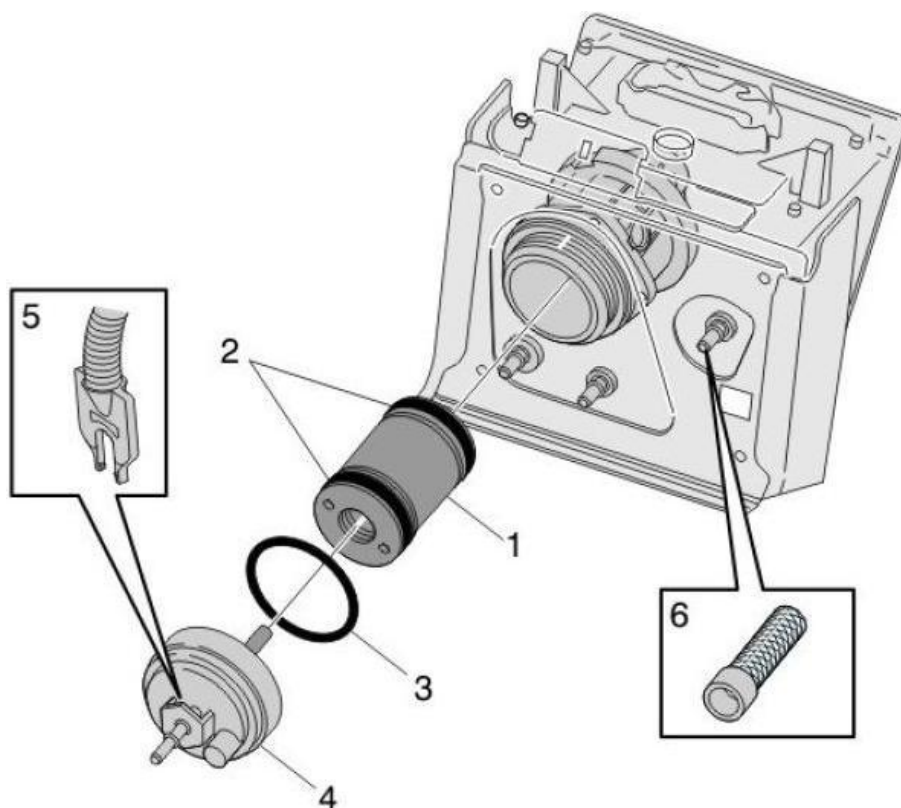


Zdroj: firemní literatura New Holland



## 6.6 Filtr

obr. 8 Skříň filtru



Zdroj: Volvo Parts Corporation

- 1 – Papírová vložka
- 2 – kroužky z porézní pryže
- 3 – O-kroužek
- 4 – víčko skříně filtru
- 6 – vyhřívací vložka

Na výstupu z čerpadla se nachází skříň s filtrem, kterým prochází roztok AdBlue směrem od čerpadla. Ve filtru je papírová vložka, která čistí procházející roztok. Vložka je chráněna dvěma kroužky pro případ, že by vlhká část filtru zamrzla. Dále je ve skříně filtru umístěné síto pro filtraci větších krystalů, aby se nedostaly do vedení, které je jištěno O-kroužkem. Filtr je vybaven vyjímatelným topným tělesem, které brání zamrznutí. Servis celé skříně filtru se provádí dle potřeby. Při servisu se nejprve vyjme topné těleso a pak je nutné počkat než čerpadlo odvede roztok AdBlue zpět do nádrže, aby bylo možné vyměnit popřípadě vyčistit jednotlivé části filtru.

## 6.7 Ventil regulace chlazení

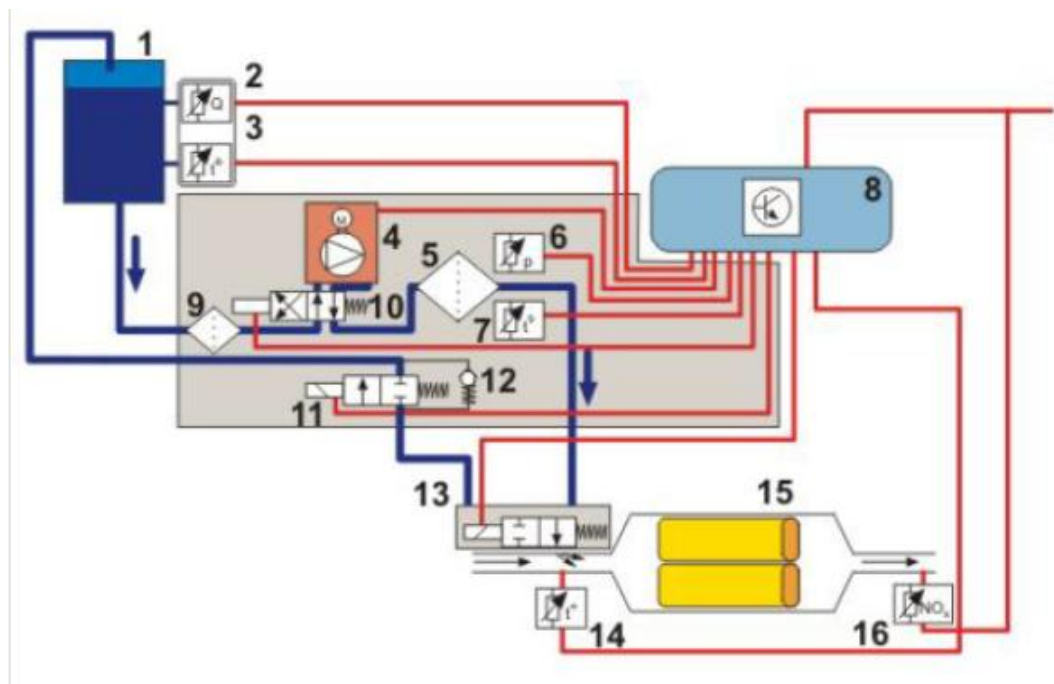
Systém SCR je k dispozici ve dvou verzích:

- S elektrickým regulačním ventilem chlazení - starší varianta
- Bez elektrického regulačního ventilu chlazení - novější varianta

### 6.7.1 S elektrickým regulačním ventilem chlazení - starší varianta

U starších variant je ve skříni čerpadla umístěný elektricky řízený ovládací ventil. Ventil regulace chlazení je tvořen dvěma trubkami s elektrickým ventilem v jedné trubce a jednosměrným ventilem ve druhé. Aby bylo zabráněno zamrznutí, nebo bylo možné opětovné rozmrazení roztoku AdBlue, je ventil regulace chlazení také vybaven dvěma vyhřívacími prvky.

obr. 9 Pohyb roztoku AdBlue v soustavě



Zdroj: Volvo Parts Corporation

- 1 - Nádrž AdBlue
- 2 - Snímač hladiny, nádrž AdBlue
- 3 - Snímač teploty, nádrž AdBlue
- 4 - Čerpadlo, roztok AdBlue
- 5 - Filtr, roztok AdBlue
- 6 - Snímač tlaku, roztok AdBlue

- 7 - Snímač teploty, roztok AdBlue
- 8 - MID233 řídicí jednotka, soustava dávkování AdBlue
- 9 - Filtr
- 10 - Ventil směru průtoku
- 11 - Elektrický regulační ventil chlazení
- 12 - Zpětný ventil
- 13 - Dávkovací jednotka
- 14 - Snímač teploty výfuku
- 15 - Katalyzátor
- 16 - Snímač NOx (použité jen pro OBD — Palubní Diagnostika)

#### **6.7.1.1 Normální provoz**

Řídicí jednotka (8) dostává signál od snímače hladiny v nádrži AdBlue (2), že je hladina roztoku AdBlue nad nastavenou minimální úrovní. Řídicí jednotka aktivuje ventil ovládající směr toku (10) a spustí čerpadlo (4), které nasává roztok AdBlue z nádrže (1) přes filtr (9) a ventil ovládající směr toku (10). Čerpadlo poté protlačí roztok AdBlue ventilem ovládajícím směr toku a filtrem AdBlue (5) a z něj k dávkovací jednotce (13) na tlumiči výfuku. Při splnění několika kritérií (například snímač tlaku (6) zjistí správný pracovní tlak přibližně 5 bar v systému dávkování AdBlue), odešle řídicí jednotka motoru signál určující množství roztoku AdBlue řídicí jednotce soustavy dávkování (8), která otevře dávkovací ventil (13). Roztok AdBlue je vstříknut do výfukového potrubí před tlumič se zabudovaným SCR katalyzátorem (15). Současně se otevře ventil ovládání chladicí kapaliny (11) a přebytečný roztok AdBlue je odváděn zpět do nádrže. Vysoká teplota ve výfuku rozkládá roztok AdBlue a v katalyzátoru poté probíhá chemická reakce, která rozkládá výfukové plyny na neškodný dusík a vodu. Snímač NOx (16) měří obsah oxidu dusíku (NOx) ve výfukových plynech. Pokud není dodržena předepsaná úroveň emisí, rozsvítí se kontrolka na přístrojové desce a v řídicí jednotce motoru bude uložen kód závady. Úkolem snímače teploty výfukových plynů (14) je měřit teplotu výfukových plynů v katalyzátoru, aby bylo dávkováno správné množství roztoku AdBlue. Protože je roztok AdBlue citlivý na teplotu, je nádrž AdBlue vyhřívána pomocí topné smyčky obsahující chladicí kapalinu z motoru. Hadice vedoucí do a z nádrže jsou elektricky vyhřívány a kolem spojek těchto hadic je přídavná izolace. Snímač teploty (3) nepřetržitě měří teplotu roztoku AdBlue a vyšle signál do regulační jednotky (8), jestliže teplota klesne pod 10 °C. Regulační jednotka pak aktivuje elektromagnetický ventil, otevře jej a umožní tak průtok horké chladicí kapaliny topnou smyčkou do nádrže AdBlue. Jakmile

cirkulující roztok AdBlue dosáhne teploty 15 °C, snímač teploty (3) vyšle signál do regulační jednotky (8), která zavře elektromagnetický ventil a tím vypne ohřev. Pokud systém zjistí závadu, která ovlivňuje vstřikování, rozsvítí se výstražná kontrolka (OBD) a v paměti řídicí jednotky motoru bude uložen kód závady. Pokud závada způsobí vypnutí oběhu roztoku AdBlue, rozsvítí se také výstražná kontrolka (CHECK). [4]

#### **6.7.1.2 Nízká hladina v nádrži**

Pokud při normálním provozu klesne hladina roztoku AdBlue v nádrži na minimum, výstražný symbol upozorní řidiče, že je třeba doplnit roztok AdBlue. Pokud roztok AdBlue není doplněn, snímač hladiny (2) v nádrži vyšle signál k uzavření dávkovacího ventilu (13). Vstřikování roztoku AdBlue do výfukového potrubí je ukončeno. Ovládací ventil chlazení (11) je otevřen a zbývající roztok AdBlue v nádrži obíhá, aby chladil dávkovací ventil. Na palubní desce se rozsvítí výstražná kontrolka (symbol OBD). Při doplnění roztoku AdBlue kontrolka OBD zhasne a hlášení závady zmizí.

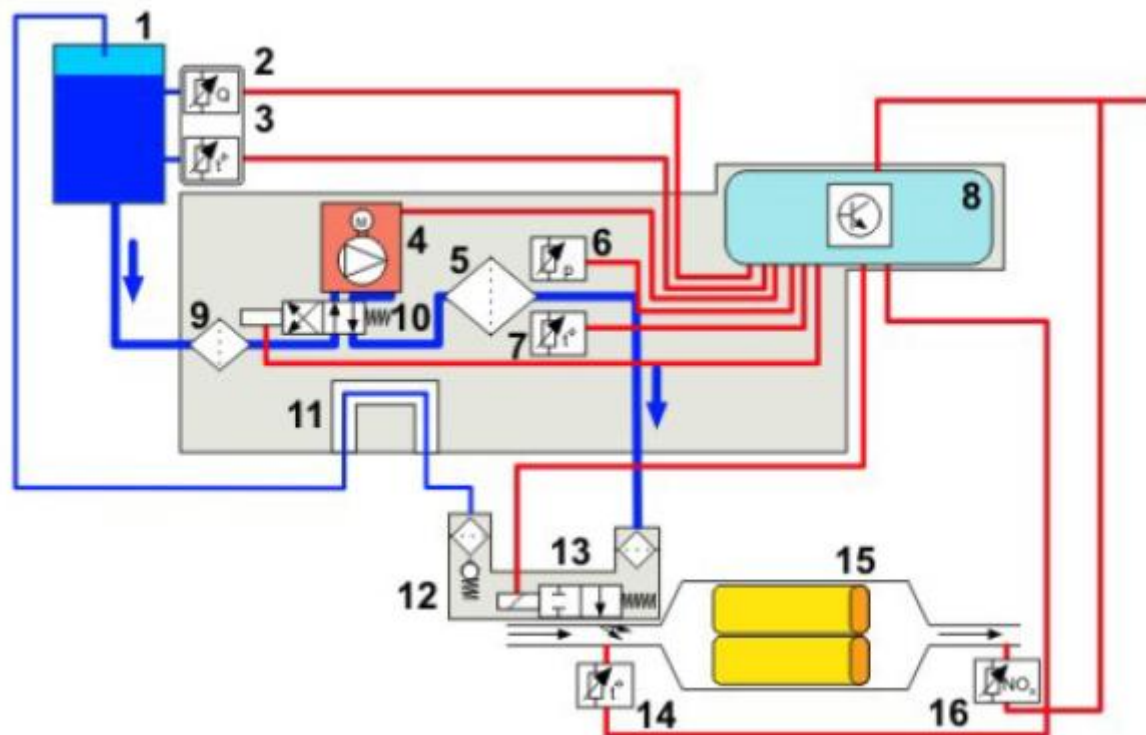
#### **6.7.1.3 Vypnutí motoru**

Při vypnutí motoru je vypnut elektrický proud, čerpadlo AdBlue se zastaví a tlak v soustavě AdBlue klesne. Ovládací jednotka (8) zavře ovládací ventil (11), otevře jednosměrný ventil (12) a zavře dávkovací ventil (13). Řídicí jednotka vypne ventil řízení směru toku (10), který se tlakem pružiny přepne na křížový průtok. Řídicí jednotka poté spustí čerpadlo a vypustí soustavu AdBlue (dávkovací systém, zpětné potrubí, tlakové potrubí a filtr) a přečerpá roztok AdBlue zpět do nádrže. Snímač tlaku (6) předá řídicí jednotce signál poté, co je soustava vyprázdněna. Řídicí jednotka také krátkým otevřením dávkovacího ventilu vypustí dávkovací jednotku a případný zbytek roztoku AdBlue ve vstřikovači vyteče do výfuku. Toto vyprázdnění (po doběhu motoru) probíhá zcela automaticky a celý proces trvá přibližně 90 sekund. Ze soustavy je vypuštěn roztok AdBlue a soustava je odtlakována.

#### **6.7.2 Bez elektrického regulačního ventilu chlazení - novější varianta**

Novější varianty mají v dávkovací jednotce umístěn jednosměrný ventil, který nahradil dříve používaný ventil regulace chlazení s omezovačem. Jednosměrný ventil obsahuje kuličku a pružinu. Pružina tlačí kuličku k sedlu, která na sedle úplně netěsní a tím představuje omezovač průtoku AdBlue. Ve skříni čerpadla, kde byl dříve regulační ventil chlazení, je nyní jen trubka. Vzhled je téměř identický s regulačním ventilem chlazení, ale bez elektrické regulace a bez ventilů uvnitř.

obr. 10 Pohyb roztoku AdBlue v soustavě



Zdroj: Volvo Parts Corporation

- 1 - Nádrž AdBlue
- 2 - Snímač hladiny, nádrž AdBlue
- 3 - Snímač teploty, nádrž AdBlue
- 4 - Čerpadlo, roztok AdBlue
- 5 - Filtr, roztok AdBlue
- 6 - Snímač tlaku, roztok AdBlue
- 7 - Snímač teploty, roztok AdBlue
- 8 - MID233 řídicí jednotka, soustava dávkování AdBlue
- 9 - Filtr
- 10 - Ventil směru průtoku
- 11 - Elektrický regulační ventil chlazení
- 12 - Zpětný ventil
- 13 - Dávkovací jednotka
- 14 - Snímač teploty výfuku
- 15 - Katalyzátor
- 16 - Snímač NO<sub>x</sub> (použité jen pro OBD — Palubní Diagnostika)

### 6.7.2.1 Normální provoz

Řídicí jednotka (8) dostává signál od snímače hladiny v nádrži AdBlue (2), že je hladina roztoku AdBlue nad nastavenou minimální úrovní. Řídicí jednotka aktivuje ventil ovládající směr toku (10) a spustí čerpadlo (4), které nasává roztok AdBlue z nádrže (1) přes filtr (9) a ventil ovládající směr toku (10). Čerpadlo poté protlačí roztok AdBlue ventilem ovládajícím směr toku a filtrem AdBlue (5) a z něj k dávkovací jednotce (13) na tlumiči výfuku. Při splnění několika kritérií (například snímač tlaku (6) zjistí správný pracovní tlak přibližně 5 bar v systému dávkování AdBlue) odešle řídicí jednotka motoru signál určující množství roztoku AdBlue řídicí jednotce (8), která otevře dávkovací ventil (13). Roztok AdBlue je vstříknut do výfukového potrubí před tlumič se zabudovaným SCR katalyzátorem (15). Současně je přebytek roztoku AdBlue veden omezovačem (12) zpět do nádrže. Vysoká teplota ve výfuku rozkládá roztok AdBlue a v katalyzátoru poté probíhá chemická reakce, která rozkládá výfukové plyny na neškodný dusík a vodu. Snímač NOx (16) měří obsah oxidu dusíku (NOx) ve výfukových plynech. Pokud není dodržena předepsaná úroveň emisí, rozsvítí se kontrolka na přístrojové desce a v řídicí jednotce motoru bude uložen kód závady. Úkolem snímače teploty výfukových plynů (14) je měřit teplotu výfukových plynů v katalyzátoru, aby bylo dávkováno správné množství roztoku AdBlue. Protože je tento roztok citlivý na teplotu, je nádrž AdBlue vyhřívána pomocí topné smyčky obsahující chladicí kapalinu motoru v nádrži. Hadice vedoucí do a z nádrže jsou elektricky vyhřívány a kolem spojek těchto hadic je přídavná izolace. Snímač teploty (3) nepřetržitě měří teplotu roztoku AdBlue a vyšle signál do regulační jednotky (8), jestliže teplota klesne pod 10 °C, regulační jednotka pak aktivuje elektromagnetický ventil, otevře jej a umožní tak průtok horké chladicí kapaliny topnou smyčkou nádrže AdBlue. Jakmile cirkulující roztok AdBlue dosáhne teploty 15 °C, snímač teploty (3) vyšle signál do regulační jednotky (8), která zavře elektromagnetický ventil a tím vypne ohřev. Pokud systém zjistí závadu, která ovlivňuje vstříkávání, rozsvítí se výstražná kontrolka (OBD) a v paměti řídicí jednotky motoru bude uložen kód závady. Pokud závada způsobí vypnutí oběhu roztoku AdBlue, rozsvítí se také výstražná kontrolka (CHECK). [5]

### 6.7.2.2 Nízká hladina v nádrži

Pokud při normálním provozu klesne hladina roztoku AdBlue v nádrži na minimum, výstražný symbol upozorní řidiče, že je třeba doplnit roztok AdBlue. Pokud roztok AdBlue není doplněn, snímač hladiny (2) v nádrži vyšle signál k uzavření dávkovacího ventilu (13). Vstříkávání roztoku AdBlue do výfukového potrubí je ukončeno. Zbývající roztok AdBlue v

nádrži obíhá omezovačem (12) a chladí dávkovací ventil. Na přístrojové desce se rozsvítí výstražná kontrolka (symbol OBD) a výstražný test upozorňuje, že nádrž AdBlue je prázdná.

### 6.7.2.3 Vypnutí motoru

Při vypnutí motoru je vypnut elektrický proud, čerpadlo AdBlue se zastaví a tlak v soustavě AdBlue klesne. Řídící jednotka (8) zavře dávkovací ventil (13) a vypne směrový ventil (10), který se tlakem pružiny přepne na křížový průtok. Řídící jednotka poté spustí čerpadlo a vypustí soustavu AdBlue (dávkovací systém, zpětné potrubí, tlakové potrubí a filtr) a přečerpá roztok AdBlue zpět do nádrže přes jednosměrný ventil (12), který se nyní otevře. Snímač tlaku (6) předá řídicí jednotce signál poté, co je soustava vyprázdněna. Řídící jednotka také krátkým otevřením dávkovacího ventilu vypustí případný zbytek roztoku AdBlue. Toto vyprázdnění probíhá zcela automaticky a celý proces trvá přibližně 90 sekund. Ze soustavy je vypuštěn roztok AdBlue a soustava je odtlakována.

## 7 AdBlue

AdBlue (registrovaná obchodní známka VDA) je v Evropě a zemích přejímajících evropské emisní limity používaný obchodní název pro kapalný roztok. Ten se využívá jako hlavní produkt selektivní katalytické redukce. SCR je technologie, které se využívá při redukci výfukových plynů vznětových motorů. Dle normy ISO 22241-1 (dříve DIN-70070) je AdBlue chemicky vysoce čistý vodný roztok technické močoviny. Jeho přesné složení je  $32,5\% \pm 0,8\%$  močoviny a  $67,5\%$  neionizované destilované vody (= AUS 32 - Aqueous Urea Solution). Jedná se o bezbarvou, nejedovatou, nehořlavou kapalinu, není škodlivá pro životní prostředí. Kapalina se pomalu rozkládá na amoniak a oxid uhličitý, a tento rozklad závisí na teplotě. Proto je důležité dodržovat předepsaná pravidla pro skladování a manipulaci. Při kontaktu s touto kapalinou ji lze jednoduše redukovat vodou, protože látka je rozpustná ve vodě.

Vzhledem k tomu, že AdBlue zamrzá již při teplotě  $-11^{\circ}\text{C}$ , je nutné, aby veškerá vedení, kterými tato synteticky vyrobená směs prochází, byla vyhřívána. Pro toto speciální použití se vyrábí a dodávají pevné a flexibilní vyhřívané systémy hadicového vedení. Plastová vedení jsou ovinuta topným páskem, který prostřednictvím palubního napětí předává potřebný topný výkon a tím zabraňuje zamrznutí systému, popř. napomáhá rozmrazení AdBlue.

V souvislosti s budoucími, zřejmě ještě přísnějšími normami a vzhledem ke stále stoupajícím cenám pohonných hmot, by se situace na trhu s osobními vozy mohla brzy změnit ve prospěch dieselových motorů. Pro dodržení normy Euro 6, která vejde v platnost v roce

2014 bude nutné instalovat AdBlue i do osobních automobilů pokud výrobci nenaleznou jinou cestu jak přísné normy dosáhnou.

## 7.1 Výhody AdBlue

- Splnění emisních norem EURO 4, EURO 5 a předpis EEV pro nákladní vozidla
- snižuje spotřebu paliva a nároky na chlazení spalovací jednotky
- při zamrznutí a opětovném roztátí si ponechává své vlastnosti
- dle EPA „minimálně riziková látka“

## 7.2 Nevýhody AdBlue

- vozy bez náplně AdBlue nemusejí jít nastartovat nebo dochází k omezení výkonu
- vysoce korozivní (pH 9-11) při vyšších teplotách
- zástavbové nároky a náklady na pořízení a následný servis systému

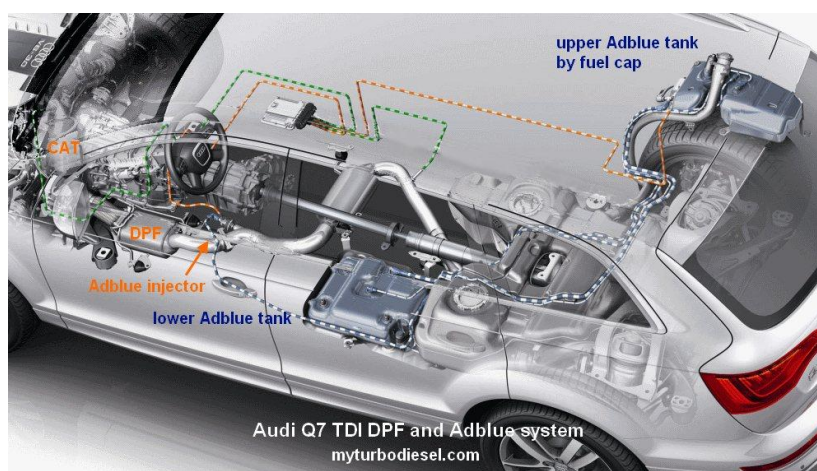
## 7.3 Umístění

AdBlue není palivo, ani nepatří mezi aditiva, proto je nutné použít pro zástavbu do automobilu speciální nádrž.

### 7.3.1 Osobní automobily

U osobních automobilů je nádrž na AdBlue umístěna v blízkosti palivové nádrže, nebo pod podlahou v zavazadlovém prostoru. Její obsah je cca 15-20l a tato náplň vydrží asi na ujetí 20.000 km. Její doplňování probíhá v rámci pravidelných servisních intervalů. Kontrolky na palubní desce ukazují množství aditiva v nádrži.

obr. 11 AdBlue v osobním automobilu



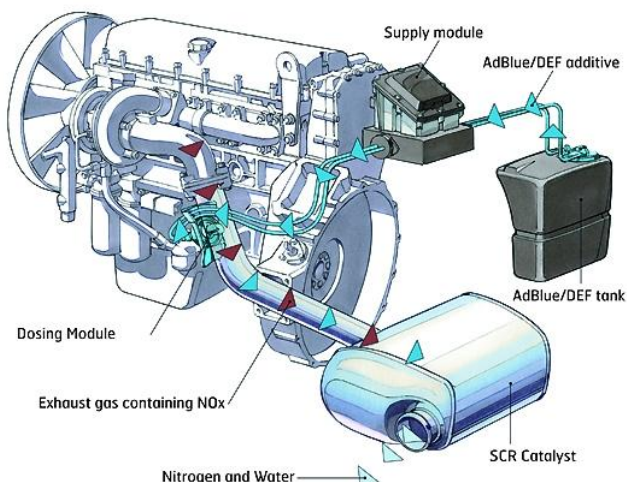
Zdroj: [www.myturbodiesel.com](http://www.myturbodiesel.com)



### 7.3.2 Zemědělská technika

U modelů traktorů společnosti New Holland je ke splnění přísné emisní normy Tier 4A využívána technologie SCR. K nádrži na motorovou naftu je přidána i nádrž na roztok AdBlue. Velikost nádrže se objemem liší dle jednotlivých řad a také požadavků na jednotlivé typy strojů a to v rozmezí 40 - 89 litrů.

obr. 12 Adblue u traktorů New Holland



Zdroj: [www.agrotec.cz](http://www.agrotec.cz)

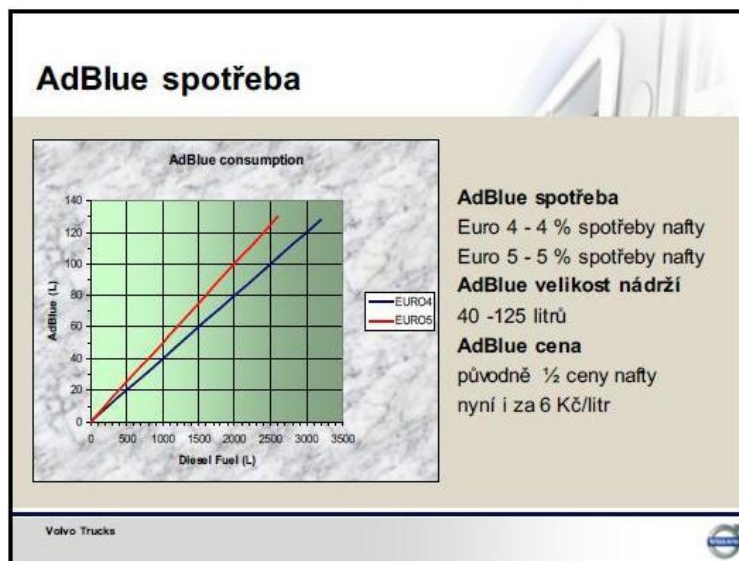
### 7.3.3 Nákladní automobily

U nákladních automobilů je nádrž z nerezové oceli nebo z plastu umístěna nejčastěji v blízkosti nádrže na motorovou naftu. Objem a velikost nádrží se liší dle výrobce. Doplnění AdBlue probíhá přímo dotankováním u speciálních stojanů. Doplnění provádí sám řidič dle množství roztoku v nádrži. Řidič je upozorněn na malé množství roztoku prostřednictvím palubní jednotky, pokud není AdBlue doplněno včas nastane dočasné omezení výkonu motoru a řidič je donucen natankovat.

## 7.4 Spotřeba AdBlue

Spotřebu roztoku AdBlue výrobci udávají přibližně v rozmezí 3 až 7 % spotřebované motorové nafty. Můžeme předpokládat, že se spotřeba bude také odvíjet od různých provozních podmínek a bude záležet na zatížení vozidla i na kvalitě motorové nafty. Čím vyšší budou emise, tím více bude systém do výfukového potrubí vstříkovat roztok AdBlue. Další navýšení spotřeby AdBlue je možné očekávat se zpřísnujícími se emisními limity.

obr. 13 Graf spotřeby AdBlue

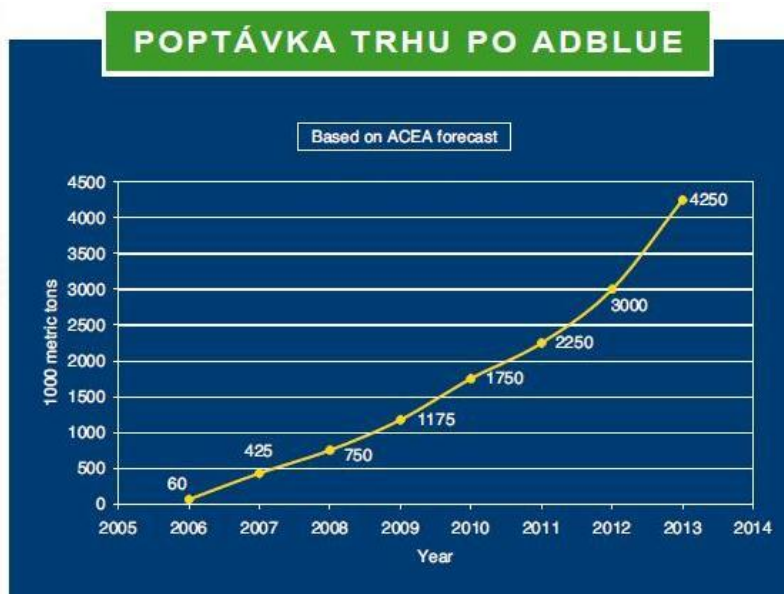


Zdroj: Volvo Parts Corporation

## 7.5 Poptávka ve světě

Trh s produktem AdBlue vykáže nebývalý růst v příštích několika letech. Od posledního čtvrtletí roku 2006 byla většina nových nákladních automobilů vybavena technologií SCR. Každý pracovní den se na evropský trh dostává přibližně 1200 nových nákladních automobilů, které používají produkt AdBlue od prvního dne jejich provozu. Tudíž poptávka po výrobku AdBlue bude rychle růst, dokud nedosáhne úrovně 5% potřeby nafty pro vozidla nad 7,5 tuny.

obr. 14 Poptávka trhu po AdBlue



Zdroj: [www.greenchem.com](http://www.greenchem.com)

## 7.6 Skladování

AdBlue má vysokou trvanlivost a lze jej skladovat po dobu 2 let, pokud je to provedeno správným způsobem, tj. mimo dosah přímého slunečního záření. Tento roztok je třeba chránit před příliš vysokými nebo příliš nízkými teplotami tj.  $-11^{\circ}\text{C}$  do  $+32^{\circ}\text{C}$  a měl by být skladován v uzavřeném obalu v dobře větraných skladovacích prostorech a umístěn od zdroje tepla a ohně. Doporučený materiál pro uskladnění: Polyethylene typu (HDPE a LDPE), Cr-Ni nerezavějící ocel a Cr-Ni-Mo, nerezavějící ocel dle DIN EN 10088-1 až DIN EN 10088-3.

tab. 2 Skladování AdBlue

<b>Konstantní venkovní teplota při uskladnění</b>	<b>Minimální životnost</b>
Menší nebo rovna <b>10 °C</b>	36 měsíců
Menší nebo rovna <b>25 °C</b>	18 měsíců
Menší nebo rovna <b>30 °C</b>	12 měsíců
Menší nebo rovna <b>35 °C</b>	6 měsíců
Vyšší než <b>35 °C</b>	Rychlá ztráta životnosti:

## 7.7 Manipulce

Při manipulaci s roztokem AdBlue je potřeba chránit zejména elektrickou soustavu, jinak hrozí po znečištění tímto roztokem zoxidování kontaktních míst, které nelze nijak opravit. Voda ani stlačený vzduch nepomohou, protože roztok AdBlue rychle narušuje povrch kovu. Pokud se na tato místa dostane roztok AdBlue, je nutno okamžitá výměna, jinak roztok AdBlue plíživě proniká podél měděných vodičů rychlostí přibližně 60 cm za hodinu.

### 7.7.1 Způsob doplňování AdBlue

U osobních automobilů řeší doplňování autorizovaný servis při pravidelných prohlídkách. Vlastníci nákladních automobilů mají více možností jak doplňovat roztok.

#### 7.7.1.1 Kanystry

Německá společnost Greenchem, která AdBlue vyrábí, nabízí kanystry o objemu 5,10 a 18 litrů. Vzhledem k ceně není kanystr nejvhodnějším způsobem pro dlouhodobé zásobování, je však rozumným způsobem pro případ, kdy by nebylo v nouzi k dispozici žádné tankovací místo

#### 7.7.1.2 IBC kontejnery

Kontejner o objemu 1.000 litrů je doplněn výdejním čerpadlem, počítadlem a pistolí modelu "GreenStar1". Kontejnery jsou zákazníkům dodávány výměnným způsobem originálně plněné z výrobního závodu GreenChemu. Tato metoda zásobování je vhodná pro majitele jednotlivých vozů, nebo malých flotil, kteří nepředpokládají do budoucna nákup dalších vozů a tedy růst spotřeby AdBlue.

*obr. 15 IBC kontejner*



Zdroj: <http://www.kontaktoil.cz/AdBlue>

### 7.7.1.3 Tankovací kontejnery

Komfortně vybavený izolovaný a vyhřívaný kontejner je vybaven automatickou pistolí, telemetrií a na přání zákazníka i kartovým systémem. Vyrábí se v několika provedeních o objemech od 4.000 do 15.000 litrů a je vhodný pro střední a větší flotily a pro veřejné výdeje.

obr. 16 Tankovací stojan na AdBlue



Zdroj: <http://www.kontaktoil.cz/AdBlue>

### 7.7.2 Čištění oděvů a nástrojů

Po znečištění je důležité nástroje i oděv důkladně očistit od roztoku AdBlue, aby nedošlo k přenosu kapaliny nebo krystalů na jiné součásti, které by mohly být poškozeny. V případě úniku:

- Při zasažení pokožky – opláchněte velkým množstvím vody a svlékněte potřísněný oděv.
- Při zasažení očí – několik minut vyplachujte a v případě potřeby vyhledejte lékaře.
- Při nadýchání – dýchejte čerstvý vzduch a v případě potřeby vyhledejte lékaře.
- Zabraňte kontaktu roztoku AdBlue s jinými chemikáliemi.
- V případě rozlití roztoku AdBlue na vůz otřete únik a opláchněte zasažené místo vodou.

### **7.7.3 Pokyny pro první pomoc**

- Při kontaktu s kůží omyjte postižené místo mýdlem a vodou.
- Při požití v žádném případě nevyvolávat vracení. Podejte postiženému dostatek vody k pití a vyhledejte lékařskou pomoc i když bylo požitó pouze malé množství látky
- V případě inhalace Přemístěte postiženého od zdroje na čerstvý vzduch

## **7.8 Přeprava**

Dle předpisů Evropské unie není látka AdBlue považovaná za nebezpečnou proto není klasifikována dle UN-čísla. Není nutné přepravovat látku dle přísných nařízení RID (železnice), ADR (silnice), ADNR (vnitrozemní vodní cesty) a IMDG (moře). Látku není nutné jakýmkoliv způsobem registrovat.

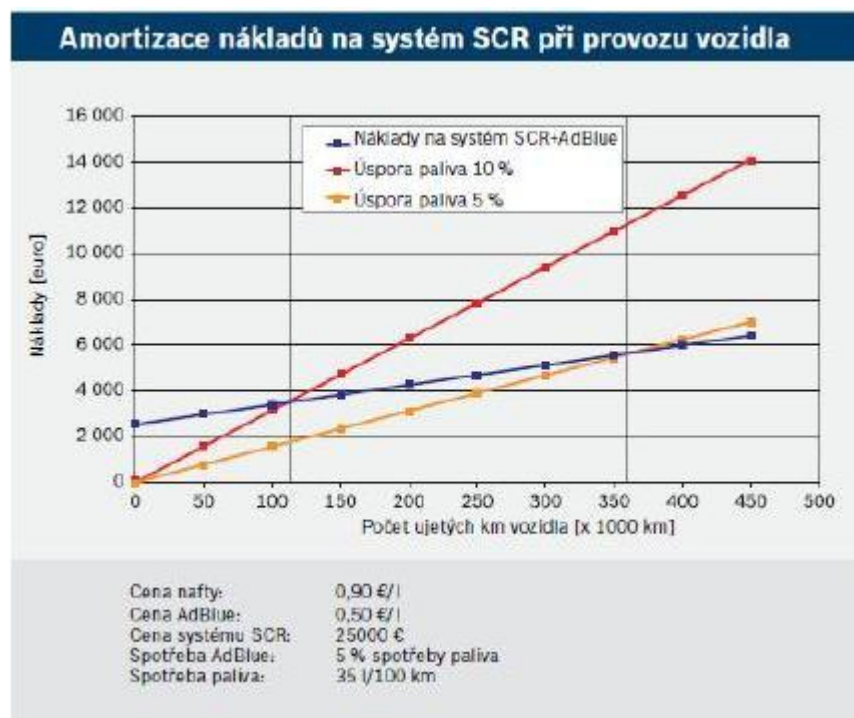
### **7.8.1 Likvidace**

Jakékoliv množství uniklé látky by mělo být okamžitě odstraněno, absorbováno, zameteno a umístěno v označeném, otevřeném kontejneru, určeném pro bezpečnou likvidaci. Způsob odstranění uniklé látky závisí na stupni okolní kontaminace, v případě rozsáhlejšího zasažení je nutné kontaktovat autorizovanou firmu pro likvidaci odpadů.

## **7.9 Náklady**

Při koupi vozidla, které plní emisní normu Euro 4 a vyšší, je nutné předpokládat zvýšené pořizovací náklady. Celý systém SCR je velmi nákladná položka a pořizovací cena je na úrovni 25 000 Euro. V případě výrobců, prodejců vozidel a především díky konkurenčnímu boji o zákazníka je rozdíl mezi vozidlem plnícím emisní normu Euro 4 a mezi vozidlem s Euro 5 je rozdíl na úrovni 3 000 Euro. Vyšší rozdíl je však při pořízení vozidla s normou Euro 6, kde díky dalším pomocným systémům činí rozdíl již vysokých 9 000 Euro. Dále je však nutné počítat se zvýšenou spotřebou roztoku AdBlue. Při předpokládaném snížení paliva o 10 % se systém SCR dokáže amortizovat již po přibližně 110 000 km. Dále lze v některých zemích na západ od našich hranic, jako je například Švýcarsko, Německo nebo Skandinávie, počítat s jistými úlevami na silničních daních nebo mýtném, které podporují nákup těchto vozidel v zájmu ochrany životního prostředí.

obr. 17 Náklady na systém SCR



Zdroj: Volvo Parts Corporation

## 8 Společnost GreenChem

Společnost GreenChem je významným evropským dodavatelem produktu AdBlue a má kanceláře téměř v celé Evropě. Společnost GreenChem dodává produkt AdBlue a rovněž technologie pro výdej AdBlue. Aby se zajistilo snadné plnění produktu AdBlue do nákladních vozidel, společnost GreenChem se zaměřila na řešení výdeje produktu AdBlue a umožňuje zákazníkům mít k dispozici tento produkt snadným a pohodlným způsobem a za dobrou cenu.

Byla založena v roce 2003 v Nizozemí, kde začala s pouhými 5 zaměstnanci řešit problematiku emisních limitů a započala výrobu roztoku AdBlue. V dnešní době je společnost celosvětovým lídrem ve výrobě a distribuci roztoku. V roce 2006 při zavedení emisní normy Euro 4 nastal velký rozvoj technologie SCR, kterou je nedílnou součástí AdBlue. Společnost GreenChem se stala hlavním dodavatelem nizozemského výrobce nákladních vozidel DAF. Dále začala společnost dodávat roztok i ostatním významným evropským výrobcům nákladních vozidel. Mohutný rozvoj AdBlue nezbrzdily ani výrobci ostatních technologií na snížení emisí. V roce 2007 vlastnila společnost již 15 výrobních závodů po celé Evropské unii a stala se největším v Evropě. Dnes společnost plánuje výstavbu dalších deseti závodů. Jádrem podnikání společnosti GreenChem se rovněž stala distribuce AdBlue a dodávky výdejních zařízení. V roce 2009 byla společnost převzata skupinou Agrofert Group, což je

mezinárodní organizace se sídlem v Praze. Již předtím, v roce 2008, vytvořila společnost GreenChem partnerství se společností Duslo na Slovensku (což je rovněž společnost náležící do skupiny Agrofert Group), a to za účelem zlepšení kvality a zvýšení možností distribuce. Společnost GreenChem již měla 450 distributorů ropných produktů v celé Evropě jako své exkluzivní dealery a spolupracuje s významnými dodavateli ropných produktů, výrobcí nákladních automobilů a dalšími dealery.



## 9 Závěr

V dnešní době je otázka životního prostředí nejdiskutovanějším tématem v rámci celého světa. Světové organizace se snaží omezit tvorbu emisí výfukových plynů spalovacích motorů a proto vydávají nejrůznější nařízení a normy, kterými se musí výrobci automobilů řídit. To znamená vývoj úsporných technologií nebo dalších pomocných systémů, jako je například systém selektivní katalytické redukce a v něm používaný roztoku AdBlue.

Uvedením systému selektivní katalytické redukce lze dále redukovat emise výfukových plynů vznětových motorů, proto ho zařadili do svého výrobního programu všichni velcí výrobci těžkých nákladních vozidel. Díky jeho koncepci a relativní jednoduchosti je velice spolehlivý a nenáročný na obsluhu a údržbu. U systému je prokázána účinnost snížení emisí oxidů dusíku až o 85% a také prokazatelné snížení spotřeby paliva automobilů, což umožňuje výrobcům automobilům plnit předepsané emisní normy.

Další vývoj a budoucnost tohoto systému však není pouze u těžkých nákladních vozidel, kde se systém osvědčil a etabloval, ale především u osobních automobilů a v neposlední řadě také u stavebních strojů a zemědělské techniky.

Právě kombinace SCR-katalyzátoru a AdBlue chtějí využít především přední němečtí výrobci automobilů při tzv. diesel-ofenzívě ve Spojených státech Amerických a Kanadě. Pod názvem "Bluetec" budou nabízet na severoamerickém kontinentu v budoucnosti moderní osobní vozidla se vznětovými motory, která díky inovačním technologiím následného zpracování spalin budou splňovat i nejpřísnější emisní předpisy na tomto trhu.

## 10 Použité zdroje

- [1] <http://www.dafrucktrade.cz>
- [2] Autor neznámý [cit 15.3.2013], dostupné na [www:](http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/snizovem_5.html)  
[http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/snizovem\\_5.html](http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/snizovem_5.html)
- [3] Volvo Parts Corporation
- [4] Volvo Parts Corporation
- [5] Volvo Parts Corporation
- [6] firemní literatura New Holland
- [7] firemní literatura Robert Bosch GmbH
- [8] firemní literatura Volvo Trucks
- [9] HROMÁDKO, J.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony, 1.Vydání, Praha, Nakladatelství Grada, 2012, 196s, ISBN 978-80-247-4455-1
- [10] HROMÁDKO, J; HROMÁDKO, J; HÖNIG, V; MILER, P.: Spalovací motory, 1.Vydání, Praha, Nakladatelství Grada, 2011, 396s, ISBN 978-80-247-3475-0
- [11] [www.greenchem.com](http://www.greenchem.com)
- [12] [www.myturbodiesel.com](http://www.myturbodiesel.com)
- [13] <http://www.bagry.cz>
- [14] <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro>
- [15] [www.adblue4you.com](http://www.adblue4you.com)
- [16] [http://www.g7.cz/cz/adblue\\_bezpecnostni-list.php](http://www.g7.cz/cz/adblue_bezpecnostni-list.php)
- [17] [http://www.pc-autodiag.sk/scr\\_katalizator\\_adblue.html](http://www.pc-autodiag.sk/scr_katalizator_adblue.html)

#### Seznam zkratk:

SCR	Selektivní katalytická redukce
SNCR	Selektivní nekatalytická redukce
OBD	On-Board Diagnostics
ADR	Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí
RID	Evropská dohoda o mezinárodní železniční přepravě nebezpečných věcí
IMDG	Evropská dohoda o mezinárodní přepravě nebezpečných věcí po moři
ADNR	Mezinárodní předpisy pro přepravu nebezpečných věcí na vnitrozemských vodních cestách
NO <sub>x</sub>	Oxidy dusíku
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
NH <sub>3</sub>	Amoniak
SO <sub>2</sub>	Oxid siřičitý

#### Seznam tabulek:

tab. 1 Přehled limitů jednotlivých emisních norem Euro

tab. 2 Skladování AdBlue

#### Seznam obrázků:

obr. 1. Emisní limity Euro

obr. 2 Přehled jednotlivých norem Tier/Stage

obr. 3 Systém vstřikování AdBlue

obr. 4 Řídící jednotka

obr. 5 Příklad plastové nádrže

obr. 6 Tankovací pistole

obr. 7 Dávkovací jednotka

obr. 8 Skříň filtru

obr. 9 Pohyb roztoku AdBlue v soustavě

obr. 10 Pohyb roztoku AdBlue v soustavě

obr. 11 AdBlue v osobním automobilu

obr. 12 Adblue u traktorů New Holland

obr. 13 Graf spotřeby AdBlue

obr. 14 Poptávka trhu po AdBlue

obr. 15 IBC kontajner

obr. 16 Tankovací stojan na AdBlue

obr. 17 Náklady na systém SCR